



Standardisierte Massnahme DL-02

Betriebsoptimierung von Druckluftanlagen

Dokumentation

Massnahmennummer

DL-02

Version

1.0 (11.2024)



1 Vorwort

Mit dem Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien hat das Parlament in der Herbstsession 2023 eine neue Verpflichtung der Elektrizitätslieferanten zur Umsetzung von Stromeffizienzmassnahmen festgeschrieben. Gemäss Artikel 46b des Energiegesetzes (EnG; SR 730.0) müssen Elektrizitätslieferanten Massnahmen für Effizienzsteigerungen an bestehenden elektrisch betriebenen Geräten, Anlagen und Fahrzeugen bei schweizerischen Endverbraucherinnen und Endverbrauchern umsetzen oder entsprechende Nachweise erwerben, wenn Dritte die Massnahmen umsetzen. Das Bundesamt für Energie (BFE) bezeichnet jährlich eine Liste von standardisierten Massnahmen und deren anrechenbare Stromeinsparungen. Massnahmen, die nicht im Katalog der standardisierten Massnahmen enthalten sind, können dem BFE als sogenannte nicht standardisierte Massnahmen zur Zulassung vorgelegt werden.

Für jede standardisierte Massnahme stellt das BFE ein Einsparprotokoll zur Verfügung, mit dem Elektrizitätslieferanten die umgesetzten Massnahmen melden können. In der begleitenden Dokumentation wird die Methodik zur Bestimmung der anrechenbaren Stromeinsparungen nachvollziehbar erläutert. Die vorliegende Methodik schätzt pauschal die kumulierten Stromeinsparungen (Endenergie), welche durch die Umsetzung der entsprechenden Stromeffizienzmassnahme über die Wirkungsdauer ausgelöst werden können. Sie beruht auf einer Ex-ante-Berechnung und verwendet Annahmen und Faktoren, die durch geltende Normen, Marktstudien, die wissenschaftliche Literatur und Expertenbeiträge definiert werden konnten.

Die Dokumentation richtet sich an Elektrizitätslieferanten, Umsetzerinnen von Stromsparmassnahmen sowie an alle anderen Personen, die sich für die Stromeinsparungen im Rahmen der Effizienzsteigerungen nach Artikel 46b EnG interessieren.

2 Ziel

Das Ziel des vorliegenden Dokuments ist es, die Stromeinsparungen, welche durch die Betriebsoptimierungen an einem Druckluftnetz umgesetzt wird, zu berechnen.

3 Symbole, Begriffe und Einheiten

Lateinische Buchstaben

Symbol	Begriff	Einheit
E	Jährlicher Stromverbrauch	kWh/a
ΔE_{eco}	Anrechenbare Stromeinsparungen	MWh
n	Anzahl	-
N_s	Standardwirkungsdauer	a
f	Faktor	-
\dot{E}	Elektrische Nennleistung (Motor)	kW
L	Leckagemenge	l/min
Δp	Betriebsdruckdifferenz	bar
t	Volllaststunden	h/a

4 Beschreibung der Ex-ante-Berechnung

4.1 Anrechenbare Einsparungen

Die anrechenbaren Stromeinsparungen ΔE_{eco} der Massnahme berechnen sich aus der Differenz zwischen dem aktuellen (bestehender Zustand) E_{alt} und dem neuen (sanierter Zustand) Stromverbrauch E_{neu} über die Standardwirkungsdauer N_s .

Um die natürliche Erneuerungs- und Optimierungsrate von Geräten und Anlagen zu berücksichtigen, die ohne gesetzliche Verpflichtungen zu einer Senkung des Energieverbrauchs führt, werden die anrechenbaren Stromeinsparungen mit Hilfe eines Reduktionsfaktors f_{eco} von 0.75 reduziert.



$$\Delta E_{eco} = 0.001 \cdot (E_{alt} - E_{neu}) \cdot f_{eco} \cdot N_s$$

ΔE_{eco}	Anrechenbare Stromeinsparungen, in MWh
E_{alt}	Jährlicher Stromverbrauch des alten Zustandes, in kWh/a
E_{neu}	Jährlicher Stromverbrauch des neuen Zustandes, in kWh/a
f_{eco}	Reduktionsfaktor
N_s	Standardwirkungsdauer, in Jahren

4.2 Jährlicher Stromverbrauch

Die Massnahmen für die Optimierung im Druckluftbereich werden unterschieden in die Bereiche Leckagen und Netzbetriebe. Diese Bereiche werden ebenfalls unterteilt. Bei der Leckage in Analyse und Pauschalansatz und im Netzbetrieb in Netzabschaltung und Druckreduzierung.

Strombedarf unbekannt	$E_{alt} = \dot{E}_m \cdot t$
--------------------------	-------------------------------

Strombedarf bekannt	$E_{alt} = \text{Bekannter Wert aus Steuerung / Messpunkt}$
------------------------	---

\dot{E}_m	Elektrische Nennleistung Motor, in kW
E_{alt}	Jährlicher Stromverbrauch des alten Zustandes, in kWh/a
t	Volllaststunden, in Stunden pro Jahr

4.2.1 Optimierung Leckage

Die relativen Einsparungen, welche durch eine Reduktion der Leckagen erzielt werden können entweder gemäss einer Leckagenanalyse (*Analyse*) oder eines Pauschalersatz (*Pauschal*) berechnet werden.

<i>Pauschal</i> Ansatz	$E_{neu} = E_{alt} \cdot (1 - (n \cdot f_{eco,lk}))$
------------------------	--

<i>Analyse</i> Ansatz	$E_{neu} = E_{alt} - (L \cdot \frac{\dot{E}_{spez}}{1000} \cdot t)$
-----------------------	---

E_{neu}	Jährlicher Stromverbrauch des neuen Zustandes, in kWh/a
E_{alt}	Jährlicher Stromverbrauch des alten Zustandes, in kWh/a
$f_{eco,lk}$	Einsparungsfaktor
L	Leckagemenge, in l/min
n	Anzahl behobene Leckagen
t	Volllaststunden, in Stunden pro Jahr
\dot{E}_{spez}	Spezifische elektrische Leistung, in kW/m ³ /min

4.2.2 Netzoptimierung

Die relativen Einsparungen, welche durch eine Reduktion des Betriebsdrucks erzielt werden, sind anhand der Druckreduktion Δp und einem konstanten Einsparfaktor $f_{eco,dp}$ berechnet.

Reduktion Betriebsdruck	$E_{neu} = E_{alt} \cdot (1 - (\Delta p \cdot f_{eco,dp}))$
----------------------------	---

E_{neu}	Jährlicher Stromverbrauch des neuen Zustandes, in kWh/a
E_{alt}	Jährlicher Stromverbrauch des alten Zustandes, in kWh/a
$f_{eco,dp}$	Einsparungsfaktor
Δp	Reduktion Betriebsdruck, in bar



4.2.3 Netzabschaltung

Die relativen Einsparungen welche durch eine periodische Abschaltung des Druckluftnetzes (z. B., während der Betriebspausen) ausgelöst werden, sind anhand der Abschaltungsdauer, dem Anteil des Netzes, welches abgeschaltet wird und einem konstanten Einsparfaktor $f_{eco,ab}$ berechnet.

$$\text{Netzabschaltung} \quad E_{neu} = E_{alt} \cdot n\% \cdot \frac{t_n}{8760} \cdot f_{eco,ab}$$

E_{neu}	Jährlicher Stromverbrauch des neuen Zustandes, in kWh/a
E_{alt}	Jährlicher Stromverbrauch des alten Zustandes, in kWh/a
$f_{eco,ab}$	Einsparungsfaktor
$n\%$	Anteil Netzabschaltung, in Prozent
t_n	Anzahl Stunden der Netzabschaltung, in h/a

5 Eingabevariablen

Allgemein

- Motorenleistung (*ganze Zahl*)
- Volllaststunden (*ganze Zahl*)
- Jährlicher Stromverbrauch des alten Zustandes (*ganze Zahl*)

Optimierung der Leckagen

- Leckagemenge (*ganze Zahl*)
- Anzahl behobene Leckagen (*ganze Zahl*)

Netzoptimierung

- Drucksenkung (*Dezimalzahl*)

Netzabschaltung

- Anteil Netzabschaltung (*Prozentzahl*)
- Anzahl Stunden Netzabschaltung (*ganze Zahl*)

6 Annahmen und Daten

Allgemein

- Bei mehreren Kompressoren sind die Leistungen zu addieren. Redundante Kompressoren sind nicht zu berücksichtigen.
- Falls der jährliche Stromverbrauch der Anlage nicht bekannt ist, können die Volllaststunden gemäss Tabelle 1 geschätzt werden.
- Wird der jährliche Stromverbrauch mittels einer separaten Strommessung der Druckluftanlage oder eine übergeordnete Steuerung bestimmt, so muss diese mindestens über eine Dauer von 12 Monate durchgeführt werden.
- Die Standardnutzungsdauer der Massnahme N_s beträgt 3 Jahre.
- Die Einsparfaktoren f_{eco} wurden in der Hinsicht einer allfälligen Kombination der Massnahmen geschätzt. Somit sind die oben genannten Massnahmen kumulierbar.
- Kumulierte Massnahmen sind auf maximal 20 % begrenzt.

Tabelle 1 Abschätzung der Volllaststunden des Kompressors

Bestehendes Druckluftsystem	Einzelkompressor	Mehr-Kompressorensystem
1-Schicht, Last-/Leerlauf	2'500 h/a	1'500 h/a



2-Schicht, Last-/Leerlauf	5'000 h/a	3'500 h/a
3-Schicht, Last-/Leerlauf	6'500 h/a	4'500 h/a
1-Schicht, Drehzahl-FU	2'000 h/a	1'500 h/a
2-Schicht, Drehzahl-FU	4'000 h/a	3'000 h/a
3-Schicht, Drehzahl-FU	6'000 h/a	5'000 h/a

Optimierung der Leckagen: Pauschalansatz

- Als potenzielle Leckagestellen gelten die Anschlussverbindungen von Ventilen, Verbindungselemente und Druckluftpistolen, sowie Abdichtungen und Schlauchanbindungen.
- Pro behobene Leckage kann der Einsparfaktor $f_{eco,lk}$ von 0.2 % summiert werden.
- Der Einsparfaktor $f_{eco,lk}$ ist auf maximal 3% zu begrenzen.

Optimierung der Leckagen: Leckageanalyse

- Diese Einzelmassnahme ist bei maximal 20 % Einsparung begrenzt.
- Das Leckagemessgerät muss die Leckagemenge in l/min angeben oder die ausgewiesene Leckagemenge kann in l/min umgerechnet werden.
- Um die jährliche Einsparung aufgrund der Leckagemenge zu berechnen, braucht es eine Verlinkung zur Anlageleistung. Um dies zu vereinfachen, kann die spezifische Leistung \dot{E}_{spez} in der Tabelle 2 in Abhängigkeit des Druckes verwendet werden. Die Werte gelten für einen Druckbereich von 4 – 15 bar und einem Leistungsbereich der Kompressoren von 5 – 160 kW.

Tabelle 2 Abschätzung von spez. Leistung anhand des Betriebsdruckes

Betriebs- druck [bar]	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
\dot{E}_{spez}	5.12	5.56	5.81	6.13	6.48	6.94	7.32	7.73	8.18	8.88	9.56	10.1

Netzoptimierung

- Eine 1 bar Reduktion des Betriebsdrucks kann eine Energieeinsparungen von 6% auslösen [1,2]. Somit beträgt der Einsparfaktor $f_{eco.dp}$ 6 %.
- Diese Einzelmassnahme ist bei maximal 20 % Einsparung begrenzt.

Netzabschaltung

- Die Leckageverluste über das gesamte Druckluftnetz betragen im Durchschnitt zirka 15 % [1,2]. Somit beträgt der Einsparfaktor dieser Massnahme $f_{eco,ab}$ 15 %.
- Die Netzabschaltung kann manuell oder automatisch mit Zeitsteuerung erfolgen und kann einen Teil des Netzes oder das ganze Netz ausschalten. Die zeitliche Angabe muss ebenfalls in Stunden pro Jahr angegeben werden.

7 Resultate

Angesichts der präsentierten Annahmen und Daten werden die anrechenbaren Stromeinsparungen für die Betriebsoptimierungen wie folgt gerechnet:

Massnahme	Einsparungsfaktor f_{eco}
	[%]
Optimierung der Leckagen: <i>Pauschalansatz</i>	0.2 % pro Leckage, maximum 3 %



Optimierung der Leckagen: <i>Leckageanalyse</i>	Gemäss Analyse, max 20 %
Reduktion Betriebsdruck	6% pro bar, max 20 %
Netzabschaltung	15 %

8 Beispiel

Szenario A: Eine Leckageanalyse für ein 8 bar Druckluftnetz wird durchgeführt und eine Leckagemenge von 250 l/min gefunden und behoben. Die spezifische elektrische Leistung beträgt 6.48 kW/m³/min (Tabelle 2). Die Volllaststunden betragen 6'000 h (Tabelle 1).

Massnahme	Jährlicher Stromverbrauch (alt)	Einsparung durch Leckagebericht	Anrechenbare Stromeinsparungen
	[kWh/a]	[kWh/a]	[MWh]
Optimierung von Leckage <i>Analyse</i>	150'000	9720	21.9

Szenario B: Es werden 25 mögliche Leckagen im Betrieb behoben. Der Leckageanteil wäre somit bei 5%. Es werden aber max. 3% angerechnet.

Massnahme	Jährlicher Stromverbrauch (alt)	Einsparungsfaktor	Anrechenbare Stromeinsparungen
	[kWh/a]	[%]	[MWh]
Optimierung von Leckage <i>Pauschalansatz</i>	150'000	3	10.1

Szenario C: Der Betriebsdruck eines Druckluftnetz wird um 2 bar Druck gesenkt.

Massnahme	Jährlicher Stromverbrauch (alt)	Einsparungsfaktor	Anrechenbare Stromeinsparungen
	[kWh/a]	[%]	[MWh]
Reduktion Betriebsdruck	300'000	12	81

Szenario D: Der Druckluftkompressor wird neu durch eine Zeitschaltuhr am Wochenende und in der Nacht ausgeschaltet. Es werden 100% des Netztes getrennt und dies 3'500 h/a.

Massnahme	Jährlicher Stromverbrauch (alt)	Einsparungsfaktor	Anrechenbare Stromeinsparungen
	[kWh/a]	[%]	[MWh]
Netzabschaltung	300'000	15	40.5

9 Quellen

- [1] R. Gloor, *Druckluft*: Ratgeber für Anwender und Energieberater zur Effizienzsteigerung in Druckluftsystemen, Independently published, 2021.
- [2] EnergieSchweiz, *Leitfaden Druckluft-Optimierung*, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2015.