



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

DRUCKLUFT SCHWEIZ

INSTRUMENTENENTWICKLUNG FÜR DIE KAMPAGNE 2005 - 2008

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Dr. Peter Radgen, Fraunhofer ISI

Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe, peter.radgen@isi.fraunhofer.de,
www.isi.fraunhofer.de

Prof. Dr. Eberhard Jochem, CEPE, ETH Zürich

Zürichbergstrasse 18, 8032 Zürich e.jochem@ethz.ch, www.cepe.ethz.ch

Impressum

Datum: 31. Januar 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter, felix.frey@bfe.admin.ch

BFE-Projektnummer: 101226

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Resumé.....	2
Summary.....	2
1. Ausgangslage	3
2. Ziel der Arbeit.....	3
2.1 Leitfäden für Optimierung, Erweiterung und Neubau.....	4
2.2 Toolbox auf Basis von Excel	6
2.3 Infoblätter zur Druckluft	14
2.4 Benchmarking von Druckluftanlagen	15
2.5 Internetauftritt	16
3. Zusammenfassung und Ausblick.....	19
Referenzen.....	19

Zusammenfassung

In den Jahren 2005 bis 2008 wird in der Schweiz die Kampagne Effiziente Druckluft im Rahmen des Programms EnergieSchweiz durchgeführt. Diese Kampagne mit der Zielsetzung, die Betreiber von Druckluftanlagen bei der Optimierung ihrer Anlagen zu unterstützen, wird in Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten, Herstellern und einem Marketingunternehmen durchgeführt. Zur Unterstützung der Anlagenbetreiber wurde im Rahmen dieses Projektes eine Reihe von Tools entwickelt, die dem Betreiber dabei unterstützen, die Ist-Situation seiner Druckluftversorgung ohne grossen Aufwand zu analysieren und zu optimieren. Neben der Entwicklung von Leitfäden zur Optimierung, Erweiterung/ Erneuerung und Neubau wurde ein internetbasiertes Benchmarking und Tools zur Wärmerückgewinnung, Leckagen, Rohrleitungsdimensionierung, Gesamtkosten und zu Kondensatableitern entwickelt. Alle entwickelten Unterlagen werden den Betreiber sowohl auf deutsch als auch auf französisch zur Verfügung gestellt und können vom Internetportal www.druckluft.ch bzw. www.air-comprime.ch kostenlos abgerufen werden.

Resumé

La campagne Air Comprimé Efficient a lieu en Suisse de 2005 à 2008 dans le cadre du programme SuisseEnergie. Cette campagne, dont le but est de soutenir les exploitants d'installations d'air comprimé dans l'optimisation de leur installation, est réalisée en collaboration avec des instituts de recherche, des fabricants et une entreprise de marketing. De 2005 à 2006, une série d'utilitaires ont été développés afin de soutenir les exploitants dans leur démarche d'optimisation. Ces utilitaires permettent d'analyser rapidement la situation actuelle d'une installation et de l'optimiser. En plus de guides pour l'optimisation, le renouvellement ou l'extension d'une installation existante et la construction d'une nouvelle installation, la campagne Air Comprimé Efficient met à disposition un Benchmarking en ligne et des utilitaires pour la récupération de chaleur, les fuites, le dimensionnement des conduites et la purge du condensât. Tous les documents réalisés dans le cadre de la campagne sont disponibles gratuitement aussi bien en allemand qu'en français sur le portail Internet www.druckluft.ch (version allemande) ou bien www.air-conprime.ch (version française).

Summary

The "efficient compressed air" campaign is being conducted in Switzerland from 2005 to 2008 within the scope of the EnergieSchweiz programme. This campaign, which aims to support compressed air operators in the optimization of their systems, is a joint effort on the part of research institutes, manufacturers and a marketing company. A series of tools was developed during 2005 and 2006 to help systems' operators analyse and optimise the actual state of their compressed air supply. As well as compiling guidelines on optimization, extensions/modernization and new construction, an Internet-based benchmarking and tools were developed for heat recovery, leaks, the correct dimensioning of pipes and condensate drains. All the related documents are available to operators at no charge in both German and French at the Internet portal www.druckluft.ch or www.air-comprime.ch

1. Ausgangslage

Der Energieverbrauch von Druckluftanlagen ist neben den Pumpen-, Ventilatoren- und Kältesystemen einer der vier Verbrauchsschwerpunkte im Bereich der elektrischen Antriebssysteme in Industrie und sonstiger Wirtschaft. Elektromotorensysteme sind in der Industrie für ca. 70 % des Stromverbrauchs verantwortlich. Im Rahmen einer Studie für die EU [Radgen, 2001] wurde ein Gesamtstromverbrauch von 80 Milliarden Kilowattstunden (80'000 GWh) für die Druckluftherzeugung in der EU-15 ermittelt. Im Rahmen einer Studie für das BFE wurde der Stromverbrauch für die Druckluftherzeugung in der Schweiz zu 750 GWh ermittelt [Gloor, 2000]. Beide Studien kommen zudem zu dem Ergebnis, dass im Bereich der Druckluftherzeugung grosse und wirtschaftliche Energieeffizienzpotentiale vorhanden sind. So geht Gloor in seiner Studie von einem praktischen Einsparpotential von etwa 100 GWh in der Schweiz aus, die innerhalb der nächsten Jahre realisiert werden könnten.

Trotz dieser hohen und wirtschaftlichen Einsparpotentiale belegen die Ergebnisse von Fallstudien jedoch immer wieder, dass die Umsetzung wirtschaftlicher Energieeffizienz-Massnahmen unterbleibt. Dabei liegt dies nicht an fehlender Technik, sondern ein grosser Teil des vorhandenen Einsparpotentials ist auf unzureichende Wartung und Instandhaltung (z. B. Leckagen) oder auf fehlerhafte Einstellungen (z. B. Nachlaufzeiten, Druckniveau, Nachtabstaltung) an den Anlagen zurückzuführen. Hinzu kommen mangelnde Lebenszykluskosten-Analysen und eine Fokussierung auf niedrige Investitionskosten mit dem Ergebnis wenig effizienter Lösungen (z. B. fehlende Hocheffizienz-Motoren und unzureichend intelligente Regelung und fehlende Messtechnik). Für diese Defizite sind dabei häufig mangelnde Information oder fehlende Werkzeuge verantwortlich, die die Analyse und Identifikation der Schwachstellen auf einfache und schnelle Art ermöglichen.

Unter diesen Randbedingungen lassen sich meist recht einfach Win-Win-Situationen herstellen, da sowohl die Industrieunternehmen von entsprechenden Massnahmen profitieren als auch die gesamte Gesellschaft durch die Reduzierung der Emissionen bei gleichzeitiger wirtschaftlicher Stärkung der heimischen Unternehmen. Diese Randbedingungen führten im Jahre 2001 in Deutschland zum Start einer Kampagne zur Optimierung von Druckluftanlagen. Diese Kampagne unter der Bezeichnung *Druckluft effizient* (www.druckluft-effizient.de) verfolgte das Ziel, Informationen zielgruppengerecht aufzubereiten, Schulungen durchzuführen, und hilfreiche Werkzeuge bereitzustellen, mit dessen Hilfe die Druckluftanwender ihre Druckluftanlagen auf einfache Weise in Hinblick auf die Energieeffizienz optimieren können. Diese Kampagne wurde im Jahr 2005 eingestellt, der Internetauftritt mit den entsprechenden Unterlagen blieb jedoch erhalten und steht weiter zur Verfügung. Diese sehr erfolgreiche Kampagne in Deutschland (VDMA, 2005) führte auch in der Schweiz zu ersten Überlegungen, ob die Durchführung einer solchen Kampagne in der Schweiz ebenfalls sinnvoll und hilfreich sein könnte.

Im Rahmen von Vorstudien (Radgen, 2003; Radgen, 2004) für das Bundesamt für Energie wurde geprüft, ob und unter welchen Rahmenbedingungen eine entsprechende Kampagne in der Schweiz umgesetzt werden könnte. Aufgrund der positiven Ergebnisse dieser Vorstudien wurde im Jahr 2005 die Umsetzung einer Kampagne zur Umsetzung von Energieeffizienzmassnahmen im Bereich der Druckluftanlagen durch das BFE gestartet. Im ersten Jahr der Kampagne wurden dabei verschiedene Hilfsmittel und Tools für die Druckluftanwender entwickelt. Im August 2006 erfolgte dann der offizielle Start der Kampagne Effiziente Druckluft mit einer grossen Auftaktveranstaltung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. Die Druckluftkampagne ist dabei eingebettet in das Programm von EnergieSchweiz, orientiert sich an dessen Gestaltungsvorgaben und wird im Rahmen der Basiskommunikation von EnergieSchweiz mitbeworben.

Dieser Schlussbericht beschreibt die für die Druckluftkampagne entwickelten Unterlagen und Hilfsmittel. Mit der Fertigstellung der Unterlagen wird dieses Projekt abgeschlossen. Fortgeführt werden demgegenüber das Marketing und die Kommunikation der Unterlagen, um die weitere erfolgreiche Verbreitung sicherzustellen. Diese Arbeiten werden im Rahmen eines weiteren Projektes durch das Bundesamt für Energie bis Ende 2008 gefördert.

2. Ziel der Arbeit

Im Rahmen von verschiedenen Vorarbeiten wurde stets das Problem der Informationsdefizite als eine wesentliche Barriere bei der Umsetzung von Effizienzmassnahmen identifiziert. Diese Defizite abzubauen und an einer zentralen Anlaufstelle alle erforderlichen Informationen und Hilfsmittel zu bündeln und kostenfrei für die Betreiber von Druckluftanlagen bereitzustellen, war Ziel dieses Projektes.

2.1 LEITFÄDEN FÜR OPTIMIERUNG, ERWEITERUNG UND NEUBAU

Im Rahmen der Arbeiten wurde gemeinsam mit Herstellern, Forschungseinrichtungen und einer auf das Marketing spezialisierten Firma Leitfäden für die drei in der Praxis auftretenden Handlungsoptionen für Betreiber von Druckluftanlagen erarbeitet (Optimierung bestehender Anlagen, Ersatz und Erweiterung der Druckluftversorgung, Neubau einer Druckluftanlage). Dazu wurden unter anderem mehrere gemeinsame Workshops durchgeführt, um sicherzustellen, dass die technischen Inhalte korrekt und vollständig sind. Dabei galt es, die komplexen technischen Fragestellungen für den Druckluftanwender in Form von einfachen und leicht verständlichen und nachvollziehbaren Unterlagen aufzubereiten. Die erarbeiteten Inhalte wurden im Anschluss daran grafisch aufbereitet und ins Französische übersetzt.

2.1.1 Optimierung

Wenn man bei Druckluftanlagen von Betriebskosten spricht, so meint man eigentlich Stromkosten. Denn die Aufwendungen für Elektrizität machen 70 bis 80 % der gesamten Kosten aus. Bereits bei mittleren Anlagen sind dies schnell 15'000 Franken im Jahr. Ein Betrag, der sich stark reduzieren bis fast halbieren liesse – selbst bei gut betriebenen Anlagen. Die Dokumente zur Optimierung zeigen, wie durch systematische Druckluftoptimierung rasch einige tausend bis einige zehntausend Franken durch die Betriebe zu sparen sind. Der Leitfaden zur Optimierung (Abbildung 1) ist dabei in drei Teile gegliedert, „Für die Geschäftsführung“, „3 Schritte Check“ und einen „Optimierungsleitfaden“. Alle Dokumente stehen sowohl online als PDF-Dokumente als auch auf Anfrage in gedruckter Form kostenlos zur Verfügung.

Für die Geschäftsleitung	Der 3-Schritte-Check	Der Optimierungsleitfaden
		
Hier findet die Geschäftsleitung Fakten zur Druckluft als Kostenfaktor und Empfehlungen wie die Effizienzverbesserung organisatorisch angegangen wird.	Er führt durch die Anlage und zeigt in Kurzform, wie das System vom Werkzeug bis zum Kompressor auf Energielecks hin untersucht wird.	Er liefert Ihnen Tipps zur Umsetzung der vier wirtschaftlichsten Optimierungsmassnahmen und der fünf lohnendsten Klein-Investitionen.

Abbildung 1: Die drei Teildokumente des Optimierungsleitfadens
(www.druckluft.ch/optimierung/)

2.1.2 Ersatz oder Erweiterung der Druckluftversorgung

Neben der Optimierung einer bestehenden Druckluftversorgung besteht in manchen Fällen die Notwendigkeit, die vorhandene Druckluftanlage zu erweitern oder zu erneuern. Im Gegensatz zur Optimierung sind hier gewisse Investitionen von vornherein vorgesehen, und es besteht meist ein konkreter Handlungsbedarf. Die Erneuerung oder Erweiterung einer Druckluftanlage ist eine ideale Gelegenheit zur Effizienzverbesserung. Der Leitfaden für die Anlagenerneuerung (Abbildung 2) hilft den Betreibern, diese Chance zu nutzen. Der Leitfaden dient dabei als Grundlage für die Besprechung zwischen Nutzer und Lieferanten.

Das Bestellpaket für eine kosteneffiziente Anlage	Der Bestell-Check „Wirtschaftliche Druckluftanlage“
	
Es dient als Gesprächsleitfaden zwischen Anlagenlieferant und Besteller. Das Dokument zeigt auf, welche fünf Diskussionspunkte gemäss Empfehlung von EnergieSchweiz im Beratungsgespräch bei der Erneuerung einer bestehenden Anlage geklärt und erledigt werden müssen, um eine effiziente Lösung zu erhalten.	Er zeigt, welche Elemente laut Empfehlung von EnergieSchweiz eine betriebssichere und kosteneffiziente Anlage umfassen sollte.

Abbildung 2: Die zwei Teile des Leitfadens zur Erneuerung/Erweiterung einer Druckluftanlage
(www.druckluft.ch/ersatz/)

2.1.3 Neubau einer Druckluftanlage

„Clever investieren, um später wirtschaftlicher zu produzieren.“ – Dieser Leitsatz gilt im Fall der Druckluftanlage wie kaum bei einer anderen Investition. Denn die Investitionen betragen hier lediglich 10 bis 15% der Lebenszykluskosten. Rund 70 bis 80 % der Gesamtkosten macht dagegen der Stromverbrauch im Betrieb aus. Im Falle einer Neubeschaffung werden die ersten Weichen für eine kosteneffiziente Anlage bereits vor Projektstart gestellt. Der entwickelte Leitfaden zeigt dem Druckluftanwender Projektphase für Projektphase, wann welche Entscheide zu treffen sind (Abbildung 3). Er stellt damit einen sichereren und unverzichtbaren Wegweiser zur kosteneffizienten, betriebssicheren und wirtschaftlichen Druckluftanlage da.

Handlungsanleitung Anlagenneubau

Wegweiser für die Anlagen-Neubeschaffung mit einer detaillierten Checkliste mit den wichtigsten Punkten, die vom Planer berücksichtigt werden müssen.

Abbildung 3: Leitfaden zum Neubau einer Druckluftanlage (www.druckluft.ch/neubau/)

Alle gemeinsam mit der Druckluftbranche entwickelten Dokumente werden sowohl über direkte Kanäle (Webseite, Bundesamt für Energie) als auch über die Moderatoren der EnAW und die Aussendienstmitarbeiter der an der Kampagne beteiligten Hersteller verteilt. Zudem wurden die entwickelten Instrumente der Kampagne über Fachartikel in Fachzeitschriften bei den Druckluftanwendern bekannt gemacht.

2.2 TOOLBOX AUF BASIS VON EXCEL

In der Praxis steht der Druckluftanwender häufig vor der Frage, ob sich bestimmte Optimierungsmassnahmen für ihn rechnen. Allerdings ist diese Frage für den Anwender nicht einfach zu beantworten, da in der Berechnung eine Vielzahl von Parametern zu berücksichtigen sind und teilweise auch die entsprechenden thermodynamischen Zusammenhänge beherrscht werden müssen. Ziel der Toolentwicklung war es daher, dem Druckluftanwender diese Arbeit abzunehmen und ihm mit benutzerfreundlichen Tools die Möglichkeit zu geben, Optimierungsrechnungen auf einfache Art und mit den für seine Anlage gültigen Randbedingungen durchzuführen.

Die Tools haben dabei eine einheitliche Oberfläche. Neben einer Einführung in die Thematik gibt es jeweils eine Eingabemaske für die Randbedingungen und mehrere Ausgabemasken bzw. Ergebnisdiagramme. Für viele Randbedingungen sind in den Tools zudem Standardwerte hinterlegt, die immer dann genutzt werden können, wenn dem Anwender die für ihn zutreffenden Werte unbekannt sind. Abbildung 4 zeigt exemplarisch den Startbildschirm des Tools zur Wärmerückgewinnung.



Abbildung 4: Startbildschirm des Tools zur Wärmerückgewinnung als Beispiel

2.2.1 Tool Wärmerückgewinnung

Druckluftkompressoren erzeugen bei der Verdichtung der Luft thermodynamisch bedingt eine grosse Menge Abwärme. Die Nutzung dieser Abwärme für Zwecke der Raumheizung oder der Warmwassererzeugung stellt meist eine sehr wirtschaftliche Massnahme zur Energieeinsparung da. Als Faustformel gilt dabei, dass die Wärmerückgewinnung ab einer Kompressorleistung von 15 kW wirtschaftlich realisiert werden kann.

Abbildung 5 zeigt die Eingabemaske des Tools zur Wärmerückgewinnung. Für die Berechnung müssen Angaben zur Kompressorengrösse, zu den Strom- und Brennstoffpreisen und der Anzahl der Nutzungstage gemacht werden. Zudem muss angegeben werden, ob die Wärme mit Hilfe eines Wärmetauschers auf Wasser übertragen werden soll oder ob die warme Abluft des Kompressors direkt als Wärmeträger genutzt werden soll. Im Falle der Nutzung über Wärmeübertrager wird zudem noch zwischen der Erwärmung von Sanitär- und Heizwasser unterschieden, da im ersten Fall teurere Sicherheitswärmeübertrager eingesetzt werden müssen.

Währung
EUR

Kompressor

Leistung kW
oder
Liefermenge m3/Std.
Druck bar

Laufzeit

Energieverbrauch kWh/Jahr
oder
Betriebsstunden Std./Jahr
Anteil Volllast %
Anteil Leerlauf %

Umgebungsvariablen

Rückgewinnung über
Energieträger
Energiepreis EUR/l
Heizwert MJ/l
Heizkesselwirkungsgrad
Nutzungstage d/Jahr
Anteil nutzbare Energie 0,85

Investition

Zinssatz %

Investition

Plattenwärmetauscher

45 °C auf 70 °C EUR
15 °C auf 70 °C EUR

Sicherheitswärmetauscher

45 °C auf 70 °C EUR
15 °C auf 70 °C EUR

Einsparung

Theoretisches Einsparpotential EUR/a
Realisierbare Einsparung IST-Zustand EUR/a

Energiepreis-Szenarien

Betriebsstunden-Szenarien

Legende

muss ausgefüllt werden
kann ausgefüllt werden
wird berechnet


energieschweiz
 effiziente Druckluft – eine Kampagne von Energieschweiz
 www.druckluft.ch

Abbildung 5: Eingabemaske des Tools Wärmerückgewinnung

Zum besseren Verständnis ein kleines Beispiel: Für einen Kompressor mit einer Nennantriebsleistung von 37 kW, der 5'000 Stunden im Jahr betrieben wird und dabei einen Volllastanteil von 60 % aufweist, soll ermittelt werden, ob sich eine Wärmerückgewinnung zu Heizzwecken lohnt. Etwa 85 % der anfallenden Abwärme des Kompressors können dabei genutzt werden, was dem Standardwert für die Rückgewinnung über Wasser entspricht. Da Heizwärme nur im Winterhalbjahr benötigt wird, kann die Wärme nur in der Hälfte des Jahres genutzt werden.

Währung
CHF

Kompressor

Leistung kW 37
oder
Liefermenge m3/Std.
Druck bar

Laufzeit

Energieverbrauch kWh/Jahr
oder
Betriebsstunden Std./Jahr 5000
Anteil Volllast % 60%
Anteil Leerlauf % 40%

Umgebungsvariablen

Rückgewinnung über
Energieträger
Energiepreis CHF/l 0,65
Heizwert MJ/l
Heizkesselwirkungsgrad
Nutzungstage d/Jahr 180
Anteil nutzbare Energie 0,85

Investition

Zinssatz % 10%

Investition

Plattenwärmetauscher

45 °C auf 70 °C CHF 2.762
15 °C auf 70 °C CHF 2.292

Sicherheitswärmetauscher

45 °C auf 70 °C CHF 16.121
15 °C auf 70 °C CHF 12.498

Einsparung

Theoretisches Einsparpotential CHF/a 6.871
Realisierbare Einsparung IST-Zustand CHF/a 3.389

Energiepreis-Szenarien

Betriebsstunden-Szenarien

Legende

muss ausgefüllt werden
kann ausgefüllt werden
wird berechnet


energieschweiz
 effiziente Druckluft – eine Kampagne von Energieschweiz
 www.druckluft.ch

Abbildung 6: Beispielhafte Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Wärmerückgewinnung

Nach der Eingabe dieser Werte in die Eingabemaske erhält man sofort die Richtpreise für die Kosten der Wärmerückgewinnung, die in diesem Fall des einfachen Plattenwärmeübertragers bei ca. 2'500 CHF liegen. Durch klicken auf einen der beiden Buttons kann dann sofort die Wirtschaftlichkeit der Massnahme berechnet werden. Über den Button *Energiepreisszenarien* bekommt man eine Darstellung der Amortisationszeiten bei verschiedenen Entwicklungen der Energiepreise, über den Button *Betriebsstundenszenarien* eine entsprechende Darstellung bei veränderter Betriebsstundenzahl der Anlage, Abbildung 7.

7/19

Projekt 101226 DRUCKLUFT SCHWEIZ, Radgen, Peter, Fraunhofer ISI

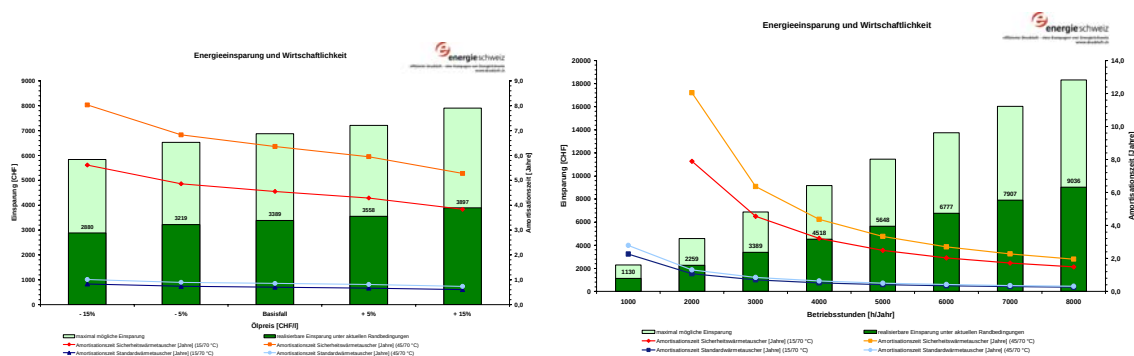


Abbildung 7: Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnung
a) Energiepreisszenarien b) Betriebsstundenszenarien

So ergibt sich im vorliegenden Beispiel eine Amortisationszeit für die Wärmerückgewinnung von ca. einem Jahr, was bei einer Nutzungszeit von 10 Jahren einer internen Verzinsung von mehr als 50 % entspricht.

2.2.2 Tool Leckagen

Das Tool zur Ermittlung der Leckagekosten einer Druckluftanlage entspricht vom Aufbau dem Tool zur Wärmerückgewinnung. Das Tool unterstützt dabei die drei Varianten zur Bestimmung der Leckagemenge: Behälterentleerung; Nachspeisemengen; Lochanzahl und Grösse.

Bei der **Behälterentleerung** wird zu einem Zeitpunkt ausserhalb der Produktion der Kompressor abgeschaltet und dann der Druckabfall im System ermittelt. Dazu wird die Zeit bestimmt, in der der Systemdruck um eine Druckdifferenz abgefallen ist. Dabei sollte die Druckdifferenz jedoch nicht zu klein gewählt werden, um die Genauigkeit zu erhöhen. Typischerweise wählt man hier eine Druckdifferenz von 1 oder 2 bar. Benötigt wird zusätzlich noch die Information zur Grösse des Druckluftspeichers. Da zusätzlich auch das Speichervolumen in den Leitungen zu berücksichtigen ist, kann diese über Längen und Durchmesser einfach ermittelt werden. Dargestellt ist die Berechnung der Leckagekosten für die Entleerung eines Druckluftbehälters von 3 m³ und einer Druckluftverteilung mit einer Rohrlänge von 300 m und einem Durchmesser von 50 mm, Abbildung 8. Durch die Leckagen sinkt der Druck in 600 s von 9 auf 7 bar ab. Umgerechnet entspricht dies einer Leckagemenge von 0,72 m³/min oder in diesem Fall Kosten von 2'150 CHF pro Jahr.

Bestimmung der Leckagen durch Druckbehälterentleerung			
Währung: CHF			
Behältervolumen		Volumen der Rohrleitungen	
Grösse (m ³)	Anzahl	Durchmesser (mm)	Länge (m)
3	1	50	300
Messergebnisse		Systemvolumen	
Druckbehälterenddruck	bar	9,00	Systemvolumen gesamt (m ³)
Druckbehälterenddruck	bar	7,00	3,59
Messzeit t	s	600,00	
Leistung		Ausflussmenge	
spezifische Leistung	kW/(m ³ /min)	6,00	Massenstrom (kg/s)
(Nur ein Wert angeben)	kW/(Nm ³ /min)		0,014
			0,365
			0,011
			0,669
			0,718
			43,069
			0,001
Systemwerte		Verbrauch/ Kosten Leckage	
Systemdruck	bar	8	Stromverbrauch (kWh/a)
Systemtemperatur	°C	nicht relevant	21.534
Betriebszeit	h/a	5000	Kosten (CHF/a)
Strompreis	CHF/kWh	0,1	2.153
Umgebungsdruck	bar	nicht relevant	
Druckluftverbrauch gesamt (optional)		Verbrauch/ Kosten gesamt (optional)	
Verbrauch	m ³ /min	5,00	Stromverbrauch (kWh/a)
Leckageanteil	%		150.000
			Kosten (CHF/a)
			15.000
Konstanten		Maßnahmen	
Adiabatenexponent		1,4	Leckagen
spez. Gaskonstante	J/(kgK)	287	-25 %
spez. Wärmekapazität	J/(kgK)	1020	spezifische Kompressorleistung
Normdichte (0°C, 1013,25 mbar)	kg/m ³	1,293	unverändert
			Systemdruck
			-0,5 bar
		Berechnen Diagramm Zurück	

Abbildung 8: Leckagekosten auf Basis der Methode der Behälterentleerung

Zudem kann mit Hilfe des Tools ermittelt werden, welche Einsparungen durch verschiedene Massnahmen realisiert werden können. Als mögliche Massnahmen stehen die Leckagereduzierung, die Verbesserung des Kompressorwirkungsgrades und die Druckabsenkung zur Verfügung. Nach der

Spezifikation der erwarteten Einsparungen wird das Ergebnis grafisch dargestellt. Dabei werden sowohl die Massnahmen einzeln als auch die Massnahmen gemeinsam dargestellt, Abbildung 9.

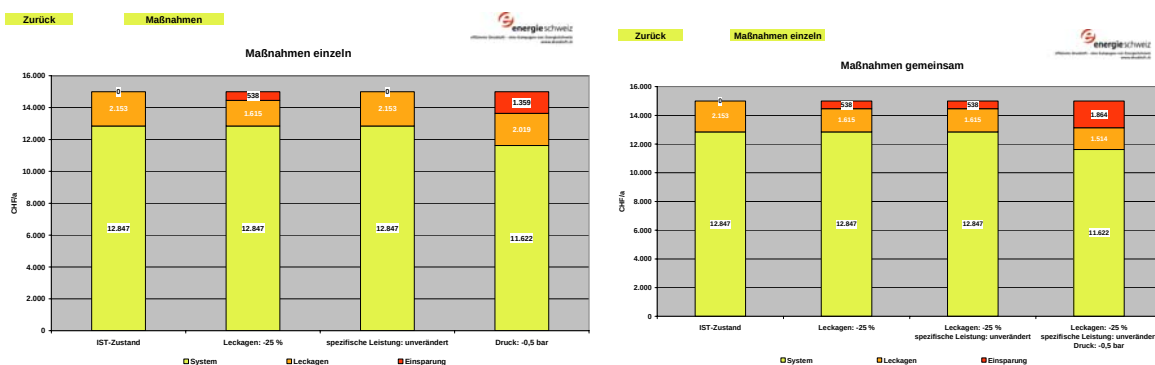


Abbildung 9: Einsparpotentiale a) Massnahmen einzeln b) Massnahmen gemeinsam

Bestimmung der Leckagen durch Kompressorlaufzeit

Währung: **CHF**

Messergebnisse		
Liefermenge Kompressor	m³/min	5,00
Zeiteinheiten Kompressor belastet	s	60,00
Gesamtzeit des Messvorgangs	s	240,00

Leistung		
spezifische Leistung	kW/(m³/min)	6,00
(Nur ein Wert angeben)	kWh/m³	
	kW/(Nm³/min)	

Systemwerte		
Systemdruck	bar	7
Systemtemperatur	°C	nicht relevant
Betriebszeit	h/a	5000
Strompreis	CHF/kWh	0,1
Umgebungsdruck	bar	nicht relevant

Druckluftverbrauch gesamt (optional)		
Verbrauch	m³/min	5,00
Leckageanteil	%	

Konstanten		
Adiabatenkoeffizient		1,4
spez. Gaskonstante	J/(kgK)	287
spez. Wärmekapazität	J/(kgK)	1020
Normdichte (0°C, 1013,25 mbar)	kg/m³	1,293

Ausflussmenge		
Massenstrom	kg/s	0,025
	kg/min	1,506
Normvolumenstrom	Nm³/s	0,019
	Nm³/min	1,165
Normalvolumenstrom	m³/min	1,250
	m³/h	75,000
	l/min	0,001

Verbrauch/ Kosten Leckage		
Stromverbrauch	kWh/a	37.500
Kosten	CHF/a	3.750

Verbrauch/ Kosten gesamt (optional)		
Stromverbrauch	kWh/a	150.000
Kosten	CHF/a	15.000

Maßnahmen	
Leckagen	-25 %
spezifische Kompressorleistung	unverändert
Systemdruck	-0,5 bar

Legende

muss ausgefüllt werden
kann ausgefüllt werden
wird berechnet

Berechnen **Diagramm** **Zurück**

energie schweiz
effiziente Druckluft – eine Kampagne von Energieschweiz
www.druckluft.ch

Abbildung 10: Berechnung der Leckagekosten über die Methode der Nachspeisemengen

Bei einer Liefermenge des Kompressors von 5 m³/min, einer gesamten Lastlaufzeit im Messzeitraum von 60 Sekunden und einer Gesamtzeit von 240 Sekunden ergibt sich eine Leckagemenge von 1,25 m³/min und jährliche Leckagekosten von 3'750 CHF.

Eine dritte Möglichkeit mit Hilfe des Tools die Leckagemenge und Leckagekosten zu bestimmen; besteht in der Angabe von Anzahl und Grösse der Leckagen. Die aus einem Loch einer bestimmten Grösse austretende Druckluftmenge lässt sich auf Basis thermodynamischer Grundlagen berechnen (freie Ausströmung gegen Umgebungsdruck). Dabei stellt sich typischerweise im Austrittsquerschnitt die Schallgeschwindigkeit ein, sofern der Systemdruck grösser ca. 2 bar ist. Leckagen verhalten sich dabei wie Blasdüsen, d. h. mit Hilfe des Tools kann auch der Luftverbrauch von Blasdüsen und Blaspistolen berechnet werden. Für 10 Leckagen mit einem Durchmesser von jeweils 1 mm führt dies bei einem Systemdruck von 7 bar zu einer Leckagemenge von 0,65 m³/min, Abbildung 11. Gibt man zusätzlich den Energieverbrauch des Kompressors (im Beispiel 6 kW/(m³/min) bzw. 0,1 kWh/m³) und die Betriebsstundenzahl, beispielsweise 5'000 h/a, an, so werden zusätzlich die jährlichen Kosten ermittelt (im Beispiel 1'940 CHF/a).

Leckagen																																																							
Währung		CHF																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Durchmesser (mm)</th> <th>Anzahl</th> <th>Durchmesser (mm)</th> <th>Anzahl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,05</td><td></td><td>1,00</td><td>10</td></tr> <tr><td>0,10</td><td></td><td>1,50</td><td></td></tr> <tr><td>0,15</td><td></td><td>2,00</td><td></td></tr> <tr><td>0,20</td><td></td><td>2,50</td><td></td></tr> <tr><td>0,25</td><td></td><td>3,00</td><td></td></tr> <tr><td>0,30</td><td></td><td>3,50</td><td></td></tr> <tr><td>0,75</td><td></td><td>4,00</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Durchmesser (mm)	Anzahl	Durchmesser (mm)	Anzahl	0,05		1,00	10	0,10		1,50		0,15		2,00		0,20		2,50		0,25		3,00		0,30		3,50		0,75		4,00																					
Durchmesser (mm)	Anzahl	Durchmesser (mm)	Anzahl																																																				
0,05		1,00	10																																																				
0,10		1,50																																																					
0,15		2,00																																																					
0,20		2,50																																																					
0,25		3,00																																																					
0,30		3,50																																																					
0,75		4,00																																																					
Leistung		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>spezifische Leistung</td> <td>kW/(m²/min)</td> <td>6,00</td> </tr> <tr> <td>(Nur ein Wert angeben)</td> <td>kW/h/m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>kW/(Nm²/min)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		spezifische Leistung	kW/(m ² /min)	6,00	(Nur ein Wert angeben)	kW/h/m ²			kW/(Nm ² /min)																																												
spezifische Leistung	kW/(m ² /min)	6,00																																																					
(Nur ein Wert angeben)	kW/h/m ²																																																						
	kW/(Nm ² /min)																																																						
Systemwerte		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Systemdruck</td><td>bar</td><td>7</td></tr> <tr><td>Systemtemperatur</td><td>°C</td><td></td></tr> <tr><td>Betriebszeit</td><td>h/a</td><td>2000</td></tr> <tr><td>Strompreis</td><td>CHF/kWh</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Umgebungsdruck</td><td>bar</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Systemdruck	bar	7	Systemtemperatur	°C		Betriebszeit	h/a	2000	Strompreis	CHF/kWh	0,1	Umgebungsdruck	bar																																						
Systemdruck	bar	7																																																					
Systemtemperatur	°C																																																						
Betriebszeit	h/a	2000																																																					
Strompreis	CHF/kWh	0,1																																																					
Umgebungsdruck	bar																																																						
Druckluftverbrauch gesamt (optional)		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Verbrauch</td><td>m³/min</td><td>10,00</td></tr> <tr><td>Leckageanteil</td><td>%</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Verbrauch	m ³ /min	10,00	Leckageanteil	%																																															
Verbrauch	m ³ /min	10,00																																																					
Leckageanteil	%																																																						
Konstanten		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Adiabatenkoeffizient</td><td></td><td>1,4</td></tr> <tr><td>spez. Gaskonstante</td><td>J/(kgK)</td><td>287</td></tr> <tr><td>spez. Wärmekapazität</td><td>J/(kgK)</td><td>1020</td></tr> <tr><td>Normdichte (0°C, 1013,25 mbar)</td><td>kg/m³</td><td>1,293</td></tr> </tbody> </table>		Adiabatenkoeffizient		1,4	spez. Gaskonstante	J/(kgK)	287	spez. Wärmekapazität	J/(kgK)	1020	Normdichte (0°C, 1013,25 mbar)	kg/m ³	1,293																																								
Adiabatenkoeffizient		1,4																																																					
spez. Gaskonstante	J/(kgK)	287																																																					
spez. Wärmekapazität	J/(kgK)	1020																																																					
Normdichte (0°C, 1013,25 mbar)	kg/m ³	1,293																																																					
Legende		<table border="1"> <tbody> <tr><td>muss ausgefüllt werden</td><td></td></tr> <tr><td>kann ausgefüllt werden</td><td></td></tr> <tr><td>wird berechnet</td><td></td></tr> </tbody> </table>		muss ausgefüllt werden		kann ausgefüllt werden		wird berechnet																																															
muss ausgefüllt werden																																																							
kann ausgefüllt werden																																																							
wird berechnet																																																							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Leckagen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Leckagequerschnittsfläche</td> <td>mm² 7,85</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Systemwerte, Systemzustand kritisch</td> </tr> <tr> <td>Dichte (System)</td> <td>kg/m³ 8,32</td> </tr> <tr> <td>Druck am Austritt</td> <td>bar 3,70</td> </tr> <tr> <td>Temperatur am Austritt</td> <td>K 244,17</td> </tr> <tr> <td>Dichte am Austritt</td> <td>kg/m³ 5,28</td> </tr> <tr> <td>Strömungsgeschwindigkeit</td> <td>m/s 313,22</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ausflussmenge</td> </tr> <tr> <td>Massenstrom</td> <td>kg/s 0,013</td> </tr> <tr> <td></td> <td>kg/min 0,779</td> </tr> <tr> <td>Normvolumenstrom</td> <td>Nm³/s 0,010</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Nm³/min 0,603</td> </tr> <tr> <td>Normalvolumenstrom</td> <td>m³/min 0,647</td> </tr> <tr> <td></td> <td>m³/h 38,795</td> </tr> <tr> <td></td> <td>l/min 646,575</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Verbrauch/ Kosten Leckage</td> </tr> <tr> <td>Stromverbrauch</td> <td>kWh/a 19,397</td> </tr> <tr> <td>Kosten</td> <td>CHF/a 1,940</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Verbrauch/ Kosten gesamt (optional)</td> </tr> <tr> <td>Stromverbrauch</td> <td>kWh/a 300,000</td> </tr> <tr> <td>Kosten</td> <td>CHF/a 30,000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Maßnahmen</td> </tr> <tr> <td>Leckagen</td> <td>-25 %</td> </tr> <tr> <td>spezifische Kompressorleistung</td> <td>unverändert</td> </tr> <tr> <td>Systemdruck</td> <td>-0,5 bar</td> </tr> </tbody> </table>		Leckagen		Leckagequerschnittsfläche	mm ² 7,85	Systemwerte, Systemzustand kritisch		Dichte (System)	kg/m ³ 8,32	Druck am Austritt	bar 3,70	Temperatur am Austritt	K 244,17	Dichte am Austritt	kg/m ³ 5,28	Strömungsgeschwindigkeit	m/s 313,22	Ausflussmenge		Massenstrom	kg/s 0,013		kg/min 0,779	Normvolumenstrom	Nm ³ /s 0,010		Nm ³ /min 0,603	Normalvolumenstrom	m ³ /min 0,647		m ³ /h 38,795		l/min 646,575	Verbrauch/ Kosten Leckage		Stromverbrauch	kWh/a 19,397	Kosten	CHF/a 1,940	Verbrauch/ Kosten gesamt (optional)		Stromverbrauch	kWh/a 300,000	Kosten	CHF/a 30,000	Maßnahmen		Leckagen	-25 %	spezifische Kompressorleistung	unverändert	Systemdruck	-0,5 bar
Leckagen																																																							
Leckagequerschnittsfläche	mm ² 7,85																																																						
Systemwerte, Systemzustand kritisch																																																							
Dichte (System)	kg/m ³ 8,32																																																						
Druck am Austritt	bar 3,70																																																						
Temperatur am Austritt	K 244,17																																																						
Dichte am Austritt	kg/m ³ 5,28																																																						
Strömungsgeschwindigkeit	m/s 313,22																																																						
Ausflussmenge																																																							
Massenstrom	kg/s 0,013																																																						
	kg/min 0,779																																																						
Normvolumenstrom	Nm ³ /s 0,010																																																						
	Nm ³ /min 0,603																																																						
Normalvolumenstrom	m ³ /min 0,647																																																						
	m ³ /h 38,795																																																						
	l/min 646,575																																																						
Verbrauch/ Kosten Leckage																																																							
Stromverbrauch	kWh/a 19,397																																																						
Kosten	CHF/a 1,940																																																						
Verbrauch/ Kosten gesamt (optional)																																																							
Stromverbrauch	kWh/a 300,000																																																						
Kosten	CHF/a 30,000																																																						
Maßnahmen																																																							
Leckagen	-25 %																																																						
spezifische Kompressorleistung	unverändert																																																						
Systemdruck	-0,5 bar																																																						
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Berechnen</td> <td>Diagramm</td> <td>Zurück</td> </tr> </tbody> </table>		Berechnen	Diagramm	Zurück																																																	
Berechnen	Diagramm	Zurück																																																					

Abbildung 11: Berechnung der Leckagekosten über die Grösse und Anzahl der Leckagen

2.2.3 Tool Rohrleitungsdimensionierung

Neben den Leckagen in der Druckluftverteilung ist häufig festzustellen, dass das Verteilungssystem aufgrund von Erweiterungen der Druckluftanlage und der Zunahme des Druckluftverbrauches nicht mehr den Anforderungen entspricht. Bei einer zu gering dimensionierten Druckluftleitung steigt der Druckverlust in der Leistung an. Aufgrund der dadurch erforderlichen Höherverdichtung steigen der Energieverbrauch und damit die Stromkosten deutlich an. Pro Bar Druckerhöhung steigt der Energiebedarf für die Druckluftherzeugung um ca. 6 – 8 % an. Mit steigendem Druck erhöht sich auch die Leckagemenge, ohne dass sich die Anzahl und Grösse der Leckagen ändert.

Mit Hilfe des Tools zur Rohrleitungsdimensionierung kann der Druckluftanwender einfach und schnell prüfen, ob die installierten Querschnitte ausreichend sind bzw. welche Querschnitte zum Einsatz kommen sollten. Abbildung 12 zeigt die Eingabe- und Ergebnismaske des Tools.

Berechnung des Rohrleitungsquerschnittes di			
Eingabewerte			
Betriebsdruck	bar (abs)	7	Umrechnungstabelle für Stahlrohrinnendurchmesser anzeigen
Volumenstrom bei Ansaugbedingungen (1 bar abs)	m ³ /min	10	
Rohrleitungslänge	m	50	
zulässiger Druckverlust (Wert sollte kleiner 0,05 bar sein)	bar	0,05	
Zuschlagsfaktor für Armaturen	%	50	
Bei dem System handelt es sich um eine Ringleitung		☐	
Ergebnis			
Erforderlicher Rohrleitungsquerschnitt (Innendurchmesser)	mm	65,9	Zur Berechnung des Druckverlustes
	DN	DN65	
Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung	m/s	6,97	
Legende			
muss ausgefüllt werden			
kann ausgefüllt werden			
wird berechnet			

Abbildung 12: Berechnung des erforderlichen Mindestquerschnitts der Druckluftverteilung

Nach Eingabe des Systemdrucks, des Volumenstroms und der Rohrleitungslänge sowie des zulässigen Druckverlustes wird der erforderliche Rohrquerschnitt berechnet. Dabei sollte der Druckverlust in der Verteilung kleiner als 0,05 bar sein. Berücksichtigt wird automatisch für die Armaturen ein Zuschlagsfaktor auf die Rohrleitungslänge von 50 %, der aber individuell angepasst werden kann. Zudem kann berücksichtigt werden, dass die Leitung zu einem Ring geschlossen ist.

Im gezeigten Beispiel (7 bar, 10 m³/min, 50 m, 0,05 bar Druckverlust) ergibt sich ein erforderlicher Rohrquerschnitt von DN 65. Würde die Rohrleitung als Ringleitung ausgeführt (Markierung des entsprechenden Feldes im Tool), so wäre ein Querschnitt von DN 50 ausreichend. Beim Neubau einer Druckluftverteilung sollte jedoch stets berücksichtigt werden, dass für einen zukünftigen Ausbau ausreichende Reserven vorhanden sind.

2.2.4 Tool Geamtkostenberechnung

Bei der Erneuerung oder dem Neubau einer Druckluftstation steht der Druckluftanwender häufig vor der Frage, welchen Kompressor er auswählen soll. Entscheidend für den Kauf ist dabei häufig der Angebotspreis des Herstellers. Allerdings wird dabei häufig übersehen, dass die wesentlichen Kosten als Kompressors im laufenden Betrieb entstehen, und hier haben wiederum insbesondere die Stromkosten eine viel höhere Bedeutung. Mit Hilfe des Kostenrechners (Abbildung 13) kann der Druckluftanwender sich auf einfache Art und Weise die einzelnen Kostenblöcke der Anlage inkl. Lebensdauerbetriebskosten näher betrachten. Er kann somit eine Entscheidung auf Basis der Gesamtkosten anstelle einer Entscheidung allein auf Basis des Angebotspreises treffen.

Im Tool hinterlegt sind typische Anschaffungs-, Wartungs- und Stromkosten. Somit kann der Anwender auch dann die voraussichtlichen Gesamtkosten ermitteln, wenn ihm einzelne Kostenbestandteile vielleicht nicht im Detail bekannt sind. Kennt er dagegen die für ihn gültigen Werte, so erhält er eine recht präzise Kostenberechnung.

Berechnung der Gesamtkosten

Währung

CHF

Verdichtertyp

Schraube

Druckluft

Leistung

kWel

55

oder

Liefermenge

m3/h

Druck

bar

Laufzeit

Energieverbrauch

kWh/Jahr

oder

Betriebsstunden

h/Jahr

6000

Vollast (in % von Betriebsstd.)

%

60%

Leerlauf (in % von Betriebsstd.)

%

40%

Strompreise

Strompreis (HT)

CHF/kWh

0,1

Strompreis (NT)

CHF/kWh

0,1

Anteil HT

Anteil NT

Berechnen

Instandhaltung und Wartung

Zeit

h/Jahr

Lohn

CHF/h

Investition

Betrag

CHF

AfA

Jahr

Zinssatz

%

muss ausgefüllt werden

kann ausgefüllt werden

wird berechnet



effiziente Druckluft – eine Kampagne von Energieschweiz
www.druckluft.ch

Abbildung 13: Kostenrechner zur Bestimmung der Gesamtkosten der Anlage

Beispielhaft werden in Abbildung 13 für einen Schraubenkompressor mit einer Leistung von 55 kW, der 6'000 Stunden im Jahr mit einer Auslastung von 60 % betrieben wird, die Gesamtkosten berechnet. Für den Strompreis wurde ein Wert von 0,1 CHF/kWh unterstellt. Dabei kann der Anwender in vielen Fällen die Standardwerte nutzen oder seine individuellen Werte eingeben. In Abbildung 14 ist das Ergebnis der Berechnung dargestellt. Für diesen Kompressor fallen jährliche Stromkosten in Höhe von 22'440 CHF/a an, wohingegen auf die Kapitalkosten (annualisierte Investition) lediglich 6'922 CHF/a entfallen. Die Wartungskosten mit 921 CHF/a können gegenüber den beiden ersten Kostenblöcken nahezu vernachlässigt werden. Generell gilt dabei für Elektromotorensysteme, dass der grösste Teil der Gesamtkosten auf die Stromkosten entfällt. Entsprechend gross ist die Bedeutung, beim Kauf auf sehr energieeffiziente Anlagen zu achten, denn selbst wenn diese in der Anschaffung etwas teurer sein sollten, so sind diese Mehrkosten sehr gut angelegt, da die späteren Einsparungen die Mehrkosten mehrfach aufwiegen.

Kostenverteilung ("auf Jahresbasis")

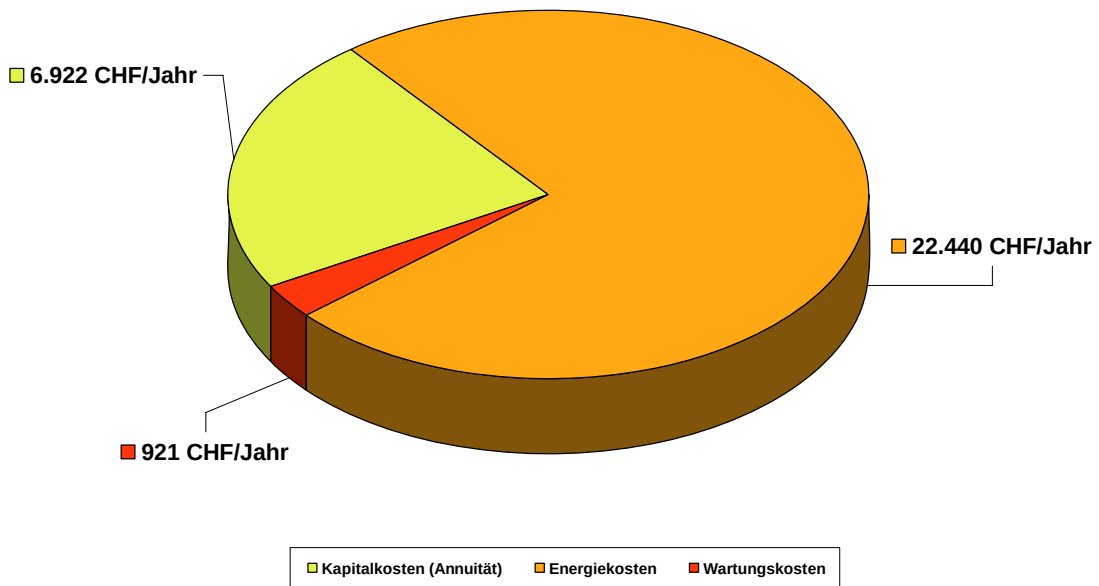


Abbildung 14: Ergebnisdarstellung des Kostenrechners der jährlichen Kosten

Da häufig Unsicherheiten bei der zukünftigen Entwicklung der Preise bestehen, bietet das Tool eine Variantenrechnung an. Abbildung 15 zeigt das Ergebnis der Variantenrechnungen: Für alle drei Kostenbestandteile (Energie, Investition, Wartung) wird mit einer 20 %igen Erhöhung oder Reduzierung gerechnet. Wie zu erwarten, ergibt sich die grösste Variation bei sich verändernden Strompreisen.

Szenarien (annualisierte Kosten)

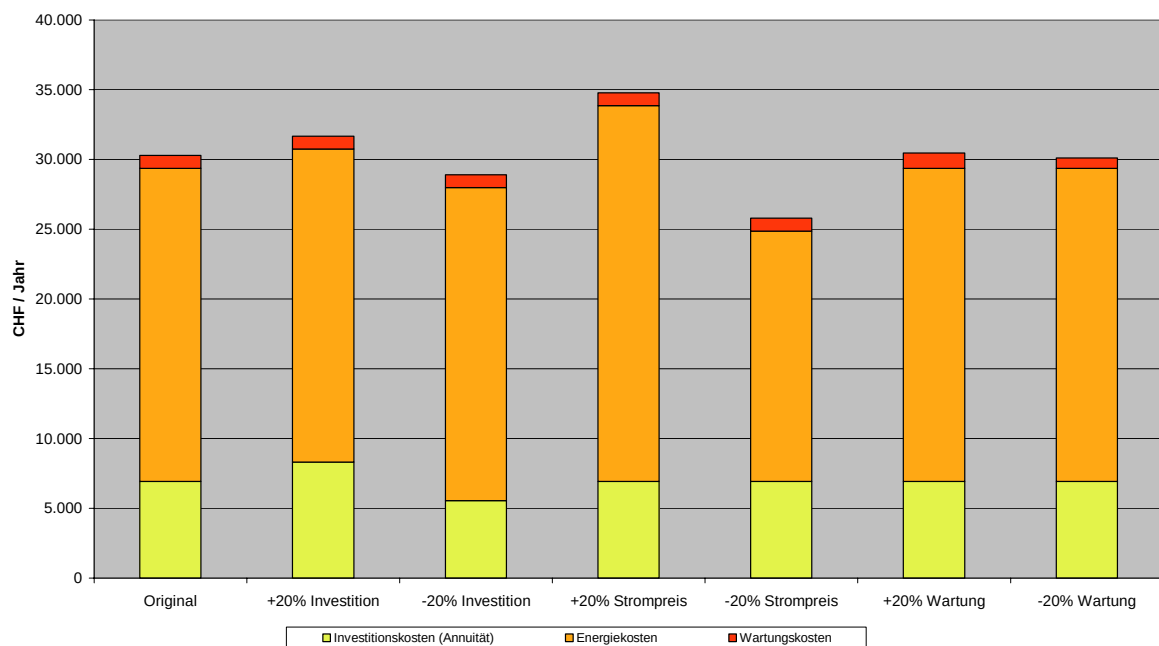


Abbildung 15: Szenarienrechnung für veränderte Rahmenbedingungen

2.2.5 Tool Kondensatableiter

In der Praxis sind leider noch immer zeitgesteuerte Kondensatableiter in einer beträchtlichen Anzahl im Einsatz. Bei diesem Typ Kondensatableiter erfolgt die Ableitung des Kondensats aus dem System in einem festen zeitlichen Rhythmus. Dabei muss in jeder Situation sichergestellt werden, dass das anfallende Kondensat sicher abgeführt wird. Dies führt dazu, dass diese Ableiter meist eine zu lange Öffnungszeit aufweisen. Steht während der Öffnung des Ableiters kein Kondensat an, so entweicht dadurch eine erhebliche Menge an Druckluft. Besser geeignet sind deshalb elektronisch niveaugesteuerte Kondensatableiter.



Abbildung 16: Typen von Kondensatableitern:
a) zeitgesteuert, b) schwimmergesteuert, c) elektronisch niveaugesteuert

Zu berücksichtigen ist zudem, dass der Kondensatanfall im Sommer und Winter sehr unterschiedlich ist, Abbildung 17. So fällt im Winter nur etwa ein Drittel der Kondensatmenge des Sommers an.

Kondensatanfall je 10 Normkubikmeter im	Zyklonabscheider Nachkühler	Kessel	Druckluft-Kältetrockner	Filter
Winter	25 g/m ³	3,5 g/m ³	3,5 g/m ³	--
Frühjahr/Herbst	28 g/m ³	6 g/m ³	9,5 g/m ³	2 g/m ³
Sommer	53 g/m ³	9,5 g/m ³	21,5 g/m ³	3 g/m ³

Abbildung 17: Kondensatanfall im Abhängigkeit von der Jahreszeit (Durchschnittswerte)

Da der Kondensatanfall sehr stark von den klimatischen Bedingungen am Standort abhängt, wurden für eine Reihe typischer Standorte in der Schweiz die Klimadaten in das Tool aufgenommen. So stehen für die folgenden Städte Daten zur Verfügung: Basel, Bern, Chur, Genf, Lugano, Luzern, Schaffhausen und Zürich. Zudem besteht die Möglichkeit, die Daten individuell für den eigenen Standort einzugeben. Abbildung 18 zeigt die Ein- und Ausgabemaske des Berechnungstools. Berechnet werden sowohl die Kosteneinsparpotentiale für den Kondensatableiter am Verdichter als auch für den Ableiter am Kältetrockner. Im Tool zu spezifizieren sind sowohl Angaben zur Druckluftmenge als auch zu den eingestellten Öffnungs- und Schliesszeiten an den Kondensatableitern.

Im dargestellten Beispiel betragen die möglichen Kosteneinsparungen insgesamt ca. 1'000 CHF, wobei ein Austausch des Ableiters am Kältetrockner bei den eingestellten Werten am Ableiter zu etwa gleich hohen Einsparungen führt. Im Vergleich zu den Kosten eines elektronisch niveaugesteuerten Ableiters führt der Austausch der Ableiter zu einer Amortisationszeit von typischerweise ein bis zwei Jahren, was bei einer 10-jährigen Nutzungszeit einer internen Verzinsung von 27 bis 47 %.

Berechnung der jährlichen Druckluftverlustkosten

Währung

CHF

Klimazone

anzeigen

Basel (CH)

Systemwerte

durchschnittlicher Druckluftverbrauch

m³/h

1200

Betriebsdruck

bar

7

minimale Ansaugtemperatur

°C

5

verwendete Maximaltemperatur

absolute Höchsttemperatur

KondensatabscheiderEinstellungen

Optimale Einstellungen verwenden

Verdichter

Nennweite des Magnetventils (kleinster Durchmesser)

mm

10

Eingestellte Öffnungszeit am Magnetventil

s

10

Eingestellte Schließzeit am Magnetventil

min

10

Temperatur Nachkühler

absolute Temperatur (immer gleichbleibend)

°C

35

oder Temperaturunterschied ggü. Ansaughft

°C

Kältetrockner

Nennweite des Magnetventils (kleinster Durchmesser)

mm

10

Eingestellte Öffnungszeit am Magnetventil

s

10

Eingestellte Schließzeit am Magnetventil

min

10

Temperatur Kältetrockner

°C

3

Betriebszeit

tägl. Betriebsstunden

h/d

24

Anzahl Betriebstage pro Jahr

d/a

365

Leistung und Kosten

Druckluftkosten

CHF/m³

oder

spezifische Leistung

kW/(m³/min)

6

oder

kWh/m³

oder

kW/(Nm³/min)

Strompreis

CHF/kWh

0,1

Konstanten

Adiabatenkoeffizient k

1,4

ind. Gaskonstante Ri

J/(kgK)

287

Normdichte (0°C, 1013,25mbar)

kg/m³

1,293

Legende

muss ausgefüllt werden

kann ausgefüllt werden

wird berechnet

Kondensatanfall

maximale Kondensatmenge

l/h

27,8

durchschnittliche Kondensatmenge

l/h

7,9

Kondensatanfall am Verdichter

maximale Kondensatmenge

l/h

21,8

durchschnittliche Kondensatmenge

l/h

2,0

notwendige Magnetventilöffnungszeit (max)

s/h

26

notwendige Magnetventilöffnungszeit (Durchschnitt)

s/h

2

durchschnütl. Druckluftverlust (Einstellung ideal)

m³/h

2,50

effektive Magnetventilöffnungszeit (aus Einstellung)

s/h

59

durchschnütl. Druckluftverlust (aus Einstellung)

m³/h

5,95

Druckluftverlustkosten gesamt (Summe aus ideal und real)

CHF/a

521

Kondensatanfall am Kältetrockner

maximale Kondensatmenge

l/h

6,4

durchschnittliche Kondensatmenge

l/h

5,8

notwendige Magnetventilöffnungszeit (max)

s/h

8

notwendige Magnetventilöffnungszeit (Durchschnitt)

s/h

7

durchschnütl. Druckluftverlust (Einstellung ideal)

m³/h

0,08

effektive Magnetventilöffnungszeit (aus Einstellung)

s/h

59

durchschnütl. Druckluftverlust (aus Einstellung)

m³/h

5,78

Druckluftverlustkosten gesamt (Summe aus ideal und real)

CHF/a

506

Kosten Luftverlust an Kondensatableitern

Kosten des vermeidbaren Luftverlustes

CHF/a

1.027

energie schweiz

effiziente Druckluft – eine Kampagne von Energieschweiz

www.druckluft.ch

Abbildung 18: Berechnung der vermeidbaren Kosten durch Austausch gegen niveaugesteuerte Ableiter

2.3 INFOBLÄTTER ZUR DRUCKLUFT

Im Rahmen der deutschen Druckluftkampagne wurden Infoblätter zu insgesamt neun unterschiedlichen Themen erstellt. Diese wurden im Rahmen dieses Projektes in ein neues Format übertragen, die Währung von Euro auf Schweizer Franken umgestellt und eine Übersetzung der Infoblätter ins Französische durchgeführt.

Aufgrund der hohen Bedeutung der Druckluftleckagen in Bezug auf kostengünstige Optimierungsmassnahmen wurde zudem ein zusätzliches Infoblatt zu Druckluftleckagen für die schweizerische Kampagne erstellt. Im Einzelnen beschäftigen sich die zehn Infoblätter mit den folgenden Themen:

- I Druckluftanwendung
- II Thermodynamik
- III Druckluft-Messtechnik
- IV Druckluftherzeugung
- V Steuerung
- VI Druckluftaufbereitung
- VII Druckluftverteilung
- VIII Gesamtsystemoptimierung
- IX Druckluftwerkzeuge
- X Druckluftleckagen

Alle Infoblätter stehen zum kostenlosen Download auf den Internetseiten der Kampagne unter www.druckluft.ch zur Verfügung.

Zudem wurde auch der Leitfaden zum Druckluftcontracting, der im Rahmen der deutschen Druckluftkampagne erstellt wurde, im Layout angepasst, Abbildung 19.



Wie sich ihr Geld in Luft auflöst

Druckluft ist ein hochwertiger Energieträger, entsprechend sorgfältig sollte mit Druckluft umgegangen werden. Leider geht in den Betrieben noch immer ein grosser Teil der erzeugten Druckluft ungenutzt durch Leckagen verloren. Erfahrungen aus der Praxis belegen, dass die Leckageanteile in der Industrie meist zwischen 10 und 75 % liegen. Der Leckageanteil ist dabei definiert als Anteil der durch Leckagen entstehenden Luftmenge im Verhältnis zur insgesamt erzeugten Druckluftmenge. Beinhaltet man lediglich die Leckagen während der Produktionszeiten, ist der Leckageanteil meist deutlich niedriger, da der Leckageanteil ausserhalb der Produktionszeiten meist 100 % beträgt.

Als vernünftige Zielgrösse sollte ein Gesamtleckageanteil von 10 % und weniger angestrebt werden. Eine Reduktion der Leckagen unter diesem Anteil ist in den meisten Fällen nur mit einem sehr hohen Aufwand zu erreichen und deshalb meist nicht wirtschaftlich. Berücksichtigt werden sollte zudem stets, dass der Leckageanteil auch vom Industriezweig abhängt. So sind in Bereichen der Chemie und Pharmazie die deutlich niedrigeren Leckageanteile zu erwarten als in der rauen Umgebung z. B. eines Gesteins- oder Zementwerkes. Die Höhe des Leckageanteiles hängt jedoch in einem viel stärkeren Masse von den Anstrengungen der

einzelnen Unternehmen ab. Abb. 1 zeigt dies beispielsweise an den Ergebnissen der Druckluftkampagne in Deutschland. Sie verdeutlichen, dass die Leckageanteile der Leckageanteile innerhalb einer Branche meist wesentlich grösser ist als die Schwankungsbreite zwischen den einzelnen Industriezweigen. Sie haben es also selbst in der Hand, ihre Leckagen zu reduzieren und damit erhebliche Kosten und Energie zu sparen.

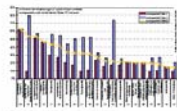
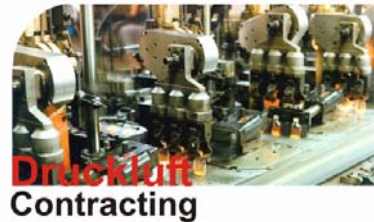


Abb. 1: Benchmarking mit Druckluftanlagen

Meist fehlt jedoch die Kenntnis des Leckageanteiles. Wir zeigen Ihnen im Folgenden, wie Sie zu einer einfachen Ermittlung der Leckagemengen in Ihrem Unternehmen kommen.

energieschweiz
effiziente Druckluft – eine Kampagne von Energieschweiz
www.druckluft.ch



Contracting Finanzierung Betreibermodelle

Leitfaden für die Anwendung bei Druckluftanlagen

C. Dullin, P. Radgen, J. Schweiß

energieschweiz
effiziente Druckluft – eine Kampagne von Energieschweiz
www.druckluft.ch

Abbildung 19: Infoblätter und Contractingleitfaden

2.4 BENCHMARKING VON DRUCKLUFTANLAGEN

Häufig stehen Unternehmen vor der Frage, wie gut ihre Druckluftversorgung ist und ob es ggf. noch Optimierungspotentiale gäbe. Allerdings stehen meist keine Vergleichsdaten von anderen Unternehmen zur Verfügung. Das Druckluft-Benchmarking dient dazu, diesem Missstand abzuwehren und dem Unternehmen ein Instrument in die Hand zu geben, mit dessen Hilfe sie auf einfache und komfortable Weise die Kennzahlen ihrer Druckluftversorgung mit anderen Unternehmen der gleichen Branche auf anonymisierter Basis vergleichen können.

Dazu wurde im Rahmen eines weiteren Projektes (Radgen, 2005) die Anpassung des internetgestützten Benchmarkings von Druckluftanlagen für die Schweiz durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes wurden die Mehrwährungsfähigkeit, die Mehrsprachenfähigkeit und die Mehrländerfähigkeit des Systems implementiert, Abbildung 20. Durch diese Erweiterungen wurde es möglich, das System auch schweizerischen Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Diese können nun sowohl ihre Daten mit anderen schweizerischen Unternehmen als auch mit Unternehmen aus anderen Ländern vergleichen. Zudem besteht die Möglichkeit, die monetären Werte in verschiedenen Währungen ein- bzw. auszugeben. Im Rahmen des Ende 2005 abgeschlossenen Projektes erfolgten jedoch die Bereitstellung des Benchmarking in französischer Sprache und die Einbindung in einen Internetauftritt noch nicht.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die entsprechenden Texte des Benchmarking übersetzt und in das System eingepflegt, so dass nun die Sprachen Deutsch, Französisch und Englisch unterstützt werden. Übersetzt wurde auch die Kurzanleitung die die Unternehmen bei der Vorbereitung der Daten für die Eingabe unterstützt als auch den Berechnungsgang für die Ermittlung der Kennzahlen erläutert.

Air Comprimé Efficient - Mozilla Firefox

http://schweiz/benchmarking/seite.php?inc=settings.php

Effiziente Druckluft S... https://www.drucklu... AIVC - Air Infiltration... Fernstudiengang Ene... ETH - SPL - Education Gruppo Ticinese Corn... TED Tenders EU WEB Radio

copernic Websuche Desktop-Suche: Alle

Air Comprimé Efficient

Air Comprimé Efficient

suisse énergie
air comprimé efficient - une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch

Air Comprimé Efficient Optimisation Installation existante Nouvelle installation **Benchmarking** Toolbox Documentation DE | FR | EN

Informations relatives à l'entreprise

Informations générales

Données annuelles

Installations

Données annuelles de l'installation dans sa globalité

Groupe / agrégat

Compresseurs

Sécheurs

Filtres

Réseau

Séparateur de condensat

Evaluation

Récapitulatif des données

Benchmarking interne

Benchmarking externe

Autre

Modifier le code d'accès

configuration

Déconnexion

Configuration

Monnaie utilisée:

*Monnaie utilisée : EUR OK

Taux d'échange se réfère à 1 Euro

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
CAD	1.3706	1.3864	1.4838	1.5817	1.6167	1.5087		
CHF	1.5579	1.5105	1.467	1.5212	1.5363	1.5483		
GBP	0.60948	0.62187	0.62883	0.69199	0.67866	0.6838		
NOK	8.1129	8.0484	7.5086	8.0033	8.3697	8.0092		
SIT	206.6127	217.9797	225.9772	233.8493	239.0874	239.5681		
USD	0.9236	0.8956	0.9456	1.1312	1.2439	1.2441		

Selection du langage

*Utilisé le Benchmarking en: Français OK

Copyright © 2005-2006 Fraunhofer ISI / Bundesamt für Energie
URL: http://www.druckluft.ch/benchmarking/seite.php

Abbildung 20: Benchmarking von Druckluftanlagen (Auswahl von Währung und Sprache)

2.5 INTERNETAUFTRITT

Das Internet hat sich als ein kostengünstiger Kommunikationskanal in der Praxis etabliert. Für die Bereitstellung der entwickelten Dokumente und Tools sowie den Zugang zum Druckluft-Benchmarking wurde ein Internetauftritt auf Basis von php und MySQL aufgebaut. Dieser Internetauftritt ist über die folgenden Domainnamen erreichbar:

- www.druckluft.ch (deutsche Seiten)
- www.air-comprime.ch (französische Seiten)
- www.aria-compressa.ch (zukünftig ggf. italienische Seiten; zeigt derzeit auf deutsche Seiten)

Nachdem die Internetseiten weitgehend fertig gestellt waren, wurde es jedoch erforderlich, eine Anpassung des Seitenlayout durchzuführen. Da die Kampagne unter das Dach von EnergieSchweiz schlüpfte, sollte auch die Webseite dem Corporate Design der Kampagne EnergieSchweiz weitgehend genügen. Aus diesem Grunde erfolgten eine grundlegende Neustrukturierung sowie eine vollständige Umstellung des Seitendesign.

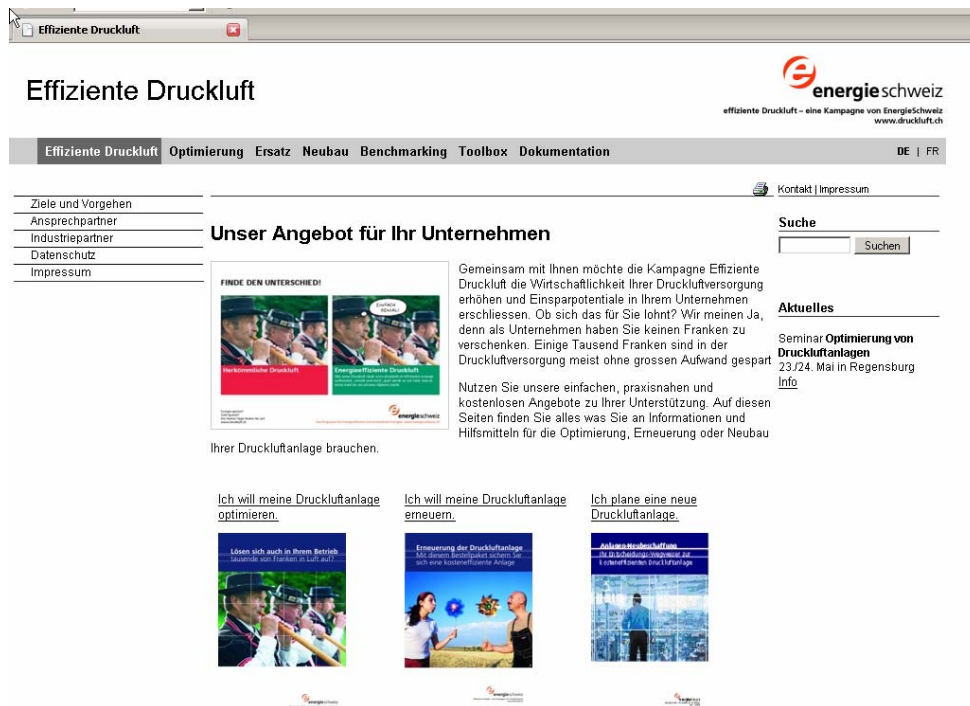


Abbildung 21: Internetauftritt der Kampagne Effiziente Druckluft

Neben den verschiedenen Tools wurde für den Internetauftritt auch die verschiedensten Dokumente und Unterlagen zur Druckluft zusammengestellt. Der interessierte Druckluftanwender kann diese einfach in einer Dokumentenbibliothek suchen und bekommt die Ergebnisse in übersichtlicher Form angezeigt, Abbildung 22.



Abbildung 22: Dokumentenbibliothek

Dabei erfolgte der Aufbau der Webseiten sukzessive. Einzelne Inhalte wie z. B. das Benchmarking oder die Infoblätter wurde nach Fertigstellung sofort auf den Internetseiten bereitgestellt, ohne sie jedoch explizit zu bewerben. Abbildung 23 zeigt die Entwicklung der Zugriffszahlen auf die Webseiten seit dem Beginn der Arbeiten im Jahr 2006. Im August 2006 erfolgte dann der offizielle Start der Kampagne Effiziente Druckluft Schweiz. Im Rahmen einer Auftaktveranstaltung, die am 29. August 2006 an der ETH Zürich stattfand, wurde das Marketing der Kampagne offiziell gestartet.

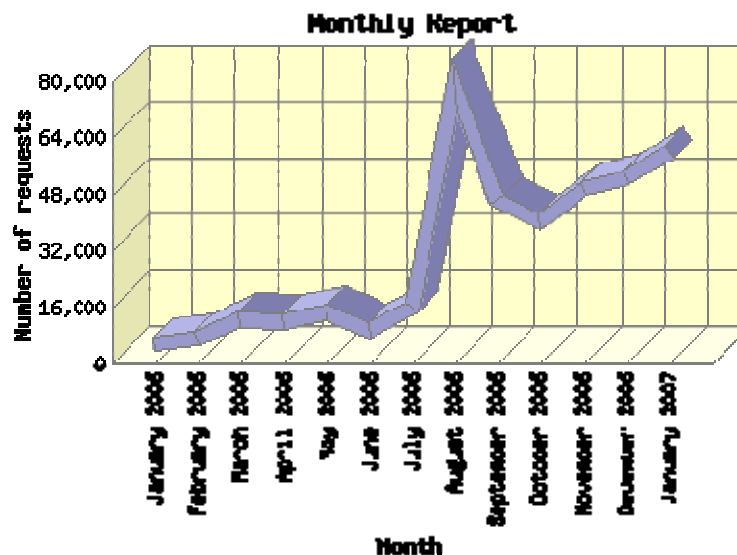


Abbildung 23: Entwicklung der Zugriffszahlen auf der Internetseite (Hinweis: Im August 2006 fand die offizielle Auftaktveranstaltung der Kampagne statt.)

Seit diesem Zeitpunkt wurde eine Vielzahl von Verbreitungsmassnahmen ergriffen, u. a. die Schaltung von Inseraten, die Veröffentlichung von Fachartikeln, die Kommunikation der Kampagne über die EnAW und die Partner der Kampagne. Abbildung 24 zeigt die Logo der Industriepartner der Kampagne, die sowohl inhaltliche Arbeit als auch einen finanziellen Beitrag zur Finanzierung der Kampagne leisten.

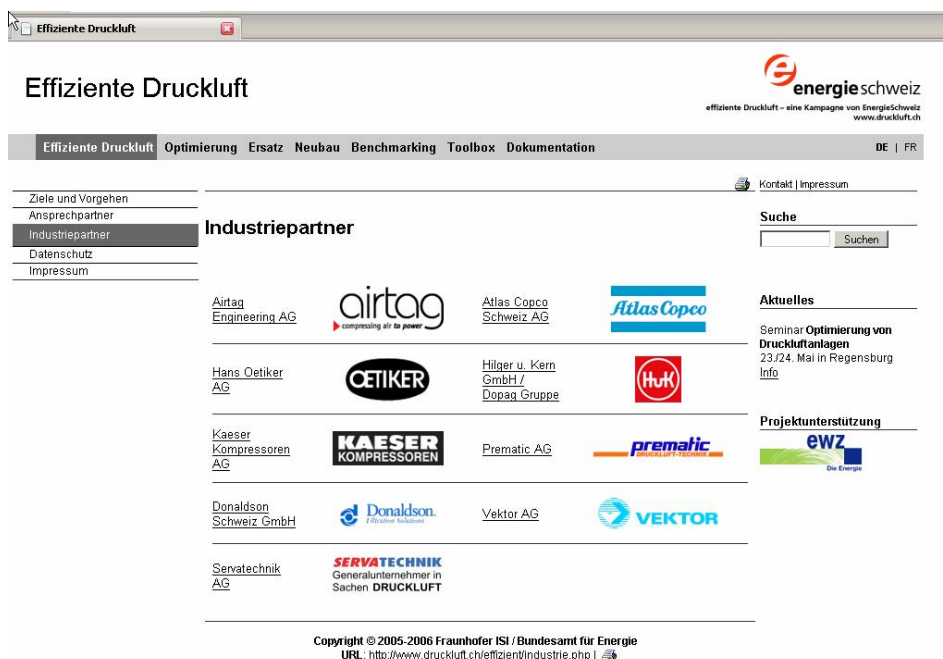


Abbildung 24: Die Industriepartner der Kampagne Effiziente Druckluft

Die Kampagne wird von Fraunhofer ISI koordiniert (Gesamtprojektleitung) und die Arbeiten in enger Abstimmung mit dem CEPE der ETH Zürich durchgeführt. Für das Marketing der Kampagne arbeitet die Firma K. M. Marketing mit, die bei der zielgruppenspezifischen Aufbereitung von Arbeitsdokumenten und der Koordination der Kampagnenkommunikation tätig ist.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Projektes zur Instrumentenentwicklung für die Kampagne Effiziente Druckluft wurde eine Vielzahl von Hilfsmitteln und Tools entwickelt, die den Druckluftanwender bei der Analyse und Optimierung seiner Druckluftversorgung hilft und unterstützt. Ziel dieser Entwicklungen war es, den Anwender in die Lage zu setzen, Schwachstellen systematisch und selbstständig zu erkennen und für Abhilfe zu sorgen. Alle Unterlagen stehen über die Internetseiten der Kampagne kostenlos zur Verfügung. Damit sind die Grundvoraussetzungen geschaffen, auf denen das Marketing der Kampagne aufsetzen kann. Diese Arbeiten haben im August 2006 begonnen und werden im Rahmen eines weiteren Projektes gefördert.

Die Entwicklung der Zugriffszahlen auf den Webseiten zeigt dabei deutlich, dass die Angebote zunehmend von den Druckluftanwendern angenommen werden (vgl. Abbildung 23). Dabei ist mit weiter steigendem Interesse zu rechnen, da die Marketingaktivitäten ja erst vor wenigen Monaten begonnen haben. So wurde in den letzten fünf Monaten eine Vielzahl von Publikationen für die Fachpresse erstellt. Diese behandeln dabei sowohl Fragen der Optimierung und der Erweiterung von Druckluftanlagen als auch Fragen des Anlagenneubaus.

Aufgrund der ersten positiven Resonanz ist davon auszugehen, dass mit Hilfe der Kampagne Effiziente Druckluft in der Schweiz ein merklicher Beitrag zur Reduktion des Stromverbrauchs und der Emissionen geleistet werden kann. Damit demonstriert das Projekt das grosse Potential im Bereich der elektrischen Motorensysteme. Die gestartete Kampagne kann somit als Muster für weitere Aktivitäten im Bereich der Motorensysteme genutzt werden. Auch im Bereich der Pumpen und Ventilatorensysteme sollten sich die Erfolge der Druckluftkampagne wiederholen lassen.

Referenzen

- Radgen, P. et al. (2001): Compressed Air Systems in the European Union. LOG_X Verlag, Stuttgart. www.isi.fhg.de/e/publikation/c-air/compressed-air.htm
- Gloor, R. (2000): Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. www.electricity-research.ch
- Radgen, P.; Gloor, R. (2003): Machbarkeitsstudie zur Übertragung der deutschen Energie-sparkampagne „Druckluft effizient“ in die Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. www.electricity-research.ch
- Radgen, P.; Stadelmann, B. (2004): Vorarbeiten zum Start der Kampagne Druckluft effizient Schweiz und begleitende Arbeiten zum Aufbau eines Druckluftkompetenzzentrums. Studie des Bundesamtes für Energie. www.electricity-research.ch
- Radgen, P. (2005): Umsetzung eines mehrsprachigen internetgestützten Benchmarking von Druckluftanlagen. Projekt im Auftrag des Bundesamtes für Energie. www.electricity-research.ch
- VDMA, Fraunhofer ISI, dena (2005): Druckluft Abschlussbericht. VDMA (Hrsg.), Frankfurt.