

# Leitfaden für Audits an Lüftungsanlagen

Kurzversion

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Christoph Gerstbauer, Österreichische Energieagentur; unter Mitarbeit von: Konstantin Kulterer; David Presch, Georg Geissegger, Marcus Hofmann, Österreichische Energieagentur; Sieghart Brunner, Walter Bösch GesmbH & Co KG; Christian Gorbach, Ziehl Abegg GesmbH

Layout: November 2020, Inhalt: April 2017

### **Copyright und Haftung:**

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an [eebetriebe@energyagency.at](mailto:eebetriebe@energyagency.at)

## Inhalt

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>5</b>
1.1 Energiebedarf und Einsparpotential bei Motorsystemen .....	6
1.2 Ablauf des Energieaudits .....	7
1.3 Allgemeine Anforderungen an das Energieaudit.....	10
1.3.1 Vertrauliche Ergebnisse, objektive Beratung .....	10
1.3.2 Eine Ansprechperson im Unternehmen .....	10
1.3.3 Bewertung der bereitgestellten Information .....	10
1.3.4 Vorauswahl bei komplexen Einheiten .....	10
1.3.5 Ableitung von Leistungskennzahlen .....	11
1.3.6 Beachtung von Betriebsgrößen und Einflussfaktoren.....	11
1.3.7 Erhebung zusätzlicher Dokumente.....	11
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>13</b>
2.1 Lüftungsanlagen.....	13
2.2 Bestandteile einer Klimaanlage .....	15
2.2.1 Filter .....	16
2.2.2 Ventilator .....	16
2.2.3 Wärmetauscher .....	16
2.2.4 Befeuchter .....	17
2.2.5 Schalldämpfer .....	17
2.2.6 Klappe .....	17
2.2.7 Mischkammer .....	17
<b>3 Notwendige Vorberechnungen</b> .....	<b>18</b>
3.1 Ermittlung des Soll-Volumenstroms .....	18
3.1.1 Hygienischer Mindestvolumenstrom .....	18
3.1.2 Volumenstrom zum Abführen weiterer Emissionen .....	19
3.1.3 Volumenstrom zum Abdecken einer thermischen Last .....	19
3.1.4 Tatsächlich erforderliche Volumenstrom .....	20
3.1.5 Berechnung der Massenströme .....	20
3.2 Berechnung der elektrischen Leistungsaufnahme des Motors.....	21
3.2.1 Typenschild .....	22
<b>4 Maßnahmenberechnung</b> .....	<b>23</b>
4.1 Maßnahme 1: Betriebszeitenreduktion .....	23
4.1.1 Allgemein .....	23
4.1.2 Berechnung zur Maßnahme 1 .....	24
4.2 Maßnahme 2: Volumenstromanpassung .....	26

4.2.1	Allgemein .....	26
4.2.2	Variable Volumenstromregelung.....	28
4.2.3	Variable Volumenstromreduktion .....	28
4.2.4	Berechnung zur Maßnahme 2 .....	31
4.2.5	Ermittlung des derzeitigen Energiebedarfs .....	31
4.2.6	Ermittlung des reduzierten Energiebedarfs .....	33
4.3	Maßnahme 3: Tausch von Anlagen beziehungsweise Anlagenteilen .....	35
4.3.1	Tausch von Anlagen .....	35
4.3.2	EU-Verordnung 1253/2014 – Umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen .....	36
4.3.3	Berechnung zur Maßnahme 3 .....	41
4.3.4	Berechnung 1: Ventilator.....	41
4.3.5	Berechnung 2: Antrieb.....	46
4.3.6	Berechnung 3: Motor.....	48
4.4	Maßnahme 4: Wärmerückgewinnung.....	50
4.4.1	Allgemein .....	50
4.4.2	Rückwärmezahl und Rückfeuchtezahl .....	51
4.4.3	Systemübersicht .....	52
4.4.4	Berechnung zur Maßnahme 4 .....	53
4.5	Maßnahme 5: Be- und Entfeuchtung .....	55
4.5.1	Ermittlung des IST-Standes .....	56
4.5.2	Befeuchtung.....	57
4.5.3	Entfeuchtung.....	60
4.5.4	Feuchteregelung .....	63
4.5.5	Feuchterückgewinnung .....	63
4.6	Maßnahme 6: Wartung und Instandhaltung.....	65
<b>5</b>	<b>Angebote und Tools.....</b>	<b>69</b>

# 1 Einleitung

Ökologisch, ökonomisch und erfolgreich. In der Steigerung der Energieeffizienz liegt für jedes Unternehmen bares Geld. Professionell umgesetzte Energieeffizienzmaßnahmen reduzieren aber nicht nur Kosten, sie leisten auch einen wertvollen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz. Das beachtliche Einsparungspotenzial kann bereits durch kostengünstige und einfach umzusetzende Maßnahmen genutzt werden.

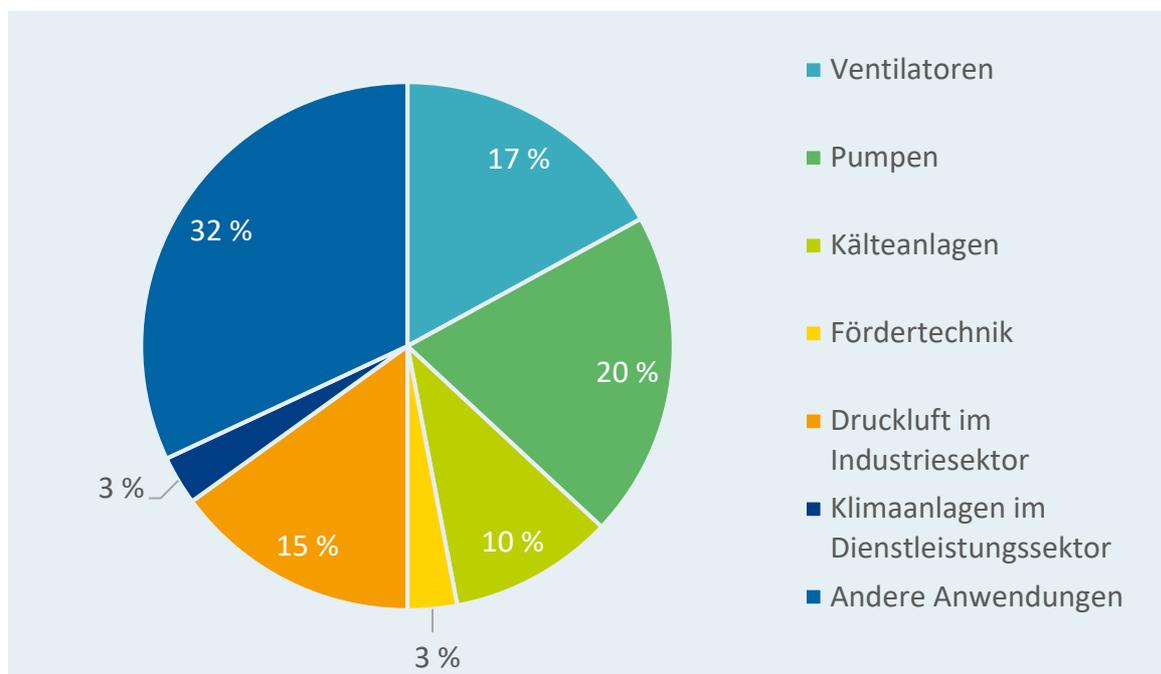
Aus Zeitmangel und/oder fehlendem Know-How fällt es Industriebetrieben oft schwer, ineffiziente Anlagen oder Prozesse zu identifizieren und Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten. Dabei amortisieren sich viele Maßnahmen schon nach kurzer Zeit und stärken somit die Liquidität des Unternehmens.

Aus diesen Gründen wurde dieser Leitfaden entwickelt, der sich mit der Optimierung von Lüftungs- und Klimaanlage beschäftigt. Durch eine optimierte und bedarfsgerechte Klimaanlage werden nicht nur Betriebskosten für elektrische und thermische Energie reduziert, sondern gleichzeitig Arbeitsbedingungen geschaffen, welche die thermische Behaglichkeit der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen und somit deren Motivation steigert.

## 1.1 Energiebedarf und Einsparpotential bei Motorsystemen

Abbildung 1 zeigt den Energiebedarf von Standmotoren in der Industrie, aufgeteilt auf verschiedene Prozesse. Für Lüftung, Klimatisierung und Ventilatoren wird circa ein Fünftel der Gesamtenergie eingesetzt (bezogen auf Ventilatoren 17 % und Klimaanlage im Dienstleistungssektor 3 %).

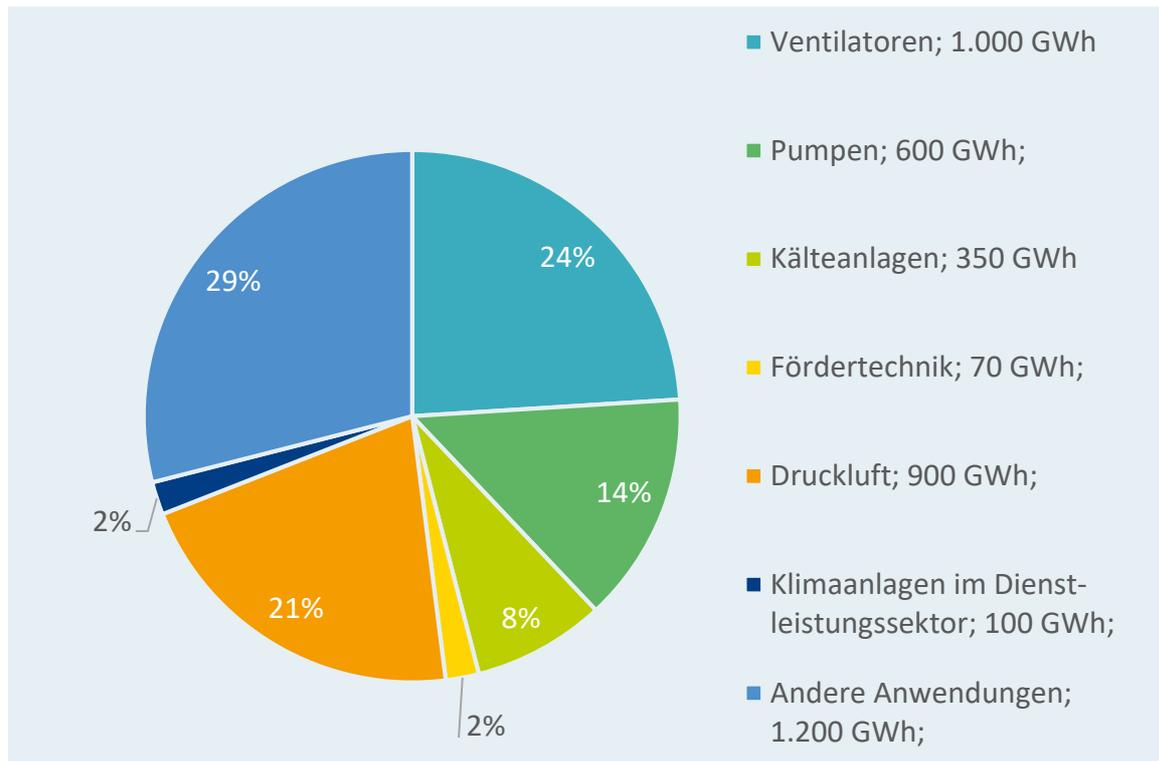
Abbildung 1: Aufteilung des Energieverbrauchs für Motorsysteme in Österreich im Industrie- und Dienstleistungssektor



Quelle: FEI Fachverband der Elektro- und Elektroindustrie, Kostensparen mit Energieeffizienten Standmotoren

Abbildung 2 zeigt, dass im Bereich Ventilation noch sehr hohe Einsparpotentiale vorhanden sind, diese betragen fast ein Drittel (circa 1.000 GWh) der gesamten möglichen Einsparungspotentiale (4.220 GWh) bei Motorsystemen in Österreich.

Abbildung 2: Abschätzung des Einsparpotentials bei Motorsystemen in Österreich



Quelle: FEI Fachverband der Elektro- und Elektroindustrie, Kostensparen mit Energieeffizienten Standmotoren

Zusätzlich beinhaltet dieser Leitfaden Optimierungsansätze für die Prozesse der industriellen Konvektionstrocknung sowie der industriellen Absaugung. Dabei wird einerseits der Energiebedarf ermittelt, andererseits Vorschläge unterbreitet, wie der Energiebedarf reduziert werden kann.

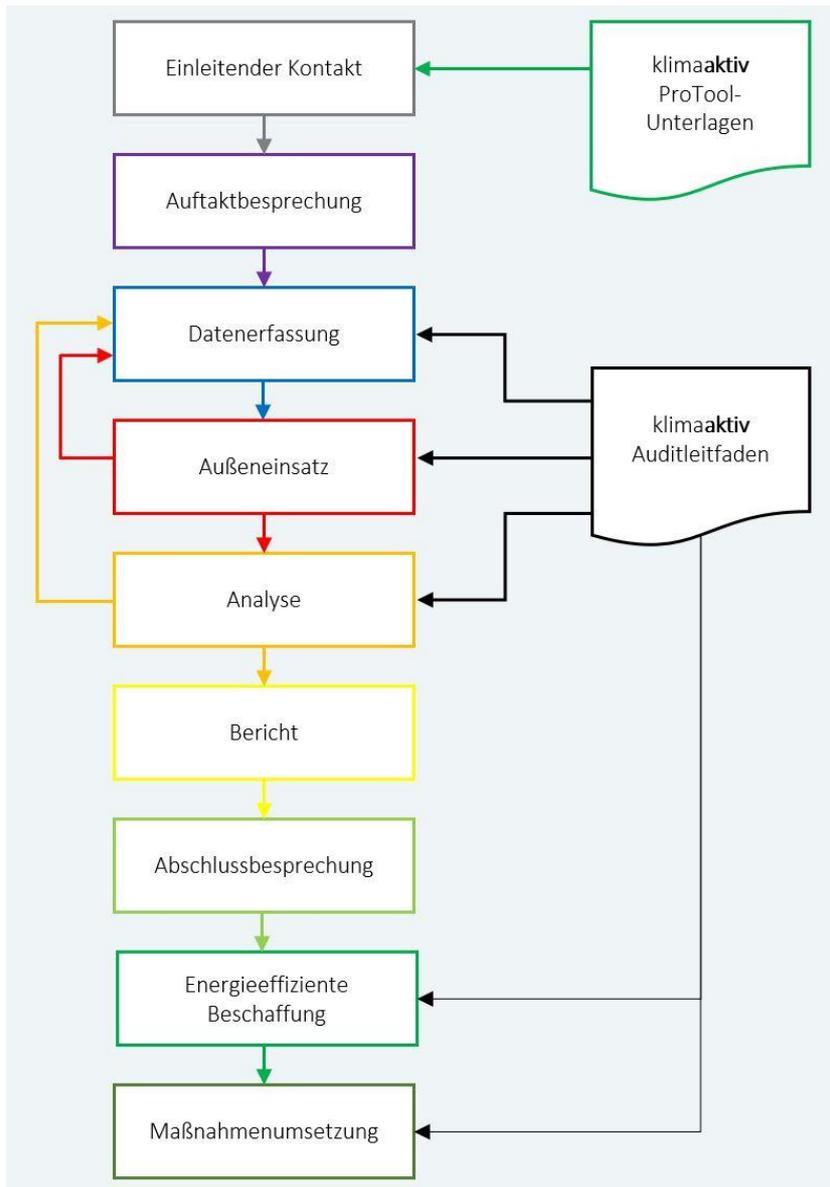
## 1.2 Ablauf des Energieaudits

Bezüglich des Ablaufs eines Energieaudits wird auf die ÖNORM EN 16247-1 2012 verwiesen. Die Norm versteht unter einem Energieaudit die „systematische Inspektion und Analyse des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs eines Systems oder einer

Organisation mit dem Ziel, Energieflüsse und das Potential für Energieeffizienzverbesserungen zu identifizieren und diese zu berichten“ (Quelle: ÖNORM EN 16247-1 2012).

Nach Norm läuft ein Energieaudit gemäß folgendem Schema ab:

Abbildung 3: Ablauf eines Energieaudits



Quelle: Adaptiert aus ÖNORM EN 16247-2 2012

Die konkreten Tätigkeiten und Inhalte der in Abbildung 3 dargestellten Schritte sind in der Norm nachzulesen.

Zusammenfassend dargestellt beginnt der prinzipielle Ablauf eines Energieaudits mit einem **einleitenden Kontakt**, in dem man sich mit dem Unternehmen hinsichtlich Zielen, Erfordernissen und Erwartungen an das Energieaudit einigt.

Danach sind in einer **Auftaktbesprechung** alle interessierten Kreise über die festgelegten Ziele, den Anwendungsbereich, die Grenzen und die Tiefe des Energieaudits zu informieren. Bei diesen beiden Schritten unterstützt Sie klimaaktiv durch ein standardisiertes Anschreiben und den Einsatz des Audittools „ProTool“.

Gemeinsam mit dem Unternehmen (beziehungsweise einer vom Unternehmen zur Verfügung gestellten Ansprechperson) sind dann anschließend alle **relevanten Daten zu erfassen** und die zu prüfenden Objekte **vor Ort zu inspizieren**. In einem nächsten Schritt sind die gesammelten **Daten und Informationen zu analysieren**, um die Energieeinsparmöglichkeiten identifizieren zu können. Bei diesen Schritten können die von klimaaktiv entwickelten Auditleitfäden als Hilfestellung herangezogen werden.

Die Ergebnisse des Energieaudits sind abschließend zu dokumentieren und dem Unternehmen vorzulegen. Hierfür wurde von klimaaktiv eine **Berichtsvorlage** erstellt, die den Vorgaben und Anforderungen der ÖNORM EN 16247 im Wesentlichen entspricht. Für die Durchführung von Energieaudits in Lüftungssystemen finden sich in dem vorliegenden Dokument zusätzliche Anleitungen und Hilfestellungen.

Weitere allgemeine Informationen zur Durchführung von Energieaudits finden sich in der ÖNORM EN 16247. Spezielle Anforderungen an das Energieaudit in Gebäuden, an Industriestandorten und in Transportsystemen werden in den Normen ÖNORM EN 16247 Teil 2, Teil 3 und Teil 4 beschrieben.

Hinsichtlich der Qualifikation des Energieauditors/der Energieauditorin gilt: dieser muss angemessen qualifiziert sein, alle von der Organisation gelieferten Informationen **vertraulich** behandeln und auf **objektive Art und Weise** handeln. Konkrete Anforderungen an die Qualifizierung von Energieauditoren werden im fünften Teil der Energieauditnorm „Kompetenz von Energieauditoren“ behandelt.

## 1.3 Allgemeine Anforderungen an das Energieaudit

Aus der bisherigen Erfahrung hat sich gezeigt, dass insbesondere folgende Vorgaben aus der ÖNORM EN 16247 zu beachten sind:

### 1.3.1 Vertrauliche Ergebnisse, objektive Beratung

Die durch das Audit erhaltenen Ergebnisse müssen **vertraulich** behandelt werden. Der Energieauditor muss das Unternehmen **objektiv beraten** und die erzielten Ergebnisse transparent darstellen.

### 1.3.2 Eine Ansprechperson im Unternehmen

Das betroffene Unternehmen muss eine Person nominieren, die als **Ansprechperson** dient und mit dem Energieauditor/die Energieauditorin zusammenarbeitet. Die Person hat dafür Sorge zu tragen, dass dem Energieauditor angeforderte Daten zu Verfügung gestellt werden beziehungsweise hat diesen bei der Erhebung der Daten (auch vor Ort) zu unterstützen.

### 1.3.3 Bewertung der bereitgestellten Information

Der Energieauditor muss bewerten, ob die **bereitgestellten Informationen** ausreichen, um die vereinbarten Zielsetzungen zu erreichen. Ist dies nicht der Fall, stellt dies ein Abbruchkriterium des Energieaudits dar beziehungsweise ist der Schwerpunkt auf die Datenerfassung (auch über längeren Zeitraum als Energiedatenerfassung) zu legen.

### 1.3.4 Vorauswahl bei komplexen Einheiten

Bei einer entsprechenden Größe des Unternehmens und der damit verbundenen hohen Anzahl an zu untersuchenden Einheiten ist eine **Vorauswahl** zu treffen. Um ein strukturiertes Vorgehen zu gewährleisten, sollten zuallererst dort Maßnahmen gesetzt werden, wo die höchsten energetischen Einsparungen erzielt werden können (unter Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten).

### 1.3.5 Ableitung von Leistungskennzahlen

Für die Darstellung der Energieeffizienz im Unternehmen sind **quantifizierbare Parameter**, die einen **Einfluss** auf den **Energieverbrauch des Unternehmens beziehungsweise** der mit den einzelnen Technologien versorgten **Prozesse** haben, zu berücksichtigen. Das können z. B. Durchsatz in der Produktion, weitere Input-, Outputfaktoren, Betriebszeiten der Maschinen, Arbeitszeit, Helligkeit, Innentemperatur, Wetterbedingungen et cetera sein. In der Norm wird der Begriff „Anpassungsfaktor“ für solche Parameter verwendet. Es obliegt der Verantwortung des Energieauditors diese in Absprache mit dem Unternehmen festzulegen. Nach der Berücksichtigung aller auf den Energieverbrauch Einfluss nehmenden Faktoren ist daraus **eine Leistungskennzahl** zu ermitteln, mit der die Energieintensität des Unternehmens oder eines Systems/Prozesses abgebildet werden kann. Unter dem Begriff Energieeffizienz ist das Verhältnis zwischen einer erzielten Leistung beziehungsweise Ertrag an Dienstleistung, Gütern oder Energie und der eingesetzten Energie zu verstehen. Beispiele für Leistungskennzahlen sind: kWh/Durchsatz in Produktion, kWh/m<sup>2</sup>, kWh/Mitarbeiter, kWh/Dienstleistung et cetera.

Diese spezifischen Energiekennzahlen sind jedoch nur in wenigen Fällen (keine Grundlast, nur einen relevanten Einflussfaktor) geeignet, die Verbesserung der Energieperformance aufzuzeigen. Deutlich besser geeignet für den Nachweis der Energieeffizienz sind Energieperformance Indikatoren nach Methoden der der ISO 50006 (Energy Performance Coefficient, CUSUM). Mehr Informationen finden Sie in der klimaaktiv Guideline „Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung“ unter [klimaaktiv.at/energiesparen/energiemanagement/energiemanagementsystem.html](https://klimaaktiv.at/energiesparen/energiemanagement/energiemanagementsystem.html)

### 1.3.6 Beachtung von Betriebsgrößen und Einflussfaktoren

Prinzipiell sind **Messungen von benötigten Betriebsgrößen** (z. B. Energieverbrauch, Leistungsbedarf, Volumenstrom, Druck, Betriebszeit et cetera) immer Hochrechnungen oder Abschätzungen dieser Größen vorzuziehen.

### 1.3.7 Erhebung zusätzlicher Dokumente

Neben dem Energieverbrauch sind gegebenenfalls auch relevante bereits durchgeführte Messungen, **Betriebs- und Wartungsdokumente**, **Nutzerverhalten** und relevante Wirtschaftsdaten wie z. B. den derzeitigen Verrechnungstarif zu erheben.

- Bei einer entsprechenden Größe des Unternehmens und der damit verbundenen hohen Anzahl an zu untersuchenden Einheiten ist eine Vorauswahl zu treffen. Um ein strukturiertes Vorgehen zu gewährleisten, sollten zu allererst dort Maßnahmen gesetzt werden, wo die höchsten energetischen Einsparungen erzielt werden können (unter Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten).
- Für die Darstellung der Energieeffizienz im Unternehmen sind quantifizierbare Parameter, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch des Unternehmens beziehungsweise der mit den einzelnen Technologien versorgten Prozesse haben, zu berücksichtigen. Das können z. B. Durchsatz in der Produktion, weitere Input- und Outputfaktoren, Betriebszeiten der Maschinen, Arbeitszeit, Helligkeit, Innentemperatur, Wetterbedingungen et cetera sein (der Begriff dafür in der Norm ist „Anpassungsfaktor“). Es obliegt der Verantwortung des Energieauditors / der Energieauditorin, diese in Absprache mit dem Unternehmen festzulegen. Nach Berücksichtigung aller auf den Energieverbrauch Einfluss nehmenden Faktoren ist aus diesen eine Leistungskennzahl zu wählen, mit der die Energieintensität des Unternehmens abgebildet werden kann. In der klimaaktiv Guideline „Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung“ und im „Messleitfaden – Bewertung von Einsparungen“ werden die neuen Methoden beschrieben.
- In Anlehnung an die Energieeffizienzrichtlinie der EU ist unter dem Begriff Energieeffizienz „das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen, Waren oder Energie zu Energieeinsatz“ zu verstehen. Beispiele für Leistungskennzahlen sind: kWh/Durchsatz in Produktion, kWh/m<sup>2</sup>, kWh/Mitarbeiter, kWh/Dienstleistung et cetera.
- Prinzipiell sind Messungen von benötigten Betriebsgrößen (z. B. Energieverbrauch, Leistungsbedarf, Volumenstrom, Druck, Betriebszeit et cetera) immer Hochrechnungen oder Abschätzungen dieser Größen vorzuziehen.
- Neben dem Energieverbrauch sind gegebenenfalls auch relevante bereits durchgeführte Messungen, Betriebs- und Wartungsdokumente, Nutzerverhalten und relevante Wirtschaftsdaten, wie z. B. der derzeitige Verrechnungstarif, zu erheben.

#### Unterstützende Dokumente:

- ÖNORM EN 16247-1:2012 09 01 (Energieaudits - Teil 1: Allgemeine Anforderungen)
- ÖNORM EN 16247-2:2014 07 01 (Energieaudits - Teil 2: Gebäude)
- ÖNORM EN 16247-3:2014 07 01 (Energieaudits - Teil 3: Prozesse)
- ÖNORM EN 16247-4:2014 07 01 (Energieaudits - Teil 4: Transport)
- ÖNORM EN 16247-5:2015 06 15 (Energieaudits - Teil 5: Kompetenz von Energieauditoren)

## 2 Grundlagen

Im Kapitel „Grundlagen“ soll eine kurze Einführung in die Grundlagen der Lufttechnik liefern. Im Unterkapitel „Lüftungsanlagen“ soll vor allem geklärt werden zwischen welchen Arten von raumluftechnischen Anlagen unterschieden werden kann. Außerdem werden zusätzlich noch der Aufbau und die Funktionsweise einer Klimaanlage erklärt (siehe Kapitel „Bestandteile einer Klimaanlage“).

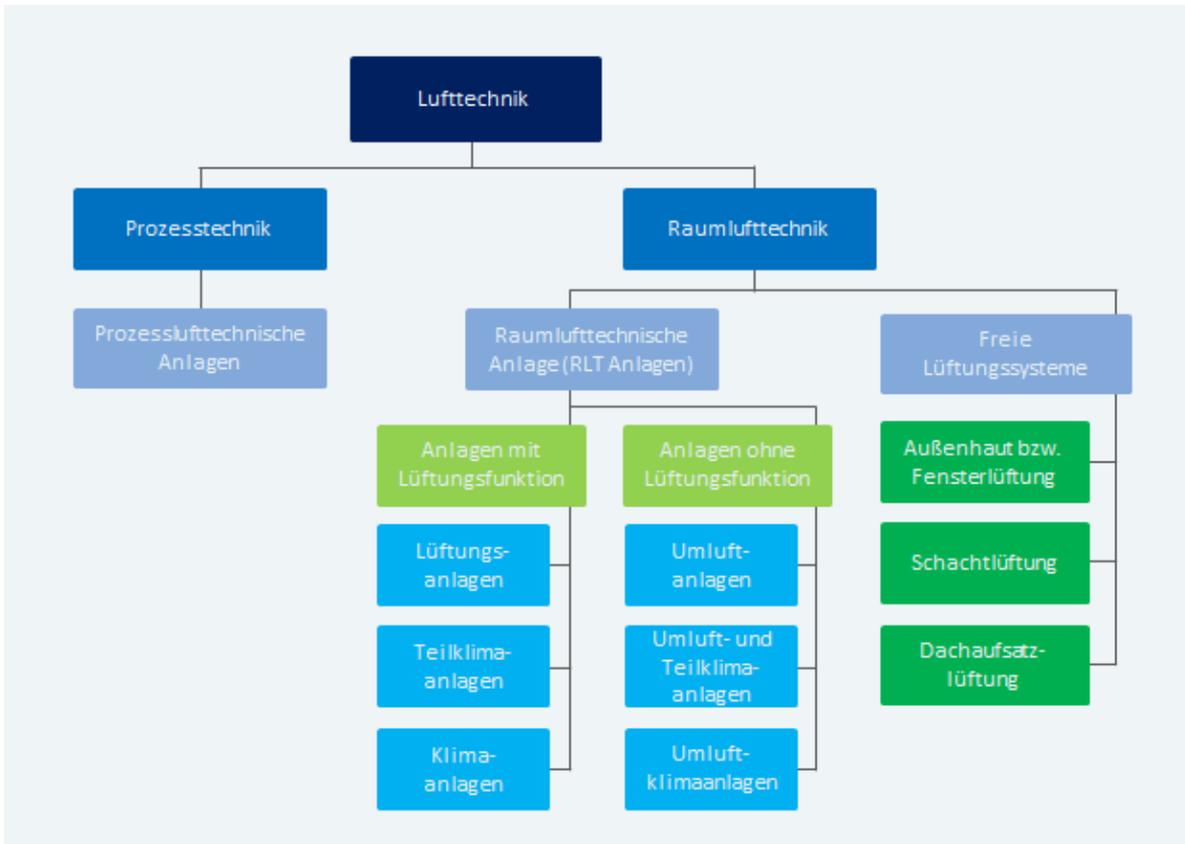
### 2.1 Lüftungsanlagen

**Kühltemperatur – Verdampfungstemperatur:** Eine Lüftungsanlage hat mehrere Aufgaben und Funktionen. Einerseits soll sie verbrauchte beziehungsweise verschmutzte Luft durch frische, unverbrauchte Luft ersetzen und andererseits dafür sorgen, dass der Behaglichkeitsbereich eingehalten wird (durch Konditionierung der Luft).

Dabei könnten die Anforderungen nicht unterschiedlicher sein. Während man sich in Einfamilienhäusern mit der Fensterlüftung zufrieden stellt, gilt es in einer Computerchipproduktion nicht nur Temperatur und Feuchte innerhalb sehr kleinen Grenzen zu halten, sondern auch die Partikelbeladung der Luft (Luftverschmutzung) auf annähernd null zu reduzieren.

Im Allgemeinen wird zwischen folgenden Anlagen unterschieden (Abbildung 4):

Abbildung 4: Einteilung der Lufttechnik



Quelle: Österreichische Energieagentur

Ob eine Anlage eine Lüftungs-, Teilklima-, oder Klimaanlage ist, hängt von den thermodynamischen Funktionen der Anlage ab. Diese sind:

- Heizen
- Kühlen
- Befeuchten
- Entfeuchten

Eingeteilt werden die Lüftungsanlagen nach der Anzahl ihrer thermodynamischen Funktionen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Einteilung der Lüftungsanlagen

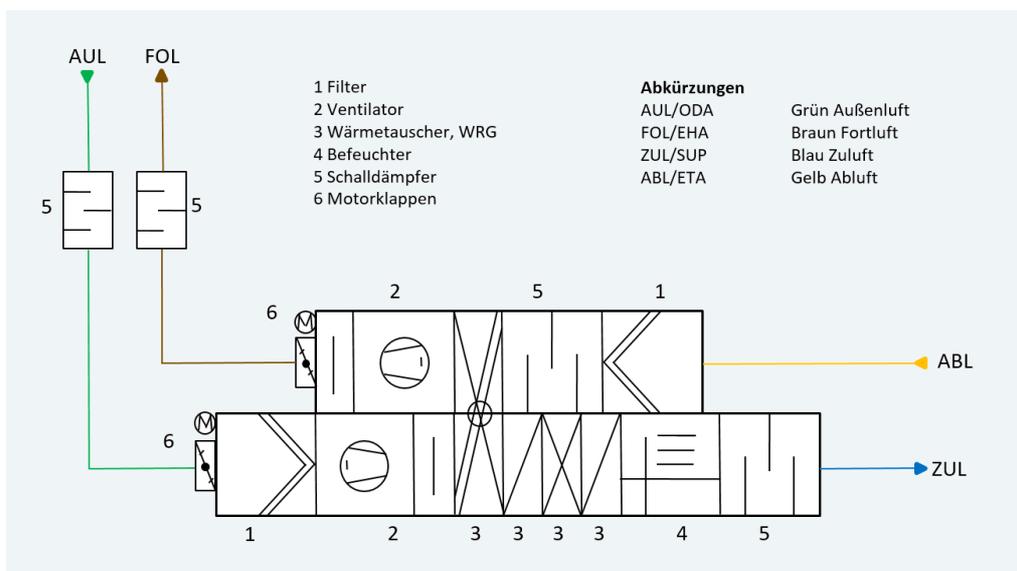
Thermodynamische Funktion	Name
null bis eine Funktion	Lüftungsanlage
zwei bis drei Funktionen	Teilklimaanlage
alle vier Funktionen	Vollklimaanlage

Diese unterschiedlichen Anforderungen an eine Lüftungsanlage machen es schwierig pauschalisierte Aussagen über die Effektivität einer Anlage zu treffen. Die in diesem Leitfaden vorgestellten Maßnahmen müssen daher immer im Einklang mit dem Aufgabengebiet der RLT-Anlage abgestimmt werden.

## 2.2 Bestandteile einer Klimaanlage

Eine Klimaanlage besteht aus verschiedenen Anlagenteilen. Diese Anlagenteile müssen nicht zwangsläufig in jedem Gerät installiert sein. Wie die Anlage zusammengesetzt wird, hängt vom Einsatzgebiet ab. In Abbildung 5 ist schematisch eine Klimazentrale abgebildet. Anhand dieser Abbildung werden die Bestandteile einer Lüftungsanlage näher erklärt.

Abbildung 5: Schema einer Vollklimaanlage [9]



Quelle: Österreichische Energieagentur

### 2.2.1 Filter

In einer Lüftungsanlage beziehungsweise einer Klimaanlage hat der Filter zwei Funktionen. Zum einen verhindert der Filter, dass verschmutzte Luft zu den Abnehmern gelangt, zum anderen dient er als Schutz der Anlagenteile, da Verschmutzung zu Problemen führen kann (z. B. schlechtere Wärmeübertragung an den Wärmetauschern oder Beschädigung der Ventilatoren). Weiters nimmt die Staubbelastung in den Räumen ab und die Luftqualität steigt.

### 2.2.2 Ventilator

Im Allgemeinen versteht man unter einem Ventilator eine Strömungsmaschine, die durch Fremdantrieb (z. B. elektrischer Motor) ein gasförmiges Medium (meistens Luft) bis zu einem Druck von 30.000 Pa befördert. In Lüftungsanlagen werden Ventilatoren eingesetzt, um das Medium Luft zu befördern.

Ventilatoren werden grundsätzlich in drei Klassen eingeteilt:

- Axialventilator
- Radialventilator
- Querstromventilator

### 2.2.3 Wärmetauscher

Ein Wärmetauscher (Wärmeübertrager) ist ein Bauteil, welcher thermische Energie von einem Medium auf ein anderes Medium überträgt. Wärmetauscher gibt es in verschiedenen Ausführungen und Formen. Grundsätzlich werden Wärmetauscher nach Art der Wärmeübertragung eingeteilt.

Tabelle 2: Arten der Wärmeübertrager

Geräteart	Übertragungsart	Wärmeübertragung	Stoffübertragung*
Mischwärmeübertrager	Direkt	Ja	Ja
Rekuperation	Indirekt	Ja	Nein
Regeneratoren	Halbdirekt	Ja	Nein

\*Stoffübertragung: z. B. Feuchterückgewinnung

#### **2.2.4 Befeuchter**

Der Luftbefeuchter hat die Aufgabe, trockene Luft zu befeuchten, um ein behagliches Klima herzustellen. Es gibt unterschiedliche Bauarten und Systeme, die eine Befeuchtung vornehmen. Die zwei meist verwendeten Anlagen sind Sprühbefeuchter und Dampfbefeuchter.

#### **2.2.5 Schalldämpfer**

Die Förderung (Ventilator) und Behandlung von Luft (Konditionierung) verursachen Geräusche (Schallleistung), die vom Luftkanal bis zu den Abnehmern übertragen werden können. Ein Schalldämpfer soll die akustische Belastung auf ein Minimum reduzieren.

#### **2.2.6 Klappe**

Klappen werden installiert, um ungewollte Luftströmungen zu verhindern. Eingesetzt werden sie in Lüftungskanäle, um bestimmte Bereiche abzuschotten, oder vor beziehungsweise nach Lüftungsanlagen, um einen natürlichen Luftstrom zu verhindern. Außerdem finden sie als Brandschutzklappen Einsatz, die bei einem Brand automatisch schließen und so die Luftzufuhr verhindern.

#### **2.2.7 Mischkammer**

In einer Mischkammer ist es möglich einen Teil der Abluft als Umluft zurück zu führen. Dadurch reduziert sich die Aufheizleistung, da warme, respektive kalte Umluft (Abluft) einen Teil der Außenluft vorwärmt beziehungsweise vorkühlt.

# 3 Notwendige Vorberechnungen

## 3.1 Ermittlung des Soll-Volumenstroms

Um eine Analyse einer Lüftungsanlage durchführen zu können, ist das Wissen über den notwendigen Luftvolumenstrom eine Grundvoraussetzung. Mit Hilfe der nachfolgenden Schritte, wird dieser Volumenstrom ermittelt und in das Datenerhebungsblatt als „Nennvolumenstrom neu“ eingetragen. Die zur Durchführung der Berechnungen notwendigen Daten sind in Kapitel „Ermittlung des Soll-Volumenstroms“ aufgelistet.

### 3.1.1 Hygienischer Mindestvolumenstrom

Der hygienische Mindestvolumenstrom ist jene Luftmenge, die auf jeden Fall einzustellen ist. Diese Luftmenge sichert die konstante und notwendige Versorgung der Arbeitnehmer mit Frischluft. Die Anzahl der Personen pro Raum werden mit dem jeweiligen Außenluftvolumenstrom multipliziert.

Formel 1: Hygienischer Mindestvolumenstrom

$$\dot{V}_{ZUL, \min} = \dot{V}_{AUL/Person} \cdot AnzahlPersonen$$

$\dot{V}_{ZUL, \min}$	[m <sup>3</sup> /h]	Hygienischer Mindestluftvolumenstrom
$\dot{V}_{AUL/Person}$	[m <sup>3</sup> /(hP)]	Außenluftvolumenstrom je Person und Stunde (siehe Tabelle 3.1)

Tabelle 3: Außenluftvolumenstrom pro Person nach DIN EN 13779, 2007-09

Raumluftqualität	Außenluftvolumenstrom pro Person - Üblicher Bereich	Außenluftvolumenstrom pro Person - Standardwert	CO <sub>2</sub> -Gehalt > Außenluft
IDA 1	> 54 m <sup>3</sup> /h	72 m <sup>3</sup> /h	+ ≤ 400 ppm
IDA 2	36-54 m <sup>3</sup> /h	45 m <sup>3</sup> /h	+ 400-600 ppm
IDA 3	22-36 m <sup>3</sup> /h	29 m <sup>3</sup> /h	+ 600-1000 ppm
IDA 4	< 22 m <sup>3</sup> /h	18 m <sup>3</sup> /h	+ >1000 ppm

### 3.1.2 Volumenstrom zum Abführen weiterer Emissionen

Werden aufgrund verschiedener Prozesse Emissionen an die Raumluft abgegeben, müssen diese abgeführt werden. Ist keine Absaugung installiert, erfolgt dies über die Lüftungsanlage des Betriebs. Der dadurch zu transportierende Volumenstrom wird wie folgt berechnet:

Der Massenstrom der Emission wird durch die Differenz der zulässigen Raumkonzentration und der Konzentration in der Zuluft dividiert:

Formel 2: Zuluftvolumenstrom Abführung weiterer Emissionen

$$\dot{V}_{ZUL} = \frac{\dot{m}_E}{(c_{RAL} - c_{ZUL})}$$

$\dot{V}_{ZUL}$	[m <sup>3</sup> /h]	Zuluftvolumenstrom
$\dot{m}_E$	[mg/h]	Massenstrom der Emission im Raum
$c_{RAL}$	[mg/m <sup>3</sup> ]	Zulässige Konzentration im Raum (MAK-Wert)

### 3.1.3 Volumenstrom zum Abdecken einer thermischen Last

Erfolgt eine teilweise oder komplette Abdeckung der Heiz- oder Kühllast über die Lüftungsanlage, wird der dafür notwendige Luftvolumenstrom folgendermaßen berechnet:

Formel 3: Zuluftvolumenstrom Abdecken thermische Last

$$\dot{V}_{ZUL} = \frac{\Phi_{th}}{\rho_L * c_{p,L} * |\theta_{RAL} - \theta_{ZUL}|} * 3600$$

$\dot{V}_{ZUL}$	[m <sup>3</sup> /h]	Zuluftvolumenstrom
$\Phi_{th}$	[W]	Thermische Last (Heizlast oder Kühllast)
$\rho_L$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Luftdichte (ist von Temperatur und Druck abhängig – vereinfacht wird der Wert 1,2 kg/m <sup>3</sup> herangezogen)
$c_{p,L}$	[J/kgK]	Spezifische Wärmekapazität der Luft (ist von Temperatur und Druck abhängig – vereinfacht wird der Wert 1 J/kgK herangezogen)
$\theta_{RAL}$	[°C]	Temperatur der zulässigen Raumluft
$\theta_{ZUL}$	[°C]	Temperatur der Zuluft

### 3.1.4 Tatsächlich erforderliche Volumenstrom

Die in Kapitel „Hygienischer Mindestvolumenstrom“ bis Kapitel „Volumenstrom zum Abdecken einer thermischen Last“ beschriebenen Volumenstromermittlung stellen die Ausgangsbasis für den tatsächlichen Volumenstrom dar. Zur Anwendung kommt immer der höchste ermittelte Volumenstrom. Wird keine weitere Emission und/oder thermische Last abgeführt, so ist zumindest der hygienische Luftvolumenstrom einzustellen.

### 3.1.5 Berechnung der Massenströme

Bei der Berechnung der Massenströme aus den Volumenströmen muss der Einfluss der Dichte berücksichtigt werden. Die Luftdichte der jeweiligen Temperatur wird wie folgt berechnet:

Formel 4: Luftdichte

$$\rho_L = \frac{p}{R \cdot \theta}$$

$\rho_L$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Luftdichte
$p$	[Pa]	Atmosphärischer Druck
$R$	[J/kgK]	Spezifische Gaskonstante für trockene Luft
$\theta$	[K]	Absolute Temperatur

Achtung – Der atmosphärische Druck ist von der Seehöhe abhängig!

Durch Multiplizieren des Volumenstroms mit der Dichte erhält man den Massenstrom:

Formel 5: Massenstrom

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho_L$$

$\dot{m}$  [kg/h] Massenstrom

$\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/h] Volumenstrom

$\rho_L$  [kg/m<sup>3</sup>] Luftdichte

Die Massenströme werden für die Zuluft (der) und die Abluft berechnet.

( $\dot{m}_{ABL}$ ) Abluft

## 3.2 Berechnung der elektrischen Leistungsaufnahme des Motors

Die am Typenschild eines Motors angegebene Leistung ist die Wellenleistung, das heißt, jene Leistung die der Motor abgibt. Die Aufnahmeleistung in Form von elektrischer Energie wird mit der nachfolgenden Gleichung (Formel 6) ermittelt:

Formel 6: Leistungsaufnahme Motor

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

U	[V]	Versorgungsspannung
I	[A]	Versorgungsstrom
cos $\varphi$	[-]	Leistungsfaktor

### 3.2.1 Typenschild

Das Typenschild ist auf jedem Motor zu finden und beinhaltet alle wichtigen Informationen über die Maschine. Die nachfolgende Abbildung 6 (Typenschild) und die Tabelle 4 sollen helfen, das Typenschild schneller zu verstehen.

Abbildung 6: Typenschild einer Asynchronmaschine



Tabelle 4: Erklärung zu Typenschild (Abbildung 6) [27]

Kürzel	Wert	Bezeichnung
No.	AW 818 174	Seriennummer des Herstellers
P	5000 kW	Motorleistung
n	1480 1/min	Drehzahl
U <sub>1</sub>	1000 V	Nennspannung
ohne Kürzel	1988	Baujahr
Duty	S1	Betriebsart (S1=Dauerbetrieb)
I <sub>1</sub>	335 A	Nennstrom
cos φ	0,89	Leistungsfaktor
f	50 Hz	Nennfrequenz
m	15 800 kg	Gewicht
IC	W37 A81	Bauklasse (IC = International Cooling)
IM	B3	Bauform des Motors (IM = International Mounting)
IP	54	Schutzklasse (IP = International Protection)
Cl.	F	Wärmeklasse

# 4 Maßnahmenberechnung

## 4.1 Maßnahme 1: Betriebszeitenreduktion

### 4.1.1 Allgemein

Bei der Optimierung der Lüftungsanlage sollte die erste Frage sein, welche Bereiche zu welchen Zeiten versorgt werden sollen. Viele Anlagen laufen rund um die Uhr, 7 Tage die Woche, 365 Tage im Jahr, während die Produktionszeiten des Betriebs vielleicht anders aussehen.

Die dadurch erreichten Energieeinsparungen zählen somit zu den einfachsten und effektivsten Maßnahmen. Die Verminderung der Laufzeit spart nicht nur Strom für den Ventilator, sondern auch Energie für die Luftkonditionierung (heizen, kühlen, be- und entfeuchten).

Weitere Vorteile, die sich durch die Reduktion der Laufzeit ergeben sind:

**Reduzierte Wartungsintervalle:** Da viele Anlagen nach bestimmten Betriebsstunden gewartet werden müssen (z. B. wiederkehrende Prüfung und so weiter) kann das Wartungsintervall verlängert werden.

**Reduzierter Filtertausch:** Filter werden in der Regel nach einer bestimmten Druckdifferenz beziehungsweise nach einer bestimmten Laufzeit gewechselt. Durch die Reduktion der Laufzeit reduzieren sich einerseits die Verschmutzung und andererseits die Einsatzzeit des Filters.

**Sekundärenergieeinsparung:** Für das Erwärmen von Zuluft wird nicht nur Heizenergie benötigt, sondern auch Transportenergie, die die Energie von der Heizquelle (meistens Kessel) zur Wärmesenke (Lüftungsanlage) transportieren. Da in diesem Fall meist Wasser als Heizmedium eingesetzt wird, entfällt durch die Reduktion der Laufzeit nicht nur Heizenergie, sondern auch die Energie, die für die Umwälzung des Mediums benötigt wird (Pumpenergie).

Die Betriebszeitenreduktion verlangt keine aufwändige Planung und kann sehr schnell und einfach umgesetzt werden. Um das Potential dieser Maßnahme zu ermitteln, müssen folgende Angaben erhoben werden:

Spezifische Kosten für Strom, Wärme, Kälte und Wartung

- Betriebszeiten der Anlage
- Arbeitszeiten des Betriebs
- Nennvolumenstrom
- Investitionskosten (z. B. Zeitschaltuhr)

#### 4.1.2 Berechnung zur Maßnahme 1

Durch eine einfache Kalkulation kann anschließend die Einsparung ermittelt werden. Im Allgemeinen kann folgendermaßen vorgegangen werden:

**Ermittlung der Bezugsbasis:** In einem ersten Schritt werden die benötigten Energien und Kosten auf den jährlichen geförderten Volumenstrom bezogen. Diese spezifischen Kosten ermöglichen einen besseren Vergleich, wenn mehrere Varianten berechnet werden. Dazu wird zuerst der jährliche Volumenstrom ermittelt. Handelt es sich um eine unregelmäßige Anlage (= starrer Volumenstrom), wird der auf dem Typenschild des Ventilators oder des raumlufttechnischen Gerätes angegebene Volumenstrom mit der Laufzeit des Ventilators (= Betriebsstunden) multipliziert:

Formel 7: Jährlicher Volumenstrom

$$\dot{V}_a = \dot{V}_v \cdot t$$

$\dot{V}_a$	[m <sup>3</sup> /a]	Jährlicher Volumenstrom
$\dot{V}_v$	[m <sup>3</sup> /h]	Nennvolumenstrom des Ventilators
t	[h/a]	Betriebszeit des Ventilators

Als nächster Schritt werden die jährlichen Strom-, Wärme- und Kühlkosten sowie die Wartungskosten der Lüftungsanlage durch den gesamten Volumenstrom dividiert:

Formel 8: Spezifische Kosten für Strom, Wärme, Kühlung, Wartung

$$\frac{K_{S,W,K,WK}}{\dot{V}_a} = k(V)_{S,W,K,WK}$$

$K_{S,W,K,WK}$	[€/a]	Jährliche Kosten für Strom, Wärme, Kühlung, Wartung
$K(V)_{S,W,K,WK}$	[€/m <sup>3</sup> ]	Spezifische Kosten für Strom, Wärme, Kühlung, Wartung

Nun ist die Grundlage geschaffen, um die Einsparungen den aktuellen Kosten übersichtlich gegenüber zu stellen. Dazu kann einzeln oder in verschiedenen Varianten ein neuer Gesamtvolumenstrom ermittelt werden, indem man die Betriebszeiten reduziert (Nacht-Wochenendabsenkung beziehungsweise -abschaltung) und den neuen Volumenstrom mit den spezifischen Kosten multipliziert.

Für die Kosteneinsparung kann folgende Gleichung angesetzt werden:

Formel 9: Kosteneinsparung pro Jahr

$$\Delta K = \dot{V}_V \cdot (t_{alt} - t_{neu}) \cdot k(V)_{S,W,K,WK}$$

$\Delta K$	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
------------	-------	---------------------------

Tabelle 5: Jahresstundentafel für verschiedene Arbeitszeiten

Arbeitszeit	Arbeitsstunden [h/d]	Tage [d/a]	Jahresstunden [h/a]
Ganzjährig	24	365	8.760
Ganzjährig	16	365	5.840
Ganzjährig	8	365	2.920
6 Tage	24	313	7.512
6 Tage	16	313	5.008
6 Tage	8	313	2.504
5 Tage	24	261	6.264
5 Tage	16	261	4.176
5 Tage	8	261	2.088

(Hinweis: In dieser Tabelle wurden etwaige Feiertage oder Ferien nicht berücksichtigt)

Die Tabelle 5 zeigt eine Jahresstundentafel bei verschiedenen Arbeitszeiten. Vergleicht man den Extremfall eines ganzjährigen Betriebes mit einer Fünftagewoche zu jeweils 8 Stunden, so erreicht man eine Reduzierung der Jahresarbeitsstunden von über 75 %.

## 4.2 Maßnahme 2: Volumenstromanpassung

### 4.2.1 Allgemein

Unter Volumenstrom einer Lüftungsanlage versteht man das Volumen der transportierten Luft pro Zeiteinheit. Bei vielen Lüftungsanlagen ist der eingestellte Volumenstrom größer als notwendig. Der Grund: in der Planungsphase wird ein Sicherheitszuschlag in der Größenordnung von 5 bis 15 % beaufschlagt, um die erforderlichen Werte (Normen, MAK-Werte, Feuchtelast, Luftwechselrate) unter Garantie einzuhalten.

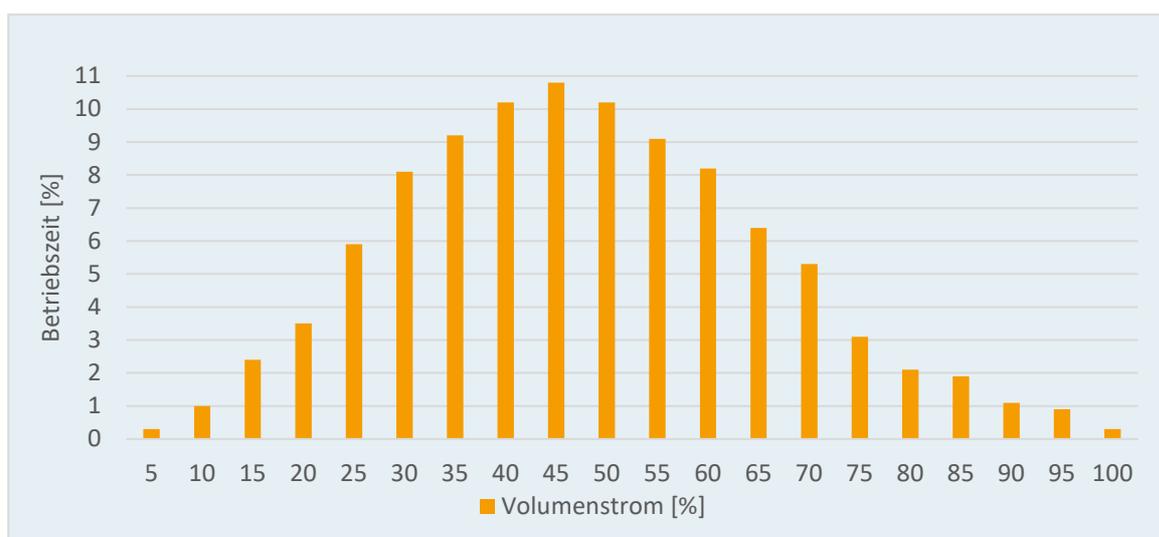
Dabei gilt aber, je mehr Volumenstrom gefördert wird, desto höher ist die eingesetzte Energie. Der Energiebedarf setzt sich grundsätzlich aus den folgenden Teilen zusammen:

- Transportenergie: Energie, die zum Transport der Luft benötigt wird. Die elektrische Energie wird von einem Motor in Bewegungsenergie umgewandelt, die die Frischluft zu den einzelnen Abnehmern befördert.

- Heiz- und Kühlenergie: Energie, die zur Luftkonditionierung (heizen, kühlen) eingesetzt wird. Die Außenluft hat in den seltensten Fällen die Temperatur, die die Zuluft benötigt. Daher muss die Luft erwärmt beziehungsweise gekühlt werden bevor sie zu den Abnehmern transportiert wird.
- Luftbefeuchtung: Die Luft wird über Verdunstungsbefeuchtung beziehungsweise Kalt- oder Heißdampfbefeuchtung auf die geforderte Luftfeuchte gebracht. Durch die Reduktion des Volumenstroms kommt es auch bei der Luftbefeuchtung zur Energieeinsparung.
- Luftentfeuchtung: In manchen Fällen muss die Luft vorher entfeuchtet werden, dies geschieht meist über ein Kühlregister, wo das in der Luft enthaltene Wasser kondensiert. Die dabei freiwerdende Kondensationsenergie muss über das Kühlregister abgeführt werden.
- Wartungskosten: Durch die Reduktion des Volumenstroms werden Filter nicht so schnell verschmutzt und können länger eingesetzt werden. Auch die Wartungskosten für Ventilatoren verringern sich.

In Abbildung 7 ist das typische Lastprofil eines Ventilators im Industriebetrieb ersichtlich. Man erkennt, dass der Hauptbedarf zwischen 35 % und 55 % des Volumenstroms ausmacht. Der Auslegungsvolumenstrom (100 %) hingegen wird weniger als 1 % der Betriebszeit benötigt.

Abbildung 7: Standard Lastprofil eines Ventilators im Industriebetrieb



Quelle: Diplomarbeit „Erstellung eines Leitfadens zum Optimieren lufttechnischer Anlagen in produzierenden Betrieben“, Christoph Gerstbauer

Die Analyse des Volumenstroms ist somit eine wichtige Maßnahme für die Reduktion der Energiekosten einer Lüftungsanlage. Durch eine Bedarfsanalyse können sehr oft der Volumenstrom und somit der Energieverbrauch reduziert werden. Bei großen Luftmengenänderungen muss auch der Betriebspunkt des Ventilators untersucht, und gegebenenfalls das System getauscht werden.

In Kapitel „Ermittlung des Soll-Volumenstroms“ ist der Weg der Volumenstromermittlung beschrieben und erläutert. Diese Analyse ist die Grundvoraussetzung für die nachfolgenden Maßnahmen.

#### **4.2.2 Variable Volumenstromregelung**

Da viele Lüftungsanlagen mit einem starren Volumenstrom errichtet worden sind, fördert die Anlage unabhängig vom Bedarf konstant eine definierte Menge Luft zu den Verbrauchern.

Aber nur in den seltensten Fällen wird der Nennvolumenstrom (installierter Volumenstrom) benötigt. Eine variable Volumenstromregelung beseitigt das Problem und erreicht die größeren Einsparungen.

Um eine variable Volumenstromanpassung zu realisieren, sind zwei Komponenten notwendig:

- Nachfrageseite: Sie ermittelt den aktuellen Bedarf an Luft und überträgt diese Information zu der Lüftungszentrale.
- Versorgerseite: Sie empfängt die Information und stellt den Volumenstrom auf die nachgefragte Menge ein.

#### **4.2.3 Variable Volumenstromreduktion**

Die variable Volumenstromreduktion ist schwieriger zu definieren, da ein Lastprofil erstellt werden muss. Zuerst wird wie bei der starren Volumenstromreduktion der neue Volumenstrom ermittelt. Aus diesem Volumenstrom wird anschließend die neue Leistung des Ventilators berechnet (siehe Proportionalitätsgesetz Gleichung). Mit dem Volumenstrom sowie der Ventilatorleistung kann ein Lastprofil erstellt werden.

Tabelle 6 zeigt ein Beispiel eines Lastprofils (Beispiel nach Abbildung 7). Dabei ist der Volumenstrom in 5 %-Schritten unterteilt. 100 % stellen somit den neu errechneten Volumenstrom dar. Alle anderen Werte müssen berechnet beziehungsweise abgeschätzt werden.

Das Lastprofil wird in Prozent hinterlegt. Ausgangslage sind die Stunden in einem Jahr.

Anschließend wird der Jahresvolumenstrom [m<sup>3</sup>/a] ermittelt. Die erforderliche Leistung für jeden Teilvolumenstrom wird mit Hilfe der Formel 10 errechnet. Da es sich hierbei um einen Frequenzumrichter handelt und dieser ebenfalls Strom benötigt, kann mit folgender Formel die Leistung ermittelt werden:

Formel 10: Leistung des Motors

$$P_2 = \left( 0,25 + 0,75 \cdot \left( \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^3 \right) \cdot P_1$$

P	[kW]	Leistung des Motors (1=alt; 2=neu)
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /h]	Volumenstrom (1=alt; 2=neu) [50], [51]

Der Stromverbrauch wird anschließend durch Multiplizieren von Leistung und Zeit errechnet. Wird davon ausgegangen, dass bei 0 % Volumenstrom die Anlage abgedreht wird, dann wird auch keine Energie benötigt. In diesem Fall trifft oben genannte Formel nicht zu.

Tabelle 6: Energieverbrauch über ein typisches Lastprofil

Volumenstrom [%]	Volumenstrom [m³/h]	Lastprofil [%/a]	Zeit [h/a]	Gesamtstrom [m³/a]	Leistung [kW]	Verbrauch [kWh/a]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	75,00	0,30	26,28	1.971,00	0,53	13,86
10	150,00	1,00	87,60	13.140,00	0,53	46,33
15	225,00	2,40	210,24	47.304,00	0,53	111,99
20	300,00	3,50	306,60	91.980,00	0,54	165,56
25	375,00	5,90	516,84	193.815,00	0,55	285,33
30	450,00	8,10	709,56	319.302,00	0,57	404,49
35	525,00	9,20	805,92	423.108,00	0,60	479,66
40	600,00	10,20	893,52	536.112,00	0,63	561,66
45	675,00	10,80	946,08	638.604,00	0,67	635,30
50	750,00	10,20	893,52	670.140,00	0,73	647,89
55	825,00	9,10	797,16	657.657,00	0,79	630,20
60	900,00	8,20	718,32	646.488,00	0,87	624,26
65	975,00	6,40	560,64	546.624,00	0,96	539,23
70	1.050,00	5,30	464,28	487.494,00	1,07	496,77
75	1.125,00	3,10	271,56	305.505,00	1,19	324,45
80	1.200,00	2,10	183,96	220.752,00	1,34	246,02
85	1.275,00	1,90	166,44	212.211,00	1,50	249,48
90	1.350,00	1,10	96,36	130.086,00	1,68	161,95
95	1.425,00	0,90	78,84	112.347,00	1,88	148,51
100	1.500,00	0,30	26,28	39.420,00	2,11	55,43
Total	-	100	8.760,00	2.935.476,00	-	3.352,08

#### 4.2.4 Berechnung zur Maßnahme 2

Folgende Daten werden für die Berechnung der Volumenstromanpassung benötigt:

- Spezifischer Nennvolumenstrom alt [m<sup>3</sup>/h]
- Spezifischer Nennvolumenstrom neu [m<sup>3</sup>/h]
- Betriebszeiten der Anlage alt [h/a]
- Thermischer Energiebedarf pro Jahr
- Heizung [kWh/a]
- Kühlung [kWh/a]
- Motorwellenleistung alt [kW]

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.1 eine Excel-Vorlage, in die Sie die notwendigen Daten für die Berechnung der Volumenstromanpassung eintragen können.

#### 4.2.5 Ermittlung des derzeitigen Energiebedarfs

Die Ermittlung des IST-Stand wird benötigt, um aufzuzeigen, wie ineffektiv die Lüftungsanlage betrieben wird beziehungsweise welches Einsparungspotential erhoben werden kann. Dazu wird ein Betrachtungszeitraum festgelegt, in dem möglichst alle auftretenden Lastzustände abgebildet werden können. In diesem Fall wird als Zeitraum ein Jahr festgelegt.

Ermittelt wird ein jährlich transportierter Zuluft- und Abluftvolumenstrom (Formel 11 und Formel 12) und die dafür aufgewendeten Energien festgelegt.

Formel 11: Jährlich transportierter Zuluftvolumenstrom

$$V_{a,ZUL} = V_{s,ZUL} \cdot t_{ZUL}$$

$V_{a,ZUL}$	[m <sup>3</sup> /a]	Jährlich transportierter Zuluftvolumenstrom
$V_{s,ZUL}$	[m <sup>3</sup> /h]	Spezifischer Zuluftvolumenstrom
$t_{ZUL}$	[h/a]	Betriebsstunden Zuluft pro Jahr

Formel 12: Jährlich transportierter Abluftvolumenstrom

$$V_{a,ABL} = V_{s,ABL} \cdot t_{ABL}$$

$V_{a,ABL}$	[m <sup>3</sup> /a]	Jährlich transportierter Abluftvolumenstrom
$V_{s,ABL}$	[m <sup>3</sup> /h]	Spezifischer Abluftvolumenstrom
$t_{ABL}$	[h/a]	Betriebsstunden Abluft pro Jahr

Weiteres sind die Daten für die jährlichen Konditionierungs- und Transportenergien zu erheben. Diese können entweder durch Messungen oder durch Berechnungen erfolgen. Eine einfache Berechnung der Transportenergie ist die Ermittlung über die Motorleistung und die Betriebszeiten:

Formel 13: Jährlicher Strombedarf

$$Q_{a,S} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t$$

$Q_{a,S}$	[kWh/a]	Jährlicher Strombedarf
$U$	[V]	Versorgungsspannung des Motors
$I$	[A]	Versorgungsstrom des Motors
$\cos \varphi$	[-]	Leistungsfaktor des Motors
$t$	[h/a]	Betriebszeiten in einem Jahr

Die Formel 11 setzt voraus, dass die Anlage unregelt über die Betriebszeiten im Einsatz ist. Ermittelt werden diese Daten für Zuluft- und Abluftventilator.

$Q_{a,S,ZUL}$	[kWh/a]	Jährlicher Strombedarf Zuluftventilator
$Q_{a,S,ABL}$	[kWh/a]	Jährlicher Strombedarf Abluftventilator

Die jährlich aufgewendete thermische Energie muss über Wärmemengenzähler oder den Energieträgerbedarf ermittelt werden.

$Q_{a,th}$	[kWh/a]	Jährlicher thermischer (heizen, kühlen) Energiebedarf
------------	---------	---

Zur weiteren Berechnung muss die spezifische thermische Kennzahl berechnet werden. Formel 14 zeigt die dafür notwendige Gleichung:

Formel 14: Spezifischer thermischer Energiebedarf

$$q_{th} = \frac{Q_{a,th}}{V_{a,ZUL}}$$

$q_{th}$  [kWh/m<sup>3</sup>] Spezifischer thermischer Energiebedarf

#### 4.2.6 Ermittlung des reduzierten Energiebedarfs

Um den reduzierten Energiebedarf zu errechnen, muss zuerst der neue Soll-Volumenstrom ermittelt werden (siehe Kapitel „Ermittlung des Soll-Volumenstroms“). Mit Hilfe dieses Volumenstroms wird ein Lastprofil erstellt, welches den Bedarf des gesamten Jahres widerspiegeln soll. Der neue Volumenstrom ist jener Wert, der 100 % Auslastung darstellt.

Das Lastprofil wird dann frei gewählt, wobei die Summe der Stunden, die Anzahl der Jahresstunden darstellt (8.760 Stunden pro Jahr).

Der Gesamtvolumenstrom ergibt sich aus der Multiplikation des Volumenstroms (Spalte 2, Tabelle 7) mit dem Lastprofil (Spalte 3, Tabelle 7).

In der darauffolgenden Spalte (in Tabelle 7) ist der prozentuelle Leistungsbedarf bei Drehzahlregelung eingetragen, da bei einer Volumenstromreduktion nur mehr diese Art der Regelung Anwendung findet. Die Spalte „Leistung“ ermittelt sich aus der Nennleistung des Motors (= 100 %) multipliziert mit dem jeweiligen Prozentsatz der Regelungsart (Ermittlung der neuen Leistung siehe Formel 15). Den Verbrauch erhält man aus der Multiplikation der Leistung mit dem Lastprofil.

Formel 15: Ermittlung der neuen Leistung

$$\left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/h] Volumenstrom (1=alt; 2=neu)  
 P [kW] Motorleistung (1=alt; 2=neu)

Tabelle 7: Datenstruktur - Energieverbrauch über ein typisches Lastprofil

Volumenstrom [%]	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Lastprofil [h/a]	Gesamtvolumenstrom [m <sup>3</sup> /a]	Leistungsbedarf bei Drehzahlregelung [%]	Leistungsbedarf bei Drehzahlregelung [kW]	Verbrauch [kWh/a]
------------------	----------------------------------	------------------	--	--	---	-------------------

Wird die Summe der letzten Spalte (Verbrauch [kWh/a]) gebildet, erhält man als Ergebnis den neuen jährlichen Stromverbrauch des Ventilators. Dabei ist darauf zu achten, ob Zuluft-, Abluft- oder beide Ventilatoren betrachtet worden sind. Aufgrund der nachfolgenden Schritte wird empfohlen, Zuluft- und Abluftventilator getrennt zu betrachten.

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.2 eine Excel-Vorlage für die Erstellung eines Lastprofils.

Die Summe der vierten Spalte (Gesamtvolumenstrom) bildet die Basis für die Ermittlung der neuen Konditionierungsenergie. Dieser wird mit dem spezifischen thermischen Energiebedarf aus Kapitel „Ermittlung des derzeitigen Energiebedarfs“ ( $q_{th}$ ) multipliziert. Das Ergebnis ist der neue thermische Jahresenergiebedarf ( $Q_{a,th,neu}$ ).

Formel 16: Jährlicher thermischer neuer Energiebedarf

$$Q_{a,th,neu} = q_{th} \cdot V_{a,ZULneu}$$

$Q_{a,th,neu}$  [kWh/a] Jährlicher thermischer (heizen, kühlen) neuer Energiebedarf  
 $q_{th}$  [kWh/m<sup>3</sup>] Spezifischer thermischer Energiebedarf  
 $V_{a,ZULneu}$  [m<sup>3</sup>/a] Jährlich transportierter neuer Zuluftvolumenstrom

Durch eine Gegenüberstellung der benötigten Energien kann die Maßnahmenbewertung erleichtert werden.

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.3 eine Excel-Vorlage, in die Sie die Daten für eine Gegenüberstellung nach einer Volumenstromreduktion eintragen können.

### **4.3 Maßnahme 3: Tausch von Anlagen beziehungsweise Anlagenteilen**

Das Kapitel „Maßnahme 3 – Tausch von Anlagen beziehungsweise Anlagenteilen“ kann in zwei Teilbereiche gegliedert werden. Bei dem Tausch kompletter Anlagen (Neuerrichtung einer Lüftungsanlage) ist die 2016 in Kraft getretene EU Richtlinie 153/2014 zu beachten (siehe Kapitel „EU-Verordnung 1253/2014“). Der zweite Teilbereich beschäftigt sich mit dem Tausch von Anlagenteilen (Ventilator, Motor, Getriebe) und der Berechnung der Einsparungseffekte.

#### **4.3.1 Tausch von Anlagen**

Die EU-Verordnung 1253/2014 bezieht sich auf rein personenbezogene Emissionen. Bei der durch die Verordnung vorgegebenen Mindestanforderung muss geklärt werden welche Anlagentypen davon betroffen sind und ob die Verordnung auch bei einem Tausch von einzelnen Anlagenteilen anzuwenden ist. Vorweg ist es wichtig zu erwähnen ist, dass folgende Anwendungen (Liste nicht erschöpfend), laut EVIA (European Ventilator Industry Association), als Prozesslüftung gelten und somit nicht in den Geltungsbereich der Verordnung fallen:

- Schwimmbecken
- Landwirtschaftliche Anwendungen
- Gewerbliche Küchen
- Datenzentren, Serverräume
- Maschinenabluft
- Umluftanlagen in Reinräumen
- Wärmabfuhr, z. B. Kompressor-, Generator- und BHKW-Räume, Fernsehstudios und andere Räume mit hoher Beleuchtungswärmelast
- Gießereien, Schmiedeprozesse

- Hallen mit Industrieöfen
- Papierproduktion

### 4.3.2 EU-Verordnung 1253/2014 – Umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen

Mit 1. Jänner 2016 ist die EU-Verordnung 1253/2014 in Kraft getreten. Erfüllen RLT-Zentralgeräte die entsprechenden Mindestanforderungen nicht, dürfen sie seit dem 01. Januar 2016 im Europäischen Binnenmarkt nicht mehr in Verkehr gebracht werden.

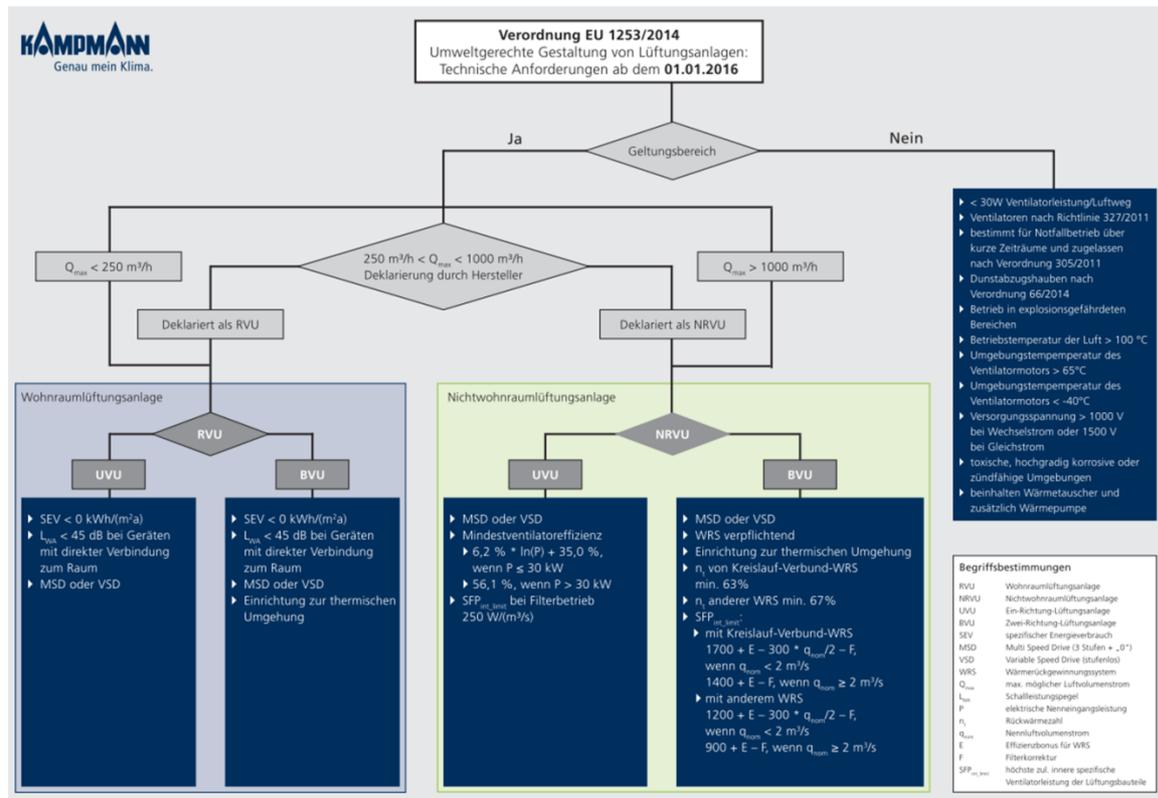
Nach der Richtlinie wird zwischen Wohnraumlüftungsanlagen und Nichtwohnraumlüftungsanlagen unterschieden. Zu definieren sind diese laut EU-Verordnung folgendermaßen (siehe auch Abbildung 8):

„Wohnraumlüftungsanlage“ (WLA) (in Englisch: „residential ventilation unit“ (RVU)) ist eine Lüftungsanlage, deren Höchstdurchsatz maximal 250 m<sup>3</sup>/h beträgt und die, falls der Höchstdurchsatz zwischen 250 und 1.000 m<sup>3</sup>/h liegt, nach den Angaben des Herstellers ausschließlich zur Anwendung für die Wohnraumlüftung bestimmt ist.

„Nichtwohnraumlüftungsanlage“ (NWLA) (in Englisch: „non-residential ventilation unit“ (NRVU)) ist eine Lüftungsanlage, deren Höchstdurchsatz mehr als 250 m<sup>3</sup>/h beträgt und die, falls ihr Höchstdurchsatz zwischen 250 und 1.000 m<sup>3</sup>/h liegt, nach den Angaben des Herstellers nicht ausschließlich zur Anwendung für die Wohnraumlüftung bestimmt ist.

Nochmals zusammengefasst: Laut EU-Verordnung 1253/2014 entsprechen Lüftungsanlagen mit einem Durchsatz von unter 250 m<sup>3</sup>/h „Wohnraumlüftungsanlagen“ und über 1.000 m<sup>3</sup>/h „Nichtwohnraumlüftungsanlagen“. Lüftungsanlagen zwischen 250 m<sup>3</sup>/h und 1.000 m<sup>3</sup>/h können je nach Angaben des Herstellers entweder der Gruppe der „Wohnraumlüftungsanlagen“ oder der „Nichtwohnraumlüftungsanlagen“ zugeteilt werden. Folgende Grafik (siehe Abbildung 8) veranschaulicht das Prinzip der Klassifizierung nach EU-Verordnung 1253/2014.

Abbildung 8: Zusammenfassung/Kernaussage der Verordnung EU 1253/2014



Quelle: Verordnung EU 1253/2014

Steht dann also fest welche Art von Lüftungsanlage (Wohnraum- oder Nichtwohnraumlüftungsanlage) betrachtet werden soll, werden weitere Untergliederungen getroffen, da hier jeweils unterschiedliche Vorschriften einzuhalten sind (siehe Abbildung 8). Die Wohnraum- und auch die Nichtwohnraum-lüftungsanlagen werden unterteilt in „Ein-Richtung-Lüftungsanlagen“ (ELA) (in Englisch: „unidirectional ventilation unit“ (UVU)) und in „Zwei-Richtung-Lüftungsanlagen“ (ZLA) (in Englisch: „bidirectional ventilation unit“ (BVU)).

Bei ELA (UVU) spricht man von Lüftungsanlagen, welche einen Luftstrom nur in eine Richtung erzeugen, entweder von innen nach außen (Fortluft) oder von außen nach innen (Zuluft), bei der der mechanisch erzeugte Luftstrom durch natürliche Luftzufuhr oder – abfuhr ausgeglichen wird.

Bei ZLA (BVU) spricht man von Lüftungsanlagen, welche einen Luftstrom zwischen innen und außen erzeugen und sowohl mit Fortluftgebläse als auch mit Zuluftgebläse ausgestattet sind.

Folgende Vorschriften sind laut EU-Verordnung 1253/2014 ab 01. Jänner 2016 einzuhalten:

### Bei Nichtwohnraumlüftungsanlagen:

- Ein-Richtung-Lüftungsanlagen ELA (UVU):
  - MSD (Multi Speed Drive; 3 Stufen + „0“) oder VSD (Variable Speed Drive; stufenlos)
  - Mindestventilatoreffizienz ( $\eta_{vu}$ ) (EU1253/2014: Begriffsbestimmungen für NWLA):
    - wenn  $P$  (elektrische Nenneingangsleistung)  $\leq 30$  kW:
      - $6,2 \% * \ln(P) + 35,0 \%$
    - wenn  $P > 30$  kW:
      - $51,1 \%$
  - $SFP_{int\_limit}$  (maximum internal specific fan power of ventilation components oder auch als  $SV_{Lint\_limit}$  bezeichnet (höchste innere spezifische Ventilatorleistung von Lüftungsbauteilen) und darf höchstens  $250 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$  bei Filterbetrieb betragen.
  - Definition SFP: Die SFP-Klassifizierung ist in der ÖNORM EN 13779:2008 „Lüftung von Nicht-Wohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage“ definiert. Die Einteilung der SFP-Klassen erfolgt in der ÖNORM EN 13779:2008 jeweils für einen Ventilator (siehe in der Langversion Tabelle 4.6) beziehungsweise Langversion Kapitel 4.3.3 entsprechend angeführt.
- Zwei-Richtung-Lüftungsanlagen ZLA (BVU):
  - MSD oder VSD
  - WRS (Wärmerückgewinnungssystem) verpflichtend
  - Einrichtung zur thermischen Umgehung
  - Definition: „Einrichtung zur thermischen Umgehung“ bezeichnet jede Lösung, bei der der Wärmetauscher umgangen oder dessen Wärmerückgewinnungsleistung automatisch oder von Hand gesteuert wird, wozu nicht unbedingt eine physische Umgehungsluftleitung erforderlich ist (z. B. Sommerbox, Steuerung der Laufraddrehzahl, Steuerung des Luftstroms)
  - $n_t$  (Rückwärmezahl) von Kreislauf-Verbund-WRS min.  $63 \%$
  - $n_t$  anderer WRS min.  $67 \%$
  - $SFP_{int\_limit}$  (siehe ÖNORM EN 13779:2008):
    - mit Kreislauf-Verbund-WRS:
      - - wenn  $q_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :

- $1.700 + E$  (Effizienzbonus für WRS) -  $300 \times q_{\text{nom}}$  (Nennvolumenstrom) / 2 - F (Filterkorrektur)
- - wenn  $q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$  dann:
- $1.400 + E - F$
- mit anderem WRS:
- - wenn  $q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :
- $1.200 + E - 300 \times q_{\text{nom}} / 2 - F$
- - wenn  $q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$  dann:
- $900 + E - F$

Für folgende Ausnahmen gilt die Verordnung jedoch nicht (siehe auch Abbildung 8):

- Geräte mit einer Leistungsaufnahme unter 30 W (bei Zu-/Abluftgeräten je Strang 30 W)
- Ventilatoren nach Richtlinie 327/2011 (Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Ventilatoren, die durch Motoren mit einer elektrischen Eingangsleistung zwischen 125 W und 500 kW angetrieben werden)
- Explosionsgeschützte Ventilatoren
- Einstufige Entrauchungsventilatoren, sofern diese nicht zur täglichen Bedarfslüftung eingesetzt werden
- Ventilatoren für Fördermitteltemperaturen ab  $100 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ventilatoren für Umgebungstemperaturen ab  $65 \text{ }^\circ\text{C}$
- Luft- oder Motorumgebungstemperaturen unter  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Versorgungsspannung über 1.000 V/Wechselstrom oder 1.500 V/Gleichstrom
- Ventilatoren zur Absaugung aggressiver Medien
- Beinhalten Wärmetauscher und zusätzlich Wärmepumpe zur Wärmegewinnung
- Dunstabzugshauben nach Verordnung 66/2014 (Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltsbacköfen, -kochmulden und -dunstabzugshauben)
- Der Fokus dieses Leitfadens liegt auf industrielle Lüftungsanlagen (Nichtwohnraumlüftungsanlagen). Der Vollständigkeit halber jedoch hier die Vorgabe für Wohnraumlüftungsanlagen (EU-Verordnung 1254/2014 zu entnehmen):

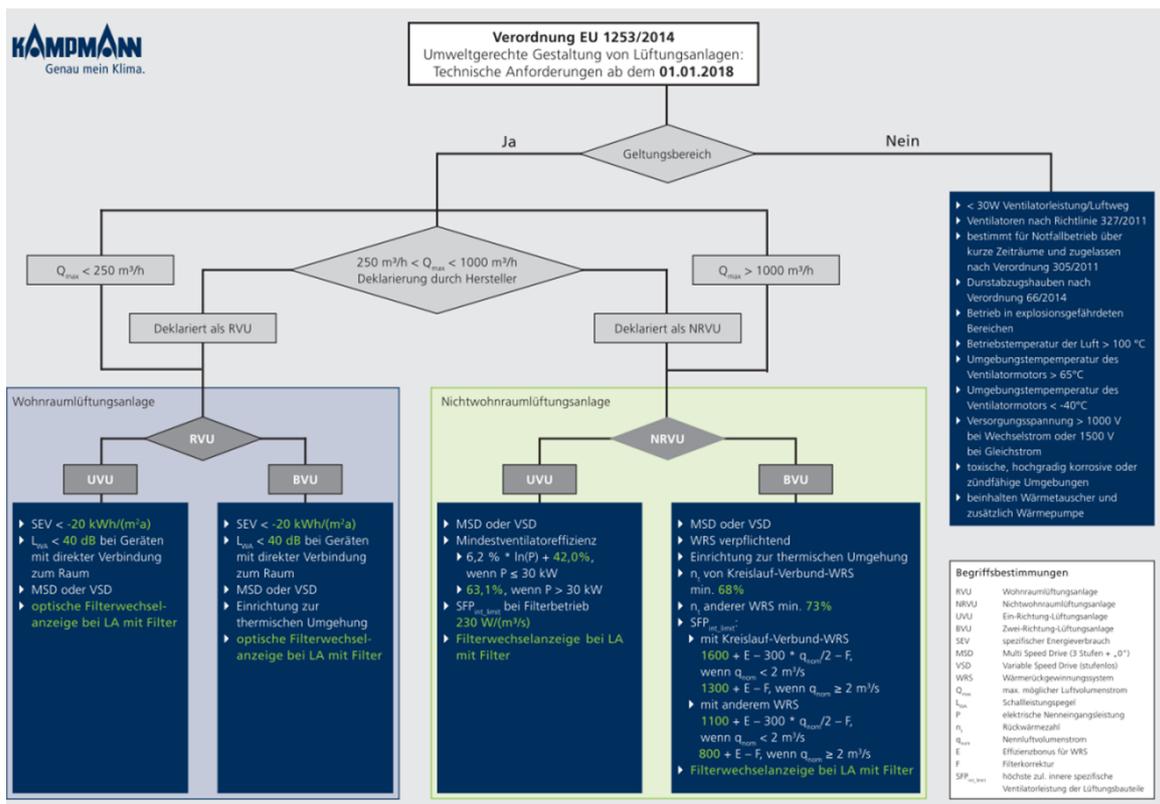
Bei Wohnraumlüftungsanlagen:

- Ein-Richtung-Lüftungsanlagen ELA (UVU):
  - SEV (spezifischer Energieverbrauch)  $< 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

- LWA (Schallleistungspegel) < 45 dB bei Geräten mit direkter Verbindung zum Raum
- MSD oder VSD
- Zwei-Richtung-Lüftungsanlagen ZLA (BVU):
  - SEV (spezifischer Energieverbrauch) < 0 kWh/(m<sup>2</sup>a)
  - LWA (Schallleistungspegel) < 45 dB bei Geräten mit direkter Verbindung zum Raum
  - MSD oder VSD
  - Einrichtung zur thermischen Umgehung

Weiteres treten nach dem Stichtag 01.01.2018 laut der EU 1253/2014 noch strengere Mindestanforderungen an diese Lüftungsanlagen auf, diese werden in Abbildung 9 (grüner Text) aufgezeigt.

Abbildung 9: Strengere Mindestanforderungen an Lüftungsanlagen ab 01.01.2018



Quelle: Verordnung EU 1253/2014

Diese Anforderungen werden dazu führen, dass Lüftungsanlagen in Einkaufszentren, Hotels, Bürokomplexen oder Flughäfen künftig größer ausgeführt werden müssen, um die geforderten Werte einzuhalten.

### 4.3.3 Berechnung zur Maßnahme 3

Folgende Daten werden für die Berechnung des Tausches von Anlagen und Anlagenteilen benötigt:

- Spezifischer Volumenstrom alt [m<sup>3</sup>/h]
- Betriebszeit der Anlage alt [h/a]
- Spezifische Kosten auf Energie bezogen
- Strom [EUR/kWh]
- Motorwellenleistung alt [kW]
- Ventilatorleistung [kW]

Für die Berechnung der Maßnahme 3 „Tausch von Anlagen und Anlagenteilen“ finden Sie im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ unter Punkt 1.4 eine Excel-Vorlage, in die Sie die Daten für den Tausch von Anlagenteilen eintragen können.

### 4.3.4 Berechnung 1: Ventilator

Die spezifische Ventilatorleistung  $SFP_V$  genannt, ist die an einen Ventilator gelieferte elektrische Leistung, in kW, dividiert durch den Luftstrom, ausgedrückt in m<sup>3</sup>/s, bei „sauberem Filter“. (siehe Formel 17).

Formel 17: Spezifische Ventilatorleistung

$$SFP_V = \frac{P_{mains}}{q}$$

$SFP_V$	die spezifische Ventilatorleistung [kW/(m <sup>3</sup> /s)]
$P_{mains}$	die an den Ventilator gelieferte Leistung (kW)
$q$	der Luftstrom durch den Ventilator (m <sup>3</sup> /s)

Um jedoch die  $SFP_V$  zu berechnen muss zuerst  $P_{mains}$  bekannt sein, beziehungsweise berechnet werden. Formel 18 veranschaulicht die Berechnung von  $P_{mains}$ .

Formel 18: Nutzleistung aus dem Versorgungsnetz

$$P_{\text{mains}} = \frac{q_{\text{fan}} \cdot \Delta p_{\text{fan}}}{\eta_{\text{tot}}} = \frac{P_{\text{fan}}}{\eta_{\text{tr}} \cdot \eta_{\text{m}} \cdot \eta_{\text{c}}}$$

$P_{\text{mains}}$	die Nutzleistung aus dem Versorgungsnetz (kW)
$q_{\text{fan}}$	der Luftstrom den Ventilator (m <sup>3</sup> /s)
$\Delta p_{\text{fan}}$	der Gesamtdruckanstieg vom Ventilatoreinlass zum Auslass (Pa)
$P_{\text{fan}}$	der Leistungsbedarf im Ventilatorschacht (kW)
$\eta_{\text{tot}}$	$\eta_{\text{fan}} \times \eta_{\text{tr}} \times \eta_{\text{m}} \times \eta_{\text{c}}$
$\eta_{\text{fan}}$	der Wirkungsgrad des Ventilators einschließlich Lagerverluste
$\eta_{\text{tr}}$	der Wirkungsgrad der mechanischen Kraftübertragung
$\eta_{\text{m}}$	der Wirkungsgrad des Elektromotors, ausgenommen Steuer- und Regeleinrichtungen
$\eta_{\text{c}}$	der Wirkungsgrad der Steuer- und Regeleinrichtungen, einschließlich deren Auswirkung auf Motorverluste.

Durch Einsetzen von Formel 18 in Formel 17 kann die SFP<sub>v</sub> errechnet werden. Tabelle 8 weist die verschiedenen SFP-Kategorien nach ÖNORM EN 13779:2008 auf. Bei Einbau von gewissen technischen Komponenten muss ein Zuschlag zum SFP hinzugerechnet werden (siehe Tabelle 9).

Tabelle 8: Einteilung der spezifischen Ventilatorleistung

SFP-Kategorie	PSFP in [W/(m <sup>3</sup> /s)]	PSFP in [W/(m <sup>3</sup> /h)]
SFP 1 (*)	< 500	< 0,14
SFP 2 (*)	500-750	0,14-0,21
SFP 3 (*)	750-1.250	0,21-0,35
SFP 4 (*)	1.250-2.000	0,35-0,56
SFP 5 (*)	2.000-3.000	0,56-0,83
SFP 6 (*)	3.000-4.000	0,83-1,25
SFP 7 (*)	> 4.500	> 1,25

(\*) PSFP.....spezifische Ventilatorleistung

Tabelle 9: Bauteile, die zur Erhöhung des SFP beitragen

Bauteil	Zuschlag auf SFP [W/(m <sup>3</sup> /s)]
Zusätzliche mechanische Filterstufe	+ 300
HEPA Filter	+ 1.000
Gas Filter	+ 300
WRG der Klasse H2-H1	+ 300
Hochleistungskühler	+ 300

**Eco-Design Richtlinie:** Wird ein Ventilator getauscht, oder soll eine Bewertung erfolgen, sollte dies nach der ECO-Design Richtlinie gemacht werden. Dazu wird der Wirkungsgrad des Ventilatorsystems (Ventilator, Antrieb, Motor) ermittelt und mit den vorgegebenen Wirkungsgraden der Richtlinie verglichen.

Für den Wirkungsgrad des Ventilatorsystems werden folgende Gleichungen herangezogen:

Formel 19: Starrer Volumenstrom

$$\eta_{ges} = \frac{P_V}{P_{el}}$$

Formel 20: Variabler Volumenstrom

$$\eta_{ges} = \left( \frac{P_V}{P_{el}} \right) \cdot C_c$$

$\eta_{ges}$	[-]	Gesamtwirkungsgrad
$P_{el}$	[kW]	Elektrische Leistung des Motors
$P_V$	[kW]	Ventilatorleistung
$C_c$	[-]	Korrekturfaktor für drehzahlgesteuerte Ventilatoren: bei $P_{el} \geq 5$ kW: $C_c = 1,04$ bei $P_{el} < 5$ kW: $C_c = -0,03 \ln(P_{el}) + 1,88$

Die Richtlinie unterteilt Ventilatoren in drei Gruppen und vier Messkategorien. Diese Messkategorien sind nachstehend aufgelistet, während die Gruppen in Tabelle 10 erklärt sind.

- A Frei saugend und drückend
- B Druckseitiger Betrieb (frei saugend, Widerstand auf Druckseite)
- C Saugseitiger Betrieb (Widerstand auf Saugseite, frei drückend)
- D Saug- und druckseitiger Betrieb (Widerstand auf Saug- und Druckseite)

Die Wirkungsgrade nach der ECO-Design Richtlinie werden wie folgt ermittelt (siehe Tabelle 10):

Tabelle 10: Berechnung der Wirkungsgrade von Ventilatoren

Gruppe	Klasse 1 (0,125 kW – 10 kW)	Klasse 2 (10 kW – 500 kW)
Gruppe 1	$\eta_{Ziel} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	$\eta_{Ziel} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$
Gruppe 2	$\eta_{Ziel} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	$\eta_{Ziel} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$
Gruppe 3	$\eta_{Ziel} = 1,14 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	$\eta_{Ziel} = N$

- P [kW]  $P_{el}$  bei direkt angetriebenen Ventilatoren  
[kW]  $P_{Welle}$  bei Ventilatoren die über Riemen angetrieben werden
- N [-] Konstante die in Tabelle 10 aufgelistet ist

Tabelle 11: Konstante für die Wirkungsgradbewertung von Ventilatoren

Gruppe	Ventilator typ	Mess- kategorie	Effizienzklasse (ab 01.07.2012) = N-Wert	Effizienzklasse (ab 01.01.2015) = N-Wert
G1	Axialventilator	A, C	36	40
G1	Axialventilator	B, D	56	60

G1	Vorwärts gekrümmte Radialventilatoren	A, C	37	42
G1	Vorwärts gekrümmte Radialventilatoren	B, D	42	47
G1	Radialventilatoren mit geraden Schaufeln	A, C	37	42
G1	Radialventilatoren mit geraden Schaufeln	B, D	42	47
G1	Dachventilatoren	A, C	27	31
G2	Rückwärts gekrümmte Radialventilatoren (ohne Gehäuse)	A, C	58	62
G2	Rückwärts gekrümmte Radialventilatoren (mit Gehäuse)	A, C	58	61
G2	Rückwärts gekrümmte Radialventilatoren (mit Gehäuse)	B, D	61	64
G2	Mixed flow Ventilatoren (halbaxial; halbradial)	A, C	47	50
G2	Mixed flow Ventilatoren (halbaxial; halbradial)	B, D	58	62
G2	Dachventilatoren (radial, mixed flow)	A, C	48	52
G2	Ventilatorboxen (rückwärts gekrümmt oder mixed flow)	B, D	35	39
G2	Ventilatorboxen (vorwärts gekrümmt oder axial)	B, D	22	25
G2	Querstromventilatoren	B, D	18	21

Die ökonomische Bewertung eines schlechteren Wirkungsgrades erfolgt über die Differenz des Wirkungsgrades (Formel 21 und Formel 22).

Formel 21: Wirkungsgraddifferenz

$$\eta_{Diff} = 1 - \left( \frac{\eta_{err}}{\eta_{ECO1}} \right)$$

$\eta_{Diff}$	[-]	Wirkungsgraddifferenz
$\eta_{err}$	[-]	Errechneter Wirkungsgrad
$\eta_{ECO1}$	[-]	Wirkungsgrad lt. ECO-Design 1

Formel 22: Kosteneinsparung pro Jahr

$$\Delta K = \left( \frac{P_{el}}{\eta_{Diff}} \right) \cdot t \cdot k(E)_S$$

$\Delta K$	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
$P_{el}$	[kW]	Elektrische Leistung
$t$	[h/a]	Jährlichen Betriebsstunden
$k(E)_{w,K}$	[€/kWh]	Spezifische Kosten für Wärme und Kälte

### 4.3.5 Berechnung 2: Antrieb

Soll eine Bewertung des Antriebs vorgenommen werden, so findet folgende Gleichung ihren Einsatz (siehe Formel 23):

Formel 23: Erforderliche Motorleistung

$$P_M = \frac{P_w}{\eta_{An}}$$

$P_M$	[kW]	Erforderliche Motorleistung
$P_w$	[kW]	Wellenleistung
$\eta_{An}$	[-]	Wirkungsgrad des Antriebs

Als Richtwerte für den Übertragungswirkungsgrad ( $\eta_{An}$ ) können folgende Werte herangezogen werden:

- Direktantrieb:  $\eta=1$
- Einzelner Keilriemen
  - für  $P_{el} < 5 \text{ kW}$   $\eta=0,83$
  - für  $P_{el} > 5 \text{ kW}$   $\eta=0,90$
- Mehrere Keilriemen
  - Jeder zusätzliche Keilriemen reduziert die Kraftübertragung um 1 %
- Flachriemen
  - für  $P_{el} < 5 \text{ kW}$   $\eta=0,90$
  - für  $P_{el} > 5 \text{ kW}$   $\eta=0,96$

Die Auswirkung auf die Kosten durch einen ineffizienten Antrieb können wie folgt ermittelt werden:

Formel 24: Jährliche Einsparung

$$\Delta K = (P_{M,alt} - P_{M,neu}) \cdot t \cdot k(E)_s$$

$\Delta K$	[€/a]	Jährliche Einsparung
P	[kW]	Motorleistung (alt und neu)
t	[h/a]	Jährlichen Betriebsstunden
$k(E)_s$	[€/kWh]	Spezifische Kosten für Strom

### 4.3.6 Berechnung 3: Motor

Für die Motorbewertung kann nachfolgende Gleichung herangezogen werden:

Formel 25: Wirkungsgrad des Motors

$$\eta_M = \frac{P_W}{P_{el}}$$

$\eta_M$	[-]	Wirkungsgrad des Motors
$P_W$	[kW]	Wellenleistung des Motors (Typenschild)
$P_{el}$	[kW]	Leistungsaufnahme des Motors

Dabei wird der Wirkungsgrad des Motors nachfolgender Tabelle 12 eingeteilt und somit seine Tauschpriorität ermittelt. Die Vergleichswirkungsgrade sind in Tabelle 13 aufgelistet:

Tabelle 12: Bewertungstabelle der errechneten Motorwirkungsgrade

Ergebnis	Wirkungsgrad ist	Tauschpriorität
Errechneter Wirkungsgrad ist kleiner als IE1	Ungenügend	Sehr hoch
Errechneter Wirkungsgrad liegt zwischen IE1 und IE2	Genügend	Hoch
Errechneter Wirkungsgrad liegt zwischen IE2 und IE3	Gut	Niedrig
Errechneter Wirkungsgrad ist größer als IE3	Sehr gut	Sehr niedrig

Tabelle 13: Wirkungsgrade für Elektromotoren

Motorleistung [kW]	IE1 (vor 2000) 2-polig	IE1 (vor 2000) 4-polig	IE1 (vor 2000) 6-polig	IE2 (ab 16.06. 2011) 2-polig	IE2 (ab 16.06. 2011) 4-polig	IE2 (ab 16.06. 2011) 6-polig	IE3 (ab 01.01. 2015) 2-polig	IE3 (ab 01.01. 2015) 4-polig	IE3 (ab 01.01. 2015) 6-polig
0,75	72,1	72,1	70,0	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9
1,10	75,0	75,0	72,9	79,6	81,4	78,1	82,7	84,1	81,0
1,50	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5
2,20	79,7	79,7	77,7	83,2	84,3	81,8	85,9	86,7	84,3
3,00	81,5	81,5	79,7	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6
4,00	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8
5,50	84,7	84,7	83,1	87,0	87,7	86,0	89,2	89,6	88,0
7,50	86,0	86,0	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1
11,00	87,6	87,6	86,4	89,4	89,8	88,7	91,2	91,4	90,3
15,00	88,7	88,7	87,7	90,3	90,6	89,7	91,9	92,1	91,2
18,50	89,3	89,3	88,6	90,9	91,2	90,4	92,4	92,6	91,7
22,00	89,9	89,9	89,2	91,3	91,6	90,9	92,7	93,0	92,2
30,00	90,7	90,7	90,2	92,0	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9
37,00	91,2	91,2	90,8	92,5	92,7	92,2	93,7	93,9	93,3
45,00	91,7	91,7	91,4	92,9	93,1	92,7	94,0	94,2	93,7
55,00	92,1	92,1	91,9	93,2	93,5	93,1	94,3	94,6	94,1
75,00	92,7	92,7	92,6	93,8	94,0	93,7	94,7	95,0	94,6
90,00	93,0	93,0	92,9	94,1	94,2	94,0	95,0	95,2	94,9
110,00	93,3	93,3	93,3	94,3	94,5	94,3	95,2	95,4	95,1
132,00	93,5	93,5	93,5	94,6	94,7	94,6	95,4	95,6	95,4
160,00	93,8	93,8	93,8	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6
200,00	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8
220,00	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8
250,00	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8
300,00	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8
330,00	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8
375,00	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8

Die ökonomische Betrachtung dieser Maßnahme erfolgt mit Hilfe der Formel 26 und der Formel 27.

Formel 26: Energieeinsparung pro Jahr

$$\Delta Q = \frac{P_M \cdot t}{(\eta_{IE2} - \eta_M)}$$

$\Delta Q$	[kWh/a]	Energieeinsparung pro Jahr
$P_M$	[kW]	Motorleistung
$t$	[h/a]	Betriebsstunden pro Jahr
$\eta_{IE2}$	[-]	Wirkungsgrad nach IE2
$\eta_M$	[-]	Errechneter Motorwirkungsgrad

Diese Gleichung wird eingesetzt, wenn der errechnete Wirkungsgrad geringer ist als IE2, andernfalls kann der Wirkungsgrad IE3 als Referenz herangezogen werden.

Die Kosteneinsparung wird wie folgt berechnet:

Formel 27: Kosteneinsparung pro Jahr

$$\Delta K = \Delta Q \cdot k(E)_s$$

$\Delta K$	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
$\Delta Q$	[kWh/a]	Energieeinsparung pro Jahr
$k(E)_s$	[€/kWh]	Spezifische Stromkosten

## 4.4 Maßnahme 4: Wärmerückgewinnung

### 4.4.1 Allgemein

Die Wärmerückgewinnung (WRG) trägt zur wesentlichen Verringerung der benötigten Wärme- und Kälteenergie für die Außenluftkonditionierung bei. In der Lüftungstechnik findet dieser Prozess Außenluft und Abluft statt. Dabei wird die, in der Abluft enthaltene Energie der Außenluft, mit und ohne äußere Energiezufuhr übertragen.

Die in der Abluft enthaltene Energie setzt sich dabei aus zwei Komponenten zusammen:

- Sensible Wärme (spürbare Wärme, Temperatur)
- Latente Wärme (Feuchtegehalt der Luft)

Findet ein reiner Temperatúraustausch statt, so spricht man von Wärmerückgewinnung (WRG). Kommt es auch zu einer Rückgewinnung der Feuchte spricht man von Rückgewinnung der Luftfeuchte (FRG).

#### 4.4.2 Rückwärmezahl und Rückfeuchtezahl

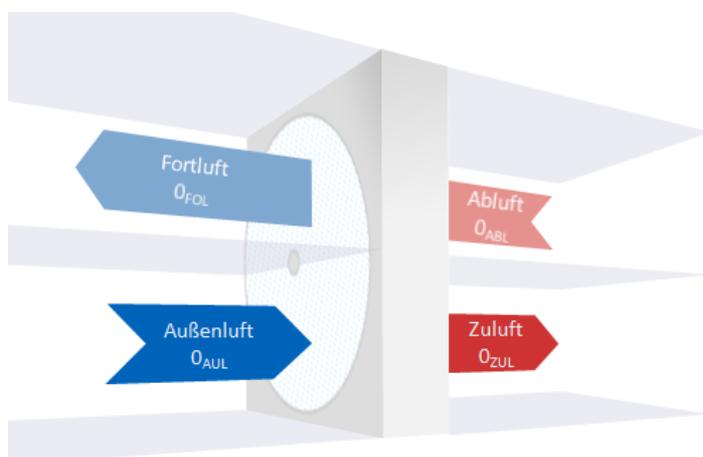
Die Rückwärmezahl ( $\Phi$ ) gibt an, wie hoch die Temperaturrückgewinnung ist, und kann mit einem Wärmerückgewinnungswirkungsgrad verglichen werden. Die Rückfeuchtezahl ( $\Psi$ ) hingegen definiert wie viel Feuchte der Zuluft wieder zugeführt werden kann.

Die Berechnung dieser Kennzahlen erfolgt über die nachfolgenden Gleichungen:

Formel 28: Rückwärmezahl

$$\Phi = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

Abbildung 10: Erklärung der Rückwärmezahl



Quelle: Österreichische Energieagentur

Die Rückwärmezahl ist nur gültig, wenn auf beiden Seiten (Zuluft und Abluft) die gleichen Massenströme gefördert werden. Andernfalls erfolgt die Bestimmung über den Energiegehalt der Luft.

### 4.4.3 Systemübersicht

Grundsätzlich können die Energierückgewinnungssysteme in drei Kategorien eingeteilt werden. Tabelle 14 zeigt die verschiedenen Kategorien und die zugehörigen Energierückgewinnungssysteme in Anlehnung an EN 308 und ÖNORM EN 13053. Die Wärmepumpe, die in dieser Übersicht in Kategorie II eingetragen ist, wird oft als Sonderfall beziehungsweise als Kategorie IV angesehen und kann aufgrund ihrer Eigenschaft keine klassische Rückwärmezahl aufweisen.

Tabelle 14: Systemübersicht – Wärmerückgewinnungssysteme

Kreislaufverbundsystem	Rückwärmezahl	Rückfeuchtezahl
Plattenwärmetauscher	0,4-0,8	0,0
Röhrenwärmetauscher	0,7-0,5	0,0

Wärmetauscher	Rückwärmezahl	Rückfeuchtezahl
Kompakt Wärmetauscher	0,3-0,5	0,0
Gegenstrom Schichtwärmetauscher	0,7-0,8	0,0

Wärmerohre	Rückwärmezahl	Rückfeuchtezahl
Schwerkraftwärmerohr	0,2-0,4	0,0
Kapilarwärmerohr	0,5-0,8	0,0

Wärmepumpe	Rückwärmezahl	Rückfeuchtezahl
Kompressor Wärmepumpe	Kein Wert	0,0
Absorptionswärmepumpe	Kein Wert	0,0

<b>Rotor</b>	<b>Rückwärmezahl</b>	<b>Rückfeuchtezahl</b>
Rotor ohne Sorption	0,7-0,8	0,1-0,2
Rotor mit Sorption	0,7-0,8	0,6-0,7

<b>Sonstige</b>	<b>Rückwärmezahl</b>	<b>Rückfeuchtezahl</b>
Kapillargebläse	0,2-0,4	0,2-0,4
Umschalt Speicher	0,6-0,9	0,5-0,7

#### 4.4.4 Berechnung zur Maßnahme 4

Folgende Daten werden für die Berechnung der Wärmerückgewinnung benötigt:

- Betriebszeiten der Anlage alt[h/a]
- Spezifische Kosten auf Energie bezogen
- Wärme [EUR/kWh]
- Kälte [EUR/kWh]

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.5 eine Excel-Vorlage, in die Sie die Daten für die notwendigen Daten Berechnung der Maßnahme eintragen können.

Um das Potential einer Wärmerückgewinnung abzuschätzen, benötigt man eine mittlere Außenlufttemperatur über die Heizperiode. Diese ist Standortabhängig und in Tabelle 15 ersichtlich.

Tabelle 15: mittlere Außenlufttemperatur über die Heizperiode

<b>Ort</b>	<b>HGT<sub>20/12</sub> [kd]</b>	<b>Heiztagzahl (HT<sub>12</sub>) [d]</b>	<b>Mittlere Außentemperatur (T<sub>am,H</sub>) [°C]</b>
Wien	3.235	195	3,4
Graz	3.345	201	3,4
Klagenfurt	3.675	210	2,5
Innsbruck	3.430	209	3,6
Bregenz	3.300	207	4,1

Salzburg	3.390	209	3,8
Linz	3.400	202	3,2
St. Pölten	3.390	205	3,5

Anhand des Abluftmassenstroms (siehe Kapitel „Berechnung der Massenströme“), der Raumlufttemperatur während der Heizperiode und der mittleren Außenlufttemperatur während der Heizperiode wird die Leistung der Abluft berechnet:

Formel 29: Abluftleistung

$$P_{ABL} = \frac{\dot{m}_{ABL} \cdot c_L \cdot \Delta\vartheta}{3600}$$

$P_{ABL}$	[kW]	Abluftleistung
$\dot{m}_{ABL}$	[kg/h]	Massenstrom der Abluft (siehe Kapitel „Berechnung der Massenströme“)
$c_L$	[kJ/kgK]	Spezifische Wärmekapazität der Luft
$\Delta\vartheta$	[K]	Temperaturdifferenz zwischen Raumluft ( $\vartheta_{RAL}$ ) und mittlerer Außenluft ( $\vartheta_{AUL}$ ) (siehe Kapitel „Notwendige Vorberechnungen“)

Mit Hilfe der Tabelle 15 wird anschließend das Wärmerückgewinnungssystem bestimmt und die zu erwartende Rückwärmezahl ermittelt.

Durch Multiplizieren der Rückwärmezahl mit der Leistung der Abluft erhält man die rückgewinnbare Leistung. Diese multipliziert mit den Betriebszeiten der Anlage ergibt die jährlichen Einsparungen an Wärmeenergie durch die Wärmerückgewinnung.

Formel 30: Leistung, die zurückgewonnen werden kann

$$P_{WRG} = \Phi \cdot P_{ABL}$$

$P_{WRG}$	[kW]	Leistung, die zurück gewonnen werden kann
$\Phi$	[-]	Rückwärmezahl
$P_{ABL}$	[kW]	Leistung der Abluft

Formel 31: Energie, die zurückgewonnen werden kann

$$Q_{WRG} = P_{WRG} \cdot t_H$$

Q <sub>WRG</sub>	[kWh/a]	Energie, die zurück gewonnen wird = Einsparung
t <sub>H</sub>	[h/a]	Betriebszeiten der Anlage im Heizfall

Bei der Kälterückgewinnung wird ähnlich vorgegangen. Einzig die mittlere Außenlufttemperatur für den Kühlfall muss ermittelt werden. Für die Bewertung der Effizienz des Wärmerückgewinnungssystems wird auf den gesamten Leitfaden verwiesen.

Die monetäre Bewertung erfolgt anhand der Formel 32:

Formel 32: Jährliche Kosteneinsparung

$$\Delta K = Q_{WRG} \cdot k_{W,K}$$

ΔK	[€/a]	Jährliche Kosteneinsparung
Q <sub>WRG</sub>	[kWh/a]	Energieeinsparung pro Jahr
k <sub>W,K</sub>	[€/kWh]	Spezifischen Energiekosten (Wärme, Kälte)

## 4.5 Maßnahme 5: Be- und Entfeuchtung

Folgende Daten werden für die Berechnung der Be- und Entfeuchtung benötigt:

- Erforderliche Zuluftfeuchte [g/m<sup>3</sup>]
- Massenstrom Luft [g/kg]
- Spezifische Kosten für Wasser [EUR/kWh]
- Spezifische Kosten für Kühlung [EUR/kWh]
- Spezifische Kosten für Heizung [EUR/kWh]

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.6 eine Excel-Vorlage, in die Sie die Daten für die notwendigen Daten die Berechnung der Maßnahme 5 eintragen können.

### 4.5.1 Ermittlung des IST-Standes

Die Ermittlung des IST-Stands ist deshalb notwendig, um eine Bezugsbasis für die berechneten Maßnahmen zu schaffen. Mit Hilfe der Anhang 5.6 und Tabelle 16 kann der durchschnittliche spezifische Wasserbedarf pro Monat berechnet werden. Dazu wird aus Tabelle 16 die Außenluftfeuchte für den gewünschten Ort in die Excel-Mustervorlage, die Sie unter Punkt 1.7 im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ eingetragen. Die Differenz zwischen Zuluftfeuchte und Außenluftfeuchte ergibt den spezifischen Wasserbedarf. Erhält man einen positiven Wert so muss befeuchtet werden, bei einem negativen Wert muss entfeuchtet werden. Der spezifische Wasserbedarf multipliziert mit dem Luftmassenstrom pro Monat ergibt den gesamt Wasserbedarf.

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.7 eine Excel-Vorlage, in die Sie die notwendigen Daten für die Ermittlung des Gesamtwasserbedarfs eintragen können.

Tabelle 16: Monatliche Außenluftfeuchte der Bundeshauptstädte in g/kg

Stadt	Bregenz [g/kg]	Eisenstadt [g/kg]	Graz [g/kg]	Innsbruck [g/kg]	Klagenfurt [g/kg]	Linz [g/kg]	Salzburg [g/kg]	St. Pölten [g/kg]	Wien [g/kg]
Jänner	3,03	2,73	2,64	2,58	2,28	2,78	2,68	2,71	3,20
Februar	3,26	3,13	2,98	2,92	2,75	3,14	2,97	3,03	3,34
März	3,86	3,82	3,78	3,58	3,54	3,83	3,67	3,75	4,34
April	4,91	5,03	4,96	4,50	4,60	5,00	4,67	4,89	5,47
Mai	6,64	6,88	6,83	5,98	6,26	6,63	6,13	6,69	7,56
Juni	8,24	8,45	8,59	7,57	7,93	8,42	7,73	8,36	9,08
Juli	9,62	9,23	9,58	8,75	9,02	9,18	8,73	9,23	10,58
August	9,72	9,44	9,69	8,93	9,20	9,30	8,95	9,33	10,93
September	8,23	7,97	8,12	7,52	7,81	7,96	7,64	7,84	8,85
Oktober	6,21	5,91	5,83	5,51	5,62	5,90	5,63	5,75	6,32
November	4,28	4,15	4,03	3,75	3,78	4,10	3,90	4,07	4,47
Dezember	3,30	3,16	2,91	2,77	2,61	3,17	2,92	3,10	3,66

Anmerkung: Die Summe aller positiven Werte ergibt die jährlich erforderliche Wassermenge, hingegen ist die Summe aller negativen Werte jene Wassermenge die ausgeschieden werden muss.

#### 4.5.2 Befeuchtung

Zusätzlich zur erforderlichen Wassermenge muss noch das notwendige Verlustwasser addiert werden. Handelt es sich um einen Sprüh- oder Verdunstungsbefeuchter dann sind circa 10 % des gesamten Wasserbedarfs Verlustwasser. Bei einem Dampfbefeuchter sind circa 5 % als Verlust auszuweisen.

Formel 33: Jährlicher Gesamtwasserbedarf

$$\dot{m}_{W,g} = \dot{m}_{W,T} \cdot (1 + y)$$

$\dot{m}_{W,g}$	[g/a]	Jährlicher Gesamtwasserbedarf
$\dot{m}_{W,T}$	[g/a]	Massenstrom des Wassers lt. Tabelle
y	[-]	Verlustwasseranteil (10 % = 0,1)

Um die Kosten für diesen Wasserbedarf zu ermitteln, wird der Gesamtwasserbedarf mit den spezifischen Wasserkosten multipliziert:

Formel 34: Jährliche Wasserkosten für Befeuchtung

$$K_{Bef} = \dot{m}_{W,g} \cdot k(V)_{WA}$$

$K_{Bef}$	[€/a]	Jährliche Wasserkosten für Befeuchtung
$\dot{m}_{W,g}$	[m <sup>3</sup> /a]	Jährlicher Gesamtwasserbedarf
$k(V)_{WA}$	[€/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O]	Spezif. Kosten für Wasser

Je nach Befeuchtungssystem erfährt der Gesamtwasserbedarf verschiedene Wasseraufbereitungsstufen. Diese können in Tabelle 17 nachgelesen werden:

Tabelle 17: Erforderliche Wasserbehandlungen für verschiedene Befeuchtungssysteme

Befeuchtungssystem	Vollentsalzung	Desinfektion
Heizstab-Dampfbefeuchter	Eempfohlen	Nein
Elektroden - Dampferzeuger	Nein	Nein
Sprühbefeuchter	Empfohlen	Empfohlen
Umlaufsprühbefeuchter	Empfohlen	Empfohlen
Hochdruck Befeuchter	Ja	Nein
Ultraschallbefeuchter	Ja	Ja
Hybridbefeuchter (Zerstäuben, Verdunsten)	Ja	Ja
Kontaktbefeuchter (Rieselbefeuchter)	Empfohlen	Ja
Winglet-Wirbel-Befeuchter	Ja	Ja

Die Kosten für die Vollentsalzung (Umkehrosmose) belaufen sich auf circa 4,5 EUR/m<sup>3</sup><sub>H<sub>2</sub>O</sub>, und für die Desinfektion (UV-Lampe) wird circa 20 Wh/m<sup>3</sup><sub>H<sub>2</sub>O</sub> elektrische Energie benötigt. Aufgrund dieser Angaben können die Kosten wie folgt ermittelt werden:

**Umkehrosmose:**

Formel 35: Jährliche Kosten für Umkehrosmose

$$K_{UO} = \dot{m}_{w,g} \cdot k(V)_{UO}$$

$K_{UO}$	[€/a]	Jährliche Kosten für Umkehrosmose
$\dot{m}_{w,g}$	[m <sup>3</sup> <sub>H<sub>2</sub>O</sub> /a]	Jährlicher Gesamtwasserbedarf
$k(V)_{UO}$	[€/m <sup>3</sup> <sub>H<sub>2</sub>O</sub> ]	Spezif. Kosten für Umkehrosmose

Desinfektion:

Formel 36: Jährliche Kosten für Desinfektion

$$K_D = \dot{m}_{w,g} \cdot q_s \cdot k(E)_s$$

$K_D$	[€/a]	Jährliche Kosten für Desinfektion
$\dot{m}_{w,g}$	[m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/a]	Jährlicher Gesamtwasserbedarf
$q_s$	[Wh/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O]	Spezif. elektrischer Energiebedarf
$k(E)_s$	[€/Wh]	Spezif. Kosten für Strom

Ein weiterer Kostenpunkt stellt der zusätzliche Energiebedarf für die Nacherwärmung beziehungsweise für die Dampfproduktion da. Die Kosten hierfür können mit der Formel 37 ermittelt werden:

Formel 37: Jährliche Kosten für Befeuchtungsenergie

$$K_E = \dot{m}_{w,g} \cdot \frac{r_0}{3.600} \cdot k(E)_E$$

$K_E$	[€/a]	Jährliche Kosten für Befeuchtungsenergie
$\dot{m}_{w,g}$	[m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/a]	Jährlicher Gesamtwasserbedarf
$r_0$	[kJ/kg]	Verdampfungsenthalpie (bei 0°C → ca. 2.500 kJ/kg)
$k(E)_E$	[€/kWh]	Spezif. Kosten für Energieform (Strom, Gas, Öl,...)

Die Summe aller Kosten ergeben die Gesamtkosten. Werden diese durch den Gesamtwasserbedarf dividiert, so erhält man die Kostenbasis für die Reduktion der Befeuchtungskosten:

Formel 38: Jährliche Gesamtkosten

$$K_g = K_{Bef} + K_{UO} + K_D + K_E$$

$K_g$	[€/a]	Jährliche Gesamtkosten
-------	-------	------------------------

Formel 39: Spezifische Kosten für Befeuchtung

$$k(V)_{g,Bef} = \frac{K_g}{\dot{m}_{W,g}}$$

$k(V)_{g,Bef}$       [€/m<sup>3</sup>H<sub>2</sub>O]      Spezif. Kosten für Befeuchtung

### 4.5.3 Entfeuchtung

Der Entfeuchtungsprozess kann über drei verschiedene Arten erfolgen. In diesem Leitfaden wird jedoch nur der gängigste Entfeuchtungsprozess über Kondensation beschrieben. Dazu wird die Luft soweit abgekühlt, dass es zu einer Kondensation des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes kommt. Die Abkühlung erfolgt auf so geringe Temperaturen das die gewünschte Zuluftfeuchte erreicht wird. Durch anschließendes Wiederaufheizen wird die gewünschte Zulufttemperatur erreicht. Die dafür erforderlichen Kühl- und Heizleistungen können über die Enthalpien der Luft berechnet werden.

In der Tabelle 18 sind die Enthalpien (ermittelt mit der durchschnittlichen Feuchte und der höchsten Temperatur pro Monat) für die Bundeshauptstädte ersichtlich. Die notwendige theoretische Zuluftenthalpie wird mit 43 kJ/kg angegeben (22 °C und 8,2 g/kg). Jene Enthalpien die größer sind als 43 kJ/kg müssen reduziert werden (hervorgehobene Felder). Diese Reduktion erfolgt auf eine Abkühlenthalpie von circa 32 kJ/kg. Das bedeutet der Heizbedarf beträgt immer die Differenz zwischen theoretischer Zuluftenthalpie und Abkühlenthalpie.

Tabelle 18: monatliche Außenluftenthalpien für die Bundeshauptstädte in kJ/kg

Stadt	Bre- genz [kJ/kg]	Eisen- stadt [kJ/kg]	Graz [kJ/kg]	Inns- bruck [kJ/kg]	Klagen- furt [kJ/kg]	Linz [kJ/kg]	Salz- burg [kJ/kg]	St. Pölten [kJ/kg]	Wien [kJ/kg]
Jänner	18,7	18,1	15,9	17,4	13,2	15,6	17,3	15,3	20,9
Februar	20,9	20,6	19,2	20,2	17,2	18,5	20,9	18,9	21,3
März	27,6	29,9	27,9	28,5	26,8	28,2	29,1	29,4	31,0
April	34,7	36,6	35,4	34,8	34,2	36,1	35,3	36,9	38,0
Mai	43,3	44,9	44,2	43,3	42,3	44,3	42,6	45,1	45,9
Juni	50,5	52,1	51,7	50,8	50,4	51,8	50,2	52,6	53,6
Juli	55,2	55,8	55,2	54,8	54,3	54,8	54,0	56,3	60,7
August	54,5	56,4	54,6	54,7	54,3	55,0	54,5	57,1	61,0
September	47,2	49,0	47,2	47,7	46,7	47,3	47,8	48,7	50,9
Oktober	37,7	38,1	36,2	37,7	36,2	36,9	38,1	38,0	39,6
November	27,8	27,5	25,8	26,8	23,9	25,5	28,1	26,2	26,4
Dezember	20,5	20,0	17,3	17,8	12,8	17,5	18,9	17,7	22,1

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.8 eine Excel-Vorlage, in die Sie die notwendigen Daten für die Ermittlung der Kühl- und Heizenergie eintragen können.

Die Summe der monatlichen Kühlenergien und die Summe der monatlichen Heizenergien dividiert durch 3.600 ergibt die jährlich notwendige Energie in kWh/Jahr.

Diese multipliziert mit den Energiekosten für Kühlung und Heizung ergibt den jährlichen Kostenaufwand für die Entfeuchtung:

Formel 40: Jährliche Kosten für Kühlenergie

$$K_K = Q_K \cdot k(E)_K$$

$K_K$	[€/a]	Jährliche Kosten für Kühlenergie
$Q_K$	[kWh/a]	Jährlicher Energiebedarf für Kühlung
$k(E)_K$	[€/kWh]	Spezif. Kosten für Kühlung

Formel 41: Jährliche Kosten für Wiederaufheizung

$$K_W = Q_W \cdot k(E)_W$$

$K_W$	[€/a]	Jährliche Kosten für Wiederaufheizung
$Q_W$	[kWh/a]	Jährlicher Energiebedarf für Wiederaufheizwärme
$k(E)_W$	[€/kWh]	Spezif. Kosten für Wärme

Formel 42: Jährliche Gesamtkosten für Entfeuchtung

$$K_g = K_K + K_W$$

$K_g$	[€/a]	Jährliche Gesamtkosten für Entfeuchtung
-------	-------	---

Formel 43: Spezifische Kosten Entfeuchtung

$$k(V)_{g,Ent} = \frac{K_g}{\dot{m}_{aus}}$$

$k(V)_{g,Ent}$	[€/kg]	Spezif. Kosten Entfeuchtung
$\dot{m}_{aus}$	[kg/a]	Jährlicher zu entfernende Wassermenge

#### 4.5.4 Feuchteregelung

Die Feuchteregelung berücksichtigt die im Raum entstehenden Feuchtelasten. Durch einen Sensor wird die Abluftfeuchte gemessen und die Zuluftfeuchte um den Wert der „Inneren Lasten“ reduziert.

Formel 44: Wassermenge der Befeuchtung

$$x_{ZU} = x_{ZUL} - (x_{ABL} - x_{ZUL} + x_{AUL})$$

$x_{ZU}$	[g/kg]	Wassermenge der Befeuchtung
$x_{ZUL}$	[g/kg]	Zuluftfeuchte
$x_{ABL, AUL}$	[g/kg]	Abluft-, Außenluftfeuchte

Diese Berechnung wird für jeden Monat durchgeführt (siehe Kapitel „Feuchterückgewinnung“). Die Summe aller positiven Werte multipliziert mit dem Luftmassenstrom ergibt die neue zuzuführende Menge an Wasser. Die Differenz zwischen Wasserbedarf alt und neu multipliziert mit den spezifischen Kosten der Befeuchtung ergibt die Kosteneinsparung:

Formel 45: Jährliche Kosteneinsparung für Befeuchtung

$$\Delta K_{Bef} = \frac{(x_{ZU,alt} - x_{ZU,neu})}{1.000.000} \cdot \dot{m}_{ZUL} \cdot k(V)_{g,Bef}$$

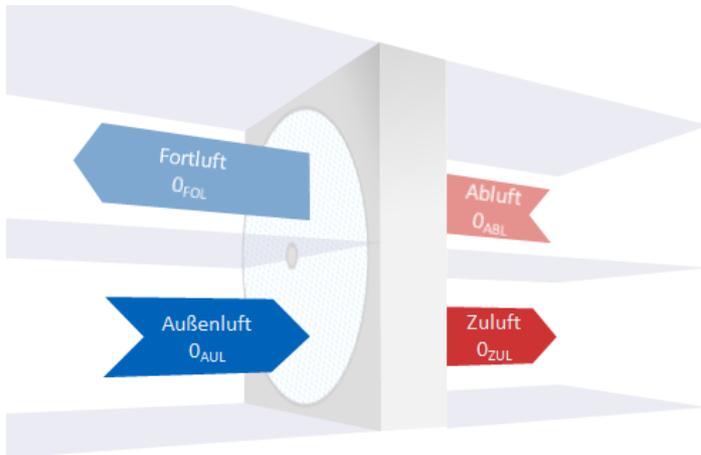
#### 4.5.5 Feuchterückgewinnung

Mithilfe der Rückfeuchtezahl kann die Zuluftfeuchte nach der Feuchterückgewinnung ermittelt werden.

Formel 46: Rückfeuchtezahl

$$\Psi = \frac{x_{ZUL} - x_{AUL}}{x_{ABL} - x_{AUL}}$$

Abbildung 11: Ermittlung der Rückfeuchtezahl



Quelle: Österreichische Energieagentur

Formel 47: Berechnung der Zuluftfeuchte

$$x_{ZUL} = \Psi \cdot (x_{ABL} - x_{AUL}) + x_{AUL}$$

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.9 eine Excel-Vorlage, in die Sie die notwendigen Daten für die Ermittlung des neuen Wasserbedarfs eintragen können.

Die Summe des monatlichen „neuen Gesamtwasserbedarfs“ ist der neue jährliche Gesamtwasserbedarf. Die Differenz zwischen altem und neuem Gesamtwasserbedarf multipliziert mit den spezifischen Kosten der Befeuchtung ergibt die Kosteneinsparung durch diese Maßnahme:

Formel 48: Jährliche Kosteneinsparung Befeuchtung

$$\Delta K_{Bef} = (\dot{m}_{W,g,alt} - \dot{m}_{W,g,neu}) \cdot k(V)_{g,Bef}$$

Bei einer zu hohen Außenluftfeuchte kommt es auch zu einer Entfeuchtung. Die Berechnung der Kosteneinsparung erfolgt analog zu jener der Befeuchtung. Es müssen lediglich die spezifischen Kosten der Entfeuchtung eingesetzt werden.

## 4.6 Maßnahme 6: Wartung und Instandhaltung

Für diese Berechnung sind folgende Daten erforderlich:

- Spezifischer Nennvolumenstrom alt [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
- Spezifische Kosten auf Energie bezogen
- Strom [EUR/kWh]
- Thermischer Energiebedarf pro Jahr
- Heizung [kWh/a]
- Kühlung [kWh/a]

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits an Lüftungsanlagen“ finden Sie unter Punkt 1.10 eine Excel-Vorlage, in die Sie die notwendigen Daten für die Berechnung der Maßnahme 6 eintragen können.

Bei der Wartung und Instandhaltung ist vor allem auf die Dichtheit und Reinheit des Systems zu achten. Undichte Leitungen verursachen einen Volumenstromverlust, während Schmutz zu einem höheren Druckverlust beiträgt. Anlagen, die keine Dichtheitsklasse aufweisen, können mit einem Verlustvolumenstrom von 15 % (zweimal Klasse A) kalkuliert werden. Die zulässigen Dichtheitsklassen von Rohrleitungen und Absperrorganen können der Tabelle 19, Tabelle 20 und der Tabelle 21 entnommen werden.

Der Druckverlust, der z. B. über Filter erzeugt wird, trägt ebenfalls zum Energiebedarf bei. Durch eine Differenzdrucküberwachung kann jederzeit ermittelt werden, ob ein Filter getauscht werden soll oder nicht.

Tabelle 19: Einteilung der Luftdichtheitsklassen von Rohrleitungen - Grenzwert des statischen Druckes [Pa] - Eckige Luftleitungen

Dichtheits- klasse	Grenzwert der Lecklufrate [ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$ ]	Negativ für alle Druckklassen	Positiv bei Druckklasse 1	Positiv bei Druckklasse 2	Positiv bei Druckklasse 3
A	$0,027 * p_t^{0,65} * 10^{-3}$	200	400	Kein Wert	Kein Wert
B	$0,009 * p_t^{0,65} * 10^{-3}$	500	400	1.000	2.000
C	$0,003 * p_t^{0,65} * 10^{-3}$	750	400	1.000	2.000
D	$0,001 * p_t^{0,65} * 10^{-3}$	750	400	1.000	2.000

Tabelle 20: Einteilung der Luftdichtheitsklassen von Rohrleitungen - Grenzwert des statischen Druckes [Pa] - Runde Luftleitungen

Dichtheits- klasse	Grenzwert der Lecklufrate [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s]	Negativ	Positiv	Dichtheits- klasse	Grenzwert der Lecklufrate [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s]
A	0,027 * pt0,65 * 10-3	500	500	A	0,027 * pt0,65 * 10-3
B	0,009 * pt0,65 * 10-3	750	1.000	B	0,009 * pt0,65 * 10-3
C	0,003 * pt0,65 * 10-3	750	2.000	C	0,003 * pt0,65 * 10-3
D	0,001 * pt0,65 * 10-3	750	2.000	D	0,001 * pt0,65 * 10-3

Tabelle 21: Dichtheitsklassen für Absperrorgane

Dichtheitsklasse	Max. Leckage bei Prüfdruck 500 Pa [dm <sup>3</sup> /(sm <sup>2</sup> )]
4	4
3	20
2	100
1	500

Tabelle 22 zeigt die üblichen Anfangs- und Enddruckdifferenzen der verschiedenen Filterklassen.

Tabelle 22: Zulässiger Druckverlust für Filterklassen

Filterart	Filterklasse	$\Delta p$ Anfang	$\Delta p$ Ende	$\Delta p$ Ende
Grobstaubfilter	G1 – G4	20 Pa	250 Pa	300 Pa
Feinstaubfilter	F5 – F9	20 Pa	450 Pa	150 Pa
Schwebstofffilter	H10 – U17	100 Pa	800 Pa	1500 Pa

Tabelle 23 zeigt eine Auflistung über die üblichen Druckverluste in anderen Bauteilen. Bei der Wartung beziehungsweise beim Ersatz soll darauf geachtet werden Teile zu verwenden, die einen möglichst niedrigen Druckabfall hervorrufen.

Die Auswirkung auf die Kosten für die Transportenergie eines erhöhten Volumenstrom beziehungsweise eines erhöhten Druckabfalls können mit der Formel 49 berechnet werden.

Formel 49: Kosteneinsparung pro Jahr

$$\Delta K = \frac{(\dot{V}_{alt} - \dot{V}_{neu}) \cdot (\Delta p_{alt} - \Delta p_{neu})}{\eta_{ges}} \cdot t \cdot k(E)_s$$

$\Delta K$	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
$\Delta \dot{V}$	[m³/s]	Gesamt volumenstrom der Anlage (alt und neu)
$\Delta p$	[Pa]	Gesamt druckverlust (alt und neu)
$\eta_{ges}$	[-]	Gesamtwirkungsgrad (Ventilator, Antrieb, Motor)
t	[h/a]	Anlagenlaufzeit pro Jahr
$k(E)_s$	[€/Wh]	Spezifische Stromkosten

Erhöhte Konditionierungskosten entstehen lediglich durch einen erhöhten Volumenstrom, hervorgerufen durch undichte Leitungen. Die Aufwendungen für die Kosten verhalten sich dabei proportional der Volumenstromänderung:

Formel 50: Proportionalität Kosten zu Volumenstromänderung

$$\left( \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right) = \left( \frac{Q_{th,2}}{Q_{th,1}} \right)$$

$\dot{V}$	[m³/a]	Volumenstrom (1=alt; 2=neu)
$Q_{th}$	[kWh/a]	Thermischer Energiebedarf (1=alt; 2=neu)

Tabelle 23: Druckverlust für verschiedene Bauteile in Lüftungsanlagen

<b>Bauteil</b>	<b>Druckverlust [Pa] Niedrig</b>	<b>Druckverlust [Pa] Normal</b>	<b>Druckverlust [Pa] Hoch</b>
Zuluftkanalsystem	200	300	600
Abluftkanalsystem	100	200	300
Erhitzer	40	80	100
Kühler	100	140	200
WRG Einheit Klasse H3	100	150	250
WRG Einheit Klasse H2-H1	200	300	400
Befeuchter	50	100	150
Wäscher	100	200	300
Luftfilter F5-F7 (Enddruck)	100	150	250
Luftfilter F8-F9 (Enddruck)	150	250	400
HEPA Filter	400	500	700
Aktivkohlefilter	100	150	250
Schalldämpfer	30	50	80
Luftdurchlass	30	50	100
Lutein- beziehungsweise Austritt	20	50	70

# 5 Angebote und Tools

Um Betriebe bei der Optimierung häufig genutzter Technologien zu unterstützen, wurden im Programm klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe weitere **Leitfäden** zu folgenden Querschnittstechnologien erstellt:

- Optimierung der Abwärmenutzung
- Optimierung von Druckluftsystemen
- Optimierung von Kältesystemen
- Optimierung von Dampfsystemen
- Optimierung von Pumpensystemen
- Optimierung von Beleuchtungssystemen
- Messleitfaden I zur Bewertung von Energieeinsparungen
- Messleitfaden II zur Messtechnik
- Optimierung der Wärmeverteilung und Hydraulik
- Technische Isolierung

**Energiemanagement und Benchmarking:** Ein EMS beinhaltet die Umsetzung technischer, strategischer und organisatorischer Maßnahmen zur fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung. Wie ein Energiemanagementsystem nach der ISO 50001 Schritt für Schritt im Unternehmen verankert wird und wie die Anforderungen der Norm ISO 50001:2018 erfüllt werden, ist auf der klimaaktiv Website [energiemanagement.at](https://www.klimakaktiv.at/energiemanagement) beschrieben. Machen Sie den Erstbewertungscheck, um das Ausgangsniveau zur Einführung des EMS festzustellen.

Good Practice Beispiele von Betrieben zum Nachweis der energiebezogenen Leistung sowie Energie-, Material- und Ressourceneffizienz und Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001 finden Sie zusammengefasst in drei **Guidelines** auf [klimakaktiv.at/energiesparen/energiemanagement](https://www.klimakaktiv.at/energiesparen/energiemanagement).

- Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001
- Energieeffizienz und Synergien zur Materialeffizienz und zum Arbeitnehmerschutz
- Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung

Weiters bietet klimaaktiv Schulungen und Webinare, in denen Grundlagen und Lösungen zur Optimierung betrieblicher Systeme vermittelt werden. Aktuelle Termine finden Sie auf [klimaaktiv.at/betriebe-schulungen](https://klimaaktiv.at/betriebe-schulungen) oder im Energieeffiziente Betriebe Newsletter. Sie können sich unter [klimaaktiv.at/service/newsletter-an-abmeldung](https://klimaaktiv.at/service/newsletter-an-abmeldung) anmelden.

**ProTool:** Das klimaaktiv ProTool ist ein Tool, das für eine umfassende Erstanalyse der Energieeffizienz im Betrieb eingesetzt werden kann und ermöglicht rasch Einsparpotenziale zu identifizieren.

**Pinch Tool:** Die Pinch-Analyse ermöglicht eine rasche und unkomplizierte Bestimmung der optimalen Abwärmenutzung. Dieses Werkzeug erleichtert es, ein Wärmetauschernetzwerk basierend auf realen Betriebsdaten von Prozessströmen und Abwärmeströmen aus der Energieversorgung zu kreieren und zu bewerten.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Lüftungsanlagen .....	15
Tabelle 2: Arten der Wärmeübertrager .....	16
Tabelle 3: Außenluftvolumenstrom pro Person nach DIN EN 13779, 2007-09 .....	19
Tabelle 4: Erklärung zu Typenschild (Abbildung 6) [27] .....	22
Tabelle 5: Jahresstundentafel für verschiedene Arbeitszeiten .....	26
Tabelle 6: Energieverbrauch über ein typisches Lastprofil .....	30
Tabelle 7: Datenstruktur - Energieverbrauch über ein typisches Lastprofil .....	34
Tabelle 8: Einteilung der spezifischen Ventilatorleistung .....	42
Tabelle 9: Bauteile, die zur Erhöhung des SFP beitragen.....	43
Tabelle 10: Berechnung der Wirkungsgrade von Ventilatoren.....	44
Tabelle 11: Konstante für die Wirkungsgradbewertung von Ventilatoren.....	44
Tabelle 12: Bewertungstabelle der errechneten Motorwirkungsgrade .....	48
Tabelle 13: Wirkungsgrade für Elektromotoren .....	49
Tabelle 14: Systemübersicht – Wärmerückgewinnungssysteme.....	52
Tabelle 15: mittlere Außenlufttemperatur über die Heizperiode .....	53
Tabelle 16: Monatliche Außenluftfeuchte der Bundeshauptstädte in g/kg .....	56
Tabelle 17: Erforderliche Wasserbehandlungen für verschiedene Befeuchtungssysteme .	58
Tabelle 18: monatliche Außenluftenthalpien für die Bundeshauptstädte in kJ/kg.....	61
Tabelle 19: Einteilung der Luftdichtheitsklassen von Rohrleitungen - Grenzwert des statischen Druckes [Pa] - Eckige Luftleitungen .....	65
Tabelle 20: Einteilung der Luftdichtheitsklassen von Rohrleitungen - Grenzwert des statischen Druckes [Pa] - Runde Luftleitungen .....	66
Tabelle 21: Dichtheitsklassen für Absperrorgane .....	66
Tabelle 22: Zulässiger Druckverlust für Filterklassen .....	66
Tabelle 23: Druckverlust für verschiedene Bauteile in Lüftungsanlagen.....	68

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung des Energieverbrauchs für Motorensysteme in Österreich im Industrie- und Dienstleistungssektor .....	6
Abbildung 2: Abschätzung des Einsparpotentials bei Motorensystemen in Österreich .....	7
Abbildung 3: Ablauf eines Energieaudits .....	8
Abbildung 4: Einteilung der Lufttechnik.....	14
Abbildung 5: Schema einer Vollklimaanlage [9].....	15
Abbildung 6: Typenschild einer Asynchronmaschine .....	22
Abbildung 7: Standard Lastprofil eines Ventilators im Industriebetrieb .....	27
Abbildung 8: Zusammenfassung/Kernaussage der Verordnung EU 1253/2014 .....	37
Abbildung 9: Strengere Mindestanforderungen an Lüftungsanlagen ab 01.01.2018 .....	40
Abbildung 10: Erklärung der Rückwärmezahl .....	51
Abbildung 11: Ermittlung der Rückfeuchtezahl .....	64

## Formelverzeichnis:

Formel 1: Hygienischer Mindestvolumenstrom.....	18
Formel 2: Zuluftvolumenstrom Abführung weiterer Emissionen .....	19
Formel 3: Zuluftvolumenstrom Abdecken thermische Last.....	20
Formel 4: Luftdichte .....	20
Formel 5: Massenstrom .....	21
Formel 6: Leistungsaufnahme Motor.....	21
Formel 7: Jährlicher Volumenstrom.....	24
Formel 8: Spezifische Kosten für Strom, Wärme, Kühlung, Wartung.....	25
Formel 9: Kosteneinsparung pro Jahr .....	25
Formel 10: Leistung des Motors.....	29
Formel 11: Jährlich transportierter Zuluftvolumenstrom .....	31
Formel 12: Jährlich transportierter Abluftvolumenstrom .....	32
Formel 13: Jährlicher Strombedarf .....	32
Formel 14: Spezifischer thermischer Energiebedarf .....	33
Formel 15: Ermittlung der neuen Leistung .....	34
Formel 16: Jährlicher thermischer neuer Energiebedarf .....	34
Formel 17: Spezifische Ventilatorleistung.....	41
Formel 18: Nutzleistung aus dem Versorgungsnetz .....	42
Formel 19: Starrer Volumenstrom .....	43
Formel 20: Variabler Volumenstrom.....	43
Formel 21: Wirkungsgraddifferenz .....	46
Formel 22: Kosteneinsparung pro Jahr .....	46
Formel 23: Erforderliche Motorleistung .....	46
Formel 24: Jährliche Einsparung .....	47
Formel 25: Wirkungsgrad des Motors.....	48
Formel 26: Energieeinsparung pro Jahr .....	50
Formel 27: Kosteneinsparung pro Jahr .....	50
Formel 28: Rückwärmezahl.....	51
Formel 29: Abluftleistung.....	54
Formel 30: Leistung, die zurückgewonnen werden kann .....	54
Formel 31: Energie, die zurückgewonnen werden kann.....	55
Formel 32: Jährliche Kosteneinsparung .....	55
Formel 33: Jährlicher Gesamtwasserbedarf .....	57
Formel 34: Jährliche Wasserkosten für Befeuchtung .....	57
Formel 35: Jährliche Kosten für Umkehrosmose .....	58

Formel 36: Jährliche Kosten für Desinfektion .....	59
Formel 37: Jährliche Kosten für Befeuchtungsenergie .....	59
Formel 38: Jährliche Gesamtkosten .....	59
Formel 39: Spezifische Kosten für Befeuchtung .....	60
Formel 40: Jährliche Kosten für Kühlenergie .....	62
Formel 41: Jährliche Kosten für Wiederaufheizung .....	62
Formel 42: Jährliche Gesamtkosten für Entfeuchtung .....	62
Formel 43: Spezifische Kosten Entfeuchtung .....	62
Formel 44: Wassermenge der Befeuchtung .....	63
Formel 45: Jährliche Kosteneinsparung für Befeuchtung .....	63
Formel 46: Rückfeuchtezahl .....	63
Formel 47: Berechnung der Zuluftfeuchte .....	64
Formel 48: Jährliche Kosteneinsparung Befeuchtung .....	64
Formel 49: Kosteneinsparung pro Jahr .....	67
Formel 50: Proportionalität Kosten zu Volumenstromänderung .....	67

## Über **klimaaktiv**

**klimaaktiv** ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

**klimaaktiv** zeigt, dass jede Tat zählt: jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter [klimaaktiv.at](http://klimaaktiv.at)

Das **klimaaktiv** Programm Energieeffiziente Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf Ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good Practice Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter [klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz)

## **Kontakt**

Strategische Gesamtsteuerung **klimaaktiv**

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Abt. VII/3 – Nachhaltige Finanzen und Standortpolitik

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement **klimaaktiv** Energieeffiziente Betriebe

Österreichische Energieagentur

Petra Lackner

[eebetriebe@energyagency.at](mailto:eebetriebe@energyagency.at)

[klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz)



**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und  
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)