

Bachelorarbeit

Untersuchung der Auswirkungen der Ökodesign-Richtlinie und der EnEV auf den Energiebedarf von RLT-Anlagen in Nichtwohngebäuden

im Studiengang Umwelttechnik
an der Fakultät Life Sciences
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

von
Benjamin Barge
Matr.-Nr. XXXXXXXXXX

Hamburg, 31. August 2017

1. Gutachter: Prof. Dr. Heiner Kühle (HAW Hamburg)
2. Gutachter: Dipl.-Wirt.-Ing. Georg-Michael Geh (IB-Thiele und Geh)

Der härteste und wichtigste Kampf des 21. Jahrhunderts wird ohne Waffen geführt. Die Werkzeuge dieses Kampfes heißen: Energieeffizienz, Energie sparen und erneuerbare Energien.

-Franz Alt-

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
Zusammenfassung.....	1
Abstract.....	2
1 Einleitung.....	3
2 Relevante Verordnungen für RLT-Anlagen.....	5
2.1 Ökodesign-Richtlinie.....	5
2.1.1 Grundlagen.....	5
2.1.2 Ziele.....	5
2.1.3 Geltungsbereich und Umsetzung in nationales Recht.....	6
2.1.4 Betroffene Produktgruppen.....	6
2.2 EnEV.....	7
2.2.1 Grundlagen.....	7
2.2.2 Ziele.....	8
3 Anforderungen an RLT-Anlagen.....	9
3.1 Anforderung an die spezifische Ventilatorleistung.....	9
3.1.1 Geltungsbereich.....	9
3.1.2 Technische Anforderungen.....	10
3.1.3 Berechnung.....	11
3.2 Anforderung an den Motor.....	12
3.2.1 Geltungsbereich.....	13
3.2.2 Technische Anforderung.....	14
3.2.3 Berechnung.....	17
3.3 Anforderung an die Ventilatorleistung.....	17
3.3.1 Geltungsbereich.....	17
3.3.2 Technische Anforderung.....	18
3.3.3 Berechnung.....	20
3.4 Anforderung an die Lüftungsanlage.....	20
3.4.1 Geltungsbereich.....	21
3.4.2 Technische Anforderung.....	21
3.4.3 Berechnung.....	23
3.5 Zusammenfassung der Anforderungen.....	24
4 Referenzanlage.....	26
4.1 Bedingungen an die Referenzanlage.....	26
4.2 Anlagenbeschreibung.....	26

4.2.1	Gegebene Anlagendaten	26
4.2.2	Annahmen für Gebäude und Anlage	29
4.3	Überprüfung des Geltungsbereiches	30
4.4	Berechnung der Referenzwerte.....	31
4.4.1	Spezifische Ventilatorleistung.....	31
4.4.2	Wirkungsgrad der Motoren.....	32
4.4.3	Energieeffizienz der Ventilatoren.....	32
4.4.4	Interne spezifische Ventilatorleistung	33
4.4.5	Energiebedarf der Referenzanlage.....	33
4.5	Vergleich der Anlage	33
5	Berechnung der Anforderungswerte.....	35
5.1	Berechnung der Mindestanforderungen	35
5.1.1	Spezifische Ventilatorleistung.....	35
5.1.2	Motorwirkungsgrad.....	35
5.1.3	Energieeffizienz der Ventilatoren.....	36
5.1.4	Interne spezifische Ventilatorleistung	36
5.1.5	Überblick der Mindestanforderungen.....	37
5.2	Anwendung der Anforderungen.....	37
5.2.1	Spezifische Ventilatorleistung.....	37
5.2.2	Motorwirkungsgrad.....	39
5.2.3	Energieeffizienz der Ventilatoren.....	39
5.2.4	Lüftungsgerät	40
6	Ergebnisse	42
6.1	Leistungsbedarf der Zu- und Abluftventilatoren	42
6.2	Energiebedarf.....	43
6.3	Vergleich des Energiebedarfes.....	44
7	Bewertung und Ausblick	46
8	Fazit.....	48
9	Literaturverzeichnis	49
Anhang	a
Anhang A1:	Ausschreibungstext Zuluftventilator.....	b
Anhang A2:	Ausschreibungstext Abluftventilator	f
Anhang A3:	Auszug aus VO327/2011	j
Anhang A4:	Datenblatt Referenzanlage 2005.....	l

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dreiphasen-Käfigläufer-Motor	14
Abbildung 2: Effizienzklassen IE1-IE4 und Geltungsbereich VO 640/2009].	16
Abbildung 3:Aufteilung der Ein- und Ausgangsleistung und Verluste eines Käfig-Motors	17
Abbildung 4: Mindesteffizienzen ab 2013 für verschiedene Ventilatoren von 250 bis 4 000 W Leistungsaufnahme.....	19
Abbildung 5: Mindesteffizienzen ab 2015 für verschiedene Ventilatoren von 250 bis 4 000 W Leistungsaufnahme.....	19
Abbildung 6: RLT-Gerät mit WRG und Bezeichnung der internen Druckverluste	24
Abbildung 7: Zeitstrahl der relevanten Anforderungen	24
Abbildung 8: Bauteile einer Ventilatereinheit mit Einfluss auf den Systemwirkungsgrad.....	25
Abbildung 9: Vorderansicht Referenz-RLT-Gerät	27
Abbildung 10: Darstellung eines direkt angetriebenen Radialventilators ohne Gehäuse.....	29
Abbildung 11: Auswirkung der EnEV-Anforderung auf die statische Druckerhöhung	38
Abbildung 12: Auswirkung der EnEV-Anforderung auf die spezifische Ventilatorleistung	39
Abbildung 13:Auswirkung der ErP-Anforderung auf die Ventilatoreffizienz	40
Abbildung 14:Auswirkungen der Anforderungen auf den Leistungsbedarf der Zu- und Abluftventilatoren.....	42
Abbildung 15: Anforderungsbedingte Änderungen des Jahresenergiebedarfs.....	43
Abbildung 16 : Energieflussdiagramm der Referenzanlage 2005	45
Abbildung 17: Energieflussdiagramm der Referenzanlage 2018 nach Anwendung der Anforderungen	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung.	10
Tabelle 2: Spezifische Leistungsaufnahme gemäß EnEV 2004 bis 2014 für RLT-Anlagen ohne Nachheiz- und Kühlfunktion.....	11
Tabelle 3: Spezifische Leistungsaufnahme gemäß EnEV 2004 bis 2014 für RLT-Anlagen mit Luftkonditionierung.....	11
Tabelle 4: IE2 Mindesteffizienzen für Elektromotoren ab 2011.	15
Tabelle 5: IE3 Mindesteffizienzen für Elektromotoren ab 2015.	16
Tabelle 6: Relevante Informationen aus dem Datenblatt des RLT-Geräts.	28
Tabelle 7: Relevante technische Daten aus dem Ausschreibungstext der Ventilatoren.	29
Tabelle 8: Annahmen mit Einfluss auf den Energiebedarf, die nicht dem Datenblatt entnommen werden können.	30
Tabelle 9: Ergebnisse der Überprüfung des Geltungsbereiches.....	31
Tabelle 10: Durchschnittswerte RLT-Anlagen 2003 bis 2009 und Werte der Referenzanlage....	34
Tabelle 11: Zusammenfassung der anlagenspezifischen Anforderungswerte.....	37

Abkürzungsverzeichnis

Anh.	Anhang
Art.	Artikel
Aufl.	Auflage
EG	Europäische Gemeinschaft
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPBD	Europäische Gebäuderichtlinie
ErP	Ökodesign-Richtlinie
EU	Europäische Union
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
IE	International Efficiency
KVS	Kreislauf-Verbund-System
NWG	Nichtwohngebäude
NWLA	Nichtwohnraumlüftungsanlagen
RL	Richtlinie
RLT	Raumluftechnik
Vgl.	Vergleich
VO	Verordnung
WLA	Wohnraumlüftungsanlagen
WRG	Wärmerückgewinnung

Indizes-und Symbolverzeichnis

1	Eingang
2	Ausgang
ab	Abluft
a	Antrieb
add	Zusätzlich (additional)
b_{hv}	Jahresbetriebszeit [h/a]
C_c	Teillastkompensationsfaktor [-]
E	Energiebedarf [MWh]
E_0	Jahresenergiebedarf [MWh/a]
E_u	Jahresförderleistung [MWh/a]
f_N	Nennfrequenz [Hz]
k_p	Kompressibilitätskoeffizient [-]
m	Motor
P_e	elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators [kW]
$P_{1,m}$	Eingangsleistung des Motors [kW]
$P_{1,r}$	Eingangsleistung der Regelung [kW]
$P_{2,m}$	Ausgangsleistung des Motors [kW]
$P_{2,r}$	Ausgangsleistung der Regelung [kW]
P_N	Nennleistung [kW]

P_{SFP}	spezifische Ventilatorleistung [W/(m ³ /s)]
P_u	Statische Ventilatorgasleistung [kW]
r	Regelung
SFP	Specific Fan Power
SFP_{int}	Interne spezifische Ventilatorleistung [W/(m ³ /s)]
U_N	Nennspannung [V]
\dot{V}	Nennvolumenstrom durch Ventilator [m ³ /s]
v	Verlust
zu	Zuluft
Δp_{cas}	Druckverlust Luftdurchlass [Pa]
Δp_{ext}	Externer Druckverlust des Kanals [Pa]
Δp_f	Interner Druckverlust des Filters [Pa]
Δp_{int}	Interner Druckverlust im Gerät [Pa]
Δp_{stat}	Statische Druckerhöhung des Ventilators [Pa]
Δp_{tot}	Gesamtdruckdifferenz des Ventilators [Pa]
Δp_{wrg}	Interner Druckverlust Wärmerückgewinnung [Pa]
η_a	der Wirkungsgrad des Antriebs [-];
η_e	Statischer Gesamteffizienz des Ventilators mit C_c [-]
η_m	Wirkungsgrad des Elektromotors [-]
η_r	Wirkungsgrad der Regelung [-]
η_{stat}	Statischer gesamt Wirkungsgrad der Ventilatoreinheit [-]
$\eta_{stat,v}$	Statischer Wirkungsgrad des Ventilators [-]
η_{tot}	Wirkungsgrad des Ventilators, basierend auf Gesamtdruck [-]
η_{Ziel}	Ziel-Wirkungsgrad nach VO 327/2011 [-]

Zusammenfassung

Nationale und internationale Regelungen sollen die Folgen der anthropogenen Klimaschäden mindern. Dazu werden auf Bundes- und EU-Ebene rechtskräftige Verordnungen erlassen, die parallel und unabhängig voneinander erfüllt werden.

Ziel dieser Untersuchung ist es, herauszufinden, in welchem Maße die politischen Instrumente – die EnEV und die Ökodesign-Richtlinie (ErP) – den Energiebedarf von RLT-Anlagen in Nichtwohngebäuden reduzieren können und ob dadurch ein signifikanter Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird.

Um die Auswirkungen zu untersuchen, wird in dieser Bachelorarbeit eine durchschnittliche RLT-Anlage aus dem Jahr 2005 betrachtet, die vor den Verordnungen ausgelegt wurde.

Die Analyse der EnEV und ErP ergibt, dass aus den Verordnungen insgesamt acht Anforderungen an die RLT-Anlage resultieren. Diese richten sich direkt oder indirekt an den elektrischen Energiebedarf der Ventilatoren. Diese Anforderungen werden chronologisch an die Referenzanlage angewandt und der neue Energiebedarf berechnet.

Das Ergebnis der Berechnung ist, dass die Referenzanlage 30 % des Energiebedarfes einsparen kann. Dabei stellt sich heraus, dass dies zu 91 % durch die Anforderung der EnEV geschieht. Der Grund, weshalb die ErP nur 9 % der Einsparung ausmacht, kann einerseits am hohen Stand der Technik in Deutschland und andererseits an den zu niedrigen Anforderungen der EU ausgemacht werden.

Die Schlussfolgerung ist, dass durch das Erreichen besserer Effizienzen der Energiebedarf von RLT-Anlagen erheblich reduziert werden kann, ohne dass es zu Einbußen bei der Luftqualität kommt. Die Untersuchung hat jedoch auch ergeben, dass das Potenzial der Energieeinsparung – insbesondere das der ErP – noch nicht ausgeschöpft ist und es einen Bedarf gibt, die Anforderungen weiter zu verschärfen.

Abstract

National and international regulations are designed to mitigate the impact of the anthropogenic climate change. To this end, legally binding regulations are enforced at federal and EU level, which complement each other concurrently and independently. The aim of this study is to determine in what extent the political instruments - the German Energy Saving Ordinance (Energieeinsparverordnung, EnEV) and the Energy related Products Directive (ErP) – can reduce the energy demand from HVAC systems in non-residential buildings and whether a significant contribution to the climate protection can be achieved.

In order to examine the effects, this Bachelor thesis has considered an average HVAC system for non-residential buildings from 2005 which was designed previous to the regulations.

The analysis of the Energy Saving Ordinance and the ErP shows that a total of eight relevant requirements for the HVAC system result from the decrees of the national and international regulations. These requirements are all directly or indirectly addressed to the energy demands of the fan unit and are applied chronologically to the reference HVAC system in order to calculate the new energy demand.

The result of the calculations is that the reference system can save up to 30 % of the energy demand, 91 % of it due to the requirements of the Energy Saving Ordinance. The reason why the ErP can only save 9 % of that energy can be attributed on one hand to the high technology standards in Germany and on the other hand, to the low requirements of the EU.

The conclusion is that by achieving better efficiencies, the electrical energy demands from HVAC systems can be significantly reduced without losing any air quality. However, this investigation has also shown that the potential for energy saving, in particular the potential of the ErP, has not yet been fully tapped and there is still a need to further intensify the requirements.

1 Einleitung

Eine der größten Herausforderungen im 21. Jahrhundert ist der internationale Klimaschutz. Aufgrund steigender Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre steigt die globale Durchschnittstemperatur nachweislich an und führt langfristig zu katastrophalen Klimaschäden [vgl. Weltklimarat, 2014]. Die Europäische Union (EU) hat daher zur Bekämpfung des Klimawandels im Jahr 2014 erneut beschlossen, die Energieeffizienz um 20 % gegenüber einer Entwicklung ohne Effizienzanstrengung zu steigern und die Treibhausgas-Emissionen in der EU bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990 um mindestens 40 % zu reduzieren [vgl. UBA, 2016].

Um dieses Ziel zu erreichen, werden regelmäßig Richtlinien und Verordnungen erlassen, die den Energiebedarf von Gebäuden und Produkten reduzieren. Auf Bundesebene geschieht dies unter anderem durch die Energieeinsparverordnung (EnEV), auf europäischer Ebene beispielsweise durch die Ökodesign-Richtlinie (ErP).

Eine Anforderung, die in der EnEV sowie in der ErP beschrieben ist, betrifft die Effizienz einer raumluftechnischen Anlage (RLT-Anlage). Neben dem thermischen Heiz- und Kühlbedarf ist der Elektroenergiebedarf für Ventilatoren der zweitgrößte Energieverbraucher in RLT-Anlagen. EU-weit lag der Stromverbrauch für RLT-Anlagen im Jahr 2010 bei ca. 77,6 TWh [vgl. Kaup, 2015]. Dies entspricht ca. 15 % des gesamten Stromverbrauchs der Bundesrepublik im Jahr 2015 [vgl. AGE B, 2017].

Wohnraumlüftungsgeräte und Nichtwohnraumlüftungsgeräte unterscheiden sich maßgeblich in ihren Anforderungsprofilen und werden daher gesondert in Verordnungen, Richtlinien und Normen behandelt. Diese Untersuchung befasst sich mit dem Strombedarf von RLT-Anlagen in Nichtwohngebäuden (NWG), da der Anteil an vorhandener mechanischer Lüftung bei NWG mit 40 % wesentlich höher ist als bei Wohngebäuden und daher ein deutlich größeres Einsparpotenzial bietet [vgl. Kaup, 2015].

Die Anforderungen an die Energieeffizienz aus der EnEV und aus der ErP unterscheiden sich grundsätzlich. Die ErP richtet die Anforderungen an alle Hersteller und Importeure, die ihre Produkte auf dem europäischen Markt vertreiben. Die Hersteller und Importeure müssen durch eine umweltgerechte Gestaltung (Ökodesign) eine höhere Energieeffizienz der Produkte einhalten. Die EnEV hingegen ist nur in der Bundesrepublik rechtsbindend und richtet sich an den Gebäudeplaner, wobei offengehalten wird, wie die Anforderung zu erfüllen ist.

In Fachzeitschriften wird immer wieder über die Anforderung aus EnEV oder ErP berichtet, jedoch wurden bislang noch nicht die gemeinsamen Aus- und Wechselwirkungen der unterschiedlichen Verordnungen auf den Energiebedarf einer RLT-Anlage betrachtet.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, herauszufinden, welche Anforderungen aus EnEV und ErP relevant für den Energiebedarf von RLT-Anlagen in NWG sind und welche Verordnung die Bauteile in welchem Ausmaß trifft. Das Ergebnis der Untersuchung soll eine Einschätzung darüber abgeben, ob die Anforderungen aus den Verordnungen einen Beitrag zu den Klimaschutzzielen leisten.

Dazu werden zuerst die Grundlagen und Ziele der Richtlinie bzw. der Verordnungen erklärt, um ein Verständnis dafür zu erhalten, aus welchem Grund diese Verordnungen erlassen wurden. Im nächsten Schritt werden die Geltungsbereiche und die genaue Definition der

Anforderungen beleuchtet, um Klarheit über die Grundvoraussetzungen und die Berechnung der Verordnungen zu erlangen.

Anhand einer realen Referenzanlage, an die noch keine gesetzlichen Anforderungen aus EnEV oder ErP gestellt wurden, werden chronologisch die Anforderungen angewandt und der Energiebedarf der Ventilatoren berechnet. Damit die genannten Anforderungen zur Anwendung kommen können, wird in dem Modell angenommen, dass mit jeder neuen Anforderung das Gebäude neu ausgelegt wird. Dabei wird darauf geachtet, dass die Luftqualität sowie die Luftmenge stets gleichbleiben. Am Ende der Untersuchung wird die Differenz des benötigten Anfangs- und End-Energiebedarfes dargestellt. Da die Anforderung auch Auswirkungen auf bestimmte Bereiche hat, die ohne Angaben des Herstellers oder des zu versorgenden Gebäudes nicht bekannt sind, werden z.T. praxisnahe Annahmen getroffen.

2 Relevante Verordnungen für RLT-Anlagen

Im folgenden Kapitel werden die relevanten Grundlagen der Ökodesign-Richtlinie und Energieeinsparverordnung erläutert. Es dient dazu festzustellen, welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten die nationalen und europäischen Verordnungen aufweisen.

2.1 Ökodesign-Richtlinie

2.1.1 Grundlagen

Die Ökodesign-Richtlinie, auf Englisch „Energy related Products-Directive“ (ErP) genannt, ist der Kurztitel für „Richtlinie 2009/125/EG (RL 2009/125) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung **energieverbrauchsrelevanter** Produkte“. Die Richtlinie ist seit dem 20.11.2009 in Kraft. Der Geltungsbereich der Vorgängerrichtlinie „Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung **energiebetriebener** Produkte“ wurde ausgeweitet, sodass eine Neufassung nötig wurde [vgl. RL2009/125, 2009, S.1].

Unter „energieverbrauchsrelevanten Produkten“ versteht die RL 2009/125 im Art.2 Abs. 1 einen Gegenstand, der in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen werden kann und bei Nutzung auf irgendeine Weise den Energiebedarf beeinflussen kann. Dabei werden die Einbauteile, die mit dem energierelevanten Produkt verbaut werden, ebenfalls mit einbezogen. So kann beispielsweise eine Ökodesign-Anforderung auch an die in dem RLT-Gerät montierten Filter gestellt werden.

Seit Inkrafttreten der RL 2009/125 2005 wurden insgesamt 33 Durchführungsverordnungen verabschiedet. Zurzeit sind 18 Produktgruppen in Bearbeitung. Die Bandbreite an Produkten reicht dabei von dem bekannten Beispiel der Glühbirne über Staubsauger bis zu Stromkabeln oder Duschköpfen [vgl. BAM, 2016].

2.1.2 Ziele

Das Ziel der RL 2009/125 ist es, die Umweltauswirkungen von energieverbrauchsrelevanten Produkten, die im europäischen Wirtschaftsraum gehandelt werden, zu minimieren. Dies geschieht indem der gesamte Lebenszyklus eines Produkts – vom Rohmaterial über die Nutzungszeit bis hin zur Entsorgung – betrachtet wird und durch sogenannte Durchführungsverordnungen verbindliche Mindestanforderungen an die Produktgestaltung festgelegt werden. Die Europäische Kommission hat im aktuellen Arbeitsprogramm von 2016 auf S.2 angegeben, dass durch die Anwendung der ErP und des EU-Energielabels bis zum Jahr 2020 umgerechnet eine jährliche Energieeinsparung von ca. 2 035 TWh Primärenergie erreicht werden soll. Ein weiteres wirtschaftliches Ziel ist es, die produktbezogenen Rechts- und Verwaltungs-vorschriften innerhalb der Mitgliedsstaaten zu harmonisieren. Dadurch entsteht eine einheitliche Regelung, die nötig ist, um keine Handelshemmungen oder Wettbewerbsverzerrungen innerhalb der EU hervorzurufen [vgl. RL 2009/125, S.1].

Da in dieser Arbeit der Fokus auf den elektrischen Energiebedarf gelegt wird, wird an dieser Stelle hervorgehoben, dass die Ökodesign-Richtlinie eine Verbesserung der Energieeffizienz

durch eine effizientere Nutzung von Elektrizität als ein vorrangiges umweltpolitisches Ziel betrachtet. Grund hierfür ist, dass die Elektrizitätsnachfrage die am schnellsten wachsende Kategorie des Endenergiebedarfs in der EU ist [vgl. RL2009/125, Abs.14]. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich der Schwerpunkt in den zukünftigen Durchführungsmaßnahmen auf die Kreislaufwirtschaft verschiebt, da im aktuellem Arbeitsprogramm 2016-2019 ein verstärkter Fokus auf die Langlebigkeit von Produkten gelegt wird.

Durch die Reduzierung von Endenergie und den hieraus folgenden verringerten Emissionen von Treibhausgasen soll die Richtlinie einen Beitrag zur Erfüllung der EU-Klimaschutzziele leisten.

2.1.3 Geltungsbereich und Umsetzung in nationales Recht

Eine EU-Richtlinie stellt noch keinen Rechtsakt dar. Die Ökodesignrichtlinie überlässt die Marktaufsicht den Mitgliedsstaaten. In Deutschland wird dies mit dem Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) von 2008 realisiert. Es regelt unter anderem, dass wenn ein Produkt von einer Durchführungsverordnung betroffen ist, dieses in Deutschland nur in Verkehr gebracht werden darf, wenn die entsprechenden Anforderungen erfüllt sind und dies durch eine vom Hersteller geprüfte und ausgestellte EG-Konformitätserklärung und einer CE-Kennzeichnung bestätigt wird. Des Weiteren werden Bußgelder bestimmt, die dem Hersteller oder Importeur bei Verstoß gegen die Anforderungen aus der Durchführungsmaßnahme drohen. Dies kann in Deutschland laut § 13 des EVPG 2011 mit bis zu 50 000 € Bußgeld geahndet werden.

2.1.4 Betroffene Produktgruppen

Bei der RL2009/125 handelt es sich um eine reine Rahmenrichtlinie, die selbst keine Produkthanforderungen enthält. Sie benennt die Kriterien, die für die Festlegung von Anforderungen an die Produktgruppen gelten.

Produkthanforderungen werden – nachdem eine Reihe von Vorstudien die Kriterien bestätigen – in sogenannten Durchführungsmaßnahmen für die jeweiligen Produktgruppen festgelegt.

Bevor eine Durchführungsmaßnahme mit den produktspezifischen Anforderungen erstellt werden kann, müssen die folgenden Kriterien erfüllt sein:

- Das Produkt wird häufiger als 200 000 Mal pro Jahr innerhalb der EU gehandelt
- Die Umweltauswirkungen des Produktes sind erheblich
- Es besteht ein erhebliches Potenzial für eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit ohne übermäßig hohe Kosten

[RL 2009/125, Art. 15 Abs. 2]

Die Entscheidung, ob eine Durchführungsverordnung mit Ökodesign-Anforderungen auf eine Produktgruppe angewandt wird, trifft die Europäische Kommission, nachdem von externen Sachverständigen Vorstudien erstellt wurden. Die Untersuchung berücksichtigt alle wesentlichen Umweltaspekte, Auswirkungen auf die Industrie sowie Verbraucher und umfasst auch eine Untersuchung der Lebenszykluskosten. Die leistungsfähigsten auf dem Markt vorzufindenden Produkte und Techniken sollen als Referenz dienen. Danach werden die

Ergebnisse unter Beteiligung von Interessensgruppen (Industrieverbände, Handel, Umwelt- und Verbraucherschutzverbände sowie Beraterkreise der EU-Mitgliedsstaaten) in einem Konsultationsforum diskutiert und eventuelle Einwände gegen die Ergebnisse der Vorstudien eingebracht. Die Einwände werden von der Kommission geprüft, bevor diese die gesetzlich bindenden Durchführungsverordnungen festlegt [vgl. UBA, 08.2016].

2.2 EnEV

2.2.1 Grundlagen

Die Energieeinsparverordnung ist eine nationale Verordnung, die die energetische Qualität von Gebäuden und Anlagentechnik regelt. Die erste Version löste 2002 die Wärmeschutzverordnung von 1994 ab [vgl. Dena, 2014]. Die im selben Jahr auf europäischer Ebene verabschiedete Gebäuderichtlinie Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) enthält verschärfte Anforderungen, um den Energieverbrauch von neuen und bestehenden Wohn- und NWG stärker zu reduzieren. Diese EU-Richtlinie wird durch die EnEV in deutsches Recht umgesetzt [vgl. Marquardt, 2011].

Damit die Ziele und die Verschärfungen der EPBD erreicht werden, muss die EnEV regelmäßig novelliert bzw. Änderungen implementiert werden. Dies geschah in folgenden Jahren:

- 2004 (von 2004 bis 2007 in Kraft)
- 2007 (von 2007 bis 2014 in Kraft)
- 2009 (wesentliche Verschärfung von EnEV 2007, bis 2014 in Kraft)
- 2014 (Novelle der EnEV 2009, Verschärfung seit 2016 in Kraft)

[vgl. Dena, 2014].

Um den EnEV-Nachweis für ein NWG zu erhalten, muss das zu errichtende Gebäude so geplant sein, dass der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung den Wert des Jahres-Primärenergiebedarfs nach Berechnung der DIN 18599 eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung einschließlich der Anordnung der Nutzungseinheiten mit den in der jeweils gültigen EnEV angegebenen technischen Werten des Referenzgebäudes nicht überschreitet [vgl. EnEV, 2014, §3].

Da diese Untersuchung den Focus auf den Auswirkungen auf den Energiebedarf legt, wird auf die Berechnung des Primärenergiebedarfes nach DIN 18599 verzichtet.

2.2.2 Ziele

Die Ziele der EnEV lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Einsparung von Energie in Gebäuden
- Nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050
- Verstärkter Einsatz von regenerativen Energien
- Modernisierungsoffensive für Neu- und Bestandsgebäude

[vgl. ebenda, §1]

3 Anforderungen an RLT-Anlagen

Um die Ziele der im Abschnitt 2 behandelten Verordnungen zu erreichen, werden von der EnEV und ErP, Anforderungen an die Gebäudetechnik gestellt. Im folgenden Abschnitt werden die Anforderungen aus den Verordnungen an die Baugruppen oder gesamten RLT-Anlagen erläutert. Basierend auf diesen Ergebnissen wird im Abschnitt 4 festgestellt, welche Anforderung zur Anwendung kommt. Im Abschnitt 5 werden die Anforderungen angewandt.

3.1 Anforderung an die spezifische Ventilatorleistung

Die erste Anforderung, die aus einer Verordnung den Energiebedarf von RLT-Anlagen beeinflusst, stammt aus der Energieeinsparverordnung 2007. Die EnEV stellt erstmals Forderungen an die spezifische Ventilatorleistung von RLT-Anlagen.

3.1.1 Geltungsbereich

Die Anforderungen gelten nicht für RLT-Anlagen, die NWG versorgen, die ...

- ... überwiegend zur Tierhaltung oder Zucht genutzt werden
- ... überwiegend geöffnet sind
- ... unterirdisch gebaut sind
- ... als Gewächshaus geplant sind
- ... Traglufthallen und Zelte sind
- ... durch entsprechende Maßnahmen eine Minderung der Substanz oder des Erscheinungsbildes zu erwarten haben und bei denen es sich um besonders zu erhaltende Gebäude handelt
- ... eine Befreiung wegen unbilliger Härte erhalten. Beispielsweise, weil die Aufwandskosten die eintretenden Einsparungen nicht ausgleichen.
[vgl. EnEV 2004, §1; §16-17]

Und seit 2007 ergänzend Gebäude ...

- ... die einem religiösen Zweck dienen (wie Kirchen und Moscheen)
- ... die eine Innentemperatur von weniger als -12°C besitzen oder deren Heizperiode $<$ vier Monate sowie deren Kühlperiode $<$ zwei Monate beträgt
[vgl. EnEV 2007, §1]

Zusätzlich werden Anforderungen an die Wärmerückgewinnung gestellt. Diese haben ebenfalls Folgen für die elektrische Leistung der Ventilatoren, da eine Erhöhung der Rückwärmezahl auch eine Erhöhung der Druckverluste bedeutet [vgl. Stahl, 2017].

Des Weiteren schreibt die EnEV vor, dass die Energieeffizienz einer bestehenden Anlage sich nicht verschlechtern darf [vgl. EnEV 2007, §11]. Dies ist von Bedeutung für die Berechnungen im 5. Abschnitt, weil dies voraussetzt, dass der statische Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoreinheit sich nicht durch Veränderung der Druckverluste reduzieren darf.

3.1.2 Technische Anforderungen

Die Anforderungen an die Ventilatorleistung wurden das erste Mal in der EnEV 2007 festgesetzt. Dort wurde ein Grenzwert für die spezifische Ventilatorleistung der Kategorie *SFP* 4 nach Tabelle 1 vorgeschrieben [vgl. EnEV 2007, §15, Abs. 1].

Die Kategorie *SFP* (Specific Fan Power) gibt einen Bereich an, in dem die spezifische Ventilatorleistung (P_{SFP}) eines Zu- oder Abluftventilators liegen darf. Die gültigen Klassen sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Dieser Wertebereich der Kategorie 4 liegt zwischen 1 250 und 2 000 W/(m³/s) [vgl. DIN EN 13779, 2007]. Die Anlagen müssen daher so ausgeführt sein, dass die spezifische Ventilatorleistung des Zu- oder Abluftventilators bzw. der Mittelwert der Zu- und Abluftventilatoren eine maximale spezifische Leistung von 2 000 W/(m³/s) aufweist. Dieser Grenzwert wurde bis dato in keiner Neufassung oder Verschärfung der EnEV geändert.

Tabelle 1: Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung [DIN EN 16798-3].

Kategorie	P_{SFP} W/(m ³ /s)
<i>SFP</i> 1	< 500
<i>SFP</i> 2	500 – 750
<i>SFP</i> 3	750 – 1 250
<i>SFP</i> 4	1 250 – 2 000
<i>SFP</i> 5	2 000 – 3 000
<i>SFP</i> 6	3 000 – 4 500
<i>SFP</i> 7	> 4 500

Neben den Grenzwerten, die generell nicht überschritten werden dürfen, führt die EnEV 2007 erstmals Richtwerte für die spezifische Ventilatorleistung eines NWG ein. Hierbei handelt es sich um Werte, die für die spezifische Ventilatorleistung von Zu- und Abluftventilatoren des Referenzgebäudes nach EnEV gelten. Dabei wird unterschieden, ob es sich um eine Anlage ohne Nachheiz- und Kühlfunktion oder eine Anlage mit Luftkonditionierung handelt. Die Referenzwerte aus den verschiedenen EnEV-Versionen sind in Tabelle 2 und 3 wiedergegeben.

Da in dieser Untersuchung nur die RLT-Anlage betrachtet wird und daher keine weiteren Daten über den Energiebedarf des zu versorgenden Gebäudes bekannt sind, wird die Annahme getroffen, dass die angegebenen Referenzwerte für ein NWG erfüllt werden müssen, damit die EnEV eingehalten werden kann. Die Referenzwerte der EnEV stellen folglich die einzuhaltenden Anforderungen dar, die in dieser Arbeit untersucht werden.

Die in Tabelle 2 und 3 wiedergegebenen Anforderungen an die Leistungsaufnahme eines Ventilators eines Referenz-Nichtwohngebäudes wurde den Neufassungen sowie Änderungen der EnEV aus den Jahren 2004 bis zur aktuellen Fassung 2014 entnommen.

Tabelle 2: Spezifische Leistungsaufnahme gemäß EnEV 2004 bis 2014 für RLT-Anlagen ohne Nachheiz- und Kühlfunktion [vgl. EnEV, 2004-2014, Anh. 2].

Zeitraum	Anforderungen	
	Zuluftventilator ($P_{SFP\ zu}$)	Abluftventilator ($P_{SFP\ zu}$)
2004-2007	Keine	Keine
2007-2009	1,6 kW/(m ³ /s)	1,25 kW/(m ³ /s)
2009-2014	1,5 kW/(m ³ /s)	1,0 kW/(m ³ /s)
2014-heute	1,5 kW/(m ³ /s)	1,0 kW/(m ³ /s)

Tabelle 3: Spezifische Leistungsaufnahme gemäß EnEV 2004 bis 2014 für RLT-Anlagen mit Luftkonditionierung [vgl. EnEV, 2004-2014, Anh. 2].

Zeitraum	Anforderungen	
	Zuluftventilator ($P_{SFP\ zu}$)	Abluftventilator ($P_{SFP\ zu}$)
2004-2007	Keine	Keine
2007-2009	2,0 kW/(m ³ /s)	1,25 kW/(m ³ /s)
2009-2014	1,5 kW/(m ³ /s)	1,0 kW/(m ³ /s)
2014-heute	1,5 kW/(m ³ /s)	1,0 kW/(m ³ /s)

3.1.3 Berechnung

Die spezifische Ventilatorleistung (P_{SFP}) eines Zu- oder Abluftventilators definiert das Verhältnis der gesamten aufgenommenen Leistung zum geförderten Luftvolumenstrom des Ventilators. Die spezifische Ventilatorleistung dient der Kennzeichnung des elektrischen Energiebedarfs und des Leistungsgrads einer Ventilatoranlage [vgl. Kaup, 2009]. Je kleiner der Wert, umso weniger elektrische Energie wird für die Förderung eines m³ Luft benötigt.

Die spezifische Leistung des Ventilators lässt sich nach DIN EN 16798-3 durch die Gleichung (1) berechnen:

$$P_{SFP} = \frac{P}{\dot{V}} = \frac{\Delta p_{\text{tot}}}{\eta_{\text{tot}}} = \frac{\Delta p_{\text{stat}}}{\eta_{\text{stat}}} \quad (1)$$

Dabei ist

- P_{SFP} die spezifische Ventilatorleistung [W/(m³/s)];
- P die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators [W];
- \dot{V} der Volumenstrom durch den Ventilator [m³/s];
- Δp_{tot} die Gesamtdruckdifferenz des Ventilators [Pa];
- η_{tot} $\eta_{\text{tot,v}} \cdot \eta_a \cdot \eta_m \cdot \eta_r$ bei Gesamtdruck (dynamisch und statisch) [-];
- $\eta_{\text{tot,v}}$ der Wirkungsgrad des Ventilators basierend auf statischen und dynamischen Druck [-];
- η_a der Wirkungsgrad des Antriebs [-];

η_m	der Wirkungsgrad des Motors [-];
η_r	der Wirkungsgrad der Regelung [-];
Δp_{stat}	die statische Druckerhöhung des Ventilators [Pa];
η_{stat}	$\eta_{stat,v} \cdot \eta_a \cdot \eta_m \cdot \eta_r$ der Wirkungsgrad des Ventilators basierend auf statischen Druck [-];
$\eta_{stat,v}$	der Wirkungsgrad des Ventilators basierend auf statischen Druck [-];

Die Berechnung gilt für den Auslegungsvolumenstrom, wenn alle Bauteile trocken sind, bei sauberem Filter und bei einer Luftdichte von 1,2 kg/ m³ [vgl. DIN EN13779, 2007].

Aus der Gleichung wird bereits ersichtlich, dass es entscheidend ist, auf welchen Druck sich der Wirkungsgrad bezieht. Aus älterer Literatur (beispielsweise aus der DIN 13779 von 2007) ist zu entnehmen, dass sich der Wirkungsgrad auf die Totaldruckerhöhung bezieht. Da der dynamische Druck in der Lüftungstechnik nicht wieder genutzt werden kann, ist es sinnvoller, vom statischen Druck auszugehen [vgl. Kaup, 2009].

Bei Überprüfung der Gleichung mit den Angaben aus dem Ausschreibungstext des Ventilators aus Anhang A1 und A2 wird festgestellt, dass die im Datenblatt verwendete Formel für P_{SFP} mit dem statischen Systemwirkungsgrad berechnet wird.

Anmerkung 1:

Da die Interpretation dieser Parameter in der DIN EN13779 nicht eindeutig sind, wurde am 10.08.2017 Herr Vogelmann vom technischen Vertrieb des Ventilator Herstellers NICOTRA Gebhardt kontaktiert, um die korrekte Anwendung der Gleichung abzustimmen. Dabei stellte sich heraus, dass der statische Wirkungsgrad des Ventilators den statischen Gesamtwirkungsgrad inklusive Frequenzumrichter, Motor, Antrieb und Ventilator darstellt. Diese Angabe bestätigt auch die Angabe im oberen Textteil, wonach die gesamte aufgenommene Leistung zur Berechnung benötigt wird.

Anmerkung 2:

Die Gleichungen (1) und (11) stammen aus der Entwurfsnorm DIN 16798-3. Nach telefonischer Aussage des technischen Referenten Herrn Händel vom Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., wird die Norm vermutlich noch im Jahr 2017 veröffentlicht. Ein Vergleich zwischen der in einer Mail von Herrn Händel angehängten vertraulichen Vor-Version und der Entwurfsnorm ergab, dass keine Änderungen von den in dieser Bachelorarbeit behandelten Gleichungen und verwendeten Definitionen vorgenommen wurden.

3.2 Anforderung an den Motor

Die erste Durchführungsverordnung der ErP, die für ein RLT-Anlagen-relevantes Bauteil erlassen wurde, ist die Verordnung (EG) Nr. 640/2009. Diese stellt Mindestanforderungen an die Effizienz von Elektromotoren.

3.2.1 Geltungsbereich

Die Anforderungen gelten für Motoren, die die folgenden Eigenschaften erfüllen:

- Dreiphasen-50-Hz oder -50/60-Hz-Käfigläufer
- 2- bis 6-polig
- Nennspannung ≤ 1000 V
- Nennausgangsleistung $> 0,75$ kW < 375 kW
- Auslegung für Dauerbetrieb
[vgl. VO640/2009, Art. 2 §1]

Ausgenommen von der Verordnung sind Motoren, die ...

- ... dafür ausgelegt sind, komplett in Flüssigkeiten getaucht betrieben zu werden.
- ... vollständig in ein Produkt integriert sind und bei denen deshalb die Effizienz nicht erfasst werden kann.
- ... als Bremsmotoren betrieben werden.

Ausgenommen sind auch Motoren unter besonderen Einsatzbedingungen:

- Betrieb $> 1\,000$ m über dem Meeresspiegel
- Betriebstemperatur $> 400^{\circ}\text{C}$
- Umgebungstemperatur $> 40^{\circ}\text{C}$ oder $< 15^{\circ}\text{C}$
- Kühlfüssigkeitstemperatur $< 5^{\circ}\text{C}$ oder $> 25^{\circ}\text{C}$
- Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen
[vgl. VO640/2009, Art. 1 §2].

Diese Verordnung wurde Anfang 2014 durch Verordnung (EU) 4/2014 verändert, sodass der Geltungsbereich für Betriebstemperaturen und geografische Höhen ausgedehnt wurde. Die Europäische Kommission begründet dies mit den Entwicklungen am Elektromotorenmarkt. Demnach sind die besonderen Einsatzbedingungen für Motoren seit Ende Januar 2014:

- Betrieb $> 4\,000$ m über dem Meeresspiegel
- Umgebungstemperatur $> 60^{\circ}\text{C}$ oder $< -30^{\circ}\text{C}$
- Kühlfüssigkeitstemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$ oder $> 32^{\circ}\text{C}$
[vgl. VO4/2014, Art. 1, §2].

Abbildung 1 ist ein anschauliches Beispiel eines Motors, der von der Verordnung betroffen ist. Hierbei handelt es sich um einen Dreiphasen-Käfigläufer von Siemens.

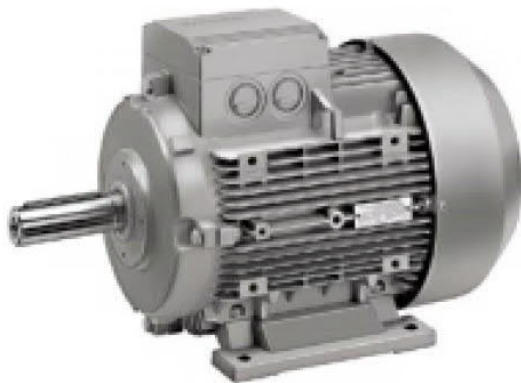


Abbildung 1: Dreiphasen-Käfigläufer-Motor [Siemens, o.j.].

3.2.2 Technische Anforderung

Die Vorstudie EUP Lot 11 kam zu dem Ergebnis, dass die aus der RL 2009/125 EG genannten Mindestanforderungen zur Erlassung einer Durchführungsmaßnahme erfüllt wurden. Demnach wurden im Jahr 2005 bereits mehr als 9 Mio. Elektromotoren verkauft [übersetzt, vgl. Almeida, et al., 2008, S. 53] und festgestellt, dass durch eine Drehzahlregelung sowie ein optimiertes Ökodesign eine erhebliche Reduzierung des Energiebedarfs möglich ist [vgl. ebenda, S. 87; 65].

Da die anderen Parameter wie beispielsweise die Umweltauswirkung der eingesetzten Materialien zur Herstellung der Motoren keine besonders große Auswirkung haben, wurden die Ökodesign-Anforderungen nur an den Strombedarf während des Betriebs eines Motors gestellt [vgl. VO640/2009, S.1, Abs.8].

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaft hat aufbauend auf den Ergebnissen der Vorstudie einen Zeitplan erstellt, an den sich die Hersteller und Vertreiber von Motoren innerhalb des europäischen Wirtschaftsraumes halten müssen. Dazu wird die IE (International Efficiency) Kategorisierung aus der Norm IEC 60034-30 verwendet. Die vier Klassen sind definiert zu:

- IE1 (Standard Efficiency)
- IE2 (High Efficiency)
- IE3 (Premium Efficiency)
- IE4 (Super Premium Efficiency)

[vgl. Siemens, 2013].

Die VO640/2009 legt fest, dass ...

- ... ab Mitte 2011 alle Motoren mindestens Effizienzniveau IE2 erreichen.
- ... ab Anfang 2015 Motoren mit einer Nennausgangsleistung $\geq 7,5$ und ≤ 375 kW Effizienzniveau IE3 erreichen müssen oder IE2, aber dafür eine Drehzahlregelung aufweisen.
- ... ab Anfang 2017 für Motoren mit Nennausgangsleistung $\geq 0,75$ und ≤ 375 kW das Effizienzniveau IE3 oder IE2 in Verbindung mit vorhandener Drehzahlregelung gilt. [vgl. VO640/2009, Art. 3, Abs. 1-4]

In den Tabellen 4 und 5 sind die Wirkungsgrade der Effizienzniveaus IE2 und IE3 der IEC 60034-30 abgebildet. Diese Tabellen enthalten Mindestwirkungsgrade, die in Abhängigkeit der Nennausgangsleistung und der Anzahl der Pole aufgeführt sind. Es zeigt auf, dass die Wirkungsgrade aus Tabelle 4 von 77,4 % bis 95,1 % und aus Tabelle 5 von 80,7 % bis 96,0 % reichen. Hieraus wird ersichtlich, dass besonders ineffiziente Motoren ab 2015 bzw. 2017 aus dem Handel verdrängt werden sollen.

Tabelle 4: IE2 Mindesteffizienzen für Elektromotoren ab 2011 [VO340/2009].

Nennausgangsleistung (kW)	Anzahl der Pole		
	2	4	6
0,75	77,4	79,6	75,9
1,1	79,6	81,4	78,1
1,5	81,3	82,8	79,8
2,2	83,2	84,3	81,8
3	84,6	85,5	83,3
4	85,8	86,6	84,6
5,5	87,0	87,7	86,0
7,5	88,1	88,7	87,2
11	89,4	89,8	88,7
15	90,3	90,6	89,7
18,5	90,9	91,2	90,4
22	91,3	91,6	90,9
30	92,0	92,3	91,7
37	92,5	92,7	92,2
45	92,9	93,1	92,7
55	93,2	93,5	93,1
75	93,8	94,0	93,7
90	94,1	94,2	94,0
110	94,3	94,5	94,3
132	94,6	94,7	94,6
160	94,8	94,9	94,8
200 bis 375	95,0	95,1	95,0

Tabelle 5: IE3 Mindesteffizienzen für Elektromotoren ab 2015 [VO340/2009].

Nennausgangsleistung (kW)	Anzahl der Pole		
	2	4	6
0,75	80,7	82,5	78,9
1,1	82,7	84,1	81,0
1,5	84,2	85,3	82,5
2,2	85,9	86,7	84,3
3	87,1	87,7	85,6
4	88,1	88,6	86,8
5,5	89,2	89,6	88,0
7,5	90,1	90,4	89,1
11	91,2	91,4	90,3
15	91,9	92,1	91,2
18,5	92,4	92,6	91,7
22	92,7	93,0	92,2
30	93,3	93,6	92,9
37	93,7	93,9	93,3
45	94,0	94,2	93,7
55	94,3	94,6	94,1
75	94,7	95,0	94,6
90	95,0	95,2	94,9
110	95,2	95,4	95,1
132	95,4	95,6	95,4
160	95,6	95,8	95,6
200 bis 375	95,8	96,0	95,8

In Abbildung 2 sind die Energieeffizienzklassen IE1 bis IE4 in einem Diagramm zusammengefasst. Es zeigt den Wirkungsgrad auf, den ein Motor mindestens bei einer bestimmten Ausgangsleistung erreichen muss. Hier zeigt sich der Zusammenhang: Mit steigender Leistung steigt auch der Mindest-Wirkungsgrad.

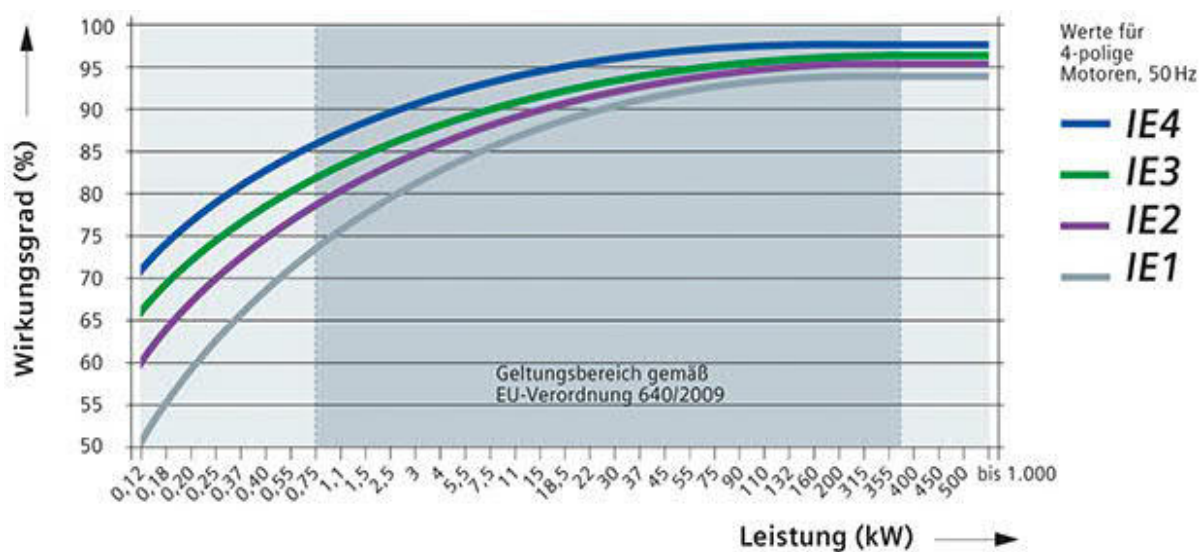


Abbildung 2: Effizienzklassen IE1-IE4 und Geltungsbereich VO 640/2009 [Siemens, 2013].

3.2.3 Berechnung

Der zu betrachtende Wirkungsgrad des Motors (η_m) nach Gleichung 2 ist das Verhältnis der mechanischen Ausgangsleistung des Motors ($P_{2,m}$) zur elektrischen Eingangsleistung des Motors ($P_{1,m}$) bei Nennleistung (P_N), Nennspannung (U_N) und Nennfrequenz (f_N) [vgl. VO640/2009, Anh.II].

$$\eta_m = \frac{P_{2,m}}{P_{1,m}} \quad (2)$$

Die auftretenden Leistungsverluste eines Motors entstehen durch Reibungsverluste, Rotorverluste, Ständerwicklungsverluste sowie Eisen- und lastabhängige Zusatzverluste [vgl. Klaes, 2013]. In Abbildung 3 ist der Wirkungsgrad eines Motors schematisch dargestellt.

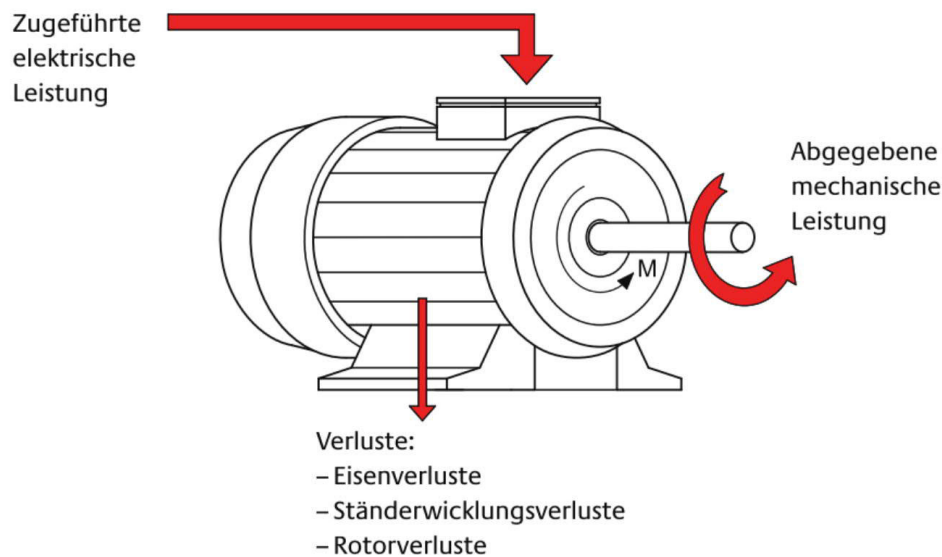


Abbildung 3: Aufteilung der Ein- und Ausgangsleistung und Verluste eines Käfig-Motors [Klaes, 2013].

3.3 Anforderung an die Ventilatorleistung

Die chronologisch folgende Durchführungsverordnung, die für die Untersuchung des Energiebedarfs notwendig ist, wurde in der Verordnung (EU) Nr. 327/2011 an die Energieeffizienz von Ventilatoren gestellt.

3.3.1 Geltungsbereich

Die Anforderungen richten sich an Ventilatoren, die folgende Bedingungen erfüllen:

- Elektrische Eingangsleistung > 125 W und < 500 kW,
- Axialventilator, Radialventilator, Querstromventilator oder Diagonalventilator,
- Versorgungsspannung < 1 000 V AC oder < 1 500 V DC, [vgl. VO327/2011, Art. 1].

Ausgenommen von der Verordnung sind Geräte, die einen eingebauten Ventilator aufweisen, der direkt von einem Elektromotor mit einer Leistung < 3 kW betrieben wird. Beispielsweise ist dies der Fall bei Wäschetrocknern und Dunstabzugshauben.

Ausgenommen sind auch folgende Arten von Ventilatoren:

- Ventilatoren, die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden,
- Brandventilatoren, die nur für den Noteinsatz im Kurzbetrieb ausgelegt sind,
- Ventilatoren, bei denen die Temperatur der bewegten Luft < -40°C und > 100°C ist,
- Ventilatoren, die für den Betrieb in einer toxischen oder hochgradig korrosiven Umgebung vorgesehen sind.

[vgl. VO327/2011, Art. 1-2].

3.3.2 Technische Anforderung

Wie in der VO 640/2009 wurden die Bedingungen, die zur Erstellung der Durchführungsmaßnahmen nötig sind, von Vorstudien untersucht. Auch in diesem Fall wurden alle Bedingungen erfüllt und die Anforderungen richten sich ebenfalls nur an den Strombedarf während der Ventilator in Betrieb ist [vgl. VO 327/2011, Abs. 5-10].

Die Ventilatoren, die von Verordnungen betroffen sind, müssen einen bestimmten Zielenergieeffizienz-Wert (η_{Ziel}) einhalten, der nach der Gleichung (3) berechnet wird. Der Zielenergieeffizienz-Wert entspricht der Mindest-Energieeffizienz, die von einem Ventilator erreicht werden muss. Der Wert variiert je nach eingesetztem Ventilatortyp, vorgenommener Messkategorie (A-D) (*statische oder totale Messwerte*), Leistungsintervall der elektrischen Eingangsleistung des Motors ($P_{1,m}$) und einem bestimmten Effizienzgrad (N) [ebenda, Anh.1, Tab.1 -2]. Als Beispiel für einen Radialventilator der Messkategorie A,C und einer Eingangsleistung zwischen 0,125 kW und 10 kW gilt:

$$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P_e) - 10,5 + N \quad (3)$$

Die variable Größe, die ebenfalls dazu genutzt wird, die Anforderungen anzuheben, ist der aus einer ganzen Zahl bestehende Effizienzgrad N . Die Tabellen mit den jeweiligen Werten aus der VO 327/2011 befinden sich im Anhang A3.

Die VO 327/2011 hat die Ökodesign-Anforderungen in zwei Stufen eingeführt. Danach gelten die neuen Mindestanforderungen der Stufe 1 erstmals ab Januar 2013 und ab Januar 2015 die zweite Stufe mit erhöhten N -Werten.

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die beiden Stufen der geforderten Mindesteffizienzen aus VO 327/2011 für verschiedene Ventilatorentypen im Leistungsbereich 250 bis 4 000 W. Wie bei den Motoren fällt auf, dass die Anforderungen mit ansteigender Leistung ebenfalls ansteigen.

2013 VENTILATOREN: ≥ 125 W MINDESTEFFIZIENZ 1. STUFE

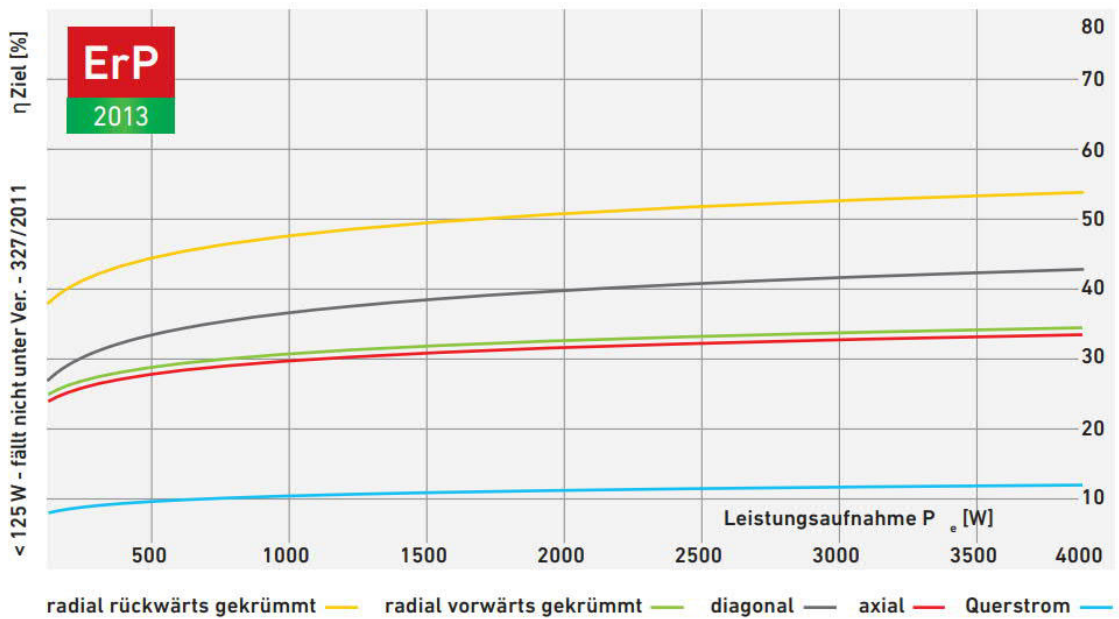


Abbildung 4: Mindesteffizienzen ab 2013 für verschiedene Ventilatoren von 250 bis 4 000 W Leistungsaufnahme [Pichler, 2014].

2015 VENTILATOREN: ≥ 125 W MINDESTEFFIZIENZ 2. STUFE

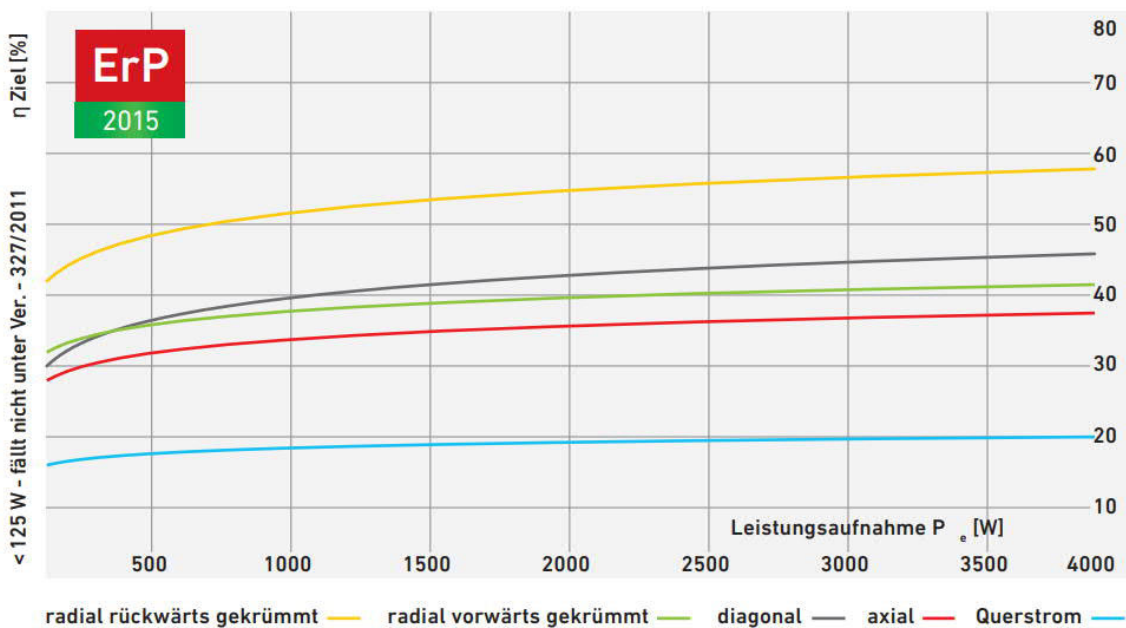


Abbildung 5: Mindesteffizienzen ab 2015 für verschiedene Ventilatoren von 250 bis 4 000 W Leistungsaufnahme [Pichler, 2014].

3.3.3 Berechnung

Die Methode, um die Energieeffizienz von Ventilatoren nach der VO 327/2011 zu berechnen, unterscheidet sich je nach Montageart und vorhandener Drehzahlregelung. Da Ventilatoren in der Regel im RLT-Gerät fertigmontiert geliefert werden und auf dem Datenblatt des RLT-Geräts eine Regelung angegeben ist, wird die Gesamteffizienz des Ventilators (η_e) in dieser Untersuchung mit der Gleichung (4) berechnet. Hierbei wird das Verhältnis zwischen statischer Ventilatorgasleistung und elektrischer Eingangsleistung des Drehzahlreglers am Energieeffizienzoptimum mit einem gegebenen einheitslosen Teillastkompensationsfaktor multipliziert. Der Teillastkompensationsfaktor dient als Ausgleich, damit der Wirkungsgrad η_r der Regelung sich nicht negativ auf die Gesamteffizienz auswirkt.

$$\eta_e = \frac{P_u}{P_e} \cdot C_c \quad (4)$$

wobei:

$$P_u = \Delta p_s \cdot \dot{V} \cdot k_p \quad (5)$$

$$P_e = \frac{P_{1,m}}{\eta_r} \quad (6)$$

Dabei ist:

η_e	die Gesamteffizienz des Ventilators [-];
P_u	die statische Ventilatorgasleistung [kW];
P_e	die Wirkleistung bezogen aus dem Stromnetz [kW];
k_p	der Kompressibilitätskoeffizient [-];
$P_{1,m}$	die elektrische Eingangsleistung des Motors [kW];
C_c	der Teillastkompensationsfaktor, bei $P_e \geq 5 \text{ kW} = 1,04$ sonst: $0,03 \cdot \ln(P_e) + 1,088$

[vgl. VO327/2011, Anh.II].

3.4 Anforderung an die Lüftungsanlage

Die letzte verabschiedete Durchführungsverordnung, die den Energiebedarf von RLT-Anlagen beeinflusst, ist die Verordnung (EU) Nr. 1253/2014. Diese Verordnung ist die einzige, deren Verschärfung in der Zukunft in Kraft tritt. Sie stellt Mindesteffizienz-Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsgeräten.

3.4.1 Geltungsbereich

Die Verordnung richtet sich grundsätzlich an Wohnraumlüftungsanlagen (WLA) sowie Nichtwohnraumlüftungsanlagen (NWLA), mit folgenden Ausnahmen:

- Der Luftstrom wird nur in eine Richtung gefördert und hat eine Gesamtleistung < 30 W
 - Die Luftströme werden in zwei Richtungen gefördert und haben eine Gesamtleistung < 30 W je Luftstrom
 - Die Anlage ist nur für den Betrieb in explosionsgefährlichen Bereichen bestimmt
 - Die Anlage ist nur für Notfälle über kurze Zeit bestimmt (Brandventilatoren)
 - Die Anlage ist als Dunstabzugsgerät eingestuft
 - Die Anlage erfüllt eine der folgenden Betriebsbedingungen:
 - Temperatur im Luftstrom > 100°C
 - Temperatur für den Antriebsmotor > 65°C oder < -40°C, falls dieser außerhalb des Luftstroms liegt
 - Die Anlage wird mit einer Versorgungsspannung > 1 000 V AC oder > 1 500 V DC versorgt
 - Der Betrieb der Anlage ist in einer toxischen oder hochgradig korrosiven Umgebung vorgesehen
- [vgl. Kaup, 2015].

3.4.2 Technische Anforderung

Die VO1253/2014 stellt unterschiedliche Anforderungen an WLA und NWLA. Dabei wird eine Lüftungsanlage mit einem Auslegungsvolumenstrom $\leq 250 \text{ m}^3/\text{h}$ einer WLA zugeordnet. Ist der Auslegungsvolumenstrom $> 250 \text{ m}^3/\text{h}$ und $< 1 000 \text{ m}^3/\text{h}$ ohne dass eine Kennung auf dem Ventilator angebracht ist, die auf eine WLA-Nutzung hindeutet, ist die Mindestanforderung der NWLA zu erfüllen. Folglich sind alle Geräte, deren Auslegungsvolumenstrom $> 250 \text{ m}^3/\text{h}$ ist und die keine Kennung auf WLA aufweisen, einer NWLA zuzuordnen

[vgl. VO1253/2014, Art.2].

Da in dieser Untersuchung nur die Auswirkungen auf eine NWLA betrachtet werden, werden folgend nur die relevanten Mindestanforderungen an die umweltgerechte Gestaltung einer NWLA erläutert.

Ab dem 1. Januar 2016 müssen Hersteller sowie Inverkehrbringer von Ventilatoren sicherstellen, dass eine NWLA ...

- ... mit Drehzahlregelung oder Mehrstufenbetrieb ausgestattet ist
- ... über eine Wärmerückgewinnung (WRG) verfügt, die eine Mindestrückwärmezahl von 67 % bzw. bei Kreislauf-Verbund-Systemen (KVS) von 63 % aufweist
- ... bei KVS mit $\dot{V} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ die *maximale interne Ventilatorleistung* ($SFP_{\text{int_limit}}$) in $\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$ nicht höher als:
 - $SFP_{\text{int_limit}} < 2 = 1.700 + E - 300 \cdot (\dot{V}/2) - F$ (7.a)
und bei $\dot{V} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht höher als:
 - $SFP_{\text{int_limit}} > 2 = 1.400 + E - F$ sein darf. (7.b)
- *Bei anderen WRG-Systemen gilt, dass die maximale interne Ventilatorleistung in $\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$ nicht höher als:*
 - $SFP_{\text{int_limit}} < 2 = 1.200 + E - 300 \cdot (\dot{V}/2) - F$ (7.c)
und bei $\dot{V} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht höher als:
 - $SFP_{\text{int_limit}} > 2 = 900 + E - F$ sein darf. (7.d)

Ab dem 1. Januar 2018 gilt für eine NWLA eine Verschärfung, die ...

- ... die Wärmerückgewinnung auf eine Mindestrückwärmezahl von 73 % bzw. bei Kreislauf-Verbund-Systemen (KVS) von 68 % erhöht
- ... bei KVS mit $\dot{V} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ die $SFP_{\text{int_limit}}$ auf
 - $SFP_{\text{int_limit}} < 2 = 1.600 + E - 300 \cdot (\dot{V}/2) - F$ begrenzt (8.a)
und bei $\dot{V} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ die $SFP_{\text{int_limit}}$ auf
 - $SFP_{\text{int_limit}} > 2 = 1.300 + E - F$ begrenzt (8.b)
- ... *bei anderen Wärmerückgewinnungssystemen*
 - $SFP_{\text{int_limit}} < 2 = 1.100 + E - 300 \cdot (\dot{V}/2) - F$ (8.c)
sowie bei $\dot{V} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$
 - $SFP_{\text{int_limit}} > 2 = 800 + E - F$ begrenzt (8.d)

Wobei:

E= Effizienzbonus für erhöhte Wärmerückgewinnung $> 0,73$ bzw. bei KVS $> 0,68$

F= Filterkorrekturen nach VO1253/2014, Anh.IV

[vgl. VO1253/2014, Anh.III].

Aus der Beschreibung wird ersichtlich, dass die Anforderungen, die an ein RLT-Gerät gestellt werden, auch die WRG betroffen ist. Da sich diese Untersuchung nur mit dem elektrischen Energiebedarf von Ventilatoren befasst, wird hierauf jedoch nicht vertieft eingegangen.

3.4.3 Berechnung

Die interne spezifische Ventilatorleistung SFP_{int} einer zentralen RLT-Anlage mit zwei Luftseiten wird mit der Gleichung (9) nach DIN EN 13053 berechnet. Die SFP_{int} gibt den elektrischen Leistungsbedarf pro m^3/s bewegten Luftstroms an, der benötigt wird, um die Luftmenge durch die Wärmerückgewinnung, Filter sowie die Ein- und Auslassöffnungen zu befördern. Die Gleichung weist Ähnlichkeiten mit der Gleichung (1) aus der EnEV auf – jedoch mit dem Unterschied, dass nicht die statische Gesamtdruckerrhöhung Δp_{stat} betrachtet wird – sondern nur der interne Druckverlust $\Delta p_{stat,int}$ der Anlage. Des Weiteren wird nicht nur eine Luftseite betrachtet, sondern die gesamte Anlage inklusive Zu- und Abluftventilator.

Die interne spezifische Ventilatorleistung ergibt sich aus:

$$SFP_{int} = \frac{\Delta p_{stat,int,zu}}{\eta_{stat,zu}} + \frac{\Delta p_{stat,int,ab}}{\eta_{stat,ab}} \quad (9)$$

Dabei ist

SFP_{int}	die interne spezifische Ventilatorleistung [$W/(m^3/s)$];
$\Delta p_{stat,int}$	$\Delta p_{stat,WRG} + \Delta p_{stat,f} + \Delta p_{s,cas}$, die interne Druckverluste [Pa];
$\Delta p_{stat,WRG}$	der Druckverlust über die Wärmerückgewinnungseinheit [Pa];
$\Delta p_{stat,f}$	der Druckverlust über die Filter [Pa];
$\Delta p_{s,cas}$	der Druckverlust über die Ein- und Auslassöffnungen des Gerätegehäuses [Pa].

[vgl. DIN EN 13053, S.30-31].

In Abbildung 6 werden die Widerstände der Baugruppen eines RLT-Geräts definiert. Zu beachten ist, dass nicht alle Baugruppen des Gerätes $\Delta p_{stat,int}$ zuzuordnen sind. Die internen Druckverluste über zusätzliche Bauteile wie:

- Kühler
- Erhitzer
- Schalldämpfer
- Befeuchter

werden zu $\Delta p_{stat,add}$ summiert und nicht in der Gleichung (9) beachtet [vgl. ebenda, S.33]. Daraus wird ersichtlich, dass die spezifische Ventilatorleistung, die von einem Ventilator gelieferte elektrische Leistung, in Verbindung mit der Druckdifferenz über Filter, WRG und Gehäuse mit Luftstromein- und Luftstromausgang, geteilt durch den Volumenstrom unter Auslegungsbedingungen ist.

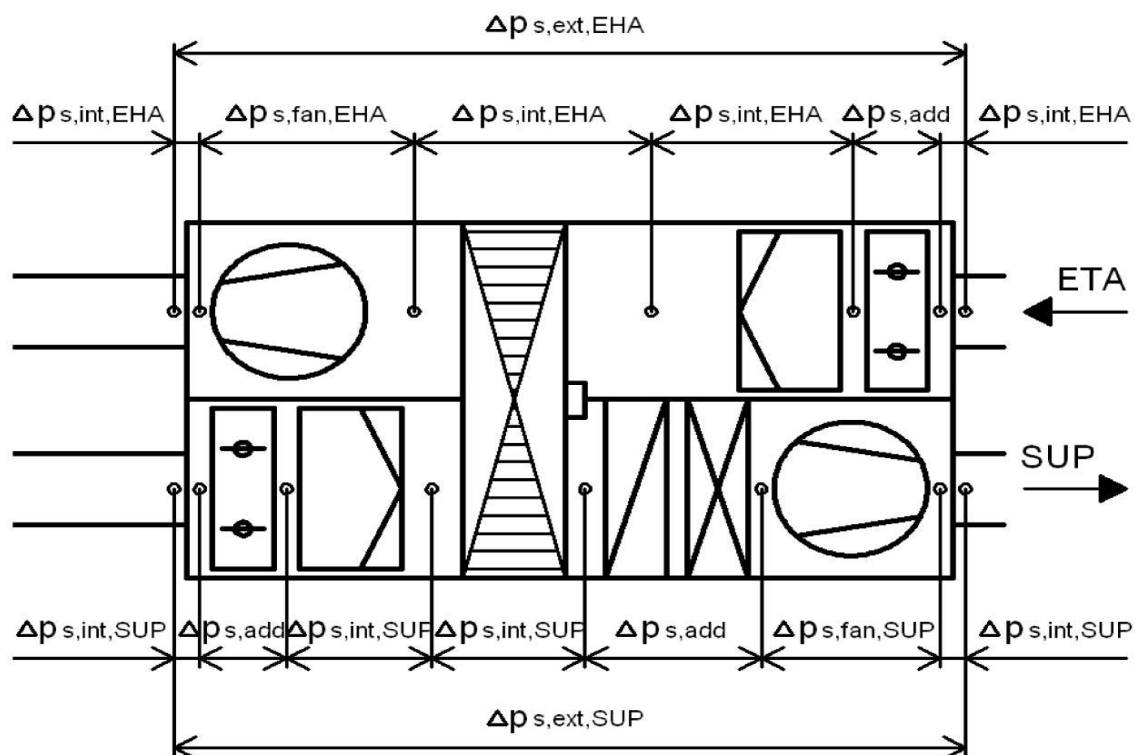


Abbildung 6: RLT-Gerät mit WRG und Bezeichnung der internen Druckverluste [DIN EN 13053].

3.5 Zusammenfassung der Anforderungen

Es werden insgesamt acht Anforderungen in vier Kategorien von zwei unterschiedlichen Verordnungen gestellt. Abbildung 7 zeigt chronologisch alle Anforderungen mit entsprechender Verordnung und das betreffende Bauteil als Zeitstrahl.

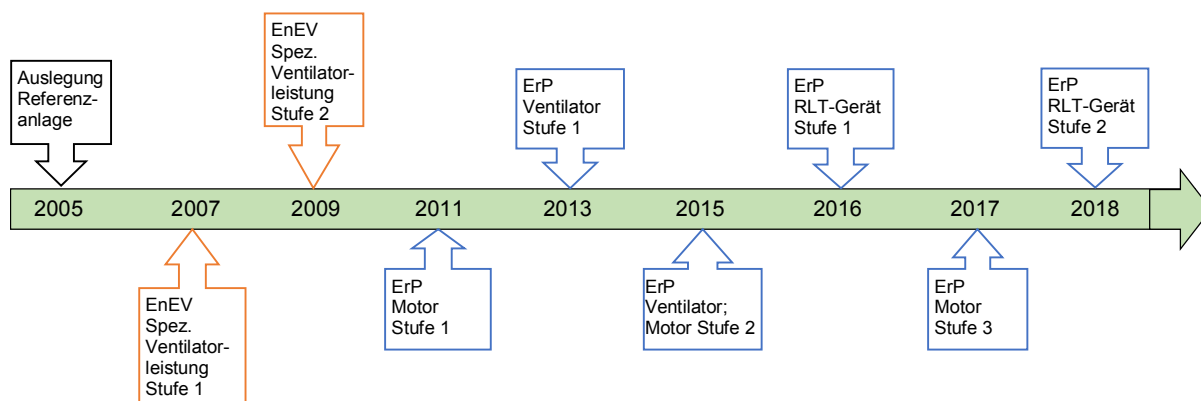


Abbildung 7: Zeitstrahl der relevanten Anforderungen [Eigene Darstellung].

Bei Betrachtung der Berechnungen lässt sich feststellen, dass die Anforderungen im Wesentlichen durch eine Verringerung der statischen Druckerhöhung und/oder eine Erhöhung der Wirkungsgrade eingehalten werden. Abbildung 8 zeigt die Reihenfolge der Bauteile einer Ventilatoreinheit mit zugehörigen Wirkungsgraden.

Zu beachten ist, dass in dieser Untersuchung der Wirkungsgrad für die Regelung (C_c =Control) mit η_r und der Wirkungsgrad des Ventilators mit η_v anstatt mit η_r angegeben wird!

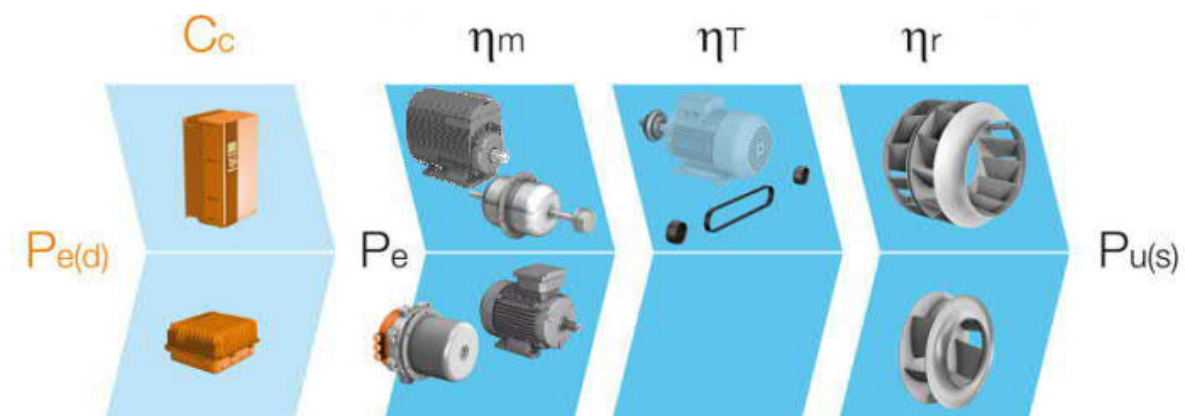


Abbildung 8: Bauteile einer Ventilatoreinheit mit Einfluss auf den Systemwirkungsgrad [Anschütz, 2012]

Zu beachten ist, dass in dieser Untersuchung der Wirkungsgrad für die Regelung (C_c =Control) mit η_r und der Wirkungsgrad des Ventilators mit η_v anstatt mit η_r , wie in Abbildung 8 dargestellt, angegeben wird!

Die aufgeführten Anforderungen sollen dazu beitragen den elektrischen Energiebedarf der Ventilatoren zu reduzieren. Obwohl die Anforderungen parallel erfüllt werden müssen, beeinflusst die eine Anforderung z.T. die andere.

Beispiel

Einfluss der ErP: Wird ein Motor mit besserem Wirkungsgrad verwendet, verbessert das auch den statischen Gesamtwirkungsgrad. Bei der gleichen Anlage führt dies ebenfalls zu einer Reduzierung der internen sowie der spezifischen Ventilatorleistung (P_{SFP}):

$$\uparrow \eta_m \rightarrow \uparrow \eta_{stat} \rightarrow \downarrow SFP_{int} \downarrow P_{SFP}$$

Folglich unterstützt die ErP die eigenen Anforderungen wie auch die aus der EnEV – wobei eine Erfüllung der EnEV nicht der Unterstützung der Ökodesign-Richtlinie dient.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Verordnungen besteht darin, dass die Anforderungen aus der EnEV sich in erster Linie an den/die TGA-Planer/in richten. Diese/r kann z.B. durch größere Dimensionen der Lüftungsleitung den externen Druckverlust reduzieren und so dafür sorgen, dass die Anforderung eingehalten wird.

Bei den Verordnungen aus der europäischen Ökodesign-Richtlinie hingegen richten sich die Anforderungen in erster Linie an die Hersteller. Diese können durch bauliche Veränderungen den statischen Druckverlust reduzieren bzw. durch Einsatz besserer Technik den Wirkungsgrad verbessern.

4 Referenzanlage

Nach Erläuterung der anzuwendenden Anforderungen für RLT-Anlagen werden in diesem Kapitel die Daten der Referenzanlage betrachtet und es wird überprüft, ob die Anforderungsbedingungen auf die Anlage zutreffen. Die Daten der Anlage dienen weiter dazu, die Referenzwerte der Wirkungsgrade und Ventilatorleistungen zu bestimmen.

4.1 Bedingungen an die Referenzanlage

Es wird eine Referenzanlage benötigt, die vor dem Jahr 2007 ausgelegt wurde, da an diese Anlage noch keine Anforderungen aus EnEV oder ErP gestellt wurde. Damit die Untersuchung an einer Anlage stattfindet, die möglichst viele Anlagen in Deutschland repräsentiert, sollten von der Referenzanlage folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Gerät für NWG
- Kombiniertes Zu- und Abluftgerät
- Luftvolumenstrom $> 10\,000\text{ m}^3/\text{h}$
- Temperaturbereich der Luft $> -20^\circ\text{C}$ und $< 40^\circ\text{C}$
- Angabe der Wirkungsgrade der Ventilatoren, Motoren, Regelung und Antrieb
- Druckerhöhung der einzelnen Ventilatoren
- Interner Druckverlust im Gerät
- Angabe des externen Druckverlustes der Anlage
- Betriebsstunden $> 2000\text{ h/a}$

4.2 Anlagenbeschreibung

4.2.1 Gegebene Anlagendaten

Die Suche nach einer geeigneten Referenzanlage gestaltet sich aufgrund teilweise fehlender benötigter Daten der Ventilatoren, Motoren und Drehzahlregelung schwierig, da zur Produktionszeit der Anlagen einige der Produktinformationen noch nicht im Datenblatt vorgeschrieben waren. Erschwerend kommt hinzu, dass die Aufbewahrungsfrist der Unterlagen bereits abgelaufen ist. Das hat zur Folge, dass die Datenblätter nicht mehr archiviert sind [vgl. Emai, Klöpfel, 2017].

Die verfügbare Anlage für ein Nicht-Wohngebäude, die die meisten Bedingungen der Referenzanlage erfüllt, wurde im Jahr 2005 geplant. Sie wurde von dem RLT-Geräte-Hersteller AL-KO bereitgestellt. In Abbildung 9 ist die Referenzanlage mit den vorhandenen Baugruppen abgebildet. Das bereitgestellte Datenblatt zur Referenzanlage befindet sich im Anhang A4.

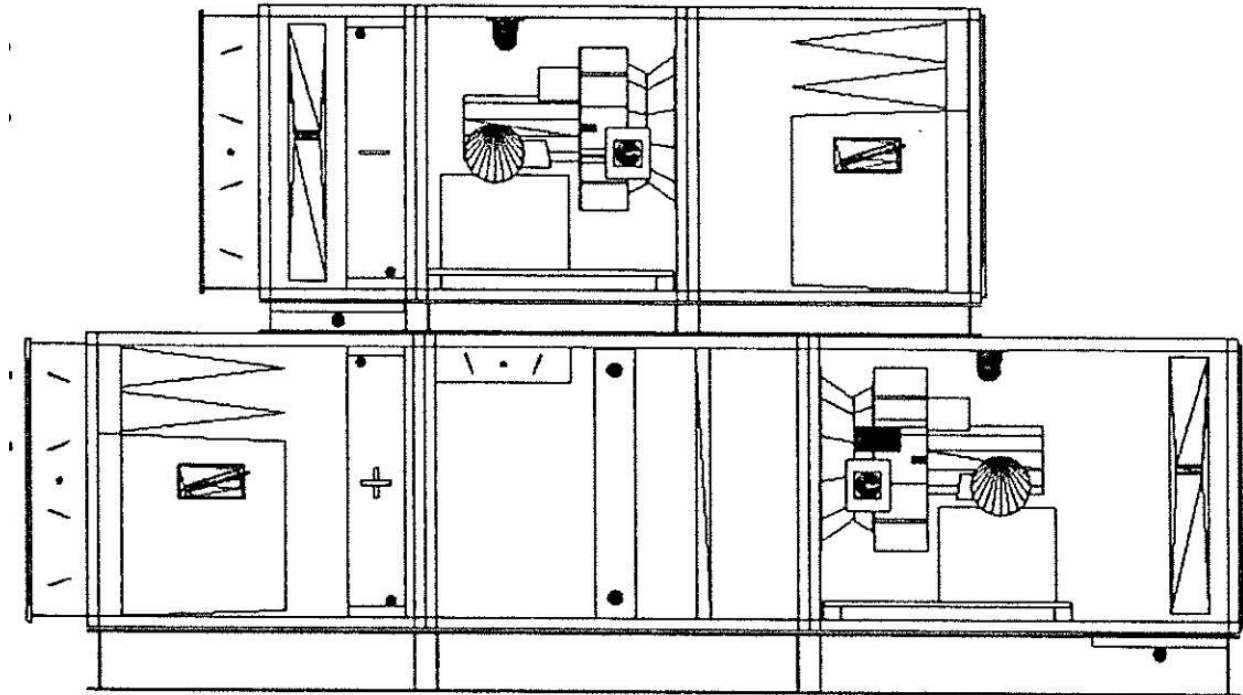


Abbildung 9: Vorderansicht Referenz-RLT-Gerät [AL-KO Datenblatt, 2005].

Die Tabelle 6 fasst die Angaben aus dem Datenblatt zusammen. Aufgelistet sind alle relevanten Daten, die für die Untersuchung benötigt werden. Dabei wurden die Formelzeichen wie bereits in den Berechnungen der Anforderung angepasst, um Verwechslungen zu vermeiden.

Tabelle 6: Relevante Informationen aus dem Datenblatt des RLT-Geräts [AL-KO, 2005].

Bedeutung	Formelzeichen	Einheit	Zuluftseite	Abluftseite
Luftvolumenstrom	\dot{V}	m ³ /s	4,17	4,17
Externer Druckverlust	Δp_{ext}	Pa	500	(s. Tab. 4)
Interner Druckverlust Wärmerückgewinnung	$\Delta p_{\text{,wrg}}$	Pa	118	152
Interner Druckverlust Filter	$\Delta p_{\text{,f}}$	Pa	96	120
Wärmerückgewinnungszahl (KVS)	Φ		0,35	0,35
Stat. Druckerhöhung Ventilator	Δp_{stat}	Pa	1.119	914
Ausgangsleistung Motor bzw. Wellenleistung	$P_{2,\text{m}}$	kW	6,7	6,1
Antriebswirkungsgrad (Direktantrieb)	η_r	[-]	1,0	1,0
Stat. Wirkungsgrad Ventilator	$\eta_{\text{stat,v}}$	[-]	0,69	0,63
Systemwirkungsgrad ¹ (Motor und Drehzahlregelung)	$\eta_{\text{d,m}} = \eta_r \cdot \eta_m$	[-]	0,87	0,87
Nennleistung	P_N	kW	7,5	7,5
Nennspannung	U_N	V	400/690	400/690
Netzfrequenz	f_N	1/min	50	50
Pole Motor ²	n		4	4
Systemleistungsaufnahme	P_e	kW	7,7	7,0
Regelungsart	[-]	[-]	FU	FU

Hinweis: Alle Angaben beziehen sich auf Luftdichte=1,2 kg/m³

Um die Anforderungsbedingungen korrekt anzuwenden, werden noch weitere Daten des Ventilators benötigt. Dazu hat der Autor Kontakt mit dem Ventilatoren-Hersteller „Nicotra Gebhardt“ aufgenommen. Mit den Daten der Referenzanlage wurden mit dem Programm „proSELECTA II“ Ausschreibungstexte für die verwendeten Ventilatoren „RLM 56“ für die Zu- und Abluftseite erstellt. Mit der Software ist es möglich, die Ventilatoren auf die benötigte Druckerhöhung und den benötigten Volumenstrom auszuliegen. Der Ausschreibungstext befindet sich im Anhang A1 und A2.

Die für diese Untersuchung relevanten Angaben sind in Tabelle 7 wiedergegeben.

1 Bei dem angegebenen Wirkungsgrad auf dem Datenblatt des RLT-Geräts handelt es sich um den Systemwirkungsgrad des Motors und des Frequenzumformers. [Telefongespräch mit Herrn Scharf vom technischen Vertrieb (AL-KO) vom 08.08.2017].

2 Bei den im Datenblatt der RLT-Anlage angegebenen Betriebsdrehzahl und der Betriebsfrequenz, berechnet sich die Anzahl der Polpaare des Motors in der Zuluft-Einheit zu: $p = (f \cdot 60) / n = (60 \text{ Hz} \cdot 60) / 1754 \text{ 1/min} \approx 2 \rightarrow 4 \text{ Pole}$ und bei der Ablufteinheit zu: $p = (60 \text{ Hz} \cdot 60) / 2133 \text{ 1/min} \approx 2 \rightarrow 4 \text{ Pole}$

Tabelle 7: Relevante technische Daten aus dem Ausschreibungstext der Ventilatoren. [Nicotra Gebhardt, 2017].

Beschreibung	Abluftseite	Zuluftseite
Ventilator typ	Radial	Radial
Lauf rad	Rückwärtsgekrümmt	Rückwärtsgekrümmt
Antrieb	Direkt	Direkt
Einbauart der Ventilatoren	Fertig montiert, ohne Gehäuse	Fertig montiert, ohne Gehäuse

Zu beachten ist, dass die Ventilatoren des Ausschreibungstextes nicht mit demselben Motor wie die in der Referenzanlage angetrieben werden. Deshalb können nur die technischen Daten der Ventilatoren betrachtet werden.

Abbildung 10 zeigt eine schematische Darstellung der Flusslinie des zu untersuchenden Ventilator typs. Dargestellt ist die Strömung des Luftstromes bei laufendem Ventilator. Gut dargestellt ist ebenfalls der Motor mit dem der Ventilator direkt antreibt.

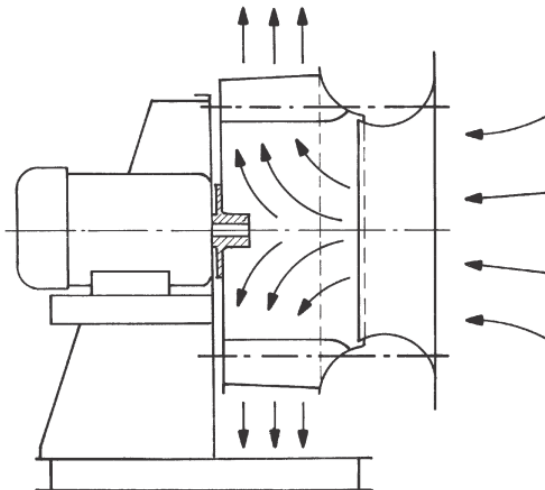


Abbildung 10: Darstellung eines direkt angetriebenen Radialventilators ohne Gehäuse [Grundmann & Schönholtz, 2013].

4.2.2 Annahmen für Gebäude und Anlage

Auf den Datenblättern befinden sich keine weiteren Angaben zu dem Gebäude, welches von der RLT-Anlage versorgt wird. Um die Anforderungen aus Abschnitt 3 korrekt zuzuordnen, ist es notwendig, bestimmte Annahmen zu treffen. Die in Tabelle 8 genannten Annahmen haben keinen Einfluss auf den elektrischen Energiebedarf von RLT-Anlagen. Die Annahmen dienen lediglich als Grundlage zur Interpretation der Geltungsbereiche aus den Verordnungen.

Für die Untersuchung gelten folgende Annahmen:

- Umgebungstemperatur: -12°C bis 35°C
- Mittlerer Temperaturbereich, innen: 15°C bis 30°C
- Gebäudenutzung: Produktionshalle
- Befreiung nach EnEV: Nicht vorhanden
- Besonders zu erhaltendes Gebäude: Nein

Die Annahmen aus Tabelle 8 haben einen direkten oder indirekten Einfluss auf den elektrischen Energiebedarf von RLT-Anlagen. Deshalb sind diese Annahmen gemeinsam mit dem Ingenieurbüro Thiele und Geh und mithilfe von Fachzeitschriften sowie Normen aus den Jahren 2003 bis 2009 nach dem Stand der Technik (damals und heute) erstellt.

Tabelle 8: Annahmen mit Einfluss auf den Energiebedarf, die nicht dem Datenblatt entnommen werden können [Abgestimmte Annahmen].

Bedeutung	Formelzeichen	Einheit	Zuluftseite	Abluftseite
Betriebszeit ³	b_{hv}	h/a	2 350	2 350
Dichte der Luft	ρ	kg/m ³	1,2	1,2
Kompressibilitätskoeffizient ⁴	k_p	[-]	1	1
Druckverlust Luftdurchlass ⁵	Δp_{cas}	Pa	100	100
Externer Druckverlust Abluftseite ⁶	Δp_{ext}	Pa	(s.Tab.6)	500
Wirkungsgrad Regelung ⁷	η_r	[-]	0,97	0,97
Statischer Druckverlust	Δp_{stat}	Pa	1 119	914

4.3 Überprüfung des Geltungsbereiches

Um festzustellen, ob das RLT-Gerät bzw. eine Baugruppe der Anlage von einer Verordnung betroffen ist, werden die Bedingungen der Geltungsbereiche aus Abschnitt 3 mit den Angaben und Annahmen der RLT-Anlage verglichen. Die Ergebnisse der Überprüfung sind der Tabelle 9 zu entnehmen.

³ Laut Studie zur Entwicklung des Energiebedarfs in RLT-Anlagen des Umwelt-Campus Birkenfeldt, beträgt die jährliche Laufzeit einer Durchschnittsanlage 2350 h und entspricht einen 1-Schichtbetrieb [Kaup & Kampeis, 2014].

⁴ „Die Druckabhängigkeit der Dichte ist bei den in der Lüftungstechnik auftretenden Druckdifferenzen so gering, dass man sie vernachlässigt, d.h. Luft wird als nicht zusammendrückbar angenommen“ [Grundmann & Schönholz, 2013, S. 7]. Damit wird der Kompressibilitätskoeffizient = 1 angenommen.

⁵ Die statische Druckerhöhung des Zuluftventilators beträgt 1119 Pa wobei 519 Pa auf den internen Druck zurückzuführen sind (siehe Gerätedaten). Bei 500 Pa externem Druck verbleiben 100 Pa Druckverlust für den Luftaus- und -einlass. Auch gibt die DIN EN 13779 100 Pa als Beispiel für einen Luftdurchlass der Kategorie „Hoch“ an [DIN EN 13779; 2007, S.54].

⁶ Es ist üblich, dass der externe Druckverlust der Abluftseite annähernd denselben Wert aufweist wie die Zuluftseite.

⁷ Die DIN EN 13779 (2007) gibt Beispiele von Wirkungsgraden an und kategorisiert diese in niedrig, normal und hoch. Die Annahmen wurden aus der Kategorie „hoch“ übernommen, da sich die angegebenen Wirkungsgrade für Ventilator und Motor ebenfalls in dieser Kategorie befinden [DIN EN 13779, 2007, S. 68].

Tabelle 9: Ergebnisse der Überprüfung des Geltungsbereiches.

Verordnungen	Status
EnEV	Erfüllt
VO 640/2009	Erfüllt
VO 327/2011	Erfüllt
VO 1257/2014	Erfüllt

Aus der Tabelle 9 geht hervor, dass die Bedingungen des Geltungsbereiches für die vier Verordnungen erfüllt werden. Das bedeutet, dass die jeweils aufgeführten Anforderungen für die Referenzanlage verbindlich sind.

4.4 Berechnung der Referenzwerte

Damit festgestellt werden kann, welche Baugruppen nicht den Mindestanforderungen entsprechen, wird im nächsten Abschnitt der Real-Wert nach den Gleichungen aus Abschnitt 3 berechnet.

4.4.1 Spezifische Ventilatorleistung

Der statische Gesamtwirkungsgrad berechnet sich als:

$$\eta_{\text{stat}} = \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{stat,v}} \quad (10)$$

Mit den Angaben aus Tabelle 6 und 7 ergibt sich für den Zuluftventilator:

$$\eta_{\text{stat,zu}} = \eta_{r,\text{zu}} \cdot \eta_{m,\text{zu}} \cdot \eta_{\text{stat,v,zu}} = 0,97 \cdot 0,87 \cdot 0,69 = 0,60$$

und für den Abluftventilator:

$$\eta_{\text{stat,ab}} = \eta_{r,\text{ab}} \cdot \eta_{m,\text{ab}} \cdot \eta_{\text{stat,v,ab}} = 0,97 \cdot 0,87 \cdot 0,63 = 0,55$$

Mit Gleichung (1) lassen sich die spezifischen Ventilatorleistungen des Zu- und Abluftventilators berechnen:

$$P_{SFP,\text{zu}} = \frac{\Delta p_{\text{stat,zu}}}{\eta_{\text{stat,zu}}} = \frac{1119 \text{ Pa}}{0,60} = 1,9 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

$$P_{SFP,\text{ab}} = \frac{\Delta p_{\text{stat,ab}}}{\eta_{\text{stat,ab}}} = \frac{914 \text{ Pa}}{0,55} = 1,7 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

Zur Überprüfung der Werte dient das Datenblatt des Ventilators im Anhang A1 und A2. Es wird festgestellt, dass die Ergebnisse für die spezifische Ventilatorleistung zwischen 1 % und 2 % abweichen. Die Ergebnisse werden demzufolge als plausibel angenommen.

4.4.2 Wirkungsgrad der Motoren

Nach Gleichung (2) und der bekannten Systemleistungsaufnahme aus dem Datenblatt und der Annahme, dass $\eta_r=0,97$ ist, wird mit der ebenfalls gegebenen Ausgangsleistung der Motoren, der Wirkungsgrad der Motoren berechnet:

$$\eta_{m,zu} = \frac{P_{2,m,zu}}{P_{1,m,zu}} = \frac{P_{2,m,zu}}{P_{e,zu} \cdot \eta_r} = \frac{6,7 \text{ kW}}{7,7 \text{ kW} \cdot 0,97} = 0,90$$

$$\eta_{m,ab} = \frac{P_{2,m,ab}}{P_{1,m,ab}} = \frac{P_{2,m,ab}}{P_{e,ab} \cdot \eta_r} = \frac{6,1 \text{ kW}}{7,0 \text{ kW} \cdot 0,97} = 0,90$$

Zur Überprüfung auf Plausibilität dienen die Angaben aus der DIN EN 13779 aus dem Jahr 2007. Dort ist ein Motor < 7,5 kW Eingangsleistung mit $\eta_m=90\%$ in der Kategorie „hoch“ eingeordnet.

Der berechnete Wirkungsgrad der Motoren wird ebenfalls als plausibel angenommen.

4.4.3 Energieeffizienz der Ventilatoren

Die Gesamteffizienz der Zu- und Abluftventilatoren wird nach dem im Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Ablauf berechnet.

Mit Gleichung (5) und den Angaben aus Tabelle 6 folgt für die Abluft- und Zuluftseite die Berechnung der benötigten Ventilatorgasleistung:

$$P_{u,zu} = \Delta p_{\text{stat},zu} \cdot \dot{V}_{zu} \cdot k_p = 1119 \text{ Pa} \cdot 4,17 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1 = 4666 \text{ W}$$

$$P_{u,ab} = \Delta p_{\text{stat},ab} \cdot \dot{V}_{ab} \cdot k_p = 914 \text{ Pa} \cdot 4,17 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1 = 3784 \text{ W}$$

Der Leistungsbedarf wird mit der Gleichung (11) nach DIN EN 16798-3 ermittelt:

$$P_e = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{\text{tot}}}{\eta_{\text{tot}}} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{\text{stat}}}{\eta_{\text{stat}}} \quad (11)$$

Damit berechnet sich der Leistungsbedarf der Zu- und Abluftventilatoren zu:

$$P_{e,zu} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{\text{stat},zu}}{\eta_{\text{stat},zu}} = \frac{4,17 \text{ (m}^3/\text{s)} \cdot 1119 \text{ Pa}}{0,60} = 7777 \text{ W}$$

$$P_{e,ab} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{\text{stat},ab}}{\eta_{\text{stat},ab}} = \frac{4,17 \text{ (m}^3/\text{s)} \cdot 914 \text{ Pa}}{0,55} = 6930 \text{ W}$$

Nach Gleichung (4) betragen die Energieeffizienzen der Zu- und Abluftventilatoren:

$$\eta_{e,zu} = \frac{P_{u,zu}}{P_{e,zu}} \cdot C_c = \frac{4666 \text{ W}}{7777 \text{ W}} \cdot 1,04 = 0,62$$

$$\eta_{e,ab} = \frac{P_{u,zu}}{P_{e,ab}} \cdot C_c = \frac{3784 \text{ W}}{6930 \text{ W}} \cdot 1,04 = 0,57$$

Anmerkung:

Der Leistungsbedarf eines Ventilators entspricht der Systemleistungsaufnahme. Diese ist im Datenblatt der RLT-Anlage mit $P_{e,zu}=7,7 \text{ kW}$ und im Ausschreibungstext des Ventilators mit $P_{e,zu}=7,77 \text{ kW}$ angegeben. In dieser Untersuchung wird mit dem berechneten Wert $P_{e,zu}=7,8 \text{ kW}$ und $P_{e,ab}=6,9 \text{ kW}$ weitergerechnet.

4.4.4 Interne spezifische Ventilatorleistung

Die interne spezifische Ventilatorleistung ergibt sich mit den Werten aus Tabelle 6 und 9 nach Gleichung (9) zu:

$$SFP_{\text{int}} = \frac{\Delta p_{\text{stat,int,zu}}}{\eta_{\text{stat,zu}}} + \frac{\Delta p_{\text{stat,int,ab}}}{\eta_{\text{stat,ab}}}$$

mit $\Delta p_{\text{stat,int}} = \Delta p_{\text{wrg}} + \Delta p_{\text{f}} + \Delta p_{\text{cas}}$

folgt:

$$SFP_{\text{int}} = \frac{(118+96+100)\text{Pa}}{0,60} + \frac{(152+120+100)\text{Pa}}{0,55} = 1,20 \frac{\text{kW}}{(\text{m}^3/\text{s})}$$

4.4.5 Energiebedarf der Referenzanlage

Der Jahresenergiebedarf eines Ventilators ist das Produkt aus den jährlichen Betriebsstunden und der Summe aus dem Leistungsbedarf der Ventilatoren:

$$E_0 = (P_{e,zu} + P_{e,ab}) \cdot b_{\text{hv}} \quad (12)$$

Der Leistungsbedarf für die Ventilatoren entspricht dem Ergebnis aus 4.4.3

Dabei ist

E_0	der Jahresenergiebedarf der gesamten Anlage [MWh/a];
b_{hv}	die Betriebsstunden der Anlage im Jahr [h];
P_e	die Wirkleistung bezogen aus dem Stromnetz [kW];

Der Jahresenergiebedarf der Referenzanlage beträgt nach Gleichung (11):

$$E_0 = (P_{\text{main,zu}} + P_{\text{main,ab}}) \cdot b_{\text{hv}} = (7,8 + 6,9) \text{ kW} \cdot 2350 \text{ h/a} = 34,5 \text{ MWh/a}$$

4.5 Vergleich der Anlage

Die Studie „Energieeffizienz von RLT-Geräten“ vom Umwelt-Campus Birkenfeld aus dem Jahr 2010 gibt Durchschnittswerte von 13.893 RLT-Geräten wieder, die in den Jahren 2003 bis 2009 ausgelegt wurden. Die relevanten Werte werden in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Durchschnittswerte RLT-Anlagen 2003 bis 2009 [vgl. Kaup,2010] und Werte der Referenzanlage.

Nr.	Parameter	Durchschnitt Studie	Referenzanlage
1	\dot{V}_{zu}	4,02 m ³ /s	4,17 m ³ /s
2	\dot{V}_{ab}	3,85 m ³ /s	4,17 m ³ /s
3	$\Delta p_{ext,zu}$	587 Pa	500 Pa
4	$\Delta p_{ext,ab}$	544 Pa	500 Pa
5	$\Delta p_{int,zu}$	528 Pa	519 Pa
6	$\Delta p_{int,ab}$	358 Pa	314 Pa
7	$\eta_{stat,zu}$	0,55	0,60
8	$\eta_{stat,ab}$	0,54	0,55
9	$\Delta p_{stat,zu}$	1 054 Pa	1 119 Pa
10	$\Delta p_{stat,ab}$	848 Pa	914 Pa
11	$P_{SFP,zu}$	1,9 kW/(m ³ /s)	1,9 kW/(m ³ /s)
12	$P_{SFP,ab}$	1,6 kW/(m ³ /s)	1,7 kW/(m ³ /s)
13	$P_{2,m,zu}$	6,2 kW	6,7 kW
14	$P_{2,m,ab}$	4,9 kW	6,1 kW

Die Angaben der Parameter 1 bis 4 geben Aufschluss über die gebäudebedingten Anforderungen. Im Vergleich zu der Referenzanlage zeigt sich ein von 4 % bis 8 % geringerer Volumenstrom und ein 9 % bis 17 % höherer Druckverlust in den Luftleitungen. Die Parameter 5 und 6 geben Aufschluss über den durch interne Bauteile verursachten Druckverlust im Gerät. Hier weist die Referenzanlage einen um 2 % geringeren Druckverlust auf der Zuluftseite auf und einen 14 % geringeren Druckverlust auf der Abluftseite.

Da die Studie weder Angaben zu den vorhandenen Wärmerückgewinnungssystemen noch über andere zusätzliche Bauteile wie Befeuchter oder Schalldämpfer liefert, sind die Differenzen nicht deutlich einzuordnen.

Die Parameter 7 bis 14 geben Auskunft über die Effizienz der Anlage. Hier zeigt sich, dass die Zuluftventilator-Einheit der Referenzanlage einen 5 % besseren statischen Systemwirkungsgrad aufzeigt, wobei die Ablufteinheit einen wesentlich geringeren Unterschied von nur 1 % aufweist.

Überraschend sind die größeren Unterschiede der Wellenleistung. Die Ausgangsleistung des Motors auf der Abluftseite der Referenzanlage weist 20 % mehr Leistung auf als der Motor auf der Zuluftseite, obwohl der Systemwirkungsgrad annähernd gleich ist. Der entscheidende Faktor ist hier der geringere Volumenstrom. Die Referenzanlage ist voll ausgeglichen, der Abluftvolumenstrom entspricht gleich dem Zuluftvolumenstrom. Die Ergebnisse der Studie zeigen allerdings, dass im Durchschnitt die RLT-Anlagen nicht ausgeglichen sind, sodass der Abluftventilator weniger Luft transportiert als der Zuluftventilator.

Insgesamt zeigt sich, dass die Wirkungsgrade der Referenzanlagen besser sind als die der Durchschnittsanlage, wobei die spezifische Ventilatorleistung der Abluftseite geringfügig schlechter ist als die der Durchschnittsanlage.

Trotz der Differenzen lässt sich feststellen, dass die ausgewählte Referenzanlage als repräsentativ für eine in Deutschland installierte RLT-Anlage anzunehmen ist.

5 Berechnung der Anforderungswerte

In diesem Abschnitt werden erst die anlagenspezifischen Mindestanforderungen dargestellt. Anschließend werden diese chronologisch auf die Bauteile der Referenzanlage angewandt, um im nächsten Abschnitt Auskunft über die Auswirkung auf den Energiebedarf zu geben.

5.1 Berechnung der Mindestanforderungen

Die Werte für die einzuhaltenden Mindestanforderungen sind den anlagenspezifischen Werten aus Abschnitt 4 und den Angaben zum Geltungsbereich aus den Tabellen der Abschnitte 3.1.2; 3.2.2; 3.3.2 und 3.4.2 zu entnehmen.

5.1.1 Spezifische Ventilatorleistung

Dem Datenblatt der Referenzanlage ist zu entnehmen, dass zusätzlich zur Wärmerückgewinnung ein Heiz- und ein Kühlregister vorhanden sind. Daraus folgt, dass die Anlage eine Luftkonditionierung aufweist und die Anforderungen nach den Angaben aus Tabelle 3 anzuwenden sind.

Die Mindestanforderungen an die spezifische Ventilatorleistung ergeben sich daher zu:

- 2004-2007 → Keine Anforderung
- 2007-2009 → $P_{SFP,zu}=2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ und $P_{SFP,ab}=1,25 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- 2009-2014 → $P_{SFP,zu}=1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ und $P_{SFP,ab}=1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- 2014-heute → Keine weitere Verschärfung

5.1.2 Motorwirkungsgrad

Die Anforderungswerte sind aus den Tabellen 4 und 5 zu entnehmen. Dazu wird die in Tabelle 6 angegebene Anzahl der Pole sowie die Nennausgangsleistung $P_{2,m}$ der Motoren benötigt.

Die Mindestanforderungen nach VO640/2009 an die Elektromotoren ergeben sich ab 2011 nach Tabelle 4. Der Motor der Referenzanlage ist 4-polig und hat eine Nennausgangsleistung 5,5 kW bis 7,5 kW. Aus der Tabelle ist zu entnehmen:

- Zuluftseite $\eta_{m,ziel,2011}=0,877$
- Abluftseite $\eta_{m,ziel,2011}=0,877$

Da die Nennausgangsleistung der Motoren $< 7,5 \text{ kW}$ beträgt, gilt die Verschärfung von 2015 nicht für die zu betrachtenden Motoren.

Ab 2017 müssen die Motoreffizienzen der Anforderung IE3 nach Tabelle 5 entsprechen:

- Zuluftseite $\eta_{m,ziel,2017}=0,896$
- Abluftseite $\eta_{m,ziel,2017}=0,896$

5.1.3 Energieeffizienz der Ventilatoren

Um den Zielwert des Ventilatorwirkungsgrades zu bestimmen, werden die Informationen über den Ventilator typ aus den Datenblättern der Ventilatoren benötigt. Bei den verwendeten Ventilatoren handelt es sich um Radialventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln ohne Gehäuse. Demnach wird der zu erfüllende Anforderungswert für die Zu- und Abluftventilatoren nach Gleichung (3) berechnet:

$$\eta_{\text{Ziel,zu,2013}} = 4,56 \cdot \ln(P_{1,\text{opt,m,zu}}) - 10,5 + N = 4,56 \cdot \ln(7,7 \text{ kW}) - 10,5 + 58 = 0,57$$

$$\eta_{\text{Ziel,ab,2013}} = 4,56 \cdot \ln(P_{1,\text{opt,m,ab}}) - 10,5 + N = 4,56 \cdot \ln(7,0 \text{ kW}) - 10,5 + 58 = 0,57$$

$$\eta_{\text{Ziel,zu,2015}} = 4,56 \cdot \ln(P_{1,\text{opt,m,zu}}) - 10,5 + N = 4,56 \cdot \ln(7,7 \text{ kW}) - 10,5 + 62 = 0,61$$

$$\eta_{\text{Ziel,ab,2015}} = 4,56 \cdot \ln(P_{1,\text{opt,m,ab}}) - 10,5 + N = 4,56 \cdot \ln(7,0 \text{ kW}) - 10,5 + 62 = 0,60$$

Zu beachten ist hier, dass ohne die Anlagen- sowie Motor- und Ventilator kennlinie nicht auf das Energieeffizienzoptimum geschlossen werden kann. In diese Untersuchung wird demzufolge davon ausgegangen, dass die Auslegung aus 2005 gleich dem Effizienzoptimum entspricht.

5.1.4 Interne spezifische Ventilatorleistung

Aus dem Datenblatt sind folgende Informationen zu entnehmen:

- Volumenstrom >2 m³/s
- Wärmerückgewinnungssystem=KVS mit Rückwärmezahl 35 %

Demnach gilt für die Einhaltung der Mindestanforderung ab 2016 die Gleichung (7.b) und ab 2018 die Gleichung (8.b).

Da weder ein Effizienzbonus noch Filterkorrekturen angewandt werden, sind die Werte für E und F=0 zu setzen. Demnach ergibt sich:

- $SFP_{\text{int_limit,2016}} = 1,4 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- $SFP_{\text{int_limit,2018}} = 1,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

5.1.5 Überblick der Mindestanforderungen

In Tabelle 11 sind die zu erfüllenden Mindestanforderungswerte aus diesem Abschnitt zusammengefasst.

Tabelle 11: Zusammenfassung der anlagenspezifischen Anforderungswerte [Eigene Darstellung].

Beschreibung	Formelzeichen	Jahr	Zuluftventilator	Abluftventilator
Spez. Ventilatorleistung	P_{SFP}	2007	2,0 kW/(m ³ /s)	1,25 kW/(m ³ /s)
		2009	1,5 kW/(m ³ /s)	1,0 kW/(m ³ /s)
Motor-Wirkungsgrad	$\eta_{m,ziel}$	2011	0,877	0,877
		2015	0,896	0,896
Ventilator-Wirkungsgrad	η_{ziel}	2013	0,57	0,57
		2015	0,61	0,60
Lüftungsgerät	SFP_{int}	2016	1,4 kW/(m ³ /s)	
		2018	1,3 kW/(m ³ /s)	

5.2 Anwendung der Anforderungen

5.2.1 Spezifische Ventilatorleistung

Die Überprüfung der spezifischen Ventilatorleistung der Anlage ergibt, dass $P_{SFP, zu}$ bereits die Anforderung für 2007 erfüllt und $P_{SFP, ab}$ von 1,7 kW/(m³/s) um 450 W/(m³/s) auf 1,25 kW/(m³/s) reduziert werden muss. Die Verschärfung aus 2009 führt dazu, dass $P_{SFP, zu}$ von 1,9 kW/(m³/s) um 0,4 kW/(m³/s) auf 1,5 kW/(m³/s) und $P_{SFP, ab}$ von 1,25 kW/(m³/s) um 0,25 kW/(m³/s) auf 1,0 kW/(m³/s) reduziert werden muss.

Aus Gleichung (1) wird ersichtlich, dass dies durch eine Steigerung von η_{stat} oder durch eine Reduzierung von Δp_{stat} möglich ist. Da es zu der Zeit der EnEV-Anforderung noch keine ErP-Anforderungen an die Effizienz von Motor oder Ventilator gab, ist eine Reduzierung von Δp_{stat} , durch breitere Lüftungsleitungen, die naheliegendere Möglichkeit, um Δp_{stat} herabzusetzen. Damit die nötige Druckreduzierung bestimmt werden kann, wird die Gleichung (1) zu Δp_{stat} umgestellt:

$$\Delta p_{stat} = P_{SFP} \cdot \eta_{stat} \quad (13)$$

Mit Gleichung (13) sowie den Anforderungswerten der EnEV für die spezifische Ventilatorleistung aus Tabelle 11 sowie dem statischen Wirkungsgrad der Ventilatoren aus Tabelle 6 wird die statische Druckerhöhung der Zu- und Abluftventilatoren berechnet.

Abbildung 11 stellt die Ergebnisse der Berechnung dar. Es ist eine deutliche Reduzierung der Druckerhöhung auf der Abluftseite zu erkennen. Die Anforderung reduziert die Druckerhöhung der Zuluftseite von 1 119 Pa um 20 % auf 900 Pa sowie auf der Abluftseite insgesamt von 914 Pa um 40 % auf 550 Pa.

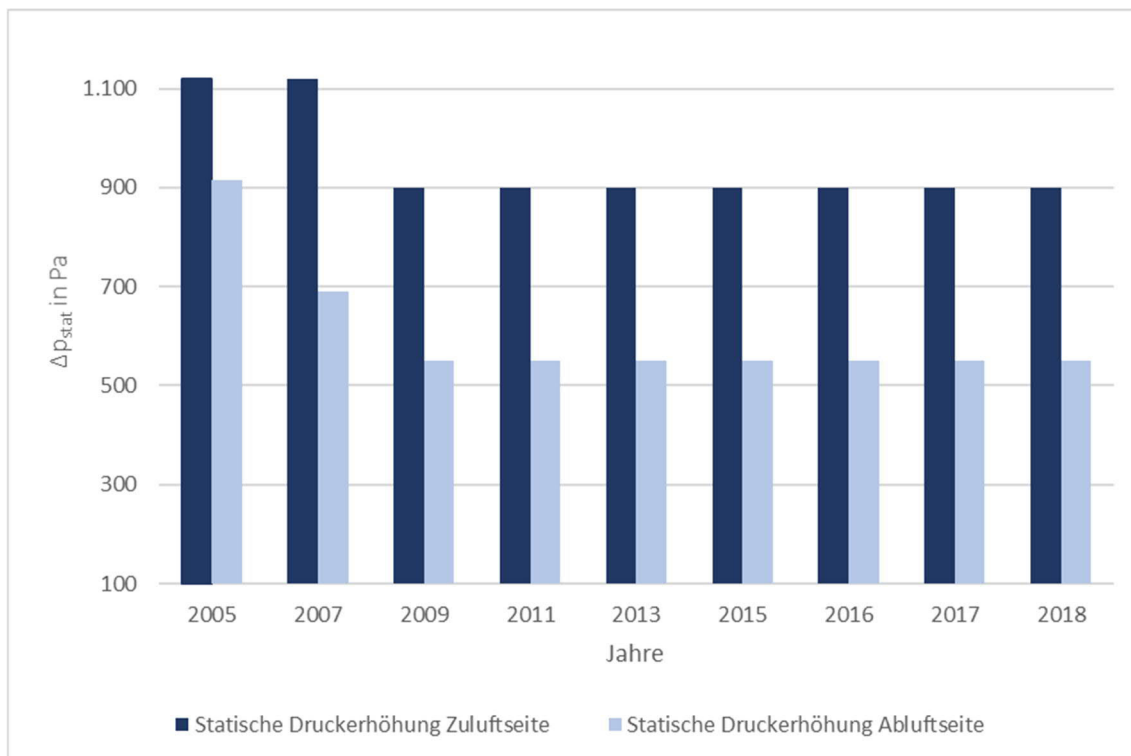


Abbildung 11: Auswirkung der EnEV-Anforderung auf die statische Druckerhöhung [Eigene Darstellung].

In Abbildung 12 ist die Auswirkung der Limitierung von Δp_{stat} auf die spezifische Ventilatorleistung dargestellt. Auf der Abluftseite ist die Auswirkung deutlich stärker erkennbar.

Es ist anzumerken, dass die Reduzierung auf der Abluftseite im Jahr 2015 keine Auswirkung der EnEV, sondern eine Auswirkung der ErP ist. Im Abschnitt 5.4 wird diese Auswirkung detaillierter untersucht.

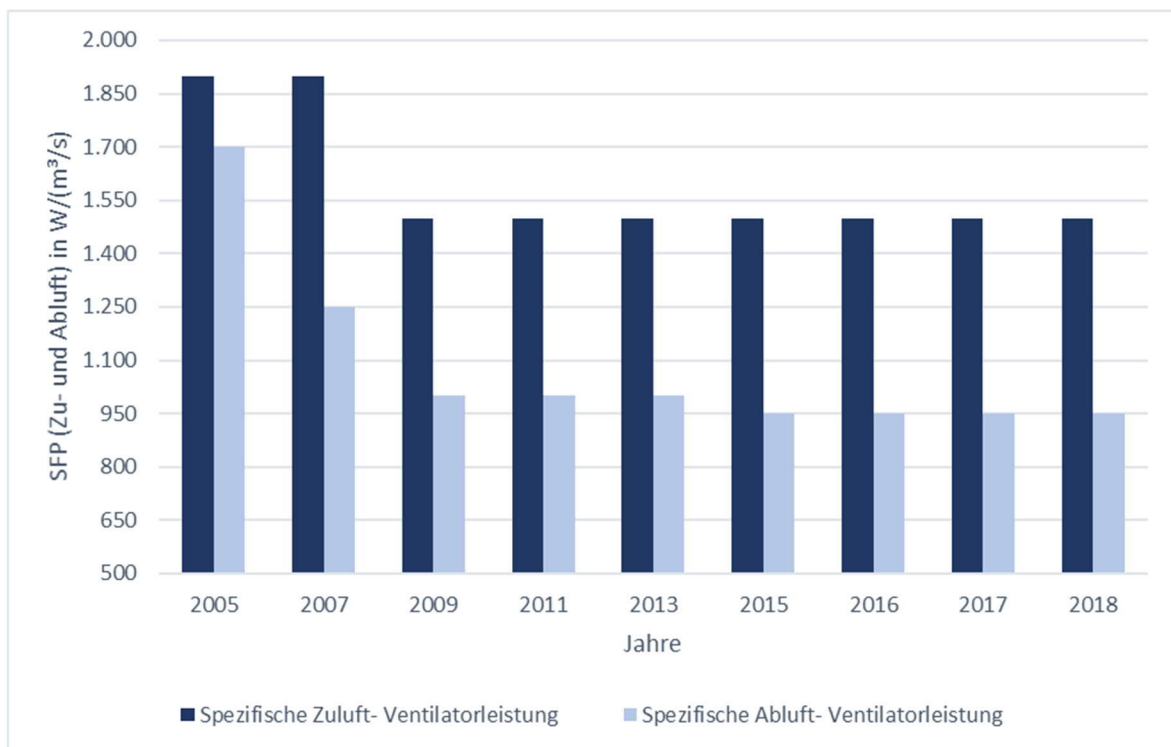


Abbildung 12: Auswirkung der EnEV-Anforderung auf die spezifische Ventilatorleistung [Eigene Darstellung].

5.2.2 Motorwirkungsgrad

Die Berechnung des Motorwirkungsgrades ergibt, dass dieser bei den Motoren der Referenzanlage bereits 0,90 beträgt und somit alle Anforderungen aus der VO640/2009 für die Jahre 2011 und 2017 erfüllt sind. Dies bedeutet, dass die Anforderungen an die Motoren keine Veränderung des Energiebedarfes bewirken. Eine Abbildung der Berechnung ist daher nicht notwendig.

5.2.3 Energieeffizienz der Ventilatoren

Die Energieeffizienz von Zu- und Abluftventilatoren der Referenzanlage erfüllt bereits die Anforderungen der VO327/2011 aus 2013. Die im Jahr 2015 eingeführte 2. Stufe wird von dem Zuluftventilator ebenfalls erfüllt. Der Abluftventilator weist mit $\eta_{v,ab}=0,57$ einen 3 % geringeren Wirkungsgrad auf als 2015 gefordert. Um der Anforderung nachzukommen, muss der statische Wirkungsgrad des Abluftventilators um diese 3 % erhöht werden. Deutlich wird dies durch Umstellung der Gleichung aus Abschnitt 4.4.3:

$$\eta_{e,ab} = \frac{P_u}{P_{e,ab}} \cdot C_c = \frac{\Delta p_{stat,ab} \cdot \dot{V}_{ab} \cdot k_p}{\Delta p_{stat,ab} \cdot \dot{V}_{ab}} \cdot C_c = \eta_{stat,ab} \cdot k_p \cdot C_c$$

Mit Wirkungsgrad der einzelnen Bauteile zu:

$$\eta_{e,ab} = \eta_{r,ab} \cdot \eta_{m,ab} \cdot \eta_{stat,v,ab} \cdot k_p \cdot C_c \leftrightarrow \eta_{stat,v,ab} = \frac{\eta_{e,ab}}{\eta_{r,ab} \cdot \eta_{m,ab} \cdot k_p \cdot C_c} \quad (14)$$

mit $\eta_{v,ab} \stackrel{!}{=} 0,60$

$$\eta_{stat,v,ab} = \frac{0,60}{0,97 \cdot 0,90 \cdot 1 \cdot 1,04} = 0,66$$

Kontrolle:

$$\eta_{e,ab} = \eta_{r,ab} \cdot \eta_{m,ab} \cdot \eta_{stat,v,ab} \cdot k_p \cdot C_c = 0,97 \cdot 0,90 \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 1,04 = 0,60$$

Alternativ kann auch der Wirkungsgrad der Drehzahlregelung oder des Motors erhöht werden. Da Ventilatoren heutzutage einen statischen Wirkungsgrad von 0,77 erreichen können [AL-KO Datenblatt, 2017], wird in dieser Berechnung davon ausgegangen, dass der statische Wirkungsgrad des Abluftventilators durch beispielsweise Einsatz effizienterer Schaufeln erhöht wird. In Abbildung 13 ist die Auswirkung der VO327/2011 auf die Ventilatoreinheiten dargestellt. Erstaunlich ist, dass die Ventilatoreffizienz der Ablufteinheit bereits 2005 die Anforderung von 2015 erfüllt.

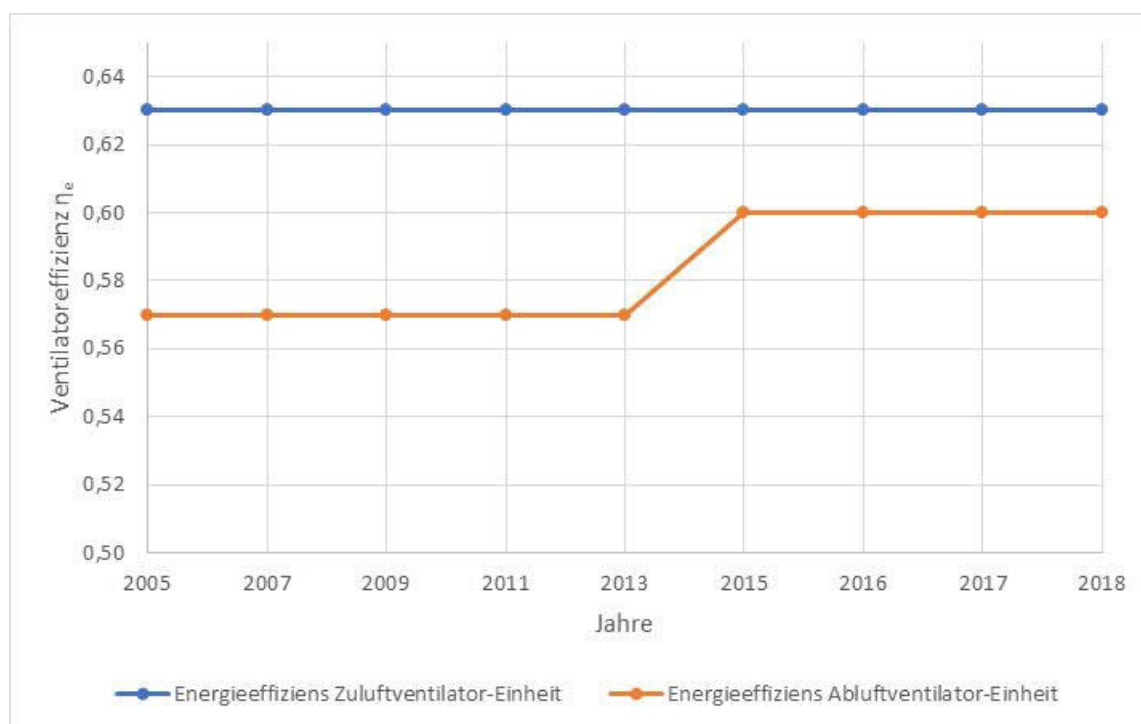


Abbildung 13: Auswirkung der ErP-Anforderung auf die Ventilatoreffizienz [Eigene Darstellung].

5.2.4 Lüftungsgerät

Die Berechnung der internen spezifischen Ventilatorleistung ergibt, dass die beiden Anforderungen aus der VO1257/2014 für 2016 und 2018 bereits erfüllt werden. Dies liegt insbesondere an den geringen Druckabfällen an der Wärmerückgewinnungseinheit. Die Referenzanlage weist eine Rückwärmezahl von lediglich 35 % auf. Je höher die

Rückwärmezahl, desto höher der Druckwiderstand der Wärmerückgewinnungseinheit [Kaup & Kampeis, 2014].

Da von der EnEV und ErP ebenfalls eine Mindestrückwärmezahl gefordert wird, (siehe Abschnitt 3.4.2) wird davon ausgegangen, dass dies zu einem höheren Druckabfall und somit zu einer Steigung der internen spezifischen Ventilatorleistung führt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde keine Analyse über die Auswirkungen der Wärmerückgewinnungs-Anforderungen auf die Ventilatorleistung angestellt. Deshalb wird folglich keine Auswirkung aufgrund der VO1257/2014 festgestellt.

6 Ergebnisse

6.1 Leistungsbedarf der Zu- und Abluftventilatoren

Der Leistungsbedarf der Ventilatereinheiten wird durch die EnEV-Anforderungen signifikant reduziert. Wie Abbildung 14 verdeutlicht, ist eine Reduzierung des Leistungsbedarfs des Abluftventilators durch die Anforderung der EnEV 2007 bis 2009 um 39 % von 6,9 kW auf 4,2 kW möglich. Eine weitere Reduzierung von 4,2 kW auf 3,8 kW ist durch die Verbesserung des Ventilatorwirkungsgrades um 3 % aus der Anforderung VO 327/2011 resultiert. Damit kann der Leistungsbedarf des Abluftventilators um insgesamt 45 % reduziert werden.

Der Leistungsbedarf des Zuluftventilators wird von der EnEV 2009 um 19 % von 7,8 kW auf 6,3 kW limitiert und wird in Abbildung 14 ebenfalls dargestellt.

Die gesamte Reduzierung der Anlage beträgt:

$$(6,9 - 4,2) \text{ kW} + (7,8 - 6,3) \text{ kW} = 4,6 \text{ kW}$$

Überraschend ist, dass 91 % der Reduzierung aus den Anforderungen der EnEV erfolgt und lediglich 9 % aus der ErP heraus.

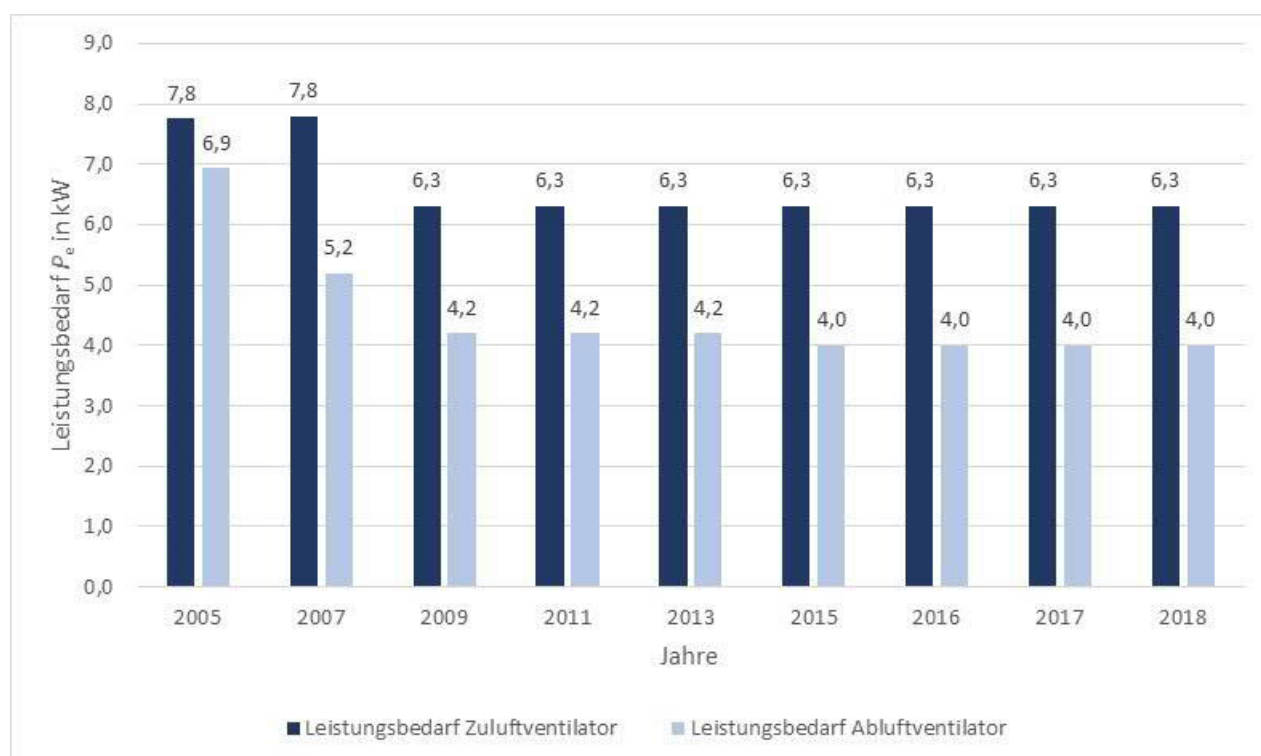


Abbildung 14: Auswirkungen der Anforderungen auf den Leistungsbedarf der Zu- und Abluftventilatoren [Eigene Darstellung].

6.2 Energiebedarf

Für diese Untersuchung wurden die durchschnittlichen Jahresbetriebsstunden eines Einschichtbetriebs angesetzt. Diese beträgt 2 350 h im Jahr [Kaup, 2013]. Mit der Gleichung (12) und den Ergebnissen aus Abschnitt 5, wird der Jahresenergiebedarf der RLT-Anlage mit den zugehörigen Zu- und Abluftventilatoren berechnet. Zu beachten ist, dass mögliche Hilfsenergien, wie beispielsweise für Pumpen der Heiz- und Kühlflüssigkeiten Beförderung, nicht in die Betrachtung mit einfließen.

In Abbildung 15 sind die anforderungsbedingten Änderungen des Jahresenergiebedarfs dargestellt. Daraus wird ersichtlich dass die größte Einsparung durch die erlassenen Anforderungen im Jahr 2009 resultiert. Dadurch wird der Energiebedarf von 30,6 MWh/a um 5,9 MWh/a auf 24,7 MWh/a gesenkt. Die zweit größte Einsparung von 34,5 MWh/a um 3,8 MWh/a auf 30,6 MWh/a wird durch die 2007 erlassene Anforderung erreicht. Die geringste Einsparung von 0,5 MWh/a von 24,7 MWh/a auf 24,2 MWh/a, wird durch die ErP Anforderung von 2015 erreicht.

Auch bei dem Jahresenergiebedarf sticht raus, dass die wesentlichen Änderungen in den Jahren 2007 und 2009 stattfinden und dass ab diesen Zeitpunkt die weitere Einsparung vergleichsweise niedrig ist.

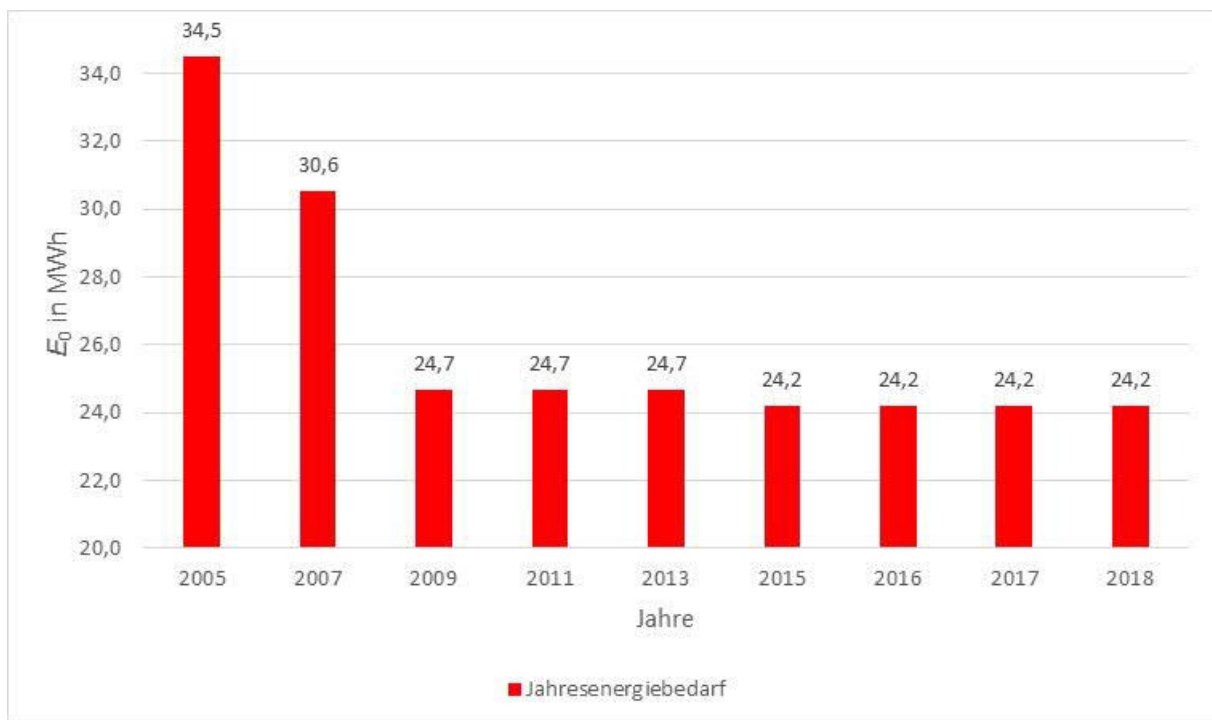


Abbildung 15: Anforderungsbedingte Änderungen des Jahresenergiebedarfs [Eigene Darstellung].

6.3 Vergleich des Energiebedarfes

Um die gesamten Auswirkungen der Anforderungen auf den Energiebedarf der Referenzanlage zu veranschaulichen, dient der Vergleich der Abbildungen 16 und 17. Die Grafiken stellen den Jahresenergiefluss der gesamten RLT-Anlage mit auftretenden Verlusten der einzelnen Bauteile dar. Die Angaben in Abbildung 16 beziehen sich auf die Referenzanlage aus dem Jahr 2005 ohne Anwendung der Anforderungen. Die Angaben in der Abbildung 17 beziehen sich auf die selbe Anlage, jedoch mit Einhaltung der geforderten Anforderungen aus den Jahren 2007 bis 2018.

Aus Abbildung 16 geht hervor, dass in der Referenzanlage durch die Regelung 3 % der elektrischen Eingangsleistung unbrauchbar wird. Über den Motor werden weitere 10 % der Leistung in Verluste umgewandelt. Der Motor leitet die Verbleibende Leistung direkt an den Ventilator weiter. Dort kann die mechanische Leistung zu 69 % auf der Zuluftseite und zu 63 % auf der Abluftseite in nutzbare, statische Förderleistung umgewandelt werden.

Abbildung 17 zeigt genau das gleiche Bild für die Anlage im Jahr 2018, jedoch mit einem 3 % besseren Abluft-Ventilatorwirkungsgrad und einer geringeren statischen Druckerhöhung.

Anhand der Daten aus den Energieflussdiagrammen ist zu erkennen, dass die Anlage aus 2018 einen wesentlich geringeren Energiebedarf aufweist als die Anlage aus 2005. Die Anforderung aus der EnEV reduzieren die Förderleistung des Zuluftventilator um 20 % und die des Abluftventilators um 40 %. Des Weiteren folgt aufgrund der Anforderung aus VO327/2011 eine Steigerung um 3 % des statischen Wirkungsgrades vom Abluftventilators. Das führt dazu, dass der Motor 5 % weniger Ausgangsleistung bereitstellen muss, gegenüber einer Entwicklung ohne Effizienz-Anforderung. Folgerichtig führt dies zu einer Verbesserung des Gesamtwirkungsgrad von 55,0 % auf 57,6 %.

Insgesamt wird der Energiebedarf von beiden Anforderungen gemeinsam, von 34,4 MWh/a auf 24,2 MWh/a reduziert. Dies entspricht eine Reduzierung des Energiebedarfes um 30 %.

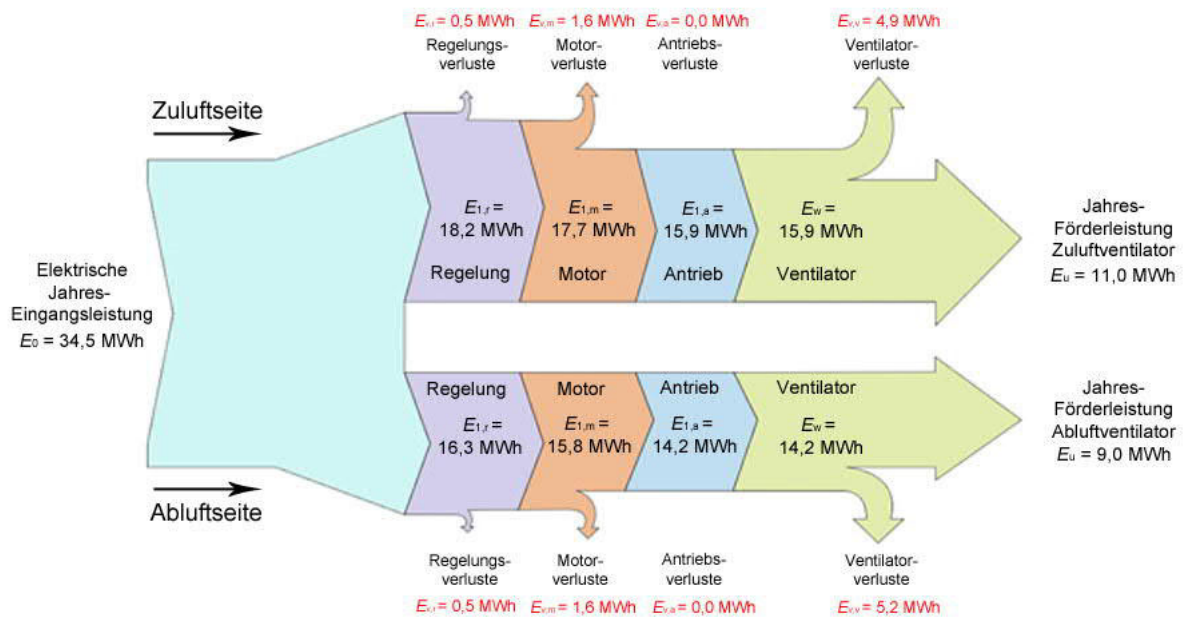


Abbildung 16 : Energieflussdiagramm der Referenzanlage 2005 [Eigene Darstellung].

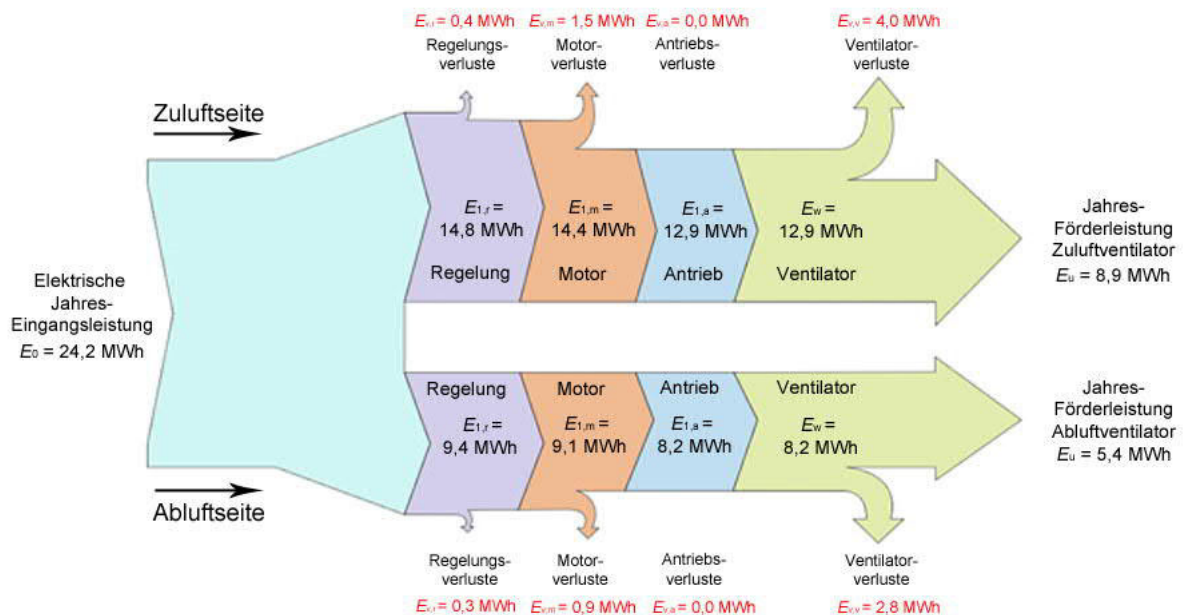


Abbildung 17: Energieflussdiagramm der Referenzanlage 2018 nach Anwendung der Anforderungen [Eigene Darstellung].

7 Bewertung und Ausblick

Die Untersuchung hat ergeben, dass durch Anwendung der Verordnungen eine erhebliche Reduzierung des Energiebedarfes möglich ist. Durch die EnEV-Anforderung an die spezifische Ventilatorleistung werden 29 % des Ursprungs-Energiebedarfes eingespart. Die Einsparungen durch die ErP fallen deutlich geringer aus. So zeigte die Untersuchung, dass durch die Anforderung an Motor und Lüftungsgerät keine Reduzierung des Energiebedarfes zu erreichen ist. Lediglich die Anforderung an den Ventilator macht 1 % der gesamten Einsparung aus. Insgesamt lassen sich folglich 30 % des Energiebedarfes einsparen.

Das Ergebnis passt zu der 2014 vorgestellten „Studie zur Entwicklung des Energiebedarfs zentraler Raumluftechnischer Anlagen in Nicht-Wohngebäuden“ des Umwelt Campus Birkenfeld. Dort wurde unter anderem untersucht, wie sich die installierte elektrische Leistung von Ventilatoren in den Jahren 2005 bis 2013 entwickelt hat. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass sich der Leistungsbedarf um 43 % reduziert hat [Kaup & Kampeis, 2014]. Das Ergebnis deckt sich nicht mit dem Ergebnis dieser Untersuchung. Die Differenz zwischen der Studie und dem Ergebnis dieser Bachelorarbeit beträgt 13 %. Dies liegt auch daran, dass in der Studie berücksichtigt wurde, dass der durchschnittliche Volumenstrom ebenfalls sinkt und so das Ergebnis signifikant beeinflusst.

Ein entscheidender Grund für das hohe Ergebnis in dieser Bachelorarbeit ist die Annahme, dass die Anforderung aus der EnEV dem Richtwert des Referenzgebäudes entspricht. Würde der im Abschnitt 3.2.1. erwähnte Grenzwert der spezifischen Ventilatorleistung als Mindestanforderung gewertet werden, würde die EnEV-Anforderung zu keiner Einsparung des Energiebedarfes der RLT-Anlage führen, da die Anforderung bereits von der Referenzanlage erfüllt wird. Allerdings müsste die entstandene Differenz an Mehr-Primärenergie an anderer Stelle des Gebäudes wieder eingespart oder durch Einsatz erneuerbarer Energien kompensiert werden und so dennoch Treibhausgas-Emissionen einsparen.

Eine Einschränkung des in der Bachelorarbeit vorgestellten Ergebnisses stellt die Umsetzung der limitierten statischen Druckerhöhung in der Praxis dar. Insbesondere auf der Abluftseite müssten durch die Anforderung aus der EnEV 364 Pa im Lüftungskanal eingespart werden. Dies entspricht einer Reduzierung der externen statischen Druckerhöhung um 72 %. In der Praxis ist dies nur mit einer enormen Vergrößerung des Lüftungskanalquerschnittes möglich. Dazu wäre folglich ein höherer Platzbedarf für die Lüftungskanäle im gesamten Gebäude nötig.

Insgesamt zeigt sich, dass sich die Ergebnisse nur unter Einschränkung der genannten Gründe in die Praxis übertragen lassen.

Die Untersuchung bietet noch weiteren Forschungsbedarf. Um eine genauere Aussage über die gesamte Auswirkung der EnEV und ErP treffen zu können, sollte die Energieeinsparung der WRG mitberücksichtigt werden. Gerade durch den Einfluss auch auf die Druckerhöhung stellt sich die Frage, ob sich dadurch das Ergebnis signifikant ändern würde.

Im Hinblick auf die niedrige Auswirkung auf den Energiebedarf der ErP wird festgehalten, dass die Ergebnisse der RLT-Anlage dieser Bachelorarbeit sich auf Deutschland beschränken. Das Ergebnis kann deshalb nicht als Referenz für die gesamte EU betrachtet werden. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, von einem Nichterreichen der Ziele auszugehen. Für eine nationale Betrachtung lässt das Ergebnis jedoch zwei Schlüsse zu:

- a) Der deutsche Stand der Technik für RLT-Anlagen entsprach bereits 2005 nahezu den europäischen Anforderungen von 2018.
- b) Die Anforderungen sowie deren Novellierungen aus der ErP sind zu niedrig angesetzt, um zu einer bedeutsamen Reduzierung des Energiebedarfes einer RLT-Anlage in einem NWG zu führen.

Um eine repräsentative Auskunft über die ErP-Auswirkung innerhalb der EU abgeben zu können, empfiehlt es sich, die hier vorliegende Untersuchung der ErP-Anforderungen in allen 28 EU-Staaten zu wiederholen.

Durch den Vergleich der EnEV mit einem Referenzgebäude ist es ratsam, bei weiteren Untersuchungen nicht nur die einzelne Anlage, sondern das gesamte Gebäude in die Berechnung mit einzubeziehen. Da die Hilfsenergien (Pumpen, Motor für WRG etc.) ebenfalls von der ErP betroffen sein können, gilt hier die Empfehlung, den Untersuchungsfokus auf die Hilfsenergien auszuweiten. Im Zuge dieser Ausweitung, ist eine Berechnung des Primärenergiebedarfs nach DIN 18599 zu empfehlen. Dadurch kann eine Aussage getroffen wie viel Energie in Ihrer ursprünglichen, technisch nicht aufbereiteten Form vorliegt [Quaschnig, 2011, S.17].

In der Untersuchung hat sich gezeigt, dass die Normen und Regelungen keine harmonische Bezeichnung der Parameter aufweisen. Für die Ergebnisse dieser Arbeit war es nur durch persönliche Nachfrage bei Herstellern und Regelwerken, möglich die Definitionen festzulegen. Damit bei Herstellern und Ingenieuren Fehler bei der Interpretation von vorgeschriebener Leistung und Wirkungsgrad vermieden werden, sollte eine einheitliche Bezeichnung in Normen, Regelwerken und Datenblättern eingeführt werden.

8 Fazit

Ziel dieser Untersuchung war es herauszufinden, wie stark sich die Anforderungen von nationalen und europäischen Regelungen auf den Energiebedarf einer RLT-Anlage in einem NWG auswirken.

Dazu wurden mithilfe von Fachzeitschriften für technische Gebäudeausrüstung die relevanten Verordnungen ausfindig gemacht. Es wurde herausgefunden, dass insgesamt acht Anforderungen in vier Kategorien aus der EnEV und ErP an die Energieeffizienz von RLT-Anlagen in NWG gestellt werden. Interessant ist, dass eine Einhaltung der ErP auch dazu beiträgt, die Anforderung aus der EnEV zu erfüllen, wobei eine Einhaltung der EnEV nicht zum Erreichen der ErP-Anforderung beiträgt. Es zeigte sich jedoch, dass die Anforderung der EnEV vor der Anforderung der ErP erfüllt werden muss. Deshalb hebt sich der Effekt der gegenseitigen Erfüllung wieder auf.

Die Betrachtung des Geltungsbereiches hat gezeigt, dass die Bandbreite der betroffenen Geräte und Bauteile sehr groß ist, sodass die Anforderung aus EnEV und ErP wahrscheinlich für die Mehrzahl der RLT-Anlagen in NWG angewandt werden muss.

Die Untersuchung des Energiebedarfes hat ergeben, dass eine Anlage, die für 2018 geplant ist, einen 30 % geringeren Energiebedarf aufweist als die Referenzanlage aus 2005.

Dabei wurde herausgefunden, dass 91 % der Reduzierung aus der Auswirkung der EnEV im Jahr 2007 und 2009 erfolgt und lediglich 9 % aus den ErP-Anforderungen heraus. Dies lässt den Schluss zu, dass zumindest in Bezug auf RLT-Anlagen, das Ziel, die Energieeffizienz bis 2020 um 20 % zu erhöhen und die Treibhausgas-Emissionen bis 2030 um 40 % zu reduzieren, durchaus möglich ist.

Festzuhalten ist dennoch, dass das Erreichen der Klimaziele fast ausschließlich durch die Anforderung der EnEV geschieht. Nur eine der fünf Anforderungen aus der ErP hat eine positive Auswirkung auf den Energiebedarf, und dies auch nur mit 1 % der Gesamteinsparung. Daraus lässt sich schließen, dass die Anforderung aus der ErP zumindest für den deutschen Stand der Technik zu gering angesetzt ist.

Die Anstrengungen aus Brüssel sorgen dafür, dass durch Verordnungen und deren Verschärfung RLT-Geräte immer effizienter werden. Es ist außerdem zu begrüßen, dass durch die Regulierungen ineffiziente Geräte immer weiter vom Markt verdrängt werden. Es ist jedoch von enormer Bedeutung, den Klimawandel rechtzeitig zu bremsen. Deshalb sind die Anforderungen noch nicht ausreichend.

Aus diesem Grund sollte der Druck auf Politik, Hersteller und Planer weiter erhöht werden und der Klimaschutz durch mutige und konsequente Maßnahmen ausgebaut werden.

9 Literaturverzeichnis

AGEB, 2017. Energiebilanzen von 2015, www.ag-energiebilanzen.de. [Online]

Abrufbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2015.html>

[Zugriff am 24 August 2017].

AI-KO, 2017. Datenblatt Projekt:161903 vom 28.07.2017, Jettingen-Scheppach: AI-KO Therm GmbH. Siehe Daten-CD.

Almeida, A. T. d., Ferreira, F. . J. T. E., Fong, J. & Fonseca, P., 2008. EUP Lot 11 Motors, Coimbra, Portugal: ISR, University of Coimbra .

Anschütz, J., 2012. Vortrag: Energieeffiziente Ventilatoren mit und ohne Spiralgehäuse, Nicotra Gebhardt.

BAM, 2016. , Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, www.netzwerke.bam.de.

[Online] Abrufbar unter: <https://netzwerke.bam.de/Netzwerke/Navigation/DE/Evpg/EVPG-Produkte/evpg-produkte.html;jsessionid=31124D07C24BFEBE4923C3251C9BFF5D>

[Zugriff am 10 Juli 2017].

Dena, 2014. www.dena-expertenservice.de. [Online]

Abrufbar unter: <https://www.dena-expertenservice.de/fachinfos/enev-normen-gesetze/enev-historie/>

[Zugriff am 20 August 2017].

DIN EN 13053, 2017. Lüftung von Gebäuden - Zentrale raumluftechnische Geräte - Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten; Berlin: Beuth Verlag GmbH, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN 13779, 2007. Lüftung von Nichtwohngebäuden- Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme, Berlin: Beuth Verlag GmbH, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN 16798-3, 2015. "Entwurf " Energieeffizienz von Gebäuden Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden- Anforderung an die Leistung von Lüftung- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme, Berlin: Beuth Verlag GmbH, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN EN ISO 12759-2, 2017. Ventilatoren- Effizienzklassifizierung für Ventilatoren- Teil 2: Standardverluste für Antriebskomponenten, Berlin: Beuth Verlag GmbH, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

EnEV, 2007. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung-EnEV), Berlin: Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung, Berlin.

RL2009/125/EG, 2009. Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte, Straßburg: Amtsblatt der Europäischen Union.

VO640/2009, 2009 Europäische Union, Verordnung (EG) Nr.VO640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments

und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderung an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren, Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union.

VO327/2011, 2011, Europäische Union, Verordnung (EU) Nr.327/2011 der Kommission vom 30. März 2011 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Ventilatoren, Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union.

VO1253/2014, 2014, Europäische Union, Verordnung (EU) Nr.1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderung an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlage, Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union.

Grundmann, R. & Schönholtz, F., 2013. Grundlagen der Ventilatorotechnik. 1 Hrsg. Berlin.

Ihle, C., Bader, R. & Golla, M., 2015. Tabellenbuch Sanitär Heizung Klima /Lüftung. 9. Hrsg. Köln: Bildungsverlag EINS.

Kabus, M., 2017. Wirkungsgradklassen für Elektromotoren, Wuppertal: Energie Agentur. NRW.

Kaup, C., 2009. Elektroenergiebedarf von RLT-Geräten und deren Potenziale zur Energieeinsparung. HLH, Sonderdruck (11), Magazin.

Kaup, C., 2010. Energieeffizienz von RLT-Geräten, TGA-Fachplaner, Magazin.

Kaup, C., 2015. Die neue Verordnung zur Ökodesign-Richtlinie der EU. HLH, Februar, p. Sonderdruck, Magazin.

Kaup, C. & Kampeis, P., 2014. Studie des Umwelt Campus Birkenfeld zur Entwicklung des Energiebedarfes zentraler Raumluftechnischen Anlagen in Nichtwohngebäuden in Deutschland, Bietigheim-Bissingen: Fachverband Gebäude-Klima e.V. und Herstellerverband RLT-Geräte.

Klöpffel, S., 2017. Email Verkehr: Referenz RLT-Anlage aus dem Jahr <2006, Siehe Daten-CD.

Marquardt, H., 2011. Wege zum Effizienzhaus Plus, Berlin.

(BMVBS)-Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

Pichler, 2014. ErP-Konforme Lösungen, ErP 2015 ErP 2013, Klagenfurt: Pichler Gesellschaft m.b.H.

Quaschnig, V., 2011. Regenerative Energiesysteme. Technologie – Berechnung – Simulation. 7. Auflage, Hanser Verlag, München, 2011

Siemens, 2013. w3.siemens.com. [Online] Abrufbar unter: <http://w3.siemens.com/drives/global/de/motor/niederspannungsmotoren/effizienzklassen/seiten/netzmotoren.aspx> [Zugriff am 10 August 2017].

Siemens, o.j, Data Sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors, Siemens, Siehe Daten-CD.

Stahl, M., 2017. www.cci-dialog.de. [Online] Abrufbar unter: https://ccdialog.de/wissensportal/technikwissen/raumluftechnik/waermerueckgewinnung/grundlagen_waermerueckgewinnung.html?page=3&buyBackLink=/wissensportal/technikwissen/

raumlufftechnik/waermerueckgewinnung/grundlagen_waermerueckgewinnung.html&buyBackPa [Zugriff am 7 August 2017].

UBA, 2016. Umweltbundesamt, Europäische Klimaziele www.umweltbundesamt.de. [Online] Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/europaeische-energie-klimaziele> [Zugriff am 26 August 2017].

Weltklimarat, 2014. Klimaänderung 2014 Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit, Beitrag zum fünften Sachstandsbericht, Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle.

Anhang

ANHANG A1	Ausschreibungstext Zuluftventilator	b-e
ANHANG A2	Ausschreibungstext Abluftventilator	f-i
ANHANG A3	Auszug aus VO327/2011	j-k
ANHANG A4	Datenblatt Referenzanlage 2005	l-t

Anhang A1: Ausschreibungstext Zuluftventilator

Ausschreibungstext zum Ventilator: RLM 56-5663-4W-23-58

NICOTRA | Gebhardt

Hochleistungs-Radialventilator mit Direktantrieb RLM, mit HIGH EFFICIENCY Motor in Effizienzklasse IE 2 (IEC 60034-30)

Radialventilator, optimiert für Verwendung ohne Spiralgehäuse, mit Anbaumotor inklusive drei Kaltleiter. Nur horizontal einsetzbar. Motorlaufrad mit Einströmdüse, Trageinheit, Motorbock und stabilem Grundrahmen als Modul gefertigt und justiert. Radiallaufrad mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln aus Stahlblech, geschweißt und beschichtet, auf der Welle des Anbaumotors befestigt, statisch und dynamisch nach DIN ISO 21940-11, Gütestufe G 2.5 ausgewuchtet. Zur Volumenstrombestimmung sind die Ventilatoren mit einer Meßvorrichtung ausgestattet. Eintrittsseitig mit Anschlussmöglichkeit für quadratische Stutzen, mit elastischem Zwischenstück. Leistungsdaten (ohne Antrieb) in Genauigkeitsklasse 1 nach DIN 24166. HINWEIS: AB 2015 MÜSSEN IN EUROPA 2, 4 UND 6 POLIGE NORMMOTORE MIT LEISTUNGEN $\geq 7,5\text{kW}$ MINDESTENS DIE EFFIZIENZKLASSE IE3 ERREICHEN. ALTERNATIV SIND AUCH MOTORE IN EFFIZIENZKLASSE IE2 BEI UMRICHTERBETRIEB ZULÄSSIG.

Technische Daten zum Ventilator: RLM 56-5663-4W-23-58

erfüllt ErP-Anforderungen für 2015

Beschreibung	Wert Dimension
Soll - Betriebspunkt	
Volumenstrom (V)	15000 m ³ /h
Statische Druckerhöhung (dp _{ra})	1119 Pa
Auslegungs-Betriebspunkt	
Einbauart nach DIN EN ISO 5801	A
Bezugsdichte (Rho1)	1,20 kg/m ³
Temperatur Fördermedium (t)	20 C
Volumenstrom (V)	15000 m ³ /h
Totaldruck-Erhöhung (dp _t)	1198 Pa
dynamischer Druck (pd ₂) am Austritt	79 Pa
statische Druckerhöhung (dp _{ra})	1119 Pa
Druckverlust (p _v) Anbau/Einbauten	- Pa
Drehzahlreserve (f _R)	2 %
Ventilator-Drehzahl (n _v)	1754 min ⁻¹
Betriebsfrequenz (f)	59 Hz
Ventilator-Wellenleistung (P _w)	6,71 kW
Systemleistungsaufnahme (P _{1s})	7,77 kW
Total-Wirkungsgrad (ETA _t)	74 %
statischer Wirkungsgrad (ETA _{ra})	69 %
statischer Systemwirkungsgrad (ETA _{raS}) (=berücksichtigt Ventilator-, Motor- und FU- bzw. Controller - Wirkungsgrad)	60 %
Specific Fan Power (SFP-Faktor)	1865 W/(m ³ /s)
Düsen-Kalibrierfaktor Düse (K ₁₀)	300 m ² /h
Düsendifferenzdruck (dp _D)	1500 Pa
Strömungsgeschwindigkeit im Austritt (c)	11,5 m/s
Ventilatorgewicht (m)	123 kg
A-bewerteter Schalleistungspegel Austritt/Eintritt LwA _{6/5}	91/87 dB
unbewerteter Oktav-Schalleistungspegel	Oktav-Mittenfrequenz ¹⁾ 63/125/250/500/1k/2k/4k/8k Hz 88/93/87/87/86/85/77/74 dB Austritt LwOkt ₆ 85/91/86/83/80/78/72/70 dB Eintritt LwOkt ₅

1) Die Oktav-Schalleistungspegel können bei den Oktav-Mittenfrequenzen des Drehklanges höhere Werte

erreichen!

Netzdaten

Netzfrequenz (f_N)	50 Hz
Netzspannung (U_N)	400 V

Motor-Nennwerten

Phasen-Spannung-Frequenz	3~400 D-50 V-Hz
Baugröße-Polzahl	132M / IE2-4
Leistung (P_N)	7.50 kW
Drehzahl (n_N)	1465 min ⁻¹
Strom (I_N)	14,8 A

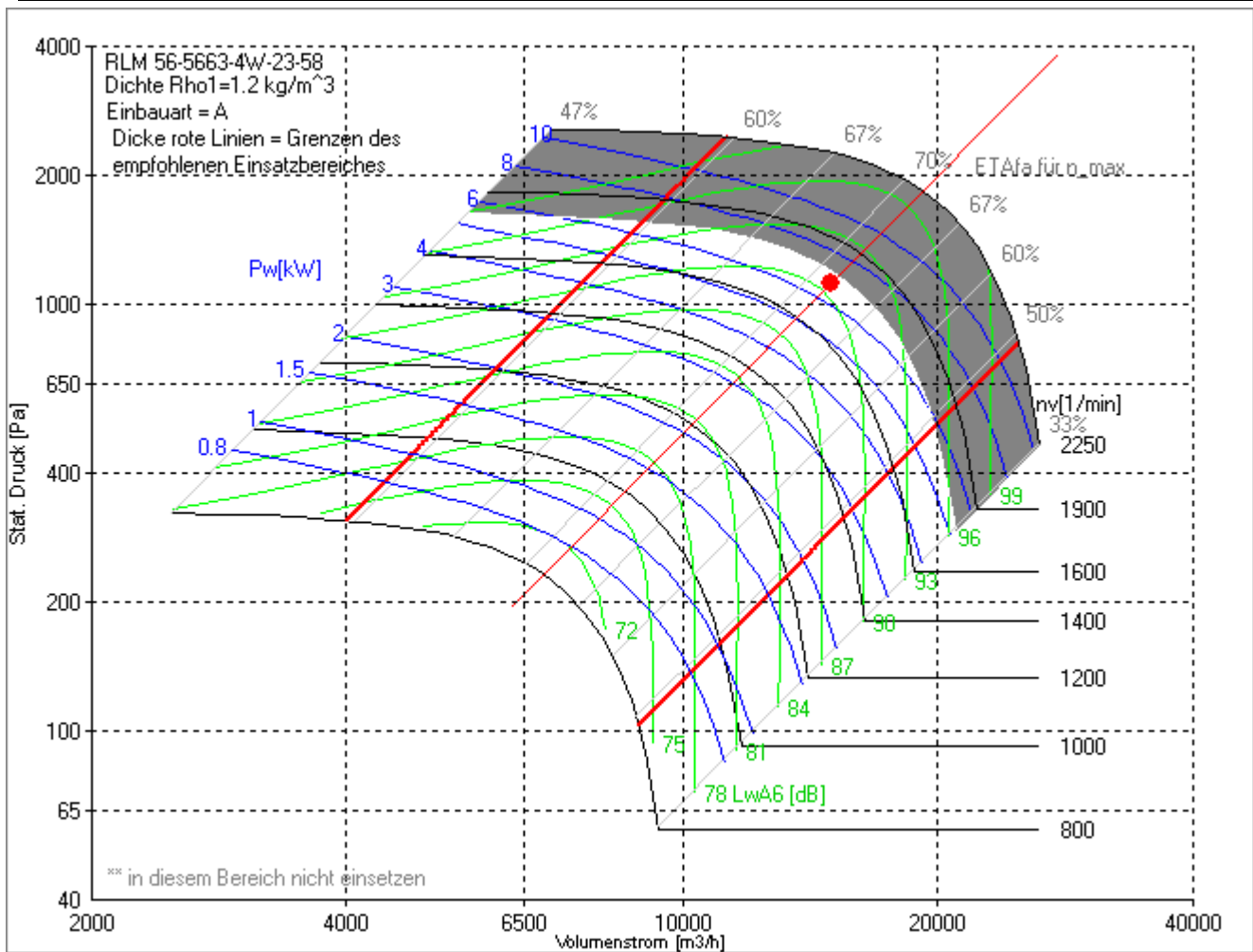
Anwendungsgrenzen

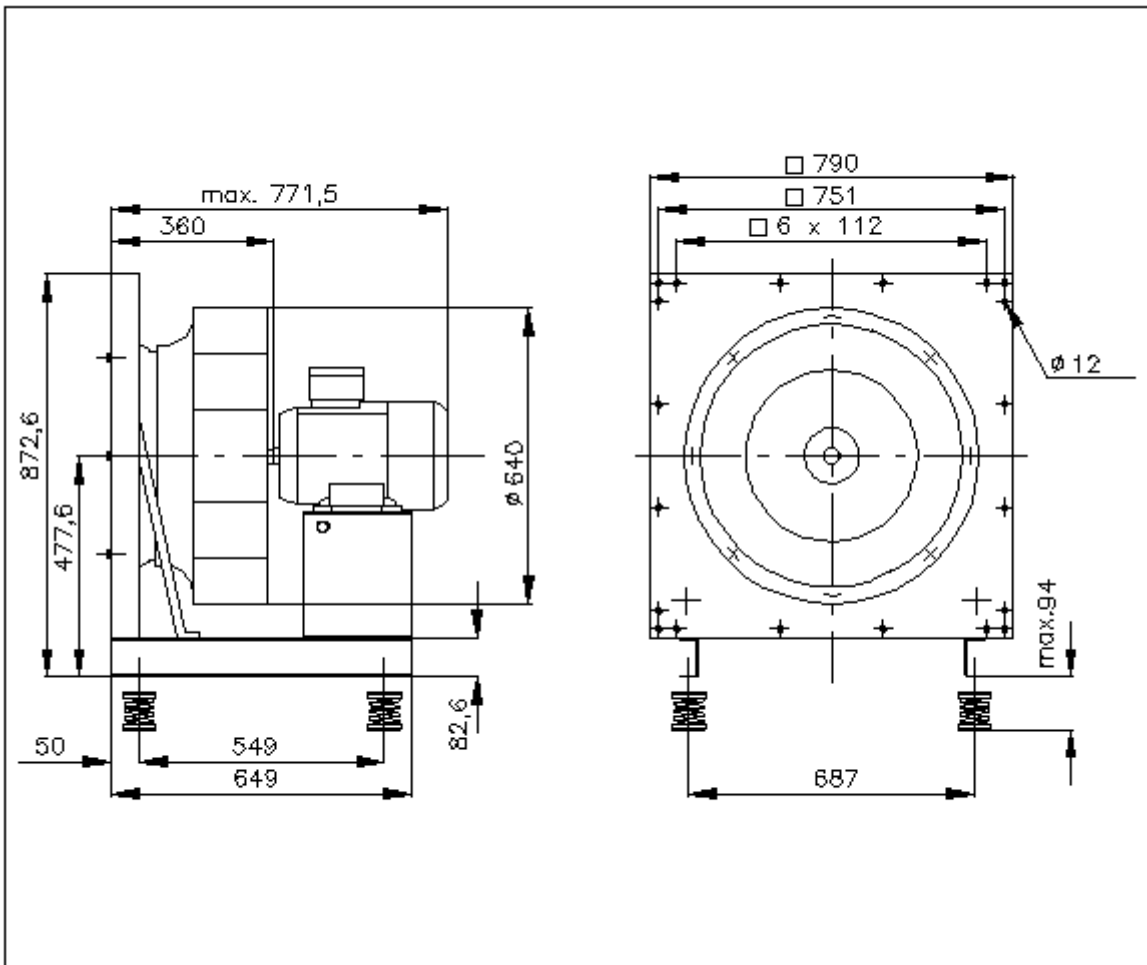
max. Ventilator-drehzahl (n_{vmax})	1790 min ⁻¹
max. Betriebsfrequenz (f_{max})	61 Hz
Temperaturbereich Fördermedium ($t_{min} \dots t_{max}$)	-20...40 C

ErP-Daten im Effizienzoptimum bei Dichte 1,20 kg/m³

Mess-/Effizienz-kategorie	A / statisch
Status der Drehzahlregelung	muss installiert werden
Gesamteffizienz (ETA_{opt})	62,4 %
erreichter Effizienzgrad (N_{ist})	63,4
geforderter Effizienzgrad für 2013 / 2015 (N)	58 / 62
Volumenstrom (V_{opt})	14588 m ³ /h
Druckerhöhung (dp_{opt})	1237 Pa
Ventilator-Drehzahl (n_{vopt})	1790 min ⁻¹
Motoreingangsleistung (P_{1opt})	8,04 kW

Kennlinie zum Ventilator RLM 56-5663-4W-23-58





Maßbild zum Ventilator RLM-56-5663-4W-23-58

Drehrichtung: RD

Gehäusestellung: 90

Anhang A2: Ausschreibungstext Abluftventilator

Ausschreibungstext zum Ventilator: RLM 56-5056-4W-23-58

NICOTRA | Gebhardt

Hochleistungs-Radialventilator mit Direktantrieb RLM, mit HIGH EFFICIENCY Motor in Effizienzklasse IE 2 (IEC 60034-30)

Radialventilator, optimiert für Verwendung ohne Spiralgehäuse, mit Anbaumotor inklusive drei Kaltleiter. Nur horizontal einsetzbar. Motorlaufrad mit Einströmdüse, Trageinheit, Motorbock und stabilem Grundrahmen als Modul gefertigt und justiert. Radiallaufrad mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln aus Stahlblech, geschweißt und beschichtet, auf der Welle des Anbaumotors befestigt, statisch und dynamisch nach DIN ISO 21940-11, Gütestufe G 2.5 ausgewuchtet. Zur Volumenstrombestimmung sind die Ventilatoren mit einer Meßvorrichtung ausgestattet. Eintrittsseitig mit Anschlussmöglichkeit für quadratische Stutzen, mit elastischem Zwischenstück. Leistungsdaten (ohne Antrieb) in Genauigkeitsklasse 1 nach DIN 24166. HINWEIS: AB 2015 MÜSSEN IN EUROPA 2, 4 UND 6 POLIGE NORMMOTORE MIT LEISTUNGEN $\geq 7,5\text{kW}$ MINDESTENS DIE EFFIZIENZKLASSE IE3 ERREICHEN. ALTERNATIV SIND AUCH MOTORE IN EFFIZIENZKLASSE IE2 BEI UMRICHTERBETRIEB ZULÄSSIG.

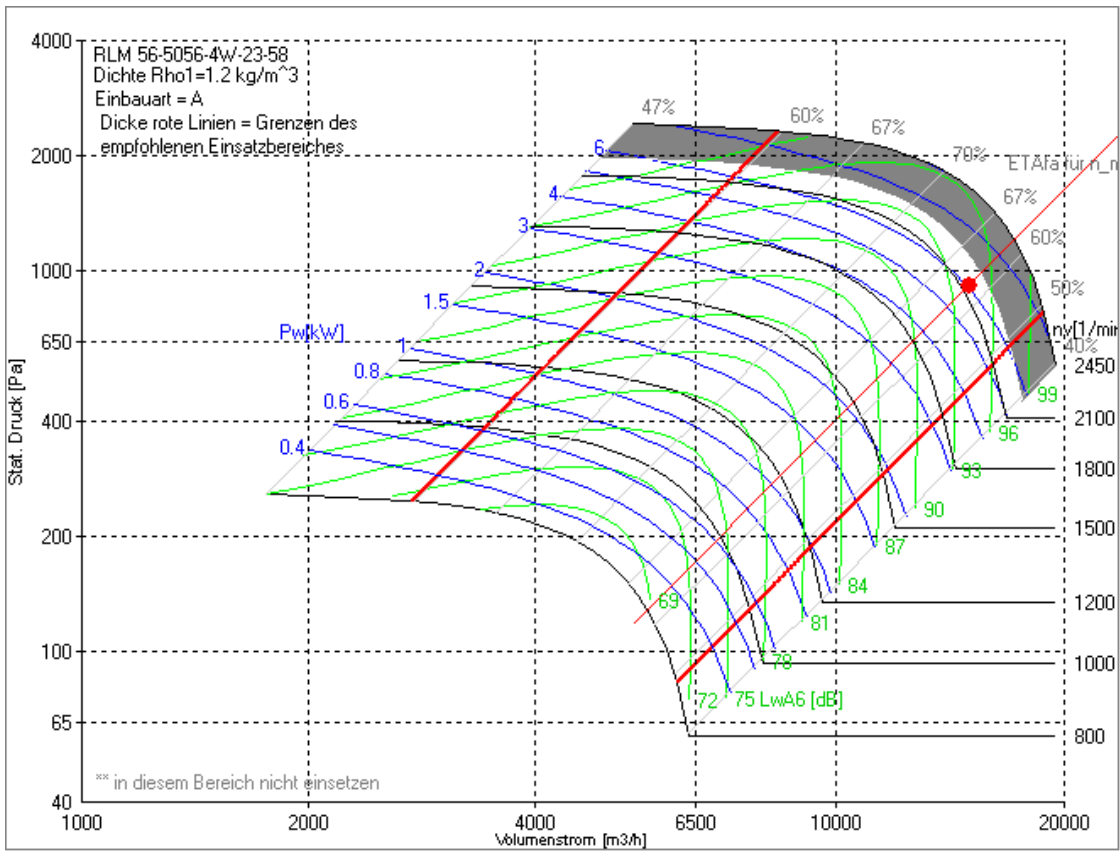
Technische Daten zum Ventilator: RLM 56-5056-4W-23-58

erfüllt ErP Anforderungen für 2015

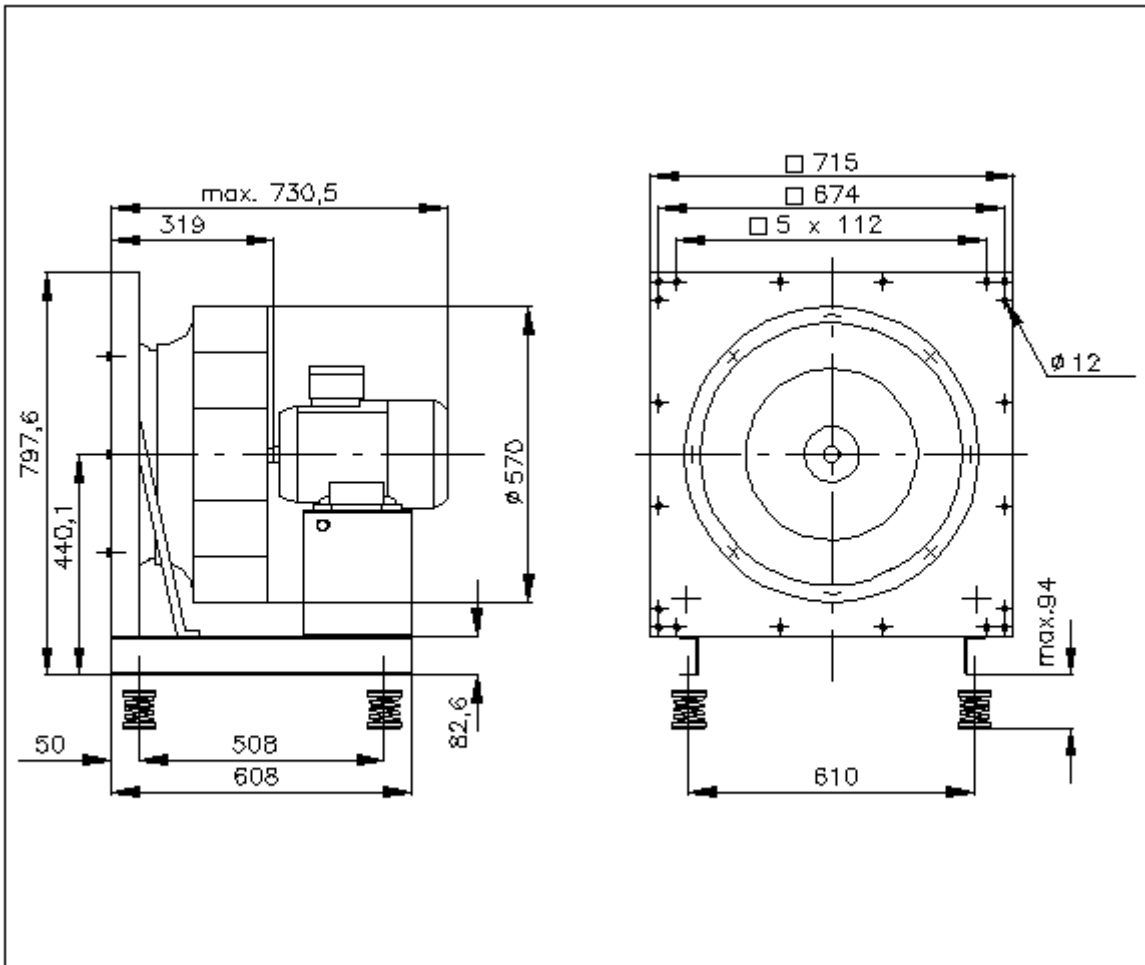
Beschreibung	Wert	Dimension
Soll - Betriebspunkt		
Volumenstrom (V)	15000	m ³ /h
Statische Druckerhöhung (dp _{ra})	914	Pa
Auslegungs-Betriebspunkt		
Einbauart nach DIN EN ISO 5801	A	
Bezugsdichte (Rho1)	1,20	kg/m ³
Temperatur Fördermedium (t)	20	C
Volumenstrom (V)	15000	m ³ /h
Totaldruck-Erhöhung (dp _t)	1041	Pa
dynamischer Druck (pd ₂) am Austritt	127	Pa
statische Druckerhöhung (dp _{ra})	914	Pa
Druckverlust (p _v) Anbau/Einbauten	-	Pa
Drehzahlreserve (f _R)	4	%
Ventilator-Drehzahl (n _v)	2133	min ⁻¹
Betriebsfrequenz (f)	72	Hz
Ventilator-Wellenleistung (P _w)	6,08	kW
Systemleistungsaufnahme (P ₁₅)	7,02	kW
Total-Wirkungsgrad (ETA _t)	71	%
statischer Wirkungsgrad (ETA _{ra})	63	%
statischer Systemwirkungsgrad (ETA _{raS}) (=berücksichtigt Ventilator-, Motor- und FU- bzw. Controller - Wirkungsgrad)	54	%
Specific Fan Power (SFP-Faktor)	1685	W/(m ³ /s)
Düsen-Kalibrierfaktor Düse (K ₁₀)	240	m ² /h
Düsendifferenzdruck (dp _D)	2344	Pa
Strömungsgeschwindigkeit im Austritt (c)	14,5	m/s
Ventilatorgewicht (m)	114	kg
A-bewerteter Schalleistungspegel Austritt/Eintritt LwA _{6/5}	94/89	dB
unbewerteter Oktav-Schalleistungspegel		
	Oktav-Mittenfrequenz ¹⁾	
	63/125/250/500/1k/2k/4k/8k Hz	
	87/86/91/92/88/86/83/77 dB Austritt LwOkt ₆	
	83/85/90/88/80/77/75/72 dB Eintritt LwOkt ₅	

Netzdaten

Netzfrequenz (f_N)	50 Hz
Netzspannung (U_N)	400 V
Motor-Nennwerten	
Phasen-Spannung-Frequenz	3~400 D-50 V-Hz
Baugröße-Polzahl	132M / IE2-4
Leistung (P_N)	7,50 kW
Drehzahl (n_N)	1465 min ⁻¹
Strom (I_N)	14,8 A
Anwendungsgrenzen	
max. Ventilator-drehzahl (n_{vmax})	2210 min ⁻¹
max. Betriebsfrequenz (f_{max})	75 Hz
Temperaturbereich Fördermedium ($t_{min} \dots t_{max}$)	-20...40 C
ErP-Daten im Effizienzoptimum bei Dichte 1,20 kg/m³	
Mess-/Effizienz-kategorie	A / statisch
Status der Drehzahlregelung	muss installiert werden
Gesamteffizienz (ETA_{opt})	62,8 %
erreichter Effizienzgrad (η_{ist})	63,7
geforderter Effizienzgrad für 2013 / 2015 (η)	58 / 62
Volumenstrom (V_{opt})	12542 m ³ /h
Druckerhöhung (dp_{opt})	1483 Pa
Ventilator-Drehzahl (n_{vopt})	2210 min ⁻¹
Motoreingangsleistung (P_{1opt})	8,22 kW
spezifisches Verhältnis (d_{dopt})	1,015



Maßbild zum Ventilator RLM 56-5056-4W-23



Drehrichtung: RD

Gehäusestellung: 90

Anhang A3: Auszug aus VO327/2011

L 90/14

DE

Amtsblatt der Europäischen Union

6.4.2011

Tabelle 1

In der ersten Stufe ab 1. Januar 2013 geltende Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Ventilatoren

Ventilortyp	Messkategorie (A-D)	Effizienz-kategorie (statischer oder totaler Wirkungsgrad)	Leistungsintervall P in kW	Zielenergieeffizienz	Effizienzgrad (N)
Axialventilator	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	36
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	50
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Radialventilator mit vorwärts gekrümmten Schaufeln und Radialventilator mit Radialschaufeln	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	37
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	42
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln ohne Gehäuse	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln mit Gehäuse	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	61
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Diagonalventilator	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	47
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Querstromventilator	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,14 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	13
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = N$	

Tabelle 2

In der zweiten Stufe ab 1. Januar 2015 geltende Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Ventilatoren

Ventilortyp	Messkategorie (A-D)	Effizienz-kategorie (statischer oder totaler Wirkungsgrad)	Leistungsintervall P in kW	Zielenergieeffizienz	Effizienzgrad (N)
Axialventilator	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	40
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	

Ventilator typ	Messkategorie (A-D)	Effizienz-kategorie (statischer oder totaler Wirkungsgrad)	Leistungsintervall P in kW	Zielenergieeffizienz	Effizienzgrad (N)
Radialventilator mit vorwärts gekrümmten Schaufeln und Radialventilator mit Radialschaufeln	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	44
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	49
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln ohne Gehäuse	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Radialventilator mit rückwärts gekrümmten Schaufeln mit Gehäuse	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	61
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	64
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Diagonalventilator	A, C	statisch	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	50
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Querstromventilator	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{Ziel}} = 1,14 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	21
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{Ziel}} = N$	

Anhang A4: Datenblatt Referenzanlage 2005

AL-KO THERM GMBH

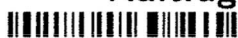
Maschinenfabrik

Datenblatt

(C) AL-KO THERM

KlimaSoft

Seite1

Projekt:	<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 30px;"></div>	Pos.: 7	Auftrag
Auftr.-Nr.:		LV-Pos.: 3.2.1.10	
Proj.-Bez.:		Druck-Datum	17.10.2005
Gerät:	Gr 200 Lieferteilung	Stück:	1
Typ:	AT4 20x12 / 20x12	Bearb.-Datum:	17.10.2005
		Bearbeiter:	<div style="background-color: black; width: 100px; height: 15px;"></div>

Hinweis: Alle Angaben beziehen sich auf Normbedingungen für Luft - Dichte = 1.2 kg/m³

Gerätedaten	Zuluft		Abluft	
	Soll	Ist	Soll	Ist
Luftstrom:	15.000	15.000 m ³ /h	0	15.000 m ³ /h
Externer Druck:	500	500 Pa	0	0 Pa
Interner Druck:	519	519 Pa	314	314 Pa
Luftgeschwindigkeit::		3,0 m/s		3,0 m/s

ZU - Entkopplungsstutzen - Gummi	G 1	FE 0	Zubehör
Typ:	Entkopplungsstutzen		
Breite:		1.530 mm	
Höhe:		918 mm	
Material:		Gummi	
Rahmen Material:		FeZn	
Anschlussflansch:		30 mm	

ZU - Klappe, außen	G 1	FE 0	Zubehör
Typ:	Klappe, außen		
Breite:		1.530,0 mm	
Höhe:		918 mm	
Anschlussflansch:		30 mm	
Auslegungsdruck:		0 Pa	

ZU - Filter - Biostat F7	G 1	FE 1	Zubehör
Herstellertyp:		Biostat F7	- Schrägrührmanom. 500 Pa
Klasse:		F7	- Filterschnellspannvorrichtung
Auslegungsdruck:		148 Pa	- Biostatisch wirkendes Filtermedium
Anfangsdruck:		96 Pa	- Bedientür
Enddruck:		200 Pa	
Anströmgeschwindigkeit:		3,0 m/s	
Filterfläche:		24,8 m ²	
Taschenlänge:		635 mm	
Wartung:		F - Schnellspann.	
Volumenstrom:		15.000 m ³ /h	

ZU - WT - Erhitzer	G 1	FE 2	Zubehör
Typ:	KVS - Cu/Al - A		
Luftwiderstand:		118 Pa	
Luft Eintrittstemperatur:		-12,0 °C	


Datenblatt

(C) AL-KO THERM

Projekt:
 Auftr.-Nr.:
 Proj.-Bez.:
 Gerät: Gr 200 Lieferteilung Stück: 1
 Typ: AT4 20x12 / 20x12

Pos.: 7
 LV-Pos.: 3.2.1.10

Auftrag


 Druck-Datum: 17.10.2005
 Bearb.-Datum: 17.10.2005
 Bearbeiter: XXXXXXXXXX

Luft Eintrittsfeuchte:	0,0 %
Luft Austrittstemperatur:	0,6 °C
Leistung:	64 kW
Reserve/Rückwärmzahl:	35 %
Medium:	Wasser/Glykol
Glykol Anteil:	30 %
Medium Eintrittstemp.:	10 °C
Medium Austrittstemp.:	4 °C
Umwälzmenge:	9.602 l/h
Mediumwiderstand:	30,8 kPa
Δ Lamellen:	2,1 mm
Rohrreihen:	4
Kreise:	33
Füllmenge:	15,1 l
Rohre:	Cu
Lamellen:	Al
Sammler:	Cu
Rahmen:	FeZn
Frostschutzrahmen:	ohne
Anschlussart:	A - gerade
Anschlussweite:	DN 50
Anzahl Anschlüsse:	2
Volumenstrom:	15.000 m ³ /h

ZU - Leerkammer	G 2	FE 3	Zubehör
Länge:		7 AT4 Raster	


ZU - Umluftklappe	G 2	FE 0	Zubehör
Typ:		Umluftklappe	
Breite:		1.379,0 mm	
Höhe:		459 mm	
Anschlussflansch:		20 mm	
Auslegungsdruck:		0 Pa	

ZU - WT - Erhitzer	G 2	FE 4	Zubehör
Typ:		PWW - / - A	- Frostschutzrahmen
Luftwiderstand:		101 Pa	- Bedienpaneel
Luft Eintrittstemperatur:		0,0 °C	
Luft Eintrittsfeuchte:		0,0 %	
Luft Austrittstemperatur:		24,0 °C	
Leistung:		121 kW	
Medium:		Wasser/Glykol	
Glykol Anteil:		0 %	
Medium Eintrittstemp.:		70 °C	
Medium Austrittstemp.:		50 °C	
Umwälzmenge:		5.060 l/h	
Mediumwiderstand:		14,3 kPa	
Δ Lamellen:		3,0 mm	
Rohrreihen:		2	

Datenblatt

(C) AL-KO THERM

Seite3

Projekt:
 Pos.: **7** **Auftrag**
 Auftr.-Nr.:
 LV-Pos.: **3.2.1.10** 
 Proj.-Bez.:
 Druck-Datum: 17.10.2005
 Gerät: Gr 200 Lieferteilung Stück: 1
 Bearb.-Datum: 17.10.2005
 Typ: AT4 20x12 / 20x12
 Bearbeiter: XXXXXXXXXX


Kreise: 8
 Füllmenge: 25,9 l
 Rohre:
 Lamellen:
 Sammler:
 Rahmen:
 Frostschutzrahmen: FeZn
 Anschlussart: A - gerade
 Anschlussweite:
 Anzahl Anschlüsse: 1
 Volumenstrom: 15.000 m³/h
 Tr-UL-WtMissingFeedThrough

ZU - Ventilator - RLM 56 - 630	G 3	FE 5	Zubehör
Ventilatorotyp:		RLM 56-630	- Ringleitung PFA
Volumenstrom:		15.000 m ³ /h	- Rep.-Schalter für FU
stat. Druckerhöhung:		1.119 Pa	- Rep.-Schalter Verdrahtung
Wellenleistung:		6,7 kW	- Lichtschalter
stat. Wirkungsgrad:		69 %	- FR-O.LEU. 60W IP 44
Buchsen-Nummer:		2012	- Tür mit Schauglas
ØBuchse:		38 mm	
Betriebsdrehzahl:		1.754 1/min	
Belastungsgrenze:		2.250 1/min	
- Motor:			
Bezeichnung:	MOTOR S4 7,50 132M		
Modell:	1LA7133-4AA60-ZA11		
Baugröße:	132		
Regelungsart:	FU		
Betriebsdrehzahl:	1.754 1/min		
Betriebsfrequenz:	60 Hz		
Max. Frequenz:	63 Hz		
Nennzahl(en):	1455 /min		
Spannungen:	400/690 V		
Nennstrom:	15,2/8,8 A		
Nennleistung(en):	7,5 kW		
Wirkungsgrad:	87 %		
Leistung PM:	7,7 kW		
Schutzklasse:	IP55		
Überlastsicherung:	Kaltleiter		
Isolationsklasse:	F		
Schalleistungspegel Eintritt:	87,0 dB(A)		
Schalleistungspegel Austritt:	91,0 dB(A)		
Oktavband:	63 125 250 500 1k 2k 4k 8k Hz		
Lw Austritt:	88 93 87 87 86 85 77 74 dB		
Lw Eintritt:	85 91 86 83 80 78 72 70 dB		
Volumenstrom:	15.000 m ³ /h		

ZU - WT - Kühler-Leerteil	G 3	FE 6	Zubehör
Wärmetauscher-Leerteil:			- Bedienpaneel
Typ:	PKW - Cu/Al - A		- Bodenwanne Edelstahl 1.4301

Datenblatt (C) AL-KO THERM

Seite4

Projekt:
Pos.: 7 **Auftrag**
Auftr.-Nr.:
LV-Pos.: 3.2.1.10 
Proj.-Bez.:
Druck-Datum: 17.10.2005
Gerät: Gr 200 Lieferteilung **Stück:** 1 **Bearb.-Datum:** 17.10.2005
Typ: AT4 20x12 / 20x12 **Bearbeiter:** XXXXXXXXXX

Luftwiderstand:	124 Pa
Luftwiderstand TA:	28 Pa
Luft Eintrittstemperatur:	32,0 °C
Luft Eintrittsfeuchte:	40,0 %
Luft Austrittstemperatur:	18,0 °C
Luft Austrittsfeuchte:	86,3 %
Leistung:	-80 kW
Medium:	Wasser
Glykol Anteil:	0 %
Medium Eintrittstemp.:	6 °C
Medium Austrittstemp.:	12 °C
Umwälzmenge:	11.453 l/h
Mediumwiderstand:	31,8 kPa
Δ Lamellen:	2,1 mm
Rohrreihen:	4
Kreise:	33
Füllmenge:	15,1 l
Rohre:	Cu
Lamellen:	Al
Sammler:	Cu
Rahmen:	Al
Anschlussart:	A - gerade
Anschlussweite:	DN 50
Anzahl Anschlüsse:	2
Volumenstrom:	15.000 m ³ /h

ZU - Entkopplungsstutzen - Gummi G 3	FE 0	Zubehör
Typ:	Entkopplungsstutzen	
Breite:	1.530 mm	
Höhe:	918 mm	
Material:	Gummi	
Rahmen Material:	FeZn	
Anschlussflansch:	30 mm	


AB - Entkopplungsstutzen - Gummi G 4	FE 0	Zubehör
Typ:	Entkopplungsstutzen	
Breite:	1.530 mm	
Höhe:	918 mm	
Material:	Gummi	
Rahmen Material:	FeZn	
Anschlussflansch:	30 mm	

AB - Filter - TL7U600	G 4	FE 7	Zubehör
Herstellertyp:		TL7U600	- Schrägrohrmanom. 500 Pa
Klasse:		F7	- Filterschnellspannvorrichtung
Auslegungsdruck:		160 Pa	- Bedientür
Anfangsdruck:		120 Pa	
Enddruck:		200 Pa	
Anströmgeschwindigkeit:		0,0 m/s	

Datenblatt

(C) AL-KO THERM

Seite5

Projekt:	<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 40px; display: inline-block;"></div>	Pos.: 7	Auftrag
Auftr.-Nr.:		LV-Pos.: 3.2.1.10	
Proj.-Bez.:		Druck-Datum	17.10.2005
Gerät:	Gr 200 Lieferteilung	Stück:	1
Typ:	AT4 20x12 / 20x12	Bearb.-Datum:	17.10.2005
		Bearbeiter:	<div style="background-color: black; width: 100px; height: 15px;"></div>

Filterfläche:	19,9 m ²
Taschenlänge:	600 mm
Wartung:	F - Schnellspann.
Volumenstrom:	15.000 m ³ /h

AB - Ventilator - RLM 56 - 560	G 5	FE 8	Zubehör
Ventilatorotyp:		RLM 56-560	- Rep.-Schalter für FU
Volumenstrom:		15.000 m ³ /h	- Ringleitung PFA
stat. Druckerhöhung:		914 Pa	- Rep.-Schalter Verdrahtung
Wellenleistung:		6,1 kW	- FR-O.LEU. 60W IP 44
stat. Wirkungsgrad:		63 %	- Tür mit Schauglas
Buchsen-Nummer:		2012	
ØBuchse:		38 mm	
Betriebsdrehzahl:		2.133 1/min	
Belastungsgrenze:		2.450 1/min	
- Motor:			
Bezeichnung:	MOTOR S4 7,50 132M		
Modell:	1LA7133-4AA60-ZA11		
Baugröße:		132	
Regelungsart:		FU	
Betriebsdrehzahl:		2.133 1/min	
Betriebsfrequenz:		73 Hz	
Max. Frequenz:		79 Hz	
Nennzahl(en):		1455 /min	
Spannungen:		400/690 V	
Nennstrom:		15,2/8,8 A	
Nennleistung(en):		7,5 kW	
Wirkungsgrad:		87 %	
Leistung PM:		7,0 kW	
Schutzklasse:		IP55	
Überlastsicherung:		Kaltleiter	
Isolationsklasse:		F	
Schalleistungspegel Eintritt:		89,0 dB(A)	
Schalleistungspegel Austritt:		94,0 dB(A)	
Oktavband:	63 125 250 500 1k 2k 4k 8k Hz		
Lw Austritt:	87 86 91 92 88 86 83 77 dB		
Lw Eintritt:	83 85 90 88 80 77 75 72 dB		
Volumenstrom:		15.000 m ³ /h	

AB - WT - Kühler	G 6	FE 9	Zubehör
Typ:		KVS - Cu/Al - A	- Bedienpaneel
Luftwiderstand:		127 Pa	- Bodenwanne Edelstahl 1.4301
Luftwiderstand TA:		28 Pa	
Lufteintrittstemperatur:		24,0 °C	
Lufteintrittsfeuchte:		50,0 %	
Luftaustrittstemperatur:		13,4 °C	
Luftaustrittsfeuchte:		87,6 %	
Leistung:		64 kW	
Reserve/Rückwärmzahl:		35 %	
Medium:		Wasser/Glykol	

Datenblatt

(C) AL-KO THERM

Seite 6

Projekt:

Pos.: 7

Auftrag

Auftr.-Nr.:

LV-Pos.: 3.2.1.10



Proj.-Bez.:

Druck-Datum: 17.10.2005

Gerät: Gr 200 Lieferteilung

Stück: 1

Bearb.-Datum: 17.10.2005

Typ: AT4 20x12 / 20x12

Bearbeiter:

Glykol Anteil:	30 %
Medium Eintrittstemp.:	4 °C
Medium Austrittstemp.:	10 °C
Umwälzmenge:	9.602 l/h
Mediumwiderstand:	30,6 kPa
Δ Lamellen:	2,1 mm
Rohrreihen:	4
Kreise:	33
Füllmenge:	15,1 l
Rohre:	Cu
Lamellen:	Al
Sammler:	Cu
Rahmen:	FeZn
Anschlussart:	A - gerade
Anschlussweite:	DN 50
Anzahl Anschlüsse:	2
Volumenstrom:	15.000 m ³ /h

AB - Klappe, außen

G 6

FE 0

Zubehör

Typ:	Klappe, außen
Breite:	1.530,0 mm
Höhe:	918 mm
Anschlussflansch:	30 mm
Auslegungsdruck:	0 Pa

AB - Entkopplungsstutzen - Gummi

G 6

FE 0

Zubehör

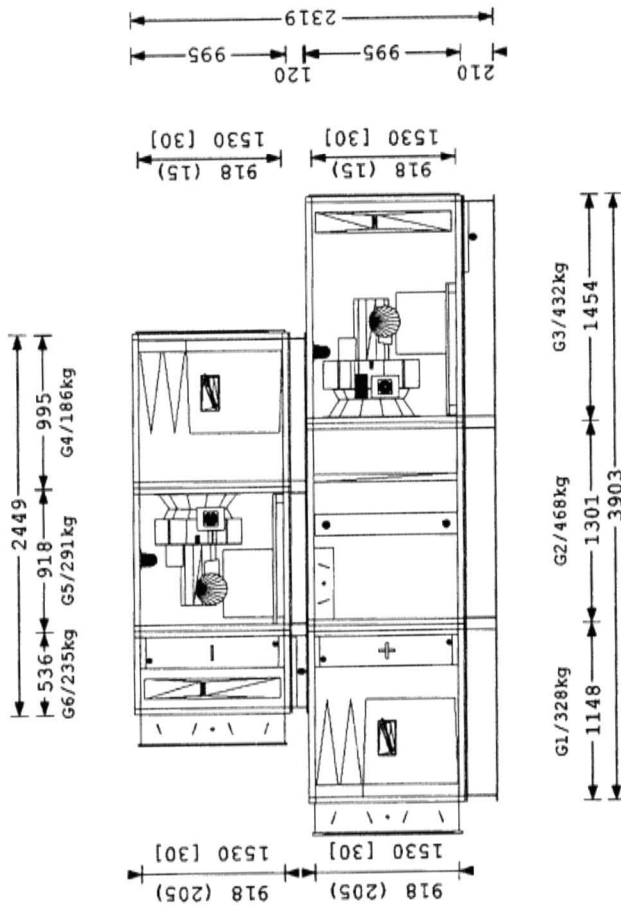
Typ:	Entkopplungsstutzen
Breite:	1.530 mm
Höhe:	918 mm
Material:	Gummi
Rahmen Material:	FeZn
Anschlussflansch:	30 mm

Geräteausführung:

Rahmenmaterial	7032
Panelmaterial	7032/7032
Ecken-Material	Al
Ausfugen Zuluft	nur Boden
Ausfugen Abluft	nur Boden
Siphon	Standardsiphon
Transportvorrichtung	ohne Transport
Grundrahmen	200 mm

Abmessungen

Länge:	3.901 mm	Breite:	1.607 mm	Höhe:	2.318 mm	Gewicht:	1.940 kg
--------	----------	---------	----------	-------	----------	----------	----------

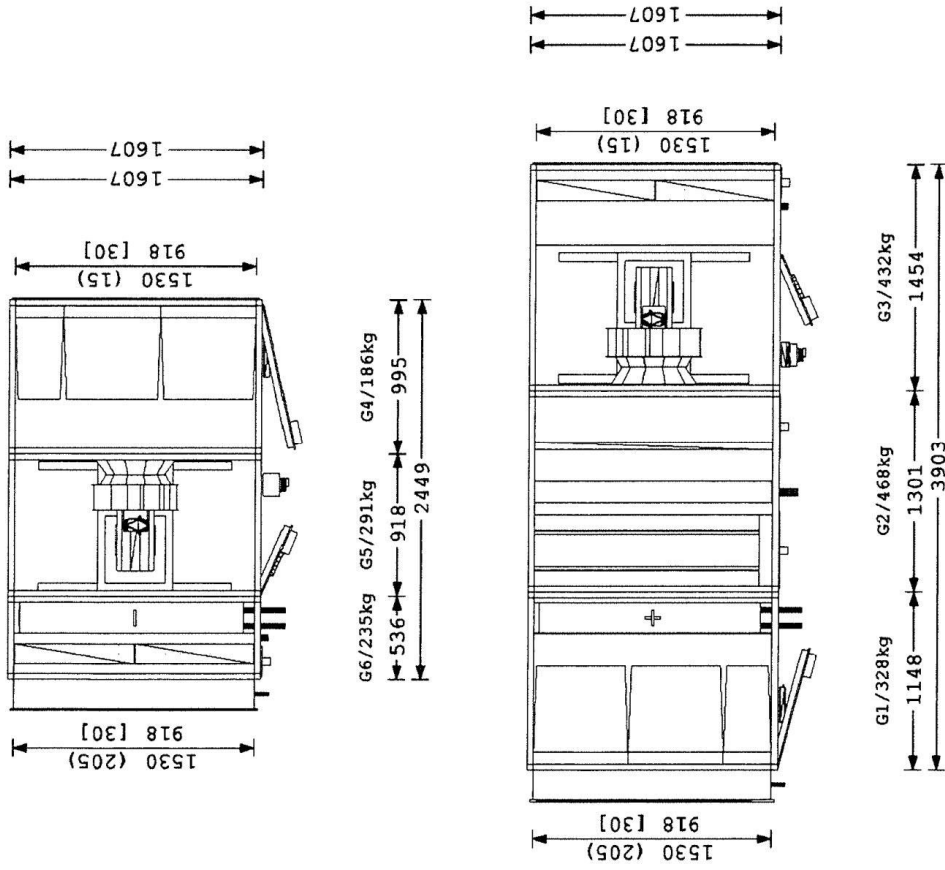


Achtung: Transport über Grundrahmen! Deckel innen RAL7032 / Deckel außen RAL7032
 Rahmenmaterial: 7032, Ausführung: Innen-Ausführung

Wenn nicht anders angegeben, Abstandsmaß Innenkante Stützen zu Gehäusekante 38 mm.
 Runde Klammern () Einzel- bzw. Gesamtstützenlänge. Eckige Klammern [] Flanschmaß.

Vorderansicht

Projekt:		Pos./LV-Pos	
Proj.-Bez.:		Auftr.-Nr.:	
Gerät:	Gr 200 Lieferteilung	Bearb.-Datum:	17.10.2005
Typ:	AT4 20x12 / 20x12	Maßstab	1:40



Achtung: Transport über Grundrahmen! Deckel innen RAL7032 / Deckel außen RAL7032
 Rahmenmaterial: 7032, Ausführung: Innen-Ausführung

Draufsicht

Wenn nicht anders angegeben, Abstandsmass Innenkante Stutzen zu Gehäussekante 38 mm.
 Runde Klammern () Einzel- bzw. Gesamtstutzenlänge. Eckige Klammern [] Flanschmaß.

AL-KO THERM GMBH	Projekt:	Pos/LV-Pos
D-89343 Jettingen-Scheppach	Proj.-Bez.:	Aufr.-Nr.:
Klaus Wegwarth	Gerät:	Bearb.-Datum:
08225/39-186	Typ:	Maßstab
		17.10.2005
		1:40

