

Anhang zum Schlussbericht **Mai 2005**

Ergebnisse der Druckluftanalyse Clariant

ausgearbeitet durch

Dr. Peter Radgen
Fraunhofer-Institut für System-
und Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Strasse 48
76139 Karlsruhe
Deutschland

Bruno Stadelmann
Hochschule für Technik und Architektur Luzern
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
Schweiz

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie und der Firma Clariant entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschließlich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Angaben zum Unternehmen.....	2
2	Angaben zur Druckluftversorgung des Standortes	2
2.1	Drucklufterzeugung	3
2.1.1	Fabrikluft (LF)	3
2.1.2	Steuerluft (LS)	5
2.1.3	Steuerung	8
2.2	Druckluft-Aufbereitung	11
2.2.1	Fabrikluft (LF)	11
2.2.2	Steuerluft (LS)	11
2.3	Druckluft-Verteilung (LS)	13
2.3.1	Druckluft-Speicher	14
3	Begehung der Druckluftversorgung.....	15
4	Messtechnische Analyse der Steuerluftversorgung	20
4.1	Makroanalyse LS Versorgung	20
4.1.1	Bilanz.....	20
4.1.2	Verbrauch Steuerluft	22
4.1.3	Erzeugung Steuerluft.....	23
4.2	Makroanalyse LF Versorgung	24
4.3	Mikro Analyse Steuerluftversorgung	28
4.3.1	Raumluftzustand	28
4.3.2	Drucklufterzeugung	29
5	Optimierungs-Möglichkeiten.....	36
5.1	Optimierung der Steuerung	36
5.2	Bereitstellung Fabrikluft	37
5.3	Neue Kompressoren	39
5.4	Adsorptionstrockner	40
5.5	Leckagen	41
5.6	Dimensionierung der Druckluftverteilung	41
5.7	Zusammenfassung Einsparpotentiale	43
Anhang	44
A.1	Monatswerte des Steuerluftverbrauchs	44
A.2	Monatswerte des Fabrikluftverbrauchs	46
A.3	Auswertung der Volumenstromzähler in der Messwoche	48

1 Angaben zum Unternehmen

Die Clariant (Schweiz) AG ist ein schweizerisches Unternehmen. Ihr Domizil ist das Clariant Werk Muttenz (Kanton Basel-Landschaft), wo sich auch der Hauptsitz des Konzerns und mehrerer Divisionen befinden. Die Clariant AG produziert nicht nur auf die Bedürfnisse der Kunden zugeschnittene Farbstoff- und Chemikalien-Spezialitäten, sondern bietet den Konzerngesellschaften und den Kunden eine Reihe besonderer Dienstleistungen in den Bereichen Verfahrensentwicklung, Chemie-Engineering, Qualitätsprüfung, Sicherheit und Umwelt sowie Logistik und internationale Transportorganisation an.

Rund 1'250 Mitarbeiter arbeiten für Clariant Schweiz in Muttenz. Auf einem Areal von ca. 327'000 m² sind die verschiedenen Produktionsgebäude, Infrastrukturanlagen und Lager angeordnet. Die Jahresproduktion beträgt rund 75'000 Tonnen.

2 Angaben zur Druckluftversorgung des Standortes

Die Druckluft-Anlage der Clariant AG versorgt das ganze Areal, in welchem neben Clariant noch verschiedene andere Firmen domiziliert sind, in zwei getrennten Netzen mit Druckluft. Sämtliche Druckangaben im Bericht erfolgen in absoluten Werten.

- Fabrikluft (LF) wird mit einem Druck von ca. 300 kPa (2 bar_ü) betrieben.
- Steuerluft (LS) wird mit einem Druck von ca. 700 kPa (6 bar_ü) betrieben.

Clariant betreibt die Druckluftherzeugung, die Aufbereitung und das Hauptverteilnetz bis zum Gebäudeeintritt der verschiedenen Abnehmer. Dort wird der Verbrauch gemessen und entsprechend verrechnet.

Im Betrieb wird ab Sonntag 22.00 Uhr bis Samstag 14.00 Uhr in Schichten gearbeitet. Teilweise wird sogar 7 Tage durchgearbeitet. Deshalb kann die Druckluftversorgung nie vollständig abgeschaltet werden.

Abbildung 1 zeigt das Luftbild des Standortes in Muttenz. Das Gelände der Firma Clariant grenzt an das Gelände der Firma Valorec. Zwischen beiden Unternehmen gibt es eine Druckluftleitung, die die Druckluftnetze beider Firmen verbindet. Die Leitung wurde vor einigen Jahren stillgelegt. Eingezeichnet ist zudem die Lage der beiden Druckluftstationen in den Gebäuden 939 (links) und 934 (rechts). Im Kellergeschoss des Gebäudes 939 befinden sich die Schraubenkompressoren und der Fabrikluftverdichter.

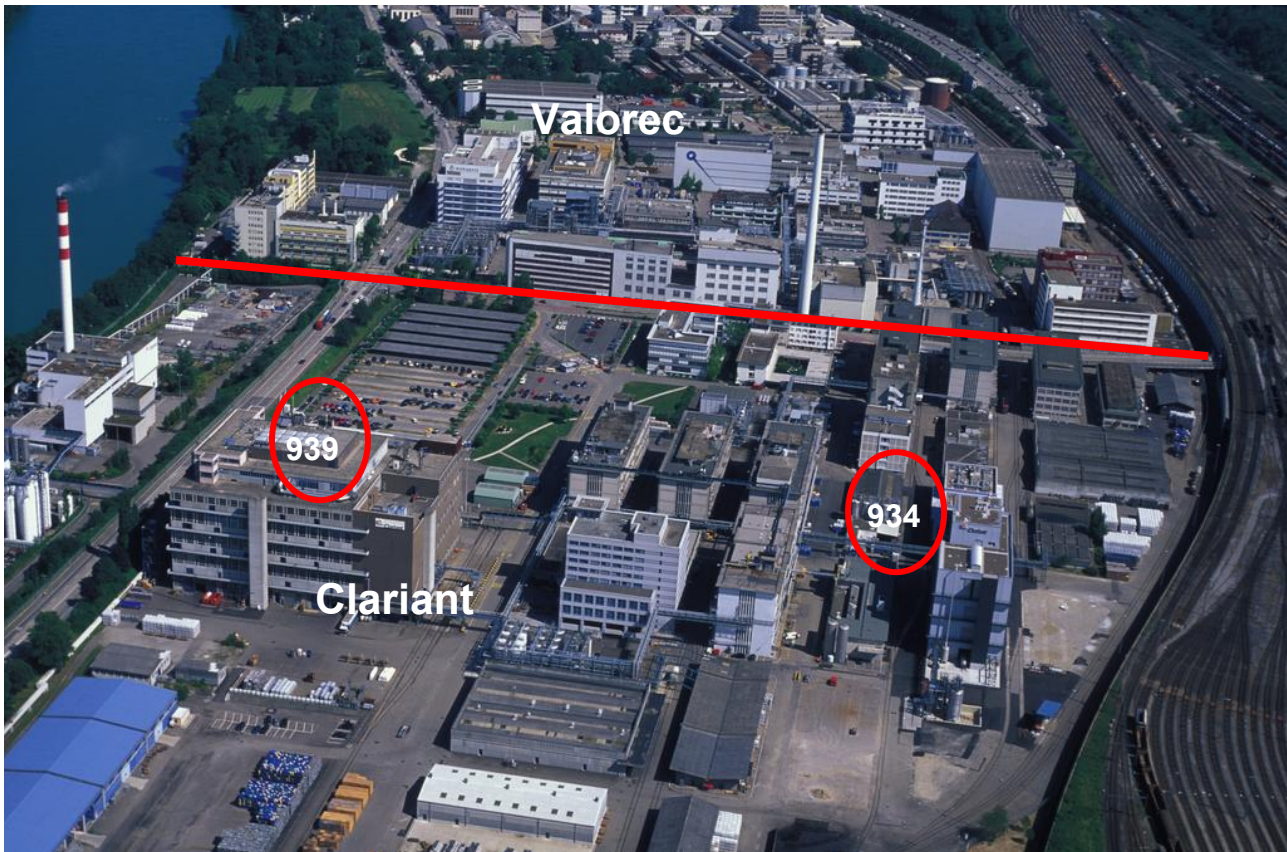


Abbildung 1: Ansicht des Produktionsstandortes und Lage der Druckluftstationen (Bild:Clariant AG)

2.1 Druckluftherzeugung

Für die Versorgung der beiden Druckluftnetze stehen jeweils getrennt Kompressorenanlagen zur Verfügung. Die Druckluftverbindungsleitung zwischen dem Steuerluftnetz der Firma Clariant und dem benachbarten Unternehmen ist verschlossen und wird derzeit nicht genutzt. Zudem besteht die Möglichkeit Luft aus dem Steuerluftnetz (LF) in das Fabrikluftnetz zu überströmen.

2.1.1 Fabrikluft (LF)

Für die Erzeugung der Fabrikluft steht ein drehzahl geregelter Kompressor der Firma Aerzen zur Verfügung. Die technischen Daten des Verdichters sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Technische Daten des Verdichters zur Versorgung des Fabrikluftnetzes (2 bar_ü)

Erzeugung	Kompressor 1
Interne Bezeichnung	LF1-1
Aufstellung	Zentral; Bau 939
Verdichterbauart	Schraube
Stufenzahl	1
Steuerung	Drehzahl
Verdichtungsart	ölfrei
Kühlung	Luft/Wasser
Hersteller	Aerzener Maschinenfabrik
Typenbezeichnung	VM 310-2 B1
Baujahr	1981 (Installiert März 1990)
Nennleistung [kW]	155

Max. Lastleistung [kW]	163,8
Leerlaufleistung [kW]	61,7
Max. Liefermenge [m ³ /min]	55,9
Spezifische Leistung [kWh/m ³]	0,048 bis 0,075
Max. Druck [kPa]	300
Wärmerückgewinnung	Wasser

Die spezifische Leistung des Verdichters zeigt Abbildung 2. Deutlich zu erkennen ist die kontinuierliche Verschlechterung der spezifischen Leistung bei Abnahme der Liefermenge. Aufgrund der strömungstechnischen Auslegung weist der Verdichter einen Regelbereich zwischen 25,8 und 100 % der maximalen Liefermenge auf.

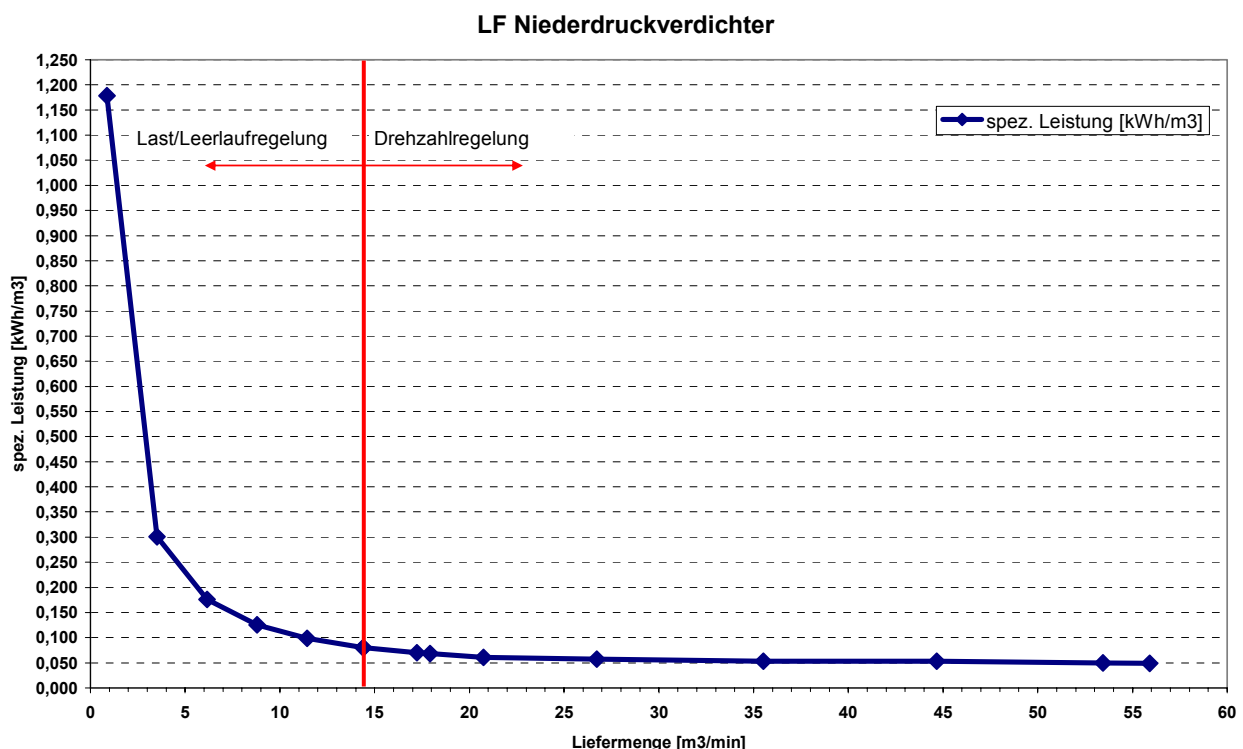


Abbildung 2: Spezifische Leistungsaufnahme des LF Verdichters

Ist der Luftbedarf im LF Netz höher als 3180 Nm³/h (55,9 m³/min) so kann der Bedarf nur durch das Überströmen aus dem Steuerluftnetz (LS) gedeckt werden. Sinkt der Luftbedarf demgegenüber unter 820 Nm³/h (14,4 m³/min) so könnte der Kompressor prinzipiell in Last-/Leerlaufregelung gehen.

Zu erkennen ist jedoch, dass der spezifische Leistungsbedarf in diesem Fall deutlich ansteigt. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand kann der Kompressor jedoch nicht im Last-/Leerlaufbetrieb betrieben werden. Stattdessen muss die überschüssige Luftmenge abgeblasen werden. In diesem Fall verschlechtert sich die spezifische Leistung des Verdichters gegenüber der Last-/Leerlaufregelung nochmals, da die minimale Lastleistung von 69,1 kW über der Leerlaufleistung von 61,7 kW liegt. Alternativ zur Abblase-Regelung kann der Fabrikluftbedarf auch durch Überströmen aus dem Steuerluftnetz (LS) gedeckt werden. In diesem Fall wird die Luft jedoch unnötigerweise auf 6 bar_ü verdichtet, was ebenfalls zu einem höheren spezifischen Energiebedarf führt.

Abbildung 3 zeigt das R&I Schema der Fabrikluftversorgung. Die verdichtete Luft wird in zwei in Reihe geschalteten wassergekühlten Wärmetauschern zurückgekühlt und das anfallende Kondensat im nachfolgenden Kondensatabscheider abgetrennt. Der Abgang zur Verteilung ist in der Dimension DN 250 ausgeführt. Hinter dem Verdichter kann zudem durch Öffnen eines Ventils ein

Teil der erzeugten Fabrikluft an die Umgebung abgeblasen werden, wenn der Bedarf niedriger als die kleinste Liefermenge des Verdichters ist.

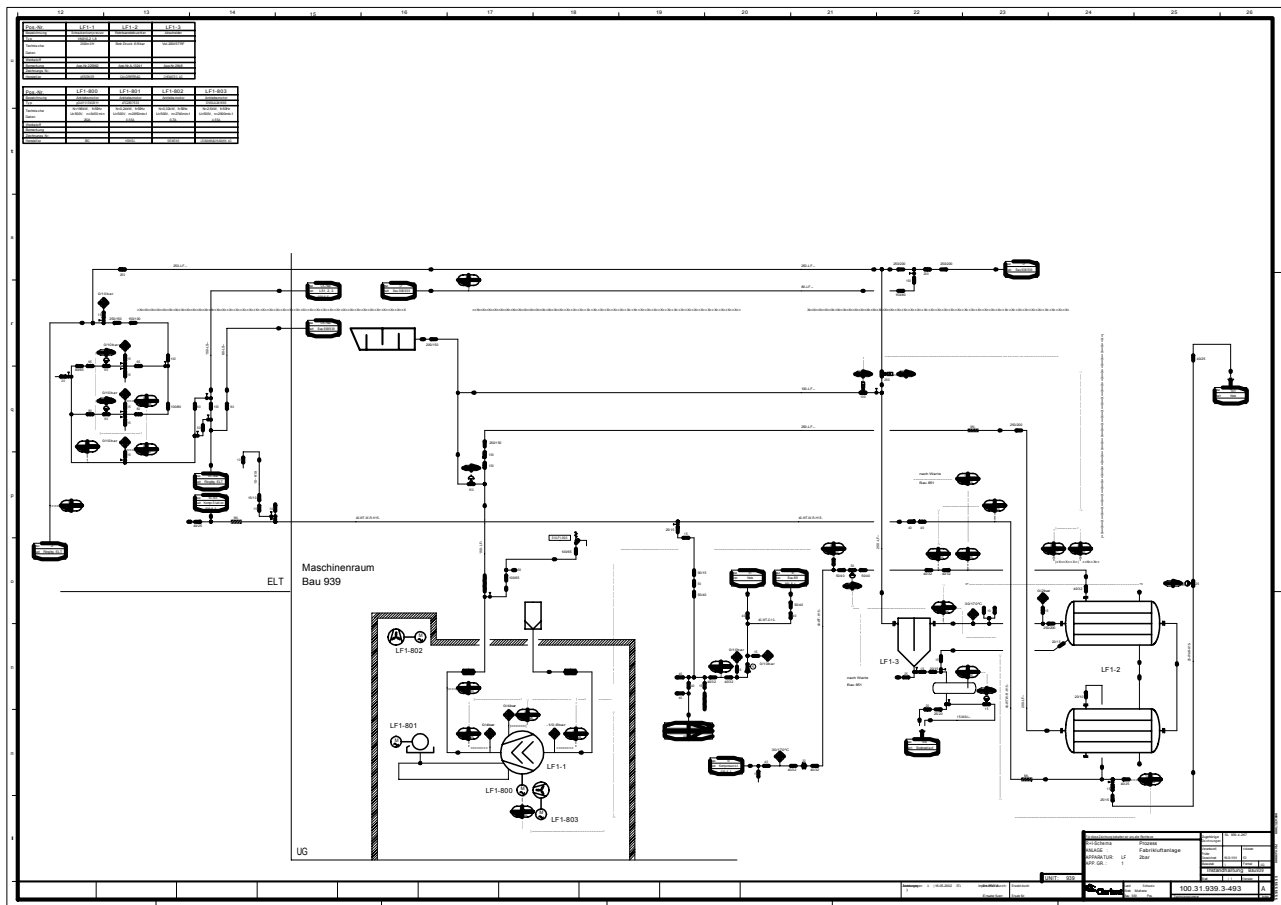


Abbildung 3: R&I Schema der Fabrikluftversorgung (LF)

Der Niederdruckverdichter ist im Gebäude 939 aufgestellt.

2.1.2 Steuerluft (LS)

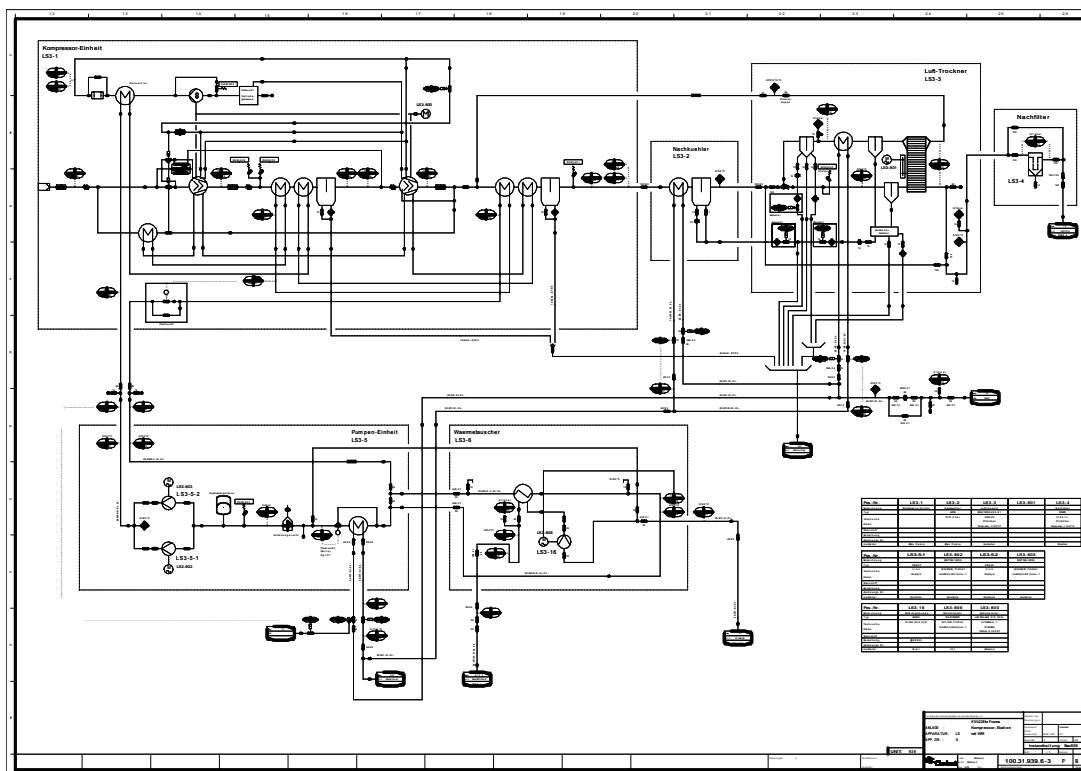
Für die Druckluftherzeugung wurden bis Ende 2004 fünf Kompressoren eingesetzt. Die fünf Kompressoren sind auf zwei Stationen verteilt, die über eine gemeinsame Steuerung betrieben werden. Die technischen Daten der Kompressoren sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die drei ölfreien Atlas Copco Schraubenverdichter sind im Gebäude 939, die beiden ölfreien Compair Kolbenkompressoren sind im Gebäude 934 aufgestellt. Die Raumtemperaturen im Gebäude 934 waren am Tage der Begehung der Anlagen, gemessen an den Außentemperaturen, sehr hoch. Als Abwärmequellen in dem relativ großen Raum sind die beiden Kompressoren und der mit Dampf regenerierte Adsorptionstrockner aufgestellt. Die Kompressoren sind nicht mit Lüftungskanälen zur Wärmeabfuhr nach außen versehen.

Betrachtet man die spezifische Leistung der Kompressoren auf Basis der Herstellerangaben so erkennt man, dass der große ölfreie Schraubenverdichter LS3-1 (ZR4) den günstigsten Kennwert bei Vollastbetrieb aufweist. Die Kolbenkompressoren weisen zudem spezifische Leistungen auf, die besser als die Daten der alten Schraubenkompressoren (ZR3A) sind.

Tabelle 2: Installierte Verdichter zur Versorgung des Steuerluftnetzes (LS). Stand bis Ende 2004

Erzeugung	Komp. 1	Komp. 2	Komp. 3	Komp. 4	Komp. 5
Interne Bezeichnung	LS1-1	LS2-1	LS3-1	LS4-1	LS4-2
Aufstellung	Zentral Geb. 939	Zentral Geb. 939	Zentral Geb. 939	Zentral Geb. 934	Zentral Geb. 934
Verdichterbauart	Schrauben	Schrauben	Schrauben	Kolben	Kolben
Stufenzahl	2	2	2	2	2
Steuerung	Last-Leerl.- Aus	Last-Leerl.- Aus	Last-Leerl.- Aus	Last-1/2 Last-Leerl.- Aus	Last-1/2 Last-Leerl.- Aus
Verdichtungsart	Ölfrei	Ölfrei	Ölfrei	Ölfrei	Ölfrei
Kühlung	Wasser	Wasser	Wasser	Luft/Wasser	Luft/Wasser
Hersteller	Atlas Copco	Atlas Copco	Atlas Copco	Compair	Compair
Typenbezeichnung	ZR3-A	ZR3-A	ZR 4-A	Champion 180 TS	Champion 180 TS
Baujahr	1974	1974	1984	2000	2000
Nennleistung [kW]	110	110	225	90	90
Max. Leistungsaufnahme [kW]	103	103	186	94,74	94,74
Leistungsaufnahme Halblast [kW]				53,05	53,05
Leistungsaufnahme Leerlauf [kW]	22	22	34	12,8	12,8
Max. Liefermenge [m ³ /min]	18,24	18,24	35,16	17,8	17,8
Max. Liefermenge [Nm ³ /h]	1037,4	1037,4	1999,72	1012,38	1012,38
Spezifische Leistung [kWh/m ³]	0,094	0,094	0,088	0,089	0,089
Max. Druck [kPa]	850	850	850	800	800
Wärmerückgewinnung	keine	keine	Luft/Wasser	Keine	Keine

Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die R&I Fließbilder der Steuerluftversorgung am untersuchten Standort. Das Unternehmen verfügt mit den Fließbildern und Lageplänen über eine aktuelle Dokumentation der Druckluftversorgung am Standort.

**Abbildung 4:** R&I Schema Kompressor LS3-1 (ZR4)

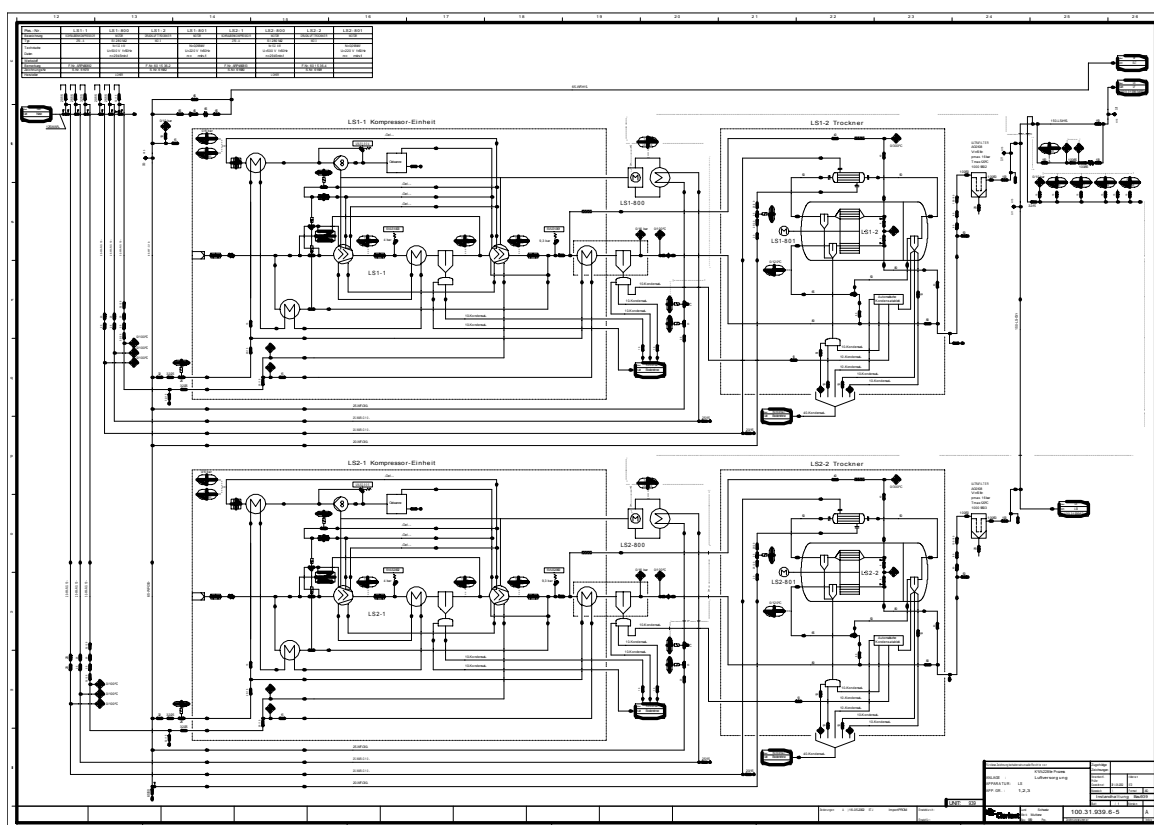


Abbildung 5: R&I Schema Schraubenkompressoren LS 1-1 und LS 2-1 (ZR3A)

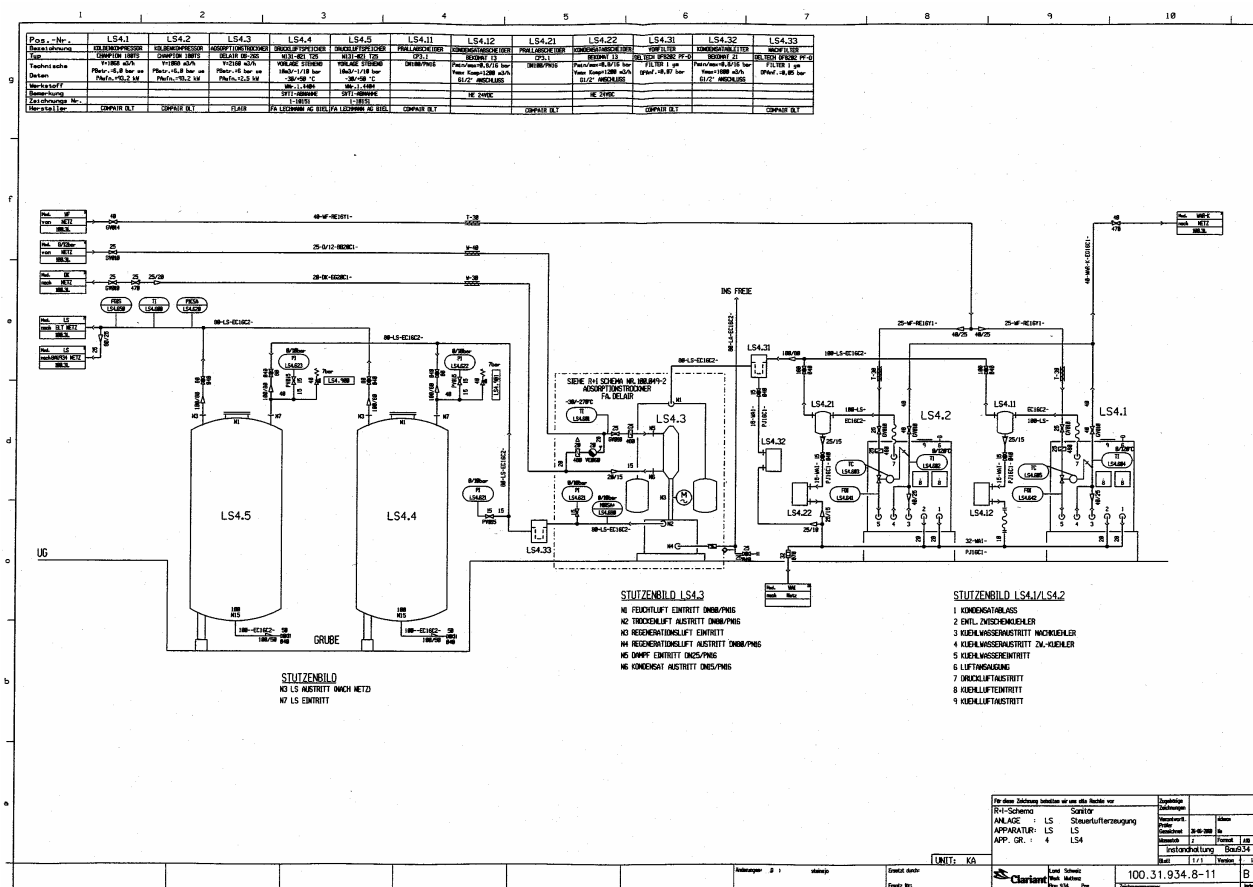


Abbildung 6: R&I Schema Kompressoren LS4-1, LS4-2 (Champion 180 TS)

Da die beiden alten ZR3 Kompressoren (beide Baujahr 1974) die zuverlässige Druckluftversorgung nicht mehr sicherstellen konnten, wurden für die Druckluftherzeugung zwei neue Kompressoren beschafft. Diese sollten Anfang 2005 in Betrieb gesetzt werden. Es handelt sich dabei um zwei ölfrei verdichtende Schraubenkompressoren der Firma Atlas Copco, einer davon mit Drehzahlregelung. Beide Anlagen sind Gebrauchtmaschinen mit geringer Betriebsstundenzahl, die günstig erworben werden konnten. Die technischen Daten der Druckluftversorgung des Steuerluftnetzes sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die beiden neuen Kompressoren haben die beiden alten ZR3 Maschinen ersetzt.

Tabelle 3: Installierte Verdichter zur Versorgung des Steuerluftnetzes (LS). Stand Anfang 2005

Erzeugung	Komp. 1	Komp. 2	Komp. 3	Komp. 4	Komp. 5
Interne Bezeichnung	LS1-1	LS2-1	LS3-1	LS4-1	LS4-2
Aufstellung	Zentral Geb. 939	Zentral Geb. 939	Zentral Geb. 939	Zentral Geb. 934	Zentral Geb. 934
Verdichterbauart	Schrauben	Schrauben	Schrauben	Kolben	Kolben
Stufenzahl	2	2	2	2	2
Steuerung	drehzahl ge- regelt	Last-Leerl.- Aus	Last-Leerl.- Aus	Last-1/2 - Leerl.-Aus	Last-1/2 - Leerl.-Aus
Verdichtungsart	Ölfrei	Ölfrei	Ölfrei	Ölfrei	Ölfrei
Kühlung	Wasser	Wasser	Wasser	Luft/Wasser	Luft/Wasser
Hersteller	Atlas Copco	Atlas Copco	Atlas Copco	Compair	Compair
Typenbezeichnung	ZR 160-8,6 VSD	ZR 160-8,6	ZR 4-A	Champion 180 TS	Champion 180 TS
Baujahr	2002	2002	1984	2000	2000
Nennleistung [kW]	160	160	225	90	90
Max. Leistungsaufnahme [kW]	166	155	186	94,74	94,74
Max. Leistungsaufnahme Halblast [kW]	-	-	-	53,05	53,05
Leistungsaufnahme Leerlauf [kW]	28	28	34	12,8	12,8
Max. Liefermenge [m ³ /min]	26,04	28,32	35,16	17,8	17,8
Max. Liefermenge [Nm ³ /h]	1481,02	1610,7	1999,72	1012,38	1012,38
Min. Liefermenge [m ³ /min]	7,5				
Spezifische Leistung [kWh/m ³]	0,106	0,091	0,088	0,089	0,089
Max. Druck [kPa]	960	960	850	800	800
Wärmerückgewinnung	Wasser	Wasser	Luft/Wasser	Keine	Keine

Die beiden neuen Kompressoren ZR160 weisen im Vergleich zu den bereits installierten Kompressoren bei Volllast geringfügig schlechtere spezifische Werte auf. Dabei ist der Kompressor ZR160 besser als die alten ZR3, der Kompressor VSD160 jedoch schlechter als die alten Kompressoren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass eine Leistung von ca. 5 % der Gesamtleistung als Verbrauch für den Frequenzumrichter hinzukommt. Im Volllastbetrieb ist ein drehzahl geregelter Kompressor bei gleicher Leistung deshalb spezifisch stets meist schlechter als ein Kompressor ohne Drehzahlregelung.

2.1.3 Steuerung

Die Kompressoren werden durch eine übergeordnete Steuerung (Delcos 6000; Compair) in einem Druckband zwischen 680 und 720 kPa (abs.) betrieben. Die Parametrierung der Steuerung ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Funktionsweise der Steuerung ist in

Abbildung 8 als Flussschema dargestellt, wobei die jeweilige Verzögerung nicht dargestellt wurde. Zu erkennen ist in der Parametrierung, dass einer der ZR3A Kompressoren nie zugeschaltet wird, da er derzeit defekt ist. Von Sonntag 23.00 Uhr bis Samstag 5.00 Uhr arbeitet der Kompressor ZR4 in der Grundlast. Bei Bedarf schalten sich die beiden Champion Kolbenkompressoren zu, die

zwischen Halb- und Volllast schalten können. In der Zeit von Samstag 5.00 bis Sonntag 23.00 Uhr, also zu Zeiten, in denen der Druckluftbedarf deutlich geringer ist, wird die Schaltreihenfolge vertauscht. Bevorzugt werden nun die beiden Champion Kompressoren. Reichen diese nicht zur Versorgung aus so schaltet der ZR4 Kompressor zu, ggf. der ZR3 Kompressor. An den Wochenenden ist der Bedarf jedoch stets so niedrig, dass der Bedarf allein mit den Kolbenkompressoren gedeckt werden kann. Ein Zuschalten des Schraubenkompressors würde demnach nur bei Ausfall eines Kolbenkompressors erfolgen.

LS - Programm Delcos 6000									
F1					F2				
Pmin_Alarm	5.2	bar			Anlaufverzögerung	30	sek		
Pmax_Alarm	6.5	bar			Zuschaltverzögerung (P< Pmin)	15	sek		
Netzvolumen	30.0	m3			Abschaltverzögerung (P> Pmax)	5	sek		
Leckvolumen	0.0	m3			max. Laststd.-Differenz	500	h		
max. Liefervol. Diff.	0	%			Anz. Messintervalle	5			
max Volstrom 4-20mA	0				Zuschaltfaktor	100	%		
akt. Druckband (SU)	0X				Abschaltfaktor	100	%		
akt. Grenze Pmin	X.X	bar			Schaltdämpfung	20	%		
akt. Grenze Pmax	X.X	bar							

F3		939		934					
SU	1	2	3	4	5	6	P min	P max	
00	0	2	4	1	1	4	5.8	6.2	
01	2	2	4	1	1	4	5.8	6.2	
02	2	1	4	0	0	4	5.8	6.2	
03	0	2	4	1	1	4	5.8	6.2	
04	2	0	4	1	1	4	5.8	6.2	
05	2	0	4	1	1	4	5.8	6.2	
06	0	2	4	1	1	4	5.8	6.2	
07	2	2	4	0	0	4	5.8	6.2	
08	2	2	4	0	0	4	5.8	6.2	
09	0	2	4	1	1	4	5.8	6.2	
10	2	2	4	0	0	4	5.8	6.2	
11	2	0	4	1	1	4	5.8	6.2	
12	0	1	4	2	2	4	5.8	6.2	

F4		Wochentag						EIN	AUS
SU	M	D	M	D	F	S	S		
00								00:00	00:00
01								00:00	00:00
02								00:00	00:00
03								00:00	04:00
04								04:00	00:00
05								00:00	05:00
06							S	00:00	05:00
07							S	05:00	00:00
08	S							00:00	23:00
09	S							23:00	00:00
10									
11								00:00	00:00
12								00:00	00:00

0 : bevorzugt
1 : verfügbar
2 : Reserve (Kompressor Ausfall oder P< Pmin)
3 : nur für Notfall (P< Pmin_Alarm)
4 : NIE zuschalten

(SU : Schaltuhr Kanal)

F5							Liefermengen der Kompressoren	
ZR4	ZR3-1	ZR3-2	Champ.1	Champ.2	0	0	m ³ /min	m ³ /h
35	18	18	17.8	17.8	0	0		
≥100	1090	1090	1068	1068	0	0		

F8 Störspeicher

F6 Laststunden der Kompressoren

F7 Betriebsstunden der Kompressoren

Abbildung 7: Parametrierung der Steuerung

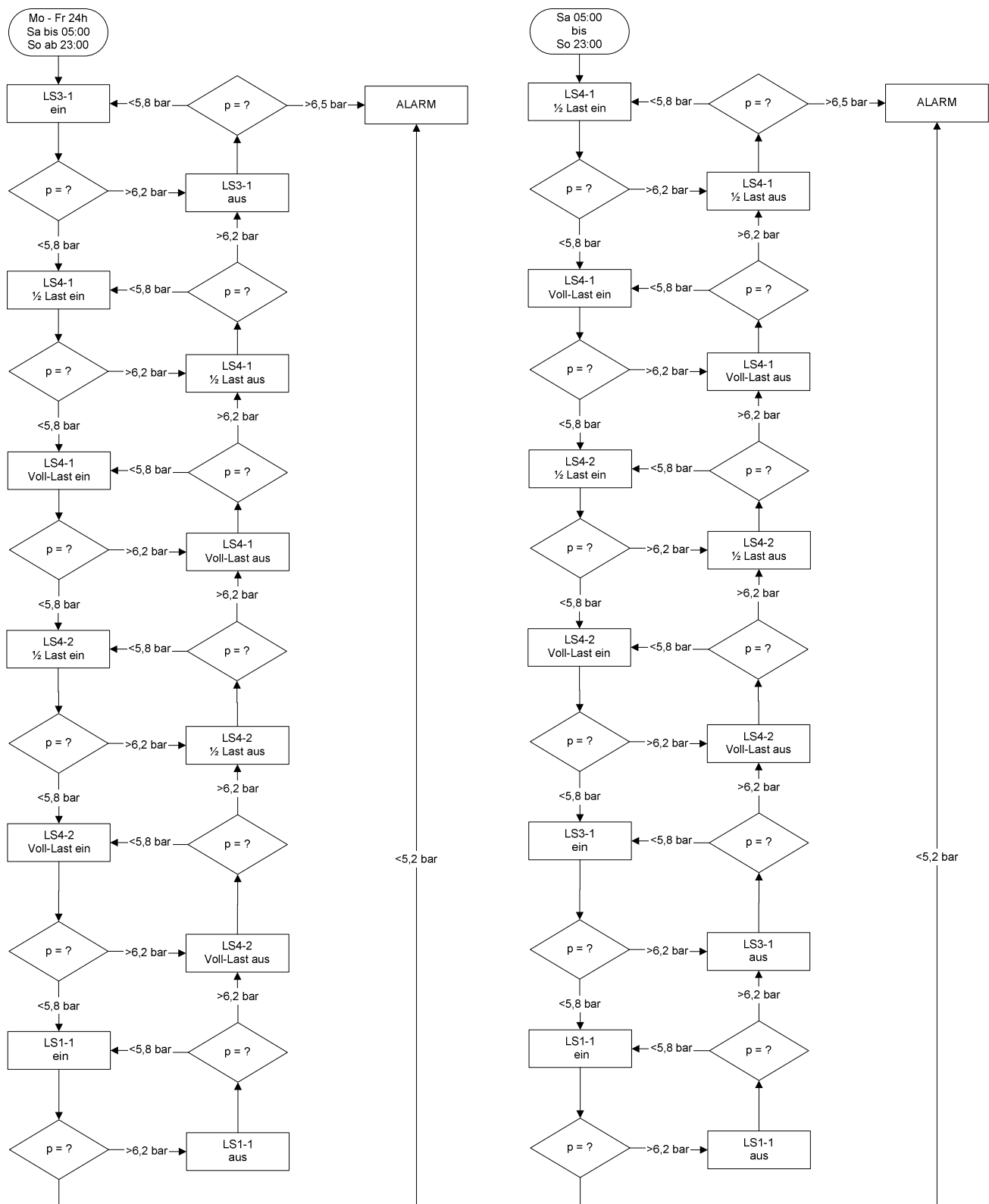


Abbildung 8: Fließschema des Steuerungsablaufes

2.2 Druckluft-Aufbereitung

2.2.1 Fabrikluft (LF)

Für die Fabrikluft ist nur eine geringfügige Druckluftaufbereitung erforderlich. Es wird lediglich eine geringe Entfeuchtung der Druckluft benötigt. Zur Entfeuchtung wird die Fabrikluft in zwei in Reihe geschalteten und mit Kühlwasser durchströmten Rohrbündelwärmeübertragern zurückgekühlt. Das anfallende Kondensat wird in einem nachgeschalteten Zyklonabscheider aus der Fabrikluft abgetrennt.

2.2.2 Steuerluft (LS)

Die Anforderungen an die Qualität der Steuerluft sind wesentlich höher als an die Fabrikluft. Die Qualitätsanforderungen an die Druckluft werden nach ISO 8573-1 spezifiziert, Tabelle 4.

Tabelle 4: Druckluftqualitätsklassen nach ISO 8573-1

Qualitätsklassen ISO 8573-1					
Klasse	Maximale Anzahl von Teilchen /m³			Drucktaupunkt (°C)	Rest- Ölgehalt (mg/ m³)
	Teilchen Größe d (µm)				
	0,1<d ≤0,5	0,5<d ≤1	1 < d ≤ 5		
0	spezifiziert gemäß Anwendung und besser als Klasse 1				
1	100	1	0	≤ - 70	0,01
2	100 000	1 000	10	≤ - 40	0,1
3	--	10 000	500	≤ - 20	1
4	--	--	1 000	≤ + 3	5
5	--	--	20 000	≤ + 7	-

Die Druckluft kommt teilweise direkt in Kontakt mit den gefertigten Produkten. Bei der Firma Clariant werden an die Druckluftversorgung die folgenden Qualitätsansprüche gestellt, Tabelle 5.

Tabelle 5: Erforderliche Druckluftqualität im Betrieb (LS)

		Klasse nach ISO 8573-1
Drucktaupunkt	-20°C	3
Ölgehalt	ölfrei	1
Partikel		2

Um Druckluft dieser Qualität zu erzeugen ist nach Abbildung 9 für die Druckluftaufbereitung ein Adsorptionstrockner und ein Oberflächenfilter vorzusehen.

Da ölfrei verdichtende Kompressoren eingesetzt werden, wird auch ohne Aktivkohlefilter ein Ölgehalt der Klasse 0-1 erreicht. Der Wert ist dabei stark abhängig von der Ölkonzentration in der Ansaugluft.

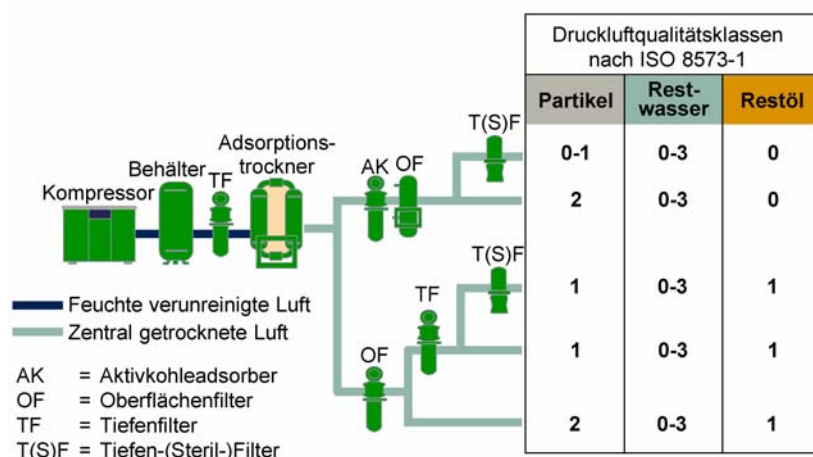


Abbildung 9: Auswahl-schema Druckluftaufbereitung

Eine Aufbereitung des entstehenden Kondensats ist bei ölfreier Verdichtung je nach örtlichen Auflagen jedoch meist nicht erforderlich. Das Kondensat kann direkt in die Kanalisation eingeleitet werden. Die Ableitung des Kondensats erfolgt im Unternehmen mit elektronischen Kondensatableitern und kann somit nicht weiter optimiert werden.

Für die Trocknung der Steuerluft werden an den Schraubenkompressoren intern warm regenerierte Adsorptionstrockner eingesetzt. Bei diesen Adsorptionstrocknern in Trommelbauart erfolgt die Regeneration des Trockenmittels mithilfe der Kompressorabwärme. Eine externe Energiezufuhr ist nur für den elektrischen Antrieb der Trommel erforderlich (120W). Diese Form der Trocknung ist demnach in Bezug auf die Betriebskosten sehr kostengünstig. Ausgerüstet mit diesen Trocknern sind alle drei Schraubenkompressoren im Gebäude 939. Dabei ist jeweils ein Trockner einem Kompressor fest zugeordnet. Der erreichbare Drucktaupunkt ist hierbei jedoch abhängig von der Eintrittstemperatur der Druckluft in den Trockner. Minimal können Drucktaupunkte von -40 bis -45 °C erreicht werden. Zur Trocknung der in den Kolbenkompressoren erzeugten Steuerluft kommt ein extern dampfregenerierter Adsorptionstrockner zu Einsatz. Für die Regeneration des Trockenmittels wird Dampf aus dem Betriebsnetz eingesetzt, es entsteht demnach ein zusätzlicher Energieaufwand für die Trocknung in Höhe von ca. 40,3 kWh/h. Tabelle 6 fasst die Daten der installierten Trockner zusammen.

Tabelle 6: Aufbereitung Steuerluft

Aufbereitung				
Drucklufttrocknung	1 Stk. MD3	1 Stk. MD3	1 Stk. MD4	1 Stk. Delair DB-26S
eingestellter DTP [°C]	-20	-20	-20	k.A.
Filter	vorhanden	vorhanden	vorhanden	Vorfilter + Nachfilter
Kondensataufberei-tung	Keine	Keine	Keine	Keine
Energiebedarf Rege-neration (Strom)	0,12 kWh/h	0,12 kWh/h	0,12 kWh/h	3,3 kWh/h
Energiebedarf Rege-neration (Dampf)	Kompressor-abwärme	Kompressor-abwärme	Kompressor-abwärme	73,1 kg/h (12 bar)= 40,3 kWh/h

2.3 Druckluft-Verteilung (LS)

Bei der Firma Clariant ist ein ausgedehntes Druckluftverteilnetz installiert. Entsprechend der Aufgabe wurde hier nur das Hauptverteilnetz zu den einzelnen Gebäuden, nicht jedoch die Verteilung innerhalb der Gebäude betrachtet. Berücksichtigt wurde zudem nur das Steuerluftnetz.

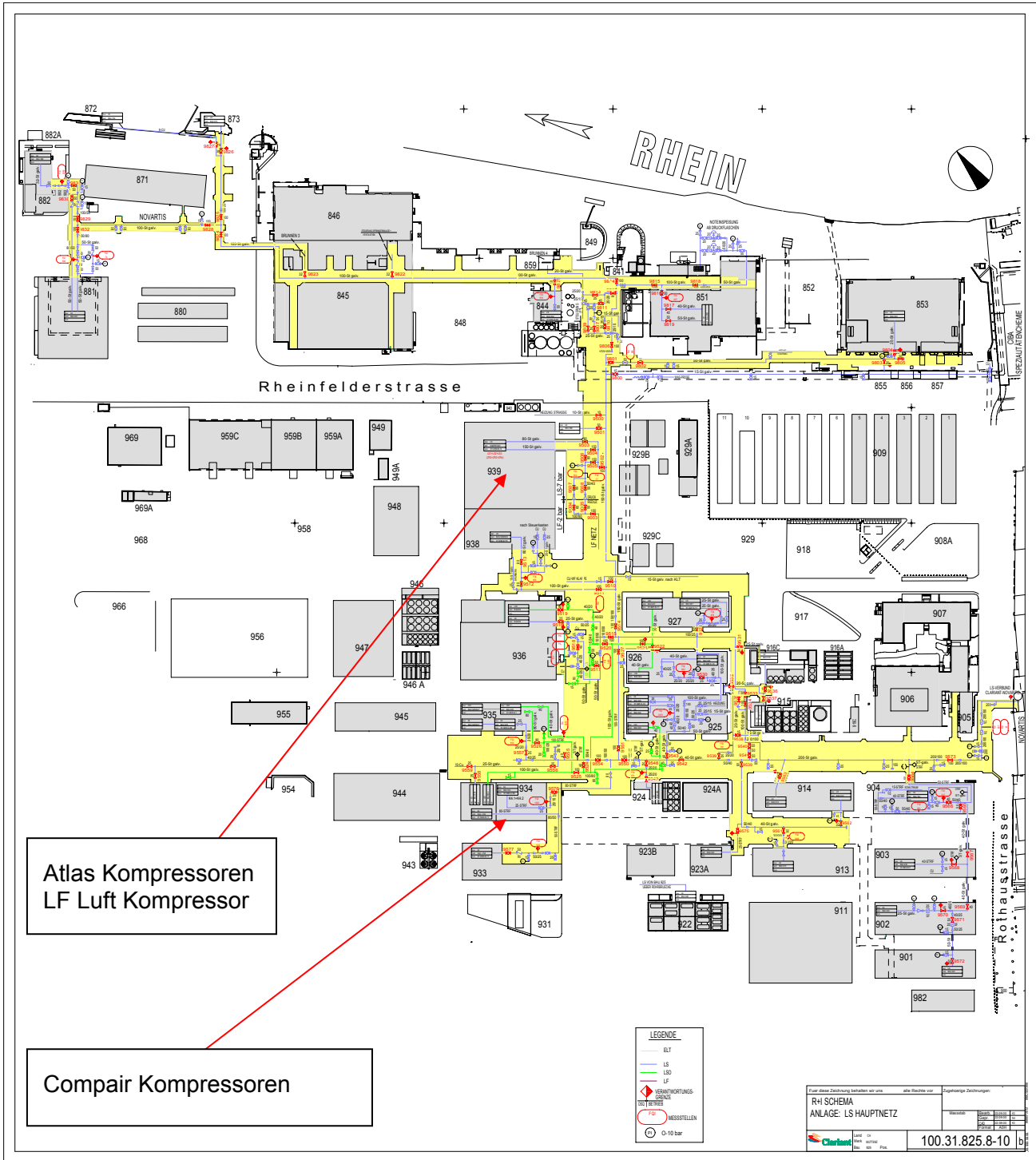


Abbildung 10: Lageplan mit Lage der Druckluftverteilung

Die Schraubenkompressoren im Gebäude 939 sind über eine geschweißte Druckluftleitung in der Dimension DN150 an das Druckluftnetz angeschlossen, die Kolbenkompressoren im Gebäude 934 über eine Leitung der Dimension DN80. Die beiden Druckluftstationen liegen ca. 240 m voneinander entfernt. Die Haupttrasse der Druckluftverteilung ist in DN 150/DN100 ausgeführt. Der am weitesten von der Druckluftstation im Gebäude 939 entfernteste Punkt ist das Tanklager am Rheinufer mit ca. 700 m Rohrleitungslänge zur Druckluftstation. Die dort benötigte Druckluftmenge ist jedoch zu vernachlässigen.

Das Rohrnetz ist gut erhalten und verläuft zumeist in begehbaren Kanälen. Für die Verteilungen kommen verschiedene Materialien zum Einsatz. Überwiegend wird Stahlrohr verzinkt, teilweise auch Stahlrohr schwarz eingesetzt. Die Rohre sind verschweißt. Neuere Bereiche sind in Edelstahl ausgeführt und mit Flanschverbindungen verbunden.

An den Übergabestellen in den Gebäuden werden die Druckluftmengen mit automatisch oder manuell auszulesenden Zählern erfasst, so dass eine Bilanzierung der Druckluftversorgung möglich ist.

2.3.1 Druckluft-Speicher

In der Druckluftstation im Gebäude 939 (Schraubenverdichter) sind keine Druckluftbehälter installiert. Im Gebäude 934 sind den beiden Kolbenverdichtern zwei große Behälter von jeweils 10 m³ Volumen nachgeschaltet. Zusätzlich wirkt das ausgedehnte und in großen Dimensionen ausgelegte Druckluftnetz als Speicher. Nach vorliegenden Angaben dürfte das Netz ein Speichervolumen von ca. 30 m³ aufweisen.

3 Begehung der Druckluftversorgung

Die Begehung der Druckluftversorgung erfolgte am 2. April 2004. Die Photos wurden durch Fraunhofer ISI erstellt. Die Begehung der Druckluftversorgung vermittelt eine erste Einschätzung über mögliche Einsparpotentiale. Die Druckluftversorgung macht bis auf Kleinigkeiten den Eindruck einer zuverlässigen, günstigen Versorgung. Wesentliche Punkte, die im Rahmen der Begehung festgestellt wurden, waren:

- a) Deutlich erhöhte Temperatur im Kompressorenraum Geb. 934 (Kolbenkompressoren)
- b) Hohe Oberflächentemperatur des Adsorptionstrockners
- c) Alte Kompressoren im Geb. 939 teilweise wegen Defekt außer Betrieb
- d) Abblaseleitung für Fabrikluftnetz
- e) Teilweise Überströmung vom Steuerluftnetz in das Fabrikluftnetz

	
<p>2 Behälter a 10 m³ im Gebäude 934 hinter den 2 Kolbenkompressoren</p>	<p>Kolbenkompressor 2-stufig Compair Champion 180 (LS 4.2) (Steuerluft)</p>
	
<p>Kolbenkompressor 2-stufig Compair Champion 180 (LS 4.1) (Steuerluft)</p>	<p>Dampfbeheizter, gebläse regenerierter Adsorptionstrockner Fabrikat Delair hinter den beiden Kolbenkompressoren</p>



Gebläse des Delair Adsorptionstrockners. Antriebsmotor ABB, 5,5 kW



Abblaseleitung des Adsorptionstrockners delair nach außen



Filter mit Ein- und Austrittsmanometer hinter dem Adsorptionstrockner Delair



Filter vor Eintritt Adsorptionstrockner und externer Zyklonabscheider mit Ecodrain hinter Champion Kompressor



Zyklonabscheider mit Ecodrain und Absperrventil am Kolbenkompressor (LS 4.1)



Flexible Kompressoranbindung über Schlauch



Auswerteeinheit für Volumenstrommessung in der Station mit Staudrucksonde (IWKA)



Eingebaute Staudrucksonde in Kompressorstation 934 (Champion)



Druckaufnehmer und Drucktaupunkt-messung in Kompressorstation 934 (Champion)



Zuluft für wassergekühlte Champion Kolbenkompressoren (Geb. 934) über gekippte Fenster. Hinweis: Spürbar erhöhte Raumtemperatur im Kompressorraum



Volumenstrommessung mit Samson Z3 für einzelnen Betriebsteile



Kompressorstation 2 im Geb. 939. 2-mal ZR3 Kompressoren für Steuerluft und 1-mal Aerzener Schraube für Fabrikluft



Blick auf den Fabrikluftverdichter (Vordergrund) und die Kompressoren ZR4 (links) und ZR3 (rechts)



Aerzener Verdichter mit VSD für Fabrikluft. Einziger Verdichter, der das Netz vollständig versorgt. Bei Bedarf überströmen aus Steuerluftnetz. Oberhalb des Verdichters Steuerventil für die Abblaseleitung.



ZR4 Kompressor



ZR4 Kompressor mit MD Trockner



Druckluftfilter hinter Adsorptionstrockner des ZR4



ZR3 mit Schaden am Adsorptionstrockner (MD Trockner; Trommel)



ZR3 laufend



Einstellung der Druckschaltpunkte für die 3 ZR Maschinen im Steuerluftnetz



Steuerschrank mit VSD für Aerzener Kompressor für Fabrikluft



Abblaseleitung des Aerzener Kompressors (Fabrikluft) zur Jalousie



Druckluftkühler hinter Aerzener Kompressor mit Kühlwasser



Defekte MD Trockner Trommel

4 Messtechnische Analyse der Steuerluftversorgung

Die Auswertung der Druckluftversorgung erfolgte sowohl auf Basis aggregierter Monatswerte als auch detaillierter und zeitlich höher aufgelöst für eine Woche. Für die Auswertungen wurden keine zusätzlichen Messgeräte installiert. Vielmehr wurde auf die vorhandenen Messwerte zurückgegriffen. Diese wurden aus dem Leitsystem exportiert. Leider stellt das Leitsystem die Daten nicht in einer Form bereit, die es ermöglichen würde, die Daten direkt als Diagramme darzustellen. Vielmehr ist eine manuelle Aufbereitung der Daten zur sinnvollen Darstellung erforderlich. Hier wäre zu prüfen, ob es nicht sinnvoll wäre, diese zu automatisieren, um zukünftig diese Auswertungen auf "Knopfdruck" durchführen zu können.

4.1 Makroanalyse LS Versorgung

Aufgrund der umfangreichen Anzahl von Messstellen im Betrieb kann ein sehr detailliertes Bild der Steuerluftversorgung aufgenommen werden. Sowohl auf der Erzeugungsseite als auch auf der Abnahmeseite sind entsprechende Zähler installiert. Auf der Verbrauchsseite nicht durch Zähler erfasst werden sowohl kleinere Abnehmer als auch die Leckagen im Verteilsystem, die aufgrund der Netztopologie und der Materialien/Verbindungstechnik nicht allzu groß sein dürften. Anzunehmen wäre demnach, dass die gemessene Erzeugung eher größer als die erfassten Druckluftverbräuche sind.

4.1.1 Bilanz

Abbildung 11 zeigt die entsprechende Gesamtbilanz auf Monatsbasis für das Jahr 2003, Abbildung 12 für das Jahr 2004. In beiden Jahren ist der gemessene Verbrauch jedoch stets größer als die gemessene Erzeugung. Im Jahr 2003 lag der Bilanzfehler dabei im Bereich zwischen 10 und 25 %, im Jahr 2004 nur noch zwischen 3 und 12 %. Dies könnte auf einen Ersatz alter, manuell auszulesender Zähler durch neue Messstellen zurückzuführen sein, die eine wesentlich genauere Erfassung ermöglichen. Ursache könnte auch die falsche Parametrierung einzelner Zähler sein, da stets zu beachten ist, ob Norm- oder Normalkubikmeter erfasst werden. Mengenmäßig entspricht der Unterschied aufgrund der unterschiedlichen Bezugszustände zwischen einem Norm- und einem Normalkubikmeter ca. 7 %.

Insgesamt ging die Steuerlufterzeugung von ca. 20 Mio. Nm³ (2003) auf 18,6 Mio. Nm³ (2004) zurück. Dies entspricht in etwa einem Rückgang von 10 %. Vermutlich dürfte mit einem weiteren Rückgang des Verbrauchs zu rechnen sein. Über die Monate gesehen liegt dabei ein relativ konstanter Verbrauch von 1,7 Mio. Nm³ (2003) bzw. 1,5 Mio. Nm³ (2004) pro Monat vor.

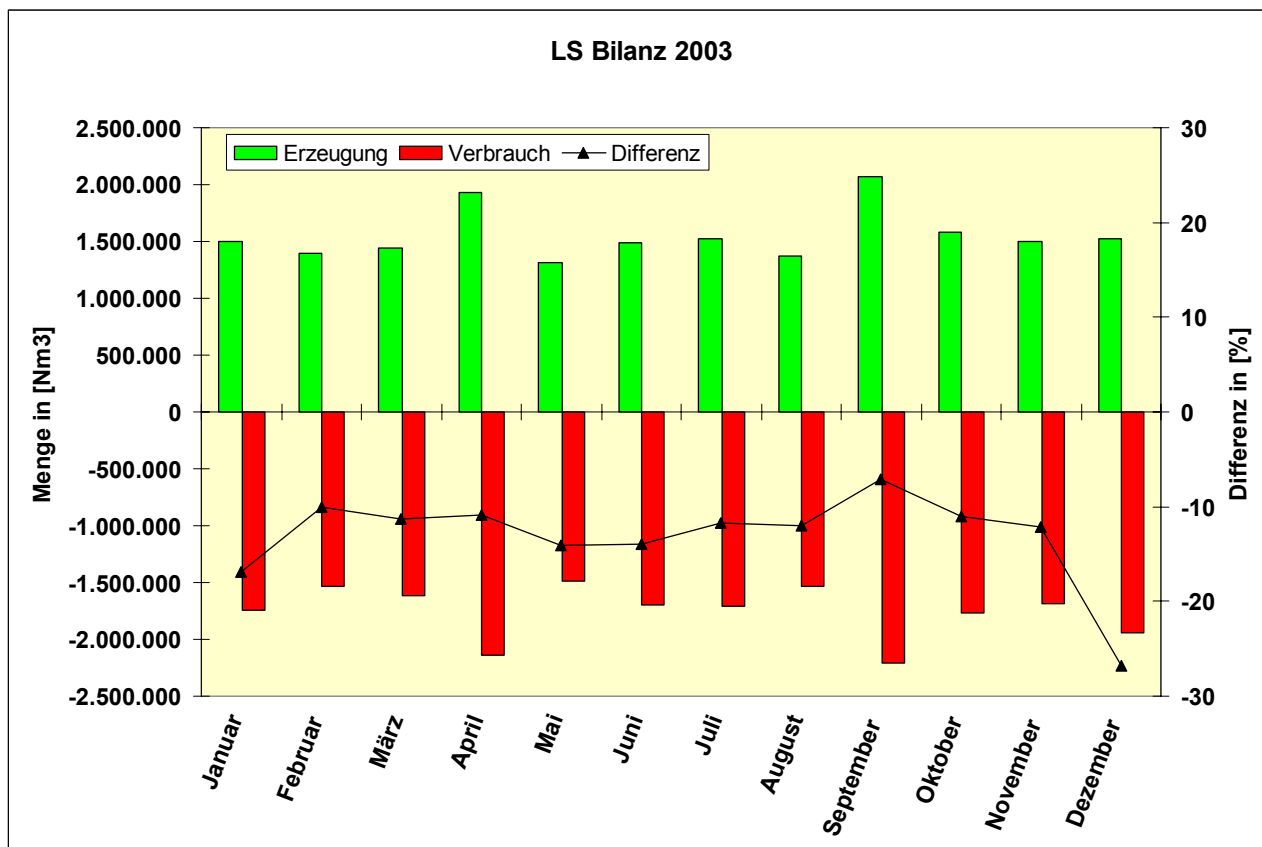


Abbildung 11: Bilanz der Steuerluftversorgung 2003

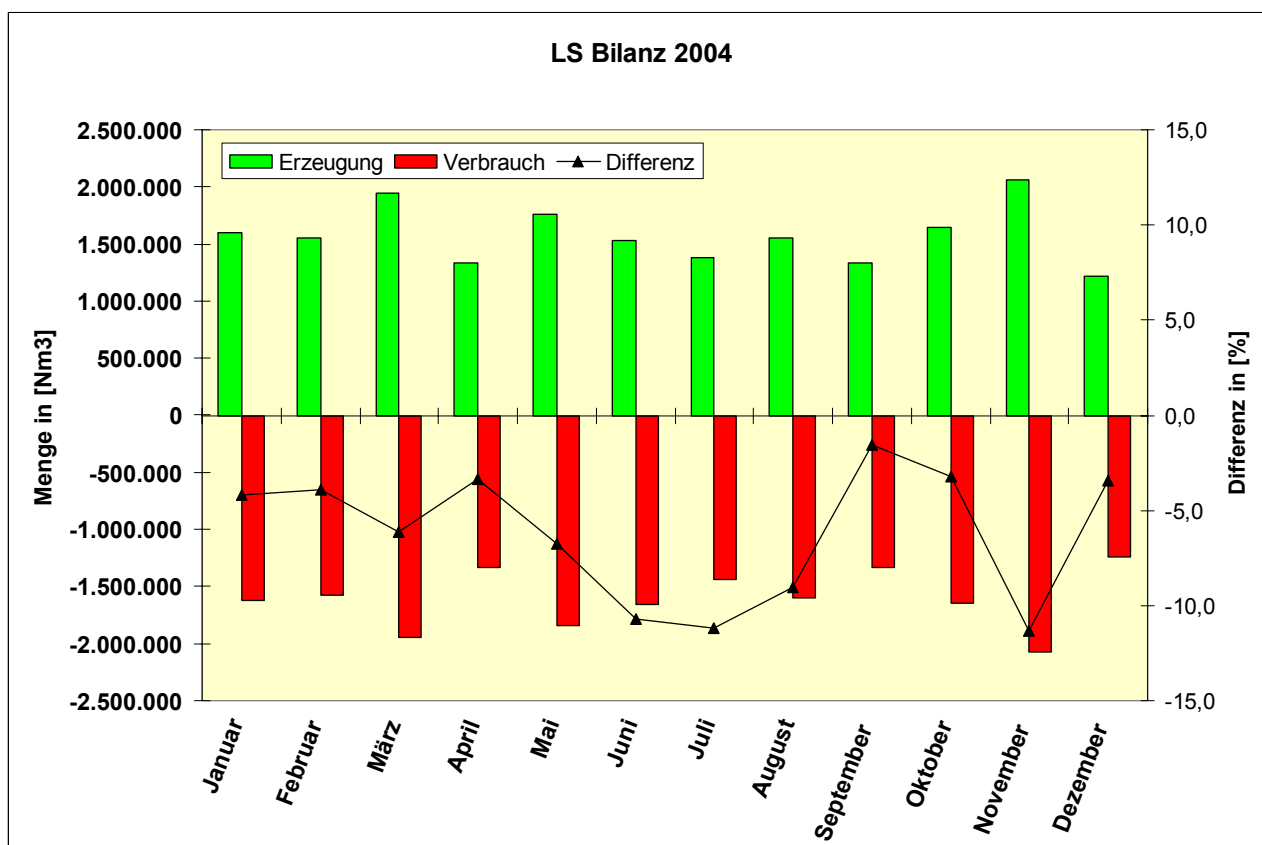


Abbildung 12: Bilanz der Steuerluftversorgung 2004

4.1.2 Verbrauch Steuerluft

Abbildung 13 zeigt die Verbrauchsschwerpunkte des Steuerluftverbrauchs. Die Zahlen in der Legende beziehen sich auf die Zählerbezeichnungen der Abnahmestelle. Tabelle 7 fasst die Standorte der einzelnen Zähler zusammen. Dargestellt sind sowohl die absoluten Zahlen als auch die relativen Anteile.

Tabelle 7: Zuordnung der Zählernummern zu den Gebäuden

818	836	820	3.975	834	879	862	668	837	838	3.983	847
LS an LF	Bau 939 /938	Bau 925	LSO 925/926/927/936	Bau 935	Bau 927	Bau 926	Bau 844	Bau 851	Bau 881	Bau 882	Bau 904
795	3.998	622	805	3.973	9.972	745	1.349	681			
Bau 924	Bau 913	Bau 933	Bau 853	Bau 935	Bau 923	Bau 915	Bau 934	Bau 904			

Größter Verbraucher ist mit einem Anteil von ca. 50 % des gesamten Steuerluftverbrauchs der Bereich der Gebäude 939 und 938. Weitere große Verbraucher sind die Gebäude 925, LSO, 935 und 927. Auf die Überströmung in das Fabrikluftnetz (Messstelle 818) entfällt ein Anteil von ca. 5 % der Steuerlufterzeugung. Zusammen entfällt auf die genannten Bereiche ein Verbrauchsanteil von mehr als 85 %.

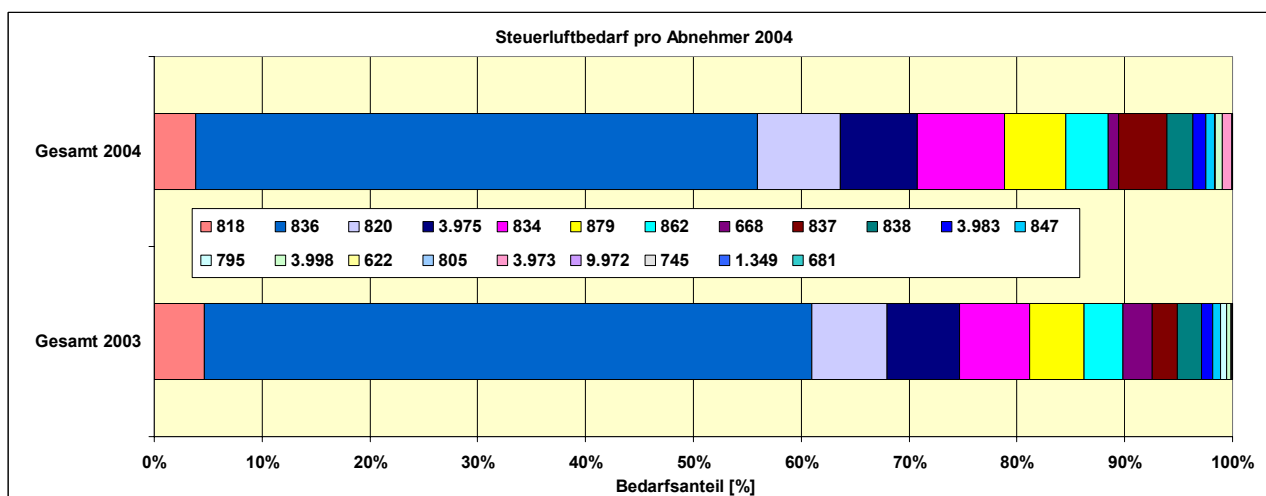
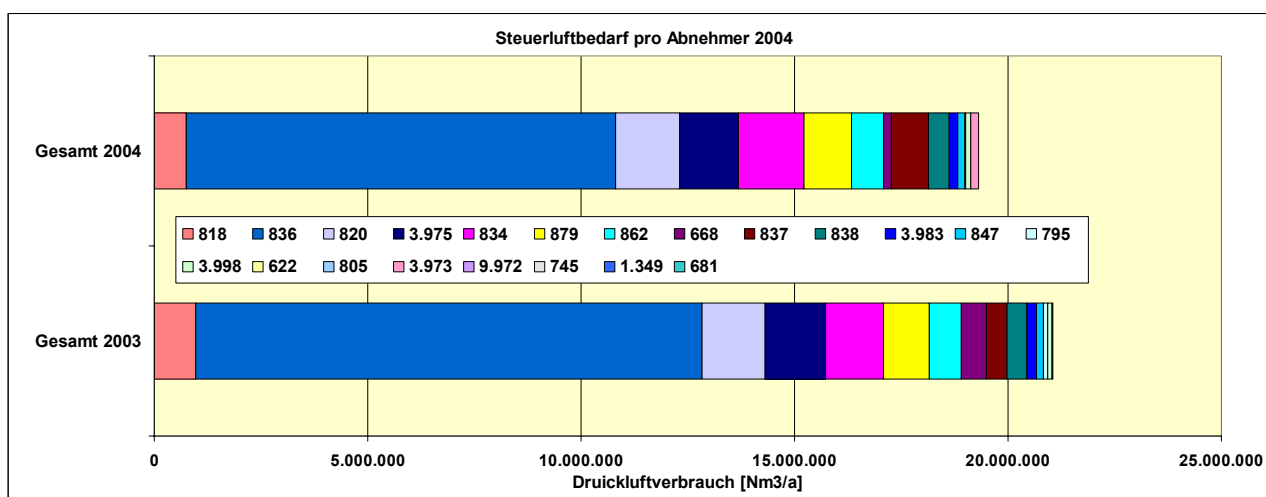


Abbildung 13: Aufteilung des Steuerluftbedarfs auf die einzelnen Abnehmer a) absolut; b) relativ

4.1.3 Erzeugung Steuerluft

Die Verteilung der Steuerluftzeugung auf die beiden Stationen zeigen Abbildung 14 und Abbildung 15. Deutlich zu erkennen ist die Zunahme der Erzeugung in den beiden Champion Kolbenkompressoren im Jahr 2004, vermutlich bedingt durch den Defekt eines ZR3 Kompressors.

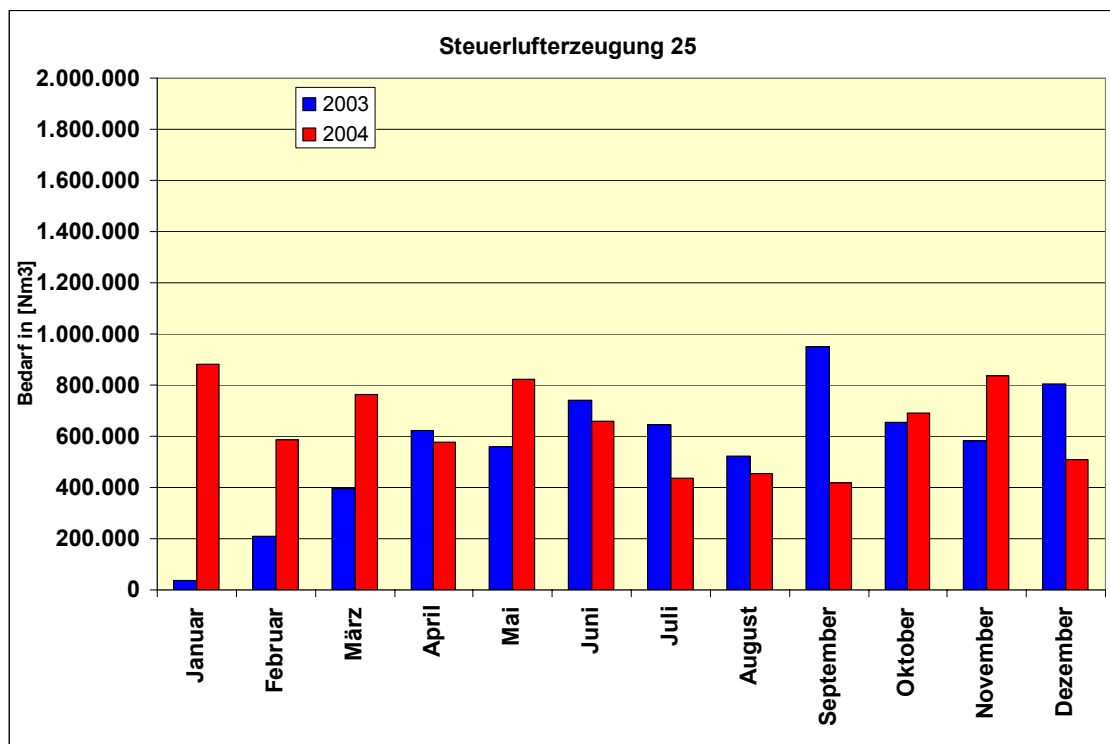


Abbildung 14: Steuerluftzeugung in den Champion Kolbenkompressoren

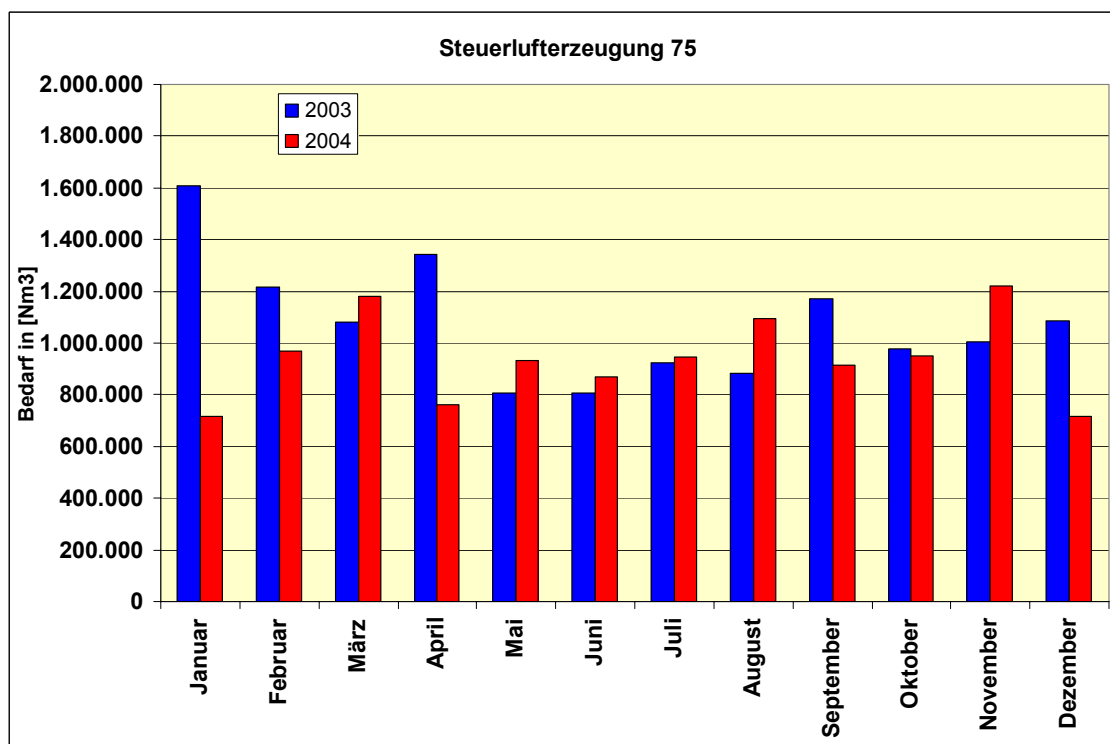


Abbildung 15: Steuerluftzeugung in den ZR Schraubenkompressoren

Im Jahr 2003 entfielen noch ca. 66 % der Erzeugung auf die Schraubenkompressoren, im Jahr 2004 sank dieser Anteil auf 60 %. Die beiden Kolbenkompressoren sind demnach verstärkt zum Einsatz gekommen.

4.2 Makroanalyse LF Versorgung

Analog zum Vorgehen für die Analyse der Steuerluftversorgung wurde auch für die vorliegenden Monatswerte der Fabrikluftversorgung eine Druckluftbilanz erstellt. Dazu wurden die durch die Messstellen erfasste Druckluftherzeugung und der Verbrauch auf Monatsbasis gegenübergestellt.

Im Vergleich zur Fabrikluft ist der Fehler zwischen den Messwerten für die Druckluftherzeugung und den Messwerten für den Verbrauch im Fabrikluftnetz deutlich größer und beträgt ca. 20 %. Zudem sank der Fehler nicht von 2003 nach 2004. Während Zähler im Steuerluftnetz ersetzt wurden erfolgte im Fabrikluftnetz kein Austausch der alten Zähler durch neue elektronische Zählwerke. Entsprechend konnte sich auch keine positive Veränderung des Fehlers einstellen.

Von 2003 nach 2004 ging zudem der Verbrauch an Fabrikluft von 6,8 auf 5,7 Millionen Nm^3/a zurück. Auch die aus dem Steuerluftnetz überströmte Luftmenge verringerte sich von 979.800 auf 748.149 Nm^3/a . Der Anteil der Überströmmenge verringerte sich von 2003 nach 2004 leicht von 14,4 auf 13,2 %. Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen die Bilanz der Fabrikluftversorgung auf Monatsbasis, Abbildung 18 stellt die Anteile der Bereitstellung durch den Fabrikluftverdichter bzw. durch Überströmen aus dem Steuerluftnetz dar. Deutlich zu erkennen sind die deutlich höheren Anteile in den Monaten Januar 2003 und Dezember 2003. In diesen Monaten wurden jeweils die Revisionen des Verdichters durchgeführt. Während dieser Revisionen muss der gesamte Fabrikluftbedarf durch Überströmen aus dem Steuerluftnetz gedeckt werden, was zu einem deutlichen Anstieg des Anteils aus dem Steuerluftnetz führt. Die verbrauchsstärksten Monate sind nach den Daten der Jahre 2003 und 2004 die Monate September bis Dezember.

Langfristig ist zu erwarten, dass der Anteil der Überströmmenge zunehmen wird. Bei einem abnehmenden Fabrikluftverbrauch erhöht sich typischerweise die Anzahl der Betriebstunden, in denen die Abnahme unter der minimalen Liefermenge des Fabrikluftverdichters liegt. Da in diesen Fällen überströmt wird müsste die Überströmmenge ansteigen, während gleichzeitig der Gesamtverbrauch rückläufig ist. Dies dürfte sich mittelfristig negativ auf den Energieverbrauch für die Fabrikluftherzeugung auswirken, sofern keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Schlüsselt man die Verbrauchsstellen der Fabrikluft einzeln auf so erkennt man sehr deutlich, dass einige wenige Messstellen den größten Anteil des Verbrauches erfassen. So laufen alleine über die Messstelle 829 ca. 80 % des gesamten Fabrikluftverbrauchs (Abbildung 20 und Abbildung 21). Weitere größere Fabrikluftverbraucher werden durch die Zähler 830 und 828 erfasst, wobei letztere Messstelle lediglich im Jahr 2004 deutlich herausragt. Es wird deshalb empfohlen zu überprüfen, ob sich diese Ergebnisse mit dem Erfahrungswissen der Mitarbeiter der Energieversorgung decken, ggf. sollten weitere Detailanalysen durchgeführt werden.

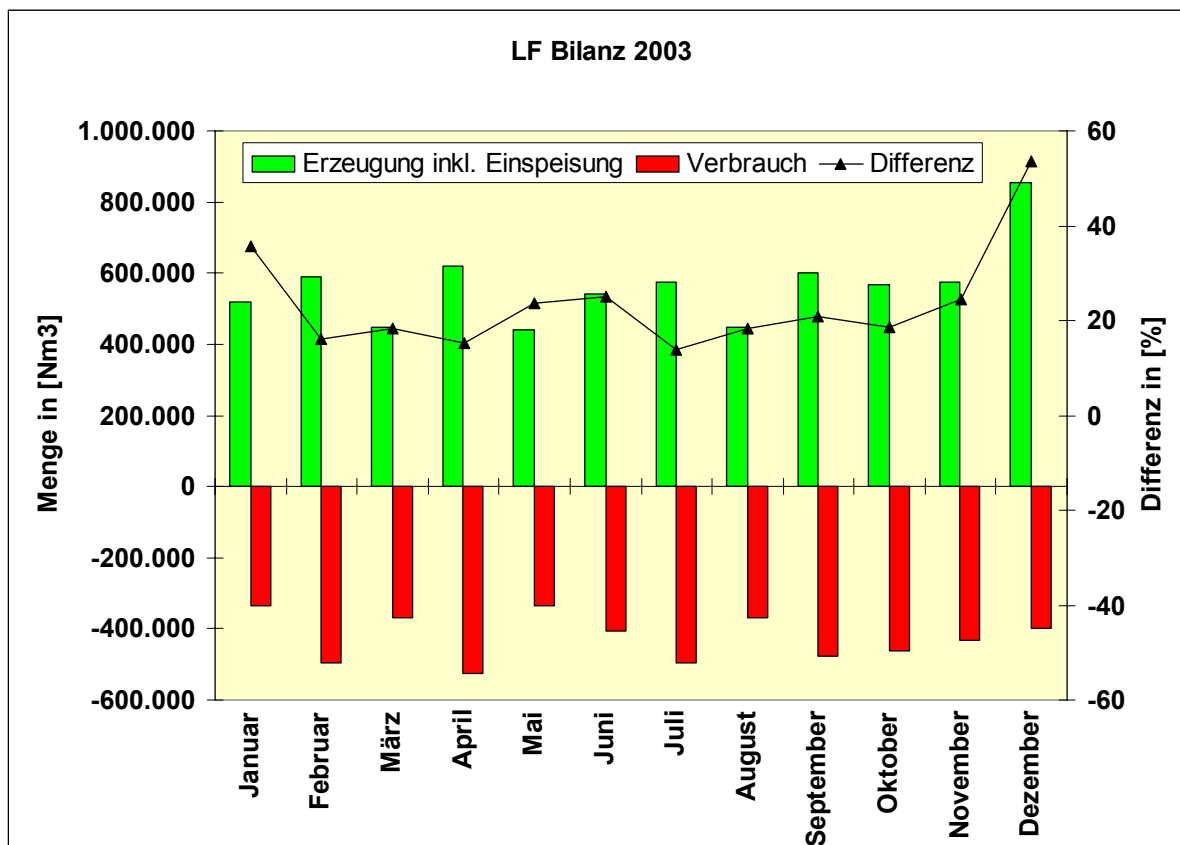


Abbildung 16: Bilanz der Fabrikluftversorgung im Jahr 2003

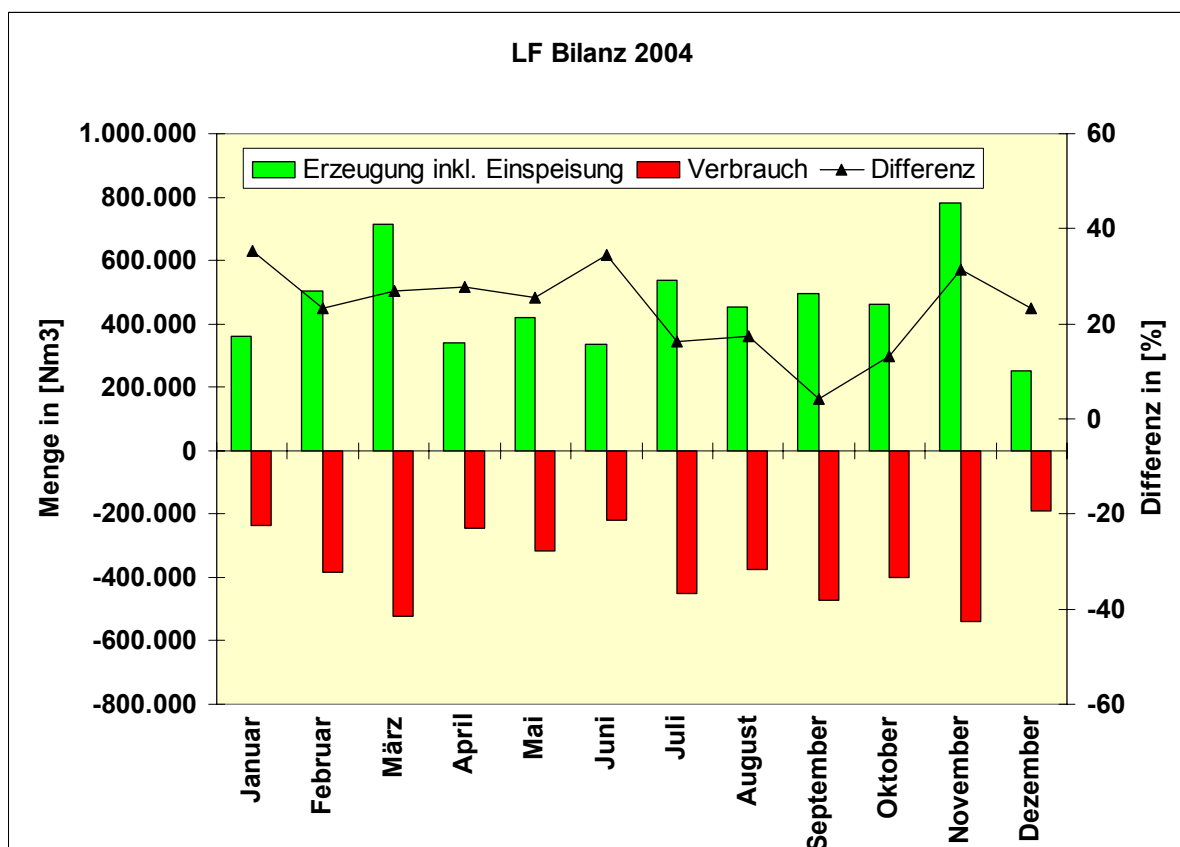


Abbildung 17: Bilanz der Fabrikluftversorgung im Jahr 2004

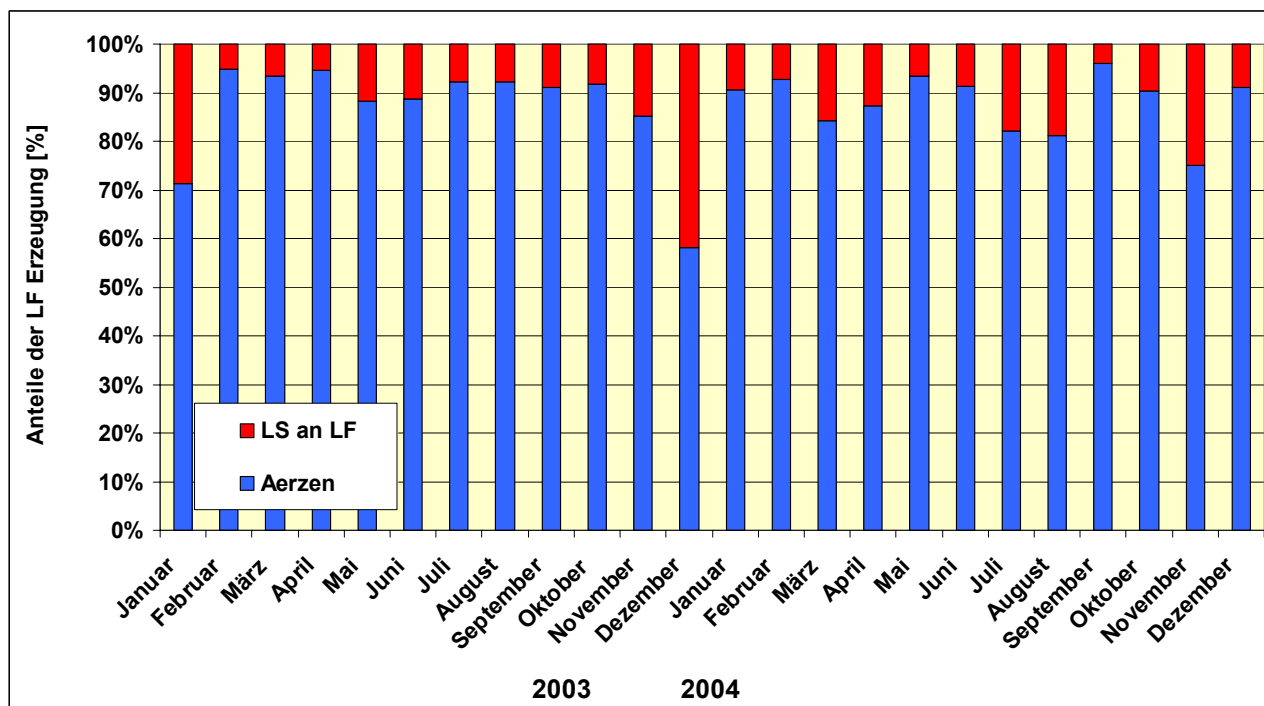


Abbildung 18: Anteil der Erzeugung des Fabrikluftkompressors an der Versorgung in Prozent

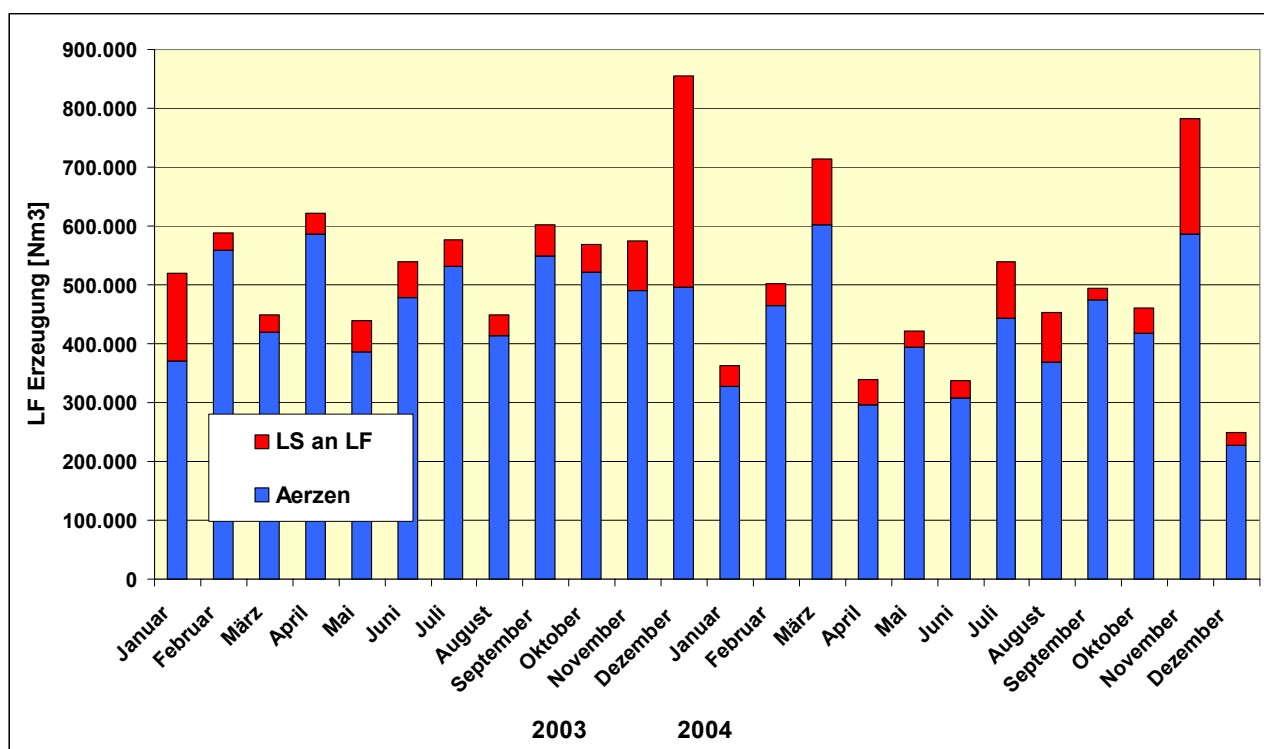


Abbildung 19: Anteil der Erzeugung des Fabrikluftkompressors an der Versorgung in absoluten Zahlen

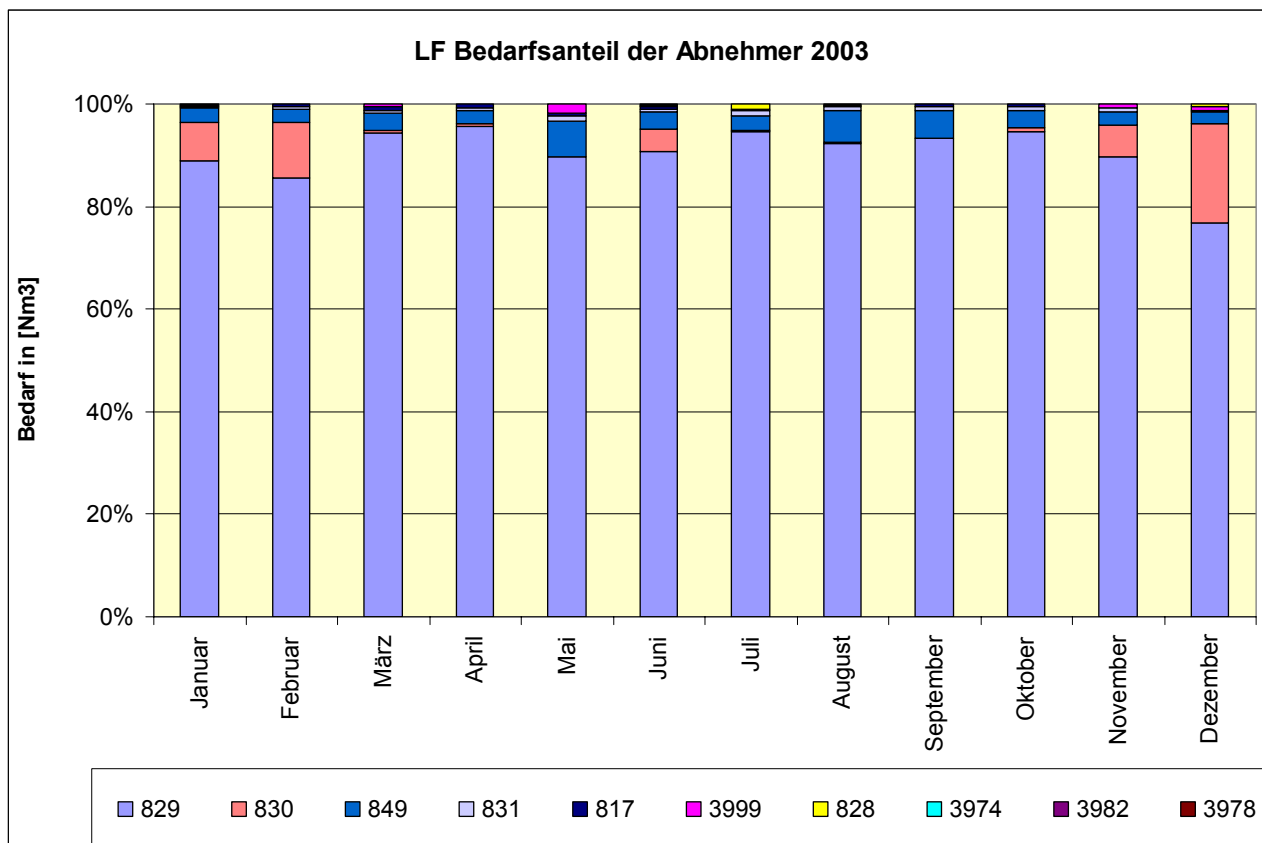


Abbildung 20: Verbrauchsanteile Fabrikluft nach Zählernummern im Jahr 2003

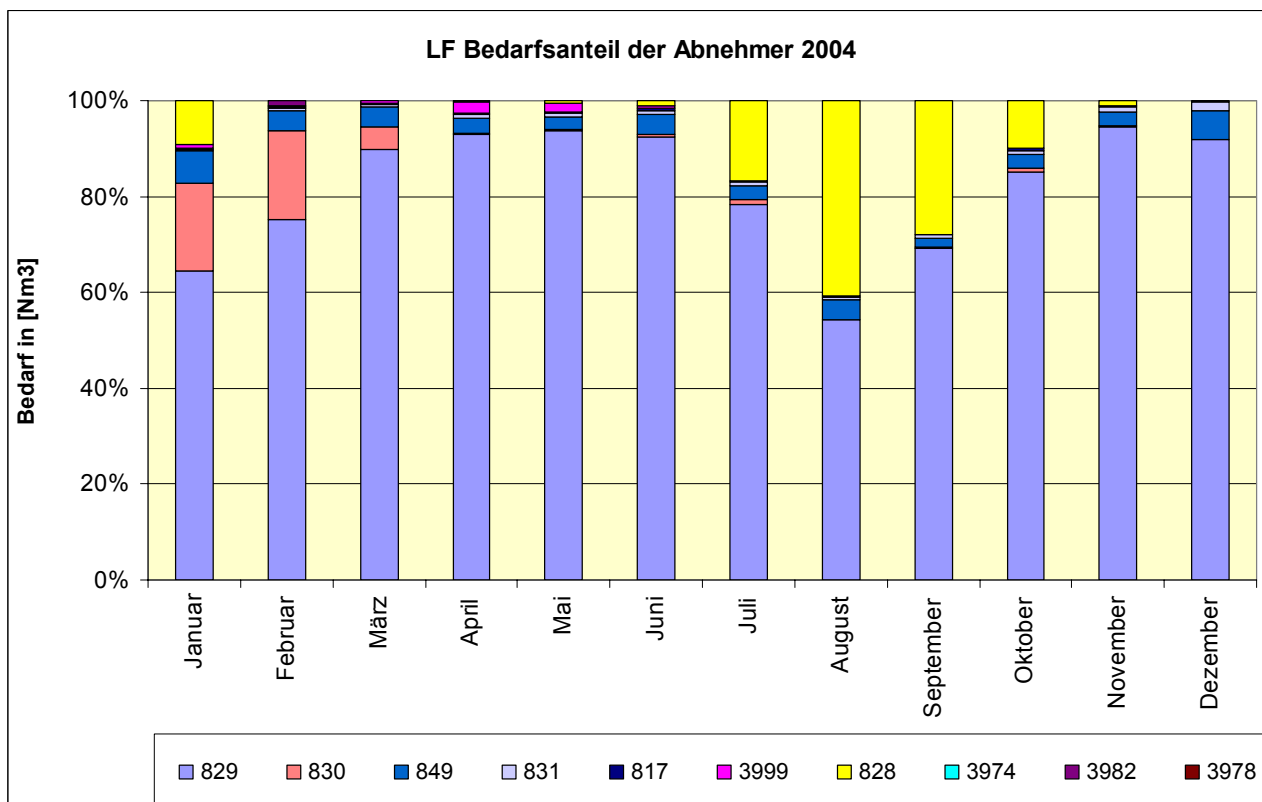


Abbildung 21: Verbrauchsanteile Fabrikluft nach Zählernummern im Jahr 2004

4.3 Mikro Analyse Steuerluftversorgung

Im Rahmen der Untersuchungen wurde für den Zeitraum einer Woche, von Montag 6.12.2004 0.00 Uhr bis zum Sonntag 12.12.2004 24.00 Uhr, eine detailliertere Analyse der Druckluftherzeugung durchgeführt. Dazu wurden die Lastzustände der Kompressoren aus dem Leitsystem als Minutenwerte exportiert und ausgewertet. Zusätzlich wurden weitere Daten erfasst, u.a. Temperatur, Druck und Feuchte der Umgebungsluft.

4.3.1 Raumlufzustand

Abbildung 22 zeigt den Zustand der Außenluft (Umgebungszustand) im Auswertungszeitraum. In diesem Zeitraum viel kein Niederschlag und die Temperaturen lagen knapp oberhalb des Nullpunktes. Der atmosphärische Taupunkt lag zwischen 0 und -4 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 70 und 80 %.

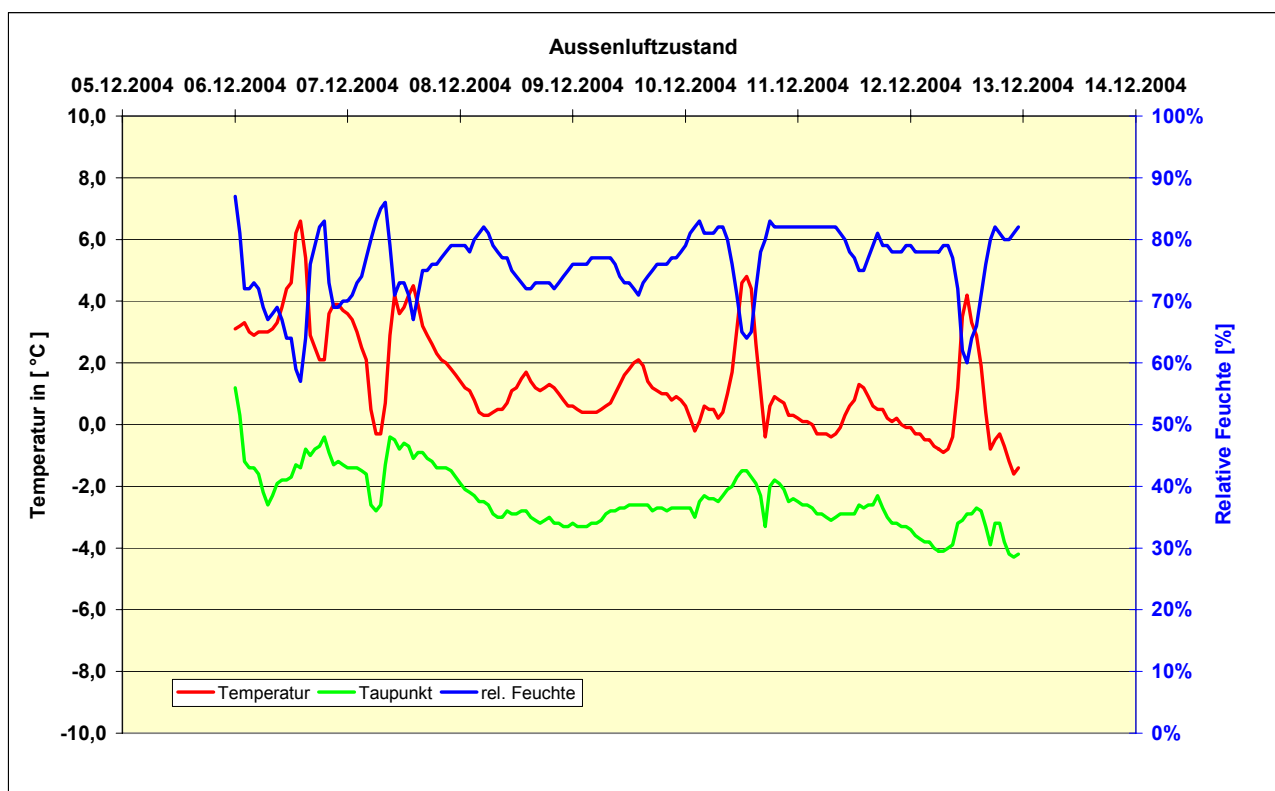


Abbildung 22: Temperatur und relative Feuchte der Umgebungsluft im Auswertungszeitraum

Der Luftdruck schwankte im Messzeitraum zwischen 1025 und 1031 hPa, s. Abbildung 23. Bei einem mittleren Systemdruck von 6,1 bar_ü schwankte das Druckverhältnis bei der Verdichtung somit etwa zwischen $7100/1031 = 6,89$ und $7100/1025 = 6,93$ oder etwa um ein halbes Prozent. Der Einfluss des wechselnden Umgebungsdruckes auf die Liefermenge der Schraubenverdichter kann deshalb innerhalb der Messwoche vernachlässigt werden.

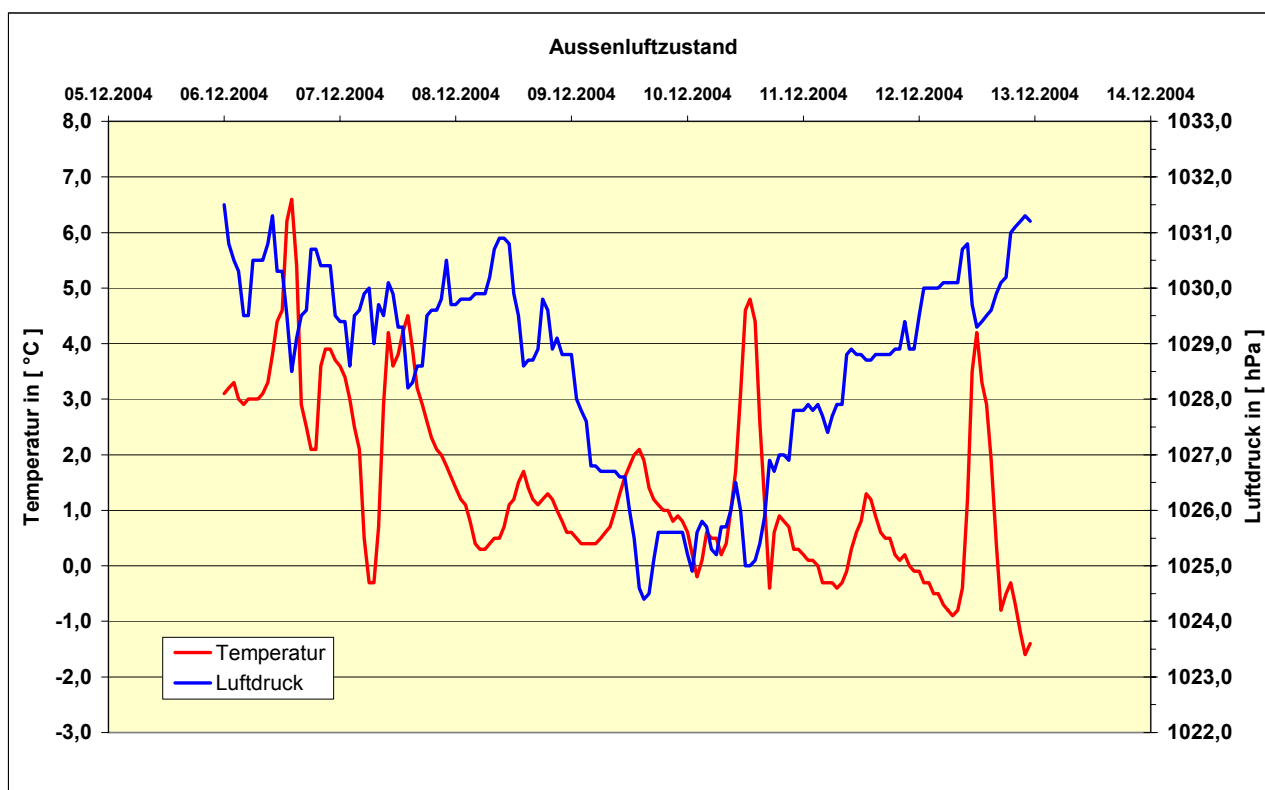


Abbildung 23: Temperatur und Luftdruck der Umgebungsluft im Auswertezeitraum

4.3.2 Druckluftherzeugung

Die folgenden Abbildungen zeigen die Auswertung der Druckluftherzeugung auf Basis der mit der Leittechnik erfassten Kompressorensignale in der Woche von Montag 6.12.04 bis Sonntag 12.12.04. Im Gegensatz zu den mit den Volumenstrommessgeräten erfassten Mengenströmen erfolgt die Berechnung der Volumenströme auf Basis der Kompressordaten. Diese sind auf einen normalisierten Ansaugzustand von 20 °C und 1 bar zurückgerechnet. Durch Abweichungen der Umgebungsbedingungen vom Normalzustand kann so die tatsächliche Menge der Druckluftherzeugung von den berechneten Werten abweichen. Dies gilt auch für den Fall, dass die Liefermenge durch die Zunahme interner Leckagen aufgrund von Verschleiß im Kompressor im Laufe der Zeit geringfügig zurückgeht, insbesondere bei Kolbenkompressoren. Der Fehler ist in den meisten Fällen jedoch nicht relevant. Sofern jedoch Normkubikmeter mit Normalkubikmeter verglichen werden sollen, ist eine Korrektur mit dem Verhältnis von Norm- (273 K) zu Normaltemperatur (293 K) durchzuführen. Der Unterschied beträgt ca. 7 %.

Die detaillierte Auswertung der Steuerluftherzeugung zeigt das folgende Bild: Montags morgens läuft der Kompressor ZR4 in Grundlast, der Druckluftbedarf ist jedoch noch zu niedrig um einen kontinuierlichen Betrieb zu ermöglichen. Aus diesem Grund geht der Kompressor in den Last-/Leerlaufbetrieb. Erst ab ca. 6.00 Uhr wird der Verbrauch groß genug, so dass der ZR4 Kompressor ohne Leerlaufbetrieb durchlaufen kann. Im Folgenden werden die Verbrauchsänderungen dann durch die beiden Kolbenkompressoren abgefahren. Allerdings läuft an diesem Tag der ZR3 Kompressor 4-mal kurz an, um die Spitzen auszugleichen. Deutlich zu erkennen ist das Schalten der beiden Kolbenkompressoren zwischen Halblast und Vollast. Am Dienstag ergibt sich ein ähnliches Bild, jedoch entfällt die Anfahrphase in den Morgenstunden, so dass die Grundlastmaschine ZR4 ohne Schaltvorgänge durchlaufen kann. Auch am Dienstag kommt der Schraubenkompressor ZR3 mehrfach kurzfristig zum Einsatz.

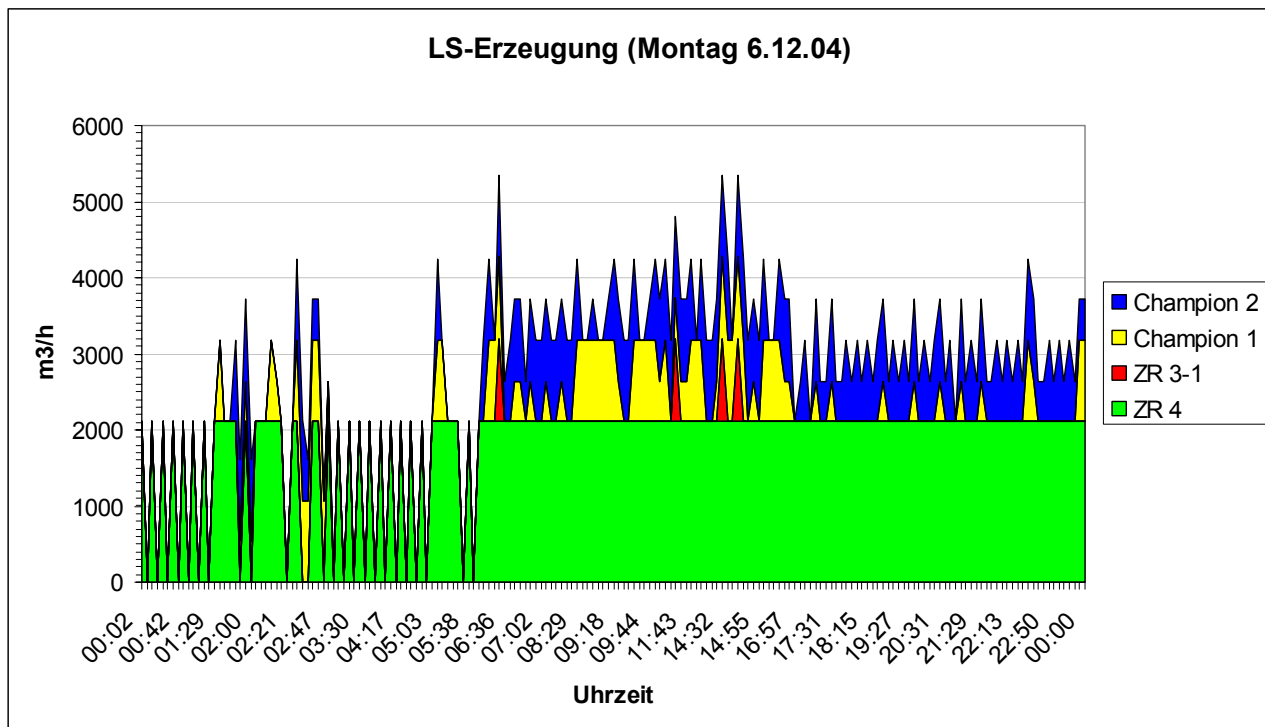


Abbildung 24: Indirekte Bestimmung der Drucklufterzeugung (Mo. 6.12.04)

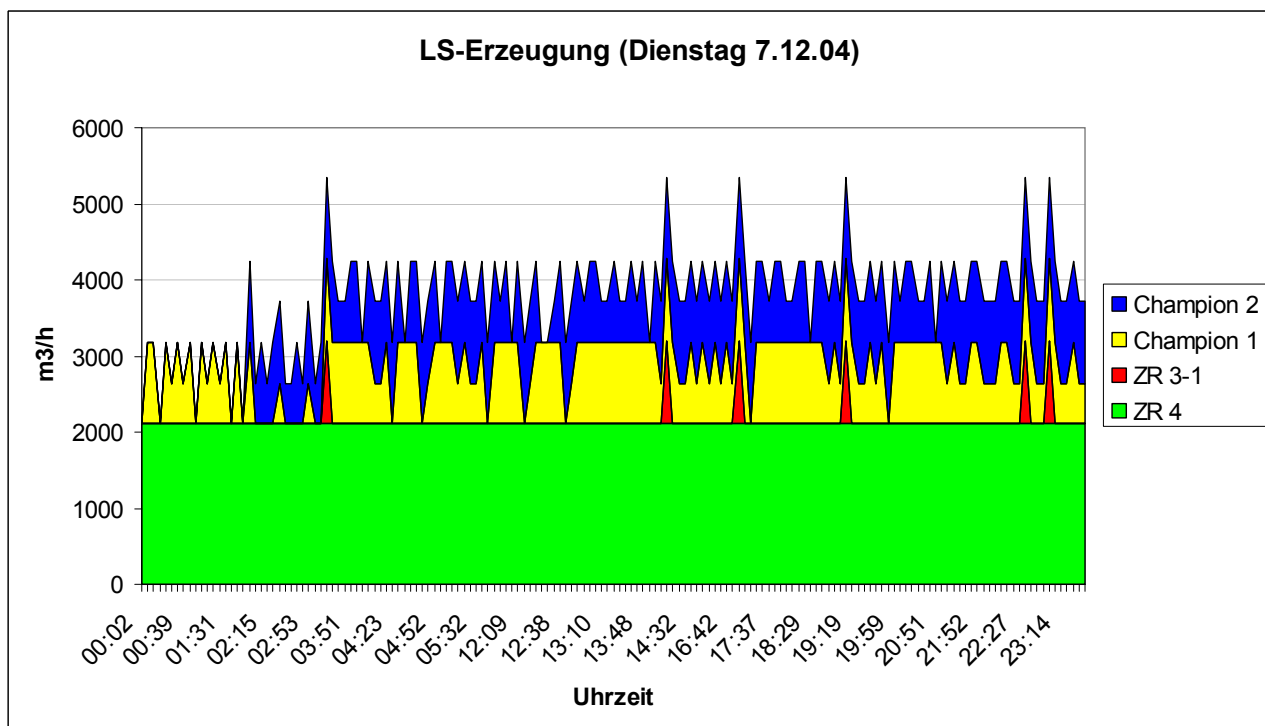


Abbildung 25: Indirekte Bestimmung der Drucklufterzeugung (Di. 7.12.04)

In den folgenden Tagen ist der Druckluftbedarf dann etwas geringer, der Kompressor ZR3 kommt nun nicht mehr zum Einsatz. Der Kompressor ZR4 läuft ohne Schaltvorgänge in der Grundlast durch, die beiden Kolbenkompressoren schalten zwischen Vollast, Halblast und Stopp, um den schwankenden Verbrauch zu kompensieren.

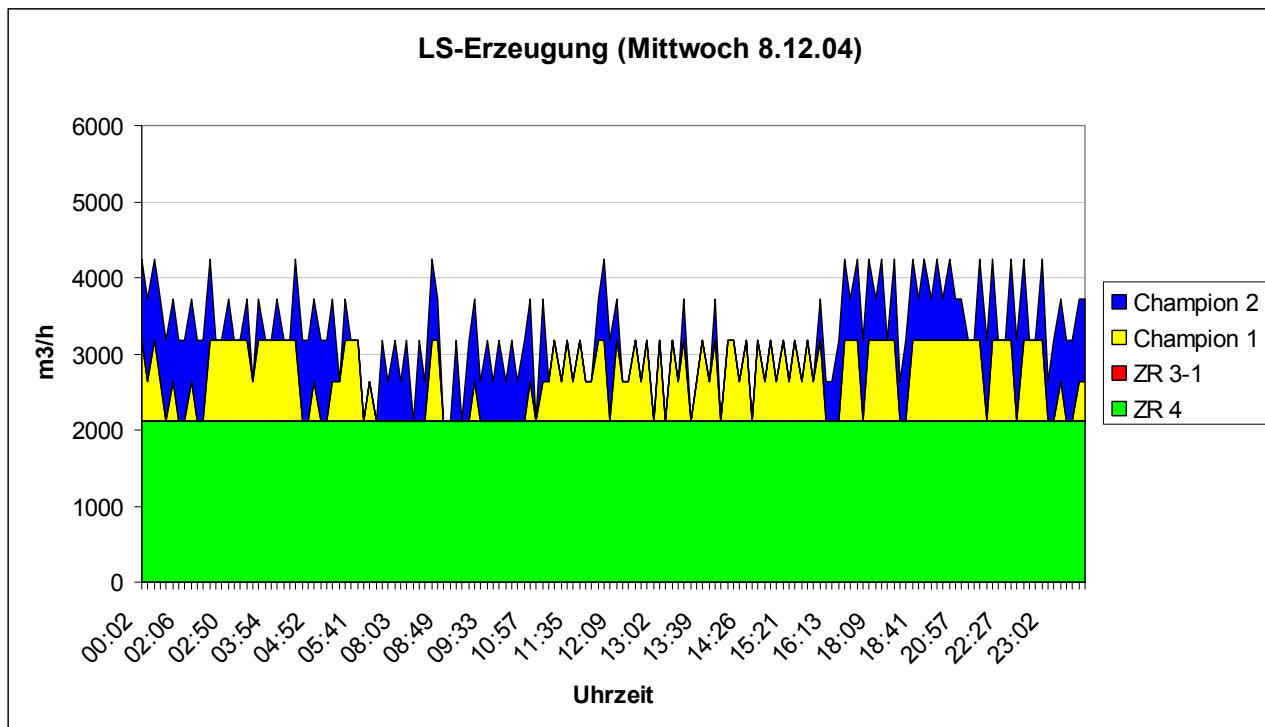


Abbildung 26: Indirekte Bestimmung der Drucklufterzeugung (Mi. 8.12.04)

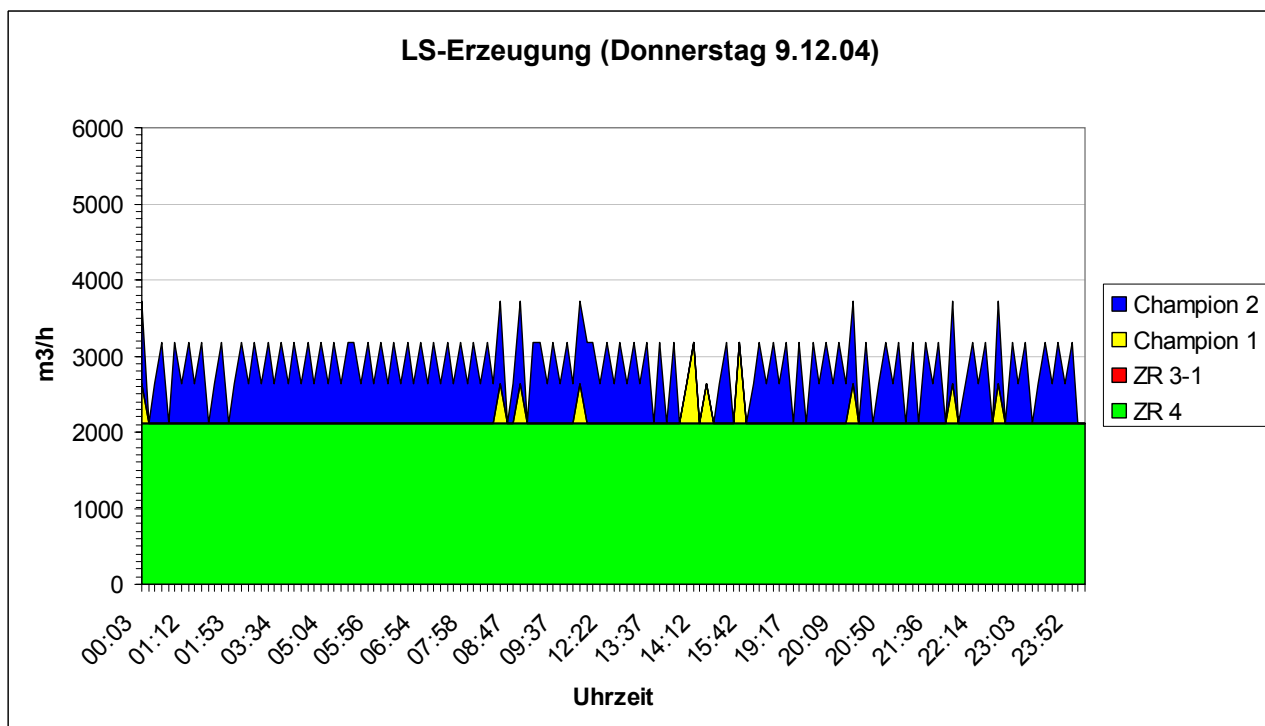


Abbildung 27: Indirekte Bestimmung der Drucklufterzeugung (Do. 9.12.04)

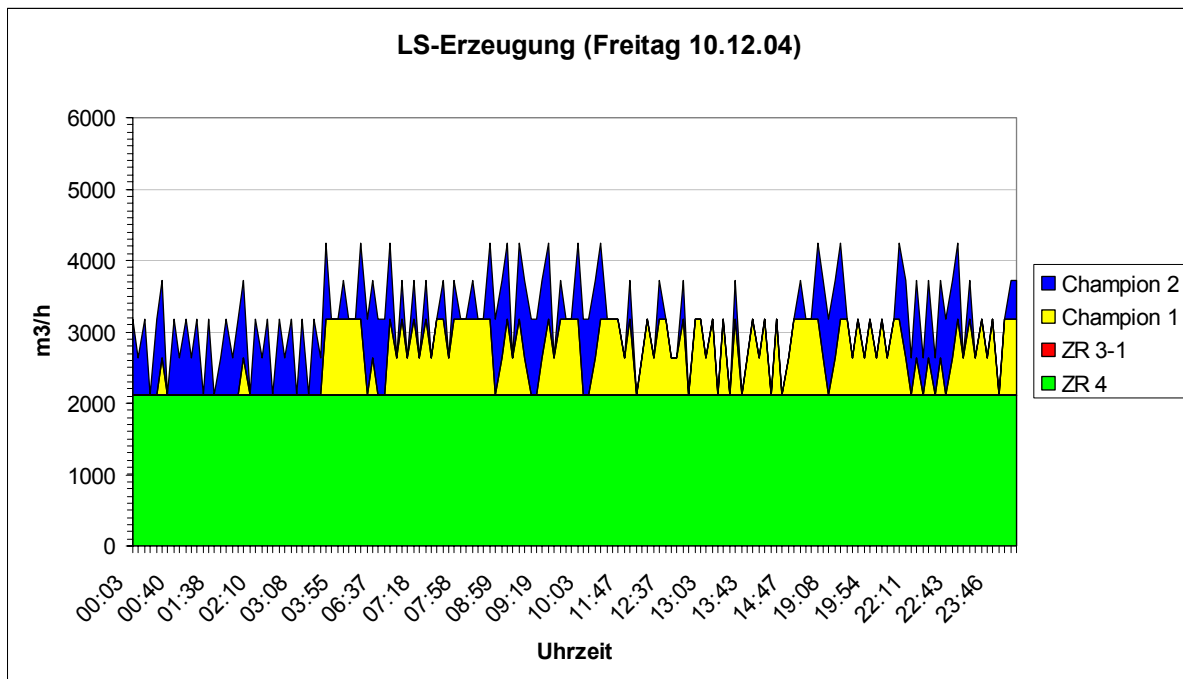


Abbildung 28: Indirekte Bestimmung der Drucklufterzeugung (Fr. 10.12.04)

Am Samstag gegen 6.00 Uhr ändert sich die Schaltreihenfolge der Steuerung. Mit dem Ende der Schicht wird der Kompressor ZR4 außer Betrieb genommen. Der Druckluftbedarf wird jetzt allein durch die beiden Kolbenkompressoren gedeckt. Auffällig dabei ist, dass meist beide Kolbenkompressoren zeitgleich zwischen Halblast und Volllast hin- und herschalten. Dadurch treten relativ viele Schaltvorgänge auf, die die Kompressoren mechanisch beanspruchen. Zu prüfen wäre deshalb, ob die Zuschaltverzögerung der beiden Kolbenkompressoren unterschiedlich eingestellt werden kann. Dadurch könnte ggf. ein Kompressor mit Volllast durchlaufen und nur einer der beiden Kolbenkompressoren würde zwischen Volllast und Halblast schalten.

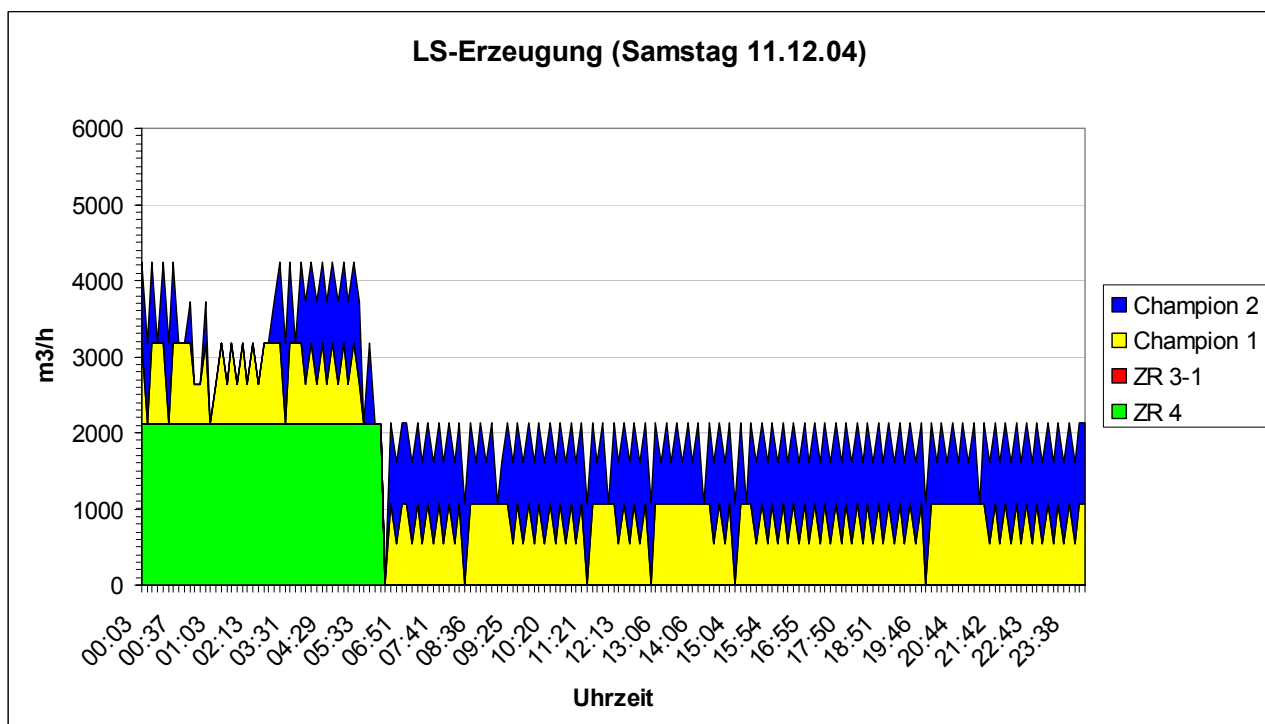


Abbildung 29: Indirekte Bestimmung der Drucklufterzeugung (Sa. 11.12.04)

Am Sonntag um 23.00 Uhr wird die Vorrangschaltung der Kompressoren erneut umgestellt. Nun wird wieder vorrangig der Schraubenverdichter ZR4 eingesetzt. Noch ist der Druckluftbedarf jedoch zu gering, um einen durchlaufenden Betrieb des Verdichters zu ermöglichen. Dies ist erst montags ab ca. 6.00 Uhr möglich.

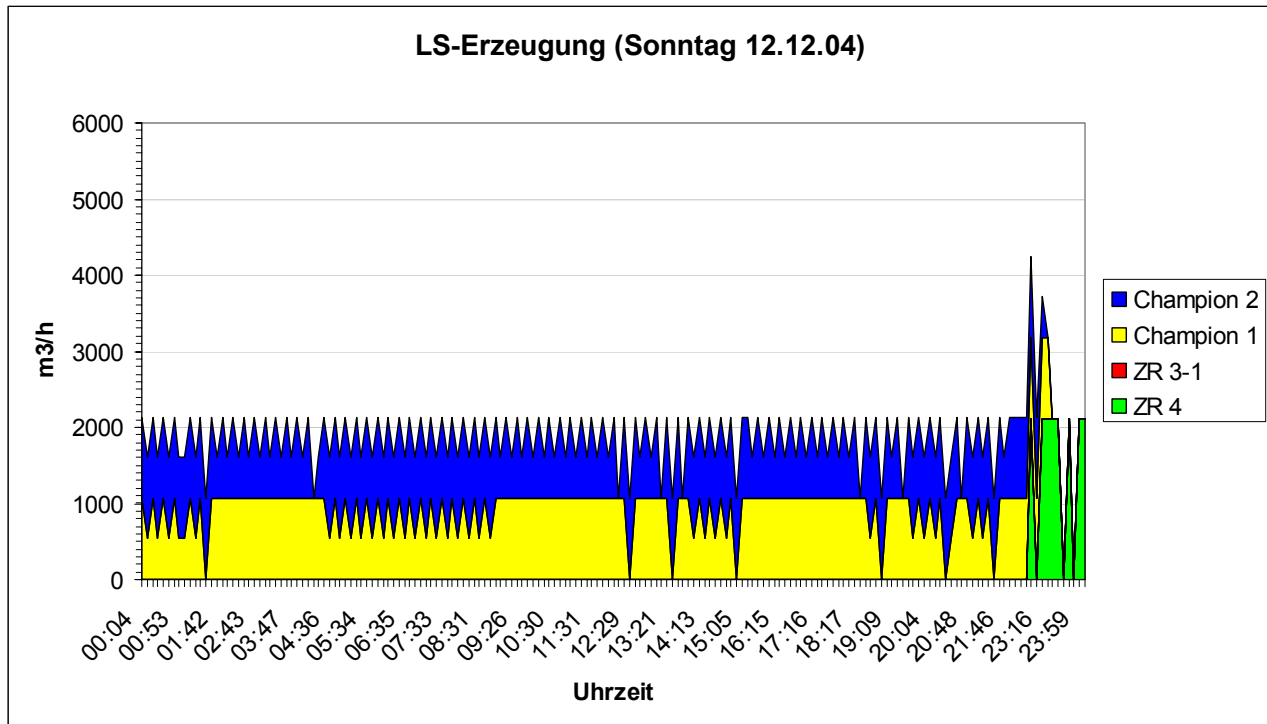


Abbildung 30: Indirekte Bestimmung der Drucklufterzeugung (So. 12.12.04)

Auf Basis der Messwerte kann man zudem eine Druckluftverbrauchs-Dauerlinie konstruieren, Abbildung 31. Anhand des Profils kann man deutlich erkennen, dass die Firma Clariant über eine sehr günstige Verbrauchsstruktur verfügt. Der Verbrauch ist über das ganze Jahr relativ konstant, so dass eine gute Ausnutzung der installierten Anlagen erreicht wird. Zudem werden durch den relativ konstanten Verbrauch in Verbindung mit den Halblastgesteuerten Kompressoren die Leerlaufzeiten der Kompressoren relativ gering, was sich positiv auf den Energieverbrauch auswirkt.

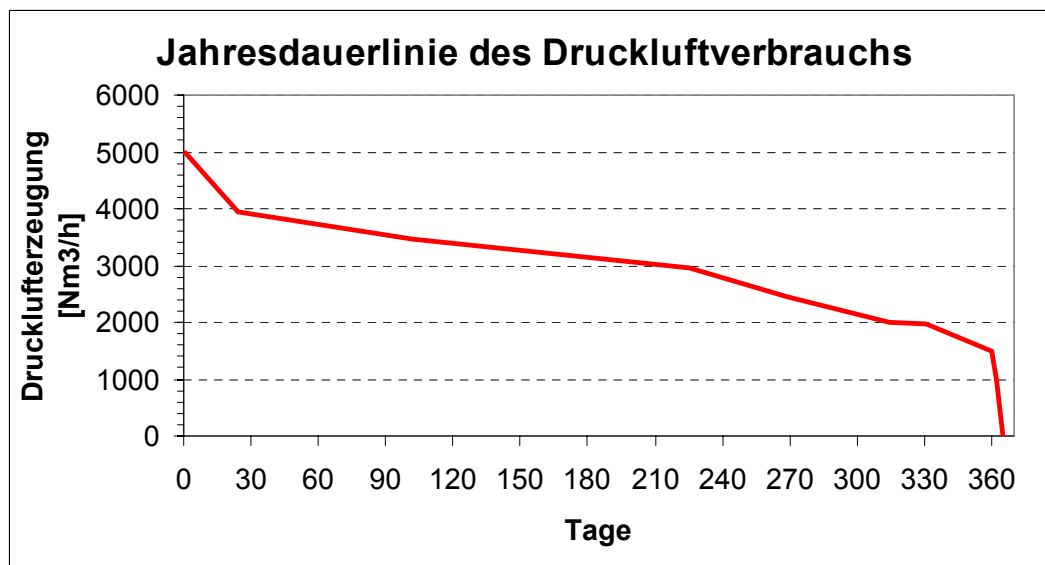


Abbildung 31: Jahresdauerlinie des Steuerluftverbrauchs

Abbildung 32 zeigt den Verlauf des Netzdrucks exemplarisch für Mittwoch, 8.12.2004. Dargestellt sind die Messergebnisse der Drucksonden in den beiden Druckluftstationen. Der Netzdruck bewegt sich dabei stets in einem Bereich zwischen 5,7 und 6,3 bar_ü. Das Druckband von 0,6 bar zeigt kein bzw. nur ein minimales weiteres Optimierungspotential. Zu prüfen wäre, ob der Netzdruck ggf. um 0,1 oder 0,2 bar abgesenkt werden könnte. Jedes Zehntel Druckabsenkung führt zu einer Energieeinsparung von etwa 0,7%.

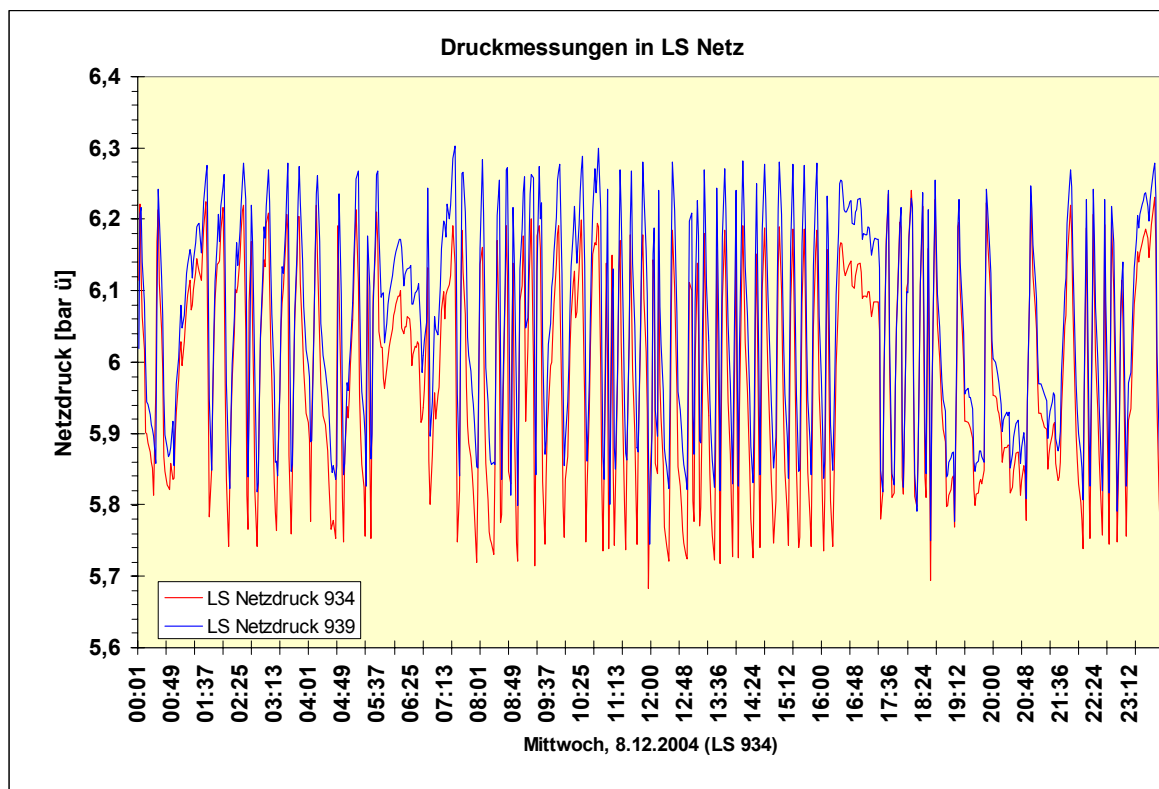


Abbildung 32: Verlauf des Netzdruck am Mi 8.12.2004 an den beiden Messpunkten Schraubenkompressoren (939) und Kolbenkompressoren (934)

Auffallend ist, dass die höchsten Drücke im Bereich der Schraubenkompressoren auftreten, die niedrigsten Drücke im Bereich der Druckluftstation mit den Kolbenkompressoren, dass das Druckband an beiden Stationen aber gleich groß ist. Die Verschiebung ist auf die gewählten Druckschaltpunkte zurückzuführen. Dadurch wird sichergestellt, dass bei ansteigendem Druck im Netz zuerst die Kolbenkompressoren abschalten.

Da die Einstellungen des Druckbandes und des Druckes sich an den einzelnen Wochentagen nicht unterscheiden sollte geprüft werden, ob eine Druckabsenkung, z.B. auf 5 bar, im Steuerluftnetz von Samstag 6.00 Uhr bis Sonntag 23.00 Uhr möglich ist.

Basierend auf den Messwerten kann eine Auswertung in Bezug auf Energieverbrauch und Kosten der Druckluftherzeugung durchgeführt werden. Tabelle 8 fasst die Ergebnisse zusammen. Insgesamt wurden für die Druckluftherzeugung (ohne Aufbereitung) im Messzeitraum 43.460 kWh Strom benötigt, hochgerechnet auf Jahr 2.259.919 kWh. Dabei beträgt der Lastanteil 98,12 %, es treten demnach nur sehr wenige Leerlaufstunden auf, was sich günstig auf den Energieverbrauch auswirkt. Hochgerechnet auf ein Jahr betragen die Leerlaufkosten nur 5.107 CHF. Die niedrigsten Druckluftkosten verursacht der Grundlastkompressor ZR4, da er nahezu immer in Volllast laufen kann und zudem den besten Wirkungsgrad aufweist. Insgesamt ergeben sich Energiekosten für die Steuerluftherzeugung von 10,91 CHF/1000 m³. Bei der Kostenberechnung wurde ein Strompreis von 0,12 CHF/kWh unterstellt.

Tabelle 8: Stromverbrauch und Kosten der Steuerluftherzeugung im Messzeitraum

	LS	LS	LS	LS	LS	
	Geb. 939	Geb. 939	Geb. 939	Geb. 934	Geb. 934	
Gesamt kWh	ZR4	ZR3	ZR3	Champion 1	Champion 2	Summe
Montag, 6. Dezember 2004	3.920	156	0	821	1.283	6.180
Dienstag, 7. Dezember 2004	4.464	188	0	1.868	1.951	8.471
Mittwoch, 8. Dezember 2004	4.491	2	0	1.364	1.274	7.130
Donnerstag, 9. Dezember 2004	4.464	0	0	84	1.507	6.055
Freitag, 10. Dezember 2004	4.464	0	0	1.143	1.289	6.897
Samstag, 11. Dezember 2004	1.115	0	0	1.721	1.860	4.697
Sonntag, 12. Dezember 2004	259	9	0	1.913	1.850	4.030
Summe pro Woche	23178	354	0	8914	11014	43.460
Summe pro Jahr (52 Wochen)	1205243	18433	0	463509	572734	2.259.919
Anteil Last kWh	99,18%	64,60%		96,72%	98,09%	98,12%
Lastkosten (CHF/Woche)	2.758	27	0	1.035	1.297	5.117
Leerlaufkosten (CHF/Woche)	23	15	0	35	25	98
Lastkosten (CHF/a)	143.440	1.429	0	53.796	67.419	266.084
Leerlaufkosten (CHF/a)	1.190	783	0	1.825	1.309	5.107
Liefermenge m³	ZR4	ZR3	ZR3	Champion 1	Champion 2	Summe
Montag, 6. Dezember 2004	43.085	1.005	0	8.536	13.676	66.302
Dienstag, 7. Dezember 2004	50.630	1.428	0	20.541	21.751	94.351
Mittwoch, 8. Dezember 2004	50.936	0	0	14.382	13.656	78.975
Donnerstag, 9. Dezember 2004	50.630	0	0	569	15.979	67.179
Freitag, 10. Dezember 2004	50.630	0	0	11.537	13.746	75.914
Samstag, 11. Dezember 2004	12.241	0	0	18.612	20.573	51.426
Sonntag, 12. Dezember 2004	2.565	0	0	21.081	20.281	43.928
Summe pro Woche	260718	2433	0	95259	119663	478.073
Summe pro Jahr (52 Wochen)	13557358	126527	0	4953464	6222462	24.859.811
Energiekosten in CHF pro 1000 m ³	10,67	17,48		11,23	11,05	10,91

Mit den Betriebsdaten ergeben sich dann die in Tabelle 9 zusammengefassten spezifischen Leistungen der Kompressoren. Diese unterscheiden sich von den spezifischen Leistungsdaten der Kompressoren bei Volllast, da nun der tatsächliche Betrieb der Anlagen berücksichtigt wird. Aufgrund des Einsatzes der Maschinen weichen die Daten jedoch nur geringfügig ab und die Verhältnisse bleiben nahezu unverändert.

Tabelle 9: Spezifischer Leistungsbedarf auf Basis der Betriebsdaten

	ZR4	ZR3	ZR3	Champion 1	Champion 2	Gesamt
spez. Leistung [kWh/m ³]	0,089	0,146	n.a.	0,094	0,092	0,091
spez. Leistung [kWh/Nm ³]	0,095	0,156	n.a.	0,100	0,099	0,098

Tabelle 10: Detaillierung des Stromverbrauchs nach Last- und Leerlauf der Kompressoren im Messzeitraum

Last kWh	LS Geb. 939	LS Geb. 939	LS Geb. 939	LS Geb. 934	LS Geb. 934	
	ZR4	ZR3	ZR3	Champion 1	Champion 2	Summe
Montag, 6. Dezember 2004	3.799	95	0	768	1.241	5.902
Dienstag, 7. Dezember 2004	4.464	134	0	1.853	1.941	8.393
Mittwoch, 8. Dezember 2004	4.491	0	0	1.291	1.234	7.016
Donnerstag, 9. Dezember 2004	4.464	0	0	55	1.475	5.994
Freitag, 10. Dezember 2004	4.464	0	0	1.050	1.239	6.753
Samstag, 11. Dezember 2004	1.079	0	0	1.705	1.839	4.623
Sonntag, 12. Dezember 2004	226	0	0	1.899	1.835	3.960
Summe pro Woche	22.987	229	0	8.621	10.804	42.642
Summe pro Jahr (52 Wochen)	1.195.330	11.908	0	448.302	561.822	2.217.363
Leerlauf kWh						
Montag, 6. Dezember 2004	122	62	0	53	42	278
Dienstag, 7. Dezember 2004	0	53	0	15	10	78
Mittwoch, 8. Dezember 2004	0	2	0	72	40	114
Donnerstag, 9. Dezember 2004	0	0	0	29	32	61
Freitag, 10. Dezember 2004	0	0	0	93	50	144
Samstag, 11. Dezember 2004	36	0	0	16	21	73
Sonntag, 12. Dezember 2004	33	9	0	14	15	70
Summe pro Woche	191	125	0	292	210	818
Summe pro Jahr (52 Wochen)	9.913	6.525	0	15.207	10.912	42.556

5 Optimierungsmöglichkeiten

5.1 Optimierung der Steuerung

Wie bereits bei der Beschreibung der Ergebnisse erwähnt, kommt es in Bezug auf das Schaltverhalten des Grundlastkompressors ZR4 von Sonntag 23.00 bis Montag 5.00 Uhr zu vermeidbaren Leerlaufzeiten. Insgesamt betragen diese aber nur 191 kWh pro Woche bzw. 9931 kWh pro Jahr. Reduzieren ließen sich diese, wenn in diesem Zeitraum die Schaltreihenfolge der Kompressoren geändert würde. Anstelle des Kompressors ZR4 in der Grundlast und der beiden Kolbenkompressoren in der Spitzenlast sollte in diesem Zeitraum der Kompressor ZR3 die Grundlast übernehmen, die Spitzenlastabdeckung erfolgt wie bisher durch die Kolbenkompressoren. Die Energiekosteneinsparung von ca. 1.180 CHF (9.800 kWh) kann dabei allein durch die Anpassung der Parameter der Steuerung erzielt werden. Nach Anpassung der Parameter sollte jedoch eine Erfolgskontrolle erfolgen.

Des Weiteren sollte geprüft werden, ob eine größere Verzögerung bis zur Zuschaltung des Kompressors ZR3 erfolgen kann. Dieser schaltete montags und dienstags im Auswertezeitraum mehrfach kurz zu, ggf. könnte das kurzzeitige Zuschalten dadurch vermieden werden, wodurch weitere Leerlaufkosten in Höhe von ca. 624 CHF (ca. 5200 kWh) eingespart werden könnten.

Als dritte Maßnahme sollte geprüft werden, ob das gleichzeitige Schalten der beiden Kolbenkompressoren durch unterschiedliche Verzögerungen vermieden werden kann. Dieses Verhalten wird insbesondere im Wochenendbetrieb sichtbar. Das gleichzeitige Schalten unter der Woche könnte zudem ursächlich für die Leerlaufzeiten der Kolbenkompressoren verantwortlich sein. Die Berücksichtigung einer Schaltverzögerung bei einem der beiden Kolbenkompressoren führt zwar vermutlich nicht zu einer Energieeinsparung, verringert jedoch die mechanischen Belastungen und dürfte sich deshalb positiv auf die Lebensdauer der Anlagen auswirken.

5.2 Bereitstellung Fabrikluft

Der Fabrikluftbedarf wird aus zwei Quellen gedeckt. Zum einen kommt ein drehzahl geregelter Niederdruckverdichter zum Einsatz, zum anderen wird Steuerluft in das Fabrikluftnetz expandiert. Abbildung 33 zeigt die Überströmmengen als Monatswerte in den Jahren 2003 und 2004. Im Jahr 2003 wurden insgesamt 979.800 Nm³/a und im Jahr 2004 insgesamt 748.179 Nm³/a Steuerluft in das Fabrikluftnetz abgegeben. Die ggf. abgeblasene Menge Fabrikluft wird derzeit nicht messtechnisch erfasst. Es stehen demnach hierfür keine Daten zur Verfügung. Leider liegen derzeit auch keine Daten zur zeitlichen Auflösung des Verbrauchs vor. Es wird deshalb empfohlen, vor einer Investition den detaillierten Wochengang des Verbrauchs zu analysieren. Die optimale Lösung zur Versorgung ist stark von Spitzenwerten und den zeitlichen Schwankungen des Verbrauchs abhängig. Die Erfassung der Fabriklufterzeugung könnte über die Messung der Drehzahl des Fabrikluftverdichters in Verbindung mit der Kennlinie des Verdichters oder durch Einbau eines Volumenstromzählers in die Abblaseleitung erfolgen.

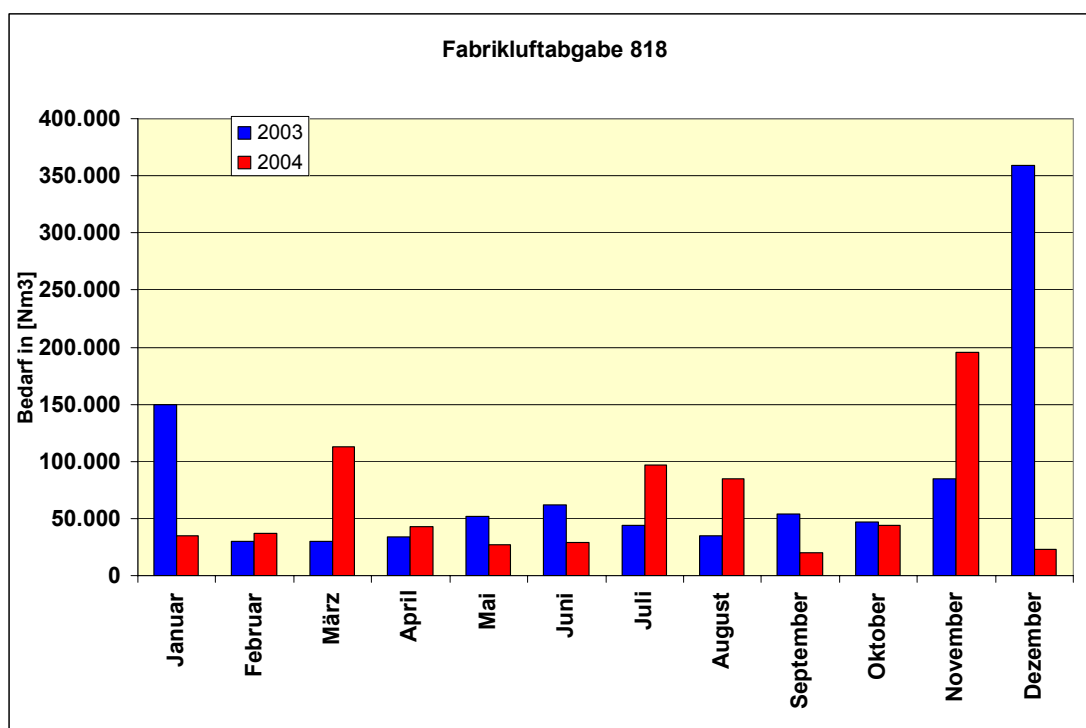


Abbildung 33: Überströmen von Steuerluft in das Fabrikluftnetz

Betrachtet man einmal den spezifischen Energiebedarf für die Drucklufterzeugung, so ergibt sich mit den Werten in Tabelle 11 das folgende Bild.

Tabelle 11: Spezifischer Leistungsbedarf für die Drucklufterzeugung

	spezifischer Leistungsbedarf [kWh/m ³]
Fabrikluft [LF]	0,048 bis 0,075 (beim Ablasen bis 1,20)
Steuerluft [LS]	0,091
Neuer Fabrikluftverdichter	ca. 0,042

Die Erzeugung der Fabrikluft benötigt aufgrund des niedrigeren Drucks deutlich weniger Energie als die Erzeugung der Steuerluft. Zudem ist die Aufbereitung der Fabrikluft weniger aufwendig, so dass weitere energetische Vorteile entstehen. Gemäß der Kurve des spezifischen Energiebedarfs des Niederdruckverdichters steigt der spezifische Energiebedarf jedoch massiv an, wenn der Niederdruckverdichter teilweise im Abblasebetrieb läuft. Bereits wenn der Fabrikluftbedarf unter 650 Nm³/h (11,4 m³/min) sinkt empfiehlt es sich, den Verdichter still zu setzen und stattdessen den Bedarf durch Überströmen aus dem Steuerluftnetz zu decken. Bei der folgenden Analyse wurde unterstellt, dass das Überströmen nie zur Deckung von Spitzenverbräuchen erfolgt, sondern stets nur um den Fabrikluftverdichter stillsetzen zu können.

Auf Grund der großen Menge die übergeströmt wird erscheint es sinnvoll, die Anschaffung eines kleinen Niederdruckverdichters zu prüfen, der anstelle der Überströmung bei kleiner Abnahme zum Einsatz kommen kann. Zudem würde damit eine zusätzliche (Reserve-)Leistung zur Deckung von Spitzen bereitstehen. Der Niederdruckverdichter sollte im Liefermengenbereich so dimensioniert werden, dass kein Regelloch beim Schalten entsteht. Je nach Wochenprofil wäre zudem zu entscheiden, ob ein drehzahl geregelter oder ein Verdichter mit fester Drehzahl zum Einsatz kommen sollte. Zur Steuerung der Fabrikluftkompressoren sollte dann zusätzlich eine übergeordnete Steuerung eingeplant werden.

Zudem könnte man alternativ die Abnahme von Fabrikluft dadurch erhöhen, dass ein Teil der Fabrikluft durch einen Nachverdichter auf das Druckniveau der Steuerluft angehoben wird und in das Steuerluftnetz eingespeist wird. Damit könnte bei geeigneter Auslegung ausgeschlossen werden, dass der Fabrikluftverdichter in den Abblasebetrieb geht. Zusätzlich müsste diese Luftmenge jedoch durch einen Adsorptionstrockner getrocknet werden. Die Kosten eines Nachverdichters in Verbindung mit den Kosten eines zusätzlichen Trockners lassen diese Lösung jedoch nicht als wirtschaftlich sinnvoll erscheinen. Im Falle der Realisierung sollte der Nachverdichter als Maschine ohne Drehzahlregelung ausgeführt werden, um regelungstechnische Probleme zu vermeiden und Verdichter und Trockner im optimalen Auslegungspunkt zu betreiben.

Je nach zeitlichem Verlauf könnte auch der Einsatz eines Fabrikluftspeichers zu einer Vergleichsmäßigung führen, wobei aufgrund des niedrigen Drucks jedoch große Volumina erforderlich wären. Ggf. könnten alte vorhandene Kältespeicher, die demnächst außer Betrieb genommen werden sollen, für die Nutzung als Druckluftspeicher umgerüstet werden.

Geht man von einer Überströmmenge von 750.000 Nm³/a aus, so könnten durch Einsatz eines kleinen Niederdruckverdichters pro Kubikmeter ca. 0,04 kWh/m³ eingespart werden. Insgesamt ergibt sich somit ein jährliches Einsparpotential von 30.000 kWh oder 3.600 CHF.

Zusätzlich könnte man auch noch berücksichtigen, dass heutige Verdichter einen spezifischen Leistungsbedarf haben, der um etwa 12,5 % niedriger als die Daten des installierten Fabrikluftverdichters sind. Würde man den alten Verdichter durch zwei kleinere Niederdruckverdichter mit der gleichen Gesamtliefermenge ersetzen (davon ein größerer drehzahl geregelt und ein kleinerer Ver-

dichter mit fester Drehzahl), so ließen sich durch die bessere spezifische Leistung der Verdichter bei einer Fabrikluftzeugung von jährlich ca. 4,907 Mio. Nm^3 (Wert für 2004) 34.129 kWh Strom und 4.095 CHF einsparen ($4,907 \text{ Mio. Nm}^3/\text{a} * 1,07 \text{ m}^3/\text{Nm}^3 * 0,052 \text{ kWh/m}^3 * 0,125 = 34.129 \text{ kWh/a}$).

5.3 Neue Kompressoren

Im Zuge des Austauschs des defekten ZR3 Kompressors durch zwei neue ZR160 Kompressoren ist zu prüfen, welches Regelkonzept zukünftig angewendet werden sollte, da durch den drehzahlgeregelten Kompressor zusätzlich Optionen hinzugekommen sind. Energieeinsparungen sind durch die neuen Kompressoren jedoch nicht zu erwarten, da die Basisdaten der neuen Kompressoren sogar geringfügig schlechtere Werte aufweisen. Entscheidender ist jedoch die Frage des Teillastverhaltens. Abbildung 34 zeigt die spezifische Leistung der Kompressoren im Volllast- und Teillastbetrieb im Vergleich. Deutlich zu erkennen ist, dass der Kompressor ZR4 bei Volllast den niedrigsten spezifischen Verbrauch aufweist. Im Teillastbetrieb verschlechtert sich dieser Wert jedoch sehr schnell. Spezifisch weist nach den vorliegenden Daten der alte ZR3 Kompressor günstigere Daten als der neue ZR160 Kompressor auf. Betrachtet man die spezifische Leistung des drehzahlgeregelten Kompressors so ist folgendes zu beachten: Die beste spezifische Leistung wird nicht bei Volllast, sondern bei etwa 60 % Auslastung erreicht. Im Teillastbereich weisen die Halblast gesteuerten Kolbenkompressoren deutlich bessere spezifische Werte auf als die drehzahlgeregelte Maschine.

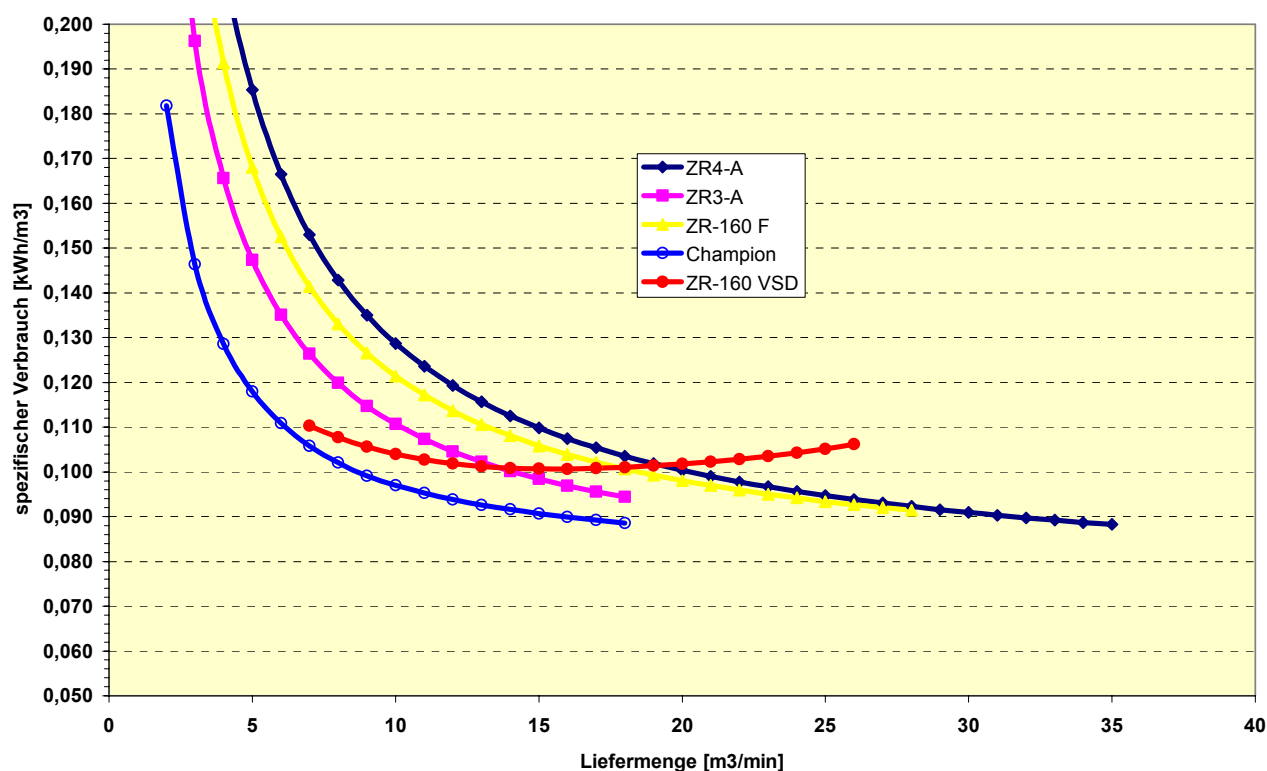


Abbildung 34: Spezifische Leistung der Kompressoren im Teillastbetrieb

Problematisch erweist sich auch die Tatsache, dass der Regelbereich des drehzahlgeregelten Kompressors ZR160-VSD zu klein ist, um ein Schalten des Kompressors ZR-160 ohne Regelloch zu ermöglichen.

Die sinnvolle Steuerung der Kolbenkompressoren zusammen mit der drehzahlgeregelten Maschine wird voraussichtlich nicht einfach zu realisieren sein. Durch den zusätzlichen drehzahlgeregelten Kompressor wurde der Bereich, in dem die Druckluftversorgung sehr effizient erfolgen kann,

stark vergrößert. Allerdings war der Leerlaufanteil bereits so niedrig, dass sich hier nur geringe Einsparpotentiale ergeben werden.

Geht man zudem davon aus, dass die beiden sehr alten ZR3 Kompressoren verschrottet werden, so ergibt sich zukünftig folgendes Regelkonzept. Kompressor ZR4 läuft in der Woche Grundlast, am Wochenende wird er stillgesetzt. Als Spitzenlastanlagen laufen die beiden Kolbenkompressoren. Ggf. kommt als weitere Spitzenlastanlage die drehzahlgeregelte Maschine zum Einsatz, der Kompressor ZR-160 steht als Reserve-Maschine zur Verfügung und kann ggf. wechselweise mit der ZR4 eingesetzt werden. Am Wochenende kann der Bedarf alternativ durch die beiden Kolbenkompressoren oder den drehzahlgeregelten Kompressor zusammen mit einem Kolbenkompressor abgedeckt werden.

Als Alternative käme auch die Stillsetzung der Kolbenkompressoren in Frage und die Deckung des Luftbedarfs allein mit der Grundlastmaschine ZR4 und dem drehzahlgeregelten Kompressor ZR160-VSD als Spitzenlastmaschine. In diesem Fall können der dampfregenerierte Adsorptionstrockner ebenfalls stillgesetzt werden und es lässt sich eine entsprechende Strom und Dampfmenge einsparen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der drehzahlgeregelte Verdichter mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet ist, so dass eine energetische Gutschrift für die erzeugte Wärme berücksichtigt werden muss. Je nach Vor- und Rücklauftemperatur des Nutzwärmebereiches können ca. 70 bis 90 % der elektrischen Leistungsaufnahme als Wärme bereitgestellt werden.

In Bezug auf das Verbrauchsprofil fügen sich die neuen Kompressoren nicht optimal in die Versorgungsstruktur ein, auf der anderen Seite besteht nun die Möglichkeit, in einem sehr großen Liefermengenbereich Druckluft sehr effizient zu erzeugen. Es sollte deshalb geprüft werden, ob die Versorgungsleitung zum Nachbarbetrieb nicht reaktiviert werden kann und diesem Betrieb die Spitzenabdeckung der Druckluft angeboten werden kann.

5.4 Adsorptionstrockner

Bezüglich der mit Kompressorabwärme regenerierten Adsorptionstrockner bestehen keine weiteren Optimierungspotentiale. Allerdings könnte der dampfregenerierte Gebläsetrockner optimiert werden. Zum einen ist die Oberflächentemperatur des Trockners sehr hoch. Hier empfiehlt sich zu prüfen, ob eine bessere Wärmedämmung angebracht werden kann. Optimaler wäre es natürlich, einen ebenfalls mit Kompressorabwärme regenerierten Trockner einzusetzen, ein Austausch dürfte aber aufgrund der thermischen Bedingungen an den Kolbenkompressoren und unter wirtschaftlichen Aspekten nicht sinnvoll sein. Überprüft man die im Leitsystem abgelegten Messwerte zum Drucktaupunkt in den beiden Stationen ergeben sich folgende Werte: Nach dem dampfregenerierten Adsorptionstrockner (Geb. 934) wurden durchschnittliche Drucktaupunkte um $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen, nach den Trommeltrockner hinter den Schraubenkompressoren (Geb. 939) wurden Taupunkte um $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen. Beide Messwerte erscheinen in Bezug auf die installierten Trockner und ihrer Daten zu tief. Die manuell durchgeführten Kontrollmessungen sind jedoch nicht korrekt ermittelt worden und können deshalb nicht zum Vergleich herangezogen werden. Erkennbar ist aber, dass die Drucktaupunkte in beiden Stationen deutlich niedriger als die Anforderung von $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sind. Die Drucktaupunkteinstellung am dampfregenerierten Trockner sollte deshalb überprüft und angepasst werden. Durch die Einstellung eines Drucktaupunktes von $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ am Trockner verlängert sich der Regenerationszyklus und der Dampfverbrauch kann deutlich reduziert werden. Geht man davon aus, dass sich der Zyklus um $1/3$ verlängert, so wird ein Drittel der eingesetzten Energie eingespart. Bei 8.760 Betriebsstunden im Jahr entspricht dies einer Dampfmenge von 213,5 Tonnen entsprechend einer thermischen Energie von 117.676 kWh. Unterstellt man einen Dampfpreis von 5 Rappen / kWh entspricht dies einer Energiekosteneinsparung von 5884 CHF. Hinzu kommt eine Einsparung elektrischer Energie von 9.636 kWh entsprechend 1.156 CHF.

Nachmessungen am 21. April 2005 mit einem mobilen Drucktaupunktmessgerät ergaben Drucktaupunkte von $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, während die fest installierten Geräte einen Drucktaupunkt von $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ anzeigten. Zum Zeitpunkt der Messung waren nur Schraubenkompressoren mit MD Trockner in Betrieb. Die Kolbenkompressoren und der dampfregenerierte Trockner waren stillgesetzt.

5.5 Leckagen

Leider können mit Hilfe der vorliegenden Messwerte keine Aussagen zu den Leckagen getroffen werden. Zu berücksichtigen ist in jedem Fall, dass der Großteil der Leckagen nicht in der Hauptverteilung sondern in der Verteilung und den Anschlüssen nach den Zählern auftritt. Der Leckageanteil in der Hauptverteilung dürfte sehr gering sein. Nimmt man an, dass der Leckageverlust in der Hauptverteilung 2,5 % der erzeugten Luftmenge beträgt und 1/3 der Leckagen zu beseitigen wären, so entspräche dies bei einer Erzeugung von 20 Millionen Nm^3 pro Jahr einem Leckageverlust von $500.000\text{ Nm}^3/\text{a}$. Vermeidbar wäre dann eine Leckage von $166.667\text{ Nm}^3/\text{a}$ ($=178.333\text{ m}^3/\text{a}$). Bei einer spezifischen Leistung der Druckluftherzeugung von $0,091\text{ kWh/m}^3$ entspricht dies einem vermeidbaren Stromverbrauch von 16.228 kWh oder 1.947 CHF .

Die Leckagen in der Endverteilung dürften nach dem Zustand der übrigen Anlagen und den Erfahrungen aus anderen Unternehmen in der Größenordnung um 30 % liegen. Trifft man wiederum die gleichen Annahmen wie für die Hauptverteilung, so ergibt sich eine Leckagemenge von $4,97\text{ Mio. Nm}^3/\text{a}$. Die vermeidbare Leckage entspräche dann $2\text{ Mio. Nm}^3/\text{a}$ ($2,14\text{ Mio. m}^3/\text{a}$). Somit könnte ein Stromverbrauch von 194.740 kWh entsprechend 23.369 CHF eingespart werden.

5.6 Dimensionierung der Druckluftverteilung

Die beiden Kolbenkompressoren mit einer maximalen Liefermenge von jeweils $17,8\text{ m}^3/\text{min}$ ($1068\text{ m}^3/\text{h}$) sind über eine Leitung von ca. 35 Metern Länge an die Hauptverteilung der Dimension DN 100 angeschlossen. Geht man davon aus, dass beide Kompressoren arbeiten, ist die Anbindung mit der Leitung DN 80 vollständig ausgelastet. Vorteilhafter wäre eine Dimensionierung in DN 100 gewesen, Tabelle 12. Vermutlich wurde bei der Planung davon ausgegangen, dass in den meisten Fällen nicht beide Kompressoren mit Volllast laufen. Dies ist auch in der überwiegenden Zeit zutreffend, so dass derzeit kein aktueller Handlungsbedarf besteht.

Tabelle 12: Rohrdimensionierung Anbindung der Kolbenkompressoren (Geb. 934)

Betriebsdruck	7	bar (abs)	700000	Pa
Zulässiger Druckverlust (Wert sollte kleiner 0,05 bar sein)	0,05	bar	5000	Pa
Volumenstrom bei Ansaugbedingungen (1bar abs)	35,6	m^3/min	2136	m^3/h
Rohrleitungslänge	35	m		
Nennlänge (Berücksichtigt 50 % Zuschlag für Armaturen in der Leitung)			52,5	m
Erforderlicher Rohrleitungsquerschnitt (Innendurchmesser)	98,2	mm		
Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung	11,19	m/s		

In Bezug auf die Druckluftstation im Gebäude 939 ergibt sich das folgende Bild. Maximal ist neben der Grundlastmaschine ZR4 ein weiterer ZR3 Kompressor in Betrieb. Als maximale Liefermenge ist also ein Wert von $53,4\text{ m}^3/\text{min}$ anzusetzen. Die Rohrlängen sind etwas länger, jedoch speisen die Kompressoren in das Netz mit einer Dimension DN100 / DN 150 ein. In diesem Bereich ist das Netz demnach ausreichend dimensioniert und bietet Reserven für Erweiterungen.

Tabelle 13: Rohrdimensionierung Anbindung der Schraubenkompressoren (Geb. 939)

Betriebsdruck	7	bar (abs)	70000 0	Pa
Zulässiger Druckverlust (Wert sollte kleiner 0,05 bar sein)	0,05	bar	5000	Pa
Volumenstrom bei Ansaugbedingungen (1bar abs)	53,4	m ³ /min	3204	m ³ /h
Rohrleitungslänge	100	m		
Nennlänge (Berücksichtigt 50 % Zuschlag für Armaturen in der Leitung)			150	m
Erforderlicher Rohrleitungsquerschnitt (Innendurchmesser)	140,8	mm		
Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung	8,17	m/s		

5.7 Zusammenfassung Einsparpotentiale

Im Rahmen der Analyse wurde die Druckluftversorgung der Firma Clariant am Standort Muttenz in Bezug auf mögliche Einsparpotentiale untersucht. Da die Druckluftversorgung am Standort in den vorhergehenden Jahren sinnvoll betrieben und instand gehalten wurde, sind die identifizierten Einsparpotentiale im Vergleich mit anderen Unternehmen unterdurchschnittlich. Das ermittelte Einsparpotential betrug lediglich 265.704 kWh oder 11,8 % des derzeitigen Stromverbrauchs zur Erzeugung von Steuerluft, wobei zu berücksichtigen ist, dass nicht alle Potentiale sofort wirtschaftlich zu erschließen sind, sondern erst im Zuge von Umbau oder Erweiterungsinvestitionen umgesetzt werden können. Tabelle 14 fasst die Einsparpotentiale im Bereich Druckluft, Strom und Kosten zusammen.

Tabelle 14: Zusammenfassung der identifizierten Einsparpotentiale

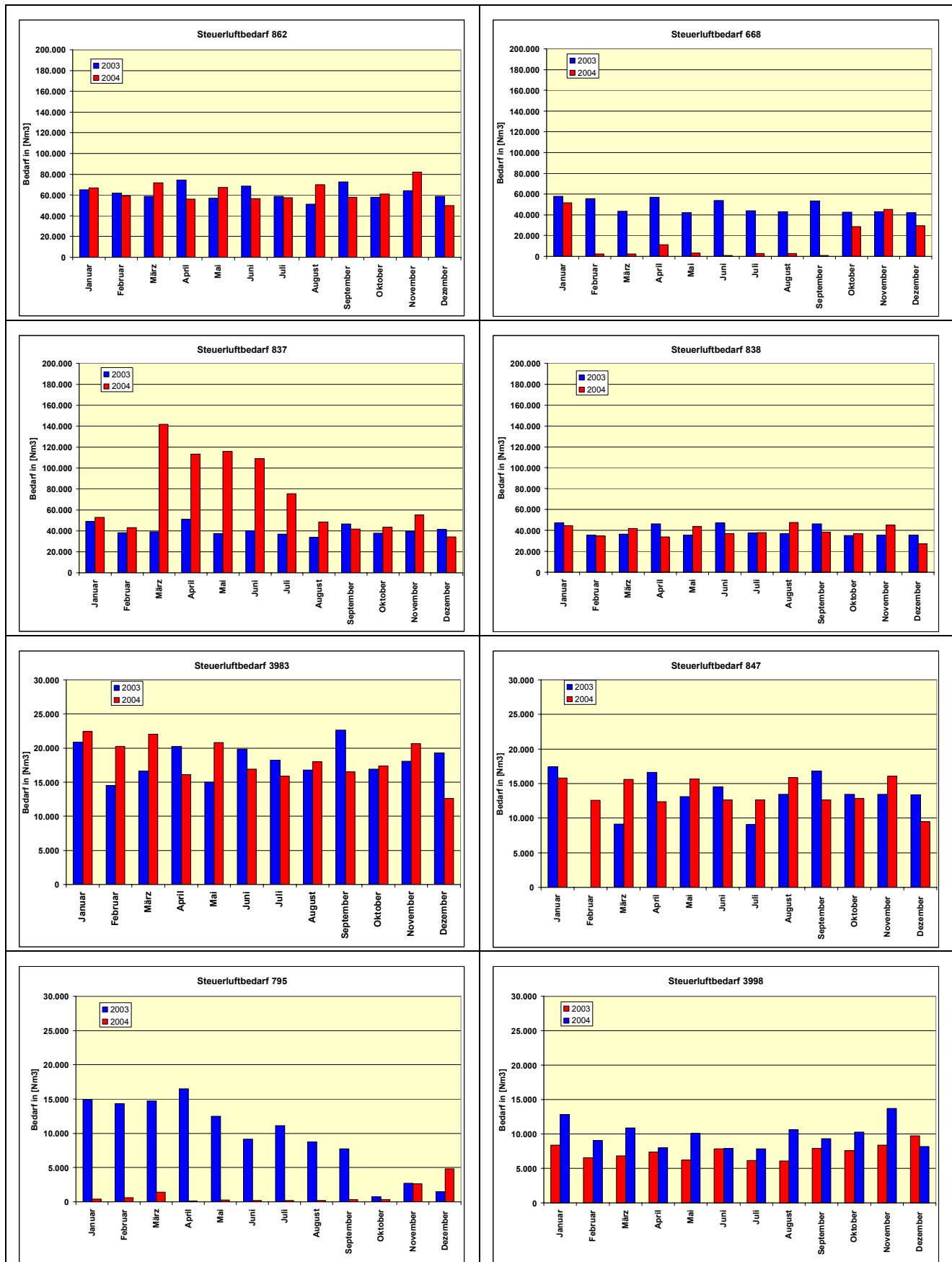
	Drucklufteinsparung [m ³ /a]	Stromeinsparung [kWh/a]	Kosteneinsparung [CHF]
Optimierung Steuerung		15.000	1.804
Kleiner Fabrikluftverdichter zum Vermeiden des Überströmens aus dem LS Netz bei geringem LF Bedarf		30.000	3.600
Neue Fabrikluftverdichter für bessere spezifische Leistung		(34.129)	(4.095)
Taupunkt Anpassung dampfregenerierter Adsorptionstrockner und bessere Wärmedämmung		(117.676 kWh Dampf) 9.636 kWh Strom	5.884 1.156
Leckagebeseitigung (Hauptverteilung)	178.333	16.228	1.947
Leckagebeseitigung (Unterverteilung Betriebe)	2.140.000	194.740	23.369
Summe	2.318.333	265.604 (11,8 %)	37.756

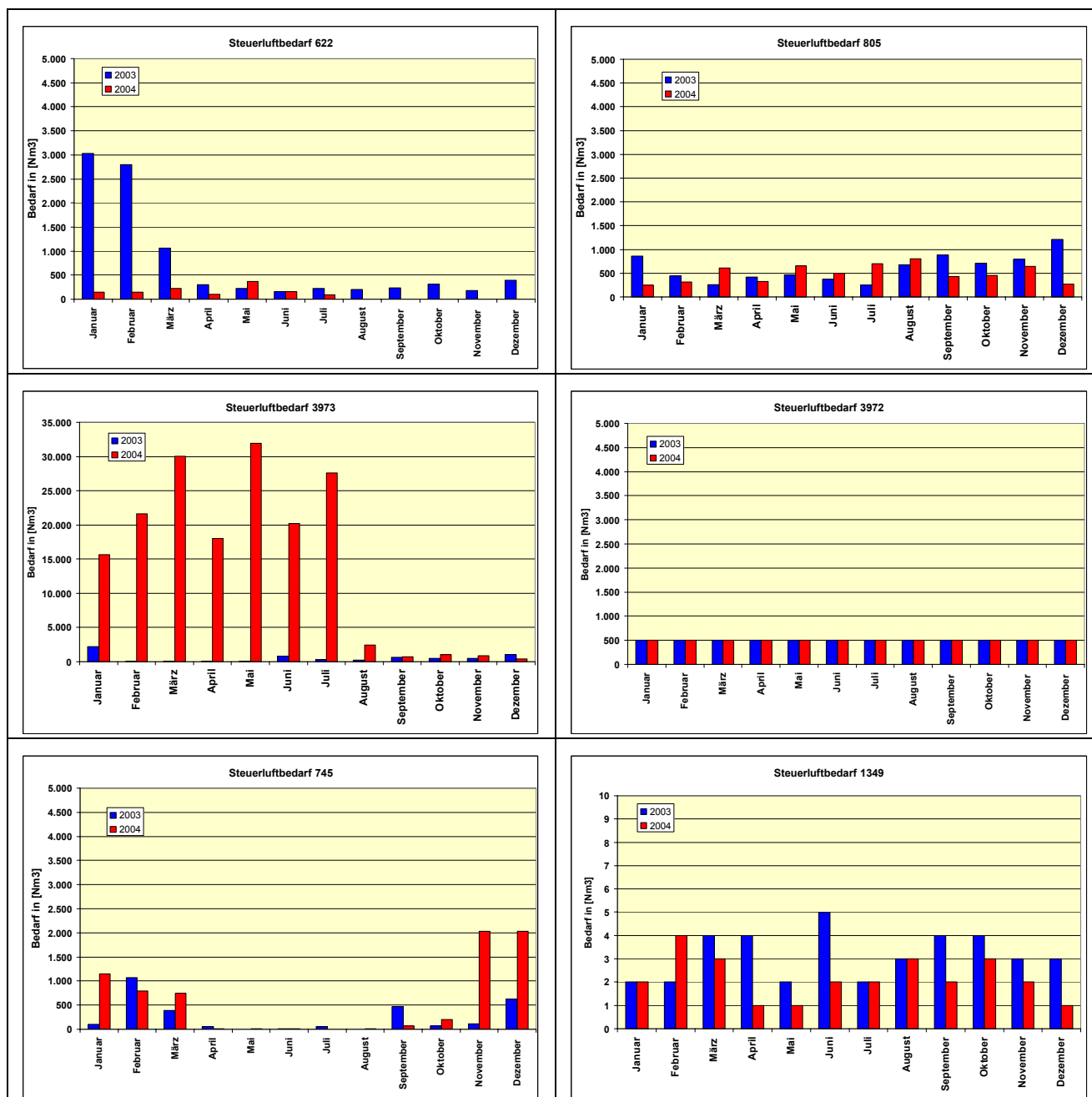
Anhang

In den Diagrammen des Anhangs entspricht die Bezeichnung dem Namen der Messstelle.

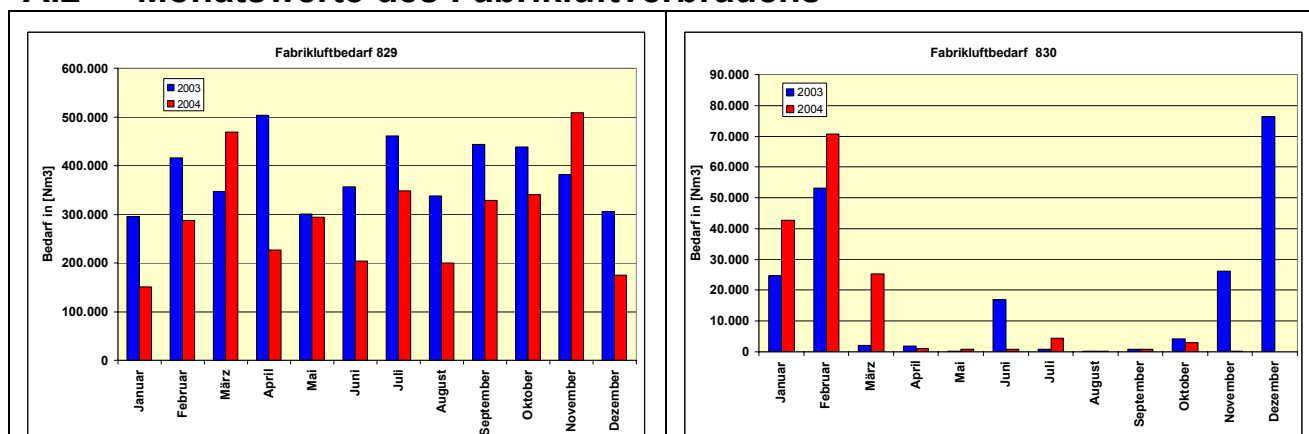
A.1 Monatswerte des Steuerluftverbrauchs

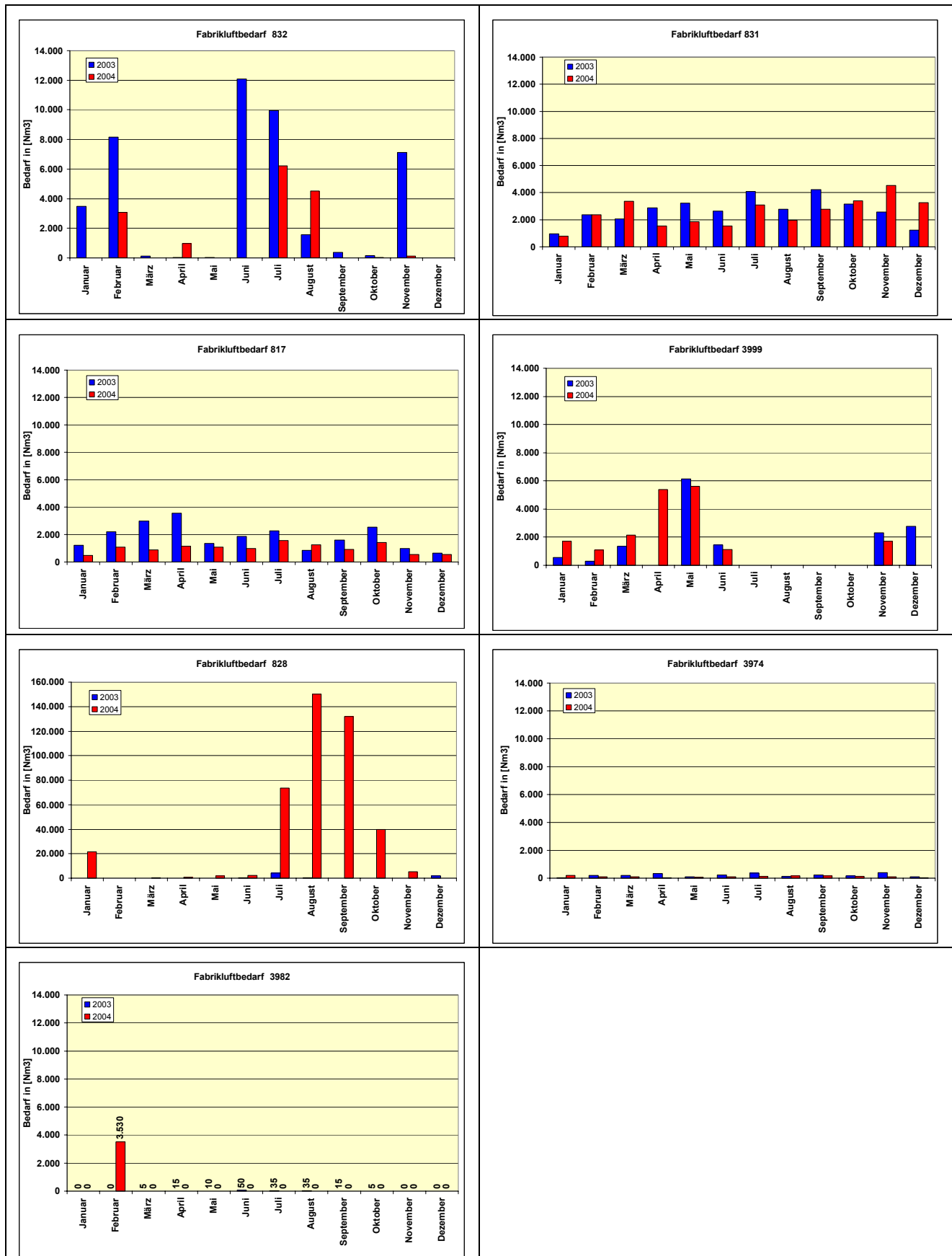






A.2 Monatswerte des Fabrikluftverbrauchs





A.3 Auswertung der Volumenstromzähler in der Messwoche

