

Checklisten und Beispiele Druckluftoptimierung für das Referat an der Veranstaltung "Effiziente Elektroantriebe" des SWISSMEM

Version P1.1

**Luzern, 28.12.2004
Rev.**

Inhaltsverzeichnis

1. Messungen an Druckluftanlagen	3
1.1 Allgemeines Vorgehen.....	3
2. Ermittlung von Leckverlusten mittels einfacher Messungen	5
2.1 Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen mit der Behältermethode	5
2.2 Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen durch die Einschalt Dauermessung.....	5
3. Checkliste für die Behebung von Druckluftlecks	6
4. Beispiele detaillierter Messresultate und Berechnungen	8
4.1 Vereinfachte Ermittlung der Leckluft mittels Behältermethode	8
4.2 Vereinfachte Ermittlung der Liefermenge mittels Behältermethode	12
5. Anhang	18
5.1 Literaturverzeichnis	18
5.2 Verteiler.....	19

Autor

Markus Dolder
Ingenieurbüro Dolder, 6004 Luzern
Energie- und Gebäudetechnik

1. Messungen an Druckluftanlagen

1.1 Allgemeines Vorgehen

Nachfolgend wird aufgelistet, welche Fragen bei Messungen für Druckluftoptimierungen beantwortet werden sollen und mit welchem Vorgehen sie beantwortet werden können. Gibt es mehrere Möglichkeiten, sind diese mit Buchstaben getrennt aufgeführt.

Frage	Vorgehen	Bemerkungen
Sind Leckverluste vorhanden und wie gross sind diese?	<p>a) Behältermethode (Vorgehen siehe Kapitel Vorgehensweise, Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen mit der Behältermethode)</p> <p>b) Ablesen der Zählerstände bei vorhandenen Druckluftzählern während einer Zeitperiode, wenn kein Druckluftbedarf vorhanden ist (z.B. Produktion nicht in Betrieb)</p> <p>c) Leckagebestimmung durch Einschaltdauermessung (Vorgehen siehe Kapitel Vorgehensweise; Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen durch die Einschaltdauermessung)</p> <p>d) Messung des Elektrizitätsverbrauches während einer Zeit, in welcher kein Druckluftbedarf von Seiten der Produktion vorhanden ist</p>	Bei allen Vorgehensweisen muss sichergestellt werden, dass keine Verbraucher in Betrieb sind.
Wo sind die Lecks im Druckluftnetz?	<p>Absperren von einzelnen Verbrauchern oder Anlageteilen und nachfolgende Ermittlung der Leckverluste.</p> <p>Aufspüren der Lecks visuell, akustisch und mit Hilfsmitteln (z.B. präzise Ortung der einzelnen Leckstellen aus grosser Distanz mit einem Ultraschall-Leckortungsgerät, z.B. Sonaphone ULS).</p>	<p>mögliche Leckquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kompressoren selber • Kondensatablass-System • Undichtheiten im Netz • Undichtheiten bei den Verbrauchern <p>(Bezüglich Lecksuche siehe auch Liste im Kapitel "Checkliste für die Behebung von Druckluftlecks")</p>

Frage	Vorgehen	Bemerkungen
Gibt es Elemente im System, welche einen zu grossen Druckverlust erzeugen?	<ul style="list-style-type: none"> • Messen / Überprüfen des Ansaugdruckverlustes über die Ansaugfilter • Messen / Überprüfen des Druckverlustes über die Druckluftfilter • Messen / Überprüfen des Druckverlustes über die Drucklufttrockner • Messen / Überprüfen des Druckverlustes über die übrigen Anlagenelemente • Messen / Überprüfen der Leitungsdimension der Druckluftleitungen 	
Wie ist das Verhältnis Leerlaufzeiten / Lastzeiten der Kompressoren, wie ist die Auslastung der Kompressoren?	<p>a) Wenn am Kompressor die Gesamt- und die Laststunden separat erfasst werden, kann das Verhältnis ermittelt werden.</p> <p>b) Messung und Aufzeichnung des aufgenommenen Stromes respektive der aufgenommenen Leistung.</p>	
Wie viel Druck wird bei den Verbrauchern effektiv benötigt?	Messung des Druckes bei Verbrauch und bei Stillstand bei den Verbrauchern.	
Wie gross ist die Schaltdifferenz bei den Kompressoren?	Einstellungen ermitteln / notieren	
Wie gross ist die spezifische Kompressorenleistung [kW/(m ³ /min)]	Messung der Leistung und der zugehörigen Liefermenge	Bildung von Kennzahlen und Vergleich

Tabelle 1.1: Allgemeines Vorgehen für Messungen an Druckluftanlagen

2. Ermittlung von Leckverlusten mittels einfacher Messungen

2.1 Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen mit der Behältermethode

Ist ein Druckluftbehälter vorhanden, können mit diesem Verfahren die Leckverluste abgeschätzt werden. Das Verfahren ist in [3, Kapitel 7.8, Seiten 38/39] und in [1, Seiten 165] beschrieben. Bei grossen Leitungsnetzen ist der Netzinhalt ebenfalls zu berücksichtigen.

$$V_L = \frac{V_B \cdot (p_A - p_E)}{t}$$

V_L	=	Leckagemenge	[Liter/min]
V_B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen	[Liter]
p_A	=	Druckbehälter Anfangsdruck	[barü]
p_E	=	Druckbehälter Enddruck	[barü]
t	=	Messzeit	[min]

Voraussetzung:

Sämtliche Verbraucher sind abgestellt.

Eine ausgewählte Messung und nachfolgende Ermittlung der Werte ist im Kapitel "Detaillierte Messresultate und Berechnungen" als Beispiel eingefügt.

2.2 Ermittlung von Leckageverlusten in Druckluftnetzen durch die Einschaltdauermessung

Die zweite Methode zur Bestimmung der Leckagemenge V_L ist die über die Einschaltdauermessung des Kompressors. Diese Methode ist nur bei Kompressoren mit Aussetz- und Leerlaufbetrieb anwendbar. Die Verbraucher am Netz sind abgeschaltet. Durch die Leckage im System wird Druckluft verbraucht und der Netzdruck sinkt. Der Kompressor muss diese Leckagemenge ersetzen. Über eine Messzeit T wird die Gesamtlaufzeit $\sum t$ des Kompressors gemessen. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, sollte die Messzeit T wenigstens 5 Schaltintervalle des Kompressors umfassen. Mit der folgenden Formel ist die Leckagemenge V_L näherungsweise zu bestimmen:

$$V_L = \frac{V_{LK} \cdot \sum t \cdot (1000 \cdot l / m^3)}{T}$$

V_L	=	Leckagemenge	[Liter/min]
V_{LK}	=	Liefermenge des Kompressors	[m ³ /min]
$\sum t$	=	Gesamtlaufzeit des Kompressors $\sum t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$	[s]
T	=	Messzeit	[s]

3. Checkliste für die Behebung von Druckluftlecks

Der Druckluftverlust ist der Verbrauch von Druckluft (Leckage) im Rohrleitungsnetz ohne geleistete Arbeit. Die Summe dieser Verluste kann in ungünstigen Fällen bis zu 25 % der gesamten Liefermenge des Kompressors erreichen (gemäss Literatur [4]). Es wurden jedoch auch schon Leckverluste von 60-70% [6, Kapitel 4.1.1.2) oder sogar 75% (gemäss Literatur [5] Seite 1) gemessen.

Die Ursachen sind vielfältig:

- Undichte Ventile.
- Undichte Schraub- und Flanschverbindungen.
- Undichte Zylinder.
- Undichte Schweissnähte oder Lötstellen.
- Defekte Schläuche und Schlauchkupplungen.
- Defekte Magnetventile.
- Festsitzende Schwimmerableiter.
- Falsch installierte Trockner, Filter und Wartungseinrichtungen.
- Korrodierte Leitungen.

Druckluftverluste durch Leckage sind in den üblichen Druckluftsystemen leider unvermeidlich. Die Zusatzkosten durch die Leckage mindern die Wirtschaftlichkeit des Druckluftsystems erheblich. Zur Reduzierung dieser Verluste können Massnahmen ergriffen werden, die ihrerseits natürlich Kosten verursachen.

Diese Kosten übersteigen allerdings irgendwann die Einsparungen durch die Minderung der Druckluftverluste. Das Ziel muss es also sein, die Druckluftverluste bei akzeptablem Aufwand zu minimieren.

Daraus ergeben sich Leckagemengen, die aus wirtschaftlichen Gründen toleriert werden sollten:

- max. 5 % bei kleineren Netzen.
 - max. 7 % bei mittleren Netzen.
 - max. 10 % bei grösseren Netzen.
 - max. 13 - 15 % bei sehr grossen Netzen.
- z.B. Giessereien, Stahlwerke, Werften u.ä.

Die Mitarbeiter sollten dazu angehalten werden, Leckstellen und Schäden am Netz bei den verantwortlichen Stellen zu melden. Diese Schäden sind umgehend zu beheben. Bei kontinuierlicher Pflege ist eine kostenintensive Sanierung des Druckluftnetzes normalerweise überflüssig. Die Druckluftverluste bleiben im akzeptablen Rahmen.

Die Ermittlung von Leckstellen ist in den meisten Fällen relativ einfach. Grosse Undichtigkeiten machen sich durch Zischen bemerkbar. Kleine und sehr kleine Lecks sind schwieriger zu finden. Sie sind durch Abhören meist nicht zu lokalisieren. In diesen Fällen werden die Verbindungselemente, Abzweigungen, Ventile usw. mit einem Dichtheitsprüfmittel eingesprayed oder mit Seifenwasser abgepinselt. An undichten Stellen bilden sich sofort Blasen. Alternativ können Hilfsmittel (z.B. ein Ultraschall-Leckortungsgerät, z.B. Sonaphone ULS) verwendet werden.

Liegen ermittelte Leckagemengen eines Druckluftnetzes deutlich über den oben genannten Werten, sollte eine Sanierung des Netzes in Erwägung gezogen werden.

Bei der Sanierung eines Druckluftnetzes sind folgende Massnahmen zu ergreifen, um die Druckluftverluste zu reduzieren:

Behebung von Leckstellen

- Undichte Verbindungselemente nachziehen oder neu abdichten.
- Undichte Ventile und Schieber ersetzen.
- Undichte Zylinder reparieren.
- Undichte Schläuche und Schlauchkupplungen austauschen.
- Leckstellen an Rohrleitungen verschweissen.
- Kondensatableiter modernisieren.
Mechanische Schwimmerableiter und zeitgesteuerte Magnetventile durch niveaugeregelte Kondensatableiter ersetzen.
- Druckluftaufbereitung modernisieren.
Schädliche Verunreinigungen wie Wasser, Öl und Staub aus der Druckluft entfernen.
- Magnetventile überprüfen.
Falls möglich, stromlos geschlossene Ventile installieren.
- Alte Rohrleitungen spülen oder ersetzen.
Der Innendurchmesser von alten Rohren ist häufig durch Ablagerungen reduziert. Das führt zu Druckabfall.
- Kupplungen und Rohranschlüsse überprüfen.
Querschnittsverengungen führen zu Druckabfall.
- Zeitweise Verkleinerung des Netzes.
Teilbereiche grosser Netze bei Betriebsruhe durch Absperrschieber abtrennen.

Quelle: teilweise von [4, Kapitel 7.3, Seite 120 und Seite 124]

4. Beispiele detaillierter Messresultate und Berechnungen

Nachfolgend sind ausgewählte Messungen und Berechnungen als Beispiele eingefügt.

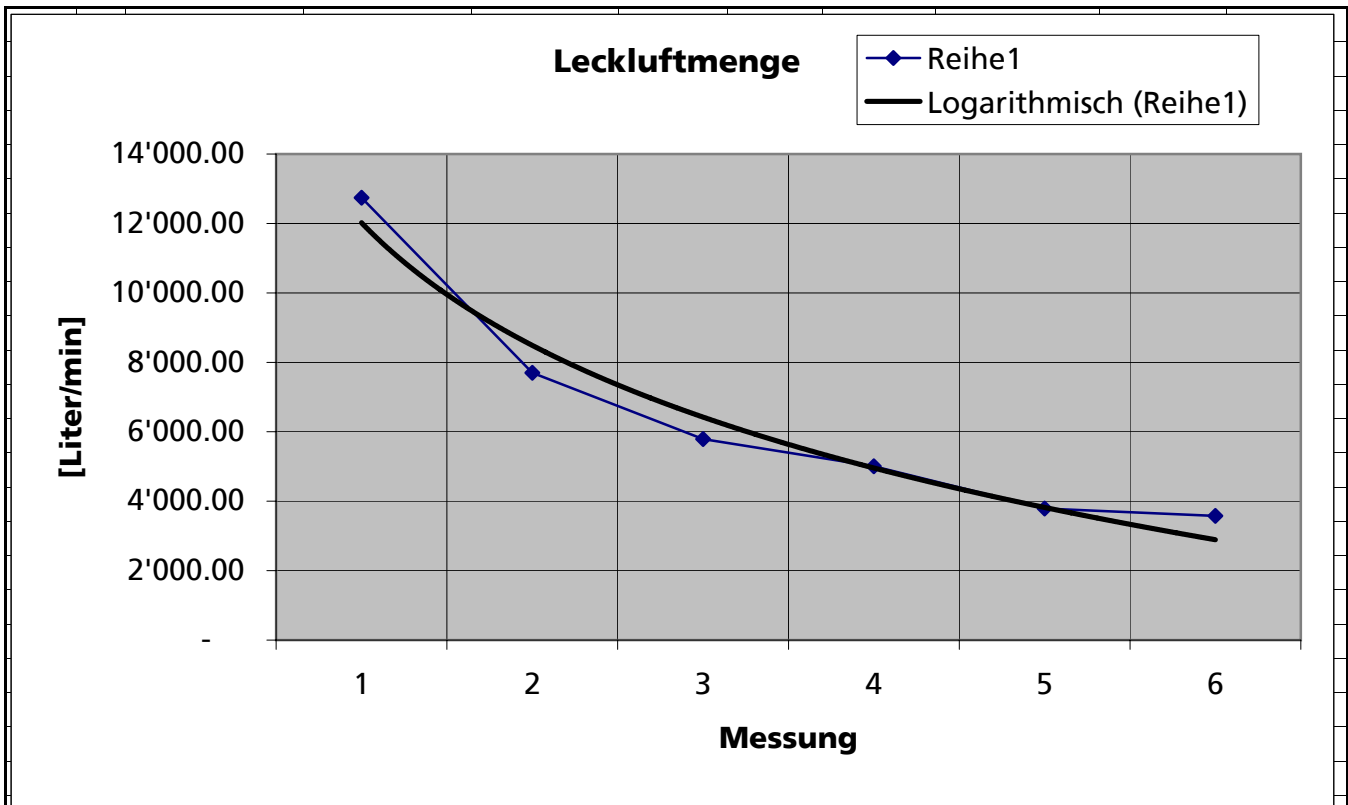
4.1 Vereinfachte Ermittlung der Leckluft mittels Behältermethode

Messung des Druckverlaufes und Ermittlung der Leckverluste mit der Behältermethode gemäss [1, Seite 165]

Nachfolgend ist eine Berechnung als Beispiel eingefügt.

Vereinfachte Ermittlung der Leckluft mittels Behältermethode						Quelle: [1], Seite 165	
Entladen Netz, ganzes Netz						Nr.	2
							19.07.2003
$V_L = \frac{V_B \cdot (p_A - p_E)}{t}$							
V_L	=	Leckagemenge		[Liter/min]	Voraussetzung:		
V_B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen		[Liter]	Sämtliche Verbraucher		
p_A	=	Druckbehälter Anfangsdruck		[barü]	sind abgestellt.		
p_E	=	Druckbehälter Enddruck		[barü]			
t	=	Messzeit		[min]			
Druckluftspeicher							
Zentrale				11'350	Liter	7'100	
Total Druckluftspeicher				11'350	Liter		
				11.35	m3		
Druckluftnetz (gemäss Zusammenstellung)						0.32895	m3
Total Volumen Druckbehälter und Leitungen						11.68	m3
V_B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen		11'678.949997	Liter		
1. Messung							
		Druck		Zeit			
p_A	=	7.50		13:24:00			
p_E	=	6.50		13:24:55	std	min	sec
t	=	0.000636574		00:00:55	0	0	55
					0	0	0.91666667
						0.91667	
V_L	=	12'740.67	[Liter/min]				
2. Messung							
		Druck		Zeit			
p_A	=	6.50		13:24:55			
p_E	=	5.50		13:26:26	std	min	sec
t	=	0.001053241		00:01:31	0	1	31
					0	1	0.51666667
						1.51667	
V_L	=	7'700.41	[Liter/min]				
1.+2. Messung							
		Druck		Zeit			
p_A	=	7.50		13:24:00			
p_E	=	5.50		13:26:26	std	min	sec
t	=	0.001689815		00:02:26	0	2	26
					0	2	0.43333333
						2.43333	
V_L	=	9'599.14	[Liter/min]				

3. Messung																		
		Druck		Zeit														
p_A	=	5.50		13:26:26														
p_E	=	4.50		13:28:27		std	min	sec										
t	=	0.001400463		00:02:01		0	2	1										
						0	2	0.01666667										
							2.01667											
V_L	=	5'791.21	[Liter/min]															
4. Messung																		
		Druck		Zeit														
p_A	=	4.50		13:28:27														
p_E	=	3.50		13:30:47		std	min	sec										
t	=	0.00162037		00:02:20		0	2	20										
						0	2	0.33333333										
							2.33333											
V_L	=	5'005.26	[Liter/min]															
5. Messung																		
		Druck		Zeit														
p_A	=	3.50		13:30:47														
p_E	=	2.50		13:33:52		std	min	sec										
t	=	0.002141204		00:03:05		0	3	5										
						0	3	0.08333333										
							3.08333											
V_L	=	3'787.77	[Liter/min]															
6. Messung																		
		Druck		Zeit														
p_A	=	2.50		13:33:52														
p_E	=	1.50		13:37:08		std	min	sec										
t	=	0.002268519		00:03:16		0	3	16										
						0	3	0.26666667										
							3.26667											
V_L	=	3'575.19	[Liter/min]															



Auflistung Messung 1 bis 13										
					nur Min. [m]	nur Sek. [s]	Sek. gesamt [s]	Sek. Dauer [s]	285	
			[ss]							
		Druck	Zeit							
p _A	=	7.50	13:24:00	00:00:00	0	0	0	0	285	
p _A	=	7.00	13:24:20	00:00:20	0	20	20	20	305	
p _A	=	6.50	13:24:55	00:00:35	0	35	35	55	340	
p _A	=	6.00	13:25:48	00:00:53	0	53	53	108	393	
p _A	=	5.50	13:26:26	00:00:38	0	38	38	146	431	
p _A	=	5.00	13:27:19	00:00:53	0	53	53	199	484	
p _A	=	4.50	13:28:27	00:01:08	1	8	68	267	552	
p _A	=	4.00	13:29:38	00:01:11	1	11	71	338	623	
p _A	=	3.50	13:30:47	00:01:09	1	9	69	407	692	
p _A	=	3.00	13:32:22	00:01:35	1	35	95	502	787	
p _A	=	2.50	13:33:52	00:01:30	1	30	90	592	877	
p _A	=	2.00	13:35:10	00:01:18	1	18	78	670	955	
p _A	=	1.50	13:37:08	00:01:58	1	58	118	788	1073	
			00:13:08		13	8	788		788	
[1]		Bahr, Michael: Taschenbuch Drucklufttechnik; Michael Bahr / Erwin Ruppelt; Vulkan Verlag, Essen; 2000; ISBN 3-8027-2188-9								

4.2 Vereinfachte Ermittlung der Liefermenge mittels Behältermethode

Messung des Druckverlaufes und Ermittlung der Liefermenge mit der Behältermethode gemäss [3, Seite 38] und [2, Seite 12/26].

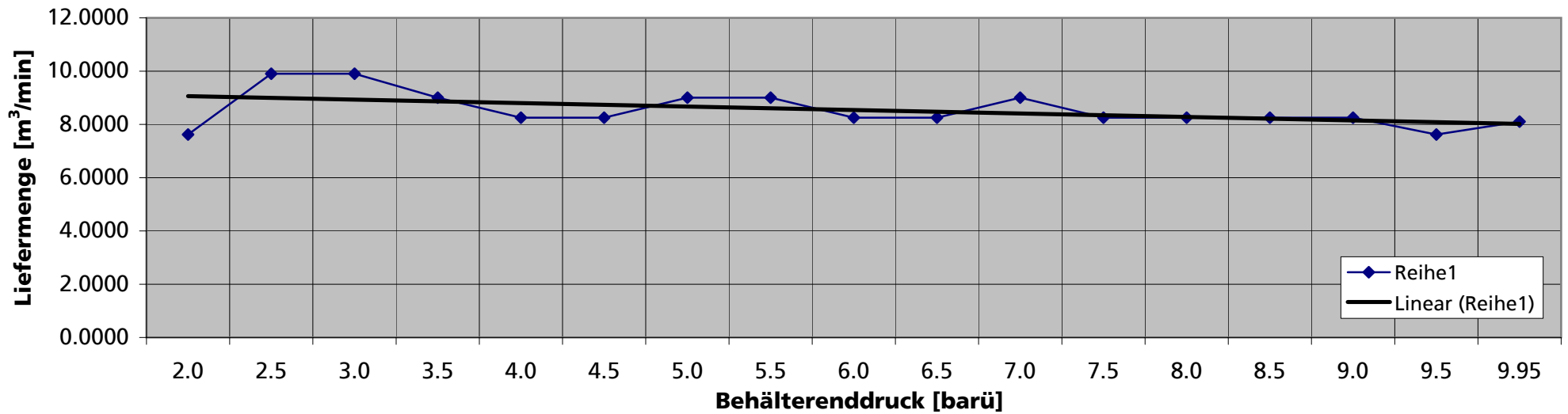
Die Werte wurden in Excel-Arbeitsblättern ausgewertet und dargestellt. Eine Darstellung des Druckverlaufes über die Zeit ist auch enthalten. (Diese Darstellungsform in einem Excel-Diagramm ist jedoch nicht ideal, da die zeitliche Darstellung abhängig ist von den Anzahl Zellen und nicht von der effektiven Zeitdauer.)

Nachfolgend ist eine Berechnung als Beispiel eingefügt.

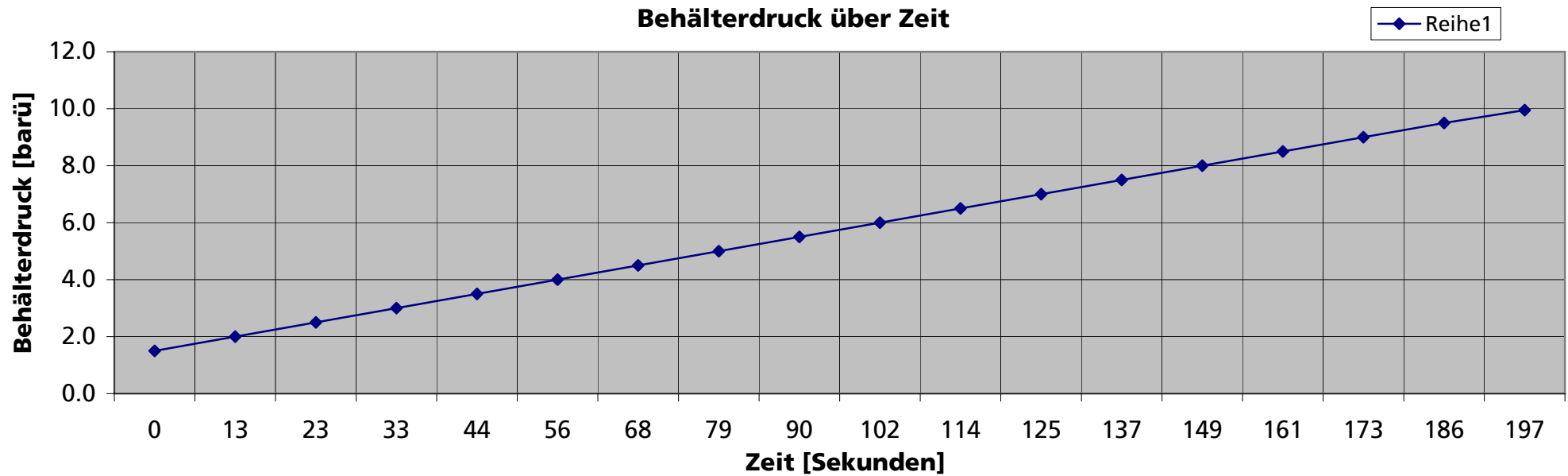
Vereinfachte Ermittlung der Liefermenge mittels Behälterfüllmethode									
Aufladen Behälter und Leitungen in Zentrale								Messung Nr.	3
									19.07.2003
$Q = \frac{V \cdot 3600 \cdot T_a}{t \cdot P_a} \cdot \left(\frac{P_{e2}}{T_{e2}} - \frac{P_{e1}}{T_{e1}} \right)$				$Q = \frac{V \cdot (p_2 - p_1)}{(t_2 - t_1)}$					
Q	=	mittlere Liefermenge auf dem Niveau der gemessenen Druckdifferenz	[m3/h]	Q	=	mittlere Liefermenge auf dem Niveau der gemessenen Druckdifferenz	[Liter/s]		
V	=	Behältergrösse (Summe der Behältergrössen bei mehreren Behältern)	[m3]	V	=	Speichervolumen (Summe der Behälter und Leitungen)	[Liter/bar]		
T _a	=	Absolute Lufttemperatur am Ansaugstutzen	[°K]	p ₁	=	Behälterdruck bei Messbeginn	[barü]		
t	=	Auffüllzeit für die gewählte Druckdifferenz	[sec]	p ₂	=	Behälterdruck bei Messende	[barü]		
P _a	=	Absoluter Ansaugdruck am Ansaugstutzen	[bar]	p ₂ -p ₁	=	Druckdifferenz für Druckerhöhung (z.B. 1bar)	[bar]		
p _{e1}	=	Absoluter Behälterdruck bei Messbeginn	[bar]	t ₁	=	Zeit bei Messbeginn			
T _{e1}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messbeginn	[°K]	t ₂	=	Zeit bei Messende			
p _{e2}	=	Absoluter Behälterdruck bei Messende	[bar]	t ₂ -t ₁	=	Fülldauer	[Sekunden]		
T _{e2}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messende	[°K]						
Quelle: [1], Seite 38				Quelle: [2], Seite 12/26					
Druckluftspeicher									
Zentrale			3'000	Liter	<u>Voraussetzung:</u>				
Total Druckluftspeicher			3'000	Liter	Sämtliche Verbraucher				
			3	m3	sind abgestellt respektive				
					der Zugang zum Netz abgesperrt.				
Druckluftnetz (gemäss Zusammenstellung)			0.328950	m3					
Total Volumen Druckbehälter und Leitungen			3.328950	m3					
V _B	=	Volumen Druckbehälter und Leitungen	3'328.950	Liter					

Messwerte Temperatur und Barometerdruck																	
t _a	=	Lufttemperatur am Ansaugstutzen						30	°C								
								303.15	K								
φ _a	=	Luftfeuchte relativ am Ansaugstutzen						40	% r.F.								
P _a	=	Absoluter Ansaugdruck am Ansaugstutzen (Barometerdruck)						1'005	hPa								
								1.005	bar								
t _{e1}	=	Behältertemperatur bei Messbeginn						31	°C								
T _{e1}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messbeginn						304.15	K								
t _{e2}	=	Behältertemperatur bei Messende						31	°C								
T _{e2}	=	Absolute Behältertemperatur bei Messende						304.15	K								
										$Q = \frac{V \cdot 3600 \cdot T_a}{t \cdot P_a} \cdot \left(\frac{P_{e2}}{T_{e2}} - \frac{P_{e1}}{T_{e1}} \right)$		$Q = \frac{V \cdot (p_2 - p_1)}{(t_2 - t_1)}$					
Druckmessungen																	
		Druck	Uhrzeit	Zeitdauer				Absolut-	Liefer-				Liefer-		Leistung	Kennzahl	
		[barü]	[hh:mm:ss]	[mm:ss]	[s]	[s]	[ss]	[s]	[bar]	[m3/h]	[m3/min]	[m3/h]	[m3/min]	[Liter/s]	[m3/min]	[kW]	[kW/(m ³ /min)]
1		1.5	13:40:30	00:00:00	0	0	00:00:00	0	2.505							54	
2		2.0	13:40:43	00:00:13	13	13			3.005	457.13	7.6188			128.0365	7.6822	57	7.48
3		2.5	13:40:53	00:00:10	10	23	00:00:23	23	3.505	594.27	9.9045	516.76	8.6126	166.4475	9.9868	58	5.86
4		3.0	13:41:03	00:00:10	10	33			4.005	594.27	9.9045			166.4475	9.9868	59	5.96
5		3.5	13:41:14	00:00:11	11	44	00:00:21	21	4.505	540.25	9.0041	565.97	9.4328	151.3159	9.0790	60	6.66
6		4.0	13:41:26	00:00:12	12	56			5.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	61	7.39
7		4.5	13:41:38	00:00:12	12	68	00:00:24	24	5.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	62	7.51
8		5.0	13:41:49	00:00:11	11	79			6.005	540.25	9.0041			151.3159	9.0790	64	7.11
9		5.5	13:42:00	00:00:11	11	90	00:00:22	22	6.505	540.25	9.0041	540.25	9.0041	151.3159	9.0790	65	7.22
10		6.0	13:42:12	00:00:12	12	102			7.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	67	8.12
11		6.5	13:42:24	00:00:12	12	114	00:00:24	24	7.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	69	8.36
12		7.0	13:42:35	00:00:11	11	125			8.005	540.25	9.0041			151.3159	9.0790	70	7.77
13		7.5	13:42:47	00:00:12	12	137	00:00:23	23	8.505	495.22	8.2537	516.76	8.6126	138.7062	8.3224	72	8.72
14		8.0	13:42:59	00:00:12	12	149			9.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	74	8.97
15		8.5	13:43:11	00:00:12	12	161	00:00:24	24	9.505	495.22	8.2537	495.22	8.2537	138.7062	8.3224	76	9.21
16		9.0	13:43:23	00:00:12	12	173			10.005	495.22	8.2537			138.7062	8.3224	78	9.45
17		9.5	13:43:36	00:00:13	13	186	00:00:25	25	10.505	457.13	7.6188	475.42	7.9236	128.0365	7.6822	80	10.50
18		9.95	13:43:47	00:00:11	11	197	00:00:11	11	10.955	486.22	8.1037			136.1843	8.1711	57	
19																	
20		00:03:17	3	17	197	197		197									9.09

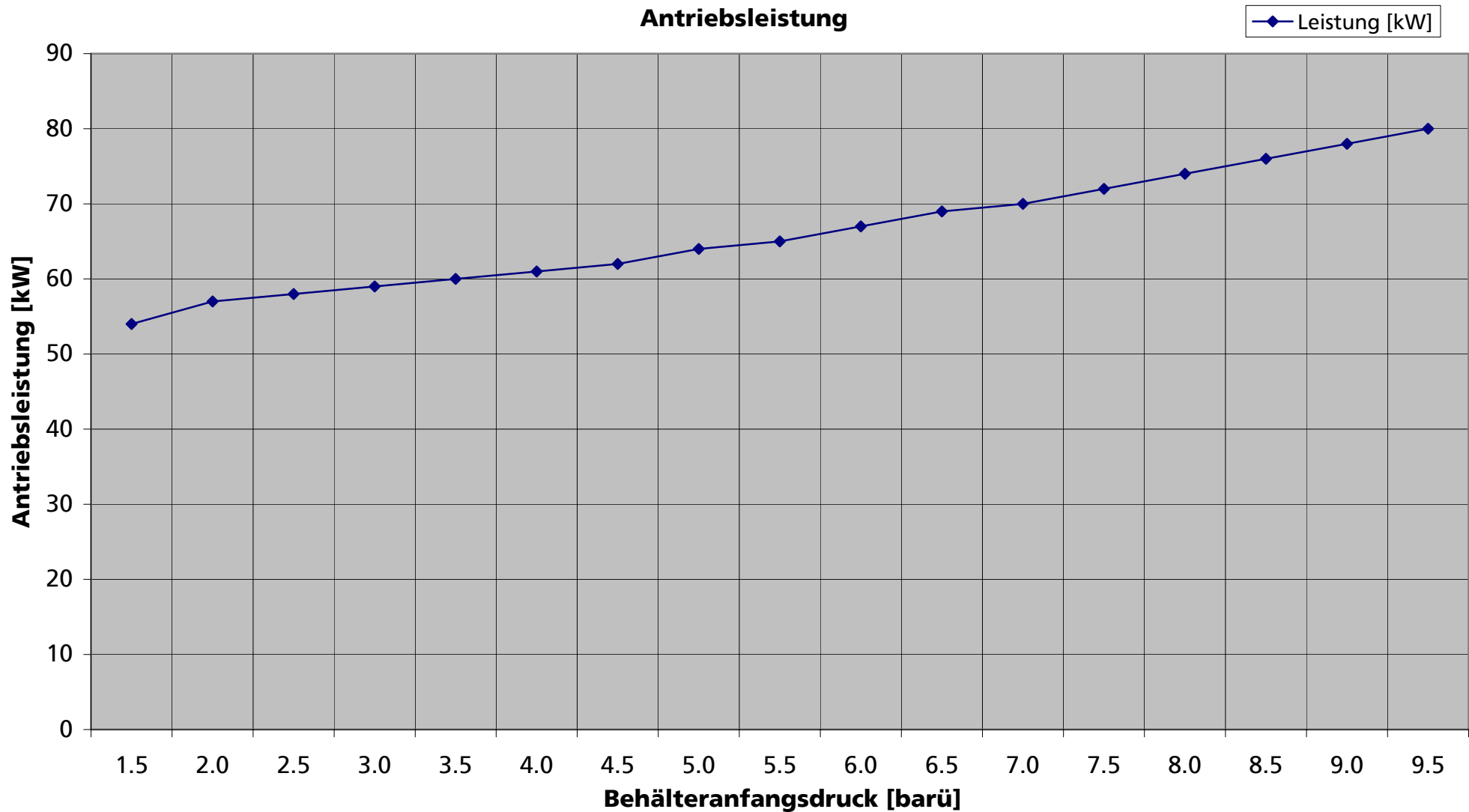
Liefermenge Kompressor 1



Behälterdruck über Zeit



Antriebsleistung



5. Anhang

5.1 Literaturverzeichnis

- [1] Bahr, Michael: Taschenbuch Drucklufttechnik; Michael Bahr / Erwin Ruppelt; Vulkan Verlag, Essen; 2000; ISBN 3-8027-2188-8
- [2] Gloor Rolf: Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen in der Schweiz; Schlussbericht Forschungsprojekt Programm Elektrizität; Bundesamt für Energie, CH-3000 Bern; Vertragsnummer: 73 503, Projektnummer: 33 564; Juli 2000
- [3] Müntz Franz: Wirkungsgradoptimierung der Drucklufterzeugung und -verteilung; Materialien zu RAVEL; Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen CH-3003 Bern; Form. 724.397.21.54; 1992 / 10
- [4] Bierbaum, Ulrich: Das Druckluft-Kompendium; 5. bearbeitete Auflage 2002, erschienen 1997 im VML-Verlag; ISBN 3 - 89646 - 003 - X (als pdf verfügbar auf <http://www.drucklufttechnik.de/>)
- [5] Gloor, Rolf: Druckluftoptimierung in einer Weberei; Jahresbericht Forschungsprojekt Programm Elektrizität; Bundesamt für Energie, CH-3000 Bern; Vertragsnummer: 82 336, Projektnummer: 42 445; Dezember 2001
- [6] Wyrsh Iso und Dolder Markus: Einsparung von elektrischer Energie in einem Sägereibetrieb, Stromeinsparungen in den Bereichen Holzbearbeitung, Fördertechnik, Holz Trocknung, Absauganlagen, Druckluft, Beleuchtung; Forschungsarbeit im Auftrag des Bundesamtes für Energie; DIS-Projekt Nr. 47 114; DIS-Vertrags Nr. 87 234; erhältlich als Download unter www.electricity-research.ch (pdf-Version) oder www.dolder-ing.ch (htm- und pdf-Version); Dezember 2004

5.2 Verteiler

Version P1.1

Buchstabe bei Version gibt den Projektstand an:
 E: Entwurf
 F: gültig für Offerte
 A: gültig für Ausführung
 B: Revisionsunterlagen, Anlage dem Betrieb übergeben

Datum: 28.12.2004

Bemerkungen zu den Versionen und Änderungen:

Version P1.1 vom 28.12.2004 Papier als Arbeitspapier erstellt

Verteiler:

Name	Abt.	Firma	Version P1.1	Version	Version	Version	Version	Version
Veröffentlichung	auf	www.dolder-ing.ch	A					
Markus DOLDER		Ing. Büro Dolder	E, O					

- P hat ganzes Dokument in Papierform erhalten
- (P) hat Auszug aus Dokument erhalten
- F hat ganzes Dokument als Fax erhalten
- (F) hat Auszug aus Dokument als Fax erhalten
- K hat Korrekturen erhalten
- A hat Dokument im Dateiformat pdf erhalten
- W hat Dokument im Dateiformat doc erhalten
- (B) Thema wurde an Besprechung mit Bericht erläutert
- E Ersteller des Dokumentes
- O hat Original resp. Datei