Untersuchung der Potenziale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050

Entwurf Endbericht

Bericht an:

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

von:

Markus Offermann, Moritz Schäfer, Katja Dinges, Bernhard v. Manteuffel

Ecofys Germany GmbH

Am Wassermann 36

50829 Köln

T +49 (0) 221 27070-0

Vertraulich

©2018 Ecofys – A Navigant Company

Untersuchung der Potenziale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050

Ronny Mai

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH

Bertolt-Brecht-Allee 20

01309 Dresden

T +49 (0)351 4081 520

Heiko Schiller

schiller engineering

Ulmenstraße 50a

22299 Hamburg

T +49 (0)40 47194781

Vorhaben: BFEE03/2016

Projektnummer: 147533

23.Juli 2018

2018 Ecofys – A Navigant Company

ZUSAMMENFASSUNG

Der Energiebedarf für Klima- und Lüftungsanlagen spielt eine zunehmend wichtigere Rolle, um das Ziel eines möglichst klimaneutralen Gebäudebestandes im Jahre 2050 zu erreichen. Im Gegensatz zum Energiebedarf für Heizung ist davon auszugehen, dass der Energiebedarf für Klima- und Lüftungsanlagen nicht sinken wird. Gemäß [BMWi, 2015a] wird der Strombedarf für Klima- und Lüftungsanlagen und Hilfsenergie, ohne weitere gegensteuernde Maßnahmen, bis 2050 um 84 % auf 269 PJ/a zunehmen. Dies wären dann nahezu 50 % des Strombedarfs im Gebäudebereich.

Der weit überwiegende Anteil des Energiebedarfs für Klima- und Lüftungsanlagen ist dabei auf Nichtwohngebäude zurückzuführen. Trotz der großen Bedeutung von Klima- und Lüftungsanlagen für den Klimaschutz ist die diesbezügliche Datenlage extrem schlecht. Es gibt einerseits kaum belastbares Material zum Anlagenbestand, andererseits ist aufgrund von nicht vorhandenen Unterzählern auch der Energieverbrauch der allermeisten Anlagen nicht bekannt.

Das übergeordnete Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, wirksame Maßnahmen zur Minderung des Energieverbrauchs und der Klimawirkung von Klima und Lüftungsanlagen zu entwickeln und, soweit als möglich, in die Umsetzung zu überführen. Vorhandene Defizite und Hemmnisse sollen dabei identifiziert und adressiert werden.

Dazu wurde das Forschungsprojekt in mehrere Arbeitsschritte unterteilt.

Ziel des ersten Arbeitsschrittes war dabei zunächst die Erhebung und technische Bewertung des Anlagenbestandes.

In einem zweiten Arbeitsschritt wurde das bestehende Anreizsystem analysiert und die wesentlichen Hemmnisse aufgezeigt. Auf dieser Basis wurden Maßnahmen entwickelt, die die ermittelten Hemmnisse geeignet adressieren.

Für die entwickelten Maßnahmen wurde anschließend eine Potenzialanalyse durchgeführt, um die Wirkung und Durchsetzbarkeit zu eruieren.

Schließlich wurden die erfolgversprechendsten Maßnahmen weiter ausgearbeitet und, soweit es im Rahmen des zweijährigen Projektes möglich war, bei deren Umsetzung begleitet.

Für die ausgearbeiteten Maßnahmen wurden detaillierte Berechnungen zur Quantifizierung ihrer Wirkung durchgeführt.

Eine wesentliche Maßnahme war die Entwicklung eines Labels für Klima- und Lüftungsanlagen, welches die beiden größten identifizierten Missstände / Potenziale bei Klima- und Lüftungsanlagen adressiert:

a) Potenziale im Betrieb aufgrund (fehlender) Betriebsoptimierung

b) Überversorgungen aufgrund (unpassender) Dimensionierung.

Beides wird in den bis dato relevanten Bewertungen (z. B. DIN V 18599 (EnEV), RLT-Anlagenlabel (DIN SPEC 15240)) wenig bis keine Beachtung geschenkt. Somit kann durch das neue Analagenlabel eine wesentliche Lücke geschlossen werden und ein wichtiger Impuls für zielgerichtete Maßnahmen im Bereich Klima- und Lüftung gesetzt werden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Stromverbrauch des Anlagenbestandes

Aus der Zusammenführung unterschiedlicher Datenquellen (siehe Kapitel 2.1) konnte der in Tabelle 1 dargestellte Stromverbrauch, aufgeteilt nach Anlagentypen bestimmt werden.

Tabelle 1: Hochrechnung des jährlichen Gesamtstromverbrauchs von RLT-Anlagen, Klimageräten und Wohnungslüftungsanlagen auf Basis der Bestandsschätzung

	Anzahl	Leistung	Fläche	Volumenstrom	Betriebszeit	Ventilatoren		Kälteerzeugung			Strom gesamt
						SFP		SEER			
	[Mio. St.]	[Mio. kW]	[Mio. m²]	[Mio. m³/h]	[h/a]	[kWs/m³]	[Mio. kWh_{el}/a]	[Mio. kWh/ a]		[Mio. kWh_{el}/a]	[TWh_{el}/a]
Mittlere und große RLT-Anlagen											
Teilklima				5.000	3.000	3,50	14.583	8.075	2,50	3.230	17,8
Lüftung				8.500	3.000	3,50	24.792			-	24,8
Kleine RLT-Anlagen (< 3.000 m³/h)				405	3.000	3,50	1.181			-	1,2
Wohnungslüftungsanlagen, zentral	0,29			71	4.300	1,80	153			-	0,2
Raumklimageräte (DX)	1,80	8,1			500	-	-	4.050	2,50	1.620	1,6
Kühldecken, ULKG, BKT		7,5	150		500	-	-	3.750	3,00	1.250	1,3
							40.709			6.100	46,8

2018 Ecofys – A Navigant Company

Der ermittelte Stromverbrauch für Klima und Lüftungsanlagen beträgt demnach ca. 47 TWh/a, was angesichts der zahlreichen Unsicherheiten eine gute Übereinstimmung mit den Angaben aus BMWi [2015a] (für den Stromverbrauch für Klima- und Lüftungsanlagen und Hilfsenergie von 42 TWh/a im Jahre 2008 bedeutet.

Der weit überwiegende Teil (ca. 90 %) des Stromverbrauchs wird durch die großen RLT-Anlagen verursacht, wobei der Anteil der Anlagen mit Kühlfunktion 38 % ausmacht, der ohne Kühlfunktion 53 %. Innerhalb der Gruppe der mittleren und großen RLT-Anlagen entfällt auf den Verbrauchsteil Luftförderung (Ventilatoren) wiederum ein Anteil von 82 % und 18 % auf die Kälteerzeugung.

Entwicklung des Anlagenbestands

Bei der Entwicklung des Anlagenbestandes muss zwischen RLT-Anlagen, Kälteanlagen und Raumlimageräten sowie Wohnungslüftungsanlagen unterschieden werden.

Während bei den großen und mittleren RLT-Anlagen davon auszugehn ist, dass der auf den Volumenstrom bezogene Absatz stabil bleibt, ist bei wassergestützte Raumkühlsystemen und bei Kältemaschinen künftig mit steigenden Absatzzahlen zu rechnen. Auch im Bereich der Wohnungslüftungsanlagen wird, insbesondere auch durch die energiesparrechtliche Honorierung, mit tendenziell steigenden Absatzzahlen gerechnet.

Analyse des bestehenden Anreizsystems

Das bestehende Anreizsystem bei RLT- und Klimaanlagen besteht aus einem umfassenden Instrumentarium (u. a. EnEV § 12 und § 15, EEWärmeG, Ökodesign-Richtlinie und diverse Förder- und Informationsprogramme, etc.), welches jedoch insbesondere bei Anlagen in Bestandsgebäuden und in Bezug auf die Gewährleistung eines effizienten Anlagenbetriebs ein erhebliches Wirksamkeitsdefizit aufweist.

Hemmnisanalyse

Aufbauend auf den Erkenntnissen von Workshops und einer Akteursbefragung (Hersteller, Planer, Berater, Gebäudewirtschaft und Verbände) wurde eine Hemmnisanalyse durchgeführt.

Als wesentlich konnten dabei die folgenden Hemmnisse identifiziert werden:

1. Keine ausreichende Betriebsoptimierung, kein Monitoring => Fokus niedrige Investitionskosten, geringe Amortisationszeiterwartungen (< 3-5 Jahre)
2. Fehlende Kenntnis über Möglichkeit und Potenziale einfache Maßnahmen in Eigenleistungen umzusetzen
3. Keine Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12 und Vollzugsdefizit
4. Skepsis gegenüber Beratern
5. Mieter (Nutzer)-Vermieter(Eigentümer, Investor)-Interessenkonflikt
6. Fehlende Verantwortlichkeiten
7. Hohe Komplexität der „gewachsenen“ Anlagen in größeren Gebäuden
8. Bei einer (umfassenden) Sanierung: ggf. Mietausfall bzw. Störung im Betriebsablaufs

Insbesondere die Erstgenannten können durch neue Maßnahmen / Handlungsoptionen adressiert werden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Empfehlungen für wirksame Maßnahmen

Aufbauend auf den Ergebnissen der Hemmnisanalyse wurden 39 mögliche Maßnahmen entwickelt und einer vergleichenden Bewertung unterzogen.
Als Ergebnis der Bewertung wurde im Rahmen mehrerer Expertenkreissitzungen entschieden, die folgenden Maßnahmen weiter zu verfolgen:

a.) Paket Öffentlichkeitsarbeit

b.) Quickcheck

c.) Anlagenlabel (inkl. Erweiterung der DIN SPEC 15240 und der Erstellung eines entsprechenden Tools) für Bestandsanlagen

d.) Zählerpflicht für Neuanlagen

e.) Nachrüstverpflichtung von Zählern für Bestandsanlagen

f.) Verpflichtung zu einer geordneten Inbetriebnahme

g.) Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die Umsetzung der Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickcheck“ und „Anlagenlabel für Bestandsanlagen“ vorbereitet und begleitet.

Durch den Quickcheck und das Anlagenlabel wird das zentrale Hemmnis der mangelnden Betriebsoptimierung adressiert und somit eine Lücke in der Beratungskette geschlossen. Softwaretools für den Quickcheck und das Anlagenlabel für Bestandsanlagen werden derzeit im Rahmen eines Parallelprojektes erstellt.

Ausarbeitung der Handlungsoptionen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden vier Handlungsoption / Maßnahmen ausgearbeitet.

Die Handlungsoptionen / Maßnahmen sollen entlang der Beratungskette, die jeweiligen Hemmnisse der Betreiber zum Ergreifen geeigneter Maßnahmen adressieren.

Paket Öffentlichkeitsarbeit

Das Paket Öffentlichkeitsarbeit umfasste im Wesentlichen drei Maßnahmen:

1. Erstellung eines Flyers;
2. Überarbeitung der Internetseiten „Deutschland-macht’s-effizient“ des BMWi;
3. Erweiterungen der bestehenden AMEV-Richtlinien.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Quickcheck

Der Quickcheck ermöglicht auf grundlegender inhaltlicher Basis der DIN SEPC 15240 im Bereich Kälte eine überschlägige aber adäquate Schätzung der Energieeffizienz. Der von Energieberatern (EDL-G bzw. im Rahmen von Förderprogrammen, wie z. B. der Energieberatung im Mittelstand) durchführbare Quickcheck soll Betreibern grundlegende Information über die Effizienz Ihrer Klima- und Lüftungsanlagen im Betrieb geben sowie ggf. Möglichkeiten für nächste Schritte (z. B. der Durchführung einer weiterführenden Anlageninspektion mit anschließender Labelvergabe) aufzeigen. Für den Quickcheck wird auf den BMWi-Seiten ein kostenloses Rechentool zur Verfügung gestellt. Weitere Ausführungen zum Quickcheck sind Kapitel 5.4 zu entnehmen.

Anlagenlabel für Bestandsanlagen

Mit dem neuen Label für Klima- und Lüftungsanlagen werden Anreize geschaffen, bislang nicht geeignet adressierte Potenziale bei Klima- und Lüftungsanlagen im Bestand zu heben. Diese betreffen die wirksamsten und hochwirtschaftlichen Optimierungsmaßnahmen: Zum einen die Qualität und Auslegung, zum anderen aber auch den effizienten Betrieb der Anlagen.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeiteten neuen Bewertungsmethoden fanden Berücksichtigung der Überarbeitung der DIN SPEC 15240.

Das Anlagenlabel für Bestandsanlagen soll von unabhängigen Fachleuten im Rahmen einer energetischen Inspektion vergeben werde. Weitere Ausführungen zum Anlagenlabel sind Kapitel 5.5 zu entnehmen.

Zählerpflicht für Neuanlagen

Die Zählerpflicht für Neuanlagen adressiert das grundlegende Problem bei der Beurteilung der Effizienz von RLT-Anlagen.

Durch eine Zählerausstattung von RLT-Anlagen soll eine Sensibilisierung der Nutzer / des Betreibers für die durch die Anlage verursachten Betriebskosten erreicht werden und Datengrundlage zur detaillierten Diagnose des Betriebsverhaltens geschaffen werden.

Vorgesehen ist die Ausstattung von Anlagen mit einem Nennvolumenstrom von über 3.000 m³/h mit einem Wirkenergiezähler für den Energieverbrauch des Zuluftventilators. Die Messdaten sollen höchstens als Viertelstundensummen über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr aufgezeichnet werden.

Die Implementierung könnte im Rahmen der EnEV (aktueller § 15 „Kühlen und Lüften“) bzw. des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) erfolgen. Ein entsprechender Wirtschaftlichkeitsnachweis wurde im Rahmen von Kapitel 2.3.2.4 erbracht.

Alle vier im Rahmen des Forschungsprojektes ausgearbeiteten Maßnahmen greifen ineinander und bauen aufeinander auf. So wird z. B. durch das Paket Öffentlichkeitsarbeit auf die Möglichkeit des Quickchecks hingewiesen, der einen niedrigschwelligem Einstieg zur Identifikation und Behebung von betriebs- und qualitätsbedingten Defiziten gewährleist. Im Rahmen des Quickchecks wird der Bezug zum Anlagenlabel für Bestandsanlagen hergestellt. Durch eine verbesserte Zählerausstattung, die die Einführung einer Zählerpflicht mitsichbringen würde, könnte die Arbeit der Inspektoren erleichtert und verbessert werden, was wiederum die Grundlage für Umsetzung zielgerichteter Maßnahmen bildet.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Potenzialanalysen

Für die sieben empfohlenen einfach realisierbaren Maßnahmen wurden Potenzialberechungen durchgeführt. Diese basieren zum einen auf den Anlaysen zum Anlagebestand (siehe Kapitel 2.1), der Entwicklung des Anlagenbestandes (siehe Kapitel 2.2) und der Untersuchung der Wirkung von Maßnahmen für einezelne Anlagen (siehe Kapitel 2.1). Anhand von Referenzgebäuden wurde eine Hochrechung vorgenommen, in der die Potenziale hinischtlich der möglichen Einsparungen von End- und Primärenergie, sowie auch CO_2-Emissionen und Kosten vorgenommen wurde.

Die resultierenden möglichen Endenergieeinsparungen im Jahre 2030 sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse: Erwartete Endenergieeinsparung der sieben untersuchten Maßnahmen im Jahr 2030, getrennt nach Strom und Wärme

Maßnahme	Einsparung Strom 2030 [PJ/a]	Einsparung Wärme 2030 [PJ/a]
Paket Öffentlichkeitsarbeit*	0,03	0,05
Quickchecktool*	0,04	0,07
(freiwilliges) Bestandslabel*	0,18	0,29
(freiwilliges) Neuanlagenlabel*	0,08	0,13
Zählerpflicht für Neuanlagen	1,96	0,83
Zähler Nachrüstverpflichtung	1,30	2,06
Verpflichtende Geordnete Inbetriebnahme	1,64	0,72
Verpflichtende Feuchterückgewinnung	0,93	0,82
Summe	**6,16**	**4,97**

*) Mittelwert zwischen Angaben aus Maximum und Minimum

Insgesamt könnte bei einer Umsetzung aller untersuchten Maßnahmen im Jahre 2030 eine Endenergie- und Primärenergieeinsparung[1] von ca. 11 PJ/a und eine CO_2-Reduzierung von ca. 1 $MtCO_2$ erreicht werden. Dies entspricht einer möglichen Einsparung von schätzungsweise 3-4 % gegenüber dem heutigen Niveau. Bis zum Jahr 2050 könnten die durch die Maßnahmen erzielten Einsparungen weiter auf über 7 % ansteigen. Es ist somit davon auszugehen, dass durch die Umsetzung der Maßnahmen ein signifikanter Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele erzielt werden kann. Vor dem Hintergrund der gleichzeitig damit verbundenen Gesamtkosteneinsparungen wird daher empfohlen, den Umsetzungsprozess der Maßnahmen weiter zu verfolgen.

[1] Primärenergiefaktoren im Jahr 2030: Strom 0,9; Wärme 1,1

2018 Ecofys – A Navigant Company

SUMMARY

The energy demand of air conditioning- and ventilation systems is playing an increasingly important role in achieving the goal of a (nearly) climate-neutral building stock by 2050. In contrast to the energy demand for heating, it can be assumed that the energy demand for air conditioning and ventilation systems will not decrease. According to [BMWi, 2015a] the electricity demand for air conditioning and ventilation systems and auxiliary energy will increase by 84 % to 269 PJ/a by 2050, if no further countermeasures are undertaken. This would then amount to almost 50 % of the electricity requirements in the building sector.

The vast majority of energy requirements for air conditioning- and ventilation systems are related to non-residential buildings. Despite the great importance of air conditioning- and ventilation systems for climate protection, the data situation in this respect is extremely poor. On the one hand, there is hardly any reliable material of the plant stock. On the other hand, the energy consumption of the vast majority of plants is not known due to the lack of submeters.

The overall objective of the present research project was to develop effective measures to reduce energy consumption and the climate impact of air conditioning- and ventilation systems and, as far as possible, to support their implementation. Existing deficits and obstacles are to be identified and addressed.

For this purpose, the research project was divided into several work steps.

The aim of the first work step was the survey and technical evaluation of the plant stock.

In a second step, the existing incentive system was analysed and the main obstacles were identified. On this basis, measures were developed to suitably address the identified obstacles.

A potential analysis was then carried out for the measures developed in order to determine their impact and enforceability.

Finally, the most promising measures were further elaborated and, as far as was possible within the framework of the two-year project, accompanied in their implementation.

Detailed calculations were made to quantify the effect of the measures developed.

An essential measure was the development of a label for air conditioning- and ventilation systems, which addresses the two biggest identified issues / potentials at air conditioning- and ventilation systems:

a) Potentials in operation due to (missing) operational optimisation

b) (Inappropriate) sizing.

Both are given little or no consideration in actual regulations and evaluations e.g. DIN V 18599 (EnEV), RLT System Label (DIN SPEC 15240)). Thus, a substantial gap can be closed by the new system label. As a consequence, an important impulse for effective measures within the field of air conditioning and ventilation can be set.

Electricity consumption of the plant stock

By combining different data sources (see chapter 2.1), it was possible to determine the power consumption shown in table 1, broken down by system type:

2018 Ecofys – A Navigant Company

Table 1: Projection of the total annual electricity consumption of air conditioning systems, air-conditioning units and domestic ventilation systems on the basis of the inventory estimate

	Quantity	Performance	Area	Volume current	Operating hours	Ventilators		Refrigeration			Total
						SFP		SEER			
	[Mil. units.]	[Mil. kW]	[Mil. m²]	[Mil. m³/h]	[h/a]	[kWs/m³]	[Mil. kWh_{el}/a]	[Mil. kWh/ a]		[Mil. kWh_{el}/a]	[TWh_{el}/a]
Medium and large air conditioning systems											
Partial aircon				5.000	3.000	3,50	14.583	8.075	2,50	3.230	17,8
Ventilation				8.500	3.000	3,50	24.792			-	24,8
Small air conditioning systems (< 3,000 m³/h)				405	3.000	3,50	1.181			-	1,2
Home ventilation systems, central	0,29			71	4.300	1,80	153			-	0,2
Room air conditioners (DX)	1,80	8,1			500	-	-	4.050	2,50	1.620	1,6
Chilled ceilings, TABS		7,5	150		500	-	-	3.750	3,00	1.250	1,3
							40.709			6.100	46,8

2018 Ecofys – A Navigant Company

The determined electricity consumption for air conditioning- and ventilation systems is thus approx. 47 TWh/a, which, in view of the numerous uncertainties, means good agreement with the figures from BMWi [2015a] (for electricity consumption, for air conditioning and ventilation systems and for auxiliary energy of 42 TWh/a in 2008.

The clear majority (approx. 90 %) of electricity consumption is caused by large air conditioning systems, whereby the proportion of systems with cooling function is 38 %, the one without cooling function is 53 %. Within the group of medium and large air conditioning systems, air delivery (fans) accounts for 82 % whereas refrigeration stands for approx. 18 % of the consumption.

Development of the asset portfolio

In the development of existing systems, a distinction must be made between air conditioning systems, refrigeration systems and room air conditioners as well as domestic ventilation systems.

While sales of large and medium-sized air conditioning systems are expected to remain stable in terms of volume flow, sales of water-based room cooling systems and chillers are expected to rise in the future. Sales figures for residential ventilation systems are also expected to tend to rise, particularly due to actual regulations.

Analysis of the existing incentive system

The existing incentive system for ventilation and air conditioning systems consists of a comprehensive set of instruments (including EnEV § 12 and § 15, EEWärmeG, Ecodesign Directive and various subsidy and information programmes, etc.), which, however, has a considerable efficiency deficit, especially for systems in existing buildings and with regard to guaranteeing efficient system operation.

Obstacle analysis

Based on the findings of workshops and a stakeholder survey (manufacturers, planners, consultants, building management and associations), an obstacle analysis was carried out.

The following obstacles could be identified as essential:

1. insufficient operational optimisation, no monitoring → focus on low investment costs, low amortisation time expectations (< 3-5 years)

2. lack of knowledge about the possibility and potential of implementing simple measures on one's own initiative

3. no reference to pure ventilation systems in EnEV § 12 and implementation deficit

4. scepticism towards consultants

5. tenant (user) / landlord (owner, investor)-conflict of interests

6. missing responsibilities

7. high complexity of "grown" systems in larger buildings

8. in the case of (comprehensive) redevelopment: Loss of rent or disruption of operations, if necessary

The former can be particularly addressed by new measures / options for action.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Recommendations for effective measures taken

Building on the results of the obstacle analysis, 39 possible measures were developed and subjected to a comparative evaluation.

As a result of the evaluation, it was decided at several expert group meetings to pursue the following measures further:

a.) Public Relations Package

b.) Quickcheck

c.) System Label (incl. extension of DIN SPEC 15240 and the creation of a corresponding tool) for Existing Systems

d.) Metering obligation for new installations

e.) Retrofitting obligation of meters for existing installations

f.) Obligation for an orderly commissioning

g.) Obligation of moisture recovery in new systems with humidification function

As part of the research project, the implementation of the measures "Package Public Relations", "Quickcheck" and "System Label for Existing Systems " was prepared and accompanied.

The Quickcheck and the System Label address the central obstacle of a lack of operational optimisation and thus close a gap in the consulting chain. Software tools for the Quickcheck and the System Label for Existing Systems are currently being developed as part of a parallel project.

Elaboration of the options for action

There were four options / measures developed within the framework of the research project.

The options for action / measures should address the respective obstacles of the operators along the consulting chain to take suitable measures.

Package Public Relations

The Public Relations Package essentially comprised three measures:

1. Creation of an information flyer

2. Revision of the Internet pages “Deutschland-macht's-effizient" (" Germany goes for efficiency”) of the BMWi

3. Extensions of the existing AMEV guide lines

Quickcheck

The Quickcheck enables a rough but adequate estimation of energy efficiency based on the basic content of DIN SEPC 15240 in the field of refrigeration. The Quickcheck, which can be carried out by energy consultants (EDL-G or within the framework of subsidy programs, e.g. the programme “energy consulting for SMEs”), is intended to provide operators with basic information about the efficiency of their air-conditioning- and ventilation systems in operation and, if necessary, point out possibilities for

2018 Ecofys – A Navigant Company

the next steps (e.g. carrying out a further plant inspection with subsequent label award). A free calculation tool is available on the BMWi website for the Quickcheck. For further information on the Quickcheck, please refer to chapter 5.4.

System Label for Existing Systems

With the new label for air conditioning- and ventilation systems, incentives are created to increase previously unsuitable addressed potentials in existing air conditioning- and ventilation systems. These concern the most effective and highly economic optimisation measures: On the one hand, the quality and design, but on the other hand, the efficient operation of the systems.

The new evaluation methods developed within the scope of the research project were considered in the revision of DIN SPEC 15240.

The System Label for Existing Systems is to be awarded by independent experts as part of an energy inspection. For further information on the System Label, please refer to chapter 5.5.

Metering obligation for new installations

The meter requirement for new systems addresses the fundamental problem in assessing the efficiency of air conditioning and ventilation systems.

By equipping air conditioning- and ventilation systems with meters, the aim is to make users / operators more aware of the operating costs caused by the system and to create a data basis for a detailed diagnosis of the operating behaviour.

It is intended to equip systems with a nominal volume flow of over 3,000 m³/h with an active energy meter for the energy consumption of the supply air fan. The measurement data should be recorded as quarter-hour totals over a period of at least one year.

The implementation could take place within the framework of the EnEV (current § 15 "Cooling and Ventilation") or the Gebäudeenergiegesetz (GEG). A corresponding proof of economic efficiency was provided within the framework of Chapter 2.3.2.4.

All four measures developed within the scope of the research project are interlinked and build on each other. For example, the Public Relations Package draws attention to the possibility of a Quickcheck, which itself guarantees a low-threshold entry point for identifying and correcting operational and quality-related deficits. During the Quickcheck, the reference to the System Label for Existing Systems is established. Improved metering equipment, which would entail the introduction of mandatory metering, could facilitate and improve the work of inspectors, which in turn would form the basis for the implementation of targeted measures.

Potential analyses

Potential calculations were carried out for the seven previously recommended easy-to-implement measures. These are based on the one hand on the analysis of the investment portfolio (see chapter 2.1), the development of the investment portfolio (see chapter 2.2) and the investigation of the effects of measures for individual investments (see chapter 2.1). On the basis of reference buildings, an extrapolation was carried out in which the potential for possible savings in final and primary energy, as well as CO_2 emissions and costs, was calculated.

The resulting possible final energy savings in 2030 are summarized in the following table:

2018 Ecofys – A Navigant Company

Table 7: Expected final energy savings of the seven measures examined in 2030, separated by electricity and heat

Measure	Electricity savings 2030 [PJ/a]	Savings in heat 2030 [PJ/a]
Public Relations package*	0,03	0,05
Quickcheck*	0,04	0,07
(voluntary) Label for Existing Systems*	0,18	0,29
(voluntary) New System Label*	0,08	0,13
Metering obligation for new installations	1,96	0,83
Retrofitting metering obligation	1,30	2,06
Mandatory orderly commissioning	1,64	0,72
Obligatory moisture recovery	0,93	0,82
Sum	**6,16**	**4,97**

*) Mean value between maximum and minimum values

Overall, a reduction in final energy and primary energy of approx. 11 PJ/a and a reduction in CO_2 of approx. 1 $MtCO_2$ in 2030 could be achieved if all the measures examined were implemented. This represents a possible saving of an estimated 3-4 % compared to today's level. By 2050, the savings achieved by these measures could increase further to over 7 %. It can therefore be assumed that the implementation of the measures can make a significant contribution to achieving the national climate protection targets. Against the background of the overall cost savings associated with this, it is recommended to pursue the implementation process of the measures furtherly.

2018 Ecofys – A Navigant Company

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung 4

2. Technisch-ökonomische Potenzialanalyse 5

2.1 Anlagenbestand 5

2.1.1 Anlagenklassifizierung 6

2.1.2 Raumlufttechnik: Klima-, Teilklima und Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden 9

2.1.3 Wohnungslüftungsgeräte 15

2.1.4 Wassergestützte Raumkühlsysteme 16

2.1.5 Hochrechnung auf den Gesamtstromverbrauch 16

2.2 Kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung des Anlagenbestands 20

2.3 Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz 23

2.3.1 Maßnahmenübersicht 23

2.3.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen 24

2.4 Modelle und Szenarien: Einsparpotenziale der Maßnahmen 33

2.4.1 Einsparpotenziale der Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickcheck“ und „Anlagenlabel“ 34

2.4.2 Einsparpotenziale der Maßnahmen „Zählerpflicht für Neuanlagen“, „Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen“, „Verpflichtung einer geordneten Inbetriebnahme“ und „Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion“ 36

2.4.3 Fazit 54

3. Anreizsystem zur Energieeffizienzsteigerung bei Klima- und Lüftungsanlagen 57

3.1 Status Quo 57

3.1.1 Übersicht der Instrumente 58

3.1.2 Regulatorische Instrumente 62

3.1.3 Finanzielle Instrumente 66

3.1.4 Information und Beratung 72

3.1.5 Fazit 75

3.2 Hemmnisse 78

3.2.1 Hintergrund 78

3.2.2 Hemmnisanalyse 79

3.2.3 Übersicht und Bewertung der Hemmnisse 95

3.2.4 Fazit 101

3.3 Empfehlungen 102

3.3.1 Hintergrund 102

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.3.2 Schritt 1a: Steigerung der Effektivität bestehender Anreizsysteme 102
3.3.3 Schritt 1b: Entwicklung neuer Anreizinstrumente 108
3.3.4 Schritt 2: Bewertung der Handlungsoptionen 114
3.3.5 Zusammenfassung/Fazit 121
4. Ausarbeitungen zu Handlungsoptionen 122
4.1 Paket Öffentlichkeitsarbeit 122
4.1.1 Flyer für Klima- und Lüftungsanlagen 122
4.1.2 Überarbeitung der Internetseiten „Deutschland-macht's-effizient" des BMWi 122
4.1.3 Erweiterungen der bestehenden AMEV-Richtlinien 122
4.2 Quickcheck 123
4.3 Anlagenlabel 123
4.3.1 Hintergrund 123
4.3.2 Ziele des Anlagenlabels 124
4.3.3 Auslöser 124
4.3.4 Vergabeberechtigte 125
4.3.5 Grundlagen und Onlinetool 125
4.3.6 Adressierte Anlagen 126
4.3.7 Dokumentation 128
4.4 Zählerpflicht für neue RLT-Anlagen 129
4.4.1 Hintergrund 129
4.4.2 Anforderung 129
5. Standardisierte Bewertung von Klima- und Lüftungstechnik 130
5.1 Kältetechnik – Klimakälteanlagen 130
5.2 Raumlufttechnische Anlagen 132
5.2.1 Energieeffizienzklasse nach dem RLT-Geräte Herstellerverbandes e. V. 132
5.2.2 RLT-Gerätekennwert E_{RLT} nach DIN SPEC 15240 133
5.3 Fazit 134
5.4 Quickcheck für Klima- und Lüftungsanlagen 135
5.4.1 Kältetechnik – Klimakälteanlagen 135
5.4.2 Raumlufttechnische Anlagen 140
5.5 Anlagenlabel für Klima- und Lüftungsanlagen 145
5.5.1 Kältetechnik – Klimakälteanlagen 145
5.5.2 Raumlufttechnische Anlagen 155
6. Anhang 165
6.1 Wirtschaftlichkeitsberechnungen (zu Kapitel 2.3) 165
6.1.1 Feuchterückgewinnung in Neuanlagen 166

2018 Ecofys – A Navigant Company

6.1.2 Zählernachrüstung im Bestand 170
6.1.3 Zählergrundausstattung für Neugeräte 174
6.1.4 Systematische Inbetriebnahme 176
6.2 Info Flyer „Die Luft ist rein“ 178
6.3 Anpassungsvorschläge der Internetseiten „Deutschland-macht’s-effizient“ des BMWi 182
6.4 Textvorschlag zur Anpassung der AMEV-Kälterichtlinie 186
6.5 Textvorschläge für Quickchecktool 187
6.6 Checklisten und Textvorschläge für Zusatzbewertungen („Icons“) des Anlagenlabels 189
6.6.1 Sommerlicher Wärmeschutz 189
6.6.2 Ausstattung mit Zählern und Sensorik 192
6.6.3 Ökologie des Kältemittels 195
6.7 Empfehlung für eine Gliederung des Inspektionsberichtes 197
6.8 Erhöhung der Aussagekraft des Anlagenlabels durch zusätzliche Darstellung von Effizienzkategorien im Begleittext 199
6.8.1 Vorschlag für mögliche Effizienzkategorien: 199
6.8.2 Möglichkeiten der Umsetzung im Berechnungstool: 199
6.8.3 Umsetzung im Anlagenlabel RLT 199
6.8.4 Umsetzung im Anlagenlabel Kälte 204
6.9 Vorschlag für Ökodesign-Anforderungen an die Betriebsüberwachung von Klima/Lüftungsanlagen 214
6.9.1 Betriebsüberwachung bei RLT-Anlagen 214
6.9.2 Betriebsüberwachung bei Kälteanlagen 221
7. Quellenverzeichnis 225

2018 Ecofys – A Navigant Company

1 EINLEITUNG

Der Gebäudesektor spielt eine zentrale Rolle bei der Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele in Deutschland. Laut Energiekonzept und Energiewende-Beschlüssen der Bundesregierung soll der Gebäudebestand 2050 nahezu klimaneutral sein [BMWi und BMU, 2010]. Die Frage wie dieses Ziel erreicht werden kann, wurde in mehreren Studien behandelt, zuletzt in Bürger et al., 2016.

Im Gegensatz zum Heizenergiebedarf wird davon ausgegangen, dass Endenergiebedarf für Klima- und Lüftungsanlagen künftig nicht absinken wird. Dies ist zum einen auf die vermehrte Anzahl von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden, vor allem aber auch auf den höheren Bedarf von klimatisierten Flächen zurückzuführen. Gemäß dem Referenzszenario der Effizienzstrategie Gebäude [BMWi, 2015a] würde der Endenergiebedarf (Strom) für Klima- und Lüftungsanlagen und Hilfsenergie bis zum Jahre 2050 von 146 PJ/a im Jahre 2008 ohne weitere gegensteuernde Maßnahmen um 84 % auf 269 PJ/a zunehmen und damit fast 50 % des Strombedarfs im Gebäudebereich bedeuten. Auch in den beiden Zielszenarien der Effizienzstrategie Gebäude wird von einem Anstieg des Endenergiebedarfs für Klima- und Lüftungsanlagen und Hilfsenergie ausgegangen. Gegenüber dem Ausgangswert 2008 beträgt dieser jedoch nur 32 % im Zielszenario Effizienz bzw. 73 % im Zielszenario Erneuerbare Energien. Die Lücken von entsprechend 76 PJ/a zum Zielszenario Effizienz bzw. mind. 17 PJ/a zum Zielszenario Erneuerbare Energien sind durch eine Verbesserung des Anreizsystems zu erschließen.

Trotz der offensichtlich hohen Relevanz von Klima- und Lüftungsanlagen für den Klimaschutz ist die diesbezügliche Datenlage extrem schlecht. Dies wirkt sich auf die Genauigkeit Prognosen aus. Zum einen liegt kaum belastbares Material zum Datenbestand und dessen Entwicklung vor, zum andern ist der tatsächliche Energieverbrauch der allermeisten Anlagen aufgrund fehlender Messdaten unbekannt.

Aufgrund der vergleichsweise begrenzten Lebensdauer von Klima- und Lüftungsanlagen ist davon auszugehen, dass bis zum Jahre 2050 ein Großteil der Anlagenteile heute noch nicht im Betrieb ist. Ein Fokus des Anreizsystems sollte sich daher auf neue Anlagenkomponenten und Geräte richten, wenngleich natürlich auch eine Optimierung bestehender Anlagen im Hinblick auf eine Reduzierung der kumulierten CO_2-Emissionen zielführend ist, solange dadurch keine Lock-In-Effekte z. B. durch verzögerten Austausch veralteter Anlagen verursacht werden.

Das übergeordnete Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, wirksame Maßnahmen zur Minderung des Energieverbrauchs und der Klimawirkung von Klima und Lüftungsanlagen zu entwickeln und, soweit als möglich, in die Umsetzung zu überführen. Vorhandene Defizite und Hemmnisse sollen dabei identifiziert und adressiert werden.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes sollten vorhandene Defizite und Hemmnisse identifiziert und wirksame Maßnahmen zu deren Adressierung entwickelt werden.

Ziel des ersten Arbeitspaketes des Forschungsvorhabens war die Erhebung und technische Bewertung des Anlagenbestandes, sowie zur Bestimmung der ökonomischen und ökologischen Potenziale einzelner Maßnahmen.

Zur Bestimmung geeigneter Maßnahmen sollte zunächst das bestehende Anreizsystem analysiert und die wesentlichen Hemmnisse aufgezeigt werden.

Die dabei vielversprechendsten Maßnahmen sollten anschließend ausgearbeitet und deren Potenziale quantifiziert werden. Soweit es im Rahmen des zweijährigen Projektes möglich ist, sollten die Maßnahmen bei deren Umsetzung begleitet werden.
Eine zentrale Maßnahme war die Entwicklung eines Labels für Klima- und Lüftungsanlagen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

2 TECHNISCH-ÖKONOMISCHE POTENZIALANALYSE

2.1 Anlagenbestand

Raumlufttechnische Anlagen wurden und werden installiert, um unterschiedlichste Aufgaben zu erfüllen. Diese lassen sich zunächst einteilen in

1. die Abfuhr stofflicher Lasten aus Gebäuden wie z. B.
    - „verbrauchter Raumluft“ infolge des Aufenthaltes von Personen
    - Emissionen aus Baustoffen, Einrichtungsgegenständen, z. B. TVOC
    - Wasserdampf (Entfeuchtungsfunktion), der durch die Raumnutzung freigesetzt wird, z. B. in Küchen, Schwimmbädern, Wohnungen
    - Befeuchtung von Raumluft aus Komfortgründen oder aus z. B. konservatorischen Gründen (z. B. in Museen) oder anderen technologischen Gründen (z. B. in OP-Räumen)
    - Luftkeime in Krankenhäusern
    - Luftschwebstoffe (z. B. Halbleiterfertigung), Stäube
    - produktionsbedingte Schadstoffe, Lösemitteldämpfe (z. B. in Laboren).
2. die Abfuhr/Deckung thermischer Lasten in Gebäuden
    - Kühllasten, hervorgerufen durch äußere thermische Belastungen (Solarstrahlung, Transmission und Infiltration) oder nutzungsbedingte thermische Belastungen (IT, elektrische Geräte, Produktionsprozesse)
    - Heizlasten, z. B. in Industriehallen.

Die Gründe für die Installation von raumlufttechnischen Anlagen dürften unterschiedlich sein. Unabhängig von den thermischen Gründen gibt es eine Reihe von Anwendungen, die aufgrund der Belastungshöhe und entsprechender Vorschriften und Regeln eine mechanische Lüftung unumgänglich machen, wie z. B. in gewerblichen Küchen, Schwimmbädern, Laboren oder Versammlungsstätten.

In anderen Nutzungen können es individuelle bauliche oder äußere Gründe sein, die einer natürlichen Lüftung Grenzen setzen. Dies können Windlasten bei Hochhäusern, Verkehrslärm in der Umgebung, erhöhte Sicherheitsanforderungen, Grundrisse mit zu großen Raumtiefen oder innen liegenden Räumen sein.

Komfortgründe spielen nach wie vor eine große Rolle - aber auch Kostengründe. So gilt es allgemein als unbestritten, dass in Klassenzimmern eine reine Fensterlüftung zu unakzeptablen Raumluftqualitäten führt. Trotzdem werden die erhöhten Investitionskosten für eine mechanische Lüftung häufig vermieden und Einschränkungen hingenommen. Umgekehrt ist ebenso unbestritten, dass bei klimagerechter Bauweise eine Klimatisierung von Büroräumen in vielen Fällen verzichtbar sein dürfte, aus Komfortgründen jedoch installiert wird.

In Niedrigstenergie-Wohngebäuden sind mechanische Lüftungsanlagen als Energiespartechniken akzeptiert, da die Energieeinsparungen durch Wärmerückgewinnung höher sind als der Strombedarf für den Lufttransport.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Raumlufttechnische Anlagen unterliegen einer großen Systemvielfalt, die durch verschiedene Ursachen entstanden sein dürfte:

- Die Systemvielfalt ergibt sich durch die unterschiedlichen Aufgabenstellungen: Anlagen nur zum „Lüften“ werden anders konzipiert als Anlagen mit dem Schwerpunkt „Kühlen“
- der technische Fortschritt hat die Systeme beeinflusst, hier insbesondere die Möglichkeiten der digitalen Regelungstechnik oder technologische Meilensteine wie Frequenzumrichter, die eine preiswerte Möglichkeit zur Drehzahlregelung leistungsstarker Motoren erst möglich gemacht haben
- der höhere Stellenwert der Energiekosten und des Klimaschutzes haben die Systeme ebenso beeinflusst, wie das Bedürfnis mit raumlufttechnischen Anlagen erneuerbare Energien (z. B. Hochtemperaturkälte) einzusetzen
- Organisatorisch-architektonische Einflüsse z. B. auf die Büroorganisation mit Großraumbüros, Gruppenbüros, Kombibüros oder die Errichtung von Hochhäusern
- der gesellschaftliche Trend zu mehr Freizeiteinrichtungen, die Tendenz zu großflächigem Einzelhandel oder die Digitalisierung der Wirtschaft
- die Akzeptanz bei den Nutzern allgemein, gewandelte Ansprüche an den thermischen Komfort und individuelle Raumklima-Beeinflussungsmöglichkeiten, Forschungsergebnisse zur thermischen Behaglichkeit und zum Sick-Building-Syndrome.

2.1.1 Anlagenklassifizierung

Die Klassifizierung von raumlufttechnischen Anlagen im Nichtwohngebäudebereich unterscheidet sich von den Systemen im Wohngebäudebereich. Die Gründe dafür sind vielfältig. Insgesamt sind Wohnungslüftungsanlagen sehr viel stärker standardisiert und die Geräte entstammen eher der Serienproduktion. Innerhalb von einer Nutzungseinheit erfolgt in der Regel keine getrennte Luftvolumenstromregelung mehr und die thermische Luftbehandlung beschränkt sich meist auf die Lufterwärmung.

Bei Nichtwohngebäuden sind die Luftwechselzahlen höher, die Luftbehandlung häufiger um die Funktionen Kühlen, Be- und Entfeuchten erweitert. Meist sind in Nichtwohngebäuden die raumweisen Luftbilanzen ausgeglichen und Räume oder Zonen separat regelbar. Raumlufttechnische Zentralgeräte werden projektbezogen individuell gefertigt und die Systemvielfalt ist höher.

RLT-Anlagen in Nichtwohngebäuden

Bei RLT-Anlagen in Nichtwohngebäuden gibt es verschiedene Klassifizierungsmöglichkeiten:

1. Thermische Luftbehandlung:
    - Lüftungsanlagen: Als Lüftungsanlagen bezeichnet man Anlagen ohne thermische Luftbehandlung oder mit der Funktion Lufterwärmung.
    - Teilklimaanlagen: Teilklimaanlagen verfügen über mindestens zwei von drei Funktionen (Erwärmen, Kühlen und Befeuchten)
    - Klimaanlagen: Ergänzend zu den Funktionen Erwärmen, Kühlen und Befeuchten wird bei Klimaanlagen noch eine geregelte Luftentfeuchtung vorgenommen.
2. Zentralisierung
    - Zentrale Anlagen konditionieren die Zuluft und verteilen diese über ein Kanalnetz im Gebäude.

2018 Ecofys – A Navigant Company

- Dezentrale Anlagen saugen die Außenluft an der Fassade eines Raumes oder einer Zone an und verteilen die aufbereitete Zuluft direkt im gleichen Raum bzw. der gleichen Zone.

3. Kühlmedium:
    - Nur-Luft-Systeme: Die komplette Kühlleistung erfolgt mit dem Medium Luft. Dies bewirkt in der Regel eine Dimensionierung des Luftstroms über das hygienische Minimum hinaus.
    - Luft-Wasser-Systeme: Hier erfolgt die Grundkühlung der Räume durch den auf das hygienisch notwendige Minimum begrenzten Mindestvolumenstrom. Die Spitzenkühlung übernimmt ein separates wassergestütztes Kühlsystem (z. B. Kühldecken, Umluftkühlgeräte o. ä.
    - Raumklimasysteme verwenden Kältemittel als Energieträger, dass innerhalb eines Wärmeübertragers im Raum direkt verdampft. Die Kondensation erfolgt i. d. R. über einen Verflüssiger in Außenaufstellung.
4. Luftvolumenstromregelung: Da die raum- oder zonenweise Luftvolumenstromregelung technisch sehr aufwändig sein kann wird unterschieden in:
    - Konstant-Volumenstrom-Systeme verfügen über fest eingedrosselte Kanalnetze und ungeregelte Ventilatoren
    - Variabel-Volumenstrom-Systeme: Diese verfügen mindestens über leistungsgeregelte Ventilatoren, ergänzt um raum- oder zonenweise elektromotorische Regelorgane zur Luftstromverteilung und -anpassung

Wohnungslüftungsanlagen

Bei Wohnungslüftungssystemen konkurrieren Systeme der freien Lüftung mit Systemen der ventilatorgestützten (mechanischen) Lüftung.

- Reine Abluftanlagen saugen die Abluft aus Bädern und /oder Küchen ab, während die Außenluft durch Fugen und Durchlasselemente nachströmt.
- Bei Zu- und Abluftanlagen werden beide Luftvolumenströme ventilatorgestützt gefördert. Dadurch besteht die Möglichkeit zur Wärmerückgewinnung und die Außenluft tritt vorgewärmt in die Räume.

Beide Grundsysteme können gebäudezentral, wohnungszentral oder raumweise dezentral realisiert werden.

Der Sonderfall der reinen Zuluftsysteme ist in der Praxis eher selten anzutreffen.

Raumkühlsysteme

Raumkühlsystem werden unterschieden in wassergekühlte Systeme, entweder als eigenständige Lösung oder als Teil von Luft-Wasser-Systemen, und in direktverdampfende Systeme mit Kältemittel als Energieträger.

- Bei wassergekühlten Systemen können vielfältige Ausführungsarten mit unterschiedlichen Strahlungs- und Konvektionsanteilen miteinander kombiniert werden.
- Bei direktverdampfenden Systemen bilden Erzeugung, Verteilung und Übergabe zusammenhängende Systeme, z. B. in Form von Splitklimageräten.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Kälteerzeugungsanlagen

Die thermodynamischen Grundprozesse unterscheiden sich in Kompressionsprozesse und Sorptionsprozesse (Absorption, Adsorption).

- Kompressionsmaschinen verfügen über mechanisch angetriebene Verdichter, die i. d. R. elektrisch angetrieben werden. Unterscheidungsmerkmale ergeben sich durch die Art der Kältemittelverdampfung und die Art der Kondensation (luftgekühlt, wassergekühlt). Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die Verdichterbauart (Kolbenverdichter, Scrollverdichter, Schraubenverdichter und Turboverdichter)
- Sorptionsmaschinen arbeiten mit entweder mit flüssigen Lösungen (Absorption) oder Sorption an Festkörpern (Adsorption) und nutzen ebenfalls den Phasenwechsel eines Arbeitsstoffes mit Wärme als Antriebsenergie.

Im Zusammenhang mit der Verbreitung von geothermischen Heizanlagen haben geothermische Kühlsysteme an Bedeutung gewonnen. Diese nutzen entweder Grundwasser oder das Erdreich als Kältequelle und können im Zusammenhang mit dem Wärmeentzug in der Heizperiode die Energiebilanz des Untergrundes ausgleichen.

Konventionelle Kälteerzeugungsanlagen können saisonal als Freikühlsysteme arbeiten, indem das Temperaturpotenzial der Außenlufttemperatur oder der Feuchtkugeltemperatur genutzt wird. Ausschließliche Freikühlsysteme bedingen ein sehr hohes Temperaturniveau auf der Abnehmerseite und sind entsprechend selten vorzufinden.

Abbildung 1: Klassifizierung von raumlufttechnischen Anlagen nach DIN V 18599 – 10

2018 Ecofys – A Navigant Company

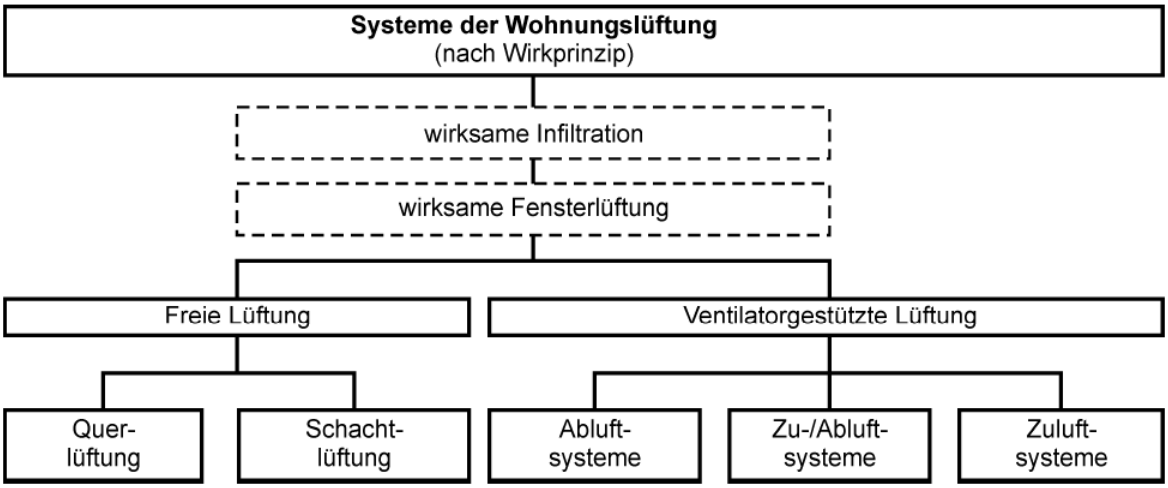


Abbildung 2: Klassifizierung von Wohnungslüftungssystemen nach DIN V 18599 - 6

Kompressionskältemaschinen (KKM)								**Absorptionskälte-maschinen (AKM)**	
wassergekühlt				luftgekühlt				wassergekühlt	
Indirekte Systeme (Wasserkühl-maschinen)		Direkte Systeme (Direktverdampfer-Anlagen)		Indirekte Systeme (Wasserkühl-maschinen)		Direkte Systeme (Direktverdampfer-Anlagen, Raumklimasysteme)		Indirekte Systeme (Wasserkühl-maschinen)	
Nass-kühler	Trocken-kühler	Nass-kühler	Trocken-kühler	Kompakt-bauweise	Split-bauweise	Einzel-System	Multi-System	Nass-kühler	Trocken-kühler
Kolben- und Scroll-verdichteranlagen		Kolben- und Scroll-verdicheranlagen		Kolben- und Scroll-verdichteranlagen		Splitgerät	Multisplit-gerät	H_2O/LiBr-Absorptions-kälteanlagen	
Schrauben-/Turbo-verdichteranlagen		Schrauben-/Turbo-verdichteranlagen		Schrauben-verdichteranlagen		Kompakt-klimagerät	VRF-System		

Abbildung 3: Klassifizierung von maschinellen Kälteerzeugungsanlagen nach DIN V 18599 – 7

2.1.2 Raumlufttechnik: Klima-, Teilklima und Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden

In der Studie von Schiller et al. [2014] zum Potenzial der energetischen Klimaanlageninspektion wurden die verschiedenen Quellen zum Nichtwohngebäudebestand ausgewertet und gemittelt, was zu einer Bestandsfläche von ca. 2.400 Mio. m² für das Bezugsjahr 2012 (Abbildung 1) führte.

Aktuellere Untersuchungen zu Bestand und Typologie von Nichtwohngebäuden in der durch das UBA beauftragten Studie zum klimaneutralen Gebäudebestand [Bürger et al., 2016] greifen auf teils gleiche Primärquellen zurück [Schlomann et al., 2011] und kommen zu keinen abweichenden Ergebnissen beim Flächenbestand.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Abweichungen zeigt die BMVBS-Studie zur Gebäudetypologie [Deilmann et al., 2013] mit ca. 1,5 - 1,7 Mrd. m², die teilweise aber dadurch zu erklären sind, dass Typologien untersucht wurden und dadurch Flächen in Gebäuden mit Mischnutzung unterrepräsentiert sind bzw. möglicherweise fehlen.

Die nachfolgende Abbildung 1 stammt aus der Studie zur Klimaanlageninspektion [Schiller et al., 2014] und stellt unterschiedliche Quellenauswertungen gegenüber. Dabei wurden aus den vergleichbaren Gebäudekategorien drei Gruppen gebildet und die differierenden Kategorien zur Gruppe „Andere“ zusammengefasst. Für die einzelnen Gruppen wurde dann der Flächenmittelwert gebildet und zum mittleren Gesamtbestand aufsummiert.

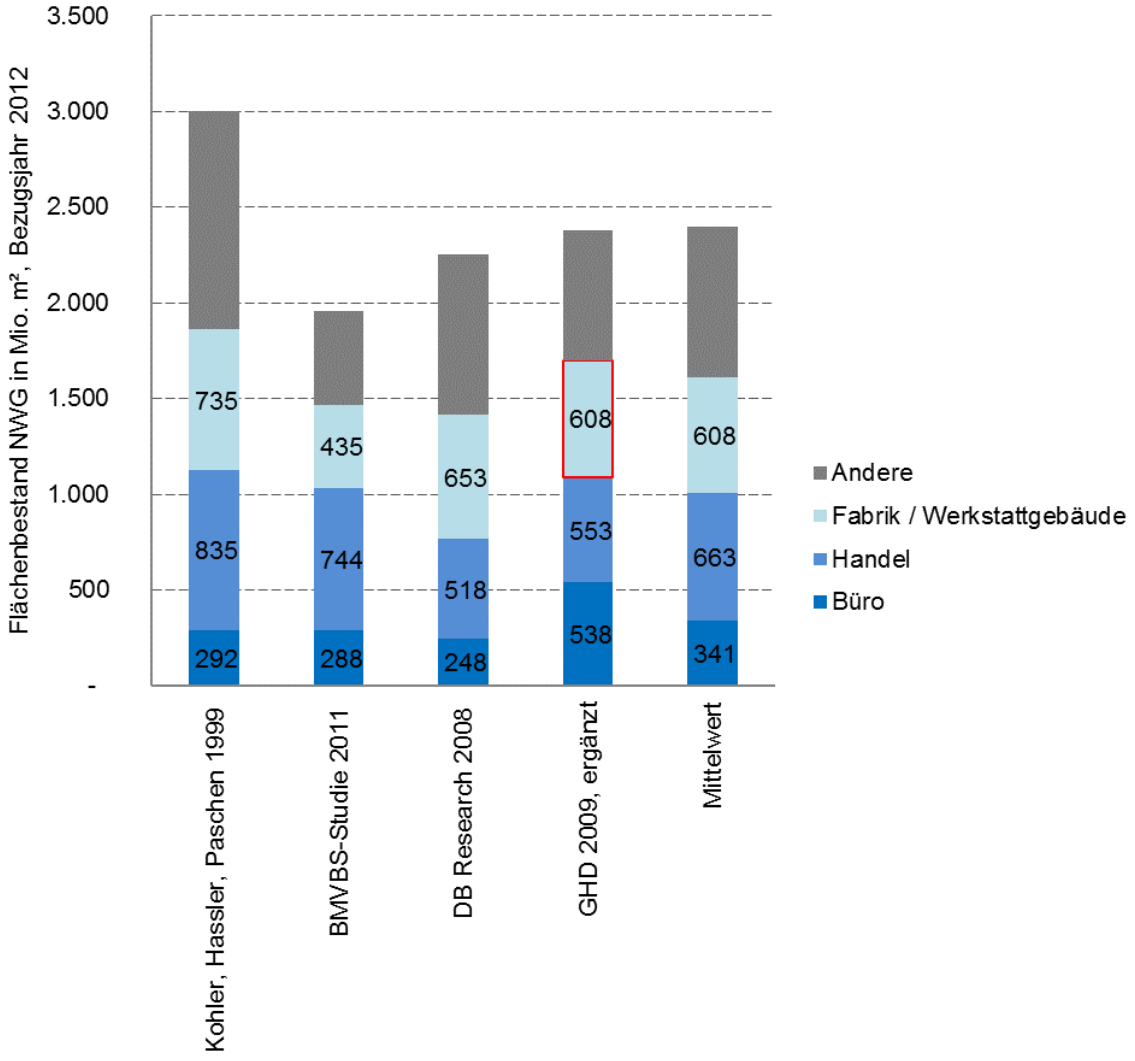


Abbildung 4: Flächenangaben für Nichtwohngebäude, extrapoliert auf das Bezugsjahr 2012 Schiller et al., 2014

In der Ecofys-Studie [Bettgenhäuser et al., 2011] zur Gebäudekühlung wird die gekühlte Fläche in Nichtwohngebäuden für das Jahr 2015 auf Basis der EECCAC-Studie [Adnot et al., 2003] auf für 2015 auf ca. 400 Mio. m² prognostiziert. Hinzu käme ein ebenfalls hoher Flächenanteil mechanisch belüfteter Flächen ohne Kühlung, so dass der Anteil mechanisch belüfteter oder teilklimatisierter Flächen im Nichtwohngebäudebestand ca. 25 – 40 % betragen dürfte.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Eine differenziertere Schätzung der Ausstattung mit Lüftungsanlagen und Teilklima-/Klimaanlagen wurde in der BMVBS-Studie [Deilmann et al., 2013] vorgenommen. Die Annahmen variieren je nach Gebäudetyp deutlich, wie die nachfolgenden Auszüge zeigen:

- Hochschulen: 15 %
- Allgemeine Bürogebäude: 30 %
- Fabrikgebäude: 60 %
- Lagergebäude: 15 %
- Kaufhäuser, Einkaufszentren, Verkaufsgebäude: > 80 %
- Krankenhäuser: 80 %
- Praxisgebäude: 40 %
- Museen, Theater, Bibliotheken: > 80 %
- Sport- und Schwimmhallen: 100 %
- Hotels, Pensionen: 35 %
- Gaststätten und Restaurants: 25 %.

Aus den wenigen vorliegenden Literaturquellen erscheinen die Untersuchungen von Kaup [2009] & [2012] zum Potenzial von Wärmerückgewinnungsanlagen in RLT-Anlagen als geeignetste Grundlage zur Abschätzung des Anlagenbestandes und der Zusammensetzung der Anlagengrößen.

Die Untersuchungen basierten auf der stichprobenartigen Auswertung von Absatzzahlen. Zugrunde lagen ca. 80.000 Geräteauslegungsdaten zur Angebotserstellung aus Datenbanken zweier Hersteller aus den Jahren vor 2009, später ergänzt um das Jahr 2010.

Die Basisdaten in Form einer Häufigkeitsverteilung von Gerätegrößen wurden uns zur Verfügung gestellt. Aus der Größenverteilung der abgesetzten Zentralgeräte ergab sich:

- ein Medianwert von ca. 7.500 m³/h je RLT-Gerät
- ein durchschnittlicher Luftvolumenstrom von 14.340 m³/h je RLT-Gerät.

Die Extrapolation auf den Branchenabsatz erfolgte:

- über von den Umsatzzahlen der Stichprobe auf die Umsatzzahlen der Verbandsmitglieder (ca. 70 %)
- extrapoliert auf die Umsätze der Nichtmitglieder
- mit Berücksichtigung einer Exportquote von ca. 26 %.

Daraus ermittelte Kaup [2009] für die Jahre 2006 – 2008 durchschnittlich ca. 43.200 abgesetzte Einheiten, die einem jährlichen Gesamtvolumenstrom von 619 Mio. m³/h entsprechen. Beck [2000] ermittelte in seiner Dissertation, nach einer ähnlichen Marktanalyse für das Jahr 1997, ca. 38.000 abgesetzte Zentralgeräte, bei einem Gesamtvolumenstrom von 658 Mio. m³/h. Die Absatzzahlen sind, bezogen auf den Luftvolumenstrom also relativ stabil. Aufgrund sinkender Gerätegrößen stiegen die Stückzahlen leicht an.

Den Ausstattungsgrad mit Luftkühlern hat Kaup [2012] in Höhe von 41 % ermittelt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Unter Berücksichtigung der Bagatellgrenze von 12 kW Kühlleistung ergab eine Auswertung in Kaup [2012] eine jährliche Anzahl von Neugeräten, die unter die Inspektionspflicht fallen, mit > 200 Mio. m³/h.

Der Anteil reiner Prozesslufttechnikanlagen wurde mit < 10 % geschätzt. Für die Lebensdauer der Anlagen wurde von 25 - 30 Jahren ausgegangen.

Somit führt der aus den Absatzzahlen zu ermittelnde Anlagenbestand zu einem installierten Gesamtvolumenstrom in der Größenordnung von 4,5 - 6 Mrd. m³/h bzw. 320.000 – 420.000 Anlagen Stand 2012, die unter die Inspektionspflicht fallen. Die Kriterien dabei waren: mittlere und große Anlagen mit Kühlfunktion, > 12 kW. Eine Unterscheidung in Neu- und Ersatzinvestitionen konnte aufgrund der Datenbasis nicht vorgenommen werden. Bei einem Betrachtungszeitraum von 25 – 30 Jahren blieben allerdings auch die älteren Anlagen unberücksichtigt, für die der Ersatz infrage käme.

Unter Zugrundelegung des Ausstattungsgrades mit Kühlern von ca. 41 % ergibt sich eine geschätzte Anzahl von zusätzlichen Lüftungsanlagen oberhalb einer Bagatellgrenze von ca. 3.000 m³/h in mindestens ähnlicher Größenordnung bzw. 480.000 – 630.000 Anlagen.

Die Summe mittlerer und großer raumlufttechnischer Anlagen führt zu einem Gesamtvolumenstrom im Bereich von 780.000 … 1.000.000 m³/h. Bei einer Nutzfläche in Nichtwohngebäuden von 2.400 Mio. m² würde dies einem mittleren spezifischen Volumenstrom von 4 bis 6 m³h je m² ergeben bzw. einem 1-2-fachen Luftwechsel entsprechen. Diese Zahl erscheint hoch, allerdings sind in Nichtwohngebäuden deutlich höhere Luftwechselzahlen als in Wohngebäuden üblich. In mechanisch belüfteten Bestandsbüros sind Luftwechsel > 2 h^{-1} üblich, alle übrigen Nutzungsarten dürften teils deutlich darüberliegen. Dadurch wird der hohe Mittelwert, der ja auch natürlich belüftete Flächen einschließt, relativiert.

Über die Aufteilung Industrie / Nichtindustrie liegen keine genauen Erkenntnisse vor. Für Klimaanlagen im Industriebereich wurde in Schiller et al. [2014] eine Schätzung auf Basis der Absatzzahlen von Kältemaschinen vorgenommen, deren Ergebnis nicht auf Lüftungsanlagen übertragbar ist. Diese Schätzung ergab ca. 774 Mio. m³/h, was bei der durchschnittlichen Gerätegröße ca. 55.000 Klimaanlagen entspricht. Die Anzahl erscheint im Nachhinein zu gering. Der Anteil reiner Lüftungsanlagen dürfte im Industriebereich durch geringere Komfortstandards in Fertigungsstätten, Lagerhallen u. a. im Vergleich zu anderen Nutzungsarten überproportional höher ausfallen. Die Schätzung lautet daher deutlich über 100.000 Lüftungsanlagen.

Für den Industriebereich wird davon ausgegangen, dass die überwiegende Anzahl der Anlagen dem Personenaufenthalt dient bzw. gleichzeitig dem Personenaufenthalt und der Produktion (z. B. nur durch zusätzliche Optionen wie Befeuchtung / Entfeuchtung). Der Anteil ausschließlicher Produktionsanlagen bzw. prozesslufttechnischer Anlagen wurde auf deutlich kleiner als 10 % geschätzt und ist in den oben genannten Zahlen bereits ausgenommen.

Kleine raumlufttechnische Anlagen (≤ 3.000 m³/h), die aufgrund der Bagatellgrenze von der Inspektionspflicht ausgenommen sind, bilden bei den Stückzahlen einen Anteil von ca. 20 %, bleiben jedoch bei den installierten Volumenströmen bei einem marginalen Anteil von < 3 %. Über die Verteilung mit / ohne Kühlfunktion liegen keine gesonderten Daten vor.

In der Studie zum Potenzial der energetischen Klimaanlageninspektion Schiller et al. [2014] wurden nach einer Bottom-Up-Methode Referenz-Liegenschaften aus der eigenen Berufspraxis analysiert und über statistische Daten zum Gebäudebestand extrapoliert. Diese Daten wurden durch weitere Schätzungen für die Nutzungstypen:

- Fitnesscenter
- Multifunktionsarenen

2018 Ecofys – A Navigant Company

- Restaurants, Systemgastronomie
- Schwimmbäder, Thermen
- Arztpraxen, Apotheken
- Rechenzentren

ergänzt und führten zu einer geschätzten Nutzungsverteilung der Anlagen.

Insgesamt konnten ca. 2/3 der ermittelten installierten Luftvolumenströme mit der Bottom-Up-Methode den Gebäuden zugeordnet werden. Es verbleiben ca. 31 % für sonstige Anwendungen bzw. Fehler bei der Extrapolation. Die Größenordnung der Bestandsextrapolation auf Basis von Absatzzahlen wird durchaus bestätigt.

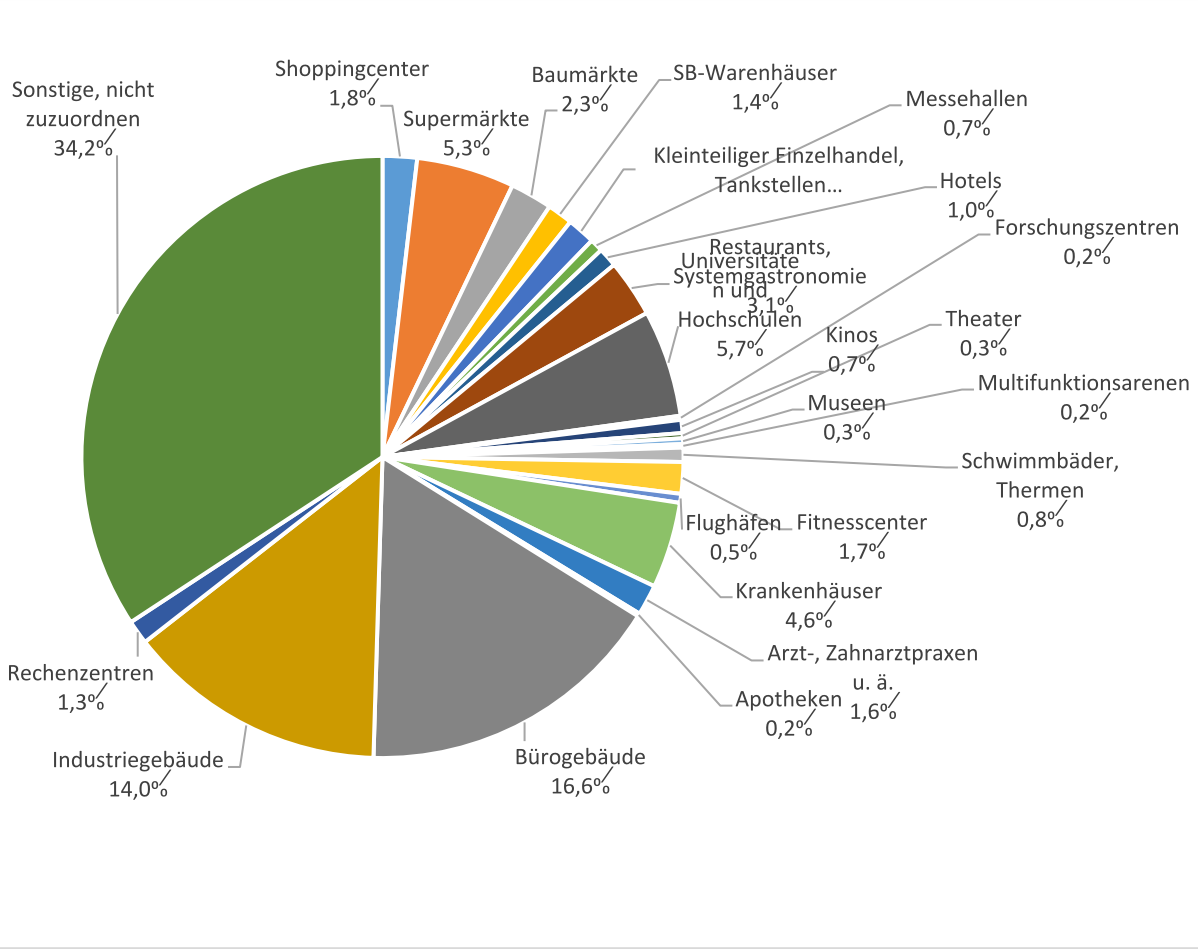


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Luftvolumenströme von inspektionspflichtigen RLT-Anlagen nach Gebäudekategorien (Bottom-Up-Methode) in Fortschreibung der Studie Schiller et al. [2014]

2018 Ecofys – A Navigant Company

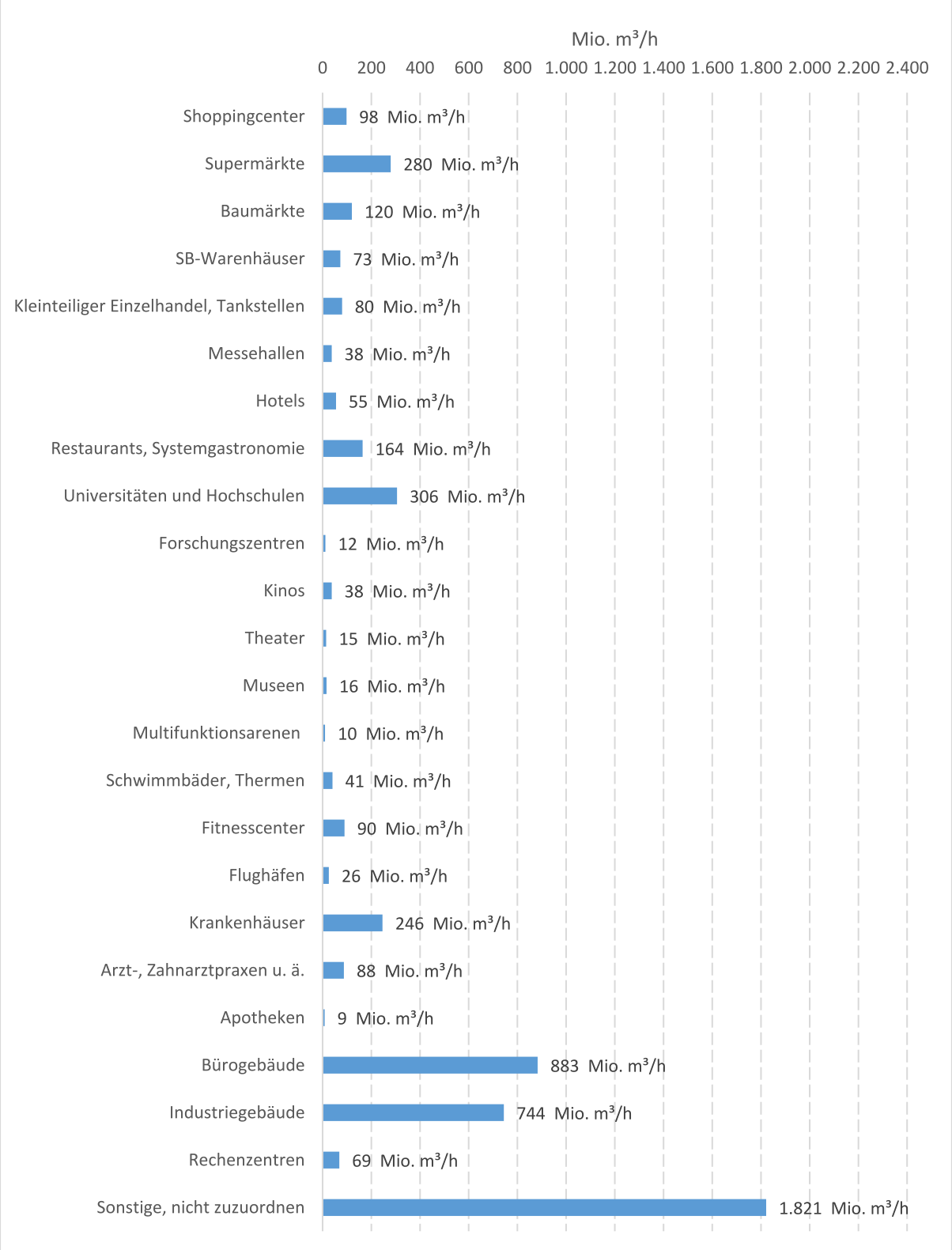


Abbildung 6: Absolute Verteilung von inspektionspflichtigen RLT-Anlagen nach Gebäudekategorien (Bottom-Up-Methode) in Fortschreibung der Studie Schiller et al. [2014]

2018 Ecofys – A Navigant Company

2.1.3 Wohnungslüftungsgeräte

Grundlage der Bestandsermittlung bildeten vertrauliche Marktdaten der im Fachverband FGK organisierten Hersteller, aus denen sich aktuelle Absatzzahlen sowie deren Zusammensetzung (zentrale Wohnungslüftungsgeräte und dezentrale raumweise Geräte) ableiten ließen. Nicht betrachtet wurden dabei reine Abluftanlagen.

Ein spürbarer Marktzuwachs an Wohnungslüftungsgeräten lässt sich ab dem Jahr 2003 rückverfolgen. Der Anstieg bis 2013 war dynamisch mit einer (vorläufigen) Sättigung auf hohem Niveau. Der Markttrend wurde durch zwei Aspekte verstärkt:

- Das energiesparende Bauen und die Entwicklung der EnEV forcierte eine immer luftdichtere Bauweise. Bei unzureichender Wohnungslüftung ist im Inneren stattfindende Wasserdampfproduktion nicht mehr selbsttätig abführbar. Die Normung und die Rechtsprechung hat sich dahingehend geändert, dass der feuchteschutztechnische Mindestvolumenstrom nutzerunabhängig gewährleistet sein muss, was in vielen Fällen lüftungstechnische Maßnahmen erfordert.
- Ebenfalls durch die Entwicklung im energiesparenden Bauen wurde der Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen gefördert, da diese einen deutlichen Beitrag zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs leisten können.

Auf Basis der vertraulichen Marktdaten ergab die Hochrechnung einen aktuellen Bestand von ca. 285.000 Wohnungslüftungsgeräten. Genauere Angaben können aufgrund der Vertraulichkeitsvereinbarung nicht veröffentlicht werden.

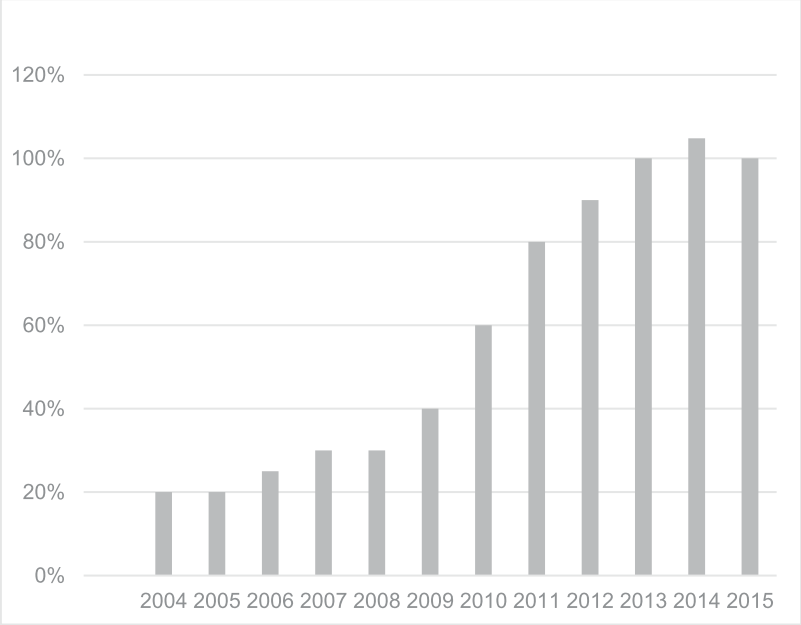


Abbildung 7: Relativer Absatz von Wohnungslüftungsgeräten (2015 = 100 %)*Direktverdampfende Raumklimageräte*

2018 Ecofys – A Navigant Company

Grundlage der Bestandsermittlung bildeten auch hier vertrauliche Marktdaten der im Fachverband FGK organisierten Hersteller, aus denen sich aktuelle Absatzzahlen sowie deren Zusammensetzung (Leistungsbereiche, Aufteilung in Single- und Multisplitsysteme) ableiten ließen. Die aktuellen Absatzzahlen decken sich mit einer in Japan veröffentlichten Studie zu internationalen Marktdaten JARN [2012], die wiederum eine mehrjährige Rückverfolgung und Marktentwicklung zulässt.

Danach bewegten sich die Absatzzahlen ortsfester Raumklimageräte (Split- und Multisplitanlagen) nach den vorliegenden Marktdaten auf ca. 130.000 Anlagen jährlich bei annähernd konstantem Niveau. Dabei entfallen 80 – 90 % der Anlagen auf den Leistungsbereich <12 kW. Der weit überwiegende Anteil dürfte auf Erstinstallationen in Neubauten oder Bestandsgebäuden entfallen. Der derzeitige Bestand an Anlagen wird auf 1,4 – 2,4 Mio. Stück geschätzt und verteilt sich schwerpunktmäßig auf Bürogebäude, Einzelhandel und Gastronomie.

2.1.4 Wassergestützte Raumkühlsysteme

Zur Gruppe der wassergestützten Raumkühlsysteme gehören Umluftkühlgeräte, Kühldecken, Betonkernaktivierungen. Über den Absatz dieser Geräte und Anlagen liegen keine Daten vor, zumal auch z. B. bei den eingesetzten Rohren auch ein Einsatz für reine Heizzwecke denkbar wäre.

Die Bestandsermittlung erfolgt hier über die Untersuchungen zu Kältemaschinen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass ca. 20 % der in Nichtindustrieanwendungen installierten Kälteleistungen auf wassergestützte Raumkühlsysteme entfallen. Dies führt zu einer installierten Leistung von ca. 7.500 MW bzw. einer gekühlten Fläche von ca. 150 Mio. m².

2.1.5 Hochrechnung auf den Gesamtstromverbrauch

In der nachfolgenden Tabelle wurden die Daten der Bestandsermittlung über typische Effizienzkennzahlen, Betriebs- und Nutzungszeiten zum Gesamtstromverbrauch hochgerechnet. Dabei wurde der Bestand untergliedert in:

- Teilklimaanlagen groß und mittel
- Lüftungsanlagen groß und mittel
- RLT-Anlagen klein (bis 3.000 m³/h)
- zentrale Wohnungslüftungsanlagen
- direktverdampfende Raumklimageräte
- wassergestützte Raumkühlsysteme.

Die Hochrechnung des Stromverbrauchs erfolgt für folgende Energieanteile:

- Stromverbrauch für die Luftförderung
- Stromverbrauch für die Kälteerzeugung in (überwiegend) Kompressionskältemaschinen inklusive Rückkühlventilatoren, Kühl- und Kaltwasserpumpen
- Stromverbrauch für elektrisch beheizte Dampferzeuger.

Bei den Effizienzkennwerten zur Bestimmung des elektrischen Energiebedarfs wird unterschieden zwischen Ventilatoren (dort: spezifische Ventilatorleistungen als SFP-Werte) und der mechanischen Kälteerzeugung in Kompressionskältemaschinen (dort: Arbeitszahl SEER).

- Der angesetzte SFP-Wert von 3,5 kWs/m³ entspricht der Referenzausführung nach der EnEV 2007. Als Toleranzbereich wird 3,0 ... 4,0 kWs/m³ angesetzt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

- Bei Wohnungslüftungsgeräten ist der SFP-Wert nicht gebräuchlich, lässt sich aber analog berechnen. Aufgrund der kurzen Kanalwege und der einfachen Geräteaufbauten sind die spezifischen Ventilatorleistungen deutlich kleiner. Der angesetzte SFP-Wert ergibt sich aus einer mittleren Ventilatorleistung von 1,80 folgt aus dem Mittelwert für zentrale Zuluft- und Abluftanlagen mit Wärmeübertrager aus DIN V 18599 – 6.

Für die saisonale Leistungsziffer der Kälteerzeugung wurde nach Hoch- und Tieftemperaturverbraucher unterschieden, um dem Einfluss der Verdampfungstemperatur gerecht zu werden. Die angesetzten Werte von 2,5 und 3,0 wurden geschätzt, bewegen sich jedoch im Rahmen der EnEV-Referenzwerte. Sie beinhalten auch die Hilfsenergien für Pumpen und Rückkühler. Dabei begründet sich der verbesserte Wert für Raumkühlsysteme mit den dort höheren Systemtemperaturen. Als Toleranzbereich kann ± 20 % angesetzt werden.

Mit Ansatz geschätzter mittlerer Vollbenutzungsstunden sowie von Bedarfsanteilen für die Kühlung in raumlufttechnischen Anlagen in Anlehnung an DIN V 18599 – 3 ergeben sich die Stromverbrauchshochrechnung nach Tabelle 1**.**

Setzt man die Schwankungsbereiche für die Stückzahlen / Volumenströme einerseits und die Effizienzkennziffern andererseits an, ergibt sich ein Bereich von

Das somit gewonnene Ergebnis liefert eine gute Übereinstimmung mit Stromverbrauchshochrechnung aus dem Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude Thamling et al. [2014]. Insgesamt werden dort für Klima, Lüftung und Hilfsenergie ein Endenergiebedarf (Strom) von 42 TWh/a ausgewiesen.

Anhand der eigenen überschlägigen Berechnungen ergeben sich bei mittleren Randbedingungen ca. 47 TWh/a, was angesichts der zahlreichen Schätzungen und Unsicherheiten einer guten Übereinstimmung entspricht. Das gleiche Szenario mit Ansatz der unteren und oberen Toleranzwerte für den RLT-Bestand und die Effizienzkennwerte ergibt einen Unsicherheitsbereich von 37 – 58 TWh.

Dabei dürfte der weit überwiegende Teil (ca. 90 %) des Energieverbrauchs durch die großen RLT-Anlagen verursacht werden.

Innerhalb der Gruppe der mittleren und großen RLT-Anlagen entfällt auf den Verbrauchsteil Luftförderung (Ventilatoren) wiederum ein Anteil von 82 % und 18 % auf die Kälteerzeugung.

Der verbleibende Anteil des Energieverbrauchs teilt sich etwa gleich auf die kleinen RLT-Anlagen, die Raumklimageräte und die sonstigen Kühlsysteme auf. Der Anteil der Wohnungslüftungsanlagen wird aktuell als gering bis vernachlässigbar eingestuft.

Über den Ausstattungsgrad der raumlufttechnischen Anlagen mit Luftbefeuchtern liegen keine Marktdaten vor, so dass hier nur Sensitivitätsprüfungen möglich sind.

Zugrunde gelegt wird eine Ausstattung in Höhe von 10 % aller Anlagen mit Kühlfunktion, davon ein Anteil von ca. 50 % mit elektrisch-dezentralen Dampfluftbefeuchtern. Mit gleichen Ansätzen für die mittlere Jahresbetriebsstundenzahl würde sich ein zusätzlicher elektrischer Energieverbrauch in Höhe < 0,1 GWh ergeben, der wiederum für die Kontrollrechnung unerheblich ist.

2018 Ecofys – A Navigant Company

In dem mittleren Szenario nach Tabelle 1 ergibt sich für die Kälteerzeugung ein hochgerechneter Verbrauch von ca. 6,5 TWh. Eine vom UBA veranlasste Untersuchung zur nachhaltigen Kälteversorgung[2] weist für den Bereich der Gebäudeklimatisierung einen Stromverbrauch von ca. 10,4 TWh aus. Dieses Ergebnis liegt zwar oberhalb des Schwankungsbereiches der eigenen Randbedingungen, zeigt aber keine generell andere Größenordnung auf. In einer früheren Untersuchung zum Energieverbrauch für die Klimatisierung durch Ecofys[3] wird ein Endenergiebedarf zwischen 15 und 20 TWh angegeben, der jedoch einen nicht unerheblichen Bedarfsanteil für Lufterwärmung und Luftbefeuchtung enthält und daher nicht direkt mit dem Stromverbrauchszenario vergleichbar ist. Die Größenordnung deckt sich jedoch auch hier.

[2] Heinrich et al.: Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie FKZ 3710 41 115; UBA-FB 001939; 2014

[3] Ecofys GmbH: Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung; FKZ 3708 41 110 UBA-FB 001467; 2011

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 1: Hochrechnung des jährlichen Gesamtstromverbrauchs von RLT-Anlagen, Klimageräten und Wohnungslüftungsanlagen auf Basis der Bestandsschätzung

	Anzahl	Leistung	Fläche	Volumenstrom	Betriebszeit	Ventilatoren		Kälteerzeugung			Strom gesamt
						SFP		SEER			
	[Mio. St.]	[Mio. kW]	[Mio. m²]	[Mio. m³/h]	[h/a]	[kWs/m³]	[Mio. kWh_{el}/a]	[Mio. kWh/a]		[Mio. kWh_{el}/a]	[TWh_{el}/a]
Mittlere und große RLT-Anlagen											
Teilklima				5.000	3.000	3,50	14.583	8.075	2,50	3.230	17,8
Lüftung				8.500	3.000	3,50	24.792			-	24,8
Kleine RLT-Anlagen (< 3.000 m³/h)				405	3.000	3,50	1.181			-	1,2
Wohnungslüftungsanlagen, zentral	0,29			71	4.300	1,80	153			-	0,2
Raumklimageräte (DX)	1,80	8,1			500	-	-	4.050	2,50	1.620	1,6
Kühldecken, ULKG, BKT		7,5	150		500	-	-	3.750	3,00	1.250	1,3
							40.709			6.100	46,8

2018 Ecofys – A Navigant Company

2.2 Kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung des Anlagenbestands

Eine spürbare Entwicklung bei der Errichtung raumlufttechnischer Anlagen lässt sich auf den Beginn der 1960er Jahre zurückdatieren. Ein Boom fand in den 70er Jahren statt.

Die frühen Anlagen zeichnen sich durch rein luftbasierte Anlagen aus, die in der Regel einen hohen Zentralisierungsgrad aufwiesen. Anlagen aus dieser Zeit hatten einen geringen industriellen Vorfertigungsgrad, die Regelungsmöglichkeiten waren je nach Komfortgrad unterschiedlich – meist eher rudimentär ausgeprägt. Typisch für die Zeit waren Anlagen mit konstanten Luftvolumenströmen, denen gebäudezentral Umluft zur Energieeinsparung beigemischt wurde. Bei sehr hohen Komfortansprüchen wurden Zweikanal-Anlagen eingesetzt, die eine raumweise Regelung der Raumtemperatur ermöglichten. Die Zuluft wurde im Komfort-Bereich häufig be- und entfeuchtet.

Ende der 70er bis Ende der 90er Jahre wurden im Komfortbereich häufig Wasser-Luft-Systeme, i. d. R. als Induktionsanlagen, gebaut. Diese Entwicklung verbesserte die Raumtemperatur-Regelungsmöglichkeiten weiter und reduzierte die Luftwechselraten und damit den Energieverbrauch spürbar. Trotzdem waren diese Anlagen durch erhöhte Luftwechsel, fehlende Volumenstromregelungsmöglichkeiten und zu lange Laufzeiten gekennzeichnet.

Die 80er Jahre führten zur Einführung von Wärmerückgewinnungsanlagen und Variabel-Volumenstromreglern, wodurch die Energieeffizienz gesteigert wurde.

Es fand eine zunehmende Entflechtung von reinen Geräteherstellern und reinen Anlagenbauern statt. Durch die industrielle Vorfertigung stieg der Standardisierungsgrad, was auch die Energieeffizienz verbesserte. Ein Beispiel für die Standardisierung waren die sogenannten Postklimageräte für die Kühlung von Telefonvermittlungsstationen, bei denen deutliche Effizienzverbesserungen erreicht werden konnten.

Die 1985 veröffentliche sogenannte „Kröling-Studie“ Kröling [1985], die in raumlufttechnischen Anlagen einen Mitverursacher des Sick-Building-Syndroms identifizierte, löste ein Umdenken in der Branche, aber auch bei Architekten und Bauherren aus. Entwicklungen wie Kühldecken, Quelllüftung, Betonkernaktivierung entstanden ebenso in den 90er Jahren wie Weiterentwicklungen bei Wärme- und Sonnenschutzgläsern, zweischalige Fassaden, Konzepten zur natürlichen Lüftung. Die frühere Umluftbeimischung wurde nahezu vollständig durch Wärmerückgewinnungssysteme ersetzt und kommt heute nur noch in den Anwendungsfällen zum Einsatz, bei denen extrem hohe Wärmelasten bei geringem Außenluftbedarf abgeführt werden müssen.

Die 2000er Jahre wurden stärker durch den Klimaschutzgedanken und einen höheren Automationsgrad der Anlagen geprägt. Der Vorfertigungsgrad stieg ebenfalls weiter. Durch beide Effekte gingen die Anlagengrößen zurück und der Zentralisierungsgrad nahm ab. Wassergestützte Systeme wurden entweder separat installiert und mit natürlicher Lüftung oder durch mechanische Grundlüftungssysteme ergänzt.

Als zusätzliche Technologie breiteten sich seit ca. Mitte der 90er Jahre die direktverdampfenden Raumklimasysteme für einzelne Räume bis zu kleineren Gebäuden aus, was insbesondere durch das Aufkommen der Multisplit-Geräte verstärkt wurde.

Mit den steigenden Anforderungen der EnEV an die Luftdichtheit von Gebäuden und das Passivhaus-Konzept nahm in den 2000er Jahren die kontrollierte mechanische Wohnungslüftung zu. Ein weiterer Auslöser dürfte die Wohnungslüftungsnorm DIN 1946-6 und die geänderte Rechtsprechung zum Thema nutzerunabhängiger Mindestvolumenstrom zur Vermeidung von Schimmelpilz für die Marktentwicklung von Wohnungslüftungsgeräten gehabt haben.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Die Systementwicklung der Raumlufttechnik ist eng an die Entwicklung und den technischen Fortschritt in der Gebäudeautomation geknüpft. Während in den 70er Jahren die Anlagenregelung überwiegend noch auf pneumatischen analogen Komponenten basierte, zeichnen sich heutige Anlagen durch digitale frei programmierbare Regler und IP-basierte übergreifende Vernetzungen zu Managementsystemen aus. Zusammen mit zuverlässigeren, vielfältigeren und durch die Serienfertigung preiswerteren Aktoren und Sensoren stieg der Ausstattungsgrad der Anlagen und damit die Möglichkeiten für eine bedarfsgerechte Betriebsweise.

Da bereits die Bestandsschätzung aufgrund fehlender Marktdaten Schwierigkeiten bereitet, ist kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung des Anlagenbestands umso schwieriger zu prognostizieren.

Daher können nur subjektive Einschätzungen getroffen werden, die sich nicht statistisch belegen lassen.

Die Marktentwicklung wird beeinflusst durch Megatrends wie Veränderungen der Arbeitswelt, dem Freizeitverhalten und der Wohlstandsentwicklung. Weitere Einflussgrößen können die Klimaveränderungen und politische Rahmenbedingungen sein.

Für die **raumlufttechnischen Anlagen** war in der Vergangenheit ein eher stabiler Absatz zu beobachten. Die Stückzahlen der verkauften Zentralgeräte nahmen zwar zu, was aber durch den Trend zur Verkleinerung der Geräte überwiegend wieder kompensiert wurde. Eine Sättigung beim Absatz wurde nicht beobachtet, wofür die Megatrends:

- Wandel von der Industriearbeit zu Dienstleistungen
- Konzentration des Einzelhandels
- Freizeitverhalten und Tourismus
- verantwortlich gemacht werden.

Da ein Teil der abgesetzten Geräte zur Erneuerung von Bestandsgebäuden dient, kann davon ausgegangen werden, dass die Zuwächse bei den installierten Anlagen tendenziell leicht sinken.

Das Energiesparrecht beeinflusst die Ausstattung von Nichtwohngebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen durch die Referenzgebäudemethode nicht. Die Auswertung der JARN-Studie zu Marktumsätzen in Europa in CCI Zeitung [2018] zeigt für Zentralgeräte in Deutschland von 2015 zu 2016 eine Steigerung von nur 2,2 %, die größtenteils auf Preissteigerungen zurückzuführen sein dürfte.

Indikatoren für Trendänderungen werden nicht gesehen. Daher wird davon ausgegangen, dass der Absatz von RLT-Anlagen gleichbleibend und der Zuwachs durch die Modernisierungen abnehmend sein wird.

Bei **wassergestützte Raumkühlsystemen** und bei **Kältemaschinen** weist die JARN-Studie CCI Zeitung [2018] ein deutliches Plus von 21,4 % bzw. 16,5 % aus. Der ansteigende Trend kann unterschiedliche Ursachen haben. Nach unserer Beobachtung findet eine Belebung dadurch statt, dass durch die energiesparrechtlichen Vorgaben (u. a. durch das EEWärmeG und die Absenkung des Primärenergiefaktors für Strom nach der EnEV ab 2016) zu einer Förderung des Einsatzes von Wärmepumpen führen. Die Installation von Wärmepumpen, vor allem aber auch die Installation von Niedertemperaturheizflächen bzw. bauteilintegrierten Heizflächen führen zu einem Mitnahmeeffekt, bei dem diese Komponenten dann auch für die Kühlung genutzt werden. Diese Tendenz ist sogar im Wohnungsbau zu beobachten, bei dem eine Kühlung / Klimatisierung in der Vergangenheit nur in sehr seltenen Fällen stattfand. Weitere Impulse dürften aus dem allgemeinen Wunsch nach Komfortsteigerung resultieren, wodurch derartige Systeme auch bei Nachrüstungen in Bestandsgebäuden zum Einsatz gelangen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Die Arbeitsmarktprognose 2030 des Bundesministerium für Arbeit und Soziales [2013] geht zwar von einer demografisch bedingten Abnahme der Erwerbstätigen aus, prognostiziert aber gleichzeitig eine erhebliche Zunahme der akademischen Berufe. Die Rede ist vom Wandel der Dienstleistungs- zur Wissenschaftsökonomie.

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Umsatzsteigerungen vom generellen konjunkturbedingten Anstieg der Baupreise überlagert werden.

Nach unserer subjektiven Einschätzung würden wir tendenziell auch von einer geringen Zunahme der Absatzzahlen ausgehen.

Als Grundlage für die Bilanzierungsszenarien nach Kapitel 2.4.2 wird für raumlufttechnische Anlagen von Absatzzahlen ausgegangen, die auf Veröffentlichungen von Kaup [2009] & [2012] basieren. Da in Kapitel 2.4.2 Maßnahmen bewertet werden, die im Zusammenhang mit der EnEV § 15 stehen, sind Neubau, Ersatz und Nachrüstung von Anlagen gleichermaßen betroffen. Eine weitere Ausdifferenzierung ist hier nicht notwendig, aufgrund der Datenlage auch kaum möglich.

Tabelle 2: Szenario für RLT-Anlagen zur Beurteilung von Handlungsoptionen

Klasse	Referenzvolumenstrom	Stückzahl, jährlich
Lüftung klein	2.400	7.800
Lüftung mittel	6.400	9.180
Lüftung groß	15.200	4.680
Lüftung sehr groß	45.100	4.740
Klima-/Teilklima klein	2.400	5.200
Klima-/Teilklima mittel	6.400	6.120
Klima-/Teilklima groß	15.200	3.120
Klima-/Teilklima sehr groß	45.100	3.160

Die Energieeffizienz wird zunehmen, da raumlufttechnische Anlagen den energiesparrechtlichen Anforderungen und den Ecodesign-RL unterliegen. So kann davon ausgegangen werden, dass raumlufttechnische Anklagen zukünftig nahezu ausschließlich mit Wärmerückgewinnungssystemen ausgestattet werden.

Für die Bewertung zukünftiger Feuchterückgewinnungsanlagen wird davon ausgegangen, dass ca. 10 % der Teilklima- und Klimaanlagen mit Befeuchtungssystemen ausgestattet werden. Allerdings muss hier beachtet werden, dass aufgrund von Leckagen / Kontaminationsrisiken nicht alle Anwendungen für die Feuchterückgewinnung mit Sorptionsrotoren geeignet sind. Betroffen sind vor allem Krankenhäuser und Laborgebäude, beides Gebäudetypen, in denen Befeuchtungsanlagen häufiger anzutreffen sind. Deshalb wird der Anteil geeigneter Anlagen konservativ geschätzt auf 5 % korrigiert. Es verbleiben somit jährlich ca. 1.000 „geeignete“ Anlagen mit einem gewichteten mittleren Volumenstrom von ca. 18.500 m³/h.

Für **Wohnungslüftungsanlagen** sehen wir Impulse für weiteres Wachstum. Die Gründe liegen zum einen in der generellen Belebung des Wohnungsbaumarktes, die in ihrer Tendenz weiter anhalten

2018 Ecofys – A Navigant Company

wird. Die energiesparrechtlichen Anforderungen honorieren die Installation von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und wirken fördernd. Passivhäuser oder KfW-Effizienzhäuser 40 und 55 sind ohne diese Anlagen nur selten realisierbar. Auch gegen den Trend zu hochwertiger ausgestatteten Wohnungen und Einfamilienhäuser spricht angesichts des gleichbleibend niedrigen Zinsniveaus aktuell wenig.

2.3 Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

2.3.1 Maßnahmenübersicht

Aufbauend auf den Untersuchungen zum Anlagenbestand und dessen Entwicklungsszenarien wurden für bestehende Klima- und Lüftungsanlagen relevante Vorschläge zur Effizienzsteigerung und Emissionsminderung abgeleitet und hinsichtlich ihrer Marktrelevanz bewertet. Ergänzend dazu wurden unter Berücksichtigung der derzeit relevanten Anforderungen an die Mindesteffizienz von Bauteilen, Geräten und Anlagen Vorschläge zur weiterführenden Energieeinsparung auch für Neuanlagen abgeleitet. Dabei wurden gezielt auch alternative Konzepte und Technologien zur Lüftung, Klimatisierung und Kälteerzeugung berücksichtigt und bewertet. Des Weiteren wurden die Maßnahmen danach unterschieden, ob sie auf einer Verstärkung der rechtlichen Rahmenbedingungen, deren Vollzug, Information und Kommunikation, Förderung oder andere vorzuschlagende Mechanismen abstellen. Hierbei wurde ein Abgleich mit den in AP 1a definierten Nutzergruppen und den in AP 2b identifizierten Hemmnissen vorgenommen. Weiterhin wurden die Maßnahmen nach dem mit ihrer Umsetzung verbundenen Aufwand in niedrig- und hochinvestive Maßnahmen eingeteilt und die Amortisationserwartung aus der Energiekosteneinsparung beschrieben. Abbildung 8 zeigt die erstellte Maßnahmenübersicht.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Maßnahme	Marktrelevanz (Nutzergruppen)			derzeitige Hemnisse				Wirtschaftlichkeit		
	Lüftungsanlagen	Klimaanlagen	Kälteanlagen	fehlende Verstärkung der rechtlichen Rahmen-bedingungen	mangelnder Vollzug der rechtlichen Rahmen-bedingungen	fehlende Information und Kommunikation	fehlende Förderung	niedriginvestive Maßnahme	hochinvestive Maßnahme	Amortisation aus Energiekosten-einsparung
übergreifende regulatorische Maßnahmen										
Energetische Inspektion von Klimaanlagen §12		x	x		x	x	(x)	x		nein [1)]
Energetische Inspektion von Lüftungsanlagen	x			x				x		nein [1)]
Initialberatung Klima/Lüftung	x	x	x	x				x		nein [1)]
Bestandslabel Klima/Lüftung	x	x	x	x				x		nein [1)]
Erneuerbare Energien zur Kälteerzeugung			x	x					x	noch nicht ermittelt
Maßnahmen zur Betriebsoptimierung im Bestand										
bedarfsgerechte Volumenstromregelung	x	x				x		x		gegeben
Sollwerte Raumtemperatur optimieren	x	x				x		x		gegeben
Sollwerte Raumluftfeuchte optimieren		x				x		x		gegeben
Regelstrategie RLT-Gerät optimieren	x	x				x		x		gegeben
Anpassung der Betriebszeit / Absenkbetrieb	x	x	x			x		x		gegeben
freie maschinelle Nachtlüftung		x	(x)			x		x		gegeben
Sollwert Kaltwassertemperatur optimieren			x			x		x		gegeben
Sollwert Kühlwassertemperatur optimieren			x			x		x		gegeben
hydraulischer Abgleich (einschl. Messung)			x			x			x	noch nicht ermittelt
Maßnahmen zur technischen Verbesserung des Bestandes										
Ventilatorentausch / VVS-Regler	x	x		x					x	unter best. Randbed. gegeben
Nachrüstung WRG	x	x		x					x	unter best. Randbed. gegeben
Komplettaustauch RLT-Gerät	x	x		x					x	unter best. Randbed. gegeben
Komplettaustauch Kältemaschine			x	x					x	noch nicht ermittelt
Erneuerung Splitgeräte (mit Inverterregelung)			x	x				x		noch nicht ermittelt
Erneuerung Pumpen, Anpassung Hydraulik			x	x					x	noch nicht ermittelt
Nachrüstung Verdunstungskühlung		x		x					x	noch nicht ermittelt
Nachrüstung Feuchterückgewinnung		x		x					x	noch nicht ermittelt
Nachrüstung von Wirkenergiezählern (Stromzähler)	x	x	x	x			x	x		noch nicht ermittelt
Nachrüstung von thermischen Energiezählern	x	x	x	x			x		x	noch nicht ermittelt
Nachrüstung freie Kühlung mit Rückkühlwerken			x	x			x		x	noch nicht ermittelt
Maßnahmen für Neugeräte										
Messstellenausstattung für Energetische Inspektion	x	x	x	x			x	x		noch nicht ermittelt
Online-Energiekennwert für RLT-Geräte	x	x		x			x	x		noch nicht ermittelt
Zählergrundausstattung	x	x	x	x			x		x	noch nicht ermittelt
Pflicht zur Feuchterückgewinnung		x		x			x		x	noch nicht ermittelt
verpflichtende systematische Inbetriebnahme	x	x	x	x			x	x		noch nicht ermittelt

Abbildung 8: Übersicht von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Vier ausgewählte und mit dem Auftraggeber abgestimmte Maßnahmen (in Abbildung 8 rot dargestellt) wurden detailliert hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit untersucht. Dabei wurden Maßnahmen zur technischen Verbesserung des Bestandes sowie Maßnahmen für Neugeräte getrennt betrachtet.

2.3.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

2.3.2.1 Randbedingungen und Eingangsgrößen

Die Anlagentechnik wurde maßnahmenspezifisch in Vollklima-, Teilklima- und Lüftungsanlagen unterschieden, um die unterschiedlich hohen Potentiale herauszuarbeiten und die Marktwirkung in den einzelnen Segmenten getrennt bewerten zu können. Alle Untersuchungen erfolgten als volumenstromspezifische Berechnung mit einer Nennluftmenge von 3.000 m³/h, 10.000 m³/h, 20.000 m³/h, 30.000 m³/h. Der Luftvolumenstrom der RLT-Anlagen wurde dabei jeweils in 2 Varianten als Konstantvolumenstromsystem (KVS) und Variabelvolumenstromsystem (VVS) mit einer mittleren Belastung von 70 % berücksichtigt. Daneben wurden variantenspezifische Parameter (z. B. mit/ohne Wärmerückgewinnung (WRG)) unterschieden, sofern sie signifikanten einen Einfluss auf das Ergebnis haben.

Die Energiepreise (brennwertbezogen) für den Betrachtungszeitraum 2020 bis 2035 wurden in Analogie zu anderen aktuellen BMWi-Projekten [Schlitzberger et al., 2018] wie folgt angenommen:

- Gas 0,06 €/kWh (Mittelwert Betrachtungszeitraum einschl. 1,2 % Preissteigerung);
- Strom 0,20 €/kWh (Mittelwert Betrachtungszeitraum einschl. 0,1 % Preissteigerung).

2018 Ecofys – A Navigant Company

Der Kapitalzins wurde unter der Annahme, dass sich unter den aktuellen Randbedingungen Zins und Inflation kompensieren, als 0,0 % angenommen. Zinsvergünstigungen durch Fördermaßnahmen wurden zunächst ebenfalls nicht berücksichtigt.

Als Eingangsgrößen für die kapitalgebundenen Kosten konnte auf aktuelle Ausschreibungsergebnisse eigener Vergaben von raumlufttechnischen und kältetechnischen Anlagen im Auftrag der öffentlichen Hand zurückgegriffen werden. Das ermöglichte eine marktaktuelle Aussage über reale Baukosten als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Diese Daten wurden durch gezielte Herstelleranfragen ergänzt.

Die Berechnung der verbrauchsgebundenen Kosten erfolgt mit dem Berechnungsmodell der DIN V 18599-3:2016-10 unter Berücksichtigung von Aufwandsfaktoren nach DIN SPEC 15240:2013-10 für ein Bürogebäude mit 13 RLT-Betriebsstunden und 250 RLT-Betriebstagen.

Alle Berechnungen erfolgten als dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach VDI 2067. Neben der dynamischen Amortisationszeit wurden auch der Kapitalwert und der interne Zinsfuß berechnet. Alle Berechnungsergebnisse sind im Anhang (Kapitel 6.1) dargestellt.

2.3.2.2 Maßnahme: Feuchterückgewinnung in Neuanlagen

Analog zur Einsatzpflicht von Wärmerückgewinnungssystemen erscheint es sinnvoll, in Gebäuden mit ganzjährigen Feuchteanforderungen (z. B. Museen) eine Pflicht zur Feuchterückgewinnung aus der Abluft einzuführen, um Befeuchtungsenergie einzusparen. In der Regel kann das durch die werkseitige Ausrüstung mit Enthalpie- oder Sorptionsregeneratoren erfolgen, die neben Feuchte auch Wärme übertragen können.

Die Vergleichsvariante ohne Feuchterückgewinnung ist ein Wärmeregenerator, bei dem Feuchte nur im Ausnahmefall bei sehr niedrigen Außenlufttemperaturen durch Kondensation aus der Abluft übertragen wird. Gegenüber einem Kreuzgegenstrom-Plattenwärmeübertrager amortisiert sich der Einsatz von Enthalpie- oder Sorptionsregeneratoren sofort, da Preis, Druckverlust und Wärmerückgewinnungsgrad beider Varianten nahezu identisch sind. Die Reduzierung der verbrauchsgebundenen Kosten für die Verdunstungsbefeuchtung oder Dampfbefeuchtung (thermische oder elektrische Energie) durch die vermiedene Befeuchtungsleistung infolge der Feuchterückgewinnung führt zu einer sofortigen Amortisation für diese Vergleichsvariante.

Für den Enthalpierotor wird eine mittlere Rückwärm- und Rückfeuchtezahl von 60 % und für den Sorptionsregenerator von 75 % angenommen.

Die Kapitalmehrkosten für die Feuchterückgewinnungssysteme gegenüber dem Wärmeregenerator liegen zwischen 0,27 €/(m³/h) für den Enthalpierotor und 0,35 €/(m³/h) für den Sorptionsrotor. Diese beinhalten die Mehrkosten für den Rotor, den Regler und die zusätzliche Wartung für einen Zeitraum von 15 Jahren. Diese Mehrkosten amortisieren sich in unterschiedlichen Zeiträumen, die von der Bauart des Befeuchtungssystems und Feuchteanforderung des Gebäudes abhängig sind. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die elektrische und die thermische Dampferzeugung bei der Dampfbefeuchtung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

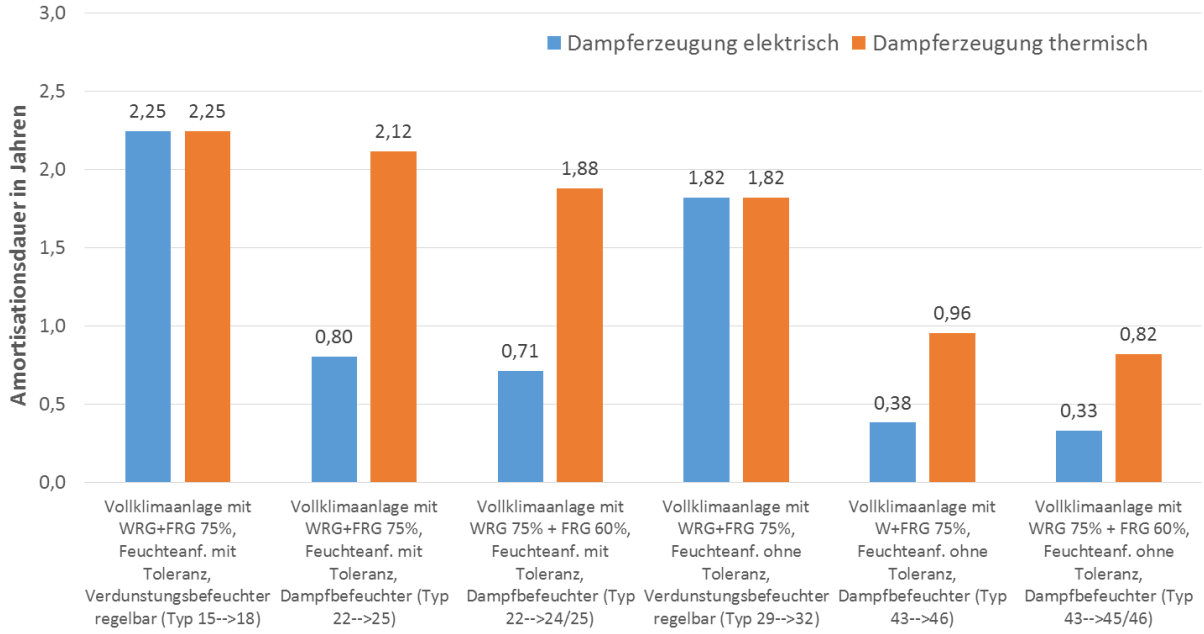


Abbildung 9: dynamische Amortisationsdauer der Maßnahme Feuchterückgewinnung

Alle Varianten amortisieren sich in einem Zeitraum von weniger als 3 Jahren. Die vorgeschlagene Maßnahme ist damit hochwirtschaftlich. Die geringsten Amortisationszeiten weisen die Varianten mit elektrischer Dampfbefeuchtung auf, da die spezifischen Stromversorgungskosten höher als die Wärmeversorgungskosten sind. Überlagert wird diese Tendenz durch die Feuchteanforderung der Gebäude, wobei in Gebäuden mit hoher Feuchteanforderung (Feuchteanforderung ohne Toleranz) aufgrund der größeren Anzahl an Befeuchtungsstunden größere Einsparungen und damit geringere Amortisationszeiten erreicht werden.

2.3.2.3 Maßnahme: Zählernachrüstung im Bestand

Bei der Nachrüstung von Zählern im Bestand sind grundsätzlich mehrere Ausstattungsvarianten möglich. Neben den elektrischen Wirkenergiezählern für Ventilatoren und Befeuchtungseinrichtungen könnten thermische Energiezähler an Heiz- und Kühlregistern eingesetzt werden, die gemeinsam ein umfassendes Bild über den Energieverbrauch der RLT-Anlage erzeugen. Die dafür erforderlichen hohen Investitionskosten in Verbindung mit den zeitlichen Einschränkungen bei der Nachrüstung im Bestand bewirken jedoch sehr hohe Amortisationszeiten und eine geringe Akzeptanz. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde für die Wirtschaftlichkeitsberechnung daher die Minimalausstattungsvariante mit nur einem Wirkenergiezähler mit Logfunktion für den Energieverbrauch des Zuluftventilators ausgewählt. Diese Variante liefert bei geringen Investitionskosten ein ausreichend genaues Abbild über den Energieverbrauch der Luftförderung, über die Nutzungszeit der RLT-Anlage und den Spitzenlastfall im Betriebszeitraum.

Die Realisierung der Messaufgabe kann dabei mit verschiedenen technischen Lösungen erfolgen, deren Verwendung von der Anzahl der auszustattenden RLT-Anlagen einer Liegenschaft abhängig ist. Bei kleinen Liegenschaften wird angenommen, dass die Umsetzung mit preisgünstigen konventionellen Wirkenergiezählern für Hutschieneneinbau im Schaltschrank und unter Verwendung zusätzlicher Datenlogger erfolgt, die die Messwerte über längere Zeiträume speichern können. Beide Funktionen werden durch Zähler mit integrierter Logfunktion und meist auch separatem Display zur Visualisierung

2018 Ecofys – A Navigant Company

erfüllt (evtl. Bild einfügen). Diese sind für Einzelanlagen multifunktional einsetzbar, weisen jedoch höhere Investitionskosten auf. In größeren Liegenschaften mit zentraler Leittechnik werden die Zählwerte in der Regel nicht in Datenloggern gespeichert, sondern zentral im Ringspeicher der Gebäudeleittechnik (GLT) abgelegt oder einem Energiemanagementsystem (EMS) gespeichert. Das ermöglicht einen einfachen zentralen Zugriff auf die Daten aller RLT-Anlagen ohne Vor-Ort-Begehung. Die Kostenübersicht der beschriebenen technischen Lösungsvarianten zeigt Tabelle 3. Neben der Material-, Lizenz- und Einbaukosten ist auch einen Kostenanteil für die Auswertung der aufgezeichneten Daten berücksichtigt.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Investitionskosten für die Maßnahme Zählernachrüstung im Bestand für verschiedene Anzahlen von Zählern (sinnvolle Varianten in grau dargestellt)

Investition im Bestand:	sep. Datenlogger	Logzähler	GLT/EMS
1x Zähler	120 €	750 €	120 €
1x Datenlogger (5 Eingänge)	380 €		- €
Einbau	250 €	125 €	125 €
Verdrahtung	- €	- €	50 €
1x Software+ 1x Lizenz	- €	- €	3.350 €
Datenauswertung	250 €	250 €	200 €
Summe	**1.000 €**	**1.125 €**	**3.845 €**
Preis pro Zähler	**1.000 €**	1.125 €	3.845 €
10x Zähler	1.100 €	5.250 €	1.100 €
2x Datenlogger (5 Eingänge)	720 €		- €
Einbau	1.380 €	1.150 €	1.150 €
Verdrahtung	160 €	- €	500 €
1x Software + 10x Lizenz	- €	- €	4.500 €
Datenauswertung	1.500 €	1.500 €	1.000 €
Summe	**4.860 €**	**7.900 €**	**8.250 €**
Preis pro Zähler	486 €	790 €	825 €
50x Zähler	5.000 €	23.750 €	5.000 €
10x Datenlogger (5 Eingänge)	3.400 €		- €
Einbau	6.000 €	5.000 €	5.000 €
Verdrahtung	640 €	- €	2.500 €
1x Software + 50x Lizenz	- €	- €	13.000 €
Datenauswertung	3.000 €	3.000 €	2.000 €
Summe	**18.040 €**	**31.750 €**	**27.500 €**
Preis pro Zähler	361 €	635 €	**550 €**

2018 Ecofys – A Navigant Company

Die Investitionskosten pro Zähler bewegen sich zwischen 550,- € für eine Liegenschaft mit 50 Zählern und 1.000,- € für einen Einzelzähler. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigen diese Kosten also Ober- und Untergrenze.

Die möglichen Energieeinsparungen bei RLT-Anlagen durch die Ausstattung mit Zählern wurden in Anlehnung an Grözinger et al. [2015] mit 5 % angenommen. Aufgrund des großen Einflusses des Luftvolumenstroms auf die Luftförderkosten und die Aufbereitungsenergie der Außenluft wurde für Konstantvolumenstromsysteme (KVS) eine Einsparung von nur 3,33 % und für Variabelvolumenstromsysteme (VVS) eine doppelt so hohe Einsparung von 6,66 % (im Mittel 5 %) angenommen.

Die Variantenberechnungen erfolgten für eine Nutzungszeit von 20 Jahren für RLT-Anlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung und verschiedene Feuchteanforderungen und Befeuchtungssysteme. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche konstante und variable Nennluftvolumenströme zeigt Abbildung 10.

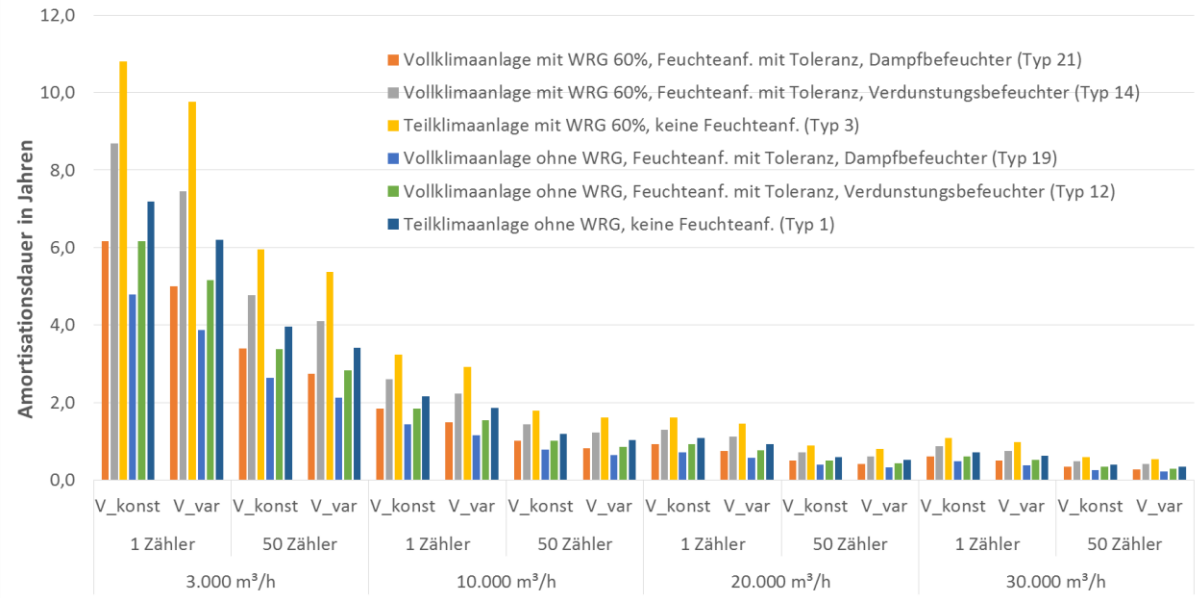


Abbildung 10: Dynamische Amortisationsdauer der Maßnahme Zählernachrüstung im Bestand (nur zuluftseitig)

Die Amortisationsdauer liegt für alle Varianten unter der technischen Nutzungsdauer. Die Amortisationszeiten sinken mit steigenden Volumenströmen deutlich ab. Für RLT-Anlagen ab 10.000 m³/h liegen sie generell unter 4 Jahren; die Maßnahme ist für diese Anlagen hochwirtschaftlich.

In größeren Liegenschaften mit 50 Zählern sind die Amortisationszeiten – bedingt durch die geringeren Investitionskosten je Zähler – deutlich kürzer als bei Einzelanlagen mit nur einem Zähler. Bei Anlagen mit variablen Volumenströmen werden die geringeren absoluten Energiebedarfe durch die höheren prozentualen Einsparungen kompensiert.

Anlagen mit elektrischen Dampfbefeuchtern und ohne Wärmerückgewinnung (WRG) erreichen aufgrund der höchsten absoluten Verbrauchskosten die kürzesten Amortisationszeiten. Anlagen mit WRG und ohne Feuchteanforderungen schneiden im Vergleich der betrachteten Anlagen dagegen am schlechtesten ab.

2018 Ecofys – A Navigant Company

2.3.2.4 Maßnahme: Zählergrundausstattung für Neugeräte

Bei der Neuerrichtung von RLT-Anlagen ist verordnungsrechtlich derzeit keine messtechnische Ausstattung mit Zählern gefordert. In der Regel werden Zähler nur dann eingesetzt, wenn es für die Verbrauchsabrechnung erforderlich ist. Diese Zähler erfassen dann meist größere Anlagenbereiche, deren Messwerte über die Luftmenge auf die Einzelanlage umgerechnet werden.

Im Zeitalter der Digitalisierung erscheint dieser Ausstattungsgrad nicht mehr zeitgemäß, aufgrund des Kosten- und Wettbewerbsdrucks bei der Vergabe wird jedoch oft nur die Minimalausstattungsvariante umgesetzt.

Für eine verordnungsrechtliche Anforderung im Neubau sind grundsätzlich mehrere Ausstattungsvarianten denkbar. Als Minimalvariante kann eine Grundausstattung mit vorbereiteten Messstellen für die energetische Inspektion angesehen werden, die im Bedarfsfall mit mobiler Messtechnik ausgestattet werden können. Weiterhin wäre eine Ausstattungsvariante mit ausschließlich elektrischen Wirkenergiezählern für die Ventilatoren denkbar. In einer weiteren Stufe könnte die Messung des Luftvolumenstroms und der Ventilator-Druckdifferenz gefordert werden, aus denen der Systemwirkungsgrad der Ventilatoren in jedem Betriebspunkt ermittelt werden kann. Somit wäre für jeden Betriebspunkt der RLT-Anlage eine Schwachstellenanalyse möglich. Darüber hinaus könnten elektrische Wirkenergiezähler auch für Befeuchtungseinrichtungen und thermische Energiezähler an Heiz- und Kühlregistern verordnungsrechtlich gefordert werden. Alle Zähler gemeinsam liefern ein umfassendes Bild über den Energieverbrauch der RLT-Anlage und könnten im Rahmen einer Online-Auswertung den auftretenden Energiekennwert der RLT-Anlage als Augenblickswert ausgeben. Zusammengefasst erscheinen folgende Varianten einer verordnungsrechtlichen Anforderung denkbar:

1. Vorhaltung von Messstellen (Wirkleistung, Volumenstrom, Druckdifferenz);
2. Ausstattung mit Wirkenergiezählern (elektrische Verbrauchsmessung);
3. Messung von Wirkleistung, Volumenstrom, Druckdifferenz;
4. Vollausstattung mit Verbrauchserfassung von Strom, Wärme und Kälte, Messung von Volumenstrom und Druckdifferenz-Datenspeicherung;
5. Online-Energiekennwert (Erfassung und Auswertung der Messwerte für Strom, Wärme und Kälte, Volumenstrom, Druckdifferenz).

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde für die Wirtschaftlichkeitsberechnung die Variante 2 mit nur einem Wirkenergiezähler für den Energieverbrauch des Zuluftventilators ausgewählt. Diese Variante liefert bei geringen Investitionskosten ein ausreichend genaues Abbild über den Energieverbrauch der Luftförderung, über die Nutzungszeit der RLT-Anlage und den Spitzenlastfall im Betriebszeitraum.

Die Realisierung der Messaufgabe kann dabei mit verschiedenen technischen Lösungen erfolgen, deren Verwendung von der Anzahl der auszustattenden RLT-Anlagen unabhängig ist, da diese Leistung vom Gerätehersteller übernommen wird. Dieser kann als Zwischenhändler Einkaufspreiskontingente vereinbaren und somit stückzahlunabhängige Preise auch für Einzelgeräte weitergeben.

Die Zählerlösung kann dabei ohne Logfunktion aber mit Kommunikations-Schnittstelle zum Auslesen der Daten ausgerüstet sein. Es ist davon auszugehen, dass die Schnittstelle im Zuge der Anlagenerrichtung vom Gewerk Gebäudeautomation genutzt und auf eine Gebäudeleittechnik oder die geräteinterne Visualisierungsplattform aufgeschaltet und der Datenpunkt entsprechend historisiert wird. Alternativ kann analog zum Bestand ein Zähler mit Logfunktion eingesetzt werden. Die Kostenübersicht der beschriebenen technischen Lösungsvarianten zeigt Tabelle 4. Neben den Material- und Einbaukosten ist hier kein Kostenanteil für die externe Verdrahtung und die Auswertung der aufgezeichneten Daten berücksichtigt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Investitionskosten für die Maßnahme Zählernachrüstung im Bestand für verschiedene Anzahlen von Zählern

Investition im Neubau:	ohne Logfunktion	Logzähler
1x Zähler	150 €	450 €
1x Logger (5 Eingänge)	- €	
Einbau	50 €	50 €
externe Verdrahtung	- €	- €
Datenauswertung	- €	- €
Summe	**200 €**	**500 €**
Preis pro Zähler	200 €	500 €

Die Investitionskosten pro Zähler bewegen sich zwischen 200,- € für den reinen Zähler ohne Logfunktion und 500,- € für einen Zähler mit Logfunktion. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigen diese Kosten als Ober- und Untergrenze.

Die möglichen Energieeinsparungen bei RLT-Anlagen durch die Ausstattung mit Zählern wurden in [Studie Ecofys] mit 5 % ermittelt. Aufgrund des großen Einflusses des Luftvolumenstroms auf die Luftförderkosten und die Aufbereitungsenergie der Außenluft wurde für Konstant-Volumenstromsysteme (KVS) eine Einsparung von nur 3,33 % und für Variabel-Volumenstromsysteme (VVS) eine doppelt so hohe Einsparung von 6,66 % (im Mittel 5 %) angenommen. Für Zähler ohne Logfunktion wurden diese Werte halbiert, da davon ausgegangen werden muss, dass Daten verloren gehen und nicht das volle Einsparpotential ausgeschöpft wird.

Die Variantenberechnungen erfolgten für eine Nutzungszeit von 20 Jahren für RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung und verschiedene Feuchteanforderungen und Befeuchtungssysteme. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche konstante und variable Nennluftvolumenströme zeigt Abbildung 11:

2018 Ecofys – A Navigant Company

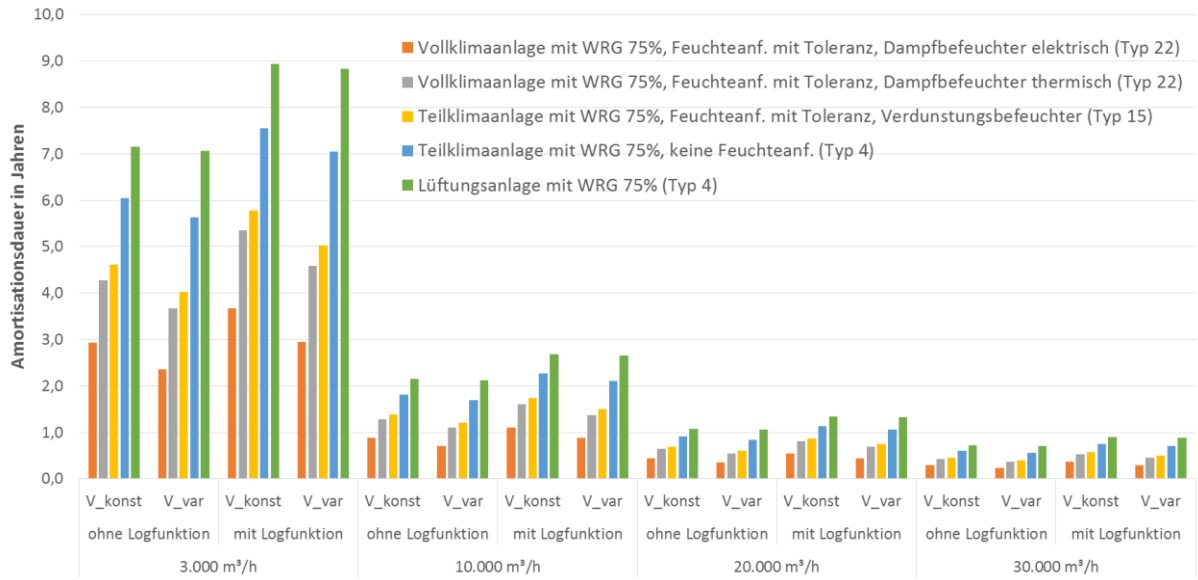


Abbildung 11: Dynamische Amortisationsdauer der Maßnahme Zählereinbau im Neubau (nur zuluftseitig)

Die Amortisationsdauer liegt für alle Varianten unter der technischen Nutzungsdauer. Die Amortisationszeiten sinken mit steigenden Volumenströmen deutlich ab. Für RLT-Anlagen ab 10.000 m³/h liegen sie generell unter 3 Jahren; die Maßnahme ist für diese Anlagen hochwirtschaftlich.

Zähler mit Logfunktion amortisieren sich aufgrund der höheren Investitionskosten dabei später als Zähler ohne Logfunktion. Bei Anlagen mit variablen Volumenströmen werden die geringeren absoluten Energiebedarfe durch die höheren prozentualen Einsparungen kompensiert.

Vollklimaanlagen mit elektrischen Dampfbefeuchtern erreichen aufgrund der höchsten absoluten Verbrauchskosten die kürzesten Amortisationszeiten. Einfache Lüftungsanlagen schneiden im Vergleich der betrachteten Anlagen dagegen am schlechtesten ab.

2.3.2.5 Maßnahme: Systematische Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme von RLT-Anlagen erfolgt oft unter Zeitdruck und unter klimatischen Bedingungen, die eine optimale Parametrierung und Einregulierung von Anlagensystemen nicht zulassen. Probleme mit anlagentechnischen oder regelungstechnischen Komponenten können daher oft nicht erkannt werden, was höhere Betriebskosten verursacht. Allein durch die Vermeidung von Qualitätsdefiziten könnte der deutsche Gebäudebestand in der Größenordnung von 10 % weniger Energie verbrauchen [IGS TU Braunschweig, 2016].

Insbesondere durch die Komplexität heutiger Anlagensysteme der Raumluft-, Kälte-, Heizungs- und Regelungstechnik und deren integralen Zusammenwirken ist eine isolierte Betrachtung einzelner Gewerke nicht mehr zielführend VDI 6039. TGA-Anlagen benötigen einen längerfristigen Inbetriebnahmeprozess, der sowohl Kühl- als auch Heizperiode umfassen sollte. Dieser Prozess ist in nicht Stand der Technik, wird aber zum Beispiel im Zuge der Zertifizierung von Gebäuden (z. B. DGNB, BNB) heute schon vereinzelt und freiwillig angewendet.

Die Systematische Inbetriebnahme kommt dabei vorwiegend in größeren Liegenschaften mit komplexen TGA-Anlagen zum Einsatz, ist aber nicht auf die hier betrachtete Luft- und Klimatechnik beschränkt. Ziel ist die Einregulierung und Abstimmung aller Einzelkomponenten einer TGA-Anlage zu

2018 Ecofys – A Navigant Company

einem funktionsfähigen Gesamtsystem mit einer anschließenden Betriebsoptimierung in einem Zeitraum bis 14 Monate nach Inbetriebnahme. Die Durchführung einzelner Leistungen erfolgt dabei nicht durch den Planer oder Anlagenerrichter, sondern durch einen qualifizierten unabhängigen Dritten, für den Mehrkosten anfallen (siehe Tabelle 5).

Eine systematische Inbetriebnahme besteht bei vollständiger Erfüllung des BNB-Anforderungsniveaus aus den Phasen:

- Inbetriebnahmemanagement (durch unabhängigen Dritten);
- Inbetriebnahme / Einregulierung (durch Ausführungsbetrieb);
- Funktionsprüfung / Dokumentation (durch unabhängigen Dritten);
- Probebetrieb / laufende Betriebsoptimierung bis 14 Monate nach Nutzungsbeginn (begleitet durch unabhängigen Dritten).

Bisher nicht im in BNB-Steckbrief verankert ist die Ausstellung eines Qualitätssiegels für die betrachteten Anlagensysteme, wie in Kapitel 5 vorgeschlagen. Diese Leistung kann die systematische Inbetriebnahme sinnvoll zusammenfassen und dokumentarisch abrunden und damit erheblich zur Qualitätssicherung und Kostensenkung im Betrieb beitragen.

Tabelle 5 zeigt die Kosten für die Dienstleistung eines qualifizierten unabhängigen Dritten in den oben beschriebenen Leistungsphasen für Klima- und Lüftungsanlagen unterschiedlicher Komplexität und unter der Annahme, dass mindestens 5 baugliche Anlagen betrachtet werden. Für den Monitoringprozess muss dabei ggf. zusätzliche Messtechnik berücksichtigt werden.

Tabelle 5: Investitionskosten für die Maßnahme Systematische Inbetriebnahme für Vollklima-, Teilklima- und Lüftungsanlagen (Anlagentypen nach DIN V 18599)

Kostenschätzung Systematische Inbetriebnahme Basis: 5 RLT-Anlagen	**Inbetriebnahmemanagement**	**Funktionsprüfung/ Dokumentation**	**Probebetrieb / laufende Betriebsoptimierung**	**Erstellung Neuanlagenlabel**	**Summe MT je RLT-Anlage**	Summe bei 800,-/MT je RLT-Anlage	**ggf. Messtechnik**	Gesamtsumme je RLT-Anlage einschl. Messtechnik
5 RLT-Anlagen Typ 43	4	3	12	1	4	**3.200 €**	1.500 €	**4.700 €**
5 RLT-Anlagen Typ 22	3	2	10	1	3,2	**2.560 €**	1.000 €	**3.560 €**
5 RLT-Anlagen Typ 15	3	2	10	1	3,2	**2.560 €**	1.000 €	**3.560 €**
5 RLT-Anlagen Typ 4	2	1	8	1	2,4	**1.920 €**	500 €	**2.420 €**

Die spezifischen Kosten für den unabhängigen Dritten sinken mit abnehmender Komplexität der Anlagentechnik. Diese Mehrkosten amortisieren sich durch die Einsparungen der verbrauchsgebundenen Kosten. Dabei wurde für Konstant-Volumenstrom-Systeme (KVS) eine Einsparung von 8 % und für Variabel-Volumenstrom-Systeme (VVS) eine Einsparung von 12 % (im Mittel 10 % [IGS TU Braunschweig, 2016]) angenommen.

Die Variantenberechnungen erfolgten für eine Nutzungszeit von 20 Jahren für RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung und verschiedene Feuchteanforderungen und Befeuchtungssysteme. Die Ergeb-

2018 Ecofys – A Navigant Company

nisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche konstante und variable Nennluftvolumenströme zeigt Abbildung 12.

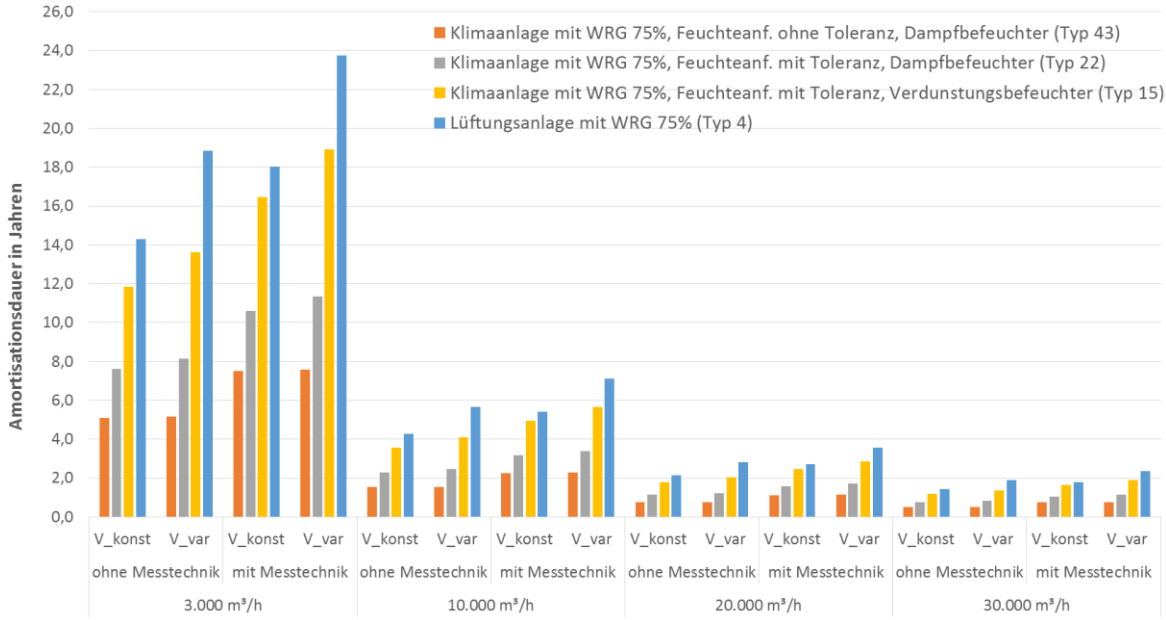


Abbildung 12: Dynamische Amortisationsdauer der Maßnahme Systematische Inbetriebnahme

Die Amortisationsdauer liegt für alle Klimaanlagen unter der technischen Nutzungsdauer, für kleine Lüftungsanlagen bei verschiedenen Randbedingungen teilweise darüber. Die Amortisationszeiten sinken mit steigenden Volumenströmen deutlich ab. Für Klimaanlagen ab 10.000 m³/h liegen sie generell unter 6 Jahren; die Maßnahme ist für diese Anlagen sehr wirtschaftlich darstellbar.

Zusätzliche Messtechnik bewirkt aufgrund der höheren Investitionskosten größere Amortisationszeiten. Bei Anlagen mit variablen Volumenströmen werden die geringeren absoluten Energiebedarfe durch die etwas höheren prozentualen Einsparungen nicht ganz kompensiert.

Vollklimaanlagen mit elektrischen Dampfbefeuchtern erreichen aufgrund der höchsten absoluten Verbrauchskosten die kürzesten Amortisationszeiten. Für einfache Lüftungsanlagen ab 10.000 m³/h ist eine systematische Inbetriebnahme ebenfalls wirtschaftlich darstellbar.

2.4 Modelle und Szenarien: Einsparpotenziale der Maßnahmen

Ausgehend von den Analysen zum Anlagenbestand, die für Klima und Lüftungsanlagen einen Gesamtstromverbrauch von 46,8 TWh/a (168,5 PJ/a) ausweist (siehe Kapitel 2.1) und den in Kapitel 2.1 ermittelten Einzeleinsparpotenzialen wurden für die hinsichtlich der Wirkung und der politischen Durchsetzbarkeit als relevantesten erachteten Maßnahmen (vgl. Kapitel 3.3.5) die zu erwartenden Einsparpotenziale bestimmt.

Nachdem in BMWi [2017] bereits die Potenziale für die vier Maßnahmen:

a.) Paket Öffentlichkeitsarbeit

b.) Quickchecktool

c.) Bestandsanlagenlabel (inkl. Erweiterung der DIN SPEC 15240 und der Erstellung eines entsprechenden Tools)

2018 Ecofys – A Navigant Company

d.) Neuanlagenlabel

die entsprechenden Einsparpotenziale bereits bestimmt wurden, wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung die Einsparpotenziale der Maßnahmen

e.) Zählerpflicht für Neuanlagen

f.) Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen

g.) Verpflichtung zu einer geordneten Inbetriebnahme

h.) Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion

berechnet.

Für die Maßnahme

i.) Berücksichtigung von realistischeren Rahmenbedingungen

kann aufgrund der fehlenden Datenlage lediglich eine qualitative Bewertung vorgenommen werden.

Eine ausführliche Beschreibung der oben genannten Maßnahmen erfolgt in Kapitel 4.

2.4.1 Einsparpotenziale der Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickcheck“ und „Anlagenlabel“

Die Einsparpotenziale der Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickcheck“ und „Anlagenlabel“ wurden in der Kurzexpertise BMWi [2017] bestimmt. Für diese Maßnahmen wurden im Rahmen dieses vorliegenden Forschungsprojektes keine überprüfenden Berechnungen vorgenommen.

Die Berechnungen bei BMWi [2017] basieren dabei auf der Grundlage eines Bottom-Up Ansatzes auf der Basis von Schiller et al. [2014], unter Berücksichtigung von

1. Maximal möglicher Einsparung aller Anlagen (15 TWh bis 25 TWh Strom und 23,8 TWh bis 40,8 TWh, auf der Grundlage von Schiller et al. [2014] (Schiller 2014));
2. Anteil der Anlagen, der für die Maßnahmen relevant sind (90 %, da kleine Anlagen ausgeschlossen werden);
3. Änderungsfrequenz Anteil der geplanten Optimierungen pro Jahr (0,25 % gem. der 3-fachen Häufigkeit der Inanspruchnahme der Energieberatung Mittelstand);
4. Umsetzungsquote (der gemittelte Anteil der Optimierungen, der die vollständige Einsparung erreicht) von 20 %.

Die resultierenden Endenergieeinsparungen des Gesamtpaketes der drei Maßnahmen sind in der folgenden Abbildung aufgeführt:

2018 Ecofys – A Navigant Company

	Strom (TJ)		Wärme (TJ)	
Jahr	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**
2018	24	41	39	66
2019	49	81	77	132
2020	73	122	116	198
Summe 2020 (kumuliert)	**146**	**243**	**231**	**397**
2021	97	162	154	264
2022	122	203	193	330
2023	146	243	231	397
2024	170	284	270	463
2025	194	324	308	529
2026	219	365	347	595
2027	243	405	386	661
2028	243	405	386	661
2029	243	405	386	661
2030	243	405	386	661
Summe 2030 (kumuliert)	**2066**	**3443**	**3277**	**5618**

Quelle: Prognos

Abbildung 13: Einsparung Endenergie der Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickcheck“ und „Anlagenlabel“ gem. BMWi [2017]

Durch die angewandte Berechnungs-Methodik bleiben die resultierenden jährlichen Einsparungen ab dem Jahr 2027 konstant, so dass sich bei einer Fortführung bis zum Jahre 2050 für dieses Jahr die gleichen Einsparungen wie für die Jahre 2027 bis 2030 ergeben würden.

Die entsprechenden kumulierten Primärenergie-Einsparungen unter Berücksichtigung eines Primärenergiefaktors für Strom von 1,8 und für Raumwärme von 1,1 sind in der folgenden Abbildung 14 aufgeführt.

	Strom (TJ)		Wärme (TJ)	
	Min	**Max**	**Min**	**Max**
Summe bis 2020	**262**	437	254	436
Summe bis 2030	3718	6197	3605	6180

Quelle: Prognos

Abbildung 14: Einsparung Primärenergie der Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickcheck“ und „Anlagenlabel“ gem. (BMWi 2017)

Die entsprechenden kumulierten Einsparungen der CO_2 unter Berücksichtigung eines Emissionsfaktors für Strom von 542 g/kWh und für Raumwärme von 218 g/kWh [Fraunhofer ISI und Prognos AG, 2015] sind in der folgenden Abbildung 15 aufgeführt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

	Strom (kt)		Wärme (kt)	
	Min	Max	Min	Max
Summe bis 2020	20	33	13	23
Summe bis 2030	262	437	185	318

Quelle: Prognos

Abbildung 15: Einsparung CO_2-Emissionen der Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickcheck“ und „Anlagenlabel“ gem. BMWi [2017]

Die beschriebene Gesamtwirkung teilt sich nach BMWi [2017] wie folgt auf die einzelnen Maßnahmen auf:

a.) **Paket Öffentlichkeitsarbeit:** **9 %**

b.) **Quickchecktool** **12 %**

c.) **Bestandsanlagenlabel** (inkl. Erweiterung der DIN SPEC 15240 und der Erstellung eines entsprechenden Tools) **55 %**[4]

d.) **Neuanlagenlabel** **25 %**

Demnach wird die weit überwiegend größte Wirkung im Jahr 2030 von 0,19 PJ bis 0,32 PJ Strom und 0,30 PJ bis 0,52 PJ Wärme durch die die Einführung Label (Neuanlagen- und Bestandslabel) erzielt, dies entspricht ca. 0,1 -0,2 % des Gesamtverbrauches von Klima- und Lüftungsanlagen.

Bei den Berechnungen wurde eine durchschnittliche uneingeschränkte Wirkungsdauer der Maßnahmen von 10 Jahren berücksichtigt. Komplexere Zusammenhänge, wie Rebound- oder Sättigungs-Effekte sowie Entwicklungen bei den Primärenergiefaktoren und CO_2 -Emissionsfaktoren wurden bei der vereinfachenden Bottom-Up-Betrachtung nicht berücksichtigt.

2.4.2 Einsparpotenziale der Maßnahmen „Zählerpflicht für Neuanlagen“, „Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen“, „Verpflichtung einer geordneten Inbetriebnahme“ und „Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion“

In diesem Kapitel werden die Einsparpotenziale der Maßnahmen:

- Zählerpflicht für Neuanlagen
- Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen
- Verpflichtung einer geordneten Inbetriebnahme
- Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion

beschrieben und ermittelt.

Dazu werden die wesentlichen Grundlagen und die Ergebnisse im Folgenden dargestellt.

[4] Die sich wie folgt aufteilen: 38 % Erweiterung der DIN SEC 15240, 25 % Neuanlagenlabel, 18 % Inspektionstool

2018 Ecofys – A Navigant Company

2.4.2.1 Grundlagen

Den Berechnungen werden die folgenden allgemeinen Annahmen zu Grunde gelegt.

Es wird davon ausgegangen, dass die Maßnahmen im Jahre 2020 implementiert werden.

Primärenergie-, CO_2-Emissions-Faktoren und Energiekostenentwicklung

Die Primärenergie- und CO_2-Emissions-Faktoren über den Betrachtungszeitraum werden gemäß der Energieeffizienzstrategie BMWi [2015a] gewählt. Die Energiekostenentwicklung wurde in Anlehnung an BMWi [2018][5] gewählt.

Die folgende Tabelle zeigt die jeweiligen Kennwerte für den Betrachtungszeitraum 2020–2050.

Tabelle 6: Entwicklung der Primärenergie- und CO_2-Faktoren und Energiekosten, 2020–2050

Jahr	Primärenergie-Faktor Wärme*	Primärenergie-Faktor Strom	CO_2-Faktor Wärme*	CO_2-Faktor Strom	Energie-kosten Wärme*	Energie-kosten Strom
2020	1,1	1,8	250	438	0,062	0,200
2021	1,1	1,7	250	431	0,063	0,200
2022	1,1	1,6	250	423	0,063	0,200
2023	1,1	1,5	250	416	0,064	0,200
2024	1,1	1,4	250	408	0,065	0,200
2025	1,1	1,3	250	401	0,065	0,200
2026	1,1	1,3	250	393	0,066	0,200
2027	1,1	1,2	250	386	0,067	0,200
2028	1,1	1,1	250	378	0,068	0,200
2029	1,1	1,0	250	371	0,068	0,200
2030	1,1	0,9	250	363	0,069	0,200
2031	1,1	0,9	250	350	0,070	0,200
2032	1,1	0,8	250	338	0,071	0,200
2033	1,1	0,8	250	325	0,071	0,200
2034	1,1	0,8	250	312	0,072	0,200
2035	1,1	0,8	250	300	0,073	0,200
2036	1,1	0,7	250	287	0,074	0,200
2037	1,1	0,7	250	274	0,075	0,200
2038	1,1	0,7	250	261	0,075	0,200

[5] Energiekosten 2017: Erdgas: 0,06 €/kWh; Strom: 0,20 €/kWh; Energiekostensteigerungen: Erdgas: +1,1 %; Strom: +0 %,

2018 Ecofys – A Navigant Company

Jahr	Primärenergie-Faktor Wärme*	Primärenergie-Faktor Strom	CO_2-Faktor Wärme*	CO_2-Faktor Strom	Energie-kosten Wärme*	Energie-kosten Strom
2039	1,1	0,6	250	249	0,076	0,200
2040	1,1	0,6	250	236	0,077	0,200
2041	1,1	0,6	250	225	0,078	0,200
2042	1,1	0,6	250	213	0,079	0,200
2043	1,1	0,5	250	202	0,080	0,200
2044	1,1	0,5	250	190	0,081	0,200
2045	1,1	0,5	250	179	0,082	0,200
2046	1,1	0,5	250	168	0,082	0,200
2047	1,1	0,5	250	156	0,083	0,200
2048	1,1	0,4	250	145	0,084	0,200
2049	1,1	0,4	250	133	0,085	0,200
2050	1,1	0,4	250	122	0,086	0,200

*) Für „Wärme“ wurden vereinfachend die Kennwerte von Erdgas verwendet. Erdgas ist derzeit der weit überwiegende Energieträger zur Wärmeversorgung in Deutschland. Es wurde keine Verbesserung der Primärenergiefaktoren der der CO_2-Emssionsfaktoren für die Wärmebereitstellung berücksichtigt.

Die obige Tabelle 6 zeigt eine signifikante Abnahme der Primärenergie- und CO_2-Faktoren für Strom bis 2050. Das führt bei den folgenden Ergebnissen dazu, dass beim Strom die durch die entsprechenden Maßnahmen erzielten Primärenergie- und CO_2-Einsparungen in der Zukunft absinken.

Die wesentlichen Grundlagen für das Modell zur Bestimmung der Einsparpotenziale der oben genannten Maßnahmen sind:

- Anlagenbestand bzw. Anlagenabsatz (gem. Kapitel 2.1 und Kapitel 2.2);
- Einsparpotenziale (Strom und Wärme) von Einzelanlagen nach Implementierung der Maßnahmen. Diese unterscheiden sich gem. Kapitel 2.1. nach Anlagentyp (mit und ohne Kühlfunktion, mit und ohne Wärmerückgewinnung, unterschiedliche Arten der Befeuchtungsfunktion, mit und ohne Volumenstromregelung) und Größenklasse (<3000 m³/h; 3000 m³/h bis < 10.000 m³/h; 10.000 m³/h bis <20.000 m³/h und 20.000 m³/h und größer).
- Wirkungsquote über den Betrachtungszeitraum (Die Wirkungsquote beschreibt die durchschnittlich zu erwartende Wirkung für die von der Maßnahme betroffenen Einzelanlagen in Bezug auf die in Kapitel 2.1 ermittelten Einsparungen bei Einzelanlagen. Dabei werden sowohl Umsetzungsdefizite als auch mögliche Abschwächungen der künftigen Wirkung z. B. in Folge zu erwartenden Effizienzverbesserungen, Sättigungseffekten sowie der ggf. eingeschränkten Lebensdauer der Maßnahmen berücksichtigt.)

Die maßnahmenspezifischen Grundlagen werden im Folgenden dargelegt.

Zählerpflicht für Neuanlagen

Die Maßnahme zur Einführung eines verpflichtenden Einbaus von Zählern in neuen RLT-Anlagen betrifft alle neuen RLT-Anlagen ab einem Nennvolumenstrom von 3.000 m³/h. Ab dieser Grenze wurde

2018 Ecofys – A Navigant Company

die Wirtschaftlichkeit in Kapitel 2.1 nachgewiesen. In dieser Größenklasse wird gem. Kapitel 2.1 von einem Absatz von jährlich 31.000 neuen RLT-Anlagen pro Jahr ausgegangen.

Die mögliche relative Einsparhöhe (Strom und Wärme) ist gemäß Kapitel 2.1 abhängig vom RLT-Anlagentyp:

- Anlagen ohne Volumenstromregelung: 6,7 %;
- Anlagen mit Volumenstromregelung: 3,3 %.

Bei einer Verpflichtung für Neuanlagen kann von einer hohen Umsetzungsquote ausgegangen werden. Zur Berücksichtigung von Sowieso-Effizienzverbesserungen in den Folgejahren und einer ggf. eingeschränkten Lebensdauer der Maßnahme wurde eine Verminderung der Wirkungsquote angenommen:

- 2020: Wirkungsquote 95 %;
- 2050: Wirkungsquote ca. 50 % (-2 %/Jahr aufgrund einer erwarteten Sowieso-Effizienzverbesserung und einer ggf. eingeschränkten Lebensdauer)[6].

Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen

Als Grundlage für die Maßnahme Nachrüstverpflichtung von Zählern für RLT-Bestandsanlagen wurde gem. Kapitel 2.1 von einem Bestand von 1.100.000 Anlagen ausgegangen.

Die relative Einsparhöhe (Strom und Wärme) bei Implementierung bei Einzelanlagen ist gemäß Kapitel 2.1 abhängig vom RLT-Anlagentyp:

- Anlagen ohne Volumenstromregelung: 6,7 %;
- Anlagen mit Volumenstromregelung: 3,3 %.

Bei einer Nachrüstverpflichtung für Bestandsanlagen ist von einer deutlich niedrigeren Umsetzungsquote als im Neubau auszugehen. Nach 3-jährigen Anlaufphasen wird von einer maximalen Wirkungsquote von 4 %/a ausgegangen. Ab dem 4. Jahr wird eine jährliche Reduktion von 40 % zur Berücksichtigung von Sättigungseffekten angenommen. In der genannten Wirkungsquote sind Sowieso-Effizienzverbesserungen (z. B. durch Komponentenaustausch) und die Außerbetriebnahme von Anlagen sowie ggf. eine eingeschränkte Lebensdauer der Maßnahme, die im Verhältnis zu den Unsicherheiten bei den Annahmen gering eingeschätzt werden, enthalten. Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Rahmenbedingungen wird bis 2050 eine Gesamtabdeckung des RLT-Anlagen(alt-)bestandes mit Zählern von ca. 17,5 % erreicht.

Verpflichtung zu einer geordneten Inbetriebnahme

Die Maßnahme zur verpflichtenden Einführung einer geordneten Inbetriebnahme von neuen RLT-Anlagen betrifft alle neuen RLT-Anlagen ab einem Nennvolumenstrom von 10.000 m³/h. Ab dieser Grenze wurde die Wirtschaftlichkeit in Kapitel 2.1 nachgewiesen. In dieser Größenklasse werden gem. Kapitel 2.1 jährlich 16.200 neue RLT-Anlagen errichtet, die sich auf die verschiedenen Anlagengrößen und Anlagentypen verteilen.

Die relative Einsparhöhe (Strom und Wärme) ist gemäß Kapitel 2.1 abhängig vom RLT-Anlagentyp:

- Anlagen ohne Volumenstromregelung: 12 %
- Anlagen mit Volumenstromregelung: 8 %

[6] Anmerkung: Die Wirkungsreduktion in Folge von Sowieso-Effizienzverbesserungen betrifft dabei nicht nur jeweils die in einem Jahr neu installierten Zähler, sondern auch die Wirkung der Zähler, die in den vorherigen Jahren installiert wurden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Bei einer Verpflichtung für Neuanlagen kann eigentlich von einer hohen Umsetzungsquote ausgegangen werden. Da es sich bei der geordneten Inbetriebnahme jedoch, um eine Dienstleistung handelt, deren Qualität weit weniger leicht überprüfbar ist als bei einer vorzusehenden Hardwarekomponente, wird von einer, gegenüber der Einbauverpflichtung für Zähler, deutlich reduzierten Wirkungsquote von lediglich 50 % im Einführungsjahr 2020 ausgegangen. Zur Berücksichtigung von Sowieso-Effizienzverbesserung in den Folgejahren und einer ggf. eingeschränkten Lebensdauer der Maßnahme wurde eine Verminderung der Wirkungsquote angenommen:

- 2020: 50 %
- 2050: ca. 25 % (-2 %/Jahr aufgrund Sowieso-Effizienzverbesserung)

Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion

Die Maßnahme zur verpflichtenden Einführung Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion betrifft gemäß Kapitel 2.1 ca. 1.000 Anlagen/Jahr, die sich nach den Anlagentypen:

- Elektrische Dampfbefeuchter (37,5 % der Neuanlagen)
- Thermische Dampfbefeuchter (12,5 % der Neuanlagen)
- Verdunstungsbefeuchter (50 % der Neuanlagen)

sowie der Feuchteanforderung (mit und ohne Toleranz) unterscheiden lassen.

Die Einsparhöhe (Strom und Wärme) ist gemäß Kapitel 2.1 abhängig vom RLT-Anlagentyp und wurde, wie dort beschrieben, berücksichtigt.

Wie bei der verpflichtenden Zählereinführung, kann auch bei einer verpflichtenden Einführung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunkton von einer hohen Umsetzungsquote ausgegangen (95 %) werden. Es wurde von einer Lebensdauer der Anlagen von 20 Jahren ausgegangen. Dementsprechend ergeben sich nach Ablauf der Lebensdauer, d. h. ab dem Jahr 2040 keine zusätzlichen Einsparungen, da jährlich die gleiche Anzahl an Anlagen zugebaut wie außer Betrieb genommen wird.

2.4.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die sich auf Basis der zuvor genannten Grundlagen berechneten Einsparungen der Maßnahmen bzgl. der Endenergie, Primärenergie, CO_2-Emissionen und der Energiekosten bis zum Jahr 2050 dargestellt.

Endenergieeinsparung

Im Folgenden sind zunächst am Beispiel der Maßnahmen Zählerpflicht für Neuanlagen und Nachrüstverpflichtung von Stromzählern für Bestandanlagen die zeitlichen Verläufe der zu erwartenden Einsparungen dargestellt.

Zählerpflicht für Neuanlagen

Die folgende Abbildung 16 zeigt den zeitlichen Verlauf der erwarteten Endenergieeinsparungen bei der Einführung einer Zählerpflicht für neue RLT-Anlagen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

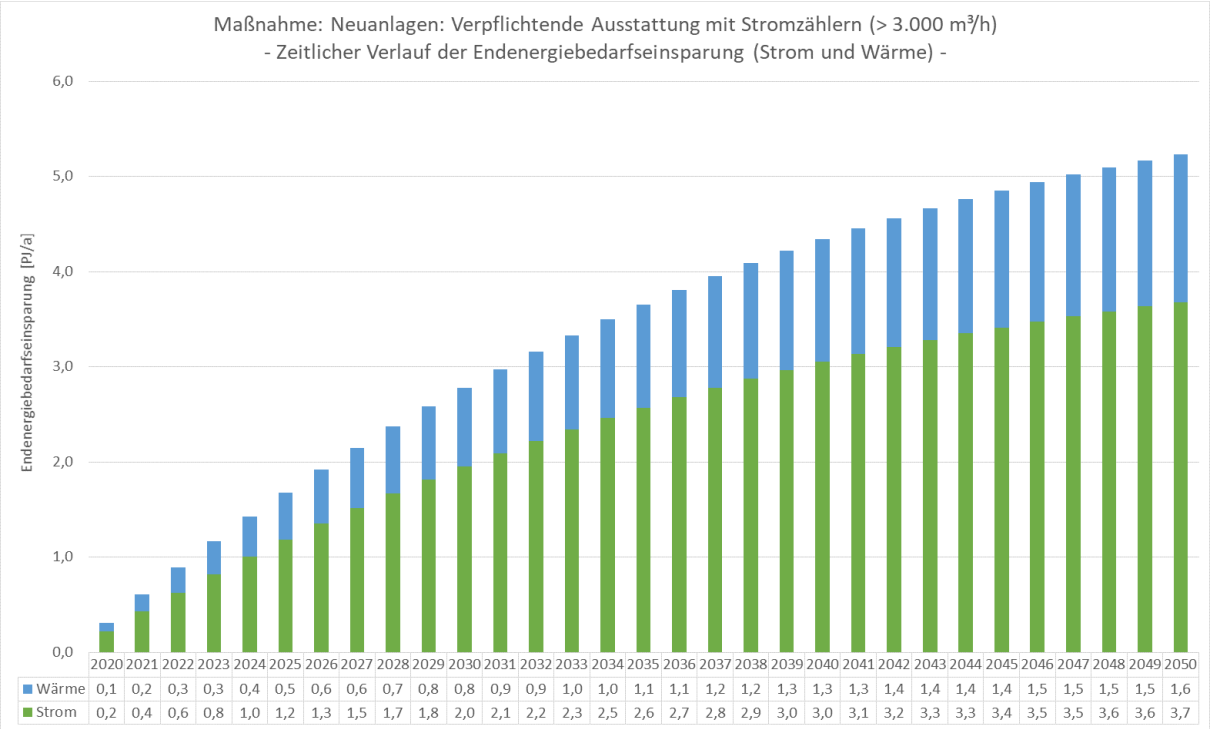


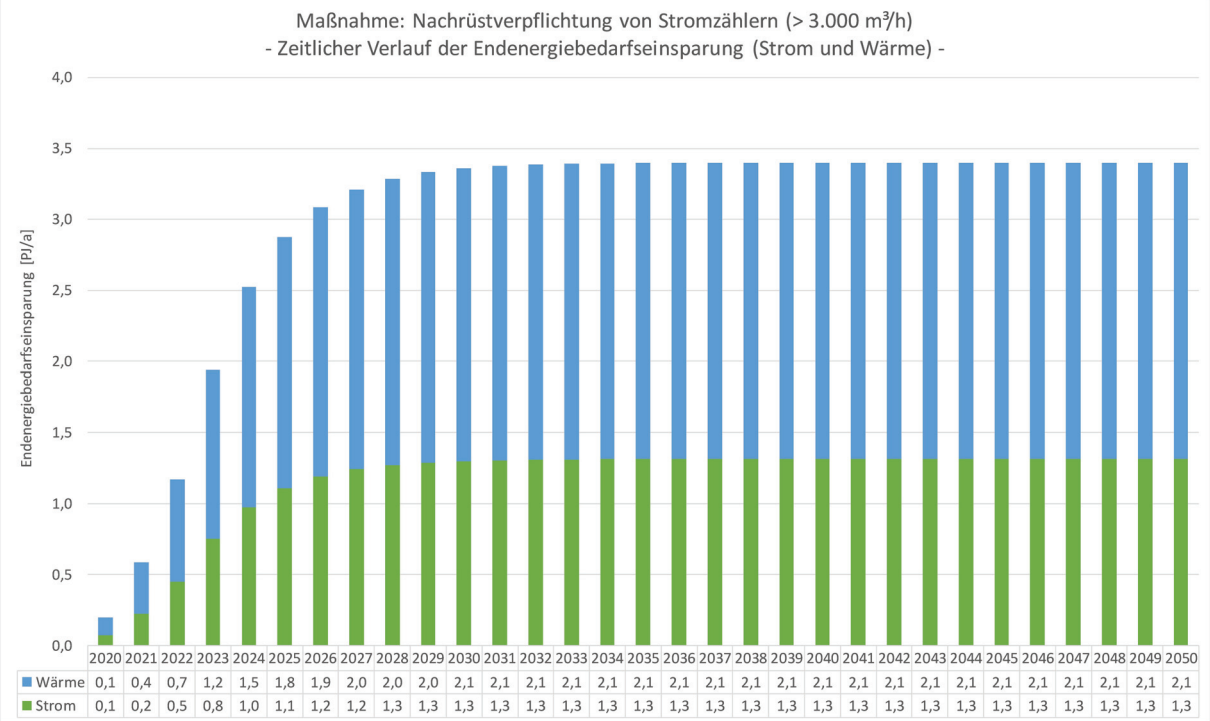
Abbildung 16: Endenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2020-–2050, Zählerpflicht für Neuanlagen (> 3.000 m³/h)

Durch die Wärmerückgewinnung bei Neuanlagen ist die Endenergieeinsparung Strom mehr als doppelt so hoch wie die Endenergieeinsparung Wärme. Der Grafik ist außerdem die angenommene Abschwächung der Wirkungsquote von 2 %/Jahr aufgrund einer erwarteten Sowieso-Effizienzverbesserung und einer ggf. eingeschränkten Lebensdauer durch ein Abflachen der Einsparungen zu entnehmen.

Nachrüstverpflichtung von Stromzählern für Bestandanlagen

Die folgende Abbildung 17 zeigt den zeitlichen Verlauf der erwarteten Endenergieeinsparungen bei der Einführung einer Zählerpflicht für RLT-Anlagen im Bestand.

2018 Ecofys – A Navigant Company



	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Wärme	0,1	0,4	0,7	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Strom	0,1	0,2	0,5	0,8	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Abbildung 17: Endenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2020-2050, Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen (> 3.000 m³/h)

Im Gegensatz zu der Zählerpflicht für Neuanlagen überwiegen bei Bestandsanlagen die Einsparungen im Bereich Wärme. Dies liegt an dem deutlich geringeren Ausstattungsgrad der Anlagen mit einer effizienten Wärmerückgewinnung. Deutlich zu erkennen ist das berücksichtigte langsame „Anfahren“ der Maßnahme in den ersten drei Jahren. Durch die starken Sättigungseffekte ab dem 4. Jahr bleiben die Einsparungen ab 2030 nahezu konstant.

In den folgenden Abbildungen sind die Endenergieeinsparungen der vier untersuchten Maßnahmen und die sich ergebende Gesamteinsparung bei Einführung aller Maßnahmen[7], jeweils für die Jahre 2030 und 2050 dargestellt.

[7] Mögliche Überschneidungen und Wechselwirkungen der Maßnahmen wurden dabei vernachlässigt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

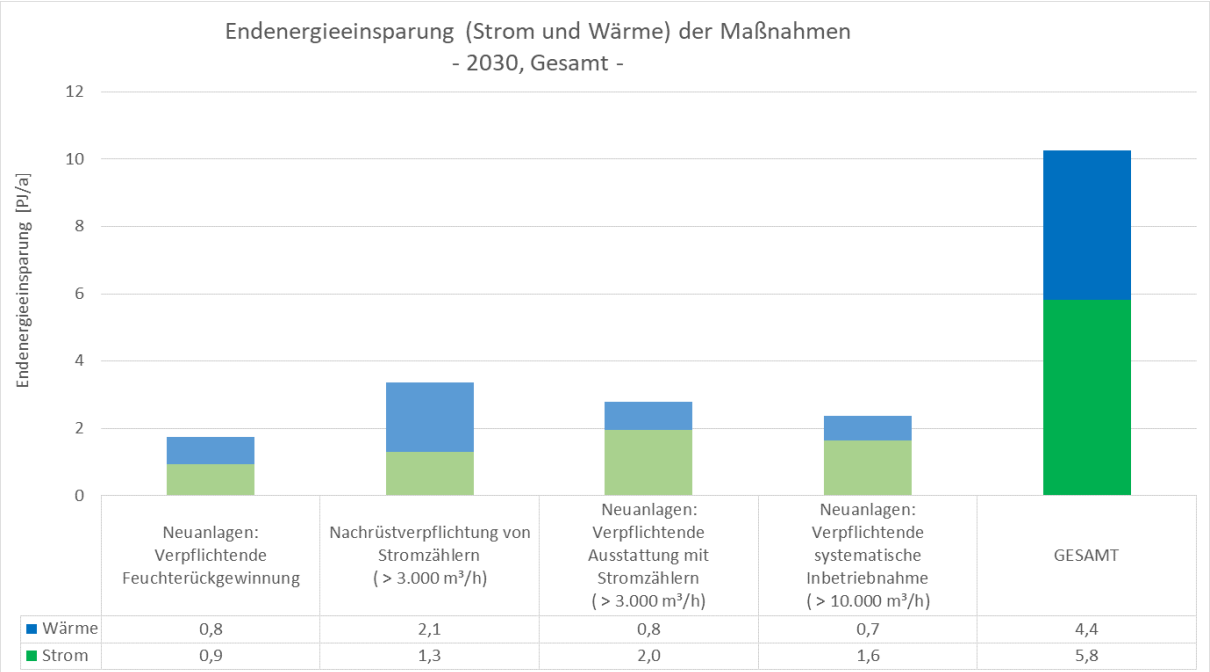


Abbildung 18: Endenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2030, für alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

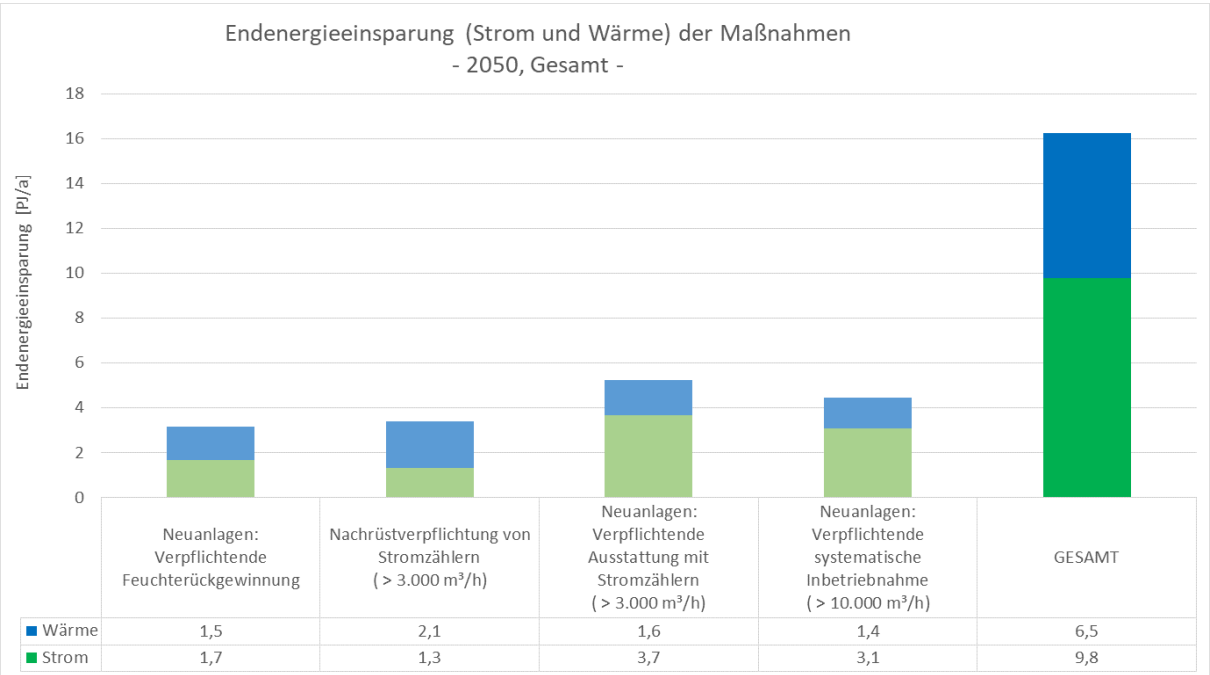


Abbildung 19: Endenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2050, für alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

Die erwarteten Endenergieeinsparungen der untersuchten Maßnahmen liegen etwa in einer gleichen Größenordnung (zwischen 1,7 PJ/a und 3,4 PJ/a im Jahre 2030 und zwischen 3,2 PJ/a und 5,3 PJ/a

2018 Ecofys – A Navigant Company

im Jahre 2050). In 2030 wird die größte Endenergieeinsparung durch die Nachrüstverpflichtung von Stromzählern erreicht, im Jahre 2050 leistet die Zählerpflicht für Neuanlagen den größten Beitrag. Während die Einsparung beim Strom überwiegt und zu dem von 2030 auf 2050 um fast 70 % ansteigt, beträgt der Anstieg im Bereich Wärme nur knapp 50 %. Dies liegt an der zuvor beschriebenen unveränderten Einsparung bei der Zähler-Nachrüstverpflichtung, die den größten Beitrag zur Wärmeeinsparung liefert. Insgesamt liegt die erwartete Endenergieeinsparung bei Umsetzung aller vier Maßnahmen im Jahre 2030 bei 10,2 PJ/a und 2050 bei 16,3 PJ/a. Bezogen auf den aktuellen Gesamtstromverbrauch von 168,5 PJ entspräche dies im Jahre 2030 einer Einsparung von ca. ca. 3-4 % und im Jahre 2050 von ca. 5-6 %.

Primärenergieeinsparung

Analog der Darstellungen der Endenergieeinsparungen werden im Folgenden zunächst am Beispiel der Maßnahmen Zählerpflicht für Neuanlagen und Nachrüstverpflichtung von Stromzählern für Bestandanlagen die zeitlichen Verläufe der zu erwartenden Einsparungen dargestellt.

Zählerpflicht für Neuanlagen

Die folgende Abbildung 20 zeigt den zeitlichen Verlauf der erwarteten Primärenergieeinsparungen bei der Einführung einer Zählerpflicht für neue RLT-Anlagen.

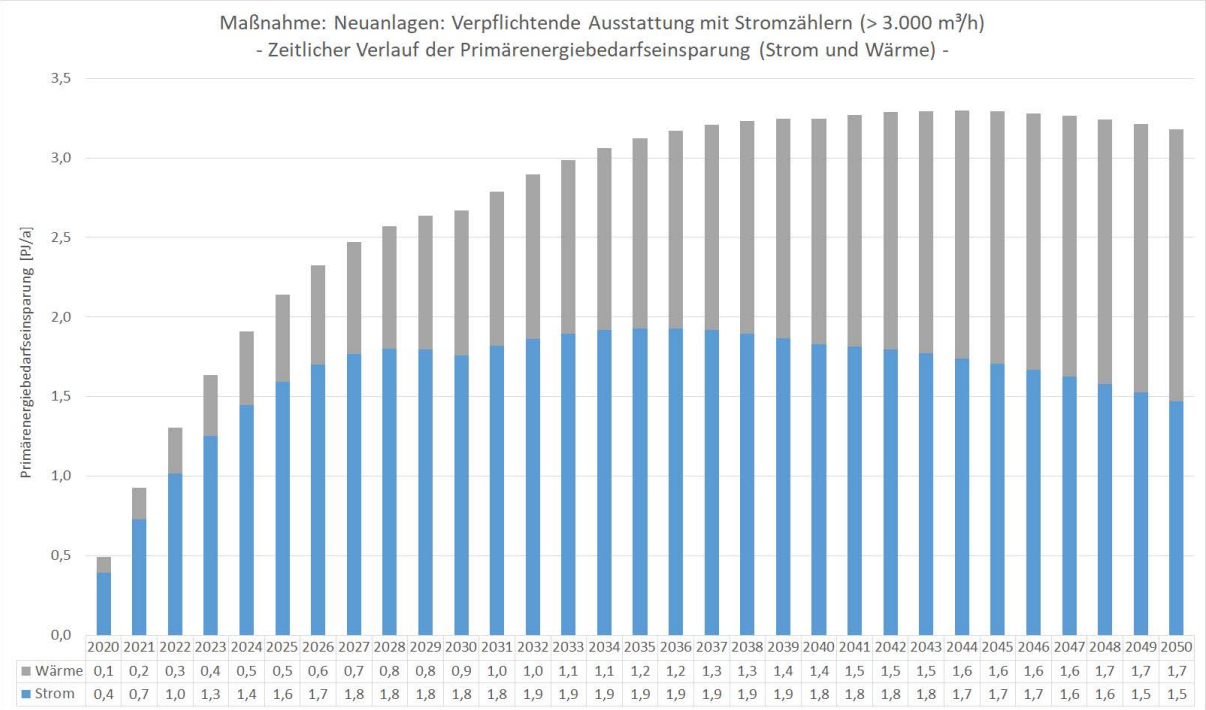


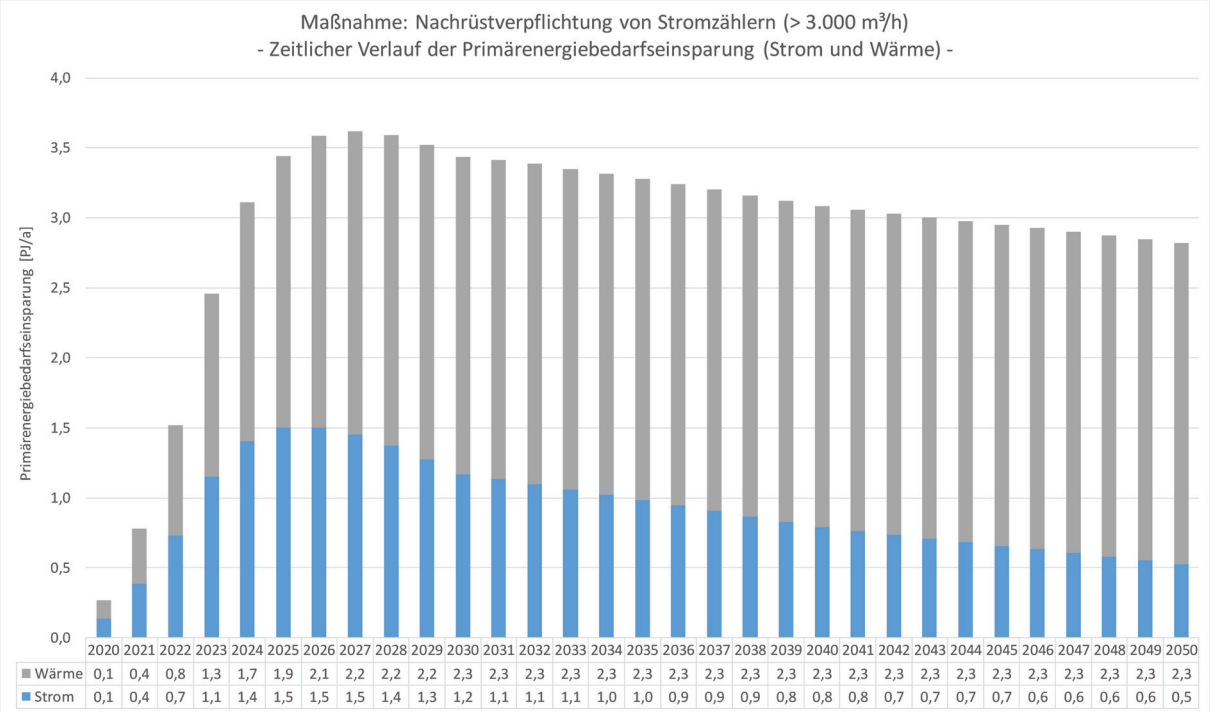
Abbildung 20: Primärenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2020-2050, Zählerpflicht für Neuanlagen (> 3.000 m³/h)

Durch den absinkenden Primärenergiefaktor für Strom erhöht sich der Wärmeanteil der Primärenergieeinsparung. Darüber hinaus führt dies auch zu einem abflachenden Anstieg der Primärenergieeinsparungen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Nachrüstverpflichtung von Stromzählern für Bestandanlagen

Die folgende Abbildung 21 zeigt den zeitlichen Verlauf der erwarteten Primärenergieeinsparungen bei der Einführung einer Zählerpflicht für RLT-Anlagen im Bestand.



	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Wärme	0,1	0,4	0,8	1,3	1,7	1,9	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Strom	0,1	0,4	0,7	1,1	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5

Abbildung 21: Primärenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2020-2050, Beispielmaßnahme: Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen (> 3.000 m³/h)

Wie auch schon bei der Zählerpflicht für Neuanlagen beschrieben, führt das Absinken des Primärenergiefaktors von Strom zu einer deutlichen Verschiebung der Anteile. Während im Jahr 2020 die Anteile der Einsparungen im Bereich Wärme und Strom etwa gleich sind, ist der Anteil Wärme im Jahr 2050 mehr als 4-mal so groß wie der Anteil Strom. Darüber hinaus führt das Absinken des Primärenergiefaktors von Strom zu einer sinkenden Einsparwirkung. Die maximale Primärenergieeinsparung wird im Jahre 2027 erreicht.

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Primärenergieeinsparungen der vier untersuchten Maßnahmen und die sich ergebende Gesamteinsparung bei Einführung aller Maßnahmen[8], jeweils für die Jahre 2030 und 2050 dargestellt.

[8] Mögliche Wechselwirkungen der Maßnahmen wurden dabei vernachlässigt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

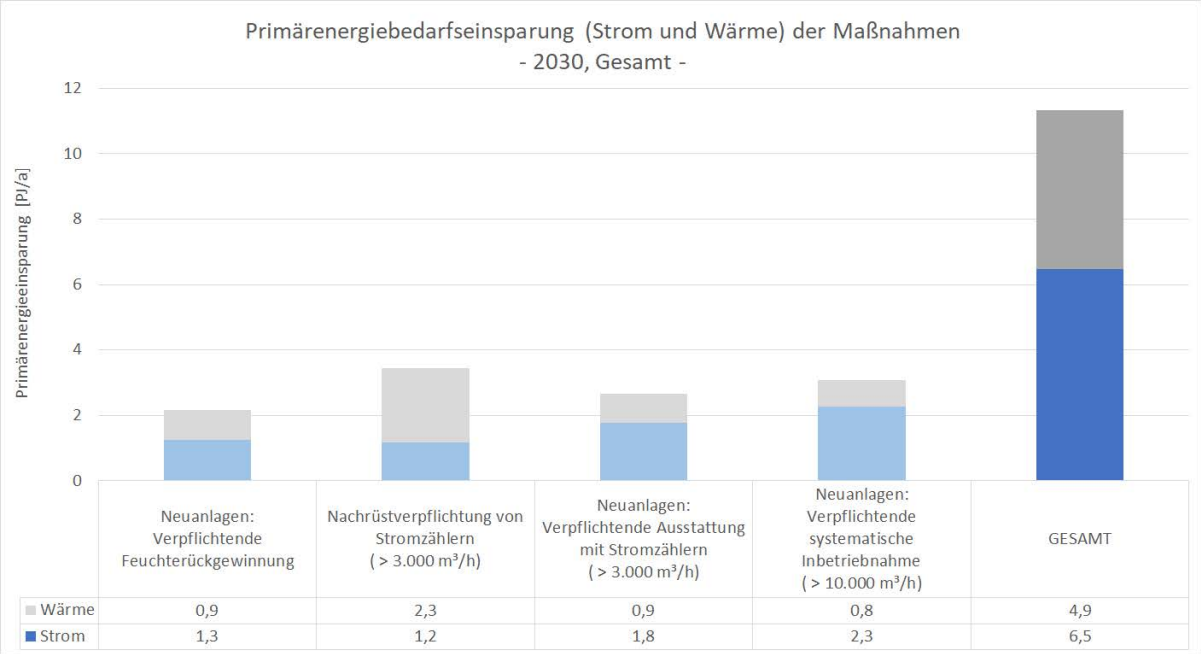


Abbildung 22: Primärenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2030, alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

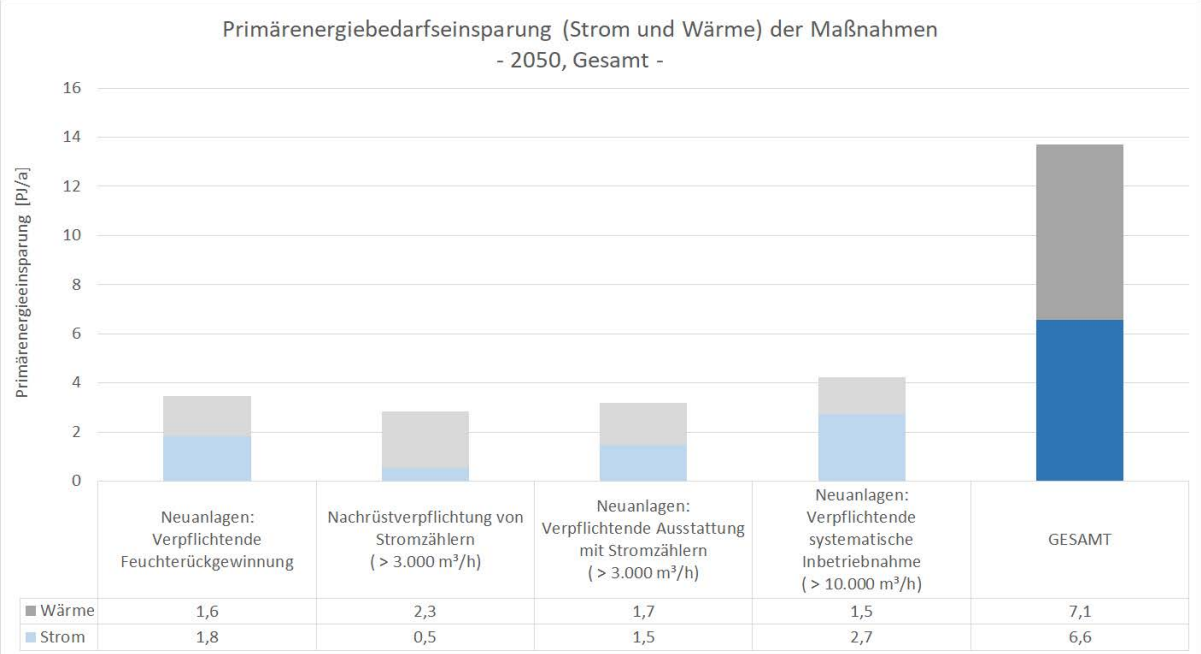


Abbildung 23: Primärenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2050, alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

Durch das Absinken des Primärenergiefaktors für Strom steigen die Einsparungen von 2030 bis 2050 nur um 12 % an. Im Bereich Wärme steigt die Primärenergieeinsparung dahingegen im gleichen Zeitraum um 45 % an. Die Zählerpflicht für Neuanlagen ist sowohl in 2030 als auch in 2050 die Maß-

2018 Ecofys – A Navigant Company

nahme mit dem größten Primärenergieeinsparpotenzial. Insgesamt liegt die erwartete Primärenergieeinsparung bei Umsetzung aller vier Maßnahmen im Jahre 2030 bei 12,2 PJ/a und 2050 bei 15,4 PJ/a.

Die folgenden zwei Abbildungen sollen einen Einblick auf die erzielbaren Primärenergieeinsparungen – in Abhängigkeit von der Anlagengröße – gewähren.

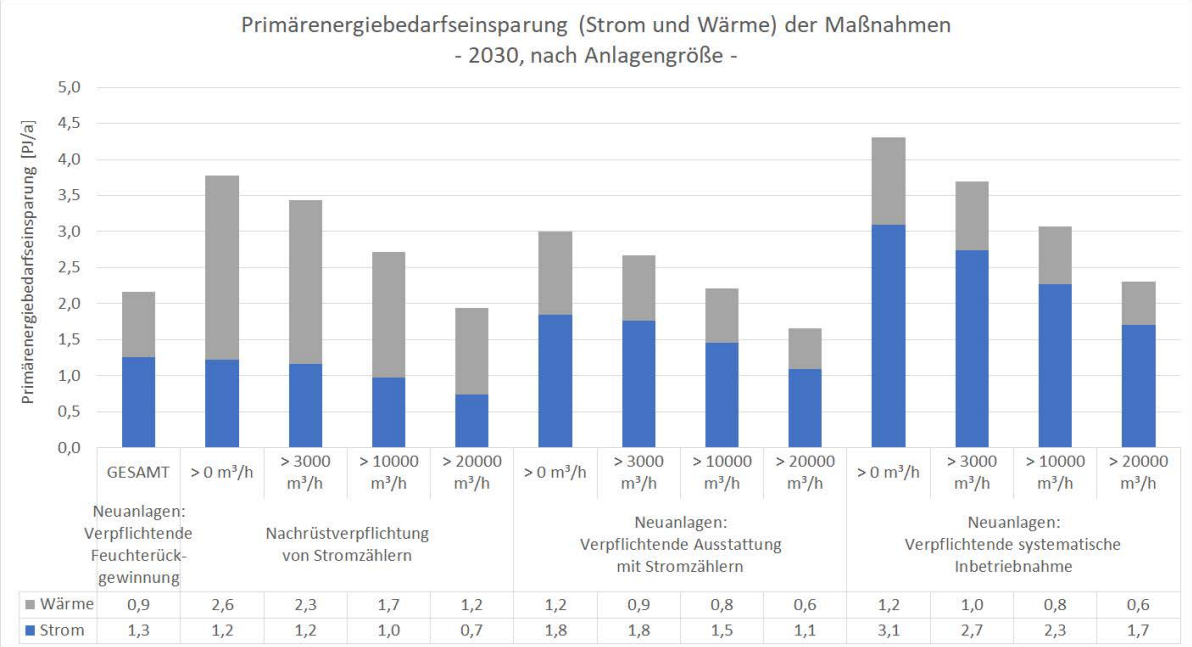


Abbildung 24: Primärenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2030, für alle Maßnahmen nach Anlagengröße

2018 Ecofys – A Navigant Company

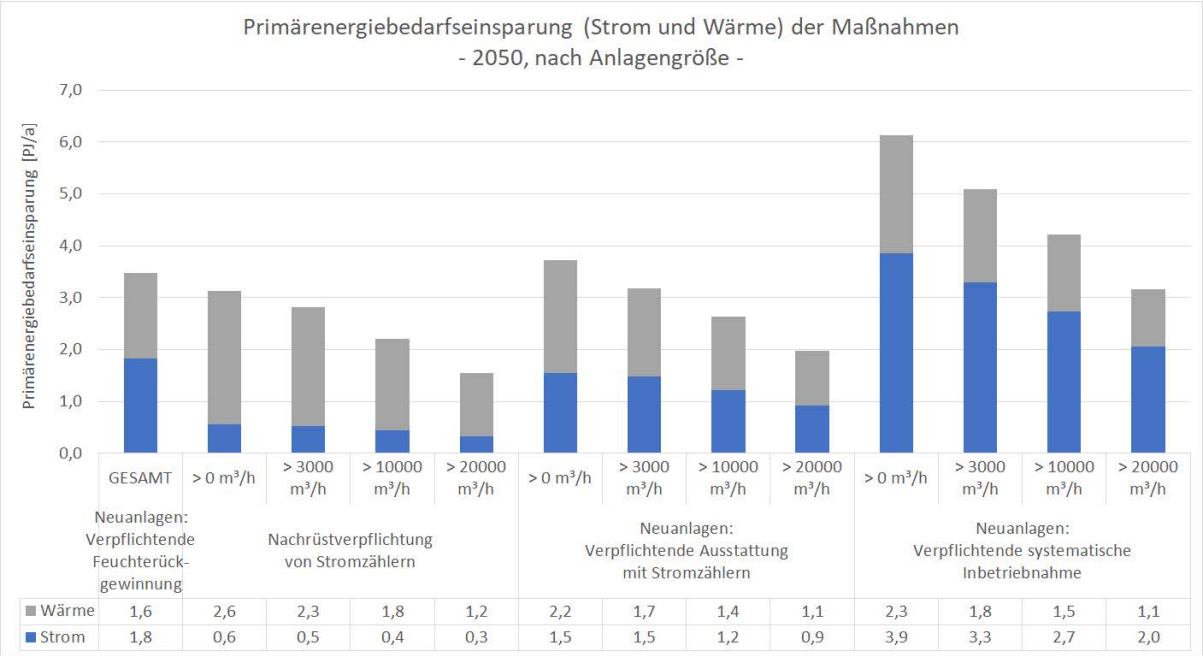


Abbildung 25: Primärenergieeinsparungen Strom und Wärme, 2050, für alle Maßnahmen nach Anlagengröße

Die Abbildungen machen deutlich, dass mit den gewählten wirtschaftlichen Größenklassen (Nennvolumenstrom > 3.000 m³/h bei der verpflichtenden Zählerausstattung von Neu- und Bestandsanlagen und > 10.000 m³/h bei der verpflichtenden systematischen Inbetriebnahme) der weit überwiegende Anteil der maximal möglichen Einsparungen, unter Berücksichtigung aller Anlagengrößen, erzielt werden kann.

CO_2-Emissionsreduktion

Analog der Darstellungen der Energieeinsparungen werden im Folgenden zunächst am Beispiel der Maßnahmen Zählerpflicht für Neuanlagen und Nachrüstverpflichtung von Stromzählern für Bestandanlagen die zeitlichen Verläufe der zu erwartenden CO_2-Emissionsreduktion dargestellt. Gegenüber den Vorgängerabbildungen wurde hierbei auf eine separate Ausweisung von Strom und Wärme verzichtet.

<u>Zählerpflicht für Neuanlagen</u>

Die folgende Abbildung 26 zeigt den zeitlichen Verlauf der erwarteten CO_2-Emissionsreduktion bei der Einführung einer Zählerpflicht für neue RLT-Anlagen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

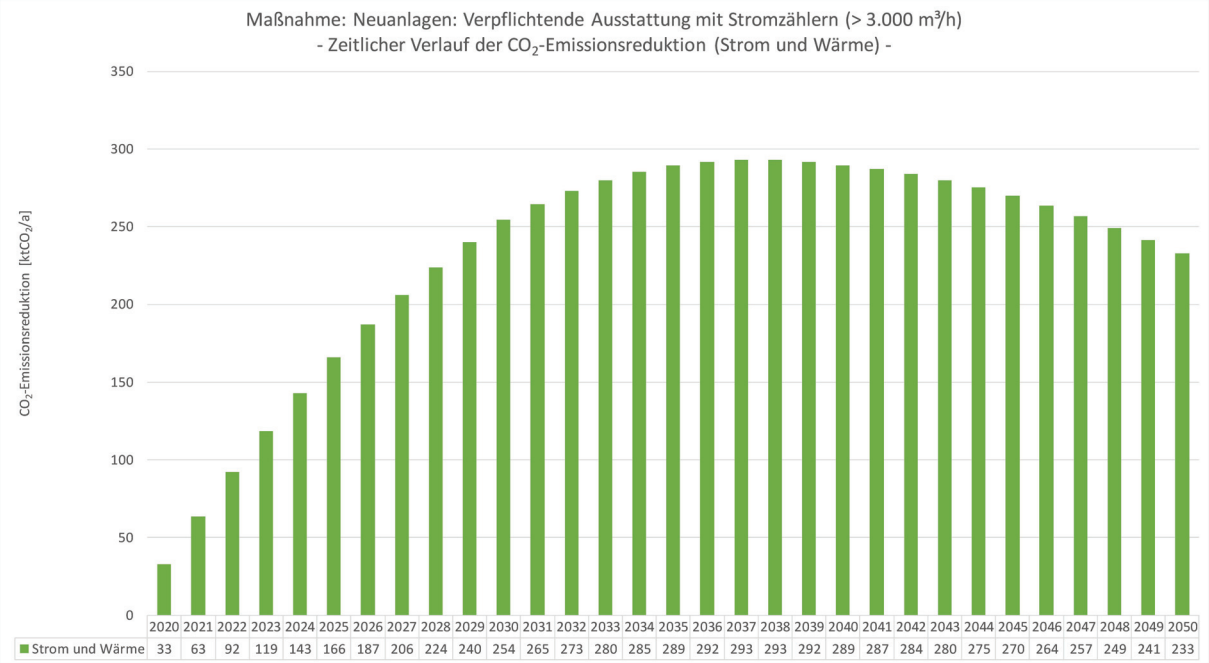


Abbildung 26: CO_2-Emissionsreduktion Strom und Wärme, 2020-2050, Zählerpflicht für Neuanlagen (> 3.000 m³/h)

Bedingt durch den im Vergleich zur Primärenergie noch stärkeren Abfall des CO_2-Emissionsfaktors für Strom kommt es bei der Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der CO_2-Emissionsreduktion sogar zu einer absinkenden Reduktion, die im Jahr 2037 maximal ist.

Nachrüstverpflichtung von Stromzählern für Bestandanlagen

Die folgende Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf der erwarteten CO_2-Emissionsreduktion bei der Einführung einer Zählerpflicht für RLT-Anlagen im Bestand.

2018 Ecofys – A Navigant Company

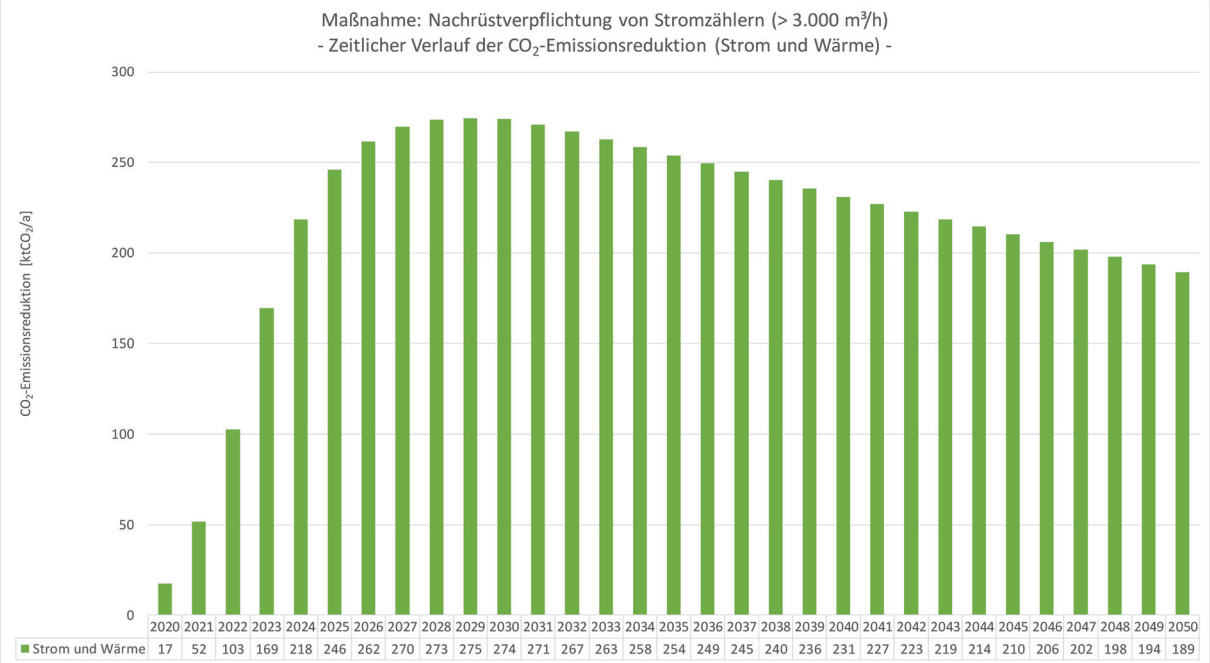


Abbildung 27: CO_2-Emissionsreduktion Strom und Wärme, 2020-2050, Beispielmaßnahme: Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen (> 3.000 m³/h)

Qualitativ ergibt sich bei der Betrachtung der CO_2-Emissionsreduktion im Vergleich zur Primärenergieeinsparung bei der Einführung einer Zählerpflicht für RLT-Anlagen im Bestand ein ähnliches Bild. Durch den im Vergleich zur Primärenergie noch stärkeren Abfall des CO_2-Emissionsfaktors für Strom kommt es jedoch zu einem noch deutlicheren Abfall in den Jahren ab dem verschobenen Maximum im Jahre 2029.

In den folgenden zwei Abbildungen wird die CO_2-Emissionsreduktion der vier untersuchten Maßnahmen und die sich ergebende Gesamteinsparung bei Einführung aller Maßnahmen[9] jeweils für die Jahre 2030 und 2050 dargestellt.

[9] Mögliche Wechselwirkungen der Maßnahmen wurden dabei vernachlässigt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

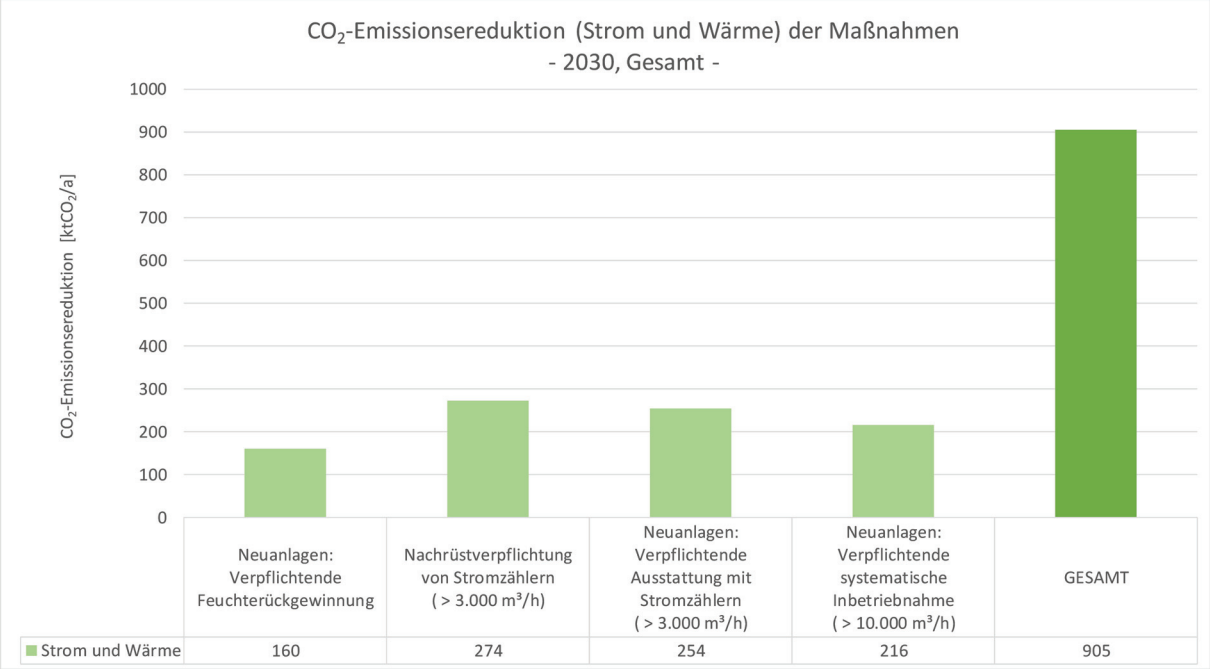


Abbildung 28: CO_2-Emissionsreduktion Strom und Wärme, 2030, für alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

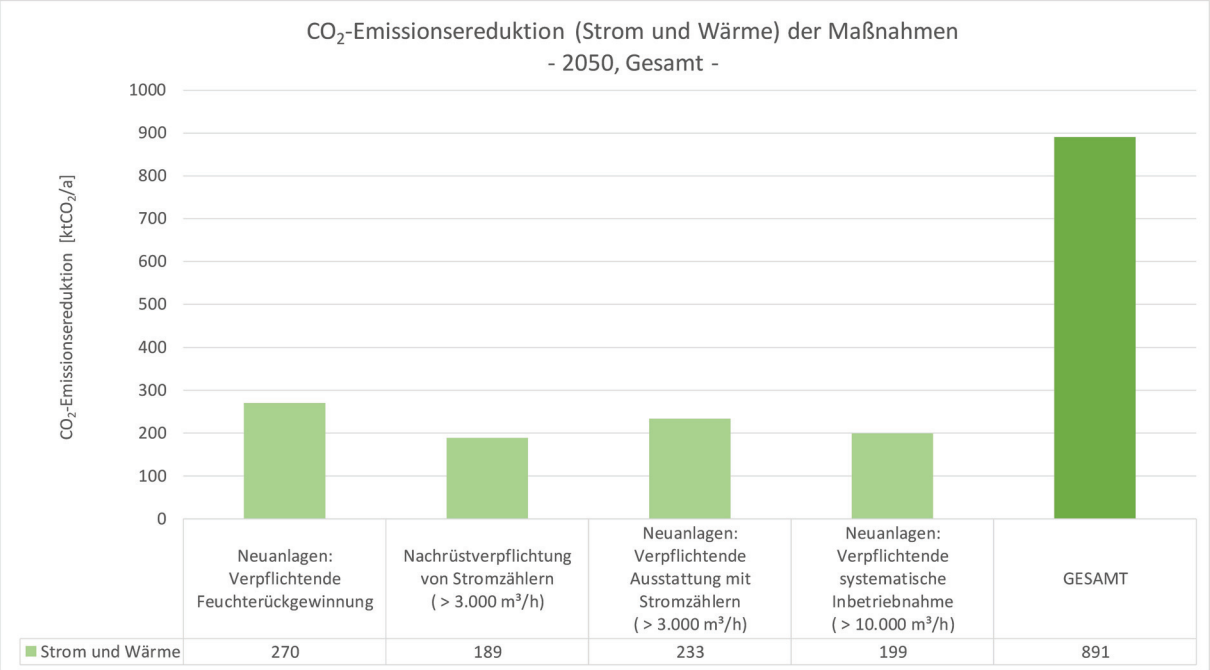


Abbildung 29: CO2-Emissionsreduktion Strom und Wärme, 2050, für alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

2018 Ecofys – A Navigant Company

Im Vergleich zu den zuvor dargestellten Energieeinsparungen leistet in 2050 die Verpflichtende Feuchterückgewinnung das größte CO_2-Emissions-Minderungspotenzial. Der stark sinkende CO_2-Emissionsfaktor von Strom führt außerdem dazu, dass sich die CO_2-Emissionsreduzierung im Jahr 2050 leicht gegenüber 2030 abschwächt (von 905 kt CO_2/a auf 891 kt CO_2/a)

Energiekosteneinsparungen

Verbunden mit den Endenergieeinsparungen sind auch Energiekosteneinsparungen. Die unter Berücksichtigung der beschriebenen Energiekostenentwicklung resultierenden Energiekosteneinsparungen der einzelnen Maßnahmen sowie in Summe sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

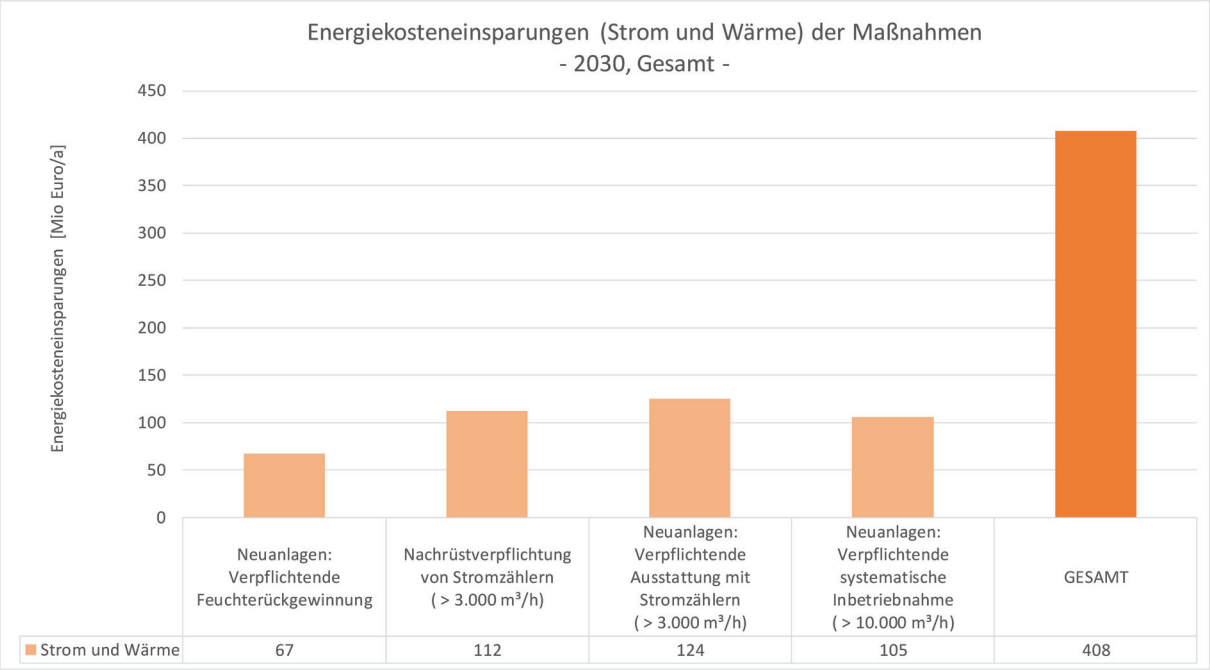


Abbildung 30: Energiekosteneinsparungen Strom und Wärme, 2030, für alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

2018 Ecofys – A Navigant Company

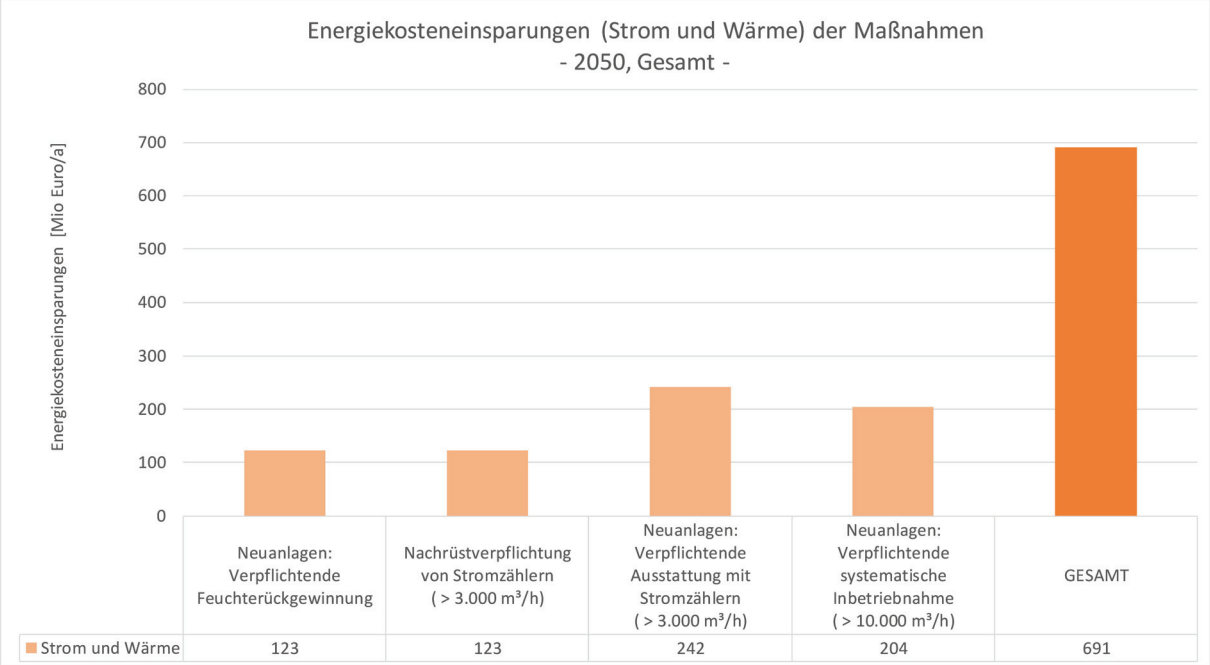


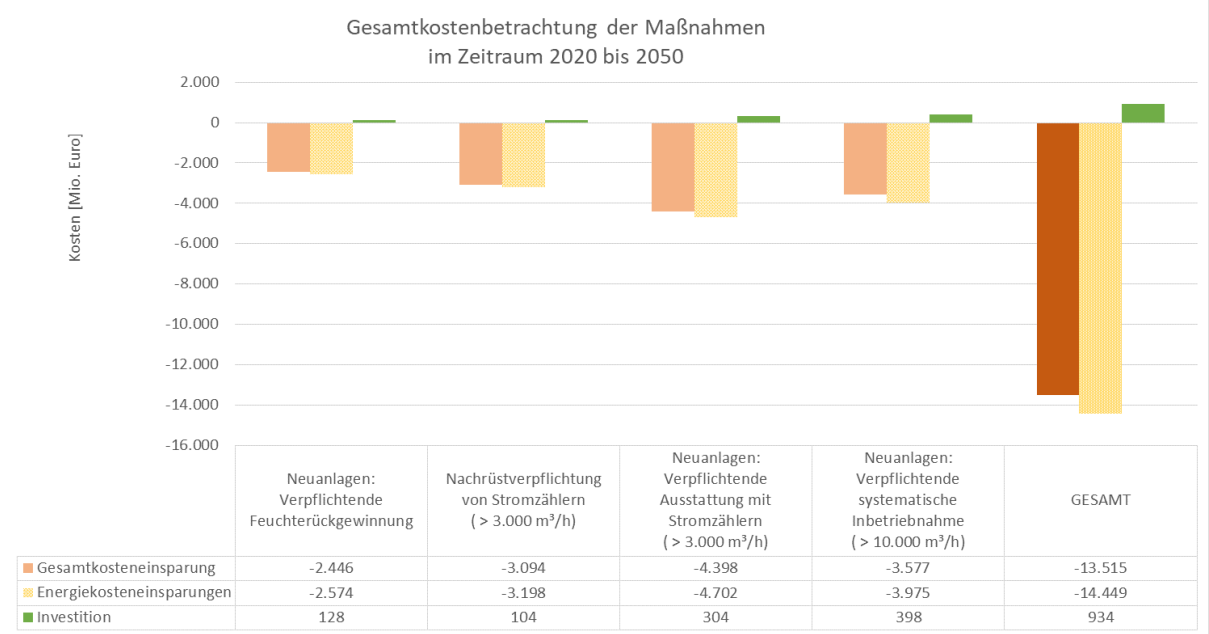
Abbildung 31: Energiekosteneinsparungen Strom und Wärme, 2050, für alle Maßnahmen inkl. Gesamteinsparungen

Qualitativ ergibt sich zunächst ein ähnliches Bild wie bei den Primärenergieeinsparungen: Die höchsten Energiekosteneinsparungen sowohl in 2030 als auch in 2050 werden durch die Einführung einer Zählerpflicht für Neuanlagen erreicht. Im Gegensatz dazu steigt die erwartete Gesamteinsparung von 408 Mio. €/a in 2030 um fast 70 % auf 691 Mio. €/a in 2050 an.

Gesamtkostenbetrachtung

Um die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen darzustellen, wurde eine Gesamtkostenbetrachtung aus der einzelwirtschaftlichen Perspektive durchgeführt. Dabei werden den Energiekosteneinsparungen im Zeitraum von 2020 bis 2050 die notwendigen Investitionskosten gegenübergestellt. Bei den Berechnungen wurde entsprechend der aktuellen Randbedingungen angenommen, dass sich Zinsen und Inflation kompensieren und der Kapitalzins somit 0 % beträgt. Die Investitionskosten der einzelnen Maßnahmen wurden entsprechend Kapitel 2.1 angenommen. Bei Maßnahmen, deren Wirkungsdauer über das Jahr 2050 hinausgeht, wurden die Investition um den betreffenden Restwert reduziert. Bei den Berechnungen wurden außerdem bei den Maßnahmen „Zählerpflicht für Neuanlagen“, „Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen“ und „Verpflichtung einer geordneten Inbetriebnahme“ eine Wirkungsminderung von 2 %/a u.a. durch die zu erwartenden Effizienzverbesserungen der Anlagen berücksichtigt. Es zeigt sich, dass trotz der Wirkungsminderung bei allen Maßnahmen die Energiekosteneinsparungen die Investitionskosten deutlich überwiegen, so dass sich bei Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen für die Betroffenen bis zum Jahre 2050 in Summe ein einzelwirtschaftlicher Gewinn von ca. 13,5 Mrd. Euro ergeben würde.

2018 Ecofys – A Navigant Company



	Neuanlagen: Verpflichtende Feuchterückgewinnung	Nachrüstverpflichtung von Stromzählern (> 3.000 m³/h)	Neuanlagen: Verpflichtende Ausstattung mit Stromzählern (> 3.000 m³/h)	Neuanlagen: Verpflichtende systematische Inbetriebnahme (> 10.000 m³/h)	GESAMT
Gesamtkosteneinsparung	-2.446	-3.094	-4.398	-3.577	-13.515
Energiekosteneinsparungen	-2.574	-3.198	-4.702	-3.975	-14.449
Investition	128	104	304	398	934

Abbildung 32: Gesamtkostenbetrachtung bis 2050, für alle Maßnahmen inkl. Gesamtkosteneinsparungen (Einsparungen sind negativ dargestellt)

2.4.3 Fazit

2.4.3.1 Prognosegenauigkeit

Für die in BMWi [2017] bewerteten Maßnahmen „Paket Öffentlichkeitsarbeit“, „Quickchecktool“ und „Neuanlagenlabel“ und „Bestandslabel“ wurde, basierend auf der Grundlage der in Schiller et al. [2014] angegebenen Bandbreite der möglichen Einsparungen aller Anlagen (15 TWh bis 25 TWh Strom und 23,8 TWh bis 40,8 TWh), ein entsprechender Ergebnisraum vorgegeben. Weitere Unsicherheiten z. B. bzgl. der Änderungsfrequenz (als Anteil der geplanten Optimierungen pro Jahr (0,25 % gem. der 3-fachen Häufigkeit der Inanspruchnahme der Energieberatung Mittelstand)) oder der Umsetzungsquote (der gemittelte Anteil der Optimierungen, der die vollständige Einsparung erreicht) von 20 % sowie der Aufteilung des Gesamt-Pakets (in Paket Öffentlichkeitsarbeit: 9 %; Quickchecktool: 12 %; Bestandslabel 55 %, Neuanlagenlabel 25 %) wurden nicht berücksichtigt. Insbesondere unter Berücksichtigung der sehr kleinen Änderungsfrequenz ist jedoch davon auszugehen, dass die errechnete Wirkung einer noch größeren Unsicherheit als der angegebenen Bandbreite unterliegt.

Bei der Untersuchung der Maßnahmen „Zählerpflicht für Neuanlagen“, „Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen“, „Verpflichtung einer geordneten Inbetriebnahme“ und „Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion“ sind ebenfalls alle Grundlagen mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die Unsicherheit bei der Angabe des Anlagenbestandes bzw. der Anlagenabsatzzahlen (gem. Kapitel 2.1 und Kapitel 2.2) wird bis auf die Anlagen zur mit Befeuchtungsfunktion jedoch mit unter 50 % abgeschätzt. Bei den Anlagen mit Befeuchtungsfunktion wird die Unsicherheit mindestens doppelt so groß eingeschätzt. Die Unsicherheit bei der Bestimmung der Einsparpotenziale der Einzelanlagen (siehe Kapitel 2.1) wird mit ca. 50 % eingeschätzt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Bei der Einschätzung der Unsicherheit der Wirkungsquote über den Betrachtungszeitraum ergibt sich ein differenzierteres Bild. Während die Unsicherheit der Wirkungsquote für die Maßnahmen bei Neubauten sicherlich deutlich unter 50 % liegt, ist die zu erwartende Unsicherheit bei der Zähler-Nachrüstverpflichtung mindestens doppelt so hoch einzuschätzen.

Insgesamt ist demnach davon auszugehen, dass die berechneten Einsparungen für die Maßnahmen „Zählerpflicht für Neuanlagen“ und „Verpflichtung einer geordneten Inbetriebnahme“ die höchste Genauigkeit besitzen. Bei allen übrigen angegebenen Werten ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Einsparung mehr als einen Faktor 2 von den angegebenen Werten abweichen kann.

Es ist davon auszugehen, dass Überlagerungen und Wechselwirkungen durch die Einzelbetrachtung der Maßnahmen zu einer Minderung der dargestellten Potenziale führt. Insbesondere zwischen der „Verpflichtung einer geordneten Inbetriebnahme“ und der „Zählerpflicht für Neuanlagen“ sind nicht unerhebliche Wechselwirkungen zu erwarten, die einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtwirkung haben könnten. Bei diesen Maßnahmen betrifft dies ca. 50 % der Neuanlagen mit einem Volumenstrom über 10.000 m³/h. Dem hierbei zu berücksichtigenden Abminderungseffekt durch Überlagerung wirkt jedoch ein Verstärkungseffekt entgegen, da durch die Vorsehung Zählern die Wirkung der geordneten Inbetriebnahme erheblich gesteigert wird.

Vor dem Hintergrund der sonstigen Unsicherheiten werden die Effekte unberücksichtigter Überlagerungen und Wechselwirkungen der Maßnahmen als weitestgehend vernachlässigbar eingestuft.

2.4.3.2 Vergleichende Zusammenfassung aller untersuchten Maßnahmen

Zur Abschätzung der Wirkung von den sieben im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Maßnahmen wurden zwei unterschiedliche Verfahren angewandt. Aufgrund abweichender Rahmenbedingungen ist ein zusammenfassender Vergleich der Ergebnisse nur für den Parameter Endenergie und nur für das Jahr 2030 sinnvoll.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse: Erwartete Endenergieeinsparung der 7 untersuchten Maßnahmen im Jahr 2030, getrennt nach Strom und Wärme

Maßnahme	Einsparung Strom 2030 [PJ/a]	Einsparung Wärme 2030 [PJ/a]
Paket Öffentlichkeitsarbeit*	0,03	0,05
Quickchecktool*	0,04	0,07
(freiwilliges) Bestandslabel*	0,18	0,29
(freiwilliges) Neuanlagenlabel*	0,08	0,13
Zählerpflicht für Neuanlagen	1,96	0,83
Zähler Nachrüstverpflichtung	1,30	2,06
Verpflichtende Geordnete Inbetriebnahme	1,64	0,72
Verpflichtende Feuchterückgewinnung	0,93	0,82
Summe	**6,16**	**4,97**

*) Mittelwert zwischen Angaben aus Maximum und Minimum

2018 Ecofys – A Navigant Company

Erwartungsgemäß weisen die Maßnahmen, die mit einer Verpflichtung verbunden sind, eine erheblich größere Wirkung als die informativen bzw. freiwilligen Maßnahmen auf. Im Bereich Wärme erreicht das freiwillige Neuanlagenlabel jedoch ca. 50 % der Wirkung der verpflichtenden Maßnahmen, die auf den Neubau abzielen. Insgesamt könnte bei einer Umsetzung aller untersuchten Maßnahmen im Jahre 2030 eine Endenergie- und Primärenergieeinsparung[10] von ca. 11 PJ/a und eine CO_2-Reduzierung von ca. 1 $MtCO_2$ erreicht werden. Dies entspricht einer möglichen Einsparung von schätzungsweise 3-4 % des aktuellen Niveaus. Bis zum Jahr 2050 könnten die durch die Maßnahmen erzielten Einsparungen weiter auf über 7 % ansteigen. Trotz der zuvor genannten Unsicherheiten ist somit davon auszugehen, dass durch die Umsetzung der Maßnahmen ein signifikanter Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele erzielt werden kann. Vor dem Hintergrund der gleichzeitig damit verbundenen Gesamtkosteneinsparungen wird daher empfohlen den Umsetzungsprozess der Maßnahmen weiter zu verfolgen.

[10] Primärenergiefaktoren im Jahr 2030: Strom 0,9; Wärme 1,1

2018 Ecofys – A Navigant Company

3 ANREIZSYSTEM ZUR ENERGIEEFFIZIENZSTEIGERUNG BEI KLIMA- UND LÜFTUNGSANLAGEN

3.1 Status Quo[11]

Dieses Kapitel erfasst das derzeit bestehende Anreizsystem zur Energieeffizienzsteigerung bei Klima und Lüftung und untersucht dieses auf seine Wirkung. Daraus sollen einerseits Schlussfolgerungen gezogen werden, ob es Bereiche gibt, die noch nicht hinreichend adressiert sind oder nicht die erwartete Wirkung entfalten. Andererseits bietet die Darstellung eine Übersicht für potenzielle Nutzergruppen, welche Förder- und Beratungsmaßnahmen den Einbau, Austausch oder die Optimierung von Klima- und Lüftungsanlagen unterstützen, die für die Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden kann.

Das Anreizsystem wurde mit den einzelnen Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung bei Klima und Lüftung gesichtet und nach Maßnahmentypen kategorisiert. Darüber hinaus wurden Nutzergruppen identifiziert und aufgezeigt, ob es sich um Neugeräte oder Verbesserung im Bestand bzw. Betriebsoptimierung handelt.

Für die Ermittlung der faktischen Wirksamkeit wurde nur auf durchgeführte Evaluationen und Studien zurückgegriffen. Primärdatenerhebungen konnten im vorgegebenen Zeitraum nicht durchgeführt werden. Darüber hinaus wurden Mitarbeiter des BMWi, BMUB und des BAFA für aktuelle Daten kontaktiert. Im Vordergrund stehen die Kriterien Energieeffizienzsteigerung, Breitenwirkung und ökonomische Effekte. Diesen wurden folgende Indikatoren zugeordnet: absolute und relative Energieeinsparung, Erreichung der Zielgruppe und Bekanntheitsgrad u. a. durch Anzahl der Förderfälle sowie induzierte Investitionen und eingesparte Energiekosten.

Letztlich können nur begrenzt Aussagen zur Wirksamkeit getroffen werden. Die meisten Evaluationen der betrachteten Förderprogramme befanden sich zum Zeitpunkt der Untersuchung noch in der Erarbeitung. Darüber hinaus werden bei den Evaluationen Klima- und Lüftungsanlagen häufig nicht gesondert ausgewertet. Somit wird bei der Bewertung überwiegend auf qualitative Aussagen und Experteneinschätzungen zurückgegriffen. Im Zuge der Weiterentwicklung des Anreizsystems ist es aber von Bedeutung, technologiespezifische Aussagen zu erhalten, da in vielen Evaluationen Lüftungs- und Klimaanlagen nicht spezifiziert oder allgemein unter Anlagentechnik gefasst werden.

[11] Stand November 2016

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.1.1 Übersicht der Instrumente

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Instrumente und die Nutzer-/Akteursgruppen.

Tabelle 8: Übersicht der Instrumente im Bereich Klima- und Lüftungsanlagen

Instrument	Nutzer-/Akteurgruppe	Gegenstand
Regulatorische Instrumente		
Ökodesign Richtlinie (2009/125/EG)	Hersteller	RLT- sowie Klimatechnische-Neuanlagen: • Ventilatoren mit 125 W – 500 kW (Stufe 1: 01.01.2013; Stufe 2: 01.01.2014) => Label: 1254/2014 (EU) 206 2012 • Air-to-Air-netzbetriebene Raumklimageräte mit einer Nennleistung von ≤ 12 kW zur Kühlung oder Heizung, Komfortventilatoren mit einer elektrischen Ventilatorleistungsaufnahme ≤ 125 W (Stufe 1: 01.01.2013; Stufe 2: 01.01.2014) => Label: 626/2011 (EG) 641/2009/(EU) 622/2012 • externe und integrierte Nassläufer-Umwälzpumpen (Stufe 1: 01.01.2013; Stufe 2: 01.08.2015) (EU) 1253/2014 • Wohn- und Nichtwohnlüftungsgeräte (Stufe 1: 01.01.2016; Stufe 2: 01.01.2018) => Label: 1254/2014(Wohnraumlüftungsgeräte)
Energieeinsparverordnung EnEV Anforderungen an Neubauten EnEV-Anforderungen für Anlagenerneuerung (§ 15) EnEV § 12 Inspektion von Klimaanlagen	Bauherren, Architekten, EnEV-Ausweis-Ausstellungsberechtigte Installateure, Eigentümer, Planer Anlagenbetreiber, Inspektoren	• Anforderung an den maximalen Primärenergiebedarf von Neubauten • Anforderungen an die Minimaleffizienz bei Anlagenerneuerungen • Klimaanlagen mit Kälteleistung über 12 kW
EEWärmeG: Kälte aus EE	Eigentümer von Wohn- und Nichtwohngebäuden	• Kälteerzeugung aus erneuerbaren Energien • Raumlufttechnische Anlagen (RLT) mit Wärmerückgewinnung (WRG)
Finanzielle Instrumente		
Unternehmen		
Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien	KMU, große Unternehmen ab 500 Beschäftigte	• Ventilatoren in lufttechnischen Anlagen sowie Anlagen zur Wärmerückgewinnung in raumlufttechnischen Anlagen • Seit Novellierung sind auch Neuanschaffungen eingeschlossen ✓ Einzelmaßnahmen ✓ Optimierung technischer Systeme auf der Grundlage eines unternehmensindividuellen Energieeinsparkonzeptes gefördert.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Nutzer-/Akteurgruppe	Gegenstand
KfW Energieeffizienzprogramm Energieeffizient Bauen und Sanieren (Nichtwohngebäude) (Programm 276, 277, 278)	In- und ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, die sich mehrheitlich in Privatbesitz befinden Contracting-Geber, die Energie-Dienstleistungen an gewerblichen Nichtwohngebäuden erbringen	• Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes • Einbau, Austausch oder Optimierung raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung • Erneuerung und/oder Optimierung der Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen
Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlagen im Rahmen der NKI	Unternehmen, gemeinnützige Organisationen, Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften, Zweckverbände und Eigenbetriebe, Schulen, Krankenhäuser sowie kirchliche Einrichtungen, unabhängig von der Gewinnerzielungsabsicht	Die Initiative fördert die Modernisierung und Neuerrichtung von Klima- und Kälteanlagen in Form von Zuschüssen bis max. 100.000 € pro Maßnahme. • Kompressions-Kälteanlagen (verschiedene Leistung), Sorptionskälte- und Klimaanlagen, Kühlung und Heizungsanlagen ✓ Beratungsleistungen (IST- & PLAN-Gutachten zur Energieeffizienz der bestehenden/zu errichtenden Anlage) ✓ Investitionsmaßnahmen
Kommunen und soziale Organisationen		
IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren (Programm 218)	Kommunale Gebietskörperschaften, sowie rechtlich unselbstständige Eigenbetriebe von kommunalen Gebietskörperschaften und Gemeindeverbände	Als Einzelmaßnahme • Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes • Einbau, Austausch oder Optimierung raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung • Erneuerung und/oder Optimierung der Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme-bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen
IKU – Bauen und Sanieren (Programm 220)	Unternehmen mit mehrheitlich kommunalen Gesellschaftshintergrund Gemeinnützige Organisationen einschließlich Kirchen, die Träger der zu sanierenden Gebäude sind. Unternehmen sowie natürliche Personen im Rahmen von Öffentlich-Privaten Partnerschaften	Als Einzelmaßnahme • Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes • Einbau, Austausch oder Optimierung raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung • Erneuerung und/oder Optimierung der Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme-bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen
NKI-Kommunalrichtlinie Investive Klimaschutzmaßnahmen	Kommunen und kommunale Unternehmen, Betreiber von Rechenzentren	Investive Klimaschutzmaßnahmen in Form von Zuschüssen • Sanierung sowie der Austausch raumlufttechnischer Geräte • Maßnahmen zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz von Rechenzentren

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Nutzer-/Akteurgruppe	Gegenstand
Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlagen im Rahmen der NKI	Unternehmen, gemeinnützige Organisationen, Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften, Zweckverbände und Eigenbetriebe, Schulen, Krankenhäuser sowie kirchliche Einrichtungen, unabhängig von der Gewinnerzielungsabsicht	Die Initiative fördert die Modernisierung und Neuerrichtung von Klima- und Kälteanlagen in Form von Zuschüssen bis max. 100.000 € pro Maßnahme. • Kompressions-Kälteanlagen (verschiedene Leistung), Sorptionskälte- und Klimaanlagen, Kühlung und Heizungsanlagen ✓ Beratungsleistungen (IST- & PLAN-Gutachten zur Energieeffizienz der bestehenden/zu errichtenden Anlage) ✓ Investitionsmaßnahmen
Private Eigentümer von Wohngebäuden und Immobilienwirtschaft		
KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren (Programm 151, 153, 430) Beinhaltet: Anreizprogramm Energieeffizienz Lüftungspaket: Vermeidung von Bauschäden	Alle Träger von Investitionsmaßnahmen an selbst genutzten bzw. neu errichteten oder vermieteten Wohngebäuden sowie Eigentumswohnungen. Auch Ersterwerber von neu sanierten bzw. neu errichteten Wohngebäuden oder Eigentumswohnungen.	Kredite oder Zuschüsse für • Erneuerung oder Einbau einer Lüftungsanlage • Lüftungspaket: Kombination des Einbaus von Lüftungsanlagen mit mindestens einer weiteren förderfähigen Maßnahme an der Gebäudehülle. Das Lüftungspaket wird in die KfW-Förderprogramme des CO_2-Gebäudesanierungsprogramms integriert.
Sonstige		
BAFA Förderung (MAP) - Solarkollektoranlagen zur kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung, solare Kälteerzeugung oder Wärmenetzzuführung	Unternehmen, Privatpersonen und Freiberufler, Landwirte, Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften, gemeinnützige Antragsteller und Genossenschaften	Solarkollektoranlagen (mind. 20m² - max. 100m² Bruttokollektorfläche) zur solaren Kälteerzeugung im Neubau und im Bestand. Solare Kälteerzeugung wurde allerdings erst mit der Änderung der Richtlinie ab 2015 gefördert.
KfW Erneuerbare Energien - Premium	bei Wohngebäuden mit mindestens drei Wohneinheiten oder bei Nichtwohngebäuden mit mindestens 500 Quadratmeter Nutzfläche	

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Nutzer-/Akteurgruppe	Gegenstand
Förderung STEP:up! "STromEffizienzPotentiale nutzen" Pilotprogramm zu Energieeffizienz über wettbewerbliche Ausschreibungen	Unternehmen (entweder betriebsinterne Projekte oder Projekte, die bei Kunden umgesetzt werden)	Offene Ausschreibungen: sektor- und technologieübergreifend, Ergänzend geschlossene Ausschreibungen: 1. Aufruf: Energetische Sanierung von Aufzugsanlagen, 2. Aufruf: Contracting ✓ Einzelprojekte (betriebsinterne Projekte) und Sammelprojekte (Projekte, die bei Kunden umgesetzt werden)
Beratung und Information		
Förderung von Energieberatung im Mittelstand	Unternehmen mit Mindestenergiekosten in Höhe von jährlich 10.000 €	RLT-Bestands- und Neuanlagen Klimatechnische Bestands- und Neuanlagen
BAFA – Vor-Ort-Beratung	Eigentümer von Wohnhäusern und Wohnungen	RLT-Bestands- und Neuanlagen Klimatechnische Bestands- und Neuanlagen

Flankierende Instrumente

Als flankierende Instrumente zu den oben dargestellten Maßnahmen sind die Energieaudits nach dem Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G) und die Förderung von Energiemanagementsystemen anzusehen.

Das EDL-G setzt Art. 8 der EED um und verpflichtet alle Unternehmen in Deutschland, die keine KMU sind, ein Energieaudit nach EN 16247-1 oder ein Energiemanagement nach ISO 50001 oder ein Umweltmanagement nach EMAS einzuführen [Deutscher Bundestag 10.12.2015]. Besonders bei nicht-KMU macht der Gebäudeanteil jedoch nur einen geringen Anteil am Gesamtenergieverbrauch aus, der daher beim Audit eher nachrangig betrachtet wird. Die Wirksamkeit von Energieaudits wird nicht systematisch erfasst. Das BAFA führt eine doppelte Stichprobenkontrolle durch. In der 1. Stichprobe wird überprüft, ob das Energieaudit entsprechend den Anforderungen durchgeführt wurde. Aus dieser Gruppe wird eine 2. Stichprobenkontrolle unter Vorlage des Berichts durchgeführt. Somit gibt es keine aussagekräftigen Daten, die speziell klima- und lüftungstechnische Anlagen betreffen, die skalierbar wären.

Die BAFA-Richtlinie fördert Beratungs-, Investitions- und Schulungsmaßnahmen bei der Einrichtung oder Aufrechterhaltung eines Energiemanagementsystems von Unternehmen. Eine Evaluierung hierzu liegt noch nicht vor.

Darüber hinaus ist das im Mai 2016 angelaufene Förderprogramm Einsparzähler zu erwähnen, das innovative Pilotprojekte von Unternehmen und Unternehmenskonsortien zur Einsparung von leitungsgebundenen Energien bei einem oder mehreren privaten, öffentlichen oder gewerblichen Kunden unterstützt. Hier könnten auch Maßnahmen zur Erschließung der Potentiale im Bereich Klima- und Lüftungstechnik eingereicht werden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.1.2 Regulatorische Instrumente

3.1.2.1 Ökodesign-Richtlinie

Die Ökodesign-Richtlinie macht Vorgaben für die Mindesteffizienz von Neugeräten. Außerdem werden für einzelne Gerätetypen Vorgaben zur Verbrauchskennzeichnung (Label) gegeben.

Tabelle 9: Übersicht 3.1.2.1 Ökodesign-Richtlinie

Gegenstand	Adressat
• Ventilatoren mit 125 W – 500 kW (Stufe 1: 01.01.2013; Stufe 2: 01.01.2014) • Air-to-Air-netzbetriebene Raumklimageräte mit einer Nennleistung von ≤ 12 kW zur Kühlung oder Heizung, Komfortventilatoren mit einer elektrischen Ventilatorleistungsaufnahme ≤ 125 W (Stufe 1: 01.01.2013; Stufe 2: 01.01.2014) => Label: 626/2011 (EU), 206/2012 (EU) • externe und integrierte Nassläufer-Umwälzpumpen (Stufe 1: 01.01.2013; Stufe 2: 01.08.2015) (EG) 641/2009 und 622/2012 (EU) • Wohn- und Nichtwohnlüftungsgeräte (Stufe 1: 01.01.2016; Stufe 2: 01.01.2018) => Label: 1253/2014 (Wohnraumlüftungsgeräte) • Luftheizungs- und Kühlungsprodukte (D042440/02, noch in Kraft getreten)	Hersteller

Zur Wirkung der Ökodesign-Richtlinie in Deutschland liegen keine ex-post Auswertungen vor. In ECOFYS et al. [2014] wurde jedoch eine übergreifende ex-ante Wirkungseinschätzung vorgenommen, allerdings übergeordnet auf EU-Ebene. Die erwarteten Einsparungen, die durch die bis April 2014 umgesetzten Regularien bis 2020 erzielt werden sollen, liegen im Bereich Raumkühlung bei 8 % und im Bereich Lüftung bei 11 % gegenüber einem entsprechenden BAU-Szenario. Für Deutschland werden die Primärenergieeinsparungen für Lüftungsanlagen durch die Einführung der Ökodesign-Richtlinie im Jahre 2030 gegenüber dem BAU-Szenario auf 19 % für Strom und 16 % für Wärme beziffert [Ökoinstitut, 2016]. Dies wäre eine beachtliche Wirkung, die durch künftig zu erwartende Verbesserungen und Verschärfungen noch verstärkt werden könnte.

Wie groß die Effekte für Klimaanlagen in Deutschland sind, welche Überschneidungen der Effekte sich mit der EnEV ergeben und wie groß die weiteren Verbesserungspotenziale sind, ist unklar. Im Rahmen der Hemmnisanalyse wird jedoch versucht werden, durch stichprobenartige Befragungen von Herstellern weitere Hintergründe zur Wirkung und Hemmnissen beim Vollzug der Ökodesign-Richtlinie aufzudecken.

3.1.2.2 Energieeinsparverordnung (EnEV) - Anforderungen für Neubauten und § 12 Inspektion von Klimaanlagen

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) regelt die energetischen Mindestanforderungen an Neubauten und Sanierungen bestehender Gebäude in Deutschland. § 12 der EnEV regelt für Klimaanlagen mit einer Kälteleistung über 12 kW eine Pflicht zur energetischen Inspektion.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 10: Übersicht Energieeinsparverordnung (EnEV)

Gegenstand	Nutzer-/Akteursgruppe
EnEV-Anforderungen für Neubauten (25 %-ige Verschärfung der Anforderungen an den Primärenergiebedarf seit 1.1.2016)	Bauherren, EnEV-Ausweis-Ersteller (TGA Planer, Statiker, Architekten, etc.)
EnEV-Anforderungen für Anlagenerneuerung (§ 15)	Anlagenbetreiber, Inspektoren
Inspektion von bestehenden Klimaanlagen mit Kälteleistung über 12 kW	

Wirksamkeit

EnEV-Anforderungen für Neubauten

Die 25 %-ige Verschärfung der EnEV zum 1.1.2016 stellt, insbesondere für Nichtwohngebäude, die derzeit das Haupthandlungsfeld hinsichtlich der möglichen Potenziale von Klima- und Lüftungsanlagen darstellen, eine große Herausforderung dar.

Die Referenzgebäude-Anforderungen sind in vielen relevanten Bereichen bereits so hoch (z. B. beim Beleuchtungsenergiebedarf oder der spezifischen Leistungsaufnahme der Ventilatoren (insbesondere bei großen Anlagen)), dass eine rechnerische Einsparung von 25 %, wenn überhaupt, bei komplexen Anlagen nur noch sehr schwierig zu erreichen ist. Um die Anforderungen zu erfüllen, ist ein überproportionaler Ausgleich in anderen Bereichen (u. a. bei der Klimatisierung) notwendig.

Bei Zonen in Nichtwohngebäuden, die in der Regel nicht zwingend einer Klimatisierung bedürfen (z. B. Bürobereiche), darf der Primärenergiebedarf der Kühlfunktion der raumlufttechnischen Anlagen im Referenzgebäude darüber hinaus nur zu 50 % angesetzt werden. Die übrige Hälfte muss zum einen durch besonders effiziente Anlagen und/oder durch weitere Maßnahmen in anderen Bereichen kompensiert werden. In Wohngebäuden muss der Kühlenergiebedarf vollständig durch andere Maßnahmen zur Reduktion des Primärenergiebedarfs ausgeglichen werden.

Die Wirksamkeit der EnEV-Anforderungen an Anlagenspezifikationen für Neubauten ist somit als hoch einzustufen, zumal auch durch die Bindung an die Erteilung der Baugenehmigung eine hohe Umsetzungsrate zu erwarten ist, auch wenn von Baubehörden in der Regel nur Papierprüfungen vorgenommen werden.

Nicht durch EnEV-Anforderungen erfasst wird jedoch der effektive Betrieb der Anlagen in Neubauten. Es ist zu vermuten, dass es hier noch große Optimierungspotentiale gibt.

EnEV-Anforderungen für Anlagenerneuerung

Anforderungen an die Erneuerung von Zentralgeräten mit Nennleistungen für den Kältebedarf von über 12 kW bzw. RLT-Anlagen von mind. 4.000 m³/h und deren Luftkanalsystemen werden in § 15 beschrieben. Die einzuhaltenden Werte für die spezifische Ventilatoreffizienz sind dabei 60 % schlechter als bei Neubauten. Hierbei soll offensichtlich auf die ggf. vorhandenen Restriktionen bzgl. der vorhandenen Luftkanalsysteme eingegangen werden. Die Anforderung ist somit, abhängig von den individuellen Gegebenheiten, unterschiedlich ambitioniert. Darüber hinaus werden in § 15 bei der Erneuerung von Zentralgeräten Anforderungen an die Regelbarkeit von Be- und Entfeuchtungsanlagen und die Regelbarkeit der Volumenströme bei Lüftungsanlagen in Zonen mit großen spezifischen Luftvolumenströmen (mit > 9 m³/(hm²) – z. B. Besprechungsräume – gestellt. Beide Anforderungen sind angemessen und maßvoll. Da im Gegensatz zu Neubauten jedoch in der Regel keine Bindung an eine erforderliche Genehmigung vorhanden ist, ist – ohne, dass diesbezügliche Daten vorliegen – davon auszugehen, dass die Wirkung von § 15 wahrscheinlich eher beschränkt ist.

2018 Ecofys – A Navigant Company

§ 12 Inspektion von Klimaanlagen

Der § 12 der EnEV beschreibt seit 2007 die Verpflichtung zur Inspektion von Klimaanlagen ab einer Kälteleistung von 12 kW. Obwohl durch eine Klimaanlageninspektion keine direkten Einsparwirkungen erreicht werden, ist davon auszugehen, dass diese häufig den Auslöser für eine (vorgezogene) energetische, i. d. R. wirtschaftliche Sanierung darstellt. Die Einsparpotenziale hierbei betragen bis zu 50 % des Endenergieverbrauchs für die Klimatisierung (Schiller 2014).

Trotz der Verpflichtung ist, vermutlich aufgrund fehlender Auslösetatbestände sowie mangelnder Kenntnis, aber auch fehlender Bewehrung, die Durchführungsquote der Klimaanlageninspektionen gering. Seit Mai 2014 müssen die Inspektionen Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) registriert werden. Bis August 2016 wurden beim DIBt ca. 6000 Inspektionen registriert (d. h. jährl. ca. 2600), dies entspricht ca. 1,2 bis 2 % des Anlagenbestandes [CCI Zeitung, 2017]. Aufgrund des vorgeschriebenen 10-jährigen Inspektionstonus müssten somit - ohne Berücksichtigung der erheblichen Nachholeffekte - theoretisch jährlich 10 % der Anlagen inspiziert werden. D. h. inzwischen müssten alle Anlagen mind. einmal inspiziert sein. Die durchschnittliche Durchführungsquote lag demzufolge zwischen Mai 2014 und August 2016 zwischen 5 % und 9 %. Laut Schiller et al. [2014] wurde bis Herbst 2013 die Pflicht nur für maximal 3 % der betroffenen Klimaanlagen erfüllt. Seit Ende 2015 hat sich die Durchführungsquote Schätzungen zufolge weiter auf etwa 10 % erhöht (Mai 2016). Trotz des offensichtlichen Trends zur Verbesserung der Durchführungsquote besteht aber nach wie vor ein massives Vollzugsdefizit.

3.1.2.3 EEWärmeG: Kälte aus erneuerbaren Energien

Mit dem EEWärmeG wurde eine gesetzliche Nutzungspflicht für den Einsatz eines Mindestanteils an erneuerbarer Wärme/Kälte in Neubauten eingeführt.

Tabelle 11: Übersicht EEWärmeG

Gegenstand	Nutzer-/Akteursgruppe
Kälteerzeugung aus erneuerbaren Energien Raumlufttechnische Anlagen (RLT) mit Wärmerückgewinnung (WRG)	Eigentümer von Wohn- und Nichtwohngebäuden

Wirksamkeit

Kälteerzeugung aus erneuerbaren Energien

Eine Erfüllung des EEWärmeG ist durch eine Entnahme der Kälte aus dem Boden, aus dem Grundwasser oder Nutzung erneuerbarer Wärme in Sorptionskältemaschinen möglich. Die Erzeugung von Klima- und Prozesskälte wird jedoch derzeit maßgeblich von stromnutzenden Anwendungen dominiert, insbesondere von Kompressionskälteanlagen. Erneuerbare Energien werden somit zur Stromerzeugung bereitgestellt und der erzeugte Strom dient zur Kältebereitstellung. Allerdings wird dadurch nicht die Pflicht des EEWärmeG erfüllt [BMWi, 2015b]. Daher wird, soweit dies möglich ist, der Anteil erneuerbarer Energien in der Praxis häufig durch andere Maßnahmen, wie z. B. einen überproportionalen Anteil erneuerbarer Energien bei der Wärmeversorgung, gedeckt. Alternativ wurde jedoch in 2014 in 2000 Fällen (ca. 12 % der Nichtwohngebäude, die nicht unter die Ausnahmeregelung fallen) von der Ausnahme oder Befreiungsregelung nach § 9 Gebrauch gemacht.

Im Jahre 2014 wurden bei Nichtwohngebäuden lediglich 120 Erfüllungsoptionen nach § 5 EE-Kälte dokumentiert. Im Rahmen des MAP wurden in den Jahren 2008 und 2009 insgesamt nur 7 Solaranlagen zur Kälteerzeugung mit einer Kollektorfläche von 62 m^2 gefördert.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Insgesamt ist die Wirkung des EEWärmeG in Bezug auf die Einführung erneuerbarer Kälte-Lösungen als gering einzustufen. Unter Berücksichtigung der indirekten diesbezüglichen Ausgleichsmaßnahmen ist die Gesamtwirkung für Neubauten insgesamt jedoch als erheblich einzustufen, da grundsätzlich zunächst jeder Neubau mit betroffen ist und durch die Bindung an die Erteilung der Baugenehmigung eine hohe Umsetzungsrate zu erwarten ist.

Raumlufttechnische Anlagen (RLT) mit Wärmerückgewinnung (WRG)

Der Anteil der Neubauten, die mit raumlufttechnischen Anlagen inklusive Wärmerückgewinnung ausgestattet sind, hat sich seit 2005 bis Ende 2011 von etwa 5 % auf fast 40 % verachtfacht. Im Jahr 2009 lag der Anteil dabei noch bei etwa 25 % und hat sich alleine im Jahr 2010 um etwa 15 % erhöht, bevor er im Jahr 2011 wieder leicht um 1 % zurückgegangen ist. Durch die energetischen Anforderungen der EnEV und der Förderprogramme der KfW-Bankengruppe (KfW) kann auch in Zukunft von einem großen bzw. wachsenden Anteil dieser Systeme in neuen Gebäuden ausgegangen werden. (Ecofys et al. 2013). Im Jahr 2014 wurden in 93.564 Neubauten, und somit 68 % der genehmigten Neubauten, erneuerbare Energien zur Erfüllung des EEWärmeG eingesetzt. Wärmerückgewinnungsanalgen machen davon 18 % aus [BMWi, 2015b].

Im Nichtwohngebäudesektor standen Wärmerückgewinnungsanlagen in 2014 an zweiter Stelle der Ersatzmaßnahmen [BMWi, 2015b].

Da jedoch zum einen die Einspareffekte von mechanischen Lüftungsanlagen ohnehin umstritten sind[12] und die Vorsehung einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung im Rahmen des EEWärmeG nur als Ersatzmaßnahme vorgesehen ist – anstelle eines erhöhten Anteils erneuerbarer Energien –, ist die diesbezügliche Wirkung hinsichtlich der Primärenergieeinsparung sicherlich sehr gering oder sogar negativ.

[12] Im Gegensatz zu kontrolliert mechanisch belüfteten Gebäuden ist die Frischluftrate und die damit verbundene Luftqualität bei luftdichten natürlich belüfteten Gebäuden in der Regel geringer. Diese erhöhte Luftqualität bedingt jedoch bei mechanisch belüfteten Gebäuden einen Mehrverbrauch (Antriebsenergie Strom und Lüftungswärmebedarf). Der erhöhte Lüftungswärmebedarf kann je nach Anlagenqualität teilweise durch Wärmerückgewinnungssysteme kompensiert bzw. sogar überkompensiert werden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.1.3 Finanzielle Instrumente

Unternehmen

3.1.3.1 Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien

Das Förderprogramm von 2012 endete am 21.12.2015 und wird in veränderter Form seit Mai 2016 fortgeführt. Mit der Novellierung wurden Neuanschaffungen eingeschlossen. Zudem sind nun auch große Unternehmen ab 500 Beschäftige zugelassen.

Tabelle 12: Übersicht Förderprogramm zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien

Fördergegenstand	Adressat
• Ventilatoren in lufttechnischen Anlagen sowie Anlagen zur Wärmerückgewinnung in raumlufttechnischen Anlagen ✓ Einzelmaßnahmen ✓ Optimierung technischer Systeme auf der Grundlage eines unternehmensindividuellen Energieeinsparkonzeptes	KMU, sonstige Unternehmen bis 500 Beschäftigte

Wirksamkeit

Die Anzahl der bewilligten Förderfälle von Oktober 2012 bis Dezember 2015 unter der alten Richtlinie beläuft sich auf insgesamt 25.734, wobei es sich bei 24.059 um Einzelmaßnahmen und bei 1.675 um die Optimierung technischer Systeme handelt. Bei Aufschlüsselung nach Wirtschaftszweigen zeigt sich, dass der größte Anteil der geförderten Einzelmaßnahmen im Handelsbereich (45 %) und im verarbeitenden Gewerbe (35 %) durchgeführt wird. Sehr ähnlich verhält es sich bei der geförderten Optimierung technischer Systeme: 46 % der Maßnahmen hierzu werden im Handelsbereich durchgeführt, 41 % im verarbeitenden Gewerbe.

Die Verteilung kann zudem aufgeschlüsselt nach förderfähigen Maßnahmentypen (z. B. hocheffiziente Ventilatoren, Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen, Steuerungs- und Regelungstechnik, Optimierung Anlagenperipherie etc.) betrachtet werden. Während der Großteil der Einzelmaßnahmen (87,2 %) im Bereich der Beleuchtung durchgeführt wird, machen Wärmerückgewinnung der Raumluft nur 0,22 % aus.

Für die durchschnittliche Endenergieeinsparung und die Investitionskosten pro gefördertem Maßnahmentyp gibt es keine Angaben. Die absolute Gesamtendenergieeinsparung aller systemischen Maßnahmen liegt im Förderzeitraum bei 42 GWh. Die gesamten Investitionskosten und die gesamten Planungs- und Installationskosten belaufen sich auf 633 Millionen €, wobei Planungs- und Installationskosten in der Auswertung nicht gesondert ausgewiesen wurden. Von den Unternehmen, die sich um Fördermittel zur Optimierung technischer Systeme bewarben, verfügten nur rund 20 % über ein Energie Management System (EMS). (Quelle: Daten von BAFA, erhalten am 27.07.2016)

Trotz der hohen Breitenwirkung des Förderprogramms zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien hat es im Hinblick auf die damit gehobenen Einsparpotenziale bei RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung mit rund 53 bewilligten Einzelmaßnahmen nur eine sehr begrenzte Wirkung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.1.3.2 KfW Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren (Nichtwohngebäude) (Programm 276, 277, 278)

Das KfW Energieeffizienzprogramm 278 fördert seit dem 01.07.2015 Neubau, Sanierung und Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der energetischen Qualität eines Bestandsgebäudes in Form von zinsgünstigen Kreditprogrammen (inkl. Tilgungszuschuss).

Es ist aus dem KfW- Energieeffizienzprogramm (242, 243, 244) entstanden. Dabei wurden sowohl der Neubau als auch die Sanierung von Nichtwohngebäuden sowie Maßnahmen am Maschinenpark und zur effizienten Energiebereitstellung gefördert. Das KfW-Energieeffizienzprogramm endete am 30.06.2015 und wird seit 01.07.2015 durch das KfW-Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren (276, 277, 278)“ sowie durch das Programm „Produktionsanlagen/-prozesse (292, 293)“ ersetzt. Die Angaben zur Wirksamkeit stützen sich auf die Evaluation dieses Vorläufer-Programms im Förderjahr 2012.

Tabelle 13: Übersicht 3.1.3.2 KfW Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren (Nichtwohngebäude) (Programm 276, 277, 278)

Fördergegenstand	Adressat
Seit 01.07.2015: • Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes • Einbau, Austausch oder Optimierung raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung • Erneuerung und/oder Optimierung der Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme-bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen Vorläuferprogramm: • Anlagentechnik (inkl. Heizung, Warmwasser, Lüftung, Klimaanlage und Beleuchtung)	In- und ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, die sich mehrheitlich in Privatbesitz befinden Contracting-Geber, die Energie-Dienstleistungen an gewerblichen Nichtwohngebäuden erbringen

Wirksamkeit

Im Jahr 2012 wurden mit dem KfW-Energieeffizienzprogramm rund 2.117 Vorhaben in gewerblichen Unternehmen mit einem Darlehensvolumen von 3,2 Mrd. € gefördert. Insgesamt konnte damit eine Endenergieeinsparung von rund 900 GW/a – verglichen mit dem Energieverbrauch im Zustand vor einer Ersatzinvestition bzw. im Durchschnittsverbrauch der Branche – bei einer Neuinvestition erreicht werden. Rund 60 % der geförderten Investitionen entfielen auf den Verwendungszweck „Gebäudeneubauten mit geringem Energiebedarf“.

Die Evaluierung des Kreditprogramms weist Maßnahmen im Bereich raumlufttechnischer bzw. klimatechnischer Anlagen nicht gesondert, sondern nur innerhalb der Kategorie Anlagentechnik aus. Welchen Anteil RLT- bzw. Klimaanlagen an den Maßnahmen innerhalb dieser Kategorie einnehmen, bleibt unklar. Für das Förderjahr 2012 gilt, dass in der Kategorie Anlagentechnik 263 Vorhaben mit einem Investitionsvolumen von 144 Mio. € und einer Endenergieeinsparung von 122,4 GWh/a durchgeführt wurden [Thamling et al., 2014].

2018 Ecofys – A Navigant Company

Insgesamt ist die Wirksamkeit im Hinblick auf Gesamtpotenziale bei Lüftungs- und Klimaanlagen mit deutlich unter 263 geförderten Anlagen als vergleichsweise gering einzustufen.

3.1.3.3 Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlagen im Rahmen der NKI

Die Initiative fördert die Modernisierung und Neuerrichtung von Klima- und Kälteanlagen in Form von Zuschüssen bis max. 100.000 € pro Maßnahme.

Tabelle 14: Übersicht der Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlagen im Rahmen der NKI

Fördergegenstand	Adressat
Seit 2015: • Kompressions-Kälteanlagen (verschiedene Leistung), Sorptionskälte- und Klimaanlagen, Kühlung- und Heizungsanlagen ✓ Beratungsleistungen (IST- & PLAN-Gutachten zur Energieeffizienz der bestehenden/zu errichtenden Anlage) ✓ Investitionsmaßnahmen Vorläufer Programm: Adressat nur Unternehmen	Unternehmen, gemeinnützige Organisationen, Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften, Zweckverbände und Eigenbetriebe, Schulen, Krankenhäuser sowie kirchliche Einrichtungen, unabhängig von der Gewinnerzielungsabsicht

Wirksamkeit

In 2013 und 2014 wurden insgesamt 638 Kälte- und Klimaanlagen mit förderfähigen Kosten in Höhe von 320 Mio. EUR gefördert. Dabei entfiel fast die Hälfte auf Supermarktanlagen, gefolgt von Industriekälteanlagen und Kaltwassersatz mit je 15 %. (Quelle: Daten von BAFA, erhalten am 15.09.2016). Insgesamt ist die Wirkung auf die Gesamtheit der Klimaanlagen als gering einzustufen, zumal ein nicht kleiner Teil der 638 Anlagen sich auf Kälteanlagen bezieht, die nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind.

Kommunen und soziale Organisationen

3.1.3.4 IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren (218)

Das Programm „IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren“ ist seit Oktober 2015 aktiv und fördert im Gegensatz zu seinem Vorgänger („IKK - Energetische Stadtsanierung – Energieeffizient Sanieren“ (Jan 2013 – Sep 2015)) auch den Neubau und nicht nur Sanierungs- und Einzelmaßnahmen.

Das Programm „IKK – Energetische Stadtsanierung – Energieeffizient Sanieren“ lief zunächst unter dem Titel „Energieeffizient Sanieren – Kommunen“ (Jan 2009 – Dez 2012). Die Wirksamkeitsanalyse stützt sich auf die Daten dieser beiden Programme. Ziel war die Verbesserung der energetischen Qualität von Nichtwohngebäuden durch zinsgünstige Kredite für Sanierungs- und Einzelmaßnahmen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 15: Übersicht des Förderprogramms IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren (218)

Fördergegenstand	Adressat
Seit Oktober 2015: Als Einzelmaßnahme • Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes • Einbau, Austausch oder Optimierung raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung • Erneuerung und/oder Optimierung der Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme-bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen Vorläufer Programme: Nur Sanierungs- und Einzelmaßnahmen, kein Neubau	Kommunale Gebietskörperschaften, sowie rechtlich unselbstständige Eigenbetriebe von kommunalen Gebietskörperschaften und Gemeindeverbände

Wirksamkeit

In der Periode von 2011–2014 wurden insgesamt 111 Einzelmaßnahmen gefördert, bei denen eine RLT-Anlage eingebaut, erneuert oder optimiert wurde (ca. 8 % aller geförderten Einzelmaßnahmen). Dafür wurden Fördermittel in Höhe von 14,8 Mio. € (ca. 11 % des Investitionsvolumens für Einzelmaßnahmen) bewilligt [Clausnitzer et al., 2015]. Im Vergleich zur vorangegangenen Förderperiode (2009–2010), bei der 43 RLT-Anlagen (ca. 5 % der geförderten Einzelmaßnahmen) mit 3,1 Mio. € (ca. 5 % des Investitionsvolumens für Einzelmaßnahmen) subventioniert wurden, ist ein leichter Anstieg vor allem bei der Optimierung der energetischen Qualität durch RLT-Anlagen zu erkennen [Clausnitzer et al., 2011].

Durch das KfW-Programm konnten in den Jahren 2011 bis 2014 insgesamt 355.000 MWh Endenergie und 113.500 tCO_{2eq} vermieden werden; im Vergleich zu 173.000 MWh und 63.000 tCO_{2eq} für die Periode von 2009–2010 bleibt das Niveau der Energieeinsparung und Emissionsvermeidung des Programms in etwa konstant. Zu beachten ist, dass die evaluierten Energie- und CO_2-Einsparungen sich jeweils auf alle durch das Programm geförderten Maßnahmen (Sanierung und Einzelmaßnahmen) beziehen. Wie groß der Anteil der Endenergieeinsparung durch verbesserte RLT-Anlagen ist, wird nicht ausgewiesen [Clausnitzer et al., 2015].

Insgesamt ist die Wirkung, in Bezug auf den Gesamtverbrauch und die Potenziale im Bereich der Lüftungs- und Klimaanlagen, vernachlässigbar gering.

3.1.3.5 IKU – Energieeffizient Bauen und Sanieren (220)

Das Programm „IKU – Energieeffizient Bauen und Sanieren“ ist seit Oktober 2015 aktiv und fördert im Gegensatz zu seinem Vorgänger („IKU - Energetische Stadtsanierung – Energieeffizient Sanieren“ (Jan 2013 – Sep 2015)) auch den Neubau und nicht nur Sanierungs- und Einzelmaßnahmen.

Zunächst lief das Förderprogramm „IKU – Energetische Stadtsanierung – Energieeffizient Sanieren“ unter dem Titel „Energieeffizient Sanieren – Kommunale Unternehmen“ (Jan 2009 – Dez 2012). Zu Beginn des Jahres 2013 wurde das Programm 157 „Energieeffizient Sanieren – Soziale Organisationen” in dieses Programm integriert. Die Wirksamkeitsanalyse basiert wiederum auf den Daten dieser

2018 Ecofys – A Navigant Company

Vorläufer-Programme. Ziel war die Verbesserung der energetischen Qualität von Nichtwohngebäuden durch zinsgünstige Kredite für Sanierungs- und Einzelmaßnahmen.

Tabelle 16: Übersicht des Förderprogramms IKU – Energieeffizient Bauen und Sanieren (220)

Fördergegenstand	Adressat
Seit Oktober 2015: Als Einzelmaßnahme • Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes • Einbau, Austausch oder Optimierung raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung • Erneuerung und/oder Optimierung der Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen Vorläufer-Programme: • Nur Sanierung- und Einzelmaßnahmen, kein Neubau	Unternehmen mit mehrheitlich kommunalen Gesellschaftshintergrund Gemeinnützige Organisationen einschließlich Kirchen, die Träger der zu sanierenden Gebäude sind. Unternehmen sowie natürliche Personen im Rahmen von Öffentlich-Privaten Partnerschaften

Wirksamkeit

Evaluierungsdaten liegen erst für die Jahre 2013 und 2014 -– nach Integration des KfW-Programms 157 – vor. In diesen Jahren wurde bei insgesamt 15 von 375 geförderten Einzelmaßnahmen eine RLT-Anlage erneuert oder optimiert. Das zugehörige Investitionsvolumen betrug 2,2 Mio. € und lag damit bei ca. 5 % des Gesamtinvestitionsvolumens für Einzelmaßnahmen.

Mit Hinblick auf die Endenergie ließen sich durch das Programm in den Jahren 2013 und 2014 jeweils Einsparungen von 23.000 MWh/a realisieren. Dadurch kam es zu einer Verminderung der CO_2-Emissionen von 8.500 tCO_{2eq} in 2013 und 9.000 tCO_{2eq} in 2014. Zu beachten ist, dass die evaluierten Energie- und CO_2-Einsparungen sich jeweils auf alle durch das Programm geförderten Maßnahmen (Sanierung und Einzelmaßnahmen) beziehen. Welcher Anteil davon auf verbesserte RLT-Anlagen zurückzuführen ist, ist unklar [Clausnitzer et al., 2015].

Ähnlich wie bei dem Programm „IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren“ ist die Wirkung, in Bezug auf den Gesamtverbrauch und die Potenziale im Bereich der Lüftungs- und Klimaanlagen, vernachlässigbar gering.

Private Eigentümer von Wohngebäuden und Immobilienwirtschaft

3.1.3.6 KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren (Programm 151, 153)

Die KfW-Programme Energieeffizient Sanieren (151) und Bauen (153) richten sich an den Neubau und die Sanierung von Gebäuden nach KfW-Effizienzhaus-Standards und bieten dafür zinsgünstige Kreditprogramme und Zuschüsse. Zum 1. Januar 2016 wurde das Anreizprogramm „Energieeffizienz Lüftungspaket: Vermeidung von Bauschäden“ in das KfW Förderprogramm Effizient Sanieren und Bauen integriert. Durch die Förderung des Einbaus von Lüftungsanlagen in Kombination mit einer Sanierungsmaßnahme (z. B. Dämmung der Außenwände) sollen Bauschäden (u. a. Schimmelbefall)

2018 Ecofys – A Navigant Company

vermieden werden. Das Lüftungspaket wurde in die KfW-Förderprogramme des CO_2-Gebäudesanierungsprogramms integriert; dadurch erhöht sich die Förderung für ein Lüftungspaket auf 15 % der Investitionskosten im Zuschuss, analog in der Kreditförderung [BMWi, 2015c].

Tabelle 17: Übersicht Förderprogramm 3.1.3.6 KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren (Programm 151, 153)

Fördergegenstand	Adressat
• Erneuerung oder Einbau einer Lüftungsanlage • Lüftungspaket: Kombination des Einbaus von Lüftungsanlagen mit mindestens einer weiteren förderfähigen Maßnahme an der Gebäudehülle. Das Lüftungspaket wird in die KfW-Förderprogramme des CO_2-Gebäudesanierungsprogramms integriert.	Alle Träger von Investitionsmaßnahmen an selbst genutzten bzw. neu errichteten oder vermieteten Wohngebäuden sowie Eigentumswohnungen. Auch Ersterwerber von neu sanierten bzw. neu errichteten Wohngebäuden oder Eigentumswohnungen.

Wirksamkeit

Mit den beiden KfW-Programmen konnten durch die Sanierung von Gebäuden Primärenergie in Höhe von 2.465 GWh pro Jahr eingespart und ca. 650.000 tCO_2e Emissionen pro Jahr in 2013 vermieden werden. Beim Neubau liegen diese Werte bei 400 GWh/a und 94.000 tCO_2e/a.

Für das Jahr 2013 ergaben sich insgesamt 110.540 Förderzusagen für den Bereich KfW Energieeffizient Sanieren, wobei in 6 % der Fälle mechanische Lüftungsanlagen eingebaut wurden mit 2,5 % Abluftanlagen und ca. 3,5 % Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Der Anteil von Modernisierungsvorhaben auf KfW-Effizienzhaus-Standard, bei denen Lüftungsanlagen eingebaut wurden, lag in 2013 bei 28 %.

Im Neubau lagen in 2013 82.000 Förderzusagen mit rund 129.000 Wohnungen vor. Mechanische Lüftungsanlagen (ganz überwiegend mit Wärmerückgewinnung) werden in 58 % der Gebäude eingesetzt, d. h. bei etwa der Hälfte der Gebäude bei Effizienzhaus 70, 82 % bei Effizienzhaus 55 und 89 % bei Effizienzhaus 40 (inkl. Passivhäuser). Anlagen zur Kühlung bzw. Klimatisierung finden sich in etwa 6 % der Gebäude. Dabei handelt es sich überwiegend um Fälle, in denen gleichzeitig Wärmepumpen zur Heizung eingesetzt werden [IWU Institut Wohnen und Umwelt und Fraunhofer IFAM, 2014].

Im Förderjahr 2014 liegt der Einsatz von Lüftungsanlagen in einer ähnlichen Größenordnung wie im Jahr 2013 (vgl. IWU Institut Wohnen und Umwelt und Fraunhofer IFAM, 2014).

Aufgrund des Erfolges der KfW Effizienzhaus- bzw. Energieeffizient Sanieren Programme sind trotz der breiten Zielrichtung bei der Sanierung, anders als beim Neubau, keine signifikanten Wirkungen bzgl. der Vorsehung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu erwarten.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Sonstiges

3.1.3.7 Step-Up

Allgemeine Beschreibung

Step-Up "STromEffizienzPotentiale nutzen", das Pilotprogramm zu Energieeffizienz-Ausschreibungen, fördert Maßnahmen mit der höchsten Einsparung je "Förder-Euro" mit max. 30 % der Investitionsmehrkosten, die der Einsatz von hocheffizienter Technologie im Vergleich zur Standardtechnologie verursacht, d. h. diejenigen Maßnahmen, die den besten Kosten-Nutzen-Wert (in €/kWh) erreichen. Die Amortisationszeit muss mehr als drei Jahre betragen. Das wettbewerbliche Ausschreibungsmodell ist akteurs- und technologieoffen sowie sektorübergreifend angelegt.

Tabelle 18: Übersicht Förderprogramm Step-Up

Fördergegenstand	Adressat
✓ Einzelprojekte (betriebsintern) ✓ Sammelprojekte (die bei Kunden umgesetzt werden) ✓ Offene Ausschreibungen: sektor- und technologieübergreifend ✓ Ergänzend geschlossene Ausschreibungen: 1. Aufruf: Energetische Sanierung von Aufzugsanlagen, 2. Aufruf: Contracting	Unternehmen (entweder betriebsinterne Projekte oder Projekte, die bei Kunden umgesetzt werden)

Wirksamkeit

Da das Programm erst im Juni 2016 angelaufen ist, liegen noch keine Evaluierungen vor.

3.1.4 Information und Beratung

3.1.4.1 Förderung von Energieberatung im Mittelstand

Gefördert wird ein zweistufiges Beratungskonzept, welches sowohl Effizienzpotenziale und Schwachstellen der Energieverwendung aufzeigt (Initialberatung), als auch Vorschläge von Maßnahmen zur energetischen Verbesserung für KMU erarbeitet (Detailberatung).

Tabelle 19: Übersicht der Förderung von Energieberatung im Mittelstand

Fördergegenstand	Adressat
• Beratung (Initial- und Detailberatung u.a. zu Lüftung und Klima)	Unternehmen mit Mindestenergiekosten in Höhe von jährlich 10.000 €, Evaluierung betrachtet aber Kosten in Höhe von 5.000 €

2018 Ecofys – A Navigant Company

Wirksamkeit

Im Zeitraum von 2010–2013 wurde die Förderung von 18.368 Unternehmen in Anspruch genommen; 14.224 der Fälle entfielen auf Initialberatungen und 4.144 auf Detailberatung.

Das Energieberatungsprogramm für den Mittelstand hat einen hohen Bekanntheitsgrad und wird von der Zielgruppe auch gut in Anspruch genommen. Lüftung und Klimatisierung spielt mit rund einem Drittel bei den empfohlenen Maßnahmen eine Rolle, davon werden wiederum rund 26 % umgesetzt. Folglich kann von ca. 1.300 realisierten Maßnahmen im Bereich Klima und Lüftung infolge der Beratung ausgegangen werden, womit die Wirksamkeit dieser Maßnahme als hoch einzustufen ist. Allerdings wurden die eingeleiteten Maßnahmen teilweise auch unter Inanspruchnahme von den o. g. Programmen umgesetzt, sodass die Energieeinsparungen und ökonomischen Effekte nicht eindeutig zuzuordnen sind.

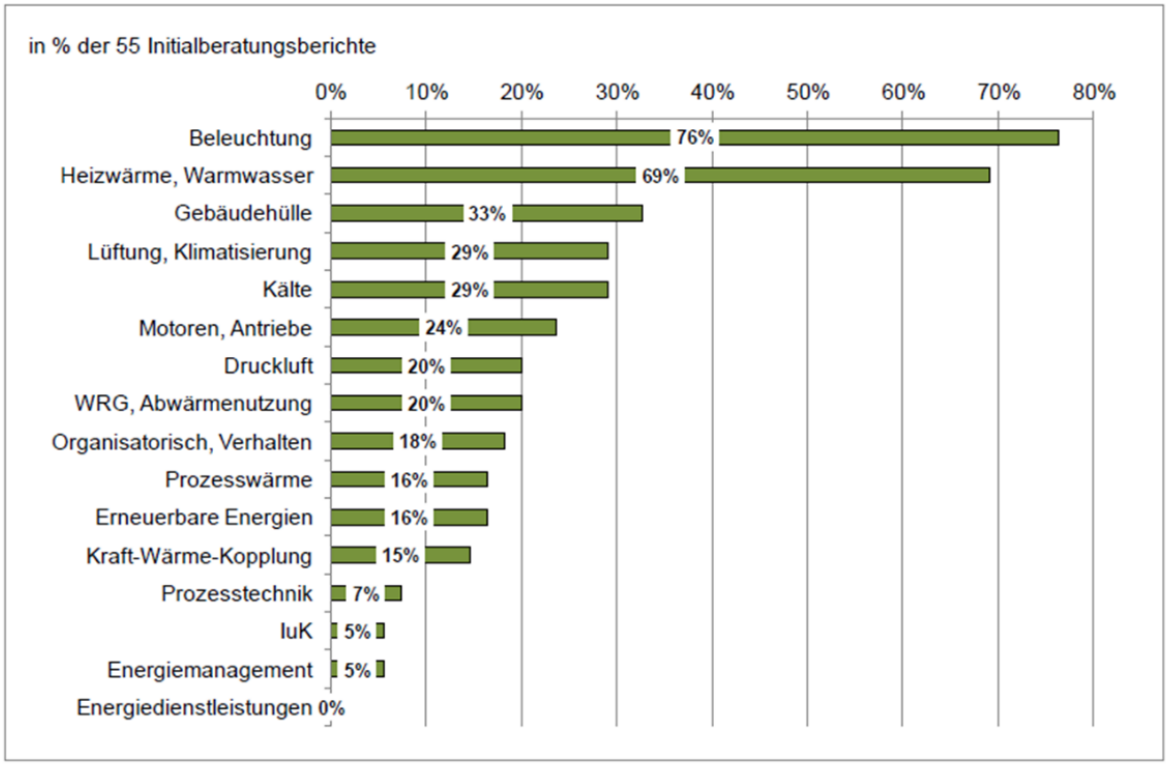


Abbildung 33: Maßnahmenempfehlungen der Initialberatung nach Bereichen (Quelle: Mai et al., 2014)

2018 Ecofys – A Navigant Company

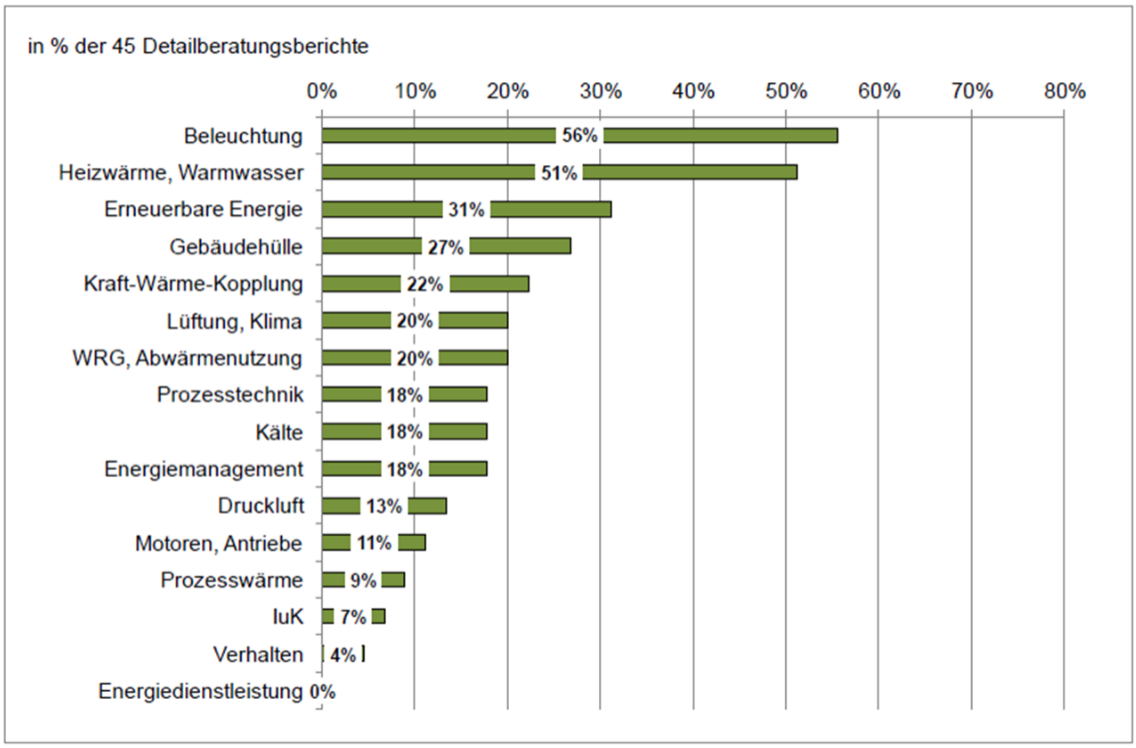


Abbildung 34: Maßnahmenempfehlungen der Detailberatung nach Bereichen (Quelle: Mai et al., 2014)

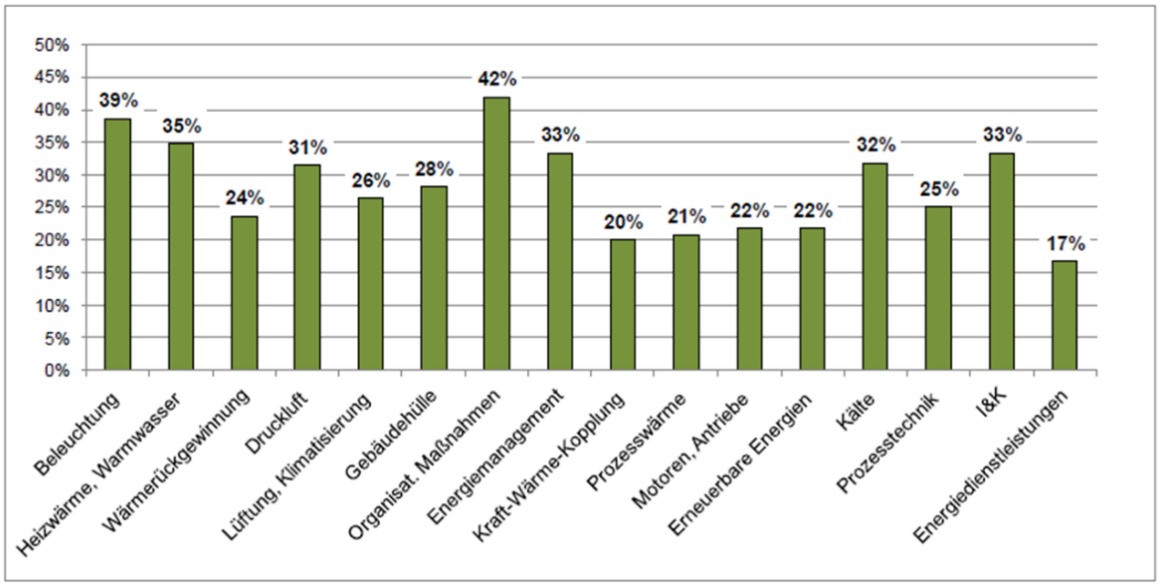


Abbildung 35: Anteil realisierter an den vorgeschlagenen Maßnahmen bei Initial- und Detailberatung (Quelle: Mai et al., 2014)

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.1.5 Fazit

Insgesamt zeigt sich, dass RLT- und Klimaanlagen durch ein umfassendes Instrumentarium abgedeckt werden, es jedoch v. a. bei Anlagen in Bestandsgebäuden und in Bezug auf der Gewährleistung eines effizienten Anlagenbetriebs ein erhebliches Wirksamkeitsdefizit gibt.

Klima- und raumlufttechnische Anlagen im Neubau werden insbesondere durch die aktuelle EnEV weitgehend adressiert. Potenziale bestehen hierbei vor allem noch im Bereich des effizienten Betriebs (Optimierung nach Inbetriebnahme) und bei Anlagen, die derzeit nicht erfasst sind. Darüber hinaus wird durch die Ökodesign-Anforderungen eine Minimaleffizienz von Neuanlagen gewährleistet, deren Wirkung jedoch von den EnEV Anforderungen überlagert wird, die durch die hohen Anforderungen an den Gesamt-Primärenergiebedarf indirekt auch den Einsatz effizienter Technologien bedingen bzw. zumindest begünstigen. Bei Wohngebäuden sind die generellen EnEV-Anforderungen als weniger „scharf“ als bei Nichtwohngebäuden einzuordnen. Hier wird ein Großteil der Wirkung, die insbesondere die Vorsehung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung betrifft, durch das KfW Programm Effizient Bauen erreicht.

Bei **Klimaanlagen in Bestandsgebäuden** greift als regulatorische Maßnahme die energetische Inspektion von Klimaanlagen > 12 KW (§ 12 EnEV). Hier besteht v. a. aufgrund der geringen Erfüllungsquote im Vergleich zu dem theoretischen Potenzial ein hohes Wirksamkeitsdefizit.

Weiterhin stehen für Unternehmen, kommunale Gebietskörperschaften und gemeinnützige Organisationen im Bereich Nichtwohngebäude mit den KfW-Programmen Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient bauen und sanieren (Nichtwohngebäude)“ und IKK/IKU zinsgünstige Kredite sowie mit dem Programm „Förderung von Klima- und Kälteanlagen“ Zuschüsse zur Finanzierung von Modernisierungs- und Optimierungsmaßnahmen bei klimatechnischen Anlagen zur Verfügung. Insgesamt ist die Wirksamkeit der finanziellen Maßnahmen anhand der vorliegenden Fallzahlen aber als gering einzustufen. Zudem werden bei der Förderung von Klima- und Kälteanlagen vor allem Kälteanlagen gefördert.

Für die Modernisierung und Optimierung von **Lüftungsanlagen** in Bestandswohn- und Nichtwohngebäuden bestehen insbesondere finanzielle Anreize (KfW-Programme, Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien). Trotz eines vergleichsweise hohen Bekanntheitsgrades und einer regen Inanspruchnahme, insbesondere durch Unternehmen und Wohneigentümer, zeigen diese Programme ebenfalls nur eine sehr begrenzte Wirkung.

Zur besseren Einordnung des Handlungsbedarfs, der sich aus den identifizierten Wirksamkeitsdefiziten ergibt, wird in einem weiteren Schritt die Bedeutung der jeweiligen Anlagen in Bezug auf die möglichen Einsparpotenziale dargestellt. Die nachfolgenden Tabellen geben somit einen Überblick über die qualitative Wirkung des bestehenden Anreizsystems auf die verschiedenen Gruppen (unterteilt nach Gebäudetyp, Neubau/Bestand, Anlagengröße und ob sich das Anreizsystem auf eine effiziente Anlage oder auf eine Betriebsoptimierung bezieht), jeweils unterteilt nach Klimaanlagen und RLT-Anlagen ohne Kühlfunktion. In den Tabellen wurden identifizierte Defizite/der Handlungsbedarf durch farbliche Markierung hervorgehoben. Ein Handlungsbedarf ergibt sich, wenn zum einen die Bedeutung bzgl. des aktuellen oder künftig zu erwartenden Energiebedarfs nicht gering ist und gleichzeitig nicht mindestens eine gute Abdeckung und Wirkung[13] durch das bestehende Anreizsystem erreicht wird.

[13] wenn ein Instrument angewendet wird

2018 Ecofys – A Navigant Company

Dabei bedeutet:

- Rot: Hoher Handlungsbedarf;
- Gelb: Handlungsbedarf zu prüfen;
- Grün: Das bestehende Anreizsystem ist in diesen Bereich bereits gut abdeckt;
- Weiß: Aufgrund der Bedeutung besteht kein signifikanter Handlungsbedarf.

Da, wie beschrieben, die Datenlage für die Beurteilung sehr begrenzt ist, sind die Angaben überwiegend als indikativ zu verstehen.

Die folgende Tabelle 20 zeigt eine Übersicht der Beurteilung des bestehenden Anreizsystems im Bereich der Klimaanlagen, die zweite Tabelle zeigt die entsprechende Übersicht auf das bestehende Anreizsystem im Bereich Lüftungsanlagen ohne Kühlfunktion.

Tabelle 20: Übersicht Beurteilung Anreizsystem von Klimaanlagen

Status	Größe	Bezug	Bedeutung	Abdeckung/ Wirkung	wesentliche Maßnahmen
Gebäude-Typ: NWG					
Neubau	> 12 KW	Anlage	hoch	sehr gut/gut*	EnEV/ EEWärmeG / finanz. Maßn.
		Betrieb	hoch	keine	---
	< 12 KW	Anlage	unklar	sehr gut/unklar	Ökodesign
		Betrieb	unklar	keine	---
Bestand	> 12 KW	Anlage	hoch	gering/gut	EnEV § 12 + § 15 diverse finanz. Maßn. / E-Berat.
		Betrieb	hoch	gering/gut	EnEV § 12/ diverse finanz. Maßn. / E-Berat.
	≤ 12 KW	Anlage	unklar	gering/gut	diverse finanz. Maßn. / E-Berat.
		Betrieb	unklar	gering/gut	diverse finanz. Maßn. / E-Berat.
Gebäude-Typ: WG					
Neubau	> 12 KW	Anlage	gering	sehr gut/mäßig	EnEV / EEWärmeG
		Betrieb	gering	keine	---
	≤ 12 KW	Anlage	gering**	sehr gut/unklar	EnEV / Ökodesign
		Betrieb	gering**	keine	---
Bestand	> 12 KW	Anlage	gering	gering/gut	EnEV § 12 + § 15
		Betrieb	gering	keine	EnEV § 12
	≤ 12 KW	Anlage	gering**	Unklar/unklar	Ökodesign
		Betrieb	gering**	keine	---

2018 Ecofys – A Navigant Company

*) Gute Abdeckung nur für die Gebäudetypen, die auch tatsächlich unter die EnEV fallen. Kritisch sind hier jedoch Gebäude wie z. B. Rechenzentren, die von der EnEV ausgenommen sind

**) bezieht sich auf derzeitige Bedeutung, künftig wird jedoch eine zunehmende Bedeutung erwartet

Tabelle 21: Übersicht Beurteilung Anreizsystem Lüftungsanlagen ohne Kühlfunktion

Status	Größe	Bezug	Bedeutung	Abdeckung/ Wirkung	wesentliche Maßnahmen
			Gebäude-Typ: NWG		
Neubau	> 125 W	Anlage	hoch	sehr gut/gut	EnEV/ diverse finanz. Maßn.
		Betrieb	hoch	keine	---
	≤ 125 W	Anlage	gering	sehr gut/unklar	Ökodesign
		Betrieb	gering	keine	---
Bestand	> 125 W	Anlage	hoch	gering/gut	EnEV § 15, diverse finanz. Maßn., E-Berat.
		Betrieb	hoch	gering/gut	diverse finanz. Maßn., E-Berat.
	≤ 125 W	Anlage	gering	gering/gut	diverse finanz. Maßn., E-Berat.
		Betrieb	gering	gering/gut	diverse finanz. Maßn., E-Berat.
			Gebäude-Typ: WG		
Neubau	> 125 W	Anlage	gering	sehr gut/mäßig	EnEV / Ökodesign / KfW
		Betrieb	gering	keine	---
	≤ 125 W	Anlage	mittel*	sehr gut/mäßig	EnEV / Ökodesign / KfW
		Betrieb	gering*	keine	---
Bestand	> 125 W	Anlage	gering	gering/gut	EnEV § 15, KfW
		Betrieb	gering	keine	---
	≤ 125 W	Anlage	gering*	gering/gut	KfW
	≤ 125 W	Anlage	gering*	keine	---

Der größte Handlungsbedarf wird bei der Betriebsoptimierung von Klimaanlagen > 12 KW und von großen Lüftungsanlagen nach Inbetriebnahme im NWG-Neubau gesehen. Diese wird bislang durch keine Maßnahmen abgedeckt. Weiterer Handlungsbedarf ergibt sich für Klimaanlagen in Gebäuden, die derzeit nicht von EnEV abgedeckt werden, z. B. Rechenzentren. Die Modernisierung und Optimierung von Anlagen im NWG-Bestand werden zwar durch zahlreiche Maßnahmen adressiert, die – wie oben dargelegt – aber eine geringe Wirkung zeigen. Aufgrund des hohen Einsparpotenzials besteht auch hier ein erhöhter Handlungsbedarf. Weiterhin sollten bei der Weiterentwicklung des Anreizsys-

2018 Ecofys – A Navigant Company

tems kleinere Klimaanlagen ≤ 12 KW sowohl im Neubau und Bestand bei NWG und WG stärker berücksichtigt werden. Detailliertere Untersuchungen zur Wirkung von Ökodesign auf Klimaanlagen in Deutschland und Überschneidungen mit den Wirkungen der EnEV wären hier hilfreich. Auch kleinere Lüftungsanlagen ≤ 125 W in Wohngebäuden sind einzubeziehen, da diese künftig an Bedeutung gewinnen werden.

3.2 Hemmnisse

In dem vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse der Hemmnisanalyse zusammengestellt. Aufbauend auf den Erkenntnissen der Workshops, die im Rahmen des Parallelprojekts durchgeführt wurden, hat das Projektkonsortium weitere Hemmnisse zusammengetragen, kategorisiert und in Form eines Fragebogens zusammengefasst. Der Fragebogen wurde an unterschiedliche Akteure aus den Bereichen Hersteller, Planer, Berater, Gebäudewirtschaft und Verbände versandt. Der Rücklauf (10) der Fragebögen erlaubt eine Einordung der identifizierten Hemmnisse.

Die im Folgenden dargestellte Auflistung und Einordung der Hemmnisse basiert auf den ausgewerteten und zusammengefassten Rückläufen aus telefonischen Befragungen bzw. schriftlichen Rückmeldungen.

3.2.1 Hintergrund

Um die Relevanz der Hemmnisse beurteilen und daraus wirksame Maßnahmen zur Adressierung ableiten zu können, ist es zunächst erforderlich, eine Übersicht des aktuellen Energieverbrauchs von Klima- und Lüftungsanlagen in Deutschland zu haben.

Wie bereits im Zwischenbericht zur Analyse des Anreizsystems dargestellt, lässt sich der Energieverbrauch in Gruppen einteilen, die jeweils einen unterschiedlichen Beitrag zum Gesamtenergieverbrauch von Klima- und Lüftungsanlagen in Deutschland leisten.

Hierbei können die folgenden Anlagenklassen unterschieden werden:

1. Mittlere und große RLT-Anlagen mit (Teil-) Kühlfunktion;
2. Mittlere und große RLT-Anlagen ohne Kühlfunktion;
3. Kleine RLT Anlagen (< 3000 m³/h);
4. Wohnungslüftungsanlagen, zentral;
5. Raumklimageräte (DX);
6. Sonstige RLT unabhängige Kühlsysteme (Kühldecken, Umluftkühlsysteme, Bauteilaktivierung).

Insgesamt wird gem. Thamling et al., 2015 für Klima, Lüftung und Hilfsenergie für das Basisjahr 2008 ein Endenergiebedarf (Strom) von 42 TWh/a ausgewiesen. Anhand von überschlägigen Berechnungen auf der Grundlage von Schiller et al. [2014] unter der Annahme von durchschnittlichen Anlageneffizienzen und -Betriebszeiten ist davon auszugehen, dass der weit überwiegende Teil (ca. 90 %) des Energieverbrauchs durch die ersten beiden Anlagenklassen, d. h. die großen RLT-Anlagen, verursacht wird. Der verbleibende Anteil des Energieverbrauchs teilt sich etwa gleich auf die drei Klassen der kleinen RLT-Anlagen, der Raumklimageräte und der sonstigen Kühlsysteme auf. Der Anteil der Wohnungslüftungsanlagen wird aktuell als gering eingestuft. Wegen der Bedeutung gesondert hervorzuheben ist der notwendige Energiebedarf zur Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen. Dieser beträgt ca. 3 TWh/a und ist somit als relevant einzustufen [Offermann et al., 2016].

Zur Beurteilung der Relevanz der Hemmnisse sind neben dem Energiebedarf auch die Eigentümerstrukturen von zentraler Bedeutung. Da hierzu bis dato keine Quellen bekannt sind, wurde hierfür

2018 Ecofys – A Navigant Company

eine qualifizierte Abschätzung auf der Grundlage einer Beurteilung der Eigentümerstrukturen von unterschiedlichen Gebäudetypen mit relevanten Anteilen von Klima- und Lüftungsanlagen vorgenommen. Das dabei zugrunde gelegte Datengerüst entstammt ebenfalls aus Schiller et al. [2014]. Anhand der Abschätzung ist davon auszugehen, dass – bezogen auf den Energiebedarf von großen RLT-Anlagen – ca. 40 % vermieteten Objekten zuzuordnen ist und entsprechend ca. 60 % zu selbstgenutzten Anlagen.

3.2.2 Hemmnisanalyse

In einem ersten Schritt werden in Kapitel 3.2.2.1 die Befragungsergebnisse[14] in Tabellenform nach den folgenden Aspekten ausgewertet:

- Einstufung der Relevanz des Hemmnisses;
- Spezifizierung der Einstufung nach Branche[15];
- Kommentare der Befragungsteilnehmer.

Die Einzelhemmnisse werden dabei in Unterkapiteln in den folgenden Hemmnis-Kategorien ausgewertet:

- Betriebswirtschaftliche Hemmnisse;
- Informatorische Hemmnisse;
- Regulatorische Hemmnisse;
- Organisatorische Hemmnisse;
- Technische Hemmnisse;
- Praktische Hemmnisse.

Anschließend erfolgt in Kapitel 3.2.3 eine zusammenfassende Bewertung unter Berücksichtigung der ggf. bereits erfolgten Adressierung durch die in einem Eckpunktepapier vorgesehenen Maßnahmen. Das Eckpunktepapier wurde im Rahmen eines parallelen Forschungsprojektes (ifeu und Öko-Institut e.V. [2018] „Wissenschaftliche Untersuchung der Energieverbrauchsentwicklung und Maßnahmen zur Steigerung der produktbezogenen Energieeffizienz“) erarbeitet.

[14] Siehe Anhang für die detaillierten Befragungsergebnisse.

[15] Die Teilnehmer der Befragung wurden vereinfachend in drei Branchen kategorisiert: 1. Allgemeine Verbände, 2. Hersteller, 3. Bauunternehmer/Immobilien, 4. Planer/Berater

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.2.2.1 *Befragungsergebnisse*

Tabelle 22: Zusammenstellung der betriebswirtschaftlichen Hemmnisse

Einzelhemmnis	Relevanz[16]	Relevanz[17] nach Branche	Kommentare der Befragungsteilnehmer[18]
Mieter (Nutzer)- Vermieter (Eigentümer, Investor), Konflikt: Begrenzte Umlagemöglichkeit der Investitionskosten bei Neubau und Sanierung	Sehr hoch	Allgemeine Verbände: Sehr hoch Hersteller: Keine Relevanz/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Sehr hoch Planer und Berater: Hoch/Sehr hoch	- Innovative, teurere Technologien werden in Kosteneinsparrunden wegdiskutiert - Höhere Kosten, dadurch schwerer zu vermarkten - Zusätzliches Hemmnis: Eingeschränkter Kontakt zum Investor
Hohe Kosten und Risiko der Unwirtschaftlichkeit bei innovativen klimaschonenden Anlagen (z. B. Grundwasserkühlung etc.)	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz Bauunternehmer / Immobilien: Hoch/Sehr hoch Planer und Berater: Mäßig/Hoch	- Klima- und Lüftungstechnik wird wegen Umweltschutz immer wichtiger. Es gibt aber zu viele Beteiligte und zu wenig Anreize. Zudem unterliegt z. B. die Grundwassernutzung dem jeweiligen Wasserhaushaltsgesetz der verschiedenen Bundesländer. - Anlagenkosten können häufig nur begrenzt umgesetzt werden - Nur bei Kunden mit hohen eigenen Ansprüchen umsetzbar. - Es gibt genug Praxisbeispiele, die funktionieren.
Keine ausreichenden Mittel zur Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen (KMU)	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig/Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig/Sehr hoch Planer und Berater: Mäßig	- Neubau bereits durch EnEV ausreichend berücksichtigt. DIN 18599 bietet keinen einheitlichen Ansatz. - Oft keine ausreichende Liquidität des Betreibers (gerade bei kleinen Unternehmen) oder andere Schwerpunkte. - Wirtschaftliche und effiziente Maßnahmen werden mit KfW-Mitteln unseres Erachtens hinreichend gefördert.

[16] Ohne Wichtung der Befragungsteilnehmer

[17] Relevanz aus Sicht der Befragten: Sehr hoch, hoch, mäßig, keine Relevanz

[18] Siehe Anhang für detaillierte Kommentare der Befragung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz[16]	Relevanz[17] nach Branche	Kommentare der Befragungsteilnehmer[18]
Anlageninspektion und -Sanierung: Risiko der Unwirtschaftlichkeit (insbesondere bei sehr kleinen Anlagen)	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Mäßig/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Mäßig	- Inspektion ist nicht „eingepreist“, keine Sensibilisierung für Wartung und Hygieneinspektion (Idee: Effizienz-Kampagne BMWi -> Gewerbe EPBD – Novelle – Inspektionspflicht soll ggf. ganz herausgenommen werden) - Fehlendes Bewusstsein beim Betreiber für Notwendigkeit von Wartung und Inspektion - unzureichender Druck durch Aufsichtsbehörden. - Im Mehrgeschossigen Mietwohnbereich spielt das Mieterverhalten eine große Rolle bei der Investitionsentscheidung des Investors - Wirtschaftlichkeit einer Lüftungsanlage hängt nicht zwingend von der Größe ab; Inspektions-/ Wartungskosten werden als zu „teuer“ reklamiert - Bei kleineren Anlagen ist die Wirtschaftlichkeit meist sehr abhängig von der jährl. Betriebszeit. Eine Umsetzung oft nur im Rahmen von Sowieso-Maßnahmen wirtschaftlich. - Bauherren verfügen nicht über Kompetenz und Personal – dadurch hohe Wartungskosten
Preisdruck am Markt: Keine ausreichende Betriebsoptimierung, kein Monitoring => Fokus niedrige Investitionskosten, geringe Amortisationszeiterwartungen (<3-5 Jahre) auch bei öffentlicher Hand (BHO § 7 Wirtschaftlichkeitsgebot)	Sehr hoch	Allgemeine Verbände: Sehr hoch Hersteller: Hoch/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Sehr hoch	- Betrachtung nur auf Amortisation, nicht auf Rendite - Nachhaltiges Denken fehlt - In einem Gutachten wird ein Betriebsoptimierungspotenzial für Anlagentechnik von 30-40 % beziffert, die z. B. aber aufgrund fehlender Geschäftsmodelle momentan nicht realisiert werden. - Energetisches Anlagenmonitoring müsste einen höheren Stellenwert bekommen. Dann erst wird eine Betriebsoptimierung nachhaltig und messbar. Ausschreibungen sollten hier Vorgaben und Ziele enthalten.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz[16]	Relevanz[17] nach Branche	Kommentare der Befragungsteilnehmer[18]
Zu geringes Aufwand/ Nutzen-Verhältnis bei Beantragung von Fördermitteln (insbesondere bei KMU)	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig/Hoch	- Antragsverfahren wird vielfach als zu kompliziert und aufwändig empfunden. - Generell ja, keine spezifischen Kenntnisse zu Programmen von Lüftungsanlagen - „Baubeginn“ häufig erst nach Antragsbewilligung möglich (z. B. Progress NRW) - Aufwand angemessen bis annehmbar, aber wenn im Laufe des Projektes Änderungen oder Erweiterungen hinzukommen leider keine Flexibilität. - Die Unternehmen kalkulieren 1:1 ihren Mehraufwand dagegen (Praxisbeispiel: Es wurde deswegen keine Bafa-Speicherförderung beantragt)
Zu geringe Förderhöhe für Beratung	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig	- Unterschiedliche Qualität der Beratung - Könnte sich negativ auf die Qualität auswirken - Eher Qualitätsstandards / Intransparenz spielen eine größere Rolle. - Wenige gut qualifizierte Energieberater im industriellen Sektor. Beratung durch Fachfirmen nicht förderbar.
Falsche Zielrichtung der Förderung 1. Förderung von Leuchtturmprojekten, die nicht das Potential eines Masseneinspareffektes haben 2. Förderung von Konzepten, die nicht (ausreichend) effizient und klimaschonend sind (unzureichende Vergabekriterien oder -Prüfungen)	Mäßig	Allgemeine Verbände: Keine Relevanz/Mäßig Hersteller: Mäßig/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Keine Relevanz/Hoch Planer und Berater: Mäßig	- Anforderungen schwierig nachzuvollziehen - Zu 2. Eher Problem des Fördergebers, kein Hemmnis für den Investor - Bereits breite Förderung

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz[16]	Relevanz[17] nach Branche	Kommentare der Befragungsteilnehmer[18]
Bei einer (umfassenden) Sanierung: ggf. Mietausfall zzgl. erhebliche Nebenkosten (durch Trockenbau bei Lüftungselementen in der Abhangdecke höhere Anforderungen an Brandschutz (Bestandsschutz), Asbestentsorgung, Verlust des Bestandsschutzes), Störung im Betriebsablauf, Probleme in das laufende System einzugreifen	Hoch/Sehr hoch	Allgemeine Verbände: Sehr hoch Hersteller: Keine Relevanz/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Hoch	- Hemmnisse insbesondere im Bereich Brandschutz sehr hoch. Nicht selten sind die Nebenkosten bei Maßnahmen deutlich höher als die Umsetzung der Effizienzmaßnahme selbst. Umsetzung daher oft erst, wenn sonstige Sanierungen / Umnutzungen anstehen. - Nicht alle Aufwendungen und Folgekosten sind umlagefähig
Feste Investitionszyklen bei größeren Unternehmen, erst dann werden Altanlagen mit saniert	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig/Hoch Hersteller: Mäßig/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig	- Sanierungen meist im Rahmen mittel- oder langfristiger Budgets. Diese sind jedoch oft zu gering bzw. werden erst im Zuge von Sowieso-Maßnahmen eingesetzt.
Fehlende nichtmonetäre Anreize (Nachhaltigkeitsbewertung berücksichtigt klimaschonende Lüftungstechnik unzureichend)	Mäßig	Allgemeine Verbände: Mäßig/Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig	- Aktuell noch keine Relevanz, könnte sich zukünftig ändern - Könnte künftig höher werden. - Selbst monetäre Kosten wie Betriebskosten werden oftmals nicht gewertet, da lediglich die Investition betrachtet wird. - Höher werdende Relevanz durch Luftqualität.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz[16]	Relevanz[17] nach Branche	Kommentare der Befragungsteilnehmer[18]
Rechnungswesen: große Wartungsausgaben gelten als Einmalausgaben, über Komponentenansatz können Ausgaben als Aktiva bilanziert und über mehrere Jahre abgeschrieben werden, im Handelsgesetzbuch nicht geregelt.	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig/Sehr hoch Planer und Berater: Mäßig	- Kann nicht beurteilt werden - Bilanzierungsmöglichkeiten haben erfahrungsgemäß einen hohen Einfluss auf Finanzierungsentscheidungen. - „Billig“ bauen geht nach wie vor vor.

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.2.2.2 *Informatorische Hemmnisse*

Tabelle 23: Zusammenstellung der informatorischen Hemmnisse

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[19] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[20]
Mangelnde Erfahrung/Fachkompetenz der Planer, Installateure, Nutzer beim Einsatz klimaschonender Technologien	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig/Hoch	- Qualitätssicherung muss gestärkt werden. (Einregulierung, Monitoring) -> Idee: Konsortium aus Experten, Anforderung an Förderung - Qualität der Beratung wird als Problem wahrgenommen. - Planer/Installateur ist sich über die energiesparende/ klimaschonende Funktion von Lüftung mit WRG oft nicht bewusst und berücksichtigt diese nicht - Kunden suchen sich nach unserer Erfahrung den zu ihnen passenden Planer – Kompetenz in Sachen Klimaschutz wenn auch dem Kunden wichtig. - Inzwischen hohes Niveau erreicht, allerdings Lösungen aus „einer Hand“ erforderlich, da viele Anlagenkomponenten „zusammenspielen“ müssen. - Zum Teil schwierig Anlagenbauer mit der Bereitschaft zum „Experimentieren“ zu finden. Planer fürchten sich häufig vor weiteren, unbekannten Schnittstellen.
Mangelnde Kenntnis der Förderprogramme und Beratungsinitiativen	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Mäßig/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig/Hoch	- Man verliert schnell die Lust, alle Eventualitäten zu ermitteln, bzw. „verzweifelt“ schon bei den Merkblättern - Informationen zu kompliziert und zu viele Eingaben erforderlich - Komplexität des Beratungssystems - Leider aber auch geringe Sicherheit – keine langfristige Planung möglich. - Transparenz und Offensive der Behörden nicht immer gegeben - Profis machen sich schlau - Kommt vor

[19] Relevanz aus Sicht der Befragten: sehr hoch, hoch, mäßig, keine Relevanz

[20] Siehe Anhang für detaillierte Antworten der Befragung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[19] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[20]
Mangelnde Kenntnis über Kosten/Wirtschaftlichkeit von eigenen Anlagen z. B. fehlende Information zum Verbrauch der Anlagen (i. d. R. keine separaten Zähler) und fehlende Benchmarks zur Einordnung der möglichen Messwerte	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Sehr hoch Planer und Berater: Mäßig/Sehr hoch	- Bewusstsein fehlt - Betreiberbewusstsein vielfach mangelhaft - Ja, aber auch fehlende Daten bei Betreibern von Shopping-Centern etc. - Komplexität der Anlagen ist nicht immer leicht zu überblicken; Finanzielle Vorteile (z. B. Vermeidung Schimmelbildung, Sanierungskosten etc.) sind schwer zu bemessen; Es wird nur der „wirtschaftliche“ Aspekt der LÜ-Anlage betrachte, doch was sind die gesundheitlichen Folgen bei unzureichender Lüftung? -> ungesundes Wohnen -> Anstieg von Krankheiten - Sollte sich im Zuge der Verpflichtungen durch das EDL-G in der kommenden Zeit bei Firmen > KMU ändern. - Betreiberfehler führen zu hohen Nebenkosten. - Es könnte mehr gemacht werden. (Welche Einsparung gibt es, etc.) - Das stimmt, jedoch macht Kälte insgesamt meist nur 5-10 % der Stromkosten aus. Fokus liegt eher auf großen Lüftungsanlagen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[19] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[20]
Unklarheit darüber, was überhaupt klimaschonende Konzepte sind (Wann ist eine mechanische Lüftung, wann eine Klimatisierung notwendig? Welche Alternativen zur aktiven Kühlung gibt es? Was sind die besten Optionen (Klima, Ökologie, Wirtschaftlichkeit)	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig	- Indoor air quality wird nicht beurteilt. Dadurch fehlt die Koppelung mit non energy benefits: Behaglichkeit für Mitarbeiter, geringerer Krankenstand, Attraktivität als Arbeitgeber - Luftqualität und deren Einfluss auf die Mitarbeiter wird oft nicht betrachtet. - Für professionelle Bestandshalter eher weniger problematisch. - Fehlendes „spartenübergreifendes Denken“ in Deutschland, übergreifender Projektmanager für Bau könnte verschiedene Gewerke besser verbinden - Es sollten Ansätze entwickelt werden, die Architekten zu schulen, um hier schon an den „Planungswurzeln“ eine höhere Kompetenz zu entwickeln. Nachweise über den sommerlichen Wärmeschutz besser verankern. - Klimaschonende Konzepte im Großen und Ganzen bekannt. Kühlung weniger. - Sind zahlreich vorhanden und die Kenntnis ist auch vorhanden.
Fehlendes Bewusstsein der Relevanz/des Energieverbrauchs von Klima und Lüftungsanlagen	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Sehr hoch	- Klimaanlagen stehen in dem Ruf, hohen Verbrauch zu haben - Pauschale Meinungen - Im mehrgeschossigen Mietwohnbau werden Anlagen aus diesem Grund nicht eingebaut, weil das Mieterverhalten in bestimmten Mietsegmenten. - Bewusstsein setzt sich langsam durch, dennoch sind (zu) komplexe Regelwerke wie die DIN V 18599 nicht für alle Bauvorhaben (wie Sanierungen) die passende Richtschnur. - Einsparungen vs. Investitionen

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[19] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[20]
Fehlende Kenntnis über Möglichkeit und Potentiale einfache Maßnahmen in Eigenleistungen umzusetzen: z. B. Betriebszeiten-, Temperatureinstellungen, Vermeidung von Standby-Verlusten (z. B. Winterabschaltung der Klimaanlage)	Sehr hoch	Allgemeine Verbände: Hoch/Sehr hoch Hersteller: Keine Relevanz/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Sehr hoch Planer und Berater: Sehr hoch	- Digitalisierung wird noch nicht ausreichend genutzt (Absenkung, etc.) – könnte über Smart-Home-Systeme gelöst werden - Fehlende Messstellen und unzureichende Aufbereitung der Daten (falls vorhanden) - Fehlende Kenntnis über Einstellungsoptimierung auch bei Bestandshaltern von großen Gebäuden. - Verpflichtende Schulungen für Anlagenbetreiber könnten hier einen großen Nutzen darstellen. - Setzt Grundkenntnisse im Anlagenbetrieb voraus.
Wissenslücken (unwissenschaftliche Vorurteile): Probleme mit der Luftfeuchtigkeit im Winter oder schlechte Luft in Passivhäusern Mangelnde Kenntnis über die Sicherstellung der Zielparameter im Gebäude durch technologisch bedingte Leistungsbegrenzungen klimaschonender Systeme (z. B. Grundwassernutzung)	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig/Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Sehr hoch Planer und Berater: Mäßig	- Mangelndes Bewusstsein für Wartung und Inspektion Indoor air quality wird nicht beurteilt. Grundwassernutzung ist genehmigungspflichtig – Entfeuchtung bei Sole nicht gut möglich (6-7°C). - Fehlende Messstellen und unzureichende Aufbereitung der Daten (falls vorhanden) - Verhalten bestimmter Mietergruppen stellt sich als schwierig dar. - Kunden mit solch anspruchsvollen Technologien haben oftmals auch entsprechend unterrichtete Mitarbeiter.
Unwissenheit bzgl. der gesetzlichen Inspektionspflicht gem. EnEV § 12 und dessen Nutzen	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch/Sehr hoch Hersteller: Keine Relevanz/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Hoch	- Kein Vollzug, dadurch findet Aussitzen statt. Bund-Länder Dilemma – Lösungen bisher nicht vorhanden – bessere monetäre Ausstattung der Länder/ Kommunen - Vollzug mangelhaft und Föderalismus - Insbesondere kleinere Unternehmen haben meist nicht das Wissen über diese Verpflichtung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.2.2.3 Regulatorische Hemmnisse

Tabelle 24: Zusammenstellung der regulatorischen Hemmnisse

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[21] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[22]
Fehlende Verpflichtung für eine ausreichende Betriebsoptimierung (inkl. Monitoring)	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Hoch	- Vorher Vollzug stärken - Vollzug durch Aufsichtsbehörden fehlt vielfach - Freiwilligkeit sollte dem Zwang bevorzugt werden. - Um energiesparend und optimal zu arbeiten, sollte eine Lüftungsanlage einreguliert werden - Das zugehörige Potenzial ist nicht zu unterschätzen, verlangt dem Kunden jedoch auch entsprechende Kapazitäten ab, um den optimalen Erfolg zu erzielen. - Hoher Betriebsaufwand - Bei komplexen Systemen steigt die Anforderung an die Inbetriebnahme und insbesondere die Dauer der Inbetriebnahme über mindestens eine Heiz- und Kühlperiode. - Fehlende Berücksichtigung der Betriebsoptimierung in den EnEV Berechnungen; Aufgrund der Berechnungsmethode der 18599 werden mögliche Energieeinsparungen durch Sanierungsmaßnahmen an Klimaanlagen im Gebäudeenergieausweis noch nicht ersichtlich
Fehlende Rechtsfolgen (Prüfung und Bußgelder) von EnEV § 12	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Keine Relevanz/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig/Hoch Planer und Berater: Sehr hoch	- Vorher Vollzug stärken - Vollzug durch Aufsichtsbehörden fehlt vielfach - Besser wären generell weniger aber klare Vorgaben. Solange Lüftungsanlagen mit immensen Luftleistungen keiner Inspektionspflicht unterliegen, aber Klimaanlagen ab 12 kW Kälteleistung

[21] Relevanz aus Sicht der Befragten: sehr hoch, hoch, mäßig, keine Relevanz

[22] Siehe Anhang für detaillierte Antworten der Befragung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[21] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[22]
Fehlende Vorgaben für die Mindesteffizienz zur Klimatisierung von Rechenzentren	Mäßig	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig/Hoch	- Neubauten sind nach unserer Erfahrung schon aus Gründen des Kostendrucks auch in den Betriebskosten effizient. Für Bestands-RZ sind Sanierungen oft schwer umzusetzen. - Es gibt zwar keine Vorgaben, jedoch sind aufgrund des hohen Energieverbrauchs energieeffiziente Maßnahmen im Bereich Rechenzentren schneller rentabel
Fehlende Anreize zum generellen Einsatz bzw. zum über die Mindestanforderungen hinausgehenden Einsatz erneuerbarer Energien (führt häufig zur Nutzung der Ersatzmaßnahme EnEV - 15 % durch bauliche Maßnahmen)	Mäßig	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Mäßig	- Seit „EnEV 2016“ sind Ersatzmaßnahmen nicht mehr so einfach wirtschaftlich umzusetzen - Problem, Ersatzmaßnahmen umzusetzen - Ordnungsrecht ist schon strikt genug. Technologieoffenheit sollte gewahrt bleiben. - Relevanz sicher im Bereich der Wohngebäude höher. - KfW Anreize sind vorhanden (Einsparung).
Verlust des Bestandsschutzes nach Veränderung der Anlage Viele Restriktionen z. B. durch Bauordnungen und Brandschutz bei Neuanlagen	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Keine Relevanz/Mäßig	- Bestandsschutz für Bestandshalter eine wichtige Rolle. - Die Unsicherheit ist hoch, die (Un-) Kenntnis noch höher. Hier sollte der Gesetzgeber ggf. eine energetische Instandsetzung mit Zugeständnissen ermöglichen. - Insbesondere bei Eingriffen die von brandschutztechnischer Relevanz sind.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[21] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[22]
Mangel an standardisierten Verfahrensvorschriften für Ausschreibungen von Inspektionen gem. EnEV § 12, Berichte und Sanierungspläne	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Hoch	- Stärkerer Vollzug hat größere Wirkung - Es fehlen klare Regelungen.
Keine Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Sehr hoch	- Sollte (ggf. in fallenden Grenzen, beispielsweise beginnend bei > 20 kW elektrisch) umgesetzt werden.
Fehlende regulatorische Anforderungen im Gebäudebestand (z. B. Fehlende Sanierungsverpflichtungen aus EnEV § 12 oder Einführung einer Nachrüstverpflichtung analog der Heizkesselnachrüstverpflichtung in der EnEV)	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Mäßig Planer und Berater: Sehr hoch	- Verpflichtungen im Bestand führen erst einmal zu Attentismus - hier wird eher abgewartet - Anforderungen sind schon hoch genug. - Zentrales regulatorisches Hemmnis ist das Fehlen des Lüftungskonzepts in der EnEV - Regulatorien sind immer nur so gut wie die zugehörige Umsetzung. Bsp.: Hydraulischer Abgleich

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.2.2.4 Organisatorische Hemmnisse

Tabelle 25: Zusammenstellung der organisatorischen Hemmnisse

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[23] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[24]
Fehlende Verantwortlichkeiten Mieter: Keine Zugriffsrechte auf Zentralanlagen; Vermieter: kein Interesse an Investitionen Facility Manager: i. d. R. für den reibungsfreien Betrieb nicht aber für die Wirtschaftlichkeit verantwortlich	Hoch/Sehr hoch	Allgemeine Verbände: Sehr hoch Hersteller: Keine Relevanz/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Sehr hoch Planer und Berater: Hoch	- Spielt zentrale Rolle. - Siehe Punkt "Laufende Kosten (Wartungs- und Inspektionskosten) insb. regelmäßiger Filterwechsel“ - Hohes Investitionshemmnis - Unter Aspekten der Wirtschaftlichkeit schwer umsetzbar.
Bereits bei der Planung zu komplexe, praxisferne Systeme	Mäßig/ Hoch	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Mäßig/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Mäßig	- Anforderungen der Förderkriterien zu komplex, Standardisierte Produkte sind nicht förderfähig, weil Kennwerte für Einzelkomponenten gefordert werden - Komplexität bei den Anforderungen für die Förderung - Die Industrie bietet für die Lüftungsanlagen verschiedenste Komplettsysteme für Neubau und Sanierung an - Systeme oft eher nicht passend zu den sich verändernden Anforderungen / Nutzung.

[23] Relevanz aus Sicht der Befragten: sehr hoch, hoch, mäßig, keine Relevanz

[24] Siehe Anhang für detaillierte Antworten der Befragung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[23] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[24]
Fehlendes (bzw. nicht ausreichend qualifiziertes) Fachpersonal für Ausschreibung v. Inspektion und Sanierungsmaßnahmen => Sanierungsstau	Mäßig	Allgemeine Verbände: Mäßig/Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Keine Relevanz/Sehr hoch Planer und Berater: Mäßig	- Sanierungsstau wird eher durch andere Hemmnisse ausgelöst, wenig Priorität für das Thema Sanierung / Klimaschutz – falls dann doch Entscheidung für Sanierung – qualifiziertes Personal wichtig - qualifiziertes Personal wird erst bei einer tatsächlichen Sanierung benötigt, die Hemmnisse sind eher in der geringen Priorität für Sanierungen und Klimaschutz zu suchen - Kleinere Maßnahmen oder Inspektionen werden in der Gesamtkette mit ggf. Planer / Energieberater / Architekt zu teuer. - Aktuelle Planungstools sind nicht in der Lage komplexe Systeme abzubilden.

3.2.2.5 Technische Hemmnisse

Tabelle 26: Zusammenstellung der technischen Hemmnisse

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[25] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[26]
Zu geringe Effizienz der preisgünstigen Produkte trotz Ökoeffizienzrichtlinie (z. B. Monoblockklimageräte, billige „Baumarkt“-Geräte)	Mäßig	Allgemeine Verbände: Mäßig Hersteller: Keine Relevanz Bauunternehmer / Immobilien: Keine Relevanz/Hoch Planer und Berater: Mäßig	- Ökodesign verhindert zu geringe Effizienz bei < 12kW (Klima, Heizung, Kälte) -> Los 21 ecodesign (auch große Anlagen) - Ökodesign-Richtlinie! - Trotz Ökoeffizienzrichtlinie sind die Geräte häufig nicht miteinander vergleichbar; Herstellerangaben häufig geschönt und Kennwerte sind überwiegend praxisfern - Im Industriesektor vor allem bei Investorenprojekten oder den Bau- und sonstigen Märkten selbst.

[25] Relevanz aus Sicht der Befragten: sehr hoch, hoch, mäßig, keine Relevanz

[26] Siehe Anhang für detaillierte Antworten der Befragung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[25] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[26]
Hohe Komplexität der „gewachsenen“ Anlagen in größeren Gebäuden: - Unübersichtlichkeit - schwierig zu optimieren - hohe Ausfallwahrscheinlichkeit - Regelungsmöglichkeiten entsprechen nicht den Anforderungen (Software und Hardware)	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Mäßig/Hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch/Sehr hoch Planer und Berater: Hoch	- Information und oft Nutzer Investor-Dilemma spielen eine Rolle - Anlagenbetreiber wollen teilweise gar keine Veränderung / Optimierung um den eigenen Aufwand gering zu halten und so dem steigenden Kostendruck im FM Stand zu halten. - Kaum jemand versteht die Anlagen. - Häufig Probleme bei komplexen Systemen mit der Inbetriebnahme

3.2.2.6 Praktische Hemmnisse

Tabelle 27: Zusammenstellung der praktischen Hemmnisse

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[27] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[28]
Hemmnisse gegenüber Beratern: 1. nicht vom Nutzen überzeugt, 2. zu teuer, 3. keine Zeit zur Suche nach Beratern, Beratung zu teuer, 4. keine Weitergabe von Firmendaten an Externe gewünscht, 5. Zweifel an Kompetenz oder Neutralität der Berater, keine passenden Berater gefunden, hörte von schlechten Erfahrungen mit Beratern	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch/Sehr hoch Hersteller: Keine Relevanz/Sehr hoch Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Mäßig	- Vertrauen fehlt - Aber: Auch wenige gut qualifizierte Energieberater im industriellen Sektor. - Bereitschaft zur Investition in Beratung/Begleitung nach wie vor kaum vorhanden. - Weil Anlagen so komplex sind.

[27] Relevanz aus Sicht der Befragten: sehr hoch, hoch, mäßig, keine Relevanz

[28] Siehe Anhang für detaillierte Antworten der Befragung.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einzelhemmnis	Relevanz	Relevanz[27] nach Branche	Aussagen der Befragungsteilnehmer[28]
Ängste der Nutzer/Eigentümer bzgl. der Betriebssicherheit (und Wirtschaftlichkeit) von klimaschonenden/innovativen Konzepten oder bei Betriebsoptimierung von bestehenden Anlagen	Hoch	Allgemeine Verbände: Hoch Hersteller: Keine Relevanz/Mäßig Bauunternehmer / Immobilien: Hoch Planer und Berater: Hoch	- Mieter haben häufig Angst vor fehlenden Konfigurationsmöglichkeiten der Anlagen (Einschränkung der „Freiheit“) - Redundanzen und Sicherheiten werden oft den meist ohnehin erhöhten Kosten solcher Konzepte „geopfert“. - Zweifel an Fachkompetenz.

3.2.3 *Übersicht und Bewertung der Hemmnisse*

In diesem Schritt werden die wesentlichen Einzelhemmnisse einer klimaschonenden Belüftung und Klimatisierung von Gebäuden, sortiert nach den Kategorien betriebswirtschaftliche, informatorische, regulatorische, organisatorische, technische und praktische Hemmnisse aufgelistet und bewertet. Darüber hinaus wird angegeben, ob die entsprechenden Hemmnisse durch die Instrumente im Eckpunktepapier (siehe (ifeu und Ökodesign (2018)) adressiert werden.

Die Hemmnisse werden in der folgenden Tabelle nach den folgenden Kriterien bewertet:

- Roter Hintergrund: Nicht (ausreichend) adressierte, aber wesentliche[29] Hemmnisse
- Hellroter Hintergrund: Nicht (ausreichend) adressierte, aber unterschiedlich bewertete[30] Hemmnisse
- Weißer Hintergrund: Unwesentlichere[31] Hemmnisse
- Gelber Hintergrund: Teilweise adressierte wesentliche oder unterschiedlich bewertete Hemmnisse
- Grüner Hintergrund: Durch die Vorschläge im Eckpunktepapier bereits ausreichend adressierte Hemmnisse

Blaue Schrift: Zusätzlich identifizierten Hemmnisse, die nicht im Rahmen der Stakeholder Workshops des Parallelprojektes genannt wurden.

[29] Wesentliche Hemmnisse: Relevanz „Hoch“ oder „Sehr hoch“

[30] Unterschiedlich bewertete Hemmnisse: Relevanz „Mäßig/Hoch“

[31] Unwesentlichere Hemmnisse: Relevanz „Keine Relevanz“ oder „Mäßig“

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 28: Übersicht und Bewertung der Hemmnisse

Kategorie	Einzelhemmnis	Relevanz[32]	Adressierung durch Maßnahmen im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)
Betriebswirtschaftliche Hemmnisse	Mieter (Nutzer)- Vermieter (Eigentümer, Investor), Konflikt: Begrenzte Umlagemöglichkeit der Investitionskosten bei Neubau und Sanierung	Sehr hoch	
	Hohe Kosten und Risiko der Unwirtschaftlichkeit bei innovativen klimaschonenden Anlagen (z. B. Grundwasserkühlung etc.)	Hoch	Teilweise adressierbar durch Maßnahmenpaket: 7. Optimierung von Förderprogrammen
	Keine ausreichenden Mittel zur Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen (KMU)	Mäßig/Hoch	Teilweise adressierbar durch Maßnahmenpakete: 7. Optimierung von Förderprogrammen
	Anlageninspektion und -Sanierung: Risiko der Unwirtschaftlichkeit (insbesondere bei sehr kleinen Anlagen)	Mäßig/Hoch	Teilweise adressierbar durch Maßnahmenpakete: 5. Forschungsvorhaben Monitoring und Benchmarking 8. Referenzprojekte
	Preisdruck am Markt: Keine ausreichende Betriebsoptimierung, kein Monitoring => Fokus niedrige Investitionskosten, geringe Amortisationszeiterwartungen (<3-5 Jahre) auch bei öffentlicher Hand (BHO § 7 Wirtschaftlichkeitsgebot)	Sehr hoch	Teilweise adressierbar durch Maßnahmenpakete: 9.1. Untersuchung einer möglichen Zählerpflicht (Bedingung: Wirtschaftlichkeit) 9.5. Inspektionsberichte an Vollzugsbehörden übersenden 7. Optimierung von Förderprogrammen
	Zu geringes Aufwand/Nutzen-Verhältnis bei Beantragung von Fördermitteln (insbesondere bei KMU)	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 7. Optimierung von Förderprogrammen
	Zu geringe Förderhöhe für Beratung	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 5. Forschungsvorhaben Monitoring und Benchmarking 7. Optimierung von Förderprogrammen

[32] Relevanz aus Sicht der Befragten: sehr hoch, hoch, mäßig, keine Relevanz

2018 Ecofys – A Navigant Company

Kategorie	Einzelhemmnis	Relevanz[32]	Adressierung durch Maßnahmen im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)
Informatorische Hemmnisse	Falsche Zielrichtung der Förderung 1. Förderung von Leuchtturmprojekten, die nicht das Potential eines Masseneinspareffektes haben 2. Förderung von Konzepten, die nicht (ausreichend) effizient und klimaschonend sind (unzureichende Vergabekriterien oder -Prüfungen)	Mäßig	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 5. Forschungsvorhaben Monitoring und Benchmarking 7. Optimierung von Förderprogrammen
	Bei einer (umfassenden) Sanierung: ggf. Mietausfall zzgl. erhebliche Nebenkosten (durch Trockenbau bei Lüftungselementen in der Abhangdecke höhere Anforderungen an Brandschutz (Bestandsschutz), Asbestentsorgung, Verlust des Bestandsschutzes), Störung im Betriebsablauf, Probleme in das laufende System einzugreifen	Hoch/Sehr hoch	Teilweise adressierbar durch Maßnahmenpaket: 7. Optimierung von Förderprogrammen
	Feste Investitionszyklen bei größeren Unternehmen, erst dann werden Altanlagen mit saniert	Mäßig/Hoch	Anmerkung: Möglichkeit der Einführung einer Nachrüstverpflichtung analog der Heizkesselnachrüstverpflichtung in der EnEV
	Fehlende nichtmonetäre Anreize (Nachhaltigkeitsbewertung berücksichtigt klimaschonende Lüftungstechnik unzureichend)	Mäßig	Adressierbar durch Maßnahmenpaket: 3 Bestandslabel für Klima- und Lüftungsanlagen (Kurzbewertung mit Kennzeichnung)
	Rechnungswesen: Große Wartungsausgaben gelten als Einmalausgaben, über Komponentenansatz können Ausgaben als Aktiva bilanziert und über mehrere Jahre abgeschrieben werden, im Handelsgesetzbuch nicht geregelt.	Mäßig/Hoch	
	Mangelnde Erfahrung/Fachkompetenz der Planer, Installateure, Nutzer beim Einsatz klimaschonender Technologien	Mäßig/Hoch	
	Mangelnde Kenntnis der Förderprogramme und Beratungsinitiativen	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 1: Öffentlichkeitsarbeit für Öffentliche Gebäude durch 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen

2018 Ecofys – A Navigant Company

Kategorie	Einzelhemmnis	Relevanz[32]	Adressierung durch Maßnahmen im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)
	Mangelnde Kenntnis über Kosten/Wirtschaftlichkeit von eigenen Anlagen z. B. fehlende Information zum Verbrauch der Anlagen (i. d. R. keine separaten Zähler) und fehlende Benchmarks zur Einordnung der möglichen Messwerte	Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 3. Bestandslabel für Klima- und Lüftungsanlagen (Kurzbewertung mit Kennzeichnung) für Öffentliche Gebäude durch 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen 7.3. Monitoringkonzepte als Fördervoraussetzung für den Neubau
	Unklarheit darüber, was überhaupt klimaschonende Konzepte sind (Wann ist eine mechanische Lüftung-, wann eine Klimatisierung notwendig? Welche Alternativen zur aktiven Kühlung gibt es? Was sind die besten Optionen (Klima, Ökologie, Wirtschaftlichkeit)?	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 1. Öffentlichkeitsarbeit 8. Referenzprojekte für Öffentliche Gebäude durch 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
	Fehlendes Bewusstsein der Relevanz/des Energieverbrauchs von Klima und Lüftungsanlagen	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 1: Öffentlichkeitsarbeit für Öffentliche Gebäude durch 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
	Fehlende Kenntnis über Möglichkeit und Potenziale einfache Maßnahmen in Eigenleistungen umzusetzen: z. B. Betriebszeiten-, Temperatureinstellungen, Vermeidung von Standby-Verlusten (z. B. Winterabschaltung der Klimaanlage)	Sehr hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 1. Öffentlichkeitsarbeit 8. Referenzprojekte für Öffentliche Gebäude durch 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
	Wissenslücken (unwissenschaftliche Vorurteile): Probleme mit der Luftfeuchtigkeit im Winter oder schlechte Luft in Passivhäusern Mangelnde Kenntnis über die Sicherstellung der Zielparameter im Gebäude durch technologisch bedingte Leistungsbegrenzungen klimaschonender Systeme (z. B. Grundwassernutzung)	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 1. Öffentlichkeitsarbeit für Öffentliche Gebäude durch 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen

2018 Ecofys – A Navigant Company

Kategorie	Einzelhemmnis	Relevanz[32]	Adressierung durch Maßnahmen im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)
Regulatorische Hemmnisse	Unwissenheit bzgl. der gesetzlichen Inspektionspflicht gem. EnEV § 12 und dessen Nutzen	Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 1. Öffentlichkeitsarbeit und 2. Wartungs- und Inspektionsplan für Neuanlagen; Informationen vor dem Anlagenkauf 9.3. Angaben zur energetischen Inspektion von Klimaanlagen auf dem Gebäudeenergieausweis; Stichprobenkontrollen für Öffentliche Gebäude durch 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
	Fehlende Verpflichtung für eine ausreichende Betriebsoptimierung (inkl. Monitoring)	Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 7.3. Monitoringkonzepte als Fördervoraussetzung für den Neubau 9.1. Untersuchung einer möglichen Zählerpflicht (Bedingung: Wirtschaftlichkeit)
	Fehlende Rechtsfolgen (Prüfung und Bußgelder) von EnEV § 12	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpaket: 9.5. Inspektionsberichte an Vollzugsbehörden übersenden
	Fehlende Vorgaben für die Mindesteffizienz zur Klimatisierung von Rechenzentren	Mäßig	
	Fehlende Anreize zum generellen Einsatz bzw. zum über die Mindestanforderungen hinausgehenden Einsatz erneuerbarer Energien (führt häufig zur Nutzung der Ersatzmaßnahme EnEV -15 % durch bauliche Maßnahmen)	Mäßig	Adressierbar für Öffentliche Gebäude durch Maßnahmenpaket: 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
	Verlust des Bestandsschutzes nach Veränderung der Anlage Viele Restriktionen z. B. durch Bauordnungen und Brandschutz bei Neuanlagen	Mäßig/Hoch	
	Mangel an standardisierten Verfahrensvorschriften für Ausschreibungen von Inspektionen gem. EnEV § 12, Berichte und Sanierungspläne	Mäßig/Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 6. Beurteilung der energetischen Qualität von Bestandsanlagen 9.4. Aktueller Stand der Technik für Erstellung Inspektionsberichte; Verankerung DIN SPEC 15240 für Öffentliche Gebäude 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen

2018 Ecofys – A Navigant Company

Kategorie	Einzelhemmnis	Relevanz[32]	Adressierung durch Maßnahmen im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)
	Keine Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12	Hoch	
	Fehlende regulatorische Anforderungen im Gebäudebestand (z.B. Fehlende Sanierungsverpflichtungen aus EnEV § 12 oder Einführung einer Nachrüstverpflichtung analog der Heizkesselnachrüstverpflichtung in der EnEV)	Mäßig/Hoch	
Organisatorische Hemmnisse	Fehlende Verantwortlichkeiten Mieter: Keine Zugriffsrechte auf Zentralanlagen; Vermieter: kein Interesse an Investitionen Facility Manager: i. d. R. für den reibungsfreien Betrieb nicht aber für die Wirtschaftlichkeit verantwortlich	Hoch/Sehr hoch	Adressierbar für Öffentliche Gebäude durch Maßnahmenpaket: 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
	Bereits bei der Planung zu komplexe, praxisferne Systeme	Mäßig/Hoch	Teilweise adressierbar durch Maßnahmenpakete: 8. Referenzprojekte für Öffentliche Gebäude 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
	Fehlendes (bzw. nicht ausreichend qualifiziertes) Fachpersonal für Ausschreibung v. Inspektion und Sanierungsmaßnahmen => Sanierungsstau	Mäßig	Adressierbar für Öffentliche Gebäude durch Maßnahmenpaket: 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen
Technische Hemmnisse	Zu geringe Effizienz der preisgünstigen Produkte trotz Ökoeffizienzrichtlinie (z. B. Monoblockklimageräte, billige „Baumarkt“-Geräte)	Mäßig	
	Hohe Komplexität der „gewachsenen“ Anlagen in größeren Gebäuden: - Unübersichtlichkeit - schwierig zu optimieren - hohe Ausfallwahrscheinlichkeit - Regelungsmöglichkeiten entsprechen nicht den Anforderungen (Software und Hardware)	Hoch	

2018 Ecofys – A Navigant Company

Kategorie	Einzelhemmnis	Relevanz[32]	Adressierung durch Maßnahmen im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)
Praktische Hemmnisse	Hemmnisse gegenüber Beratern: 1. nicht vom Nutzen überzeugt, 2. zu teuer, 3. keine Zeit zur Suche nach Beratern, Beratung zu teuer, 4. keine Weitergabe von Firmendaten an Externe gewünscht, 5. Zweifel an Kompetenz oder Neutralität der Berater, keinen passenden Berater gefunden, hörte von schlechten Erfahrungen mit Beratern	Hoch	
	Ängste der Nutzer/Eigentümer bzgl. der Betriebssicherheit (und Wirtschaftlichkeit) von klimaschonenden/innovativen Konzepten oder bei Betriebsoptimierung von bestehenden Anlagen	Hoch	Adressierbar durch Maßnahmenpakete: 8. Referenzprojekte für Öffentliche Gebäude 4. Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen

3.2.4 Fazit

Die Ergebnisse der Analyse zeigen zum einen, dass durch die im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018) vorgesehenen Instrumente und Maßnahmen der weit überwiegende Teil der relevanten Hemmnisse –zumindest teilweise – abgedeckt werden kann. Durch die zusätzlich identifizierten relevanten Hemmnisse kann die Ausrichtung der vorgesehenen Instrumente und Maßnahmen noch wirkungsvoller gestaltet werden. Darüber hinaus bilden die Ergebnisse der vorliegenden Hemmnisanalyse eine Grundlage für die Entwicklung neuer wirkungsvoller Maßnahmen.

Als wesentliche Hemmnisse, die bislang noch nicht adressiert werden, konnten die folgenden identifiziert werden:

1. Mieter (Nutzer)- Vermieter (Eigentümer, Investor) Konflikt
2. Keine Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12
3. Hohe Komplexität der „gewachsenen“ Anlagen in größeren Gebäuden
4. Hemmnisse gegenüber Beratern

Als noch nicht adressierte Hemmnisse, die von den Befragungsteilnehmern zumindest teilweise als wesentlich bewertet wurden:

1. Feste Investitionszyklen bei größeren Unternehmen
2. Rechnungswesen: Bilanzierung großer Wartungsausgaben
3. Mangelnde Erfahrung/Fachkompetenz der Planer, Installateure, Nutzer
4. Verlust des Bestandsschutzes nach Veränderung der Anlage
5. Fehlende regulatorische Anforderungen im Gebäudebestand

Die Befragten nannten zudem den fehlenden Vollzug regulatorischer Instrumente (EnEV) als erhebliches Hemmnis und gaben zu bedenken, dass zusätzliche Verpflichtungen bspw. im Bestand nicht umgesetzt werden würden, solange der Vollzug nicht gestärkt wird. Als zentraler Punkt werden auch

2018 Ecofys – A Navigant Company

die höheren Kosten von effizienten Lösungen hervorgehoben, der durch optimierte Förderprogramme geeignet zu adressieren ist. Gleichzeitig wird oft und von unterschiedlichen Akteuren die Komplexität der Förderlandschaft als Hemmnis genannt, Fördergelder wahrzunehmen.

Die identifizierten relevanten, aber derzeit noch nicht (ausreichend) adressierten Hemmnisse dienen als Grundlage für die im Rahmen des im folgenden Kapitel zusammengestellten Empfehlungen.

3.3 Empfehlungen

Aufbauend auf den vorangegangenen Analysen zum Anreizsystem Kapitel 3.1, auf der Hemmnisanalyse Kapitel 3.2.2, sowie dem Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018) werden in Kapitel Empfehlungen zu Verbesserungen des bestehenden Anreizsystems gegeben. Dabei werden Handlungsmöglichkeiten zur Steigerung der Effektivität bestehender Anreizsysteme und die Entwicklung neuer Anreizsysteme unterschieden.

In einem zweiten Schritt werden dann die identifizierten Handlungsoptionen mittels festgelegter Indikatoren eingestuft. Die Einstufung erfolgt auf Basis einer Experteneinschätzung.

3.3.1 Hintergrund

Die Evaluierung der Wirkungshemmnisse führte zu der Erkenntnis, dass die im Eckpunktepapier beschriebenen Maßnahmen bereits den weit überwiegenden Teil der relevanten Hemmnisse abdecken. Darüber hinaus wurden jedoch – resultierend aus der Auswertung einer Expertenbefragung – weitere relevante Hemmnisse identifiziert, die im Eckpunktepapier noch nicht (ausreichend) adressiert wurden.

Diese wesentlichen und im Eckpunktepapier noch nicht (ausreichend) adressierten Hemmnisse sind:

1. Mieter - Vermieter (bzw. Nutzer - Eigentümer/Investor) Konflikt,
2. Keine Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12
3. Hohe Komplexität der „gewachsenen“ Anlagen in größeren Gebäuden und
4. Hemmnisse gegenüber Beratern.

3.3.2 Schritt 1a: Steigerung der Effektivität bestehender Anreizsysteme

In diesem Schritt werden, basierend auf der Analyse des bestehenden Anreizsystems und der Hemmnisanalyse, mögliche Optionen untersucht, die die Wirksamkeit des bestehenden Systems erhöhen könnten.

Das bestehende Anreizsystem und die Wirkungshemmnisse wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die regulatorischen, finanziellen und Beratungs- und Informationsinstrumente, die identifiziert wurden, und informiert über Wirksamkeit und Hemmnisse der einzelnen Instrumente.

Zudem werden Verbesserungsvorschläge aufgeführt, die entweder aus dem Eckpunktepapier oder im Rahmen der Bearbeitung des vorliegenden Arbeitsschrittes vom Auftragnehmer erarbeitet wurden. Die neuen Vorschläge sind in den folgenden Tabellen blau hervorgehoben.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 29: Übersicht Verbesserungsvorschläge

Instrument	Hemmnisse[33]	Verbesserungsvorschläge
Regulatorische Instrumente		
Ökodesign Richtlinie (2009/125/EG) *RLT- sowie Klimatechnische-Neuanlagen:* • *Ventilatoren mit 125 W – 500 kW* • *Raumklimageräte ≤ 12 kW (Kühlung / Heizung), Komfortventilatoren ≤ 125 W* • *Nassläufer-Umwälzpumpen* • *Wohn- und Nichtwohnlüftungsgeräte*	-	• Ökodesign-Richtlinie für Klimageräte: Honorierung von Freikühlmöglichkeiten bei Klimageräten. Dies wäre jedoch auf europäischer Ebene abzustimmen.

[33] Aufgeführt sind hierbei nur Hemmnisse, die im Bericht zur AP 2b mit einer Relevanz von Mäßig/Hoch oder höher eingestuft wurden und gleichzeitig direkten Bezug auf die bestehenden Instrumente haben.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Hemmnisse[33]	Verbesserungsvorschläge
EnEV-Anforderungen für Neubauten *Anforderung an den maximalen Primärenergiebedarf von Neubauten* **EnEV § 12 Inspektion von Klimaanlagen** *Energetische Inspektion von Klimaanlagen* • *Klimaanlagen mit Kälteleistung über 12 kW* **EnEV § 15 Anlagen der Kühl- und Raumlufttechnik** • *Bestand* • *Klimaanlagen mit Kälteleistung über 12 kW* • *Lüftungsanlagen größer 4.000 m³/h* **EEWärmeG: Kälte aus EE** • *Kälteerzeugung aus erneuerbaren Energien* • *Raumlufttechnische Anlagen (RLT) mit Wärmerückgewinnung (WRG)*	• Unwissenheit bzgl. der gesetzlichen Inspektionspflicht gem. EnEV § 12 und dessen Nutzen ⇨ Relevanz: Hoch • Fehlende Rechtsfolgen (Prüfung und Bußgelder) von EnEV § 12 ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Mangel an standardisierten Verfahrensvorschriften für Ausschreibungen von Inspektionen gem. EnEV § 12, Berichte und Sanierungspläne ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Keine Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12 ⇨ Relevanz: Hoch • Fehlende regulatorische Anforderungen im Gebäudebestand (z. B. Fehlende Sanierungsverpflichtungen aus EnEV § 12 oder Einführung einer Nachrüstverpflichtung analog der Heizkesselnachrüstverpflichtung in der EnEV) ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Fehlende Verpflichtung für eine ausreichende Betriebsoptimierung ⇨ Relevanz: Hoch	• Einführung einer möglichen Zählerpflicht bei Neuanlagen • Definition von Klimaanlagen in der EnEV • Angaben zur energetischen Inspektion von Klimaanlagen auf dem Gebäudeausweis, Stichprobenkontrollen • Verankerung der DIN SPEC 15240 für Inspektionsberichte • Inspektionsberichte verpflichtend an Vollzugsbehörden senden • Bewehrung von § 12 und § 15 mit Bußgeldern • Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12 • Einführung von Nachrüstverpflichtungen bei Klima und Lüftungsanlagen z. B. für Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung bei großen Lüftungsanlagen • Honorierung einer Verpflichtung zur Betriebsoptimierung bei der Primärenergiekennwertberechnung • EnEV: Realistischere Berechnungs-Randbedingungen zur Bestimmung des Klimakältebedarfs für Energiebedarfsausweise • Darstellung der Verbrauchswerte „Kälte“ in Energieverbrauchsausweisen
ErP-Richtlinie EU1253/2014 für Lüftungsanlagen *Regelt offiziell das Inverkehrbringen von Lüftungsgeräten*	• Verlust des Bestandsschutzes nach Veränderung der Anlage ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	• Klarstellung zu EU1253/2014 formulieren, die die bestehenden Hemmnisse für eine effiziente Anlagensanierung beseitigt. Dies wäre jedoch auf europäischer Ebene abzustimmen.
Finanzielle Instrumente		
Unternehmen		
BAFA - Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien • *Ventilatoren sowie Anlagen zur Wärmerückgewinnung* • *Neuanschaffungen eingeschlossen* **KfW Energieeffizienzprogramm Energieeffizient Bauen und Sanieren (Nichtwohngebäude)** (Programm 276, 277, 278) • *Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes*	• Zu geringes Aufwand/Nutzen-Verhältnis bei Beantragung von Fördermitteln ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Zu geringe Förderhöhe für Beratung ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Komplexität der Förderlandschaft	• Wiederaufnahme der Maßnahmen an gebäudetechnischen Anlagen in das BAFA Programm Querschnittstechnologien • Übersicht für mögliche Fördermittel abhängig vom Anlagentyp erstellen ⇨ Aufnahme in zu erstellende Informationsmaterialien (Onlinetool: Förderkompass Klima Lüftung) • Förderhöhe für Beratung einführen/anheben: ⇨ auf 80 % und maximal 3.000 € anheben (aktuell:

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Hemmnisse[33]	Verbesserungsvorschläge
• *Raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung* • *Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen* **NKI - Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlagen** *Förderung von Klima- und Kälteanlagen* • *Kompressions-Kälteanlagen, Sorptionskälte- und Klimaanlagen, Kühlung und Heizungsanlagen* **BAFA - Förderung von Energiemanagementsystemen** *Förderung von Energiemanagementsystemen* • *Erstzertifizierung DIN EN ISO 50001* • *Erwerb von Messtechnik und Software* **Pilotprogramm Einsparzähler** *Gefördert werden Projekte, die Strom, Gas, Wärme oder Kälte bei Dritten einsparen*		Querschnittstechnologien: 60 %/3.000 €, KfW: keine Förderung, NKI: 80 %/1.000 €, BAFA: 60 %/3.000 €) • Erweiterung des Programms Einsparzähler um Teil mit Schwerpunkt: Bestimmung des Energiebedarfs (Strom, Wärme und Kälte) von Klima- und Lüftungsanlagen Details: Siehe separate Ausarbeitungen
Kommunen und soziale Organisationen	Unter diese Gruppe fallen nur ca. 7 % des Bestandes größeren Lüftungsanlagen[34]	
IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren (Programm 218) *Als Einzelmaßnahme* • *Verbesserung sommerlicher Wärmeschutz* • *Raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung* • *Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-anlagen*	• siehe „Finanzielle Instrumente“ für Unternehmen	• Übersicht für mögliche Fördermittel abhängig vom Anlagentyp erstellen ⇨ Aufnahme in zu erstellende Informationsmaterialien (Onlinetool: Förderkompass Klima Lüftung) • Förderhöhe für Beratung einführen/anheben: ⇨ auf 80 % und maximal 3.000 € anheben (aktuell: IKK: keine Förderung, IKU: keine Förderung, NKI-Kommunal: keine Förderung, NKI: 80 % / 1.000 €)

[34] Gem. Ausarbeitungen zur Abschätzung zur angedachten Inspektion von Lüftungsanlagen, übermittelt an das BMWi am 21.11.2016

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Hemmnisse[33]	Verbesserungsvorschläge
IKU – Bauen und Sanieren (Programm 220) *Als Einzelmaßnahme* • *Verbesserung sommerlicher Wärmeschutz* • *Raumluft- und klimatechnischer Anlagen inkl. Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung* • *Wärme/Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung inkl. Kraft-Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-anlagen* **NKI-Kommunalrichtlinie** *Investive Klimaschutzmaßnahmen in Form von Zuschüssen* • *Raumlufttechnische Geräte* • *Energie- und Ressourceneffizienz von Rechenzentren* **NKI - Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlagen** *Förderung von Klima- und Kälteanlagen* • *Kompressions-Kälteanlagen, Sorptionskälte- und Klimaanlagen, Kühlung und Heizungsanlagen*		
Private Eigentümer von Wohngebäuden und Immobilienwirtschaft	Der Anteil der Wohnungslüftungsanlagen am Gesamtenergiebedarf im Bereich Lüftung- und Klimaanlagen wird als gering eingestuft.[35]	
KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren (Programm 151, 153, 430) *Beinhaltet:* *Anreizprogramm Energieeffizienz Lüftungspaket: Vermeidung von Bauschäden* • *Lüftungsanlage* • *Lüftungspaket: Kombination des Einbaus von Lüftungsanlagen mit mindestens einer weiteren förderfähigen Maßnahme an der Gebäudehülle.* **BAFA Förderung (MAP)** *Solarkollektoranlagen zur kombinierten Warmwasserbereitung und*	✓ -	-

[35] Siehe Bericht AP2b Hemmnisanalyse vom 23.11.2016

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Hemmnisse[33]	Verbesserungsvorschläge
Heizungsunterstützung, solare Kälteerzeugung oder Wärmenetzzuführung **KfW Erneuerbare Energien – Premium** **Förderung STEP:up! "STromEffizienzPotentiale nutzen"** *Pilotprogramm zu Energieeffizienz über wettbewerbliche Ausschreibungen*		
	✓ **Beratung und Information**	
Förderung von Energieberatung im Mittelstand • *RLT-Bestands- und Neuanlagen* • *Klimatechnische Bestands- und Neuanlagen* **BAFA – Vor-Ort-Beratung** Förderung für Wohngebäude • *RLT-Bestands- und Neuanlagen* • *Klimatechnische Bestands- und Neuanlagen*	• Mangelnde Kenntnis der Förderprogramme und Beratungsinitiativen ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	Optimierung der Förderprogramme: • Förderung für energetische Inspektionen von Lüftungsanlagen ○ Aufbauend auf bisheriger Förderung von Energieberatung im Mittelstand Förderung von energetischen Inspektionen von reinen Lüftungsanlagen (Förderhöhe 80 %)
Empfehlungen der AMEV *Unterstützung staatlicher und kommunaler Verwaltungen bei Vertragsvorlagen und Ausschreibungen*	• Fehlende Kenntnis über Möglichkeit und Potentiale einfache Maßnahmen in Eigenleistungen umzusetzen ⇨ Relevanz: Sehr hoch • Fehlende Verantwortlichkeiten ⇨ Relevanz: Hoch/Sehr hoch • Mangelnde Kenntnis über Kosten/ Wirtschaftlichkeit von eigenen Anlagen ⇨ Hoch • Unwissenheit bzgl. der gesetzlichen Inspektionspflicht gem. EnEV § 12 und dessen Nutzen ⇨ Relevanz: Hoch • Ängste der Nutzer/Eigentümer bzgl. der Betriebssicherheit ⇨ Relevanz: Hoch • Mangelnde Kenntnis der Förderprogramme und Beratungsinitiativen ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Unklarheit darüber, was überhaupt klimaschonende Konzepte sind ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Fehlendes Bewusstsein der Relevanz/des Energieverbrauchs von Klima und Lüftungsanlagen ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	• Aktualisierung der AMEV-Empfehlungen ○ Klima- und Lüftungsanlagen: Zusätzlicher Verweis auf DIN SPEC 15240 ○ Arbeitskarten für Lüftungsanlagen sowie Kälteanlagen: Ergänzung um energetische Inspektion ○ Zusammenführung der Empfehlungen für Klima- und Lüftungsanlagen

2018 Ecofys – A Navigant Company

Instrument	Hemmnisse[33]	Verbesserungsvorschläge
	• Wissenslücken (z. B. Luftfeuchtigkeit im Winter) ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Mangel an standardisierten Verfahrensvorschriften für Ausschreibungen von Inspektionen gem. EnEV § 12, Berichte und Sanierungspläne ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Bereits bei der Planung zu komplexe, praxisferne Systeme ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	
Öffentlichkeitsarbeit über Fachveranstaltungen und Kongresse	• Unklarheit darüber, was überhaupt klimaschonende Konzepte sind ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Fehlendes Bewusstsein der Relevanz/des Energieverbrauchs von Klima und Lüftungsanlagen ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Wissenslücken (z. B. Luftfeuchtigkeit im Winter) ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	• Information über Effizienzpotentiale bei Klima- und Lüftungsanlagen über ○ Fachveranstaltungen ○ Kongresse ○ Netzwerke ○ Immobilienwirtschaft
Forschungsnetzwerk „Energie in Gebäuden und Quartieren“ mit der Forschungsinitiative EnOB *mit Schwerpunkt energetische Betriebsoptimierung*	• Fehlendes Bewusstsein der Relevanz/des Energieverbrauchs von Klima und Lüftungsanlagen ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	• Forschungsvorhaben Monitoring und Benchmarking aufbauend auf EnOB-Erkenntnissen ○ Energetische und wirtschaftliche Potentiale von Klima- und Lüftungsanlagen erarbeiten ○ Benchmarkingsystem auf Grundlage von Monitoringdaten erstellen

3.3.3 Schritt 1b: Entwicklung neuer Anreizinstrumente

Im vorherigen Kapitel sind die Hemmnisse und Verbesserungsvorschläge für die bestehenden Anreizinstrumente dargestellt worden.

In diesem Schritt werden Vorschläge für neue Handlungsoptionen dargestellt. Zunächst werden die bereits im Eckpunktepapier erarbeiteten neuen Instrumente aufgeführt und den Hemmnissen zugeordnet, die sie potentiell beheben können.

Anschließend werden aus der Hemmnisanalyse in Offermann et al. [2016] die noch nicht adressierten wesentlichen und als „teilweise wesentlich“ bewerteten Hemmnisse und die wesentlichen Hemmnisse, die durch das Eckpunktepapier nur teilweise adressiert werden konnten, aufgeführt. Zu diesen werden neue Vorschläge für mögliche Instrumente dargestellt.

In der folgenden Tabelle sind die neuen Instrumente aus dem Eckpunktepapier und die zugeordneten Hemmnisse aufgeführt.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 30: Übersicht möglicher neuer Instrumente gem. Eckpunktepapier [Weiß, 2016]

Hemmnisse[36]	Neues Instrument aus Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)	Gegenstand
• Fehlende Kenntnis über Möglichkeit und Potenziale einfache Maßnahmen in Eigenleistungen umzusetzen ⇨ Relevanz: Sehr hoch • Unwissenheit bzgl. der gesetzlichen Inspektionspflicht gem. EnEV § 12 und dessen Nutzen ⇨ Relevanz: Hoch • Mangelnde Kenntnis der Förderprogramme und Beratungsinitiativen ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Unklarheit darüber, was überhaupt klimaschonende Konzepte sind ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Fehlendes Bewusstsein der Relevanz/des Energieverbrauchs von Klima und Lüftungsanlagen ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Wissenslücken (z. B. Luftfeuchtigkeit im Winter) ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	Öffentlichkeitsarbeit: BMWi Infoflyer	• Entwicklung eines offiziellen Informationsfaltblatts mit Logo des BMWi zur Erstansprache von Anlagenbetreibern • Kompakte Information zur energetischen Inspektion und zu Einsparpotenzialen von Klima- und Lüftungsanlagen Zielgruppen sind: ○ Kleine Unternehmen mit einem Fallbeispiel für einfache Klimaanlagen ○ Mittlere und große Unternehmen mit komplexen Systemen mit einem Fallbeispiel für kombinierte Klima- und Lüftungsanlagen.
	Öffentlichkeitsarbeit: Internetpräsenz	• Entwicklung einer Internetpräsenz, die inhaltlich auf dem BMWi Infoflyer aufbaut.
	Öffentlichkeitsarbeit: Ausführliche Broschüre	• Entwicklung einer Broschüre, die ausführlichere Informationen basierend auf dem BMWi Infoflyer bereitstellt. • Die Broschüre soll den Betreiber mit den folgenden Hilfsmitteln durch die Schritte zur energetischen Sanierung leiten: ○ Checklisten ○ Links zu zusätzlichen Informationsquellen ○ Links zur Beantragung von Fördermitteln
• Unwissenheit bzgl. der gesetzlichen Inspektionspflicht gem. EnEV § 12 und dessen Nutzen ⇨ Relevanz: Hoch	Wartungs- und Inspektionsplan für Neuanlagen	• Entwicklung eines Wartungs- und Inspektionsplans, der dem Betreiber durch den Planer oder Anlagenbauer übergeben wird. • Regelmäßige Optimierung des realen Betriebs
• Mangelnde Kenntnis über Kosten/ Wirtschaftlichkeit von eigenen Anlagen ⇨ Hoch	Bestandslabel für Klima- und Lüftungsanlagen	• Entwicklung eines Bestandslabels für Klimaanlagen sowie für reine Lüftungsanlagen. • Bewertung und Labelvergabe auf Grundlage einer qualitativen Bewertung: ○ Energetische Inspektion durchgeführt? ○ Betriebsoptimierung durchgeführt? ○ Welche Schwerpunktmaßnahmen wurden empfohlen?

[36] Aufgeführt sind hierbei nur Hemmnisse, die im Bericht zur AP2b mit einer Relevanz von Mäßig/Hoch oder höher eingestuft wurden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Hemmnisse[36]	Neues Instrument aus Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)	Gegenstand
• Mangel an standardisierten Verfahrensvorschriften für Ausschreibungen von Inspektionen gem. EnEV § 12 ⇨ Mäßig/Hoch	Beurteilung von Bestandsanlagen: Best-Practice-Beispiele Anlagenbewertung	• Erleichterung der energetischen Bewertung von Bestandsanlagen durch Leitfäden/Handbücher • Anlehnung an bestehende Best-Practice-Beispiele: o Bundeswehr Gebäudehandbuch zur Bestandsanlagenbewertung o Erfahrungen EnOB-Forschungsinitiative
	Beurteilung von Bestandsanlagen: Berechnungstools	• Entwicklung von Berechnungstools, die für die Beurteilung der energetischen Qualtität von Bestandsanlagen für Klimatisierung und Lüftung geeignet sind o auf Basis eines Standardsystems mit Teilkomponenten und Nutzung von Vergleichswerten ähnlicher Anlagen o inklusive Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
• Fehlende Kenntnis über Möglichkeit und Potenziale einfache Maßnahmen in Eigenleistungen umzusetzen ⇨ Relevanz: Sehr hoch • Ängste der Nutzer/Eigentümer bzgl. der Betriebssicherheit ⇨ Relevanz: Hoch • Unklarheit darüber, was überhaupt klimaschonende Konzepte sind ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Bereits bei der Planung zu komplexe, praxisferne Systeme ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch • Anlageninspektion und -Sanierung: Risiko der Unwirtschaftlichkeit ⇨ Relevanz: Mäßig/Hoch	Referenzprojekte	• Aufzeigen gelungener Wege zur energetischen Sanierung • Aktuellen Stand der Technik darstellen • Referenzprojekte sollten einen Großteil der Systeme im Gebäudebestand darstellen

Die Hemmnisanalyse ergab, dass noch weitere wesentliche bzw. als „teilweise wesentlich“ bewertete Hemmnisse bestehen, die noch nicht oder nur teilweise durch das Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018) adressiert wurden.

In den folgenden Tabellen werden diese Hemmnisse aufgeführt und neue Vorschläge für Instrumente dargestellt, die diese potentiell beheben können.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 31: Vorschläge für weitere neue Instrumente

Hemmnisse	Neues Instrument von Auftragnehmern	Gegenstand
Wesentliche Hemmnisse[37] (noch nicht adressiert)		
Mieter (Nutzer)- Vermieter (Eigentümer, Investor) Konflikt Relevanz: Sehr hoch	1. Förderprogramm: Unabhängige Beratung zur Hebung der Potenziale von Klima und Lüftungsanlagen in vermieteten Gebäuden 2. Information zu Best Practice Beispielen und ggf. o. g. Förderprogramm „Unabhängige Beratung“ 3. Anpassung HeizkostenVO; Wissenschaftliche Vorbereitung und Normungsarbeit	1. Ziel: Bestimmung von a. wirtschaftlichen Effizienzmaßnahmen bei Klima- und Lüftungsanlagen in vermieteten Objekten b. gerechtfertigten umlagefähigen Kosten Einfache Antragstellung per Internet durch Mieter und Vermieter Anlagengröße > 3.000 m³/h bzw. 12 kW-Nennkühlleistung Förderhöhe abhängig von der Anlagengröße, z. B. 1.000 € pro angefangene 10.000 m³/h bzw. 30 kW-Nennkühlleistung, Deckelung auf 5.000 €. Deckung bis zu 100 %. 2. Auf Internetpräsenz und/oder im Rahmen von Vorträgen auf Veranstaltungen für Mieter und Vermieter informieren. 3. Ziel: Regeln für die Umlage von Energiekosten auf Mieter a. Transparenz der Energiekosten b. Motivation und wirtschaftliche Anreize für energiesparendes Verhalten
Keine Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12 Relevanz: Hoch	Vorschläge siehe Tabelle „Verbesserungen des bestehenden Anreizsystems“	Siehe oben
Hohe Komplexität der „gewachsenen“ Anlagen in größeren Gebäuden: - Unübersichtlichkeit - schwierig zu optimieren - hohe Ausfallwahrscheinlichkeit - Regelungsmöglichkeiten entsprechen nicht den Anforderungen Relevanz: Hoch	Neues Förderprogramm mit Fokus auf Optimierung von bestehenden Klima- und Lüftungsanlagen	Antragstellung per Internet; Auszahlung nach Vorlage von Rechnungsnachweis und Spezifizierung der durchgeführten Maßnahmen gem. Beratungsbericht (Grundvoraussetzung) Förderhöhe als Investitionszuschuss abhängig von der Anlagengröße, z. B. 2.000 € pro angefangene 10.000 m³/h bzw. 30 kW-Nennkühlleistung, Deckung bis zu 100 %

[37] Aufgeführt sind hierbei nur Hemmnisse, die im Bericht zur AP2b mit einer Relevanz von Hoch oder höher eingestuft wurden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Hemmnisse	Neues Instrument von Auftragnehmern	Gegenstand
Hemmnisse gegenüber Beratern: 1. nicht vom Nutzen überzeugt, 2. zu teuer, 3. keine Zeit zur Suche nach Beratern, Beratung zu teuer, 4. keine Weitergabe von Firmendaten an Externe gewünscht, 5. Zweifel an Kompetenz oder Neutralität der Berater, kein passender Berater gefunden, hörte von schlechten Erfahrungen mit Beratern Relevanz: Hoch	1. Beraterliste Klima-Lüftung erweitern 2. Schulung der Berater mit Prüfung und Abschlusszertifikat	1. Liste auf BMWi-Onlineportal https://www.energie-effizienz-experten.de/sie-sindbauherr/expertensuche/ um die Sonderqualifikation Klima Lüftung erweitern (am besten mit Möglichkeit positiven Feedbacks (Nachweis der Richtigkeit der Prognosen), bzw. Referenzkontakte (falls vom Kunden freigegeben)) 2. Z.B. im Rahmen des bereits vorhandenen BTGA Seminars welches alle wesentlichen Inhalte und Tätigkeiten nach DIN SPEC 15240 vermittelt und dessen erfolgreicher Abschluss (neu wäre hierbei eine Prüfung) durch ein Zertifikat der Bundesprüfstelle Technische Gebäudeausrüstung e. V. bescheinigt wird.
Wesentliche Hemmnisse[38] (teilweise bereits adressiert)		
Hohe Kosten und Risiko der Unwirtschaftlichkeit bei innovativen klimaschonenden Anlagen Relevanz: Hoch	Freiwillige Datenerfassung zur Effizienzkontrolle der Anlagen	Internetportal zur Einordnung der eigenen Anlage (Benchmarks). Das Portal könnte die Grundlage für ein Anlagenregister bilden.
Preisdruck am Markt: Keine ausreichende Betriebsoptimierung, kein Monitoring Relevanz: Sehr hoch		
Bei einer (umfassenden) Sanierung: ggf. Mietausfall zzgl. erhebliche Nebenkosten Relevanz: Hoch/Sehr hoch		
Fehlende Verantwortlichkeiten Mieter: Keine Zugriffsrechte auf Zentralanlagen; Vermieter: kein Interesse an Investitionen		

[38] Aufgeführt sind hierbei nur Hemmnisse, die im Bericht zur AP 2b mit einer Relevanz von Hoch oder höher eingestuft wurden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Hemmnisse	Neues Instrument von Auftragnehmern	Gegenstand
Facility Manager: i. d. R. für den reibungsfreien Betrieb nicht aber für die Wirtschaftlichkeit verantwortlich Relevanz: Hoch/Sehr hoch		
Ängste der Nutzer/Eigentümer bzgl. der Betriebssicherheit Relevanz: Hoch		
Teilweise als wesentlich bewertete Hemmnisse[39] (noch nicht adressiert)		
Feste Investitionszyklen bei größeren Unternehmen Relevanz: Mäßig/Hoch	Siehe oben „Neues Förderprogramm: Optimierung von bestehenden Klima und Lüftungsanlagen“	Siehe oben
Rechnungswesen: Bilanzierung großer Wartungsausgaben Relevanz: Mäßig/Hoch		
Mangelnde Erfahrung / Fachkompetenz der Planer, Installateure, Nutzer Relevanz: Mäßig/Hoch	1. Zielgruppenspezifische Schulungen für Planer, Installateure, Nutzer	1. Aufbau und Durchführung von Schulungsprogrammen
Verlust des Bestandsschutzes nach Veränderung der Anlage Relevanz: Mäßig/Hoch	Siehe Vorschlag Klarstellung zu EU1253/2014 gem. Tabelle „Verbesserungen des bestehenden Anreizsystems“ in Schritt 1a	
Fehlende regulatorische Anforderungen im Gebäudebestand Relevanz: Mäßig/Hoch	Siehe Vorschlag „EnEV Nachrüstverpflichtungen“ gem. Tabelle „Verbesserungen des bestehenden Anreizsystems“ in Schritt 1a	
Sonstige		
Fehlende Anforderung für die Klimatisierung von Rechenzentren Relevanz: Mäßig	Begleitendes Förderprogramm für Rechenzentren	Entwicklung eines Förderprogramms für Rechenzentren z. B. in Anlehnung an die klimatechnischen Vorgaben des Blauen Engels für Rechenzentren (RAL UZ 161) (z. B. nach Vorbild Baden-Württemberg)

[39] Aufgeführt sind hierbei nur Hemmnisse, die im Kapitel 3.2 mit einer Relevanz von Mäßig/Hoch oder höher eingestuft wurden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.3.4 Schritt 2: Bewertung der Handlungsoptionen

In diesem Schritt werden die Handlungsoptionen, die in Schritt 1a und 1b identifiziert wurden, in eine Bewertungsmatrix mit den folgenden Kategorien überführt:

- Art der Handlungsoption
- Adressierter Inhalt (Neubau / Bestand, Anlage / Betrieb (-soptimierung), Lüftung / Klima)
- Adressierte Akteure (Hersteller, Planer, Installateure, Inspektoren, Betreiber)
- Wirkungskriterien:
  a) *Hemmnis-Adressierung*
  Hierbei wird bewertet ob, und wenn ja wie viele Hemmnisse mit welcher Relevanz adressiert werden. Darüber hinaus wird bewertet, ob die Hemmnisse durch die Handlungsoption hinreichend adressiert werden können.
  b) Mögliche Reichweite[40]
  Die Bewertung der möglichen Reichweite erfolgt bezogen auf den gesamten Primärenergieverbrauch Lüftungs- und Klimaanlagen. Dieser wird eingeschränkt, wenn Instrumente nur auf bestimmte Bereiche z. B. Öffentliche Gebäude / Neuanlagen oder Inhalte z. B. Neubau bezogen werden.
  c) Erwartete Wirkung bezogen auf Reichweite
  Hierbei soll die erwartete Wirkung eines Instrumentes hinsichtlich der Bezugs-Reichweite beurteilt werden
  d) Erwartete Wirkung bezogen auf Instrumentenart[41]
  Es ist davon auszugehen, dass unterschiedliche Instrumente eine unterschiedliche Wirkung besitzen. So ist zu erwarten, dass ordnungsrechtlich bewährte Instrumente grundsätzlich eine deutlich höhere Wirkung als Förderprogramme oder Informationsinitiativen haben.
  e) Erwartete Gesamtwirkung
  Die Einschätzung der erwarteten Gesamtwirkung erfolgt unter Berücksichtigung der Reichweite und der diesbezüglichen Wirkung.
- Institutionelle Kriterien
  a) Kosten[42]
  Erwartete Gesamtkosten zur Umsetzung des Instruments
  b) Kosten / Wirkung
  Effizienz hinsichtlich der Wirkung in Bezug auf die Kosten
  c) Politische Durchsetzbarkeit
  Berücksichtigung von nichtmonetären Hemmnissen (z. B. rechtliche Aspekte oder Widerstände von bestimmten Akteursgruppen)
- Gesamtbewertung

Für die Gesamtbewertung wird die folgende Gewichtung der relevantesten Einzelbewertungen der Bewertungsmatrix vorgeschlagen/berücksichtigt:

[40] Vorschlag für Bewertungsskala: ++: >90 %; +: >50 %; o: >10 %; -: >5 %; --: <5 %; Bezug: Gesamter Primärenergieverbrauch Lüftung und Klima

[41] Informelle Maßnahmen (geringe Wirkung), Förderungen (höhere Wirkung), (bewährte) ordnungsrechtliche Maßnahmen (höchste Wirkung)

[42] Vorschlag für Bewertungsskala: ++: <10.000 €; +: <100.000 €; o: <1 Mio. €; -: < 10 Mio. €; --: <10 Mio. €; Bezug: Erwartete Gesamtkosten zur Umsetzung des Instruments

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 32: Gewichtung der relevantesten Einzelbewertungen

Indikator	Gewichtung für Gesamtbewertung
Erwartete Gesamtwirkung	15 %
Kosten	5 %
Kosten / Wirkung	30 %
Politische Durchsetzbarkeit	50 %
Gesamtbewertung	100 %

Für die Skalierung der Einzelbewertungen zur Ermittlung der Gesamtbewertung wird die folgende Zuordnung vorgeschlagen/berücksichtigt:

Tabelle 33: Skalierung der Einzelbewertungen zur Ermittlung der Gesamtbewertung

Bewertung	Skalierung
++	2
+	1
O	0
-	-1
--	**-2**

Auf der Grundlage des obengenannten Bewertungsvorschlages wurde eine Bewertung der vorliegenden Handlungsoptionen vorgenommen, die als Diskussionsgrundlage zur Festlegung derjenigen Optionen dienen soll, die im Projektverlauf weiterentwickelt und detaillierter untersucht werden sollten.

Die vier best-bewerteten Handlungsoptionen sind in der Spalte „Gesamtbewertung“ rot hervorgehoben.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 34: Bewertungsmatrix

Effektivität: ++: sehr gut; +: gut; o: mittel; -: schlecht; --: sehr schlecht

Handlungsoption		Adressierter Inhalt						Adressierte Akteure				
	Art der Handlungsoption	Neubau	Bestand	Anlage	Betrieb	Lüftung	Klima	Hersteller	Planer	Installateure	Inspektoren	Betreiber
1.1 Öffentlichkeitsarbeit: BMWi-Infoflyer	Information		x	x	x	x	x					x
1.2 Öffentlichkeitsarbeit: Internetpräsenz	Information	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.3 Öffentlichkeitsarbeit: Ausführliche Broschüre	Information		x	x	x	x	x					x
1.4 Öffentlichkeitsarbeit: Kongresse und Fachveranstaltungen	Information	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
2. Wartungs- und Inspektionsplan für Neuanlagen	Information	x			x	x	x		x	x	x	x
3. Bestandslabel für Klima- und Lüftungsanlagen	Information/ Verpflichtung		x	x	x	x	x			x	x	x
4. Aktualisierung AMEV-Empfehlungen	Information	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
5. Forschungsvorhaben Monitoring und Benchmarking	Information	x	x	x	x	x	x		x		x	x
6.1 Beurteilung von Bestandsanlagen: Best-Practice-Beispiele Anlagenbewertung	Information		x	x	x	x	x				x	
6.2 Beurteilung von Bestandsanlagen: Berechnungstools	Information		x	x	x	x	x				x	
7.1 Optimierung Förderprogramme: Förderung für energetische Inspektionen von Lüftungsanlagen (Onlinetool)	Förderung		x	x	x	x	x		x		x	x
7.2 Optimierung Förderprogramme: a) Wiederaufnahme der Maßnahmen an gebäude-technischen Anlagen in das BAFA Programm Querschnittstechnologien	Förderung		x	x	x	x	x		x		x	x
7.2 Optimierung Förderprogramme: Übersicht für mögliche Fördermittel abhängig vom Anlagentyp erstellen	Information	x	x	x	x	x	x		x		x	x
7.3 Optimierung Förderprogramme: Monitoringkonzepte als Fördervoraussetzung im Neubau	Förderung	x			x	x	x	x	x	x	x	x
8. Referenzprojekte	Information		x	x	x	x	x		x		x	x
9.1 EnEV-Novelle: Untersuchung einer möglichen Zählerpflicht	Verpflichtung	x	x	x		x	x	x	x	x		x
9.2 EnEV-Novelle: Definition von Klimaanlagen in der EnEV	Verpflichtung	x	x	x			x		x			x

2018 Ecofys – A Navigant Company

Handlungsoption	Art der Handlungsoption	Adressierter Inhalt						Adressierte Akteure				
		Neubau	Bestand	Anlage	Betrieb	Lüftung	Klima	Hersteller	Planer	Installateure	Inspektoren	Betreiber
9.3 EnEV-Novelle: Angaben zur energetischen Inspektion von Klimaanlagen auf dem Gebäudeausweis, Stichprobenkontrollen	Verpflichtung		x		x		x				x	x
9.4 EnEV-Novelle: Aktueller Stand der Technik für Inspektionsberichte	Verpflichtung		x		x		x				x	x
9.5 EnEV-Novelle: Inspektionsberichte an Vollzugsbehörden	Verpflichtung		x		x		x				x	x
Ökodesign-Richtlinie: Honorierung von Freikühlmöglichkeiten bei Klimageräten	Verpflichtung	x		x			x	x				
EnEV: Bewehrung von § 12 und § 15 mit Bußgeldern	Verpflichtung		x	x	x	x	x				x	x
EnEV: Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12	Verpflichtung		x		x	x					x	x
EnEV: Einführung von Nachrüstverpflichtungen bei Klima und Lüftungsanlagen	Verpflichtung		x	x		x	x				x	x
EnEV: Honorierung einer Verpflichtung zur Betriebsoptimierung bei der Primärenergiekennwertberechnung	Verpflichtung	x	x		x	x	x		x			x
EnEV: Darstellung der Verbrauchswerte "Kälte" in Energieverbrauchsausweisen	Verpflichtung		x	x	x		x			x	x	x
EnEV: Realistischere Berechnungs-Randbedingungen zur Bestimmung des Klimakältebedarfs für Energiebedarfsausweise	Verpflichtung	x	x	x			x		x			x
ErP-Richtlinie EU1253/2014: Klarstellung formulieren, die die bestehenden Hemmnisse für eine effiziente Anlagensanierung beseitigt	Verpflichtung		x	x		x	x		x			x
Förderhöhe für Beratung einführen/ anheben	Förderung		x	x	x	x	x				x	x
Förderprogramm: Unabhängige Beratung zur Hebung der Potentiale von Klima und Lüftungsanlagen in vermieteten Gebäuden	Förderung		x	x	x	x	x		x		x	x
Anpassung HeizkostenVO; Wissenschaftliche Vorbereitung und Normungsarbeit	Verpflichtung	x	x	x	x	x	x		x		x	x
Information zu Best Practice Beispielen und ggf. o. g. Förderprogramm "Unabhängige Beratung"	Information		x	x	x	x	x				x	x
Neues Förderprogramm mit Fokus auf Optimierung von bestehenden Klima- und Lüftungsanlagen	Förderung		x	x	x	x	x		x		x	x
Beraterliste um Experten Klima-Lüftung erweitern	Information	x	x	x	x	x	x		x		x	x
Schulung der Berater mit Prüfung und Abschlusszertifikat	Verpflichtung		x	x	x	x	x				x	x

2018 Ecofys – A Navigant Company

Handlungsoption	Art der Handlungsoption	Adressierter Inhalt						Adressierte Akteure				
		Neubau	Bestand	Anlage	Betrieb	Lüftung	Klima	Hersteller	Planer	Installateure	Inspektoren	Betreiber
Freiwillige Datenerfassung zur Effizienzkontrolle der Anlagen	Information		x	x	x	x	x				x	x
Erweiterung des Programms Einsparzähler um Teil mit Schwerpunkt: Bestimmung des Energiebedarfs (Strom, Wärme und Kälte) von Klima- und Lüftungsanlagen	Förderung		x	x	x	x	x	x		x		x
Zielgruppenspezifische Schulungen für Planer, Installateure, Nutzer	Information	x	x	x	x	x	x		x	x		x
Begleitendes Förderprogramm für Rechenzentren	Förderung	x		x	x		x		x	x		x

Handlungsoption	Wirkungskriterien					Institutionelle Kriterien			
	Hemmnis-Adresserung	Mögliche Reichweite	Erwartete Wirkung bezogen auf Reicweite	Erwartete Wirkung bezogen auf Instrumentenart	Erwartete gesamt Wirkung	Kosten	Kosten / Wirkung	Politische Durchsetzbarkeit	Gesamtbewertung*
Gewichtung					25 %	5 %	40 %	30 %	100 %
1.1 Öffentlichkeitsarbeit: BMWi-Infoflyer	o	+	-	o	-	+	+	+	0,5
1.2 Öffentlichkeitsarbeit: Internetpräsenz	o	++	-	+	-	o	+	+	0,5
1.3 Öffentlichkeitsarbeit: Ausführliche Broschüre	o	+	-	o	-	+	o	+	0,1
1.4 Öffentlichkeitsarbeit: Kongresse und Fachveranstaltungen	o	++	-	+	o	o	o	+	0,3
2. Wartungs- und Inspektionsplan für Neuanlagen	o	-	-	o	-	++	+	o	0,3
3. Bestandslabel für Klima- und Lüftungsanlagen	o	+	o	o	o	+	+	o	0,5
4. Aktualisierung AMEV-Empfehlungen	o	-	o	-	-	+	+	+	0,5
5. Forschungsvorhaben Monitoring und Benchmarking	o	++	-	o	o	-	-	+	-0,2
6.1 Beurteilung von Bestandsanlagen: Best-Practice-Beispiele Anlagenbewertung	o	+	-	o	-	+	+	o	0,2
6.2 Beurteilung von Bestandsanlagen: Berechnungstools	o	+	-	o	-	+	+	o	0,2

2018 Ecofys – A Navigant Company

Handlungsoption	Wirkungskriterien					Institutionelle Kriterien			
	Hemmnis-Adresserung	Mögliche Reichweite	Erwartete Wirkung bezogen auf Reicweite	Erwartete Wirkung bezogen auf Instrumentenart	Erwartete gesamt Wirkung	Kosten	Kosten / Wirkung	Politische Durchsetzbarkeit	Gesamtbewertung*
Gewichtung					25 %	5 %	40 %	30 %	100 %
7.1 Optimierung Förderprogramme: Förderung für energetische Inspektionen von Lüftungsanlagen (Onlinetool)	o	+	-	-	-	o	+	+	0,5
7.2 Optimierung Förderprogramme: a) Wiederaufnahme der Maßnahmen an gebäude-technischen Anlagen in das BAFA Programm Querschnittstechnologien	o	+	-	-	-	-	+	+	0,4
7.2 Optimierung Förderprogramme: Übersicht für mögliche Fördermittel abhängig vom Anlagentyp erstellen	+	++	-	+	o	+	+	+	0,8
7.3 Optimierung Förderprogramme: Monitoringkonzepte als Fördervoraussetzung im Neubau	o	o	-	-	-	++	+	o	0,3
8. Referenzprojekte	o	+	-	o	-	+	o	+	0,1
9.1 EnEV-Novelle: Untersuchung einer möglichen Zählerpflicht	o	o	o	-	o	+	+	-	0,2
9.2 EnEV-Novelle: Definition von Klimaanlagen in der EnEV	-	-	o	-	-	++	-	o	-0,6
9.3 EnEV-Novelle: Angaben zur energetischen Inspektion von Klimaanlagen auf dem Gebäudeausweis, Stichprobenkontrollen	+	o	o	o	o	+	+	-	0,2
9.4 EnEV-Novelle: Aktueller Stand der Technik für Inspektionsberichte	-	o	-	-	-	++	+	-	-0,1
9.5 EnEV-Novelle: Inspektionsberichte an Vollzugsbehörden	--	o	--	--	--	-	--	-	-1,7
Ökodesign-Richtlinie: Honorierung von Freikühlmöglichkeiten bei Klimageräten	-	-	o	-	-	+	+	-	-0,1
EnEV: Bewehrung von § 12 und § 15 mit Bußgeldern	+	o	+	+	+	++	+	-	0,5
EnEV: Inbezugnahme von reinen Lüftungsanlagen in EnEV § 12	+	o	o	-	o	++	+	-	0,2
EnEV: Einführung von Nachrüstverpflichtungen bei Klima und Lüftungsanlagen	o	o	o	o	o	++	+	-	0,2
EnEV: Honorierung einer Verpflichtung zur Betriebsoptimierung bei der Primärenergiekennwertberechnung	+	+	+	+	+	+	+	-	0,4

2018 Ecofys – A Navigant Company

Handlungsoption	Wirkungskriterien					Institutionelle Kriterien			
	Hemmnis-Adresserung	Mögliche Reichweite	Erwartete Wirkung bezogen auf Reicweite	Erwartete Wirkung bezogen auf Instrumentenart	Erwartete gesamt Wirkung	Kosten	Kosten / Wirkung	Politische Durchsetzbarkeit	Gesamtbewertung*
Gewichtung					25 %	5 %	40 %	30 %	100 %
EnEV: Darstellung der Verbrauchswerte "Kälte" in Energieverbrauchsausweisen	o	o	o	o	o	+	+	-	0,2
EnEV: Realistischere Berechnungs-Randbedingungen zur Bestimmung des Klimakältebedarfs für Energiebedarfsausweise	-	o	o	o	o	+	+	-	0,2
ErP-Richtlinie EU1253/2014: Klarstellung formulieren, die die bestehenden Hemmnisse für eine effiziente Anlagensanierung beseitigt	o	o	+	o	o	+	+	--	-0,2
Förderhöhe für Beratung einführen/ anheben	-	+	-	-	-	o	o	o	-0,3
Förderprogramm: Unabhängige Beratung zur Hebung der Potentiale von Klima und Lüftungsanlagen in vermieteten Gebäuden	o	+	o	o	o	o	+	o	0,4
Anpassung HeizkostenVO; Wissenschaftliche Vorbereitung und Normungsarbeit	o	+	o	-	o	+	+	-	0,2
Information zu Best Practice Beispielen und ggf. o. g. Förderprogramm "Unabhängige Beratung"	o	+	-	o	-	+	+	+	0,5
Neues Förderprogramm mit Fokus auf Optimierung von bestehenden Klima- und Lüftungsanlagen	o	+	o	o	o	-	+	o	0,4
Beraterliste um Experten Klima-Lüftung erweitern	o	++	-	-	-	+	o	+	0,1
Schulung der Berater mit Prüfung und Abschlusszertifikat	o	+	-	-	-	o	o	-	-0,6
Freiwillige Datenerfassung zur Effizienzkontrolle der Anlagen	o	+	-	o	-	o	o	+	0,1
Erweiterung des Programms Einsparzähler um Teil mit Schwerpunkt: Bestimmung des Energiebedarfs (Strom, Wärme und Kälte) von Klima- und Lüftungsanlagen	o	+	o	-	o	o	o	+	0,3
Zielgruppenspezifische Schulungen für Planer, Installateure, Nutzer	o	++	-	o	-	o	o	+	0,1
Begleitendes Förderprogramm für Rechenzentren	-	-	-	-	-	o	+	o	0,2

*(++ = 2; + = 1; o = 0; - = -1; -- = -2)

2018 Ecofys – A Navigant Company

3.3.5 Zusammenfassung/Fazit

Bezugnehmend auf die identifizierten relevantesten, bislang noch nicht, bzw. nicht ausreichend adressierten Hemmnisse wurden Vorschläge zu neuen Handlungsoptionen entwickelt, die über die im Eckpunktepapier (siehe ifeu und Öko-Institut e.V., 2018) spezifizierten Optionen hinausgehen.

Zur Bewertung der Handlungsoptionen wurde eine Matrix entwickelt, die eine Gesamtbewertung auf der Basis von Einzelkriterien ermöglichte. Anhand des Vergleichs der Gesamtbewertungen der einzelnen Handlungsoptionen war es möglich diejenigen Handlungsoptionen zu identifizieren, die im Rahmen des Projektes weiterentwickelt und detaillierter untersucht werden sollten.

Nach einer Abstimmung mit dem Auftraggeber im Rahmen mehrerer Expertenkreissitzungen, wurden aufbauend auf den oben genannten Ergebnissen die folgenden Handlungsoptionen (Maßnahmen) für eine Weiterverfolgung im Rahmen des Forschungsprojektes festgelegt.

a.) Paket Öffentlichkeitsarbeit

b.) Quickchecktool

c.) Anlagenlabel (inkl. Erweiterung der DIN SPEC 15240 und der Erstellung eines entsprechenden Tools)

die entsprechenden Einsparpotenziale bereits bestimmt wurden, wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung die Einsparpotenziale der Maßnahmen

d.) Zählerpflicht für Neuanlagen

e.) Nachrüstverpflichtung von Zähler für Bestandsanlagen

f.) Verpflichtung zu einer geordneten Inbetriebnahme

g.) Verpflichtung einer Feuchterückgewinnung bei Neuanlagen mit Befeuchtungsfunktion

berechnet.

2018 Ecofys – A Navigant Company

4 AUSARBEITUNGEN ZU HANDLUNGSOPTIONEN

Im Folgenden werden die ersten vier der in Kapitel 3.3 empfohlenen Handlungsoptionen beschrieben. Diese wurden im Rahmen des Forschungsprojektes ausgearbeitet.

Die Maßnahmen sollen entlang der Beratungskette, die jeweiligen Hemmnisse der Betreiber zum Ergreifen geeigneter Maßnahmen adressieren.

Abbildung 36: Beratungskette nach NABU [2012] („Gut beraten sanieren. Leitfaden für den Aufbau regionaler Netzwerke.“)

Dabei ist das Paket Öffentlichkeitsarbeit im Wesentlichen unter „Erstansprache“ einzuordnen, der Quickcheck unter „Initialberatung“. Das Anlagenlabel inkl. des zugehörigen Tools und die mögliche Einführung einer Zählerpflicht adressieren dabei eher die späteren Bereiche der Beratungskette („Detailberatung“, „Planung und Ausführung“ und „Evaluation und Dokumentation“).

4.1 Paket Öffentlichkeitsarbeit

Das Paket Öffentlichkeitsarbeit konzentrierte sich im Wesentlichen auf drei Maßnahmen:

4. Erstellung eines Flyers;
5. Überarbeitung der Internetseiten „Deutschland-macht’s-effizient“ des BMWi;
6. Erweiterungen der bestehenden AMEV-Richtlinien.

4.1.1 Flyer für Klima- und Lüftungsanlagen

Der im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes entwickelte 8 seitige DIN-A4 Flyer richtet sich an Anlagenbetreiber und soll in Form einer Erstansprache über mögliche Optimierungspotenziale im Bereich von Klima- und Lüftungsanlagen sowie über weitere zu dem Themenkomplex Angebote informieren. Der Flyer wurde im März 2018 an 2.000 Berater im Mittelstand versandt (je 10 Exemplare). Der Flyer ist im Anhang dargestellt-

4.1.2 Überarbeitung der Internetseiten „Deutschland-macht’s-effizient“ des BMWi

Es wurden Überarbeitungsvorschläge für die BMWi- Internetseiten „Deutschland-macht’s-effizient“ zum Thema Lüftung und Klimatisierung „im Eigenheim“. erstellt.

Die entsprechenden Überarbeitungsvorschläge sind im Anhang dargestellt.

4.1.3 Erweiterungen der bestehenden AMEV-Richtlinien

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde seitens des ILK Dresden Einfluss auf die Überarbeitung der AMEV-Richtlinie für Kälte genommen. Dabei wurden u.a. die energetische Inspektion gem. überarbeiteter DIN SPEC 15240 und das Energiemonitoring geeignet adressiert. Die AMEV

2018 Ecofys – A Navigant Company

RLT befindet sich noch in Überarbeitung. Soweit dies noch im Rahmen des Forschungsprojektes möglich ist werden die Projekterkenntnisse auch hier eingebracht.

Zur Überarbeitung der AMEV-Richtlinie für Kälte wurde der im Anhang aufgeführte Textbaustein erstellt (Stand 19.1.2017):

4.2 Quickcheck

Der im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte freiwillige Quickcheck soll von Energieberatern (EDL-G bzw. im Rahmen von Förderprogrammen, wie z. B. der Energieberatung im Mittelstand) auf Basis weniger, offensichtlicher Informationen zur Anlage ausgestellt werden können. Er soll Betreibern grundlegende Information über die Effizienz ihrer Klima- und Lüftungsanlagen im Betrieb geben sowie ggf. Möglichkeiten für nächste Schritte im Rahmen der Beratungskette (z. B. der Durchführung einer weiterführenden Anlageninspektion mit anschließender Labelvergabe) aufzeigen. Die Ergebnisübersicht des Quickchecks enthält zum einen jeweils eine dreistufige Bewertungsskala zur Einstufung des Energieverbrauchs und zum offensichtlichen Einsparpotenzial der jeweiligen Anlage. Beide Bewertungen werden in eine ebenfalls dreistufige Bewertungsskala zum Handlungsbedarf zusammengerührt. Das Layout des Quickchecks ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die den Beurteilungen zugrundeliegenden Bewertungsverfahren sind ausführlich in Kapitel 5.4 beschrieben.

Für den Quickcheck wird auf den BMWi-Seiten ein kostenloses Rechentool zur Verfügung gestellt. Das Quickcheck-Rechentool soll auf Basis der wenigen Grundlagendaten automatisiert die Ergebnisübersicht sowie Informationstexte zu den Hintergründen der Beurteilung und zum weiterenn Vorgehen geben. Die entsprechenden Textvorschläge sind im Anhang dargestellt.

Weitere Ausführungen zum Quickcheck sind Kapitel 5.4 zu entnehmen.

4.3 Anlagenlabel

4.3.1 Hintergrund

Bereits seit 2008 vergibt der Herstellerverband RLT-Geräte e. V. für neu in Verkehr gebrachte RLT-Geräte ein Energieeffizienzlabel in den Klassen B, A, und A+. Neben dem bestehenden Label zur Energieeffizienzklasse (TÜV-Süd zertifiziert) existiert seit Herbst 2016 ein weiteres Label zur „Regelkonformität“.

Mit dem neuen Label, welches den Buchstaben „R“ trägt, verpflichtet sich das Mitglied des Verbandes, dass alle Kriterien der RLT-Richtlinie 01 und der Energieeffizienzzertifizierung eingehalten werden und dass dies im Rahmen einer Eigenprüfung sichergestellt wird.

Beide Label sind reine Gerätelabel, die nur die Auslegung des RLT-Gerätes zertifizieren, nicht aber den (späteren) Betrieb der RLT-Anlage, den der RLT-Gerätehersteller auch nicht bewerten kann.

Darüber hinaus existiert für RLT-Geräte ein freiwilliges europäisches Energieeffizienzlabel in den Klassen E bis A+, welches durch Eurovent Certification vergeben wird. Eurovent Certification zertifiziert die Leistungsangaben für Produkte der Luft-und Kältetechnik nach den europäischen und internationalen Standards. Die Kriterien für das RLT-Gerätelabel wurden zuletzt zum 01.01.2016 im Zuge des Inkrafttretens der Ökodesign-Richtlinie EU 1253/2014 verschärft (Abbildung 37).

2018 Ecofys – A Navigant Company

CLASS	Max. air velocity v_{class} [m/s]	Min. efficiency of HRS η_{class} [%]	Max. pressure drop of HRS Δp_{class} [Pa]	Fan Efficiency Grade $NG_{ref\text{-}class}$ [-]
A+	1.4	83	250	64
A	1.6	78	230	62
B	1.8	73	210	60
C	2.0	68	190	57
D	2.2	63	170	52
E	No calculation required			No requirement

Abbildung 37: Anforderungen für das Gerätelabel der European Association of Air Handling and Refrigerating Equipment Manufacturers

Das Eurovent-Effizienzlabel berücksichtigt ebenfalls nur auslegungsrelevante Kriterien des RLT-Gerätes und nicht das reale Betriebsverhalten der RLT-Anlage.

4.3.2 Ziele des Anlagenlabels

Mit dem neuen Label für Klima- und Lüftungsanlagen sollen Anreize geschaffen werden, die Potenziale bei Klima- und Lüftungsanlagen zu heben. Zum einen betrifft dies die Qualität und Auslegung der Anlagen, zum anderen aber auch deren effizienten Betrieb. Das Label ist somit eine sinnvolle Ergänzung des Gerätelabels des Herstellerverbandes und des RLT-Gerätelabel der EU. Die Kenntnis von Anlagenzustand und Verbesserungspotenzialen bildet die Grundlage für Optimierungsanreize für Anlagenbetreiber.

Das Label kann sowohl für Bestandsanlagen als auch für Neuanlagen nach deren Inbetriebnahme vergeben werden.

Das Label kann auch auf reine Lüftungsanlagen angewendet werden, die durch den § 12 der EnEV bisher nicht erfasst wurden und hat somit eine deutlich größere Reichweite.

Mit dem Label sollen Maßstäbe zur Verfügung gestellt werden, die beispielweise bei Ausschreibungen für Neuanlagen oder Anlagensanierungen herangezogen werden können.

4.3.3 Auslöser

Die Label-Vergabe soll auf freiwilliger Basis erfolgen.

Die Anlageninspektion kann dabei durch verschiedene Auslöser angeregt worden sein, z. B. der Inspektionspflicht von Klimaanlagen gem. § 12 EnEV oder durch Energieberatungen gem. EDL-G bzw. im Rahmen von Förderprogrammen, wie z. B. der Energieberatung im Mittelstand. Unterstützend wirkt hierbei der ebenfalls im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte „Quickcheck“, der ggf. klare Empfehlungen für eine Inspektion ausspricht.

Möglich wäre außerdem eine Einbindung in Bundesförderprogramme ggf. als notwendige Förderbedingung zur Förderung von Maßnahmen im Bereich Klima- und Lüftung. Auf eine verpflichtende Labelvergabe im Rahmen von § 12 EnEV wird bewusst verzichtet, da hierdurch wahrscheinlich die bestehenden Umsetzungsdefizite weiter verschärft würden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Zum Neuanlagenlabel wurde im Rahmen eines am 17.5.2018 durchgeführten Workshops mit Fachplanern eruiert, wie das Label am wirksamsten in den Planungsprozess eingebunden werden kann. Dabei sollte insbesondere geklärt werden:

An welchen Stellen der Planungsketten der unterschiedlichen Vergabeverfahren das Neuanlagenlabel eine Rolle spielen kann und was es ggf. an zusätzlichen Rahmenbedingungen bedarf, um eine hohe Nachfrage und Wirkung des Neuanlagenlabels auszulösen.

Insbesondere hinsichtlich der Qualitätssicherung und zur transparenten Gesprächsführung mit dem Auftraggeber sowie zum Nachweis guter Planungsarbeit wurde das Anlagenlabel als sehr positiv bewertet. Eine wesentliche Voraussetzung für eine breite Anwendung durch Planer ist, dass mit dem Label Verbesserungen, wie z. B. die Verbesserung der Kommunikation mit dem Auftraggeber, verbunden sind.

Bei einer gewerkeweisen Ausschreibung würde die Planungsprüfung über die Planungsphasen durch das Label-Tool erleichtert. Durch die Vorgabe einer angestrebten Effizienzklasse können überprüfbare Planungsziele für die Einzel-Auftragnehmer abgeleitet werden und ggf. Kompensationsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Bei einer funktionalen Ausschreibung mit Generalübernehmer / Generalunternehmer könnte die angestrebte Labelklasse sehr einfach in die Anforderungen aufgenommen werden.

Das Label sollte im Rahmen einer verpflichtenden Inbetriebnahmeprüfung 12 bis 14 Monate nach dem Inbetriebnahmezeitpunkt (Probebetrieb während mindestens einer (Kühl-)Saison) durch einen unabhängigen Dritte vergeben werden, sollte jedoch schon möglichst ab der Entwurfsphase in die Planung eingebunden werden.

Zur Erhöhung der Verbreitung des Labels wurde angeregt im Rahmen des EnEV-Nachweises einen Primärenergie-Bonus/Malus zu vergeben, wenn eine/keine durch das Label nachgewiesene Qualitätssicherung erfolgt. Darüber hinaus wurde eine Integration in den Gebäudeenergieausweis und in die EnEV-Durchführungsverordnungen der Bundesländer sowie auch eine Integration in relevante Normen und Regelwerke (u. a. DIN- und VDI-Normen, sowie in Nachhaltigkeitszertifikate (DGNB, BNB) und in die AMEV-Empfehlungen) als Möglichkeit zur weiteren Verbreitung des Labels vorgeschlagen. Eine Implementierung und Druck-Applikation in die gängigsten Planungsoftware-Produkte, wird als eine wesentliche Voraussetzung für eine Marktdurchdringung gesehen.

4.3.4 Vergabeberechtigte

Das Label soll von sachverständigen Inspektoren gemäß § 12 EnEV im Rahmen einer Anlageninspektion vergeben werden.

4.3.5 Grundlagen und Onlinetool

Die Grundlage für die Bewertung bildet die im Rahmen des Forschungsprojektes überarbeiteten Bewertungsmethoden der DIN SPEC 15240 (vgl. Kapitel 5). Hierdurch wird es nun möglich, die Anlagen auch in Hinblick auf ihre korrekte Dimensionierung, ihre regelungstechnische Ausstattung und ihren Betrieb geeignet zu bewerten.

Die Klasseneinteilung des Labels für Kälteanlagen ist in Kapitel 5.5.1.8 beschrieben.

Neben der Hauptbewertung und Klasseneinteilung soll es auch eine Einzel-Bewertung von nicht durch die DIN SPEC 15240 bewerteten aber dennoch relevanten Aspekten geben.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Diese sind:

1. Ausstattung mit Zählern und Sensorik;

für Klima- Kälteanlagen sowie RLT-Anlagen mit integrierter Kälteerzeugung

2. Ökologie des Kältemittels;
3. Sommerlicher Wärmeschutz.

Zu den o. g. zusätzlichen Bewertungsaspekten wurden in Zusammenarbeit mit ifeu[43] die im Anhang dargestellten Texte erstellt (Stand 2.Mai 2018).

Für das Label wird ein Onlinetool entwickelt, welches, wie das Quickchecktool auf den BMWi Internetseiten z. B. „Deutschland macht‘s effizient“ zur Verfügung gestellt werden soll. Mit dem kostenlos nutzbaren Onlinetool wird der Standard für das Label definiert und der Aufwand der Erstellung des Labels minimiert. Eine gleichzeitige Umsetzung im Rahmen von kommerziellen Softwareprogrammen wird unabhängig hiervon zulässig sein.

4.3.6 Adressierte Anlagen

Es sind drei Labeltypen vorgesehen, die jeweils die entsprechenden Anlagentypen bewerten:

1. RLT-Anlagen,
2. Klima- Kälteanlagen,
3. RLT-Anlagen mit integrierter Kälteerzeugung.

4.3.6.1 RLT-Anlagen

Das RLT-Anlagenlabel adressiert die folgenden Anlagentypen:

- Raumlufttechnische Anlagen zur maschinellen Be- und Entlüftung
- Anlagen mit 100 % Außenluftanteil
- Anlagen mit Umluftbeimischung
- Lüftungsanlagen, Teilklimaanlagen und Klimaanlagen mit einer oder mehreren thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen

Jedes RLT-System erhält ein Label, so dass bei Gebäuden mit mehreren Lüftungsanlagen mehrere Label vergeben werden. Als Lüftungsanlage ist dabei eine zusammenhängende Systemeinheit zu sehen, die sich in der Regel aus mehreren Anlagenteilen (Zuluftventilator(en), Abluftventilator(en), Kanalnetz, Filter, Wärmetauscher, Drosselklappen, Regelung, etc.) zusammensetzt.

Die Systemgrenzen sind durch den Anwender zu bestimmen. In bestimmten Fällen können gleichartige, parallel wirkende Einzelanlagen zu einem Gesamtsystem sinnvoll zusammengefasst werden. Bei Reihenschaltungen von Geräten (z. B. im Fall einer zentralen Außenluftvorkonditionierung mit nachgeschalteten Geräten) ist die Zusammenfassung immer geboten, da der Gesamtenergieeinsatz zur Konditionierung einer oder mehrerer Zonen ins Verhältnis zum Referenz-Primärenergiebedarf gesetzt werden soll.

[43] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

2018 Ecofys – A Navigant Company

In der überwiegenden Anzahl der Fälle wird der Labelbezug eindeutig sein und ergibt sich aus den Abfragen zum Anlagenaufbau der Softwareanwendung. Aufgrund der Vielfalt der in der Praxis vorkommenden Anlagenarten, obliegt es jedoch im Zweifelsfall dem sachkundigen Anlageninspektor eine sinnvolle Abgrenzung des Labelbezugs zu definieren. Dieser ist eindeutig auf dem Label zu dokumentieren.

Im Fall einer geräteintegrierten Kälteerzeugung wir ein Kombiniertes Label vergeben.

Hinsichtlich der Größen der zu beurteilenden Lüftungsanlagen werden keine Grenzen festgelegt. Aufgrund des Aufwandes für die Labelerstellung, wird das Label für Anlagen mit Nennluftvolumenstrom ab 4000 m³/h empfohlen.

4.3.6.2 Klima- und Kälteanlagen

Das Klima-/ Kälteanlagenlabel adressiert die folgenden Anlagentypen:

- Raumklimageräte wie Split- und (VRF-)Multispritgeräte
- Kälteanlagen zur Klimatisierung über Flächenkühlung
- Kälteanlagenteil von Voll- und Teilklimaanlagen mit geräteintegrierter Kälte.

Jede Klima-/ Kälteanalage erhält ein Label, so dass bei Gebäuden mit mehreren Klima- Kälteanlagen mehrere Label vergeben werden. Als Klima-/ Kälteanlage ist dabei eine zusammenhängende Systemeinheit zu sehen, die sich in der Regel aus mehreren Anlagenteilen (Kompressor(en), Rückkühler(en), Verteilnetz, Pumpen, Umluftventilatoren, etc.) zusammensetzt. Wird die Klimakälte von einem zentralen Kälteerzeuger bereitgestellt, der auch noch andere Kälteverbraucher versorgt, ist für die Beurteilung die Effizienz des zentralen Kälteerzeugers für die Klimakälte zu berücksichtigen. Der Kälteanlagenteil von Voll- und Teilklimaanlagen mit separater Kälteerzeugung soll ein separates Klima- Kältelabel bekommen.

In der überwiegenden Anzahl der Fälle wird der Labelbezug eindeutig sein und ergibt sich aus den Abfragen zum Anlagenaufbau der Softwareanwendung. Aufgrund der Vielfalt der in der Praxis vorkommenden Anlagenarten, obliegt es jedoch im Zweifelsfall dem sachkundigen Anlageninspektor, eine sinnvolle Abgrenzung des Labelbezugs zu definieren. Diese ist eindeutig auf dem Label zu dokumentieren.

Hinsichtlich der Größen der zu beurteilenden Klima- Kälteanlagen werden keine Grenzen festgelegt. Aufgrund des Aufwandes für die Labelerstellung wird, entsprechend dem Bezug des § 12 EnEV, das Label für Anlagen mit Kälteleistung ab 12 kW empfohlen.

4.3.6.3 RLT-Anlagen mit integrierter Kälteerzeugung

Für den Sonderfall raumlufttechnischer Anlagen mit integrierter Kälteerzeugung wird ein kombiniertes Label vergeben.

2018 Ecofys – A Navigant Company

4.3.7 Dokumentation

Das Label ist an einer gut sichtbaren Stelle an der entsprechenden Anlage anzubringen.

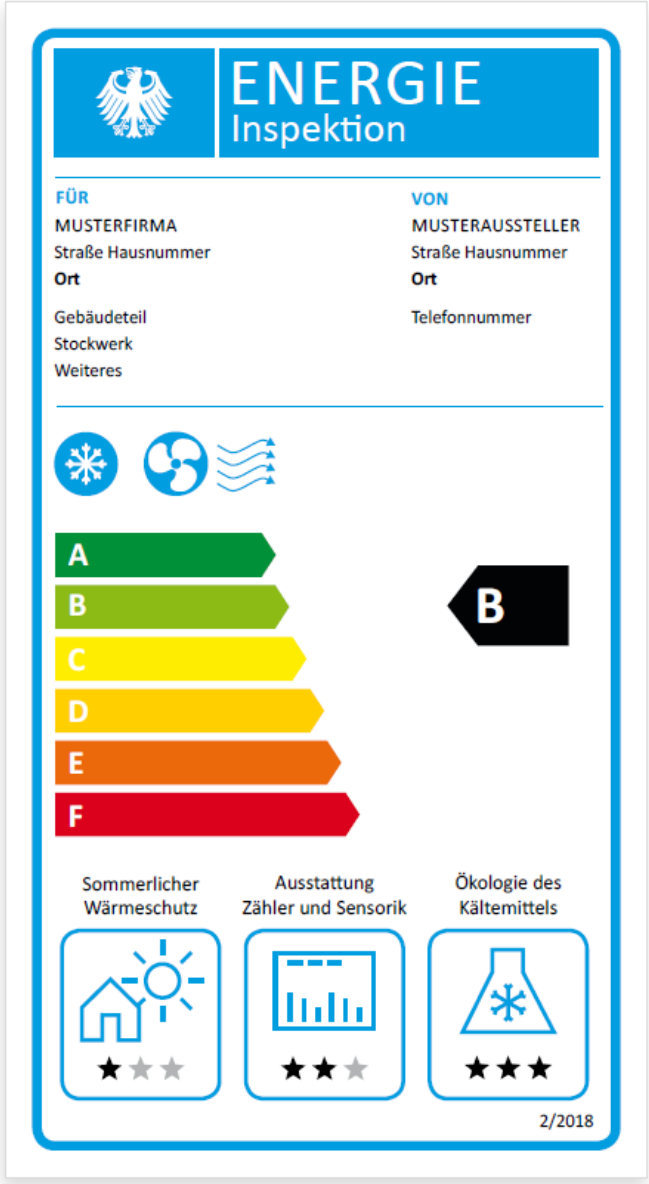


Abbildung 38: Layout des RLT-Anlagenlabels (suwadesign/ifeu, Quelle: ifeu und Öko-Institut e.V., 2018)

Zum Label ist von dem verantwortlichen Inspektor ein Begleitbericht zu erstellen. Die Inhalte des Begleitberichtes richten sich nach den Vorgaben der überarbeiteten DIN SPEC 15240 und sollen sicherstellen, dass der Anlagenbetreiber neben näheren Angaben zu den Hintergründen der Beurteilung auch Aussagen zu der Qualität der Aufgabenerfüllung der Anlage (z. B. Sicherstellung einer bestimmten Raumluftqualität) und zu möglichen Optimierungsmaßnahmen erhält.

Die Labelbewertung Dokumentationsunterlagen der Anlagen abzuheften.

2018 Ecofys – A Navigant Company

4.4 Zählerpflicht für neue RLT-Anlagen

4.4.1 Hintergrund

Ein grundlegendes Problem bei der Beurteilung der Effizienz von RLT-Anlagen ist die fehlende Ausstattung mit Zählern. Während im Fall der Heizung der Energieverbrauch aufgrund der Heizkostenabrechnung bekannt ist, werden die Stromverbräuche von RLT-Anlagen nur in den seltensten Fällen separat erfasst. Dieser Missstand ist sicherlich einer Hauptgründe des offensichtlich fehlenden Bewusstseins der Betreiber hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Potenziale von Klima und Lüftungsanlagen.

Die Zählerausstattung in RLT-Anlagen kann folgende Effekte bewirken:

- Generelle Sensibilisierung des Nutzers / Betreibers für die durch raumlufttechnische Anlagen verursachten Betriebskosten – dadurch Beeinflussung des Nutzerverhaltens, der Anlagenwartung, Investitionsentscheidungen, Entscheidungen für Klimaanlageninspektionen.
- Soll / Ist -Vergleich, Vergleich der Verbräuche mit Vormonaten / Vorjahren, Erkennen von Unregelmäßigkeiten und Abweichungen.
- Datengrundlage zur detaillierten Diagnose des Betriebsverhaltens z. B. im Rahmen der energetischen Inspektion.

Eine Messwerterfassung ist teilweise heute schon Stand der Technik (in Abhängigkeit von Ventilatorbauart, Motorbauart und Regelsystem). Eine Wirkleistungsmessung ist bei „guten“ Frequenzumrichtern standardmäßig integriert, bei EC-Motoren i. d. R. nicht (Platzbedarf).

4.4.2 Anforderung

In Kapitel 2.3.2.4 wurde nachgewiesen, dass Ausstattung mit nur einem Wirkenergiezähler für den Energieverbrauch des Zuluftventilators für Anlagen mit einem Nennvolumenstrom von über 3.000 m³/h hochwirtschaftlich ist.

Bei dieser Minimalausstattung können bereits ausreichend Informationen über den Energieverbrauch der Luftförderung, über die Nutzungszeit der RLT-Anlage und die Lastfälle im Betriebszeitraum erlangt werden. Grundvoraussetzung ist dabei jedoch, dass die Messdaten in (höchstens als Viertelstundensummen) über einen längeren Zeitraum (mindestens ein Jahr) aufgezeichnet werden. Dies kann entweder durch Zähler mit entsprechend auslesbaren Logfunktion erfolgen oder über die Ausstattung des Zählers mit einer Kommunikationsschnittstelle und entsprechender Aufschaltung auf die zentrale Gebäudeautomation, die dann die erforderlichen Speicheraufgaben übernimmt.

Aufgrund der hohen Wirtschaftlichkeit, deren Nachweis gemäß § 5 des EnEG erforderlich für eine Änderung ist, ist eine Anforderung im Rahmen des GEG denkbar. Als geeignete Stelle der aktuellen EnEV böte sich der § 15 „Kühlen und Lüften“ an.

Eine entsprechende Anforderung wird die Hersteller von hochwertigen Neuanalagen unterstützen, die bereits heute standardmäßig über entsprechende Zählvorrichtungen verfügen.

Es ist davon auszugehen, dass durch die aktuellen technologischen Entwicklungen die Kosten für entsprechende Zähler künftig stark sinken werden. Die Anforderungen (bzgl. Grenzgröße, Ausstattungsumfang und Darstellung) sollten daher in regelmäßigen Abständen angepasst werden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

5 STANDARDISIERTE BEWERTUNG VON KLIMA- UND LÜFTUNGSTECHNIK

5.1 Kältetechnik – Klimakälteanlagen

Für das Fachgebiet der klimakältetechnischen Anlagen wurde eine vergleichende Übersicht relevanter verfügbarer Kennwerte zur energetischen Bewertung erstellt, die in Tabelle 35 dargestellt ist.

Tabelle 35: Übersicht bestehender Kennwerte im Bereich Klimakälteanlagen

Kennwert	Bezeichnung	Norm/Richtlinie	Geräte-bewertung	System-bewertung	Anwendungsbereich
EER	Energy Efficiency Ratio (Nennleistungszahl)	DIN EN 14511	x		luft- und wassergekühlte Kompressionskältemaschinen, Raumklimageräte
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio (Jahresarbeitszahl)	DIN EN 14825	x		nur luft- und wassergekühlte Kompressionskältemaschinen, Raumklimageräte
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio (europ. Jahresarbeitszahl)	Eurovent rating standard for the Certification of liquid chilling packages	x		nur luft- und wassergekühlte Kompressionskältemaschinen
$\eta_{S,C}$ (auf Basis SEER)	Primärenergetischer Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrad	EU 2281/2016 (ab 01.01.2018)	x		Komfortkühler, Raumklimageräte, Wärmepumpen im Kühlbetrieb
E_{KK}	Effizienzkennwert Klimakälte	DIN SPEC 15240	x	x	Klimakältesysteme mit Kompressionskälteanlagen

Daneben existieren für Klimakälteanlagen Energielabel, die für Raumklimageräte aus der Energieetikettierungspflicht der EU resultieren und für Kaltwassersätze nach Eurovent [2018] auf freiwilliger Basis verwendet werden können. Die Kennwerte sind in Tabelle 36 zusammengefasst.

Tabelle 36: Übersicht bestehender Energielabel im Bereich Klimakälteanlagen

Kennwert	Bezeichnung	Norm/Richtlinie	Geräte-bewertung	System-bewertung	Anwendungsbereich
EER	Energy Efficiency Ratio (Nennleistungszahl)	Eurovent rating standard for the Certification of liquid chilling packages	x		nur luft- und wassergekühlte Kompressionskältemaschinen
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio (Jahresarbeitszahl)	EU 206/2012 (ab. 01.01.2014)	x		nur Raumklimageräte

2018 Ecofys – A Navigant Company

Weiterhin bestehen eine Vielzahl an Kennwerten, mit denen Klimakälteanlagen vergleichbar bewertet werden können. Diese gehen zum Teil über die energetischen Belange hinaus und bewerten auch die Ökologie des eingesetzten Kältemittels (z. B. TEWI) oder die Aufstellbedingungen der Anlage (z. B. Kälte-System-Check). Die Kennwerte sind in Tabelle 37 zusammengefasst.

Tabelle 37: Übersicht weiterer verfügbarer Kennwerte im Bereich Klimakälteanlagen

Kennwert	Bezeichnung	Quelle	Geräte-bewer-tung	System-bewer-tung	Anwendungsbereich
GWP	Global Warming Po-tential [CO_2-Äquiva-lent]	F-Gase-V (EU 517/2014)	(x)		Kälteanlagen mit fluorierten Kältemitteln
TEWI	Total Equivalent Warming Impact [CO_2-Äquivalent]	[Wunderlich 1993]		(x)	Bewertung direkter und in-direkter Kältemittelemissio-nen in Kälteanlagen
Kälte-Sys-tem-Check (Phase 1)	KaP - Kälteanlagen in der Praxis, Phase 1 - Grobanalyse	Steinbeis-Innovati-onszentrum Energie-, Gebäude- und Solar-technik	(x)	x	Kältesysteme mit Kom-pressions- und Absorpti-onskälteanlagen
h_{ges}	Energieeffizienzgrad	VDMA 24247-2	(x)	(x)	(vorwiegend) gewerbliche Kältesysteme mit Kom-pressionskälteanlagen
TEER	Total Energy Effi-ciency Ratio	VDMA 24247-7	(x)	(x)	(vorwiegend) gewerbliche Kältesysteme mit Kom-pressionskälteanlagen
TEPF	Total Energy Per-fomance Factor	VDMA 24247-7	(x)	(x)	(vorwiegend) gewerbliche Kältesysteme mit Kom-pressionskälteanlagen
SEE(I)R	Saisonale Energieeffi-zienz einer (industriel-len) Kälteanlage	Energieeffizienztool VDMA 24247 Version 1.0.1	(x)		(vorwiegend) gewerbliche Kältesysteme mit Kom-pressionskälteanlagen

Für die Bewertung von Klimakälteanlagen existieren vor allem eine Vielzahl von Geräte-Kennwerten die nur in den seltensten Fällen eine Systembewertung zulassen oder nur für einen bestimmten Anwendungsbereich geeignet sind.

Der Effizienzkennwert für Klimakälteerzeugungssysteme E_{KK} nach DIN SPEC 15240 stellt eine gute Ausgangsbasis dar. Er gilt für elektrischen Kompressionskältemaschinen und betrachtet das gesamte Kälteerzeugungssystem mit den Einflussgrößen:

- Leistungszahl der Kälteerzeugung (Auslegung),
- Teillastbetrieb (Betriebsverhalten nutzungsabhängig),
- Rückkühlung (Auslegung und Betriebsverhalten),
- Verteilungsaufwand (Auslegung und Betriebsverhalten),

berücksichtigt aber keine Gebäudeeigenschaften wie

- reale Kühllast,
- bauphysikalische Veränderungen und

2018 Ecofys – A Navigant Company

- Potentiale beim sommerlichen Wärmeschutz.

Dieser Kennwert ist eine reine Anlagenkennzahl und muss für nicht abgebildete Technologien (z. B. Absorptionskälteanlagen) und Systembestandteile (z. B. Freie Kühlung) erweitert werden, um den Anforderungen einer systemoffenen unabhängigen Effizienzbewertung zu genügen.

5.2 Raumlufttechnische Anlagen

Im Bereich der raumlufttechnischen Anlagen wurden zwei bestehende energetische Klassifizierungen untersucht.

5.2.1 Energieeffizienzklasse nach dem RLT-Geräte Herstellerverbandes e. V.

Zertifizierte RLT-Zentralgeräte können einer der drei Energieeffizienzklassen nach Abbildung 39 zugeordnet werden.

Abbildung 39: Energieeffizienzklassen des RLT-Geräte Herstellerverbandes (RLT-RICHTLINIE 01 (2018))

Diese Effizienzklassen verbinden u. a. Klassen für die Aufnahme der elektrischen Leistung und die Energieeffizienz der Wärmerückgewinnung zu einem einfachen, transparenten und nachprüfbaren Kennwert.

Dabei sind:

- die Geschwindigkeitsklassen als ein Maßstab für die geräteinternen Druckverluste
- und die Leistungsaufnahmeklassen der Ventilatoren als ein Maßstab für deren Wirkungsgrade

zu betrachten.

Nicht betrachtet werden die energetischen Eigenschaften der Anlage, die von den Herstellern der Zentralgeräte nicht beeinflussbar sind wie:

- die primärenergetische Qualität der Energieversorgung
- die Angemessenheit der Dimensionierung
- die externen Druckverluste von Kanalnetzen
- die Betriebsweise der Anlage.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Energetische Anforderungen	A+	A	B
Geschwindigkeitsklassen bei Geräten			
• ohne thermodynamische Luftbehandlung	V5	V6	V7
• mit Lufterwärmung	V4	V5	V6
• mit weiteren Funktionen	V2	V3	V5
Elektrische Leistungsaufnahmeklasse	P2	P3	P4
Wärmerückgewinnungsklassen	H1	H2	H3

Abbildung 40: Zusammenhang zwischen Energieeffizienzklassen der RLT-Geräte und den Leistungsklassen einzelner Komponenten (RLT-RICHTLINIE 01 (2018))

5.2.2 RLT-Gerätekennwert E_{RLT} nach DIN SPEC 15240

Das Verfahren zur Ermittlung eines RLT-Gerätekennwertes nach der DIN SPEC 15240 erweitert den Bilanzrahmen der energetischen Bewertung.

Zusätzliche Einflussgrößen sind:

- die primärenergetische Qualität der Energieversorgung
- Hilfsenergien und pauschalierte Verteilverluste
- Druckverluste kompletter Luftkanalnetze.

Errechnet wird ein spezifischer Primärenergiekennwert, der auf den Luftvolumenstrom bezogen wird in kWh/(m³/h). Dieser Kennwert wird wiederum Referenzwerten gegenübergestellt, die sich aus den Referenzausführungen von RLT-Anlagen nach unterschiedlichen EnEV-Fassungen ergeben.

Nicht betrachtet werden:

- die Angemessenheit der Dimensionierung
- die Betriebsweise der Anlage.

Die beiden letztgenannten Punkte sind besonders wichtig, weil eine Überversorgung mit Außenluft, sei es durch Überdimensionierung oder durch eine nicht bedarfsgerechte Regelung des Volumenstroms von den Nutzern nicht wahrgenommen wird. Dadurch können erhöhte Energieverbräuche jahrelang unbemerkt bleiben und niedriginvestive hochwirtschaftliche Optimierungsmaßnahmen unterbleiben.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Kennwert E_{RLT}	DIN SPEC 15240 (2013) DIN V 18599 (2011)		Kategorie:	**ERLT-C4**
DFS Center München			Bearbeiter:	H. Schiller
Außenluftanlage BR-B			Datum:	13.01.2017

	ZULUFT		ABLUFT	
Luftvolumenstrom	15.300	m³/h	14.700	m³/h
Wirkleistung Ventilator	5,50	kW	3,40	kW
spezifische Ventilatorleistung p_{SFP}	1,29	W/(m³/s)	0,83	W/(m³/s)
Gesamtdruckerhöhung Ventilator Δp	510	Pa	280	Pa
resultierender Systemwirkungsgrad η_{sys}	39,4 %		33,6 %	

Wärmerückgewinnung	trockene Wärmerückgewinnung
Rückwärmzahl	75,0 %
Außenluftrate	1,00
Nebenantrieb WRG	KV-System mit geregelter Pumpe
Heizmedium	40 °C
Kühlung	Ja
Kühlmedium	Wasser 6 / 12 °C
Befeuchtung	Befeuchtung mit Sollwert-Toleranz
Befeuchtertyp	Verdunstungsbefeuchter, regelbar
Befeuchterenergie (Dampf)	kein Dampfbefeuchter
Befeuchterregelung (Wasser)	Hochdruckbefeuhter, drehzahlgerelt oder getaktet
Leckluftvolumenstrom c_{leak}	Standardwert ohne Prüfung (2,5 x Klasse A)

	Nutz- und Hilfsenergie [kWh]	Nutz- und Hilfsenergie [kWh/(m³/h a)]	Primärenergie [kWh/(m³/h a)]
Lufterwärmung	46.806	3,06	4,04
Luftkühlung	35.116	2,30	1,85
Dampfbefeuchtung	-	-	-
Ventilatoren + Antriebe	40.222	2,63	6,31
			12,20

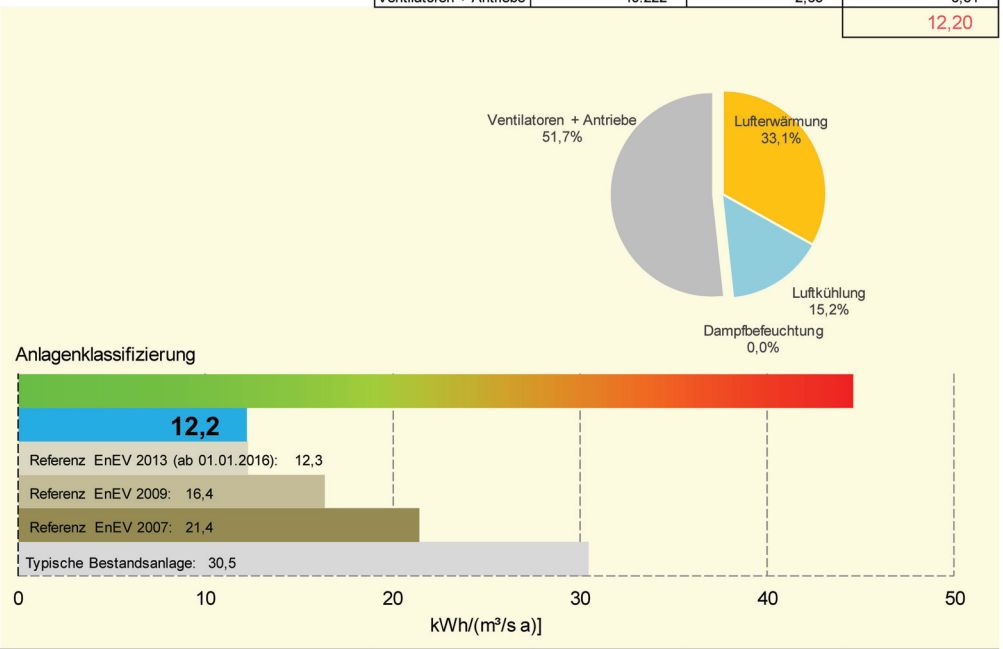


Abbildung 41: Datenblatt mit Berechnung von E_{RLT} nach DIN SPEC 15240

5.3 Fazit

Die bestehenden Kennwerte zeigen vor allem im Bereich Raumlufttechnik Lücken auf, da lediglich Teile von Anlagen bewertet werden können, jedoch nicht ganze Anlagensysteme mit den wesentlichen Merkmalen „Dimensionierung“ und “Betriebsweise“.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Dabei gehören gerade Reduzierungen der Anlagenleistungen (z. B. der Luftvolumenströme) und Optimierungen der Anlagenbetriebswiese zu den wirksamsten und hochwirtschaftlichen Optimierungsmaßnahmen. Die daraus abzuleitenden Handlungen sind niedriginvestiv und haben eine große Chance der Umsetzung. Allerdings sind für das Erkennen und Umsetzen dieser Maßnahmen Fachkenntnisse und Erfahrungen notwendig.

Im Bereich Klimakälteanlagen existieren vernünftige Ansätze zur energetischen Systembewertung, die jedoch nicht für alle gängigen Kälteanwendungen (z. B. nicht für Absorptionskälteanlagen) und nicht für alle Systemausstattungsgrade (z. B. nicht für die Freie Kühlung) geeignet sind.

Die Diskussionen innerhalb der Projektgruppe haben den Bedarf ergeben, einerseits ein Expertenlabel weiterzuentwickeln, dass über die bestehenden Verfahren hinausgeht und aber andererseits auch ein einfaches Bewertungsverfahren (Quickcheck) zu entwickeln, dass auch für Nicht-Fachleute geeignet ist.

Mit den Quickchecks sollen Bauherren und Anlagenbetreiber sowie Energieberater angesprochen werden, die nicht zur Gruppe der Fachkundigen nach § 12 gehören. Die Quickchecks sollen dazu dienen, die Anlagen zu identifizieren, für die eine energetische Inspektion einerseits zwar vorgeschrieben ist, andererseits ein besonders hohes Potenzial für Einsparungen besteht.

Die Quickchecks sollen keine „Inspektion light“ sein, sondern vielmehr zur Förderung eines verbesserten Vollzugs der Inspektionen dienen. Dies soll dadurch geschehen, dass die Betreiber über die Höhe der möglichen Energiekosten und die vermuteten Energieeinsparpotenziale eine erste Indikation erhalten.

Der Zugang zu den Quickchecks soll über kostenfrei nutzbare Onlinetools sehr niedrigschwellig und besonders vertrauenswürdig sein.

Das Expertenlabel wendet sich dagegen an Fachleute, die eine energetische Inspektion durchgeführt haben und dazu dienen, die Ergebnisse der Inspektion anschaulich zu klassifizieren. Kennzeichen des Expertenlabels soll es sein, einen möglichst übergreifenden Ansatz zu verwirklichen, der neben der Effizienz der eingesetzten Komponenten und Geräte auch die Dimensionierung im Sinne des § 12 EnEV und die Betriebsweise der Anlagen bewertet.

Beide Verfahren sollen sich nicht auf Teilklima- und Klimaanlagen beschränken, sondern auch auf reine Lüftungsanlagen anwendbar sein.

5.4 Quickcheck für Klima- und Lüftungsanlagen

5.4.1 Kältetechnik – Klimakälteanlagen

5.4.1.1 Allgemeines

Es wurde eine Methode zur vereinfachten Effizienzberechnung für Klimakälteanlagen auf Basis von einfach erkennbaren Randbedingungen erarbeitet. Diese beruht inhaltlich auf dem Berechnungsverfahren nach DIN SPEC 15240, welches in den Eingangsgrößen vereinfacht und in der Anzahl der Eingangsparameter deutlich reduziert wurde. Eine grundlegend andere Herangehensweise z. B. mit einem Punkteverfahren, was auch andere, nicht im Verfahren nach DIN SPEC 15240 abgebildete Parameter (z. B. Ökologie des Kältemittels, hydraulische Schaltung) berücksichtigt wurde nach der Diskussion im Projektteam verworfen.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Das Quickcheck-Verfahren erlaubt eine überschlägige aber adäquate Schätzung der Energieeffizienz, ohne dass dafür Messungen erforderlich sind. Im Ergebnis ist ein Vergleich mit dem Stand der Technik durch den Bezug zu den EnEV-Referenzanforderungen möglich. Dadurch kann eine überschlägige Potentialabschätzung für das berechnete Anlagensystem erfolgen. Parallel dazu werden die Kälteerzeugungskosten groß berechnet, was für den Anwender eine Aussage über die Höhe der zu erwartenden Energiekosten liefert. Aus beiden wird das Votum für den Handlungsbedarf abgeleitet. Es hat sich als sinnvoll herausgestellt, für die Höhe der Energiekosten und die Höhe des Einsparpotenzials eine Klassifizierung in vier Stufen zu wählen. Der daraus abgeleitete Handlungsbedarf soll in der bewährten Rot-Gelb-Grün-Ampel mit drei Klassen angezeigt werden (siehe Abbildung 44).

Das Berechnungsverfahren wurde für weitere Anwendungen erweitert, so dass sich die abbildbare Gerätevielfalt auf alle Anwendungen der Klimakältetechnik vom Raumklimagerät über klassische Kaltwassersätze als Absorptions- oder Kompressionskälteanlagen bis hin zu Geothermieanlagen zur Gebäudekühlung erstreckt.

5.4.1.2 Berechnungsverfahren

Insgesamt werden drei Größen mathematisch errechnet:

- Effizienzkennwert $E_{KK,IST}$ zur Bewertung des vermuteten Energieeinsparpotenzials
- Referenzkennwert $E_{KK,REF}$ als Benchmark für den Effizienzkennwert
- Höhe der zu erwartenden Energiekosten K_e

Berechnung des Effizienzkennwertes

$$E_{KK,IST} = \frac{EER_n \cdot f_{c,Bestand,n} \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n}}{f_{p,i}/f_{p,s} + q_{R,elektr,n} \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n} \cdot f_{KK,R,n} \cdot f_{R,FC,n}(1 + EER_n) + EER_n \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n} \cdot q_{Verteilung,n}}$$

mit	$E_{KK,IST}$	Effizienzkennwert des Kompressions-Klimakältesystems
	EER_n	Nennkälteleistungszahl der Kältemaschine
	$f_{c,Bestand,n}$	Baualtersfaktor
	$PLV_{KK,n}$	mittlerer Teillastfaktor der Kältemaschine
	$f_{FC,n}$	Freikühlfaktor der Kältemaschine
	$q_{R,elektr,n}$	spezifischer Elektroenergiebedarf des Rückkühlers
	$f_{KK,R,n}$	mittlerer Nutzungsfaktor der Rückkühlung
	$f_{R,FC,n}$	mittlerer Nutzungsfaktor der Freien Kühlung
	$q_{Verteilung,n}$	spezifischer Elektroenergiebedarf der Kälteverteilung

2018 Ecofys – A Navigant Company

$f_{p,i}$ Primärenergiefaktor des Energieträgers zur Sorptionskühlung nach DIN SPEC 15240

$f_{p,i}$ Primärenergiefaktor Strom nach DIN V 18599-1

mit $n = \begin{cases} min \\ mittel \\ max \end{cases}$

Berechnung des Referenzkennwertes

Der Referenzkennwert $E_{KK,REF}$ ist für 3 verschiedene Referenznutzungsarten vorgegeben ($E_{KK,Nutz}$), die eine unterschiedliche starke Auslastung des Kälteerzeugungssystems auch im Referenzfall berücksichtigen:

- Geringe Auslastung: Referenznutzung Bettenstation im Krankenhaus
- Mittlere Auslastung: Referenznutzung Büro
- Hohe Auslastung: Referenznutzung Serverraum

In Abhängigkeit der Kälteleistung, die als Eingabewert vom Anwender einzugeben ist, wird ein Leistungsfaktor f_i als Multiplikator verwendet. Dieser berücksichtigt, dass in größeren Anlagensystemen mit hoher Kälteleistung auch dafür geeignete Kälteerzeugungssysteme mit höherer Effizienz zum Einsatz kommen sollten.

.

$$E_{KK,REF} = E_{KK,Nutz,i} \cdot f_i$$

mit

nutzungsabhängiger Referenzkennwert $E_{KK,Nutz,i}$:

- Bettenstation: 3,1
- Büro: 3,4
- Serverraum: 3,78

Leistungsfaktor f_i:

- $\dot{Q}_0 \leq 250$ kW: 1,0
- $250 < \dot{Q}_0 \leq 500$ kW: 1,07
- $500 < \dot{Q}_0$: 1,21

Berechnung der zu erwartenden Energiekosten:

$$K_e = \frac{\dot{Q}_0 \cdot t_V \cdot k}{E_{KK,gen}} + \frac{\dot{Q}_0 \cdot t_V \cdot k}{E_{KK,aux}}$$

mit

K_e Jahresenergiekosten

$\dot{Q}_0$ Nennkälteleistung (Eingabewert)

2018 Ecofys – A Navigant Company

k Energiepreis (Strom, Wärme)

t_V Vollbenutzungsstunden der Hauptnutzung

$E_{KK,gen}$ Energiekennwert des Kälteerzeugers

$E_{KK,aux}$ Energiekennwert der Hilfsantriebe (Rückkühler, Pumpen)

Energiepreise:

- Strom: 0,20 EUR/kWh
- Wärme: 0,02 … 0,05 EUR/kWh (Abwärme, Solarwärme, Fernwärme)

Vollbenutzungsstunden:

- Geringe Nutzungsdauer: 200 h/a (Bettenstation)
- Mittlere Nutzungsdauer: 500 h/a (Büro)
- Hohe Nutzungsdauer: 6000 h/a (Serverraum)

Energiekennwert des Kälteerzeugers:

$$E_{KK,gen} = \frac{EER_n \cdot f_{c,Bestand,n} \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n}}{{f_{p,i}}/{f_{p,s}} + q_{R,elektr,n} \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n} \cdot f_{KK,R,n} \cdot f_{R,FC,n}(1 + EER_n) + EER_n \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n} \cdot q_{Verteilung,n}}$$

mit $q_{R,elektr} = 0$ und $q_{Verteilung} = 0$

Energiekennwert der Hilfsantriebe (Rückkühler, Pumpen):

$$E_{KK,aux} = \frac{EER_n \cdot f_{c,Bestand,n} \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n}}{{f_{p,i}}/{f_{p,s}} + q_{R,elektr,n} \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n} \cdot f_{KK,R,n} \cdot f_{R,FC,n}(1 + EER_n) + EER_n \cdot PLV_{KK,n} \cdot f_{FC,n} \cdot q_{Verteilung,n}}$$

mit

$EER = \infty$ und ${f_{p,i}}/{f_{p,s}} = 1$

Der Parametersatz und die daraus abgeleiteten Kennwerte für eine Kompressionskälteanlage sind exemplarisch in Tabelle 38 dargestellt.

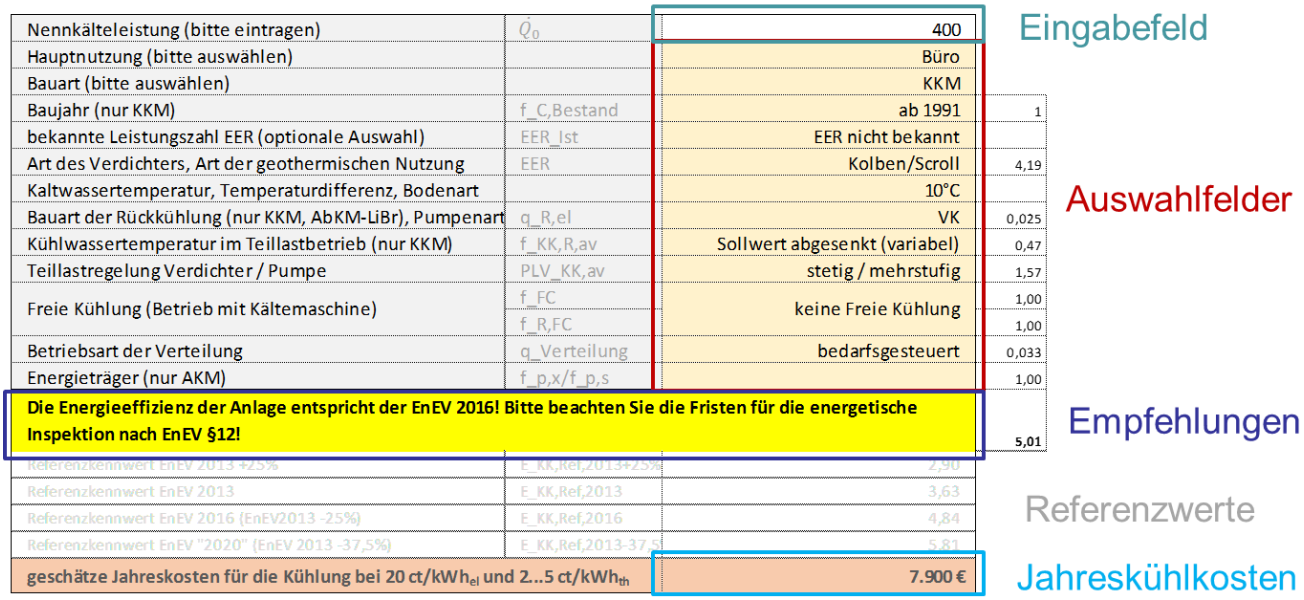
2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 38: Parametersatz Quickcheck Kompressionskälteanlage

Parameter	Positiver Ansatz	Neutraler Ansatz	Negativer Ansatz	Kennwert (min - mittel – max)
Art der Rückkühlung	wassergekühlt	Luftgekühlt		
Art des Verdichters	Turboverdichter	Schraubenverdich-ter	Kolben-/ Scrollverdichter	
Kaltwassertemperatur (Verdampfungstemp.)	hoch (14°C)	mittel (10°C)	niedrig (6°C)	
Baujahr	ab 1991	ab 1986 bis 1990	bis 1985	EER
Bauart des Rückkühlers	Verdunstungsrück-kühler	Trockenrückkühler		$f_{C,Bestand}$
				$q_{R,el}$
Teillastregelung Verdichter	stetig, mehrstufig	taktend, drosselnd	mischend, nicht bekannt	$PLV_{KK,av}$
Regelung der Rückkühlung	Variabel	konstant, nicht bekannt		$f_{KK,R,av}$
Betriebsart der Verteilung	Bedarfsgesteuert	Intermittierend	Saisonal	$q_{Verteilung}$
Freie Kühlung	Parallelbetrieb	Alternativbetrieb	keine	f_{FC}, $f_{R,FC}$
Hauptnutzung	Geringe Belastung (Bettenstation)	Mittlere Belastung (Büro)	Hohe Belastung (Rechenzent-rum)	alle Faktoren

Für interne Testzwecke wurde ein Excel-Tool programmiert, wie in Abbildung 42 dargestellt.

2018 Ecofys – A Navigant Company



Nennkälteleistung (bitte eintragen)	$\dot{Q}_0$	400	
Hauptnutzung (bitte auswählen)		Büro	
Bauart (bitte auswählen)		KKM	
Baujahr (nur KKM)	f_C,Bestand	ab 1991	1
bekannte Leistungszahl EER (optionale Auswahl)	EER_Ist	EER nicht bekannt	
Art des Verdichters, Art der geothermischen Nutzung	EER	Kolben/Scroll	4,19
Kaltwassertemperatur, Temperaturdifferenz, Bodenart		10°C	
Bauart der Rückkühlung (nur KKM, AbKM-LiBr), Pumpenart	q_R,el	VK	0,025
Kühlwassertemperatur im Teillastbetrieb (nur KKM)	f_KK,R,av	Sollwert abgesenkt (variabel)	0,47
Teillastregelung Verdichter / Pumpe	PLV_KK,av	stetig / mehrstufig	1,57
Freie Kühlung (Betrieb mit Kältemaschine)	f_FC	keine Freie Kühlung	1,00
	f_R,FC		1,00
Betriebsart der Verteilung	q_Verteilung	bedarfsgesteuert	0,033
Energieträger (nur AKM)	f_p,x/f_p,s		1,00
Die Energieeffizienz der Anlage entspricht der EnEV 2016! Bitte beachten Sie die Fristen für die energetische Inspektion nach EnEV §12!			5,01
Referenzkennwert EnEV 2013 -25%	E_KK,Ref,2013-25%		2,90
Referenzkennwert EnEV 2013	E_KK,Ref,2013		3,63
Referenzkennwert EnEV 2016 (EnEV2013 -25%)	E_KK,Ref,2016		4,84
Referenzkennwert EnEV "2020" (EnEV 2013 -37,5%)	E_KK,Ref,2013-37,5		5,81
geschätze Jahreskosten für die Kühlung bei 20 ct/kWh$_{el}$ und 2...5 ct/kWh$_{th}$		7.900 €	

Abbildung 42: Screenshot des excelbasierten Quickchecktools für den Bereich Kälte

In einem weiterführenden Projekt wird das Excel-Tool in ein Online-Berechnungstool überführt.

5.4.2 Raumlufttechnische Anlagen

Der Quickcheck für raumlufttechnische Anlagen liefert eine empirische Einschätzung des Handlungsbedarfs. Ein hoher Handlungsbedarf für weitere Inspektionen / Untersuchungen kann abgeleitet werden, wenn die Anlage entweder hohe Energiekosten vermuten lässt oder die Ausstattung eine geringe Effizienz vermuten lässt.

Generell wird es für sinnvoll angesehen, den Anwender über die Größenordnung der vermuteten Energiekosten zu informieren, da bei Nicht-Fachleuten darüber meist keine realistischen Vorstellungen herrschen.

Daher werden zwei Größen mathematisch errechnet:

- die Höhe der zu erwartenden Energiekosten
- eine dimensionslose Größe (1: „kein Potenzial“ bis 0: „sehr groß“) zur Bewertung des vermuteten Energieeinsparpotenzials.

Aus beiden wird das Votum für den Handlungsbedarf abgeleitet.

Es hat sich als sinnvoll herausgestellt, für die Höhe der Energiekosten und die Höhe des Einsparpotenzials eine Klassifizierung in vier Stufen zu wählen. Der daraus abgeleitete Handlungsbedarf soll in der bewährten Rot-Gelb-Grün-Ampel mit drei Klassen angezeigt werden.

Abbildung 43 zeigt das abgestimmte Erscheinungsbild mit den jeweils vier Klassen für den Energieverbrauch und das ungenutzte Einsparpotenzial, dass dann gemäß Abbildung 44 zum Votum für den Handlungsbedarf verknüpft wird.

2018 Ecofys – A Navigant Company

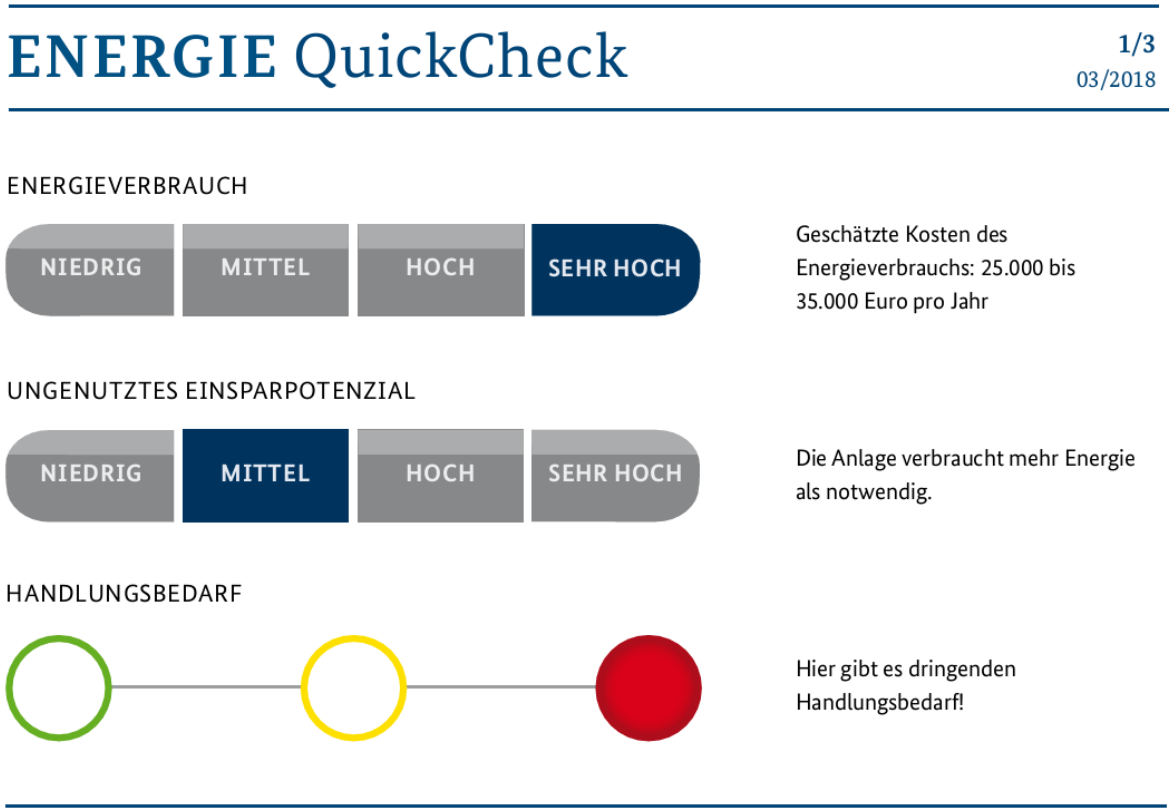


Abbildung 43: Mögliche Gestaltung der Ergebnisdarstellung des Quickchecks (Quelle: ifeu)

		Energiekosten			
		niedrig	mittel	hoch	sehr hoch
Einsparpotenzial	niedrig				
	mittel				
	hoch				
	sehr hoch				

Abbildung 44: Klasseneinteilung für den Handlungsbedarf

Berechnung der zu erwartenden Energiekosten:

$$K_e = \sum_i (q_i \cdot \dot{V} \cdot k_i) + \frac{\dot{V}}{3600\ s/h} SFP_{ges} \cdot f_{FU} \cdot k_{St} \cdot n_d \cdot n_h$$

2018 Ecofys – A Navigant Company

mit

q_i	Bedarfswert mit Index i für Wärme, Kälte Dampf
K_e	Jahresenergiekosten
k_i	Energiepreis
$\dot{V}$	Luftvolumenstrom
SFP_{ges}	Spezifische Ventilatorleistung für Zu- und Abluft

Angesetzt werden folgende Energiepreise:

- Wärme: 0,05 EUR/kWh
- Strom: 0,20 EUR/kWh
- Kälte: 0,20/SEER EUR/kWh mit SEER-Default-Wert: 2,5
- Dampf: je nach Erzeugung 0,05 oder 0,20 EUR/kWh

Die Energiebedarfsanteile, die die Grundlage der Energiekostenprognose bilden, basieren auf Kennwerten der DIN V 18599 – 3, die mit Zu- und Abschlagsfaktoren in Abhängigkeit der technischen Ausstattung multipliziert werden.

$$q_i = q_{Basis} \cdot f_x \cdot f_{WRG} \cdot f_{UML} \cdot f_{FU} \cdot f_d \cdot f_h$$

mit:

i	Index für Wärme, Kälte, Dampf
q_{Basis}	Basiswert für den spezifischen Energiebedarf
	mit 12,0 / 2,4 / 5,0 kW/(1.000 m³/h) für Wärme / Kälte / Dampf
f_x	Faktor (1; 0) für vorhanden / nicht vorhanden
f_{WRG}	Abminderungsfaktor für WRG
f_{UML}	Abminderungsfaktor für Umluftbeimischung
f_{FU}	Abminderungsfaktor für Frequenzumrichter

$$f_d = \frac{n_{Betriebstage}}{365}$$

$$f_h = \frac{n_{Betriebsstunden}}{12}$$

2018 Ecofys – A Navigant Company

		Wärme	Kälte	Dampf
f_{vor}	ja		1,00	1,00
	nein		0,00	0,00
f_{WRG}	ja	0,50	1,00	1,00
	nein	1,00	1,00	1,00
f_{UML}	ja	0,40	1,00	0,40
	nein	1,00	1,00	1,00
f_{FU}	ja	0,80	0,80	0,80
	nein	1,00	1,00	1,00

Abbildung 45: Standardwerte für die Faktoren zur Energieverbrauchsabschätzung

Für die errechneten Energiekosten wird ein Bereich: -33 % ... +10 % anzugeben. Alle Zahlenwerte generell in Abhängigkeit der Höhe zu runden, um keine falschen Erwartungen an die Genauigkeit zu wecken.

Berechnung des vermuteten Energieeinsparpotenzials:

Es erfolgt die Abschätzung der wahrscheinlichen bzw. vermuteten Höhe von Optimierungspotenzialen als dimensionslose Größe, die durch Multiplikation von empirisch geschätzten Zu- und Abschlagsfaktoren gebildet wird.

$$Potenzial = \left(1 - f_{Nutzung} \cdot f_{Baualter} \cdot f_{Nutzungsänderung} \cdot f_{UML/WRG} \cdot f_{GLT} \cdot f_{FU}\right)$$

mit den Faktoren gemäß Tabelle 39 und Abbildung 46.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 39: Standardwerte für Zu- und Abschlagsfaktoren in Abhängigkeit von Baualter und Komplexität der Raumnutzung

Faktor $f_{Baualter}$		Faktor $f_{Nutzung}$	
0,75	Baualter: 60er Jahre	0,90	gleichmäßige Raumnutzung, geringe Komplexität, z. B. Büroräume, Einzelhandel
0,80	Baualter: 70er Jahre	0,80	weitgehend gleichmäßige Nutzung, mittlere Komplexität: z. B. Konferenz, Restaurant
0,85	Baualter: 80er Jahre	0,70	unregelmäßige Nutzung, hohe Komplexität, z. B. Labor, Forschung, Museum
0,90	Baualter: 90er Jahre		
0,97	Baualter: 2000er Jahre		
1,00	Baualter: 2010er Jahre		

		Wärme
$f_{Nutzungsänderung}$	ja	0,90
	nein	1,00
$f_{Umluft\ /\ WRG}$	ja	0,05
	nein	1,00
f_{GLT}	ja	1,00
	nein	0,93
f_{FU}	ja	1,00
	nein	0,85

Abbildung 46: Standardwerte für Zu- und Abschlagsfaktoren in Abhängigkeit des technischen Standards

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 40: Schwellwerte für die Klassifizierung von Energiekosten und Einsparpotenzial

	Energiekosten [EUR/a]	Ungenutztes Einsparpotenzial [-]
niedrig	≤ 3.000	≤ 0,25
mittel	3.000 ... ≤ 6.000	0,25 ... ≤ 0,40
hoch	6.000 ... ≤ 10.000	0,40 ... ≤ 0,60
sehr hoch	> 10.000	> 0,60

5.5 Anlagenlabel für Klima- und Lüftungsanlagen

5.5.1 Kältetechnik – Klimakälteanlagen

5.5.1.1 Ausgangslage

Für die Anlagenbewertung von Klimakälteanlagen existiert mit dem Berechnungsverfahren nach DIN SPEC 15240 eine eingeführte Berechnungsmethode, die im Zuge der energetischen Inspektion von Klimaanlagen nach EnEV § 12 in der Praxis Anwendung findet. Auf Basis von Gerätekennwerten nach DIN V 18599-7 werden die Aufwände für die Kälteerzeugung, Kälteverteilung und Rückkühlung in einem gemeinsamen Teilkennwert für Klimakälteanlagen E_{KK} zusammengefasst. Die Berechnung des Energiekennwertes nach DIN SPEC 15240 erfolgt wie folgt:

$$E_{KK} = \frac{EER \cdot PLV_{KK,av}}{1 + q_{R,elektr} \cdot PLV_{KK,av} \cdot f_{KK,R,av} \cdot (1 + EER) + EER \cdot PLV_{KK,av} \cdot q_{Verteilung}}$$

mit:

E_{KK}	Effizienzkennwert Kälteerzeugung (Anlagenteilkennwert)
EER	Nennkälteleistungszahl EER (Produktkennwert oder nach DIN V 18599-7)
$PLV_{KK,av}$	gewichteter mittlerer Teillastfaktor (DIN V 18599-7 Anhang A)
$q_{R,elektr}$	Spezifischer Elektroenergiebedarf Rückkühler (Produktkennwert oder nach DIN V 18599-7)
$f_{KK,R,av}$	gewichteter mittlerer Nutzungsfaktor der Rückkühlung (DIN V 18599-7 Anhang A)
$q_{Verteilung}$	spezifischer Elektroenergiebedarf der Kälteverteilung

2018 Ecofys – A Navigant Company

Einen Vergleich aller nach DIN V 18599-7 bewertbaren luft- und wassergekühlten Kompressionskälteanlagen mit einem jeweils marktüblichen Bereich für die Nennleistungszahlen zeigt Abbildung 47. Die Energiekennwerte liegen in einem Bereich zwischen 1,25 und 7,15, wobei der höchste Wert die höchste Effizienz ausweist.

Im Folgenden werden die nachstehenden Abkürzungen für die Indizierung der verschiedenen Anlagensysteme verwendet:

Verdichterart:	KS … Kolben/Scroll, SC … Schraube, TU … Turbo
Teillastregelart:	EA … EIN/AUS, VV … Verdichterverbund, ZY … Zylinderabschaltung, HB … Heißgasbypass, SS … Steuerschieber, ED … Einlassdrossel, INV … Inverter
Rückkühlerart:	VKO … Verdunstungsrückkühler offener Kreislauf, VKG … Verdunstungsrückkühler geschlossener Kreislauf, TK … Trockenrückkühler
Kühlwasserregelung:	KON … Kühlwassereintrittstemperatur Kältemaschine konstant, VAR … Kühlwassereintrittstemperatur Kältemaschine variabel
Betrieb der Verteilung:	BED … bedarfsgesteuert, INT … intermittierend, SAI … saisonal

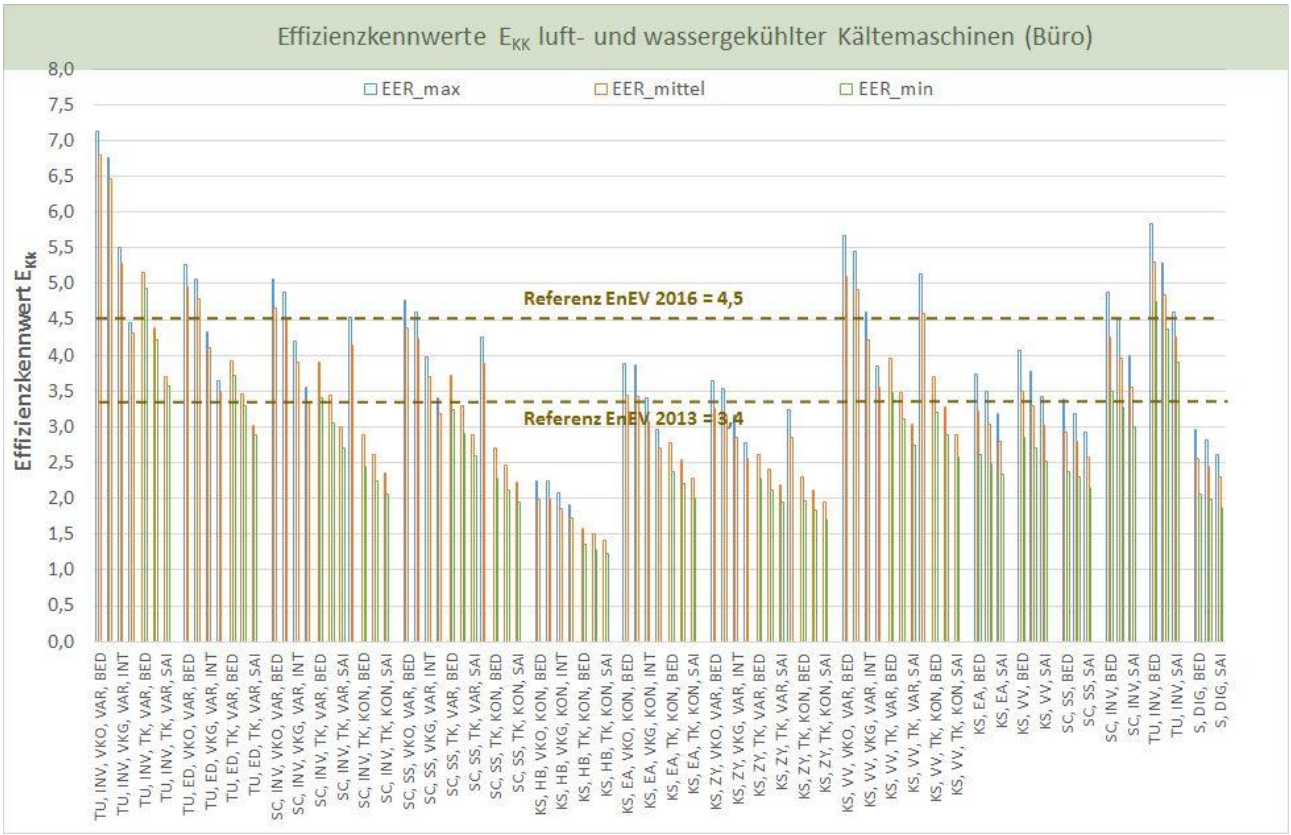


Abbildung 47: Übersicht der Effizienzkennwerte E_{KK} für luft- und wassergekühlte Kompressionskältemaschinen nach DIN V 18599-7

2018 Ecofys – A Navigant Company

Das bestehende Verfahren ist jedoch beschränkt auf Kaltwassererzeugungsanlagen in Form von Kompressionskälteanlagen. Das Verfahren wurde daher zunächst in folgenden Punkten ergänzt und erweitert:

- Berechnung von Raumkühlsystemen (VRF, Multisplit)
- Berechnung von Sorptionskälteanlagen
- Berechnung von geothermischen Kälteanlagen
- Berechnung der Freien Kühlung
- Berücksichtigung verschiedener Baualter bei Kompressionskälteanlagen
- Berücksichtigung der Über- oder Unterdimensionierung des Kälteerzeugers

Darüber hinaus wurde auf Basis von exemplarischen Berechnungen eine Klassifizierung für ein Bestandsanlagen-Label erarbeitet. Dieses ermöglicht eine Zuordnung von Effizienzklassen A bis F entsprechend des ermittelten Teilkennwertes und einen Vergleich mit den Referenzanforderungen der EnEV 2013 (Klasse C) und EnEV 2016 (Klasse B) im Sinne eines Benchmarkings.

5.5.1.2 Erweiterung für Raumkühlsysteme

Inspektionspflichtige Raumkühlsysteme sind (Multi-)Splitklimaanlagen und VRF-Anlagen, die ohne Kalt- und Kühlwasserverteilsysteme auskommen. Kompakt- und Split-Klimageräte sind aufgrund ihres kleinen Nennleistungsbereiches kleiner 12 kW nicht von der Inspektionspflicht betroffen. Die Verteilenergie wird direkt vom Verdichter erbracht und in der Nennkälteleistungszahl bilanziert. Die Geräte unterscheiden sich durch die Art der Teillastregelung in taktende bzw. ungeregelte und (inverter-)geregelte Geräte. Tabelle 41 zeigt die Nennleistungszahlen EER, die Teillastfaktoren PLV und die Jahresarbeitszahl SEER für Raumkühlsysteme nach DIN V 18599-7.

Tabelle 41: Nennleistungszahlen und Teillastfaktoren von Raumkühlsystemen nach DIN V 18599-7

Anlagensystem	EER	Art der Teillastregelung	Rechenzentrum PLV_{AV}	alle anderen Nutzungen PLV_{AV}	Rechenzentrum SEER = E_{KK}	alle anderen Nutzungen SEER = E_{KK}
Kompaktklimageräte (<12 kW)	2,5	taktend (a)	1,15	1,24	2,9	3,1
Split-Systeme (<12 kW)	2,6	taktend (a)	1,15	1,24	3,0	3,2
		Invertergeregelt (c)	1,21	1,37	3,1	3,6
Multi-Split-Systeme	2,8	taktend (b)	0,93	0,84	2,6	2,4
		Invertergeregelt (d)	1,31	1,29	3,7	3,6
VRF-Systeme	3,4	Invertergeregelt (d)	1,31	1,29	4,5	4,4

2018 Ecofys – A Navigant Company

Die Kennwerte sind direkt für die Verwendung im Kennwertverfahren geeignet. Eine Anpassung des Verfahrens muss nur dahingehend erfolgen, dass die Hilfsenergieanteile für Rückkühlung und Verteilung zu Null gesetzt werden. Die Jahresarbeitszahl SEER entspricht dann direkt dem Energiekennwert EKK.

Im Folgenden werden die nachstehenden Abkürzungen für die Indizierung der verschiedenen Anlagensysteme verwendet:

Bauart: MS … Multi-Split-System, VFR … VRF-System

Teillastregelart: EA … EIN/AUS, INV … Inverter

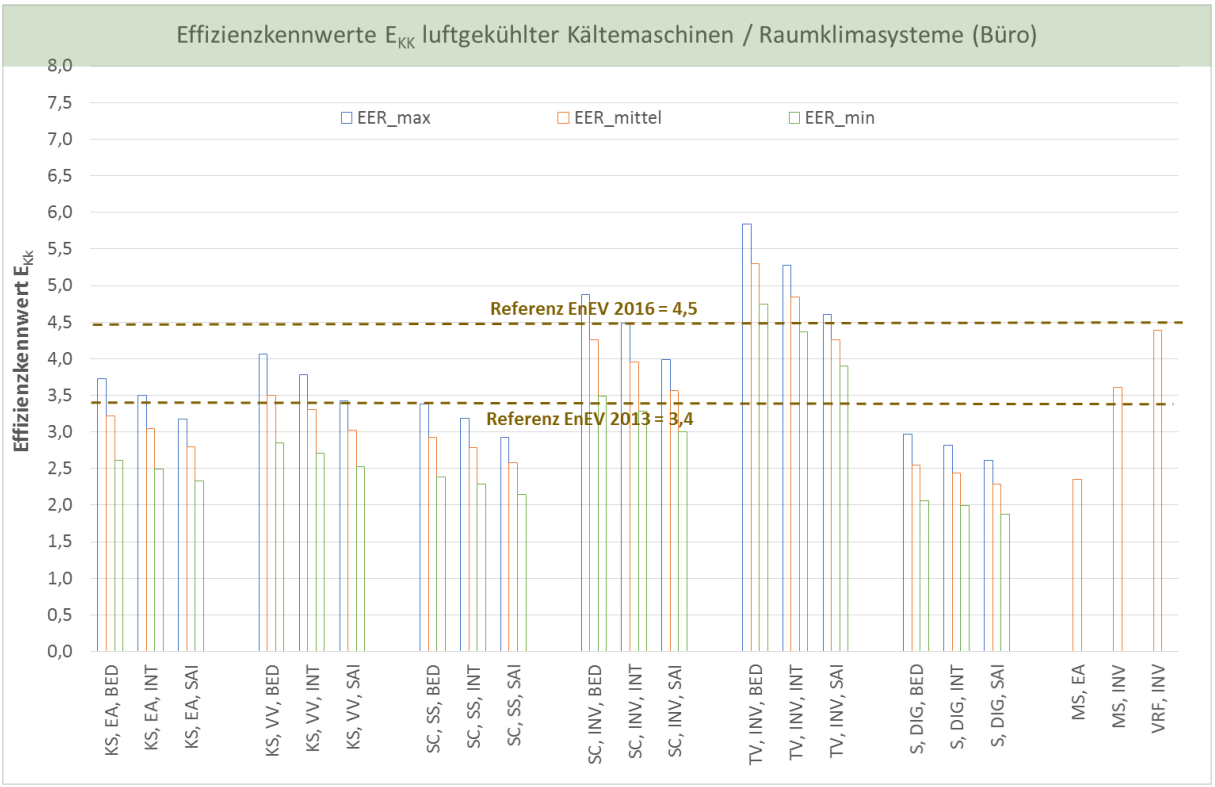


Abbildung 48: Vergleich der Effizienzkennwerte E_{KK} für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen und Raumklimageräte nach DIN V 18599-7

5.5.1.3 Erweiterung für Sorptionskälteanlagen

Sorptionskälteanlagen nutzen thermisch angetriebene Kälteerzeugungsprozesse und nach DIN V 18599-7 energetisch mittels Nennwärmeverhältnis und (konstanten) PLV-Werten bewertbar. Ziel ist es eine Erweiterung möglichst ohne Einfluss auf das bestehende Kennwertverfahren. Sorptionskälteanlagen weisen verfahrensbedingt einen höheren elektrischen Hilfsenergiebedarf für die Rückkühlung (Rückkühler und Pumpe) auf. Darüber hinaus muss im Rahmen der Bilanzierungsgrenzen des Verfahrens ein zusätzlicher elektrischer Hilfsenergiebedarf für die interne Lösungsmittelpumpe und die Heißwasserpumpe (nur bei indirektem Anschluss) berücksichtigt werden. Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher thermischer Energieträger für die Beheizung werden für die Bilanzierung der thermischen und elektrischen Anteile Primärenergiefaktoren (analog E_{RLT}) eingeführt. Die Bilanzierung von Sorptionskälteanlagen erfolgt wie folgt:

2018 Ecofys – A Navigant Company

$$E_{KK,SKM} = \frac{\zeta \times PLV_{KK,av}}{f_{P,X}/f_{P,S} + q_{R,elektr} \times PLV_{KK,av} \times f_{KK,R,av}(1+\zeta) + \zeta \times PLV_{KK,av} \times q_{Verteilung}}$$

mit:

$E_{KK,SKM}$ der Effizienzkennwert des Sorptions-Klimakältesystems;

ζ Nennwärmeverhältnis (aus gesicherten Herstellerdaten oder DIN V 18599-7)

$f_{P,i}$ Primärenergiefaktor des Energieträgers zur Sorptionskühlung (nach Tabelle 42)

$f_{P,S}$ Primärenergiefaktor Strom (1,8)

Tabelle 42: Primärenergiefaktoren Sorptionskühlung

Energieträger (Abkürzung)	Primärenergiefaktor Sorptionskühlung $f_{p,i}$
Fernwärme aus Heizwerken (HW)	1,3
Fernwärme oder Abwärme aus KWK (KWK)	0,7
Fossile Brennstoffe (FOS)	1,1
Biomasse (BIO)	0,5
Industrielle Abwärme, Solarwärme (AB-SOL)	0,0

Indizierung: AbKM-LiBr … Absorptionskälteanlage Wasser-Lithiumbromid, AbKM-NH3 … Absorptionskälteanlage Ammoniak-Wasser, AdKM … Adsorptionskälteanlage

2018 Ecofys – A Navigant Company

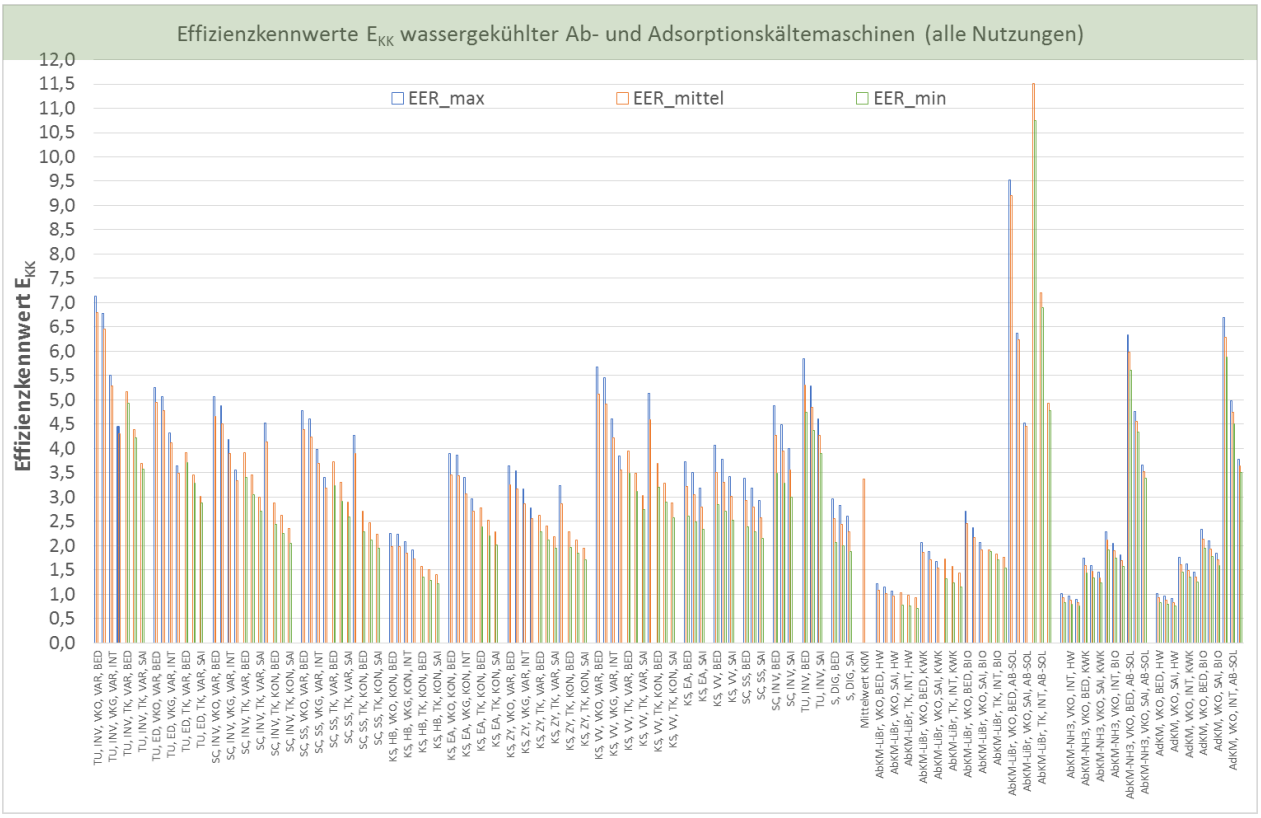


Abbildung 49: Vergleich der Effizienzkennwerte EKK für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen und Sorptionskälteanlagen nach DIN V 18599-7

5.5.1.4 Erweiterung für geothermische Kälteanlagen

Geothermieanlagen können als Erdsondenanlagen oder Grundwasseranlagen ausgeführt werden und sind nach DIN 18599-7 mit EER und PLV-Werten bewertbar. Eine Verwendung für das Kennwertverfahren ist ohne Erweiterung möglich. Aufgrund der des geringen Energiebedarfs dieser Systeme erreichen sie sehr hohe Effizienzkennwerte E_{KK}, wie in Abbildung 50 dargestellt.

Im Folgenden werden die nachstehenden Abkürzungen für die Indizierung der verschiedenen Anlagensysteme verwendet:

Bauart:	GW … Grundwassernutzungsanlage, ES … Erdsondenanlage
Teillastregelung:	P-FU … FU-geregelte Pumpe, P-EA … ungeregelte Pumpe (EIN-AUS)

2018 Ecofys – A Navigant Company

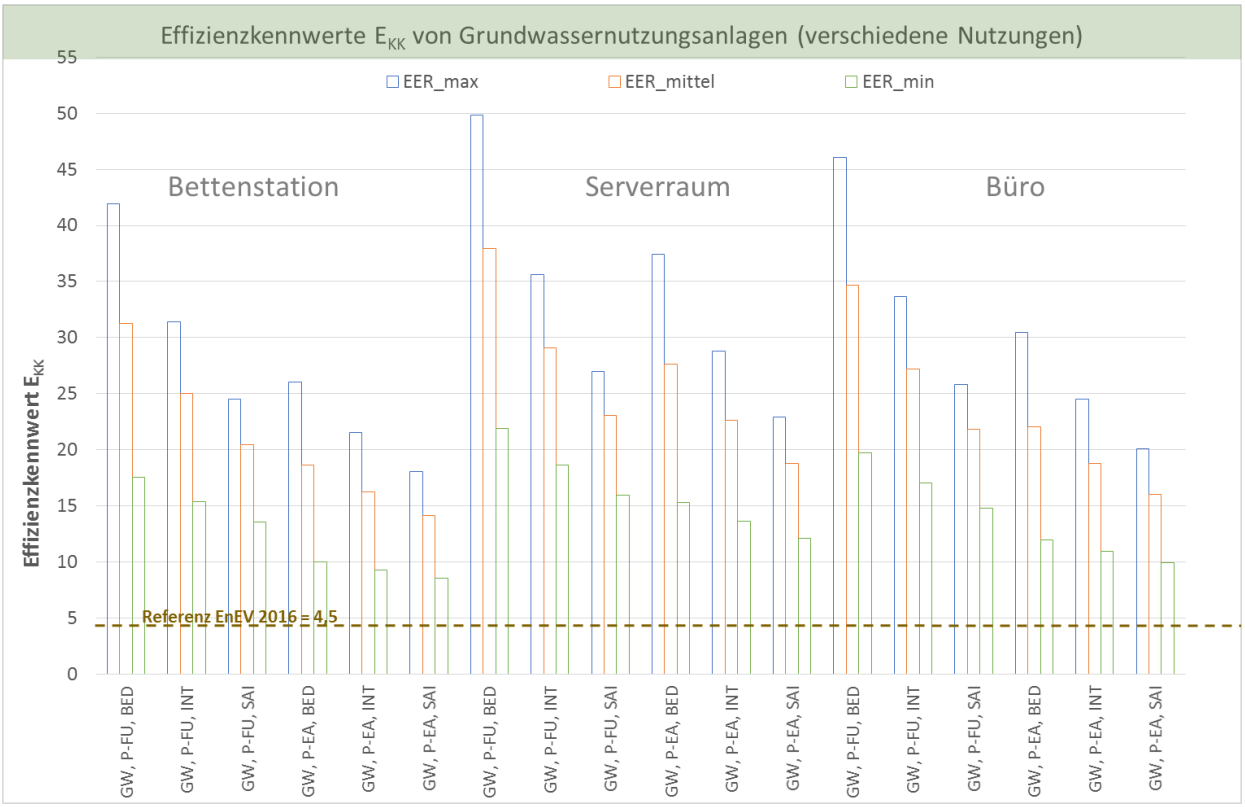


Abbildung 50: Effizienzkennwerte EKK für Geothermiekälteanlagen nach DIN V 18599-7

5.5.1.5 Erweiterung für die Freie Kühlung

Die Freie Kühlung mittels Rückkühlwerken bei wassergekühlten Systemen und geräteintegrierten Freikühlregistern bei luftgekühlten Anlagen sind nach DIN 18599-7] mit Freikühlfaktoren und Nutzungsfaktoren für die Rückkühlung bewertbar. Die Erweiterung der Bilanz um die Freie Kühlung im Kennwertverfahren führt zu folgender neuer Berechnungsmethodik:

$$E_{KK,KKM} = \frac{EER \times PLV_{KK,av} \times f_{FC}}{1 + q_{R,elektr} \times PLV_{KK,av} \times f_{FC} \times f_{KK,R,av} \times f_{R,FC}(1 + EER) + EER \times PLV_{KK,av} \times f_{FC} \times q_{Verteilung}}$$

mit:

f_{FC} der gewichtete mittlere Freikühlfaktor [DIN V 18599-7], ohne Freie Kühlung: $f_{FC} = 1$

$f_{R,FC}$ der gewichtete mittlere Nutzungsfaktor Freie Kühlung [DIN V 18599-7], ohne Freie Kühlung: $f_{R,FC} = 1$

Die Faktoren f_{FC} und $f_{R,FC}$ müssen analog zu $PLV_{KK,av}$ und $f_{KK,R,av}$ nutzungsabhängig gewichtet werden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

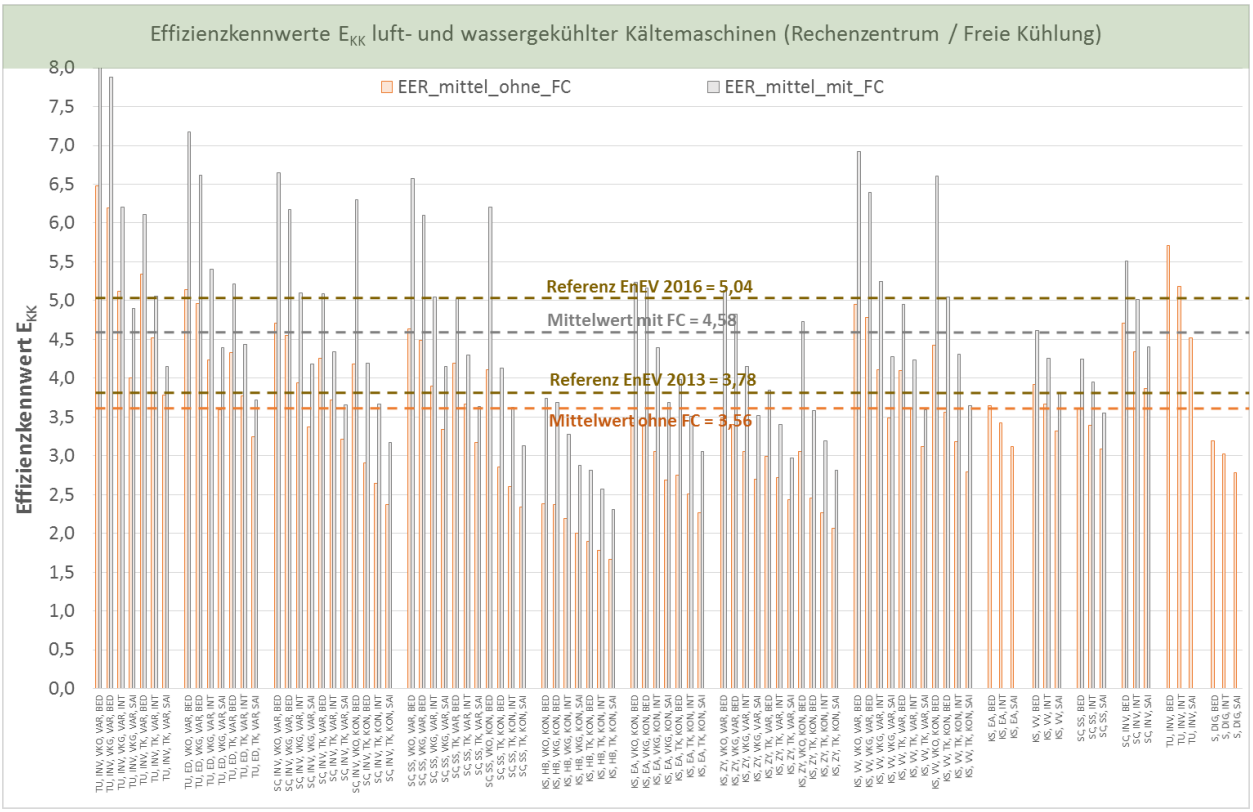


Abbildung 51: Vergleich der Effizienzkennwerte EKK für Kompressionskältemaschinen mit und ohne freie Kühlung für Serverräume nach DIN V 18599-7

5.5.1.6 Erweiterung für das Baualter bei Kompressionskälteanlagen

Kennwerte für das Baualter enthält DIN V 18599-7 wie in Tabelle 43 dargestellt. Sie sind direkt für die Verwendung im Kennwertverfahren geeignet. Eine Anpassung des Verfahrens muss nur dahingehend erfolgen, dass ein Hinweis auf die Zulässigkeit der Verwendung ergänzt wird.

Tabelle 43: Baualterfaktor für Kälteerzeuger > 12kW nach DIN V 18599-7

Baujahr des Kälteerzeugers	Baualterfaktor $f_{C,B}$
ab 2016	1,1
ab 2011 bis 2015	1,06
ab 1991 bis 2010	1
ab 1986 bis 1990	0,92
ab 1981 bis 1985	0,87
bis 1980	0,82

Für Raumklimageräte bis 12kW, Sorptionsanlagen und Geothermieanlagen sind keine Faktoren verfügbar.

2018 Ecofys – A Navigant Company

5.5.1.7 *Über- oder Unterdimensionierung des Kälteerzeugers*

Durch eine Über- oder Unterdimensionierung verschiebt sich der Arbeitspunkt auf der Teillastkennlinie, da die Maschineneffizienz (Faktor f1) je nach Teillastregelart sinkt oder steigt (Abbildung 52).

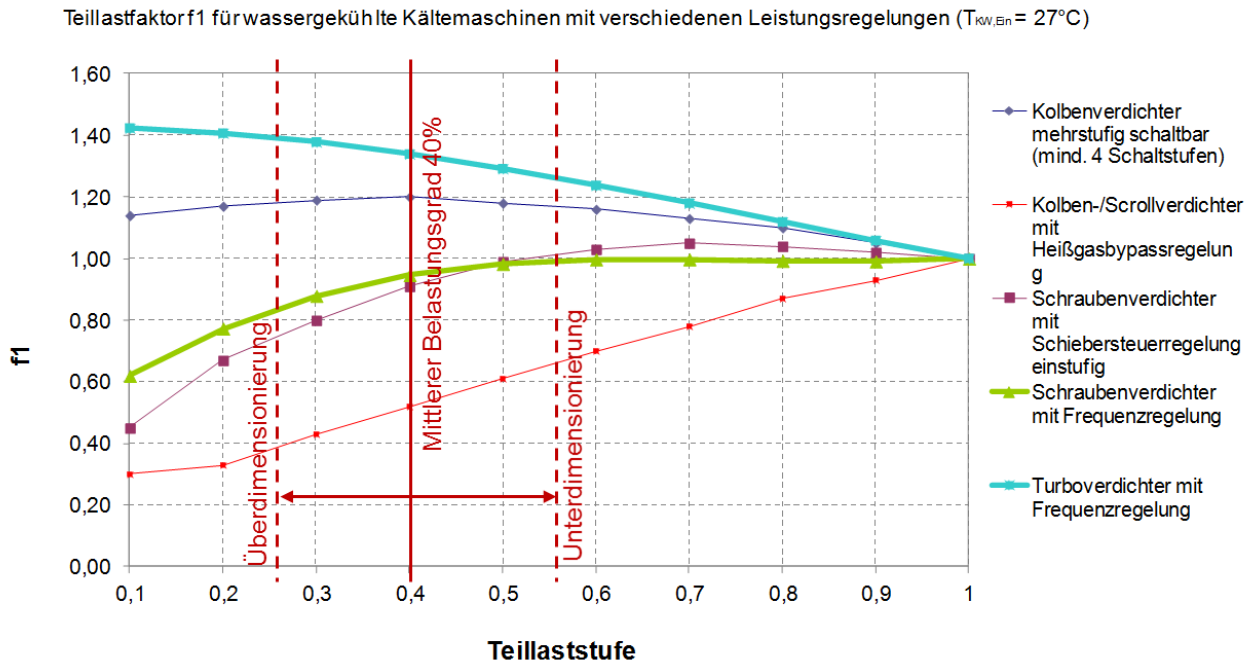


Abbildung 52: Einfluss der Über- oder Unterdimensionierung des Kälteerzeugers auf den Teillastfaktor

Darüber hinaus verändert sich die Rückkühleffizienz durch die veränderte Leistungsaufnahme (Faktor f2). In einer Vielzahl von Variantenberechnungen wurden die Effizienzveränderungen berechnet und die Ergebnisse verdichtet. Zeigt die Belastungsgradänderung in Abhängigkeit der Über- oder Unterdimensionierungsgrade.

2018 Ecofys – A Navigant Company

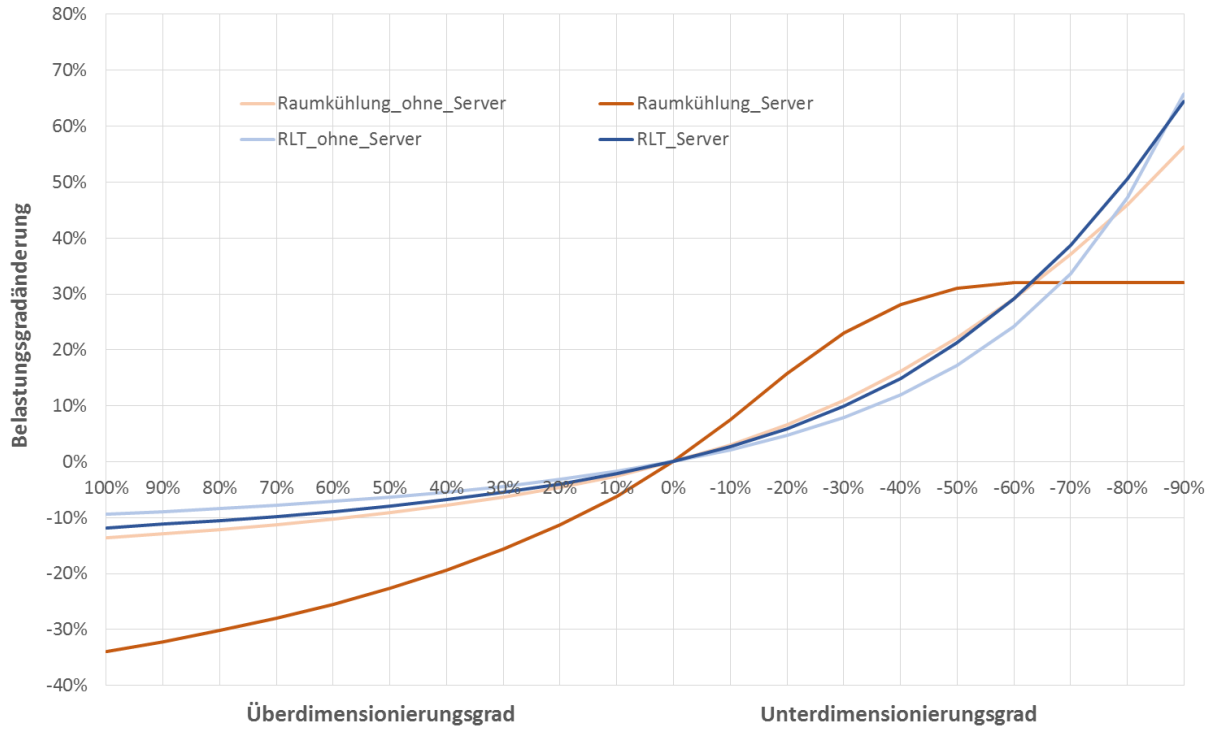


Abbildung 53: Belastungsgradänderung in Abhängigkeit des Über- oder Unterdimensionierungsgrade bei RLT- und Raumkühlung

Die normative Umsetzung erfolgte in DIN SPEC 15240 als Beispiel im informativen Anhang E.

5.5.1.8 Energielabel für Klimakälteanlagen

Für die Klassifizierung des Energielabels wurden die Labelklassen (Tabelle 44) definiert. Dabei wurden folgende Randbedingungen in der Projektgruppe abgestimmt:

- oberste Labelklasse (A) bleibt offen für neue KKM-Technologien
- EnEV 2016 in Klasse B (Bedarf 25 % / Effizienz +33 % über EnEV 2013)
- EnEV 2013 in Klasse C

Die Referenzwerte der EnEV 2009/07 sind für das Label nicht nutzbar, da die Referenztechnologie fast unverändert gegenüber EnEV 2013 ist. Hier wurde eine Abstufung der Bedarfswerte um 30 % und 100 % für die Klassen D und E (darunter Klasse F) vereinbart. Klasse G bleibt unbesetzt, da eine weitere Abstufung nicht erforderlich ist. Alle Referenzwerte sind dabei technologie- und kühllastabhängig. Labelklasse A wird durch Geothermieanlagen und solar basierte AKM schon heute erreicht.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 44: Labelklassen für das Energielabel für Klimakälteanlagen

Referenz	Label-Klasse	Bsp. Nutz-energie [kWh]	Bsp. End-energie [kWh]	Bsp. SEER	End-energie	Effizienz (E_{KK})	Bsp. E_{KK} Büro 400 kW
EnEV 2013 -50 %	A	4000	500	8,0	50 %	200 %	7,26
EnEV 2016	B	4000	750	5,3	75 %	133 %	4,84
EnEV 2013	**C**	**4000**	**1000**	**4,0**	**100 %**	**100 %**	**3,63**
EnEV 2013 +30 %	D	4000	1300	3,1	130 %	77 %	2,79
EnEV 2013 +100 %	E	4000	2000	2,0	200 %	50 %	1,82
< EnEV 2013 +100 %	F	4000	> 2000	< 2,0	> 200 %	< 50 %	< 1,82
	G						

5.5.2 Raumlufttechnische Anlagen

Für die Bewertung von raumlufttechnischen Zentralgeräten gibt es mit den Verfahren aus DIN SPEC 15240 und DIN V 18599 – 7 eine eingeführte Methode, die bei der energetischen Inspektion zur Anwendung gelangt und z. B. durch Schulungen und verfügbare kommerzielle Software eingeführt ist.

Der Vorschlag sieht eine Weiterentwicklung dieser Methode mit dem Ziel einer ganzheitlichen Systembewertung vor, um die Anlagendimensionierung und die Betriebsweise bewerten zu können. Dabei soll die Systembewertung die Gerätebewertung nicht ablösen, sondern ergänzen. Beide Methoden haben in unterschiedlichen Phasen ihre Berechtigung.

Im Unterschied zur Gerätebewertung mit einem volumenstromspezifischen Primärenergiekennwert [kWh/(m³/h)] soll die Systembewertung einen absoluten Primärenergiebedarf [kWh] ausweisen. Der Systemkennwert $E_{RLT,SYS}$ entspricht einem absoluten Jahresprimärenergiebedarf der Anlage unter Zugrundelegung standardisierter Randbedingungen. Damit kann auch ein Bezug zu den Energiekosten hergeleitet werden, obwohl dies nicht explizit angestrebt wird.

Die *„Überprüfung und Bewertung der Einflüsse, die für die Auslegung der Anlage verantwortlich sind, insbesondere Veränderungen der Raumnutzung und -belegung, der Nutzungszeiten, der inneren Wärmequellen sowie der relevanten bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes und der vom Betreiber geforderten Sollwerte hinsichtlich Luftmengen, Temperatur, Feuchte, Betriebszeit sowie Toleranzen)“* gehört zu den Kernaufgaben der energetischen Klimaanlageninspektion nach § 12 EnEV. Dazu sind Fachkunde, z. B. die Kenntnisse der einschlägigen technischen Regeln notwendig. Die Anwendung des Systemlabels setzt also eine energetische Inspektion voraus.

Das Systemlabel stellt ein Werkzeug für die Inspektion dar, um deren Ergebnis zu quantifizieren und die Ursachen und Wirkung von Einzelaspekten auf den Jahresprimärenergiebedarf transparenter zu machen.

In die erweiterte Bewertung für das System bzw. die Komplettanlage fließen ein:

2018 Ecofys – A Navigant Company

- die Ergebnisse der Prüfung der Anlagendimensionierung nach jeweils geltenden energiesparrechtlichen Vorgaben in Bezug zum Mindestaußenluftvolumenstrom und zur maximalen Kühllast
- die Bewertung der Betriebsweise mit Berücksichtigung von den Nutzungen angepassten Betriebszeiten, einer bedarfsabhängigen Luftvolumenstromregelung und einer kühllastgeregelten Luftvolumenstromregelung.

Die von der inspizierten Anlage versorgten Räume oder Flächen sind vorab zu bestimmen und zu Zonen zusammenzufassen. Die Zoneneinteilung erfolgt nach dem Kriterium „Nutzungsart“ nach DIN V 18599-1.

Befinden sich innerhalb einer Nutzungsart Räume mit konstantem Volumenstrom und Räume mit variablem Volumenstrom, sind für diese, jeweils gesonderte Zonen zu bilden. Jeder Zone ist ein Nutzungsprofil nach DIN V 18599-10 zuzuordnen.

Für jede Zone ist der notwendige Mindestaußenluftvolumenstrom zu bestimmen. Im Regelfall ergibt sich der Mindestluftwechsel aus der Nutzfläche und dem spezifischen Mindestwert nach DIN V 18599-10 Tabelle 4.

In Sonderfällen kann ein abweichender Mindestvolumenstrom im Rahmen der energetischen Inspektion für eine Zone bestimmt werden. Dieser ist zu begründen und die Herleitung ist zu dokumentieren.

Für jede Zone ist die maximale Kühllast mit Hilfe einer der in DIN SPEC 15240 aufgeführten Verfahren und Vereinfachungen zu ermitteln. Aus der maximalen Kühllast ist der maximale kühllastbezogene Luftvolumenstrom abzuleiten. Dabei sind die maximale Soll-Raumtemperatur und die zulässige minimale Zulufttemperatur heranzuziehen. Die Art der Raumluftströmung und Parameter der thermischen Behaglichkeit müssen vom Inspektor angemessen berücksichtigt werden.

Der Systemkennwert einer RLT-Anlage $E_{RLT,SYS}$ ergibt sich aus der Summe von monatlichen Einzelwerten $E_{RLT,SYS,mth}$:

$$E_{RLT,SYS} = \sum_{mth=1}^{12} E_{RLT,SYS,mth}$$

mit:

$$E_{\mathrm{RLT,SYS,mth}} = (Q_{\mathrm{vh,b,mth}} \cdot f_{\mathrm{H}} \cdot f_{\mathrm{p,H}} + \frac{Q_{\mathrm{vc,b,mth}} \cdot f_{\mathrm{C}} \cdot f_{\mathrm{p,S}}}{\mathrm{EER}} + Q_{\mathrm{m*b,mth}} \cdot f_{\mathrm{St}} \cdot f_{\mathrm{p,St}} +$$

$$W_{v,mth} \cdot f_{\mathrm{p,S}} + (q_{\mathrm{WRG}} + q_{\mathrm{BEF}}) \cdot \frac{t_{v,mech,mth}}{12h} \cdot \frac{d_{v,mech,mth}}{d_{\mathrm{max},mth}} \cdot \dot{V}^{*} \cdot f_{\mathrm{p,S}}) \cdot c_{leak}$$

Dabei ist

$E_{\mathrm{RLT,SYS}}$	der Systemkennwert einer RLT-Anlage [kWh)];
$E_{\mathrm{RLT,SYS,mth}}$	der monatliche Systemkennwert einer RLT-Anlage [kWh)];
$Q_{\mathrm{vh,b,mth}}$	der monatliche Nutzenenergiebedarf für die Lufterwärmung [kWh] (aus DIN V 18599-3);
f_{H}	der Wärmefaktor (berücksichtigt Übergabe, Verteilung und Erzeugung[44]
$Q_{\mathrm{vc,b,mth}}$	der monatliche Nutzenenergiebedarf für die Luftkühlung [kWh] nach DIN V 18599-3;
f_{C}	der Kältefaktor [44]

2018 Ecofys – A Navigant Company

EER	die Nennkälteleistungszahl (energy efficiency ratio) [kW/kW][44];
$Q_{m^*,b,mth}$	der monatliche Nutzenenergiebedarf für die Dampf-Luftbefeuchtung [kWh] (aus DIN V 18599-3);
f_{St}	der Dampfbefeuchtungsfaktor[44];
$f_{p,S}$	der Primärenergiefaktor Strom
$f_{p,H}$	der Primärenergiefaktor Wärme[44];
$f_{p,St}$	der Primärenergiefaktor Dampfbefeuchtung[44]
$W_{v,mth}$	der monatliche Endenergiebedarf für die Luftförderung [kWh] (aus DIN V 18599-3)
q_{WRG}	der spezifische Hilfsenergiebedarf der Wärmerückgewinnung [Wh/(m³/h)] (aus DIN V 18599-7);
q_{BEF}	der spezifische Hilfsenergiebedarf für die Befeuchtung (Zuluft und Abluft bei indirekter Verdunstungskühlung [Wh/(m³/h)] (aus DIN V 18599 -7)
$t_{v,mech,mth}$	die tägliche Anlagenbetriebsstundenzahl des Berechnungsmonats [-] (aus DIN V 18599-3);
$d_{v,mech,mth}$	die Anlagenbetriebstagezahl des Berechnungsmonats [-] (aus DIN V 18599-3);
$d_{v,max,mth}$	die Anzahl der Gesamttage des Berechnungsmonats [-] (aus DIN V 18599-3);
$\dot{V}^*$	der Auslegungsvolumenstrom der Anlage [m³/h]
c_{leak}	der Leckagefaktor.

Für alle versorgten Zonen sind die RLT-Betriebszeiten und RLT-Betriebstage aus den Nutzungsrandbedingungen der DIN V 18599-10 zu bestimmen.

Die tägliche Anlagenbetriebsstundenzahl der Anlage $t_{v,mech,mth}$ ist aus der Differenz des spätesten täglichen Betriebsendes anhand des frühesten täglichen Betriebsbeginns aller Zonen zu ermitteln.

Die Anlagenbetriebstagezahl der Anlage $d_{v,max,mth}$ ist das Maximum der Anlagenbetriebstagezahlen aller betrachteten Zonen.

Der monatliche Bilanzvolumenstrom $\dot{V}_{mech,b,mth}$ für die Weiterverwendung in DIN V 18599 – 3 wird in diesem Verfahren monatlich berechnet. Er folgt aus dem Maximum der notwendigen Volumenströme zur Mindestlüftung und zur Kühlung des jeweiligen Berechnungsmonats. Dabei werden die Möglichkeiten zur bedarfsgerechten Luftvolumenstromregelung berücksichtigt.

$$\dot{V}_{mech,b,mth,z} = MAX\left(\dot{V}_{dc,mth,z} \middle| \dot{V}_{cool,mth,z}\right)$$

Dabei sind:

$\dot{V}_{mech,b,mth,z}$	der mittlere monatliche Bilanz-Volumenstrom einer Zone [m³/h]
$\dot{V}_{dc,mth}$	der mittlere monatliche Volumenstrom zur Mindestlüftung einer Zone [m³/h]
$\dot{V}_{cool,mth}$	der mittlere kühllastabhängige monatliche Volumenstrom einer Zone [m³/h]

[44] entsprechend DIN SPEC 15240

2018 Ecofys – A Navigant Company

Der mittlere monatliche Volumenstrom zur Mindestlüftung muss im Rahmen der Inspektion ermittelt werden. Vereinfachend können die Nutzungsrandbedingungen der Zone nach DIN V 18599-10 angewendet werden.

Soweit die regelungstechnischen Voraussetzungen für eine bedarfsgeregelte Lüftung nach DIN V 18599-7 (in der Ausgabe 2016-10: Abschnitt 5.8.1) vorliegen, werden diese bei der Bestimmung des Mindestvolumenstroms entsprechend der Rechenregeln nach DIN V 18599-7 berücksichtigt.

Wurde im Rahmen der energetischen Inspektion eine Überdimensionierung festgestellt, ist der vorgefundene bzw. gemessene Volumenstrom anstelle des Mindestvolumenstroms anzusetzen. Im Fall der Überdimensionierung und gleichzeitiger bedarfsabhängiger Lüftung, kann der gebäudeabhängige Mindestvolumenstrom $\dot{V}_{Geb}$ aus DIN V 18599-7 entweder

- projektbezogen auf der Grundlage eines allgemein gesicherten Erkenntnisstandes festgelegt werden
- oder vereinfachend der Standardwert nach DIN V 18599-10 proportional zur festgestellten Überdimensionierung angepasst werden.

Der kühllastabhängige monatliche Volumenstrom einer Zone wird nach einem standardisierten Schema entsprechend Tabelle 45 über die Berechnungsmonate verteilt. Dabei werden folgende Fälle unterschieden:

- Fall 0: Die Anlage dient schwerpunktmäßig zur Mindestlüftung. Es findet nur eine Grundkühlung statt, die Kühllasten werden nicht gedeckt. Es handelt sich um kein Nur-Luft-System zur vollständigen Kühllastdeckung.
- Fall 1: Die Anlage dient als Nur-Luft-System zur Deckung von saisonal unterschiedlichen Kühllasten, die im Sommer am höchsten sind und Winter gegen null gehen.
- Fall 2: Die Die Anlage dient als Nur-Luft-System zur Deckung von saisonal konstanter Kühllasten, die auch im Winter annähernd unverändert sind. Typischer Anwendungsfall: Rechenzentrum.

Der Inspektor hat den Lastfall im Rahmen der Inspektion zu bestimmen und zu begründen. Der maximale Luftvolumenstrom zur Deckung der maximalen Kühllast $\dot{V}_{cool,max,z}$ ist im Rahmen der Inspektion vorab zu bestimmen.

Wurde bei der Inspektion festgestellt, dass die Anlage überdimensioniert ist und auch mit überdimensionierten Volumenströmen betrieben wird, ist für $\dot{V}_{cool,max,z}$ der festgestellte bzw. gemessene Volumenstrom anzusetzen.

Die monatlichen kühllastabhängigen Volumenströme ergeben sich für Variabel-Volumenstrom-Systeme aus den Teillastfaktoren nach Tabelle 45.

$$\dot{V}_{cool,mth,z} = f_{cool,mth}\, \dot{V}_{cool,max,z}$$

Dabei sind:

$\dot{V}_{cool,mth,z}$ der mittlere monatliche Volumenstrom zur Kühllastdeckung einer Zone [m³/h]

$f_{cool,mth}$ der monatliche Teillastfaktor der Kühllast nach Tabelle 45 [-]

$\dot{V}_{cool,max,z}$ der Maximalvolumenstrom zur Kühllastdeckung einer Zone, bestimmt durch die energetische Inspektion [m³/h].

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 45: Teillastfaktoren $f_{cool,mth}$ für die mittlere monatliche Kühllast

Monat	Fall 0	Fall 1	Fall 2
Januar	0,00	0,00	1,00
Februar	0,00	0,00	1,00
März	0,00	0,00	1,00
April	0,00	0,00	1,00
Mai	0,00	0,50	1,00
Juni	0,00	0,50	1,00
Juli	0,00	0,75	1,00
August	0,00	1,00	1,00
September	0,00	0,75	1,00
Oktober	0,00	0,00	1,00
November	0,00	0,00	1,00
Dezember	0,00	0,00	1,00

Für Nur-Luft-Systeme, die nicht mit kühllastabhängig geregelten variablen Volumenströmen betrieben werden können, gilt $f_{cool,mth} = 1{,}00$.

Der mittlere monatliche Bilanz-Volumenstrom einer Anlage, der die maßgebende Eingangsgröße für die Berechnungen nach DIN V 18599-3 darstellt, errechnet sich aus den Bilanz-Volumenströmen einer Zone unter Berücksichtigung der Bedarfszeiten der unterschiedlichen Zonen.

$$\dot{V}_{mech,b,mth} = \frac{\sum_{z=1}^{Anz.Zonen}(\dot{V}_{mech,b,mth,z} \cdot t_{v,mech,mth,z} \cdot d_{v,mech,mth,z})}{t_{v,mech,mth} \cdot d_{v,mech,mth}}$$

Dabei sind:

$\dot{V}_{mech,b,mth}$	der monatliche Bilanz-Volumenstrom der Anlage [m³/h]
$\dot{V}_{mech,b,mth,z}$	der monatliche Bilanz-Volumenstrom einer Zone [m³/h]
$t_{v,mech,mth,z}$	die monatliche Betriebsstundenzahl für eine Zone [h]
$d_{v,mech,mth,z}$	die monatliche Betriebstagezahl für eine Zone [d]
$t_{v,mech,mth}$	die monatliche Betriebsstundenzahl der Anlage [h]
$d_{v,mech,mth}$	die monatliche Betriebsstundenzahl der Anlage [d].

Kann für eine Zone die erforderliche Betriebszeit nicht beeinflusst werden, d. h.,

2018 Ecofys – A Navigant Company

- die Voraussetzungen für die bedarfsabhängige Lüftung nach DIN V 18599-7 beträgt weniger als Klasse IDA-C3 „zeitabhängige Steuerung (zonenweise)
- und es erfolgt keine kühllastabhängiger Variabel-Volumenstrombetrieb

sind in o. g. Gleichung die Betriebsstundenzahl der Zone und die Betriebstagezahl der Zone denen der Gesamtanlage gleichzusetzen.

Das Verfahren ist auch geeignet, RLT-Anlagen mit anteiliger Umluftbeimischung zu bewerten. Durch die gleichzeitige Berücksichtigung von Kühllast und Mindestaußenluftvolumenstrom wird eine Schwäche des bestehenden Verfahrens nach DIN SPEC 15240 beseitigt. Reine Umluftanlagen können mit dem beschriebenen Verfahren dagegen nicht bewertet werden.

Übersteigt der Zuluftvolumenstrom eines Berechnungsmonats den ermittelten Mindestvolumenstrom, kann bei vorliegender Umluftbeimischung diese als Energierückgewinnungssystem bilanziert werden. Dies kann typischerweise dann der Fall sein, wenn ein kühllastabhängiger oder überdimensionierter Volumenstrom höher ist als der Mindestvolumenstrom.

In diesem Fall gilt:

$\Phi_{rec} = 1 - f_{MK,min}$

Dabei sind:

Φ_{rec}	der Wärmerückgewinnungsgrad [-]
$f_{MK,min,mth}$	der minimale monatliche Mindestaußenluftanteil [-].

Bei Anlagen mit Feuchteanforderungen entspricht die Umluftbeimischung einem „Wärmerückgewinner mit Wärme- und Feuchteübertragung“ im Sinne der DIN V 18599-3.

Der Mindestaußenluftanteil ist in jedem Monatsberechnungsschritt zu prüfen. Führt der Mindestaußenluftanteil beim monatlichen Bilanzvolumenstrom zu einer Unterschreitung des Mindestaußenluftvolumenstroms, ist der Mindestaußenluftanteil durch den Quotienten aus Mindestaußenluftvolumenstrom und monatlichem Bilanzvolumenstrom zu ersetzen.

Der Nutzenergiebedarf für die Lufterwärmung $Q_{vh,b,mth}$ wird nach dem Tabellenverfahren aus DIN V 18599-3 (in der Ausgabe 2016-10: Abschnitt 7) ermittelt. Dabei wird die monatliche korrigierte Zulufttemperatur $\theta_{hc,mth}$ vereinheitlichend = 20 °C gesetzt. Mit der Vorgabe von 20 °C anstatt der bisherigen 18 °C aus der DIN SPEC 15240 werden hocheffiziente Wärmerückgewinnungsanlagen besser honoriert und die Ergebnisse realitätsnäher.

Verfügt die Anlage über eine Be- und Entfeuchtungsfunktion, sind die bei der energetischen Inspektion ermittelten Sollwerte den Klassifizierungen „Sollwerte mit Toleranz“ oder „Sollwerte ohne Toleranz“ nach DIN V 18599-3 (in der Ausgabe 2016: Abschnitt 7.2 zuzuordnen. Die Zuordnung im Einzelfall liegt im Ermessen des Inspektors und ist zu begründen. Anlagen ohne geregelten Entfeuchtung sind der Kategorie „mit Toleranz“ zuzuordnen. Auch hier wird über das bestehende Verfahren hinausgegangen, da ein ungerechtfertigt hoher Be- oder Entfeuchtungsbetrieb zu einem Malus führt.

Um den Systemkennwert einer RLT-Anlage, der den absoluten Primärenergiebedarf unter genormten Randbedingungen beschreibt, einzuordnen, ist die Berechnung von Vergleichswerten möglich.

Die Vergleichswerte werden durch das primärenergetische Niveau einer optimal dimensionierten Referenzanlage nach EnEV 2007 und EnEV2009/2013 und EnEV 2013 Niveau 2016 definiert.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Tabelle 46: Vergleichswerte

Randbedingung	Referenzberechnung angelehnt an EnEV 2007	Referenzberechnung angelehnt an EnEV 2009 / 2013
Volumenstrom zur Mindestlüftung:	Genaue Bemessung nach dem geprüften Mindestaußenluftvolumenstrom.	Genaue Bemessung nach dem geprüften Mindestaußenluftvolumenstrom.
Volumenstrom zur Kühllastdeckung:	Bei Nur-Luft-Systemen: Dimensionierung nach der geprüften Kühllast; sonst null.	Bei Nur-Luft-Systemen: Dimensionierung nach der geprüften Kühllast; sonst null.
Bedarfsabhängige Lüftung:	Für alle Zonen mit Luftvolumenstrom > 9 m³/(h m²): Klasse IDA3	Für alle Zonen mit Luftvolumenstrom > 9 m³/(h m²) bzw. Zonen der Nutzungen 4, 8, 9, 12, 13, 23, 24, 35, 37 und 40: Klasse IDA3
Anlage zur vollständigen Kühllastdeckung:	Variabel-Volumenstrom-System	Variabel-Volumenstrom-System
Ventilatoren:	- Zuluft: P_{SFP} = 2,0 kW/(m³/s) - Abluft: P_{SFP} = 1,5 kW/(m³/s)	- Zuluft: P_{SFP} = 1,5 kW/(m³/s) - Abluft: P_{SFP} = 1,0 kW/(m³/s) - Zuschläge nach DIN EN 13779: 2007-09 Abschnitt 6.5.2 können nur für den Fall von HEPA-Filtern, Gasfiltern oder Wärmerückführungsklassen H2 oder H1 angerechnet werden
Wärmerückgewinnung:	- KV-System - Wärmerückgewinnungsgrad 45 %	- Plattenwärmeübertrager - Wärmerückgewinnungsgrad 60 %
Be- und Entfeuchtung (wenn vorhanden):	Sollwerte nach DIN V 18599-10	Sollwerte nach DIN V 18599-10
Befeuchter:	- bei Dampfbefeuchtern: Dampf aus fossilem Brennstoff, - bei Verdunstungsbefeuchtern: Hochdruckbefeuchter	- bei Dampfbefeuchtern: Dampf aus fossilem Brennstoff, - bei Verdunstungsbefeuchtern: Hochdruckbefeuchter
Leckagefaktor	- Klasse B	- Klasse B
Wärmeversorgung	- Vorlauftemperatur 70 °C	- Vorlauftemperatur 70 °C
Kälteversorgung	- Kaltwasser 6 / 12 °C	- Kaltwasser 6 / 12 °C

Der Vergleichswert für das Niveau EnEV 2013 mit der Verschärfung ab 2016 ist durch die Multiplikation des Vergleichswertes EnEV 2009/2013 mit dem Faktor 0,75 zu ermitteln.

Wurde im Rahmen der energetischen Inspektion eine Unterdimensionierung der Anlage festgestellt, sind keine Vergleichswerte zu bestimmbar. Auf diesen Fall darf das Verfahren nicht angewendet werden.

2018 Ecofys – A Navigant Company

Abbildung 54 zeigt einen Screenshot der Testsoftware, welche eine erste Bewertung einer Anlage für bis zu vier Zonen gestattet. Dabei werden im unteren Balkendiagramm der Außenluftvolumenstrom und der Zuluftvolumenstrom der betroffenen Anlage dem Referenzvolumenstrom (grün) gegenübergestellt. Im dargestellten Beispiel liegt eine geringfügige Überdimensionierung vor, die zu einem entsprechenden Malus führen würde.

2018 Ecofys – A Navigant Company

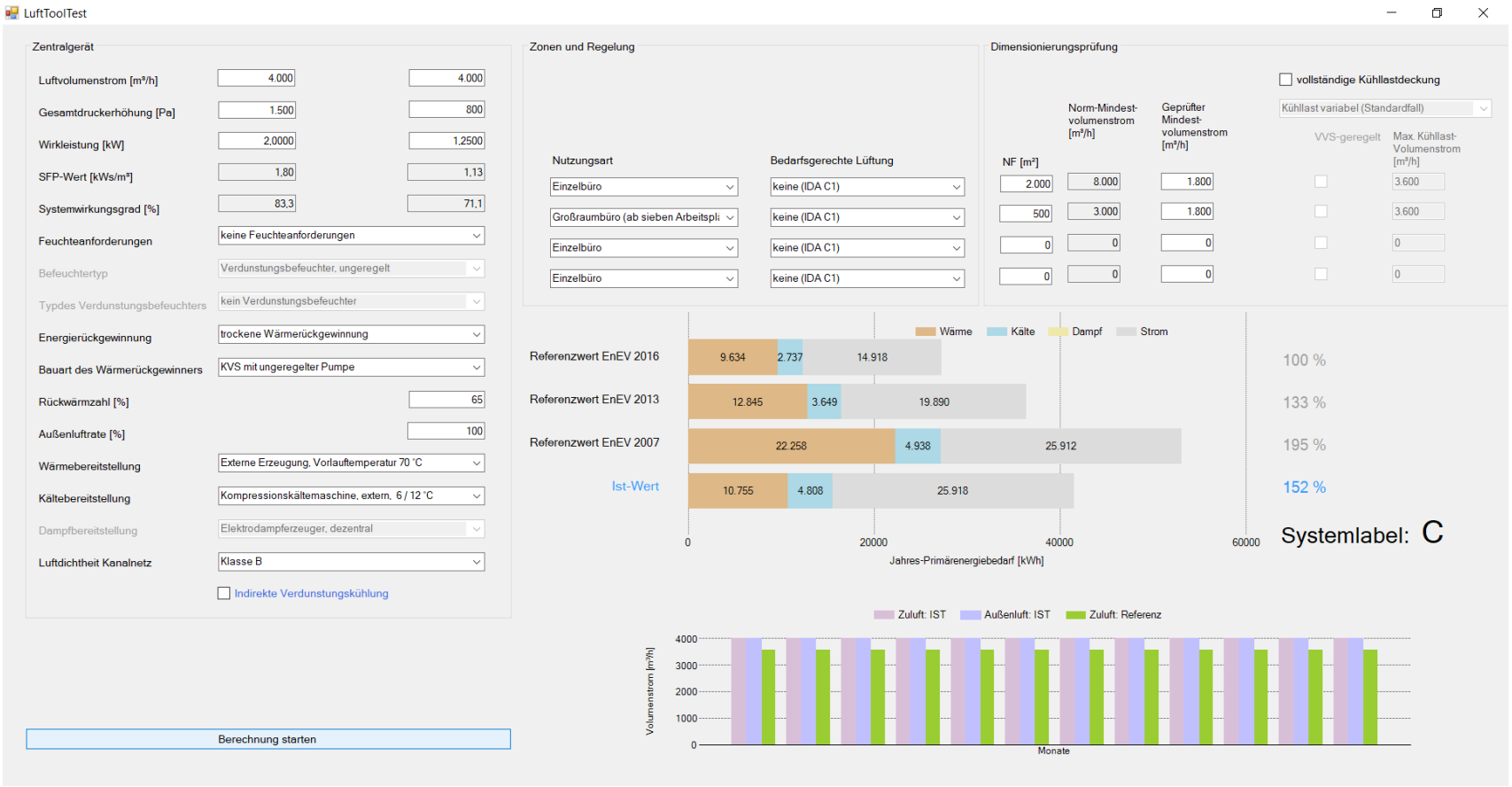


Abbildung 54: Screenshot vom Berechnungstool für das Systemlabel

2018 Ecofys – A Navigant Company

Der Vorschlag für die Aufteilung in insgesamt sechs Energieeffizienzklassen orientiert sich an den Referenzwerten der EnEV. Dabei wurde umgesetzt, dass der derzeitige Stand der Technik (entspricht dem Vergleichswert nach EnEV 2016) der Klasse B entspricht.

Die Klassenaufteilung ist abgestimmt mit dem vom ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH erarbeiteten Gestaltungsvorschlag nach Abbildung 38.

Die Arbeiten zum Systemlabel wurden im Juni 2017 einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe des Normungsausschusses zur DIN SPEC 15240 vorgestellt worden und nach positiver Resonanz aktuell in den Normentwurf aufgenommen worden. Der Normenentwurf wurde im 1. Quartal 2018 fertiggestellt und an den DIN übergeben.

6 ANHANG

6.1 Wirtschaftlichkeitsberechnungen (zu Kapitel 2.3)

6.1.1 Feuchterückgewinnung in Neuanlagen

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 15)

Nutzenergie	Wärme 20°C	4395 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2375 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	3261 Wh/m³/h	250d/13h	1762 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	4239 Wh/m³/h	1,3	2291 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	4239 Wh/m³/h	SEER = 4	573 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,25 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha	0,37 €/m³/ha

Alternative: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 18)

Nutzenergie	Wärme 20°C	1827 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2226 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	1356 Wh/m³/h	250d/13h	1652 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1762 Wh/m³/h	1,3	2147 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1762 Wh/m³/h	SEER = 4	537 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,11 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha

-0,16 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:

		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,16 €/m³/ha	1.558 €/a
Amortisationszeit statisch	2,25 a	2,25 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2,34 €/m³/h	23.372 €
Amortisationszeit dynamisch	2,25 a	2,25 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	1,99 €/m³/h	19.869 €
interner Zinsfuß	6,7 %	6,7 %

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 22)

Nutzenergie	Wärme 20°C	1078 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2434 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	800 Wh/m³/h	250d/13h	1806 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1040 Wh/m³/h	1,3	2348 Wh/m³/h	1,16	3436 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1040 Wh/m³/h	SEER = 4	587 Wh_el/m³/h	1	3436 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,06 €/m³/ha	0,2	0,12 €/m³/ha	0,2	0,69 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha

Alternative 1: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 25)

Nutzenergie	Wärme 20°C	1157 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2281 Wh/m³/h	Dampf	1477 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	859 Wh/m³/h	250d/13h	1693 Wh/m³/h	250d/13h	1096 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1116 Wh/m³/h	1,3	2200 Wh/m³/h	1,16	1271 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1116 Wh/m³/h	SEER = 4	550 Wh_el/m³/h	1	1271 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,07 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,2	0,25 €/m³/ha	0,43 €/m³/ha

-0,44 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:

		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,44 €/m³/ha	4.358 €/a
Amortisationszeit statisch	0,80 a	0,80 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	6,54 €/m³/h	65.363 €
Amortisationszeit dynamisch	0,80 a	0,80 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	6,19 €/m³/h	61.862 €
interner Zinsfuß	18,7 %	18,7 %

Alternative 2: Vollklimaanlage mit WRG 75% + FRG 60% (Enthalpierotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 24/25)

Nutzenergie	Wärme 20°C	1157 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2281 Wh/m³/h	Dampf	1811 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	859 Wh/m³/h	250d/13h	1693 Wh/m³/h	250d/13h	1344 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1116 Wh/m³/h	1,3	2200 Wh/m³/h	1,16	1559 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1116 Wh/m³/h	SEER = 4	550 Wh_el/m³/h	1	1559 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,07 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,2	0,31 €/m³/ha	0,49 €/m³/ha

-0,38 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Enthalpierotor: Bsp. 10.000 m³/h

Abbildung 55: Variantenvergleich Feuchterückgewinnung (Feuchteanforderung mit Toleranz, Dampferzeugung elektrisch)

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 29)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	13328 Wh/m³/h	Kälte 18°C	6376 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	9889 Wh/m³/h	250d/13h	4731 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	12856 Wh/m³/h	1,3	6150 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	12856 Wh/m³/h	SEER = 4	1538 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,77 €/m³/ha	0,2	0,31 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha	1,08 €/m³/ha

Alternative: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 32)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	10782 Wh/m³/h	Kälte 18°C	5443 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	8000 Wh/m³/h	250d/13h	4039 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	10400 Wh/m³/h	1,3	5250 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	10400 Wh/m³/h	SEER = 4	1313 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,62 €/m³/ha	0,2	0,26 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha	0,89 €/m³/ha
							-0,19 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,19 €/m³/ha	1.924 €/a
Amortisationszeit statisch	1,82 a	1,82 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2,89 €/m³/h	28.853 €
Amortisationszeit dynamisch	1,82 a	1,82 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	2,53 €/m³/h	25.349 €
interner Zinsfuß	8,2 %	8,2 %

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 43)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	3657 Wh/m³/h	Kälte 18°C	6076 Wh/m³/h	Dampf	8911 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	2714 Wh/m³/h	250d/13h	4508 Wh/m³/h	250d/13h	6612 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	3528 Wh/m³/h	1,3	5861 Wh/m³/h	1,16	7670 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	3528 Wh/m³/h	SEER = 4	1465 Wh_el/m³/h	1	7670 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,21 €/m³/ha	0,2	0,29 €/m³/ha	0,2	1,53 €/m³/ha	2,04 €/m³/ha

Alternative 1: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 46)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	3817 Wh/m³/h	Kälte 18°C	5131 Wh/m³/h	Dampf	3810 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	2832 Wh/m³/h	250d/13h	3807 Wh/m³/h	250d/13h	2827 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	3682 Wh/m³/h	1,3	4949 Wh/m³/h	1,16	3279 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	3682 Wh/m³/h	SEER = 4	1237 Wh_el/m³/h	1	3279 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,22 €/m³/ha	0,2	0,25 €/m³/ha	0,2	0,66 €/m³/ha	1,12 €/m³/ha
							-0,91 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,91 €/m³/ha	9.144 €/a
Amortisationszeit statisch	0,38 a	0,38 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	13,72 €/m³/h	137.165 €
Amortisationszeit dynamisch	0,38 a	0,38 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	13,37 €/m³/h	133.663 €
interner Zinsfuß	39,2 %	39,2 %

Alternative 2: Vollklimaanlage mit WRG 75% + FRG 60% (Enthalpierotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 45/46)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	3817 Wh/m³/h	Kälte 18°C	5131 Wh/m³/h	Dampf	4375 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	2832 Wh/m³/h	250d/13h	3807 Wh/m³/h	250d/13h	3246 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	3682 Wh/m³/h	1,3	4949 Wh/m³/h	1,16	3766 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	3682 Wh/m³/h	SEER = 4	1237 Wh_el/m³/h	1	3766 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,22 €/m³/ha	0,2	0,25 €/m³/ha	0,2	0,75 €/m³/ha	1,22 €/m³/ha
							-0,82 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Enthalpierotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Enthalpieroto	0,27 €/m³/h	2.700 €
Einsparung Enthalpierotor	0,82 €/m³/ha	8.172 €/a
Amortisationszeit statisch	0,33 a	0,33 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	12,26 €/m³/h	122.576 €
Amortisationszeit dynamisch	0,33 a	0,33 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	11,99 €/m³/h	119.874 €
interner Zinsfuß	45,4 %	45,4 %

Abbildung 56: Variantenvergleich Feuchterückgewinnung (Feuchteanforderung ohne Toleranz, Dampferzeugung elektrisch)

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 15)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	4395 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2375 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	3261 Wh/m³/h	250d/13h	1762 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	4239 Wh/m³/h	1,3	2291 Wh/m³/h	1,45	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	4239 Wh/m³/h	SEER = 4	573 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,25 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,06	0,00 €/m³/ha	0,37 €/m³/ha

Alternative: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 18)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	1827 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2226 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	1356 Wh/m³/h	250d/13h	1652 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1762 Wh/m³/h	1,3	2147 Wh/m³/h	1,45	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1762 Wh/m³/h	SEER = 4	537 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,11 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,06	0,00 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha
							-0,16 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,16 €/m³/ha	1.558 €/a
Amortisationszeit statisch	2,25 a	2,25 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2,34 €/m³/h	23.372 €
Amortisationszeit dynamisch	2,25 a	2,25 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	1,99 €/m³/h	19.869 €
interner Zinsfuß	6,7 %	6,7 %

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 22)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	1078 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2434 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	800 Wh/m³/h	250d/13h	1806 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1040 Wh/m³/h	1,3	2348 Wh/m³/h	1,45	4295 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1040 Wh/m³/h	SEER = 4	587 Wh_el/m³/h	1	4295 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,06 €/m³/ha	0,2	0,12 €/m³/ha	0,06	0,26 €/m³/ha	0,44 €/m³/ha

Alternative 1: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 25)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	1157 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2281 Wh/m³/h	Dampf	1477 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	859 Wh/m³/h	250d/13h	1693 Wh/m³/h	250d/13h	1096 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1116 Wh/m³/h	1,3	2200 Wh/m³/h	1,45	1589 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1116 Wh/m³/h	SEER = 4	550 Wh_el/m³/h	1	1589 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,07 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,06	0,10 €/m³/ha	0,27 €/m³/ha
							-0,17 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,17 €/m³/ha	1.652 €/a
Amortisationszeit statisch	2,12 a	2,12 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2,48 €/m³/h	24.774 €
Amortisationszeit dynamisch	2,12 a	2,12 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	2,13 €/m³/h	21.274 €
interner Zinsfuß	7,1 %	7,1 %

Alternative 2: Vollklimaanlage mit WRG 75% + FRG 60% (Enthalpierotor), Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 24/25)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	1157 Wh/m³/h	Kälte 18°C	2281 Wh/m³/h	Dampf	1811 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	859 Wh/m³/h	250d/13h	1693 Wh/m³/h	250d/13h	1344 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	1116 Wh/m³/h	1,3	2200 Wh/m³/h	1,45	1948 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	1116 Wh/m³/h	SEER = 4	550 Wh_el/m³/h	1	1948 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,07 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,06	0,12 €/m³/ha	0,29 €/m³/ha
							-0,14 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Enthalpierotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Enthalpieroto	0,27 €/m³/h	2.700 €
Einsparung Enthalpierotor	0,14 €/m³/ha	1.436 €/a
Amortisationszeit statisch	1,88 a	1,88 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2,15 €/m³/h	21.540 €
Amortisationszeit dynamisch	1,88 a	1,88 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	1,88 €/m³/h	18.840 €
interner Zinsfuß	8,0 %	8,0 %

Abbildung 57: Variantenvergleich Feuchterückgewinnung (Feuchteanforderung mit Toleranz, Dampferzeugung thermisch)

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 29)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	13328 Wh/m³/h	Kälte 18°C	6376 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	9889 Wh/m³/h	250d/13h	4731 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	12856 Wh/m³/h	1,3	6150 Wh/m³/h	1,45	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	12856 Wh/m³/h	SEER = 4	1538 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,77 €/m³/ha	0,2	0,31 €/m³/ha	0,06	0,00 €/m³/ha	1,08 €/m³/ha

Alternative: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Verdunstungsbefeuchter regelbar (Typ 32)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	10782 Wh/m³/h	Kälte 18°C	5443 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	8000 Wh/m³/h	250d/13h	4039 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	10400 Wh/m³/h	1,3	5250 Wh/m³/h	1,45	0 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	10400 Wh/m³/h	SEER = 4	1313 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,62 €/m³/ha	0,2	0,26 €/m³/ha	0,06	0,00 €/m³/ha	0,89 €/m³/ha
							-0,19 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,19 €/m³/ha	1.924 €/a
Amortisationszeit statisch	1,82 a	1,82 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2,89 €/m³/h	28.853 €
Amortisationszeit dynamisch	1,82 a	1,82 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	2,53 €/m³/h	25.349 €
interner Zinsfuß	8,2 %	8,2 %

Grundvariante: Vollklimaanlage mit WRG 75% (Kondensationsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 43)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	3657 Wh/m³/h	Kälte 18°C	6076 Wh/m³/h	Dampf	8911 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	2714 Wh/m³/h	250d/13h	4508 Wh/m³/h	250d/13h	6612 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	3528 Wh/m³/h	1,3	5861 Wh/m³/h	1,45	9587 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	3528 Wh/m³/h	SEER = 4	1465 Wh_el/m³/h	1	9587 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,21 €/m³/ha	0,2	0,29 €/m³/ha	0,06	0,58 €/m³/ha	1,08 €/m³/ha

Alternative 1: Vollklimaanlage mit W+FRG 75% (Sorptionsrotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 46)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	3817 Wh/m³/h	Kälte 18°C	5131 Wh/m³/h	Dampf	3810 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	2832 Wh/m³/h	250d/13h	3807 Wh/m³/h	250d/13h	2827 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	3682 Wh/m³/h	1,3	4949 Wh/m³/h	1,45	4099 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	3682 Wh/m³/h	SEER = 4	1237 Wh_el/m³/h	1	4099 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,22 €/m³/ha	0,2	0,25 €/m³/ha	0,06	0,25 €/m³/ha	0,71 €/m³/ha
							-0,37 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Sorptionsrotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Sorptionsroto	0,35 €/m³/h	3.500 €
Einsparung Sorptionsrotor	0,37 €/m³/ha	3.656 €/a
Amortisationszeit statisch	0,96 a	0,96 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	5,48 €/m³/h	54.842 €
Amortisationszeit dynamisch	0,96 a	0,96 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	5,13 €/m³/h	51.341 €
interner Zinsfuß	15,7 %	15,7 %

Alternative 2: Vollklimaanlage mit WRG 75% + FRG 60% (Enthalpierotor), Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 45/46)							
Nutzenergie	Wärme 20°C	3817 Wh/m³/h	Kälte 18°C	5131 Wh/m³/h	Dampf	4375 Wh/m³/h	Summe
Betriebszeit	250d/13h	2832 Wh/m³/h	250d/13h	3807 Wh/m³/h	250d/13h	3246 Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1,3	3682 Wh/m³/h	1,3	4949 Wh/m³/h	1,45	4707 Wh/m³/h	
Endenergie spezifisch	1	3682 Wh/m³/h	SEER = 4	1237 Wh_el/m³/h	1	4707 Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,06	0,22 €/m³/ha	0,2	0,25 €/m³/ha	0,06	0,28 €/m³/ha	0,75 €/m³/ha
							-0,33 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeitsberechnung Enthalpierotor:		Bsp. 10.000 m³/h
spez. Mehrkosten Enthalpieroto	0,27 €/m³/h	2.700 €
Einsparung Enthalpierotor	0,33 €/m³/ha	3.291 €/a
Amortisationszeit statisch	0,82 a	0,82 a
Nutzungszeit	15 a	15 a
Kapitalzins	0,00 %	0,0 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	4,94 €/m³/h	49.371 €
Amortisationszeit dynamisch	0,82 a	0,82 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	4,67 €/m³/h	46.670 €
interner Zinsfuß	18,3 %	18,3 %

Abbildung 58: Variantenvergleich Feuchterückgewinnung (Feuchteanforderung ohne Toleranz, Dampferzeugung thermisch)

6.1.2 Zählernachrüstung im Bestand

Vollklimaanlage mit WRG 60%, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 21)									
Nutzenergie	Vent SFP4	2000	1500 W/(m³/s)	Wärme 20°C	2792 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2443 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1806	1354 Wh/m³/h	250d/13h	2072 Wh/m³/h	250d/13h	1673 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1806	1354 Wh/m³/h	1,3	2693 Wh/m³/h	1,3	2175 Wh/m³/h	1,16	3436 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1806	1354 Wh_el/m³/h	1	2693 Wh_th/m³/h	3	725 Wh_el/m³/h	1	3436 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1806	1354 Wh_el/m³/h	100%	2693 Wh_th/m³/h	100%	725 Wh_el/m³/h	100%	3436 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,36	0,27 €/m³/ha	0,06	0,16 €/m³/ha	0,2	0,15 €/m³/ha	0,2	0,69 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha
Kosteneinsparung 3,33%	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	162 €/a	162 €/a	541 €/a	541 €/a	1.083 €/a	1.083 €/a	1.624 €/a	1.624 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	6,16 a	3,39 a	1,85 a	1,02 a	0,92 a	0,51 a	0,62 a	0,34 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	3.248 €	3.248 €	10.828 €	10.828 €	21.655 €	21.655 €	32.483 €	32.483 €
Amortisationszeit dynamisch	6,16 a	3,39 a	1,85 a	1,02 a	0,92 a	0,51 a	0,62 a	0,34 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	2.248 €	2.698 €	9.825 €	10.275 €	20.651 €	21.101 €	31.476 €	31.926 €
interner Zinsfuß	3,25 %	5,91 %	10,83 %	19,69 %	21,66 %	39,37 %	32,48 %	59,06 %

Vollklimaanlage mit WRG 60%, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 14)									
Nutzenergie	Vent SFP4	2000	1500 W/(m³/s)	Wärme 20°C	6562 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2386 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1806	1354 Wh/m³/h	250d/13h	4869 Wh/m³/h	250d/13h	1634 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1806	1354 Wh/m³/h	1,3	6330 Wh/m³/h	1,3	2125 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1806	1354 Wh_el/m³/h	1	6330 Wh_th/m³/h	3	708 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1806	1354 Wh_el/m³/h	100%	6330 Wh_th/m³/h	100%	708 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,36	0,27 €/m³/ha	0,06	0,38 €/m³/ha	0,2	0,14 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	1,15 €/m³/ha	1,15 €/m³/ha	1,15 €/m³/ha	1,15 €/m³/ha	1,15 €/m³/ha	1,15 €/m³/ha	1,15 €/m³/ha	1,15 €/m³/ha
Kosteneinsparung 3,33%	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	115 €/a	115 €/a	384 €/a	384 €/a	768 €/a	768 €/a	1.152 €/a	1.152 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	8,68 a	4,77 a	2,60 a	1,43 a	1,30 a	0,72 a	0,87 a	0,48 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2.304 €	2.304 €	7.681 €	7.681 €	15.363 €	15.363 €	23.044 €	23.044 €
Amortisationszeit dynamisch	8,68 a	4,77 a	2,60 a	1,43 a	1,30 a	0,72 a	0,87 a	0,48 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	1.304 €	1.754 €	6.680 €	7.130 €	14.360 €	14.810 €	22.040 €	22.490 €
interner Zinsfuß	2,30 %	4,19 %	7,68 %	13,97 %	15,36 %	27,93 %	23,04 %	41,90 %

Teilklimaanlage mit WRG 60%, keine Feuchteanf. (Typ 3)									
Nutzenergie	Vent SFP4	2000	1500 W/(m³/s)	Wärme 20°C	2714 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2309 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1806	1354 Wh/m³/h	250d/13h	2014 Wh/m³/h	250d/13h	1582 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1806	1354 Wh/m³/h	1,3	2618 Wh/m³/h	1,3	2056 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1806	1354 Wh_el/m³/h	1	2618 Wh_th/m³/h	3	685 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1806	1354 Wh_el/m³/h	100%	2618 Wh_th/m³/h	100%	685 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,36	0,27 €/m³/ha	0,06	0,16 €/m³/ha	0,2	0,14 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	0,93 €/m³/ha	0,93 €/m³/ha	0,93 €/m³/ha	0,93 €/m³/ha	0,93 €/m³/ha	0,93 €/m³/ha	0,93 €/m³/ha	0,93 €/m³/ha
Kosteneinsparung 3,33%	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	93 €/a	93 €/a	308 €/a	308 €/a	617 €/a	617 €/a	925 €/a	925 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	10,81 a	5,94 a	3,24 a	1,78 a	1,62 a	0,89 a	1,08 a	0,59 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	1.850 €	1.850 €	6.168 €	6.168 €	12.335 €	12.335 €	18.503 €	18.503 €
Amortisationszeit dynamisch	10,81 a	5,95 a	3,24 a	1,78 a	1,62 a	0,89 a	1,08 a	0,59 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	850 €	1.300 €	5.166 €	5.616 €	11.333 €	11.783 €	17.499 €	17.949 €
interner Zinsfuß	1,85 %	3,36 %	6,17 %	11,21 %	12,34 %	22,43 %	18,50 %	33,64 %

Abbildung 59: Variantenvergleich Zählernachrüstung im Bestand (1 Zähler / 50 Zähler, RLT mit WRG, Volumenstrom konstant, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

Vollklimaanlage mit WRG 60%, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 21)									
Nutzenergie	Vent SFP4	972	729 W/(m³/s)	Wärme 20°C	2792 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2443 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	877	658 Wh/m³/h	250d/13h	2072 Wh/m³/h	250d/13h	1673 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	877	658 Wh/m³/h	1,3	2693 Wh/m³/h	1,3	2175 Wh/m³/h	1,16	3436 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	877	658 Wh_el/m³/h	1	2693 Wh_th/m³/h	3	725 Wh_el/m³/h	1	3436 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	70%	877	658 Wh_el/m³/h	70%	1885 Wh_th/m³/h	70%	508 Wh_el/m³/h	70%	2405 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,18	0,13 €/m³/ha	0,06	0,11 €/m³/ha	0,2	0,10 €/m³/ha	0,2	0,48 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	1,00 €/m³/ha	1,00 €/m³/ha	1,00 €/m³/ha	1,00 €/m³/ha	1,00 €/m³/ha	1,00 €/m³/ha	1,00 €/m³/ha	1,00 €/m³/ha
Kosteneinsparung 6,66%	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	200 €/a	200 €/a	668 €/a	668 €/a	1.336 €/a	1.336 €/a	2.003 €/a	2.003 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	4,99 a	2,75 a	1,50 a	0,82 a	0,75 a	0,41 a	0,50 a	0,27 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	4.007 €	4.007 €	13.356 €	13.356 €	26.711 €	26.711 €	40.067 €	40.067 €
Amortisationszeit dynamisch	4,99 a	2,75 a	1,50 a	0,82 a	0,75 a	0,41 a	0,50 a	0,27 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	3.006 €	3.456 €	12.353 €	12.803 €	25.706 €	26.156 €	39.059 €	39.509 €
interner Zinsfuß	4,01 %	7,28 %	13,36 %	24,28 %	26,71 %	48,57 %	40,07 %	72,85 %

Vollklimaanlage mit WRG 60%, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 14)									
Nutzenergie	Vent SFP4	972	729 W/(m³/s)	Wärme 20°C	6562 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2386 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	877	658 Wh/m³/h	250d/13h	4869 Wh/m³/h	250d/13h	1634 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	877	658 Wh/m³/h	1,3	6330 Wh/m³/h	1,3	2125 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	877	658 Wh_el/m³/h	1	6330 Wh_th/m³/h	3	708 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	70%	877	658 Wh_el/m³/h	70%	4431 Wh_th/m³/h	70%	496 Wh_el/m³/h	70%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,18	0,13 €/m³/ha	0,06	0,27 €/m³/ha	0,2	0,10 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	0,67 €/m³/ha	0,67 €/m³/ha	0,67 €/m³/ha	0,67 €/m³/ha	0,67 €/m³/ha	0,67 €/m³/ha	0,67 €/m³/ha	0,67 €/m³/ha
Kosteneinsparung 6,66%	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	134 €/a	134 €/a	448 €/a	448 €/a	895 €/a	895 €/a	1.343 €/a	1.343 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	7,45 a	4,10 a	2,23 a	1,23 a	1,12 a	0,61 a	0,74 a	0,41 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2.685 €	2.685 €	8.951 €	8.951 €	17.902 €	17.902 €	26.853 €	26.853 €
Amortisationszeit dynamisch	7,45 a	4,10 a	2,23 a	1,23 a	1,12 a	0,61 a	0,74 a	0,41 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	1.685 €	2.135 €	7.949 €	8.399 €	16.898 €	17.348 €	25.848 €	26.298 €
interner Zinsfuß	2,69 %	4,88 %	8,95 %	16,27 %	17,90 %	32,55 %	26,85 %	48,82 %

Teilklimaanlage mit WRG 60%, keine Feuchteanf. (Typ 3)									
Nutzenergie	Vent SFP4	972	729 W/(m³/s)	Wärme 20°C	2714 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2309 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	877	658 Wh/m³/h	250d/13h	2014 Wh/m³/h	250d/13h	1582 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	877	658 Wh/m³/h	1,3	2618 Wh/m³/h	1,3	2056 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	877	658 Wh_el/m³/h	1	2618 Wh_th/m³/h	3	685 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	70%	877	658 Wh_el/m³/h	70%	1833 Wh_th/m³/h	70%	480 Wh_el/m³/h	70%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,18	0,13 €/m³/ha	0,06	0,11 €/m³/ha	0,2	0,10 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	0,51 €/m³/ha	0,51 €/m³/ha	0,51 €/m³/ha	0,51 €/m³/ha	0,51 €/m³/ha	0,51 €/m³/ha	0,51 €/m³/ha	0,51 €/m³/ha
Kosteneinsparung 6,66%	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	102 €/a	102 €/a	342 €/a	342 €/a	683 €/a	683 €/a	1.025 €/a	1.025 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	9,76 a	5,37 a	2,93 a	1,61 a	1,46 a	0,81 a	0,98 a	0,54 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2.050 €	2.050 €	6.832 €	6.832 €	13.664 €	13.664 €	20.495 €	20.495 €
Amortisationszeit dynamisch	9,76 a	5,37 a	2,93 a	1,61 a	1,46 a	0,81 a	0,98 a	0,54 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	1.049 €	1.499 €	5.830 €	6.280 €	12.661 €	13.111 €	19.491 €	19.941 €
interner Zinsfuß	2,05 %	3,73 %	6,83 %	12,42 %	13,66 %	24,84 %	20,50 %	37,26 %

Abbildung 60: Variantenvergleich Zählernachrüstung im Bestand (1 Zähler / 50 Zähler, RLT mit WRG, Volumenstrom variabel, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

Vollklimaanlage ohne WRG, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 19)									
Nutzenergie	Vent SFP4/3	1700	1200 W/(m³/s)	Wärme 20°C	12595 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2488 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1535	1083 Wh/m³/h	250d/13h	9346 Wh/m³/h	250d/13h	1704 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1535	1083 Wh/m³/h	1,3	12149 Wh/m³/h	1,3	2215 Wh/m³/h	1,16	3436 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1535	1083 Wh_el/m³/h	1	12149 Wh_th/m³/h	3	738 Wh_el/m³/h	1	3436 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1535	1083 Wh_el/m³/h	100%	12149 Wh_th/m³/h	100%	738 Wh_el/m³/h	100%	3436 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,31	0,22 €/m³/ha	0,06	0,73 €/m³/ha	0,2	0,15 €/m³/ha	0,2	0,69 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	2,09 €/m³/ha	2,09 €/m³/ha	2,09 €/m³/ha	2,09 €/m³/ha	2,09 €/m³/ha	2,09 €/m³/ha	2,09 €/m³/ha	2,09 €/m³/ha
Kosteneinsparung 3,33%	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	209 €/a	209 €/a	695 €/a	695 €/a	1.390 €/a	1.390 €/a	2.085 €/a	2.085 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	4,80 a	2,64 a	1,44 a	0,79 a	0,72 a	0,40 a	0,48 a	0,26 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	4.171 €	4.171 €	13.903 €	13.903 €	27.805 €	27.805 €	41.708 €	41.708 €
Amortisationszeit dynamisch	4,80 a	2,64 a	1,44 a	0,79 a	0,72 a	0,40 a	0,48 a	0,26 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	3.170 €	3.620 €	12.900 €	13.350 €	26.799 €	27.249 €	40.699 €	41.149 €
interner Zinsfuß	4,17 %	7,58 %	13,90 %	25,28 %	27,81 %	50,55 %	41,71 %	75,83 %

Vollklimaanlage ohne WRG, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 12)									
Nutzenergie	Vent SFP4/3	1700	1200 W/(m³/s)	Wärme 20°C	16553 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2431 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1535	1083 Wh/m³/h	250d/13h	12282 Wh/m³/h	250d/13h	1665 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1535	1083 Wh/m³/h	1,3	15967 Wh/m³/h	1,3	2165 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1535	1083 Wh_el/m³/h	1	15967 Wh_th/m³/h	3	722 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1535	1083 Wh_el/m³/h	100%	15967 Wh_th/m³/h	100%	722 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,31	0,22 €/m³/ha	0,06	0,96 €/m³/ha	0,2	0,14 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha	1,63 €/m³/ha
Kosteneinsparung 3,33%	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	162 €/a	162 €/a	541 €/a	541 €/a	1.083 €/a	1.083 €/a	1.624 €/a	1.624 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	6,16 a	3,39 a	1,85 a	1,02 a	0,92 a	0,51 a	0,62 a	0,34 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	3.249 €	3.249 €	10.829 €	10.829 €	21.658 €	21.658 €	32.486 €	32.486 €
Amortisationszeit dynamisch	6,16 a	3,39 a	1,85 a	1,02 a	0,92 a	0,51 a	0,62 a	0,34 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	2.248 €	2.698 €	9.827 €	10.277 €	20.653 €	21.103 €	31.480 €	31.930 €
interner Zinsfuß	3,25 %	5,91 %	10,83 %	19,69 %	21,66 %	39,38 %	32,49 %	59,07 %

Teilklimaanlage ohne WRG, keine Feuchteanf. (Typ 1)									
Nutzenergie	Vent SFP4/3	1700	1200 W/(m³/s)	Wärme 20°C	12591 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2358 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1535	1083 Wh/m³/h	250d/13h	9343 Wh/m³/h	250d/13h	1615 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1535	1083 Wh/m³/h	1,3	12145 Wh/m³/h	1,3	2100 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1535	1083 Wh_el/m³/h	1	12145 Wh_th/m³/h	3	700 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1535	1083 Wh_el/m³/h	100%	12145 Wh_th/m³/h	100%	700 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,31	0,22 €/m³/ha	0,06	0,73 €/m³/ha	0,2	0,14 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	1,39 €/m³/ha	1,39 €/m³/ha	1,39 €/m³/ha	1,39 €/m³/ha	1,39 €/m³/ha	1,39 €/m³/ha	1,39 €/m³/ha	1,39 €/m³/ha
Kosteneinsparung 3,33%	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	139 €/a	139 €/a	464 €/a	464 €/a	927 €/a	927 €/a	1.391 €/a	1.391 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	7,19 a	3,95 a	2,16 a	1,19 a	1,08 a	0,59 a	0,72 a	0,40 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2.782 €	2.782 €	9.273 €	9.273 €	18.546 €	18.546 €	27.818 €	27.818 €
Amortisationszeit dynamisch	7,19 a	3,95 a	2,16 a	1,19 a	1,08 a	0,59 a	0,72 a	0,40 a
Kapitalwert nach Nutzungsende	1.781 €	2.231 €	8.271 €	8.721 €	17.542 €	17.992 €	26.813 €	27.263 €
interner Zinsfuß	2,78 %	5,06 %	9,27 %	16,86 %	18,55 %	33,72 %	27,82 %	50,58 %

Abbildung 61: Variantenvergleich Zählernachrüstung im Bestand (1 Zähler / 50 Zähler, RLT ohne WRG, Volumenstrom konstant, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

Vollklimaanlage ohne WRG, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 19)									
Nutzenergie	Vent SFP4/3	672	429 W/(m³/s)	Wärme 20°C	12595 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2488 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	606	387 Wh/m³/h	250d/13h	9346 Wh/m³/h	250d/13h	1704 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	606	387 Wh/m³/h	1,3	12149 Wh/m³/h	1,3	2215 Wh/m³/h	1,16	3436 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	606	387 Wh_el/m³/h	1	12149 Wh_th/m³/h	3	738 Wh_el/m³/h	1	3436 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	70%	606	387 Wh_el/m³/h	70%	8505 Wh_th/m³/h	70%	517 Wh_el/m³/h	70%	2405 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,12	0,08 €/m³/ha	0,06	0,51 €/m³/ha	0,2	0,10 €/m³/ha	0,2	0,48 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	1,29 €/m³/ha	1,29 €/m³/ha	1,29 €/m³/ha	1,29 €/m³/ha	1,29 €/m³/ha	1,29 €/m³/ha	1,29 €/m³/ha	1,29 €/m³/ha
Kosteneinsparung 6,66%	0,09 €/m³/ha	0,09 €/m³/ha	0,09 €/m³/ha	0,09 €/m³/ha	0,09 €/m³/ha	0,09 €/m³/ha	0,09 €/m³/ha	0,09 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	258 €/a	258 €/a	861 €/a	861 €/a	1.723 €/a	1.723 €/a	2.584 €/a	2.584 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	3,87 a	2,13 a	1,16 a	0,64 a	0,58 a	0,32 a	0,39 a	0,21 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	5.168 €	5.168 €	17.228 €	17.228 €	34.455 €	34.455 €	51.683 €	51.683 €
Amortisationszeit dynamisch	**3,87 a**	**2,13 a**	**1,16 a**	**0,64 a**	**0,58 a**	**0,32 a**	**0,39 a**	**0,21 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**4.167 €**	**4.617 €**	**16.224 €**	**16.674 €**	**33.448 €**	**33.898 €**	**50.672 €**	**51.122 €**
interner Zinsfuß	**5,17 %**	**9,40 %**	**17,23 %**	**31,32 %**	**34,46 %**	**62,65 %**	**51,68 %**	**93,97 %**

Vollklimaanlage ohne WRG, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 12)									
Nutzenergie	Vent SFP4/3	672	429 W/(m³/s)	Wärme 20°C	16553 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2431 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	606	387 Wh/m³/h	250d/13h	12282 Wh/m³/h	250d/13h	1665 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	606	387 Wh/m³/h	1,3	15967 Wh/m³/h	1,3	2165 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	606	387 Wh_el/m³/h	1	15967 Wh_th/m³/h	3	722 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	70%	606	387 Wh_el/m³/h	70%	11177 Wh_th/m³/h	70%	505 Wh_el/m³/h	70%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,12	0,08 €/m³/ha	0,06	0,67 €/m³/ha	0,2	0,10 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	0,97 €/m³/ha	0,97 €/m³/ha	0,97 €/m³/ha	0,97 €/m³/ha	0,97 €/m³/ha	0,97 €/m³/ha	0,97 €/m³/ha	0,97 €/m³/ha
Kosteneinsparung 6,66%	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	194 €/a	194 €/a	646 €/a	646 €/a	1.292 €/a	1.292 €/a	1.939 €/a	1.939 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	5,16 a	2,84 a	1,55 a	0,85 a	0,77 a	0,43 a	0,52 a	0,28 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	3.877 €	3.877 €	12.924 €	12.924 €	25.849 €	25.849 €	38.773 €	38.773 €
Amortisationszeit dynamisch	**5,16 a**	**2,84 a**	**1,55 a**	**0,85 a**	**0,77 a**	**0,43 a**	**0,52 a**	**0,28 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**2.877 €**	**3.327 €**	**11.922 €**	**12.372 €**	**24.844 €**	**25.294 €**	**37.766 €**	**38.216 €**
interner Zinsfuß	**3,88 %**	**7,05 %**	**12,92 %**	**23,50 %**	**25,85 %**	**47,00 %**	**38,77 %**	**70,50 %**

Teilklimaanlage ohne WRG, keine Feuchteanf. (Typ 1)									
Nutzenergie	Vent SFP4/3	672	429 W/(m³/s)	Wärme 20°C	12591 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2358 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	606	387 Wh/m³/h	250d/13h	9343 Wh/m³/h	250d/13h	1615 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	606	387 Wh/m³/h	1,3	12145 Wh/m³/h	1,3	2100 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	606	387 Wh_el/m³/h	1	12145 Wh_th/m³/h	3	700 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	70%	606	387 Wh_el/m³/h	70%	8502 Wh_th/m³/h	70%	490 Wh_el/m³/h	70%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,12	0,08 €/m³/ha	0,06	0,51 €/m³/ha	0,2	0,10 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	1 Zähler, 3.000 m³/h	50 Zähler, 3.000 m³/h	1 Zähler, 10.000 m³/h	50 Zähler, 10.000 m³/h	1 Zähler, 20.000 m³/h	50 Zähler, 20.000 m³/h	1 Zähler, 30.000 m³/h	50 Zähler, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	0,81 €/m³/ha	0,81 €/m³/ha	0,81 €/m³/ha	0,81 €/m³/ha	0,81 €/m³/ha	0,81 €/m³/ha	0,81 €/m³/ha	0,81 €/m³/ha
Kosteneinsparung 6,66%	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	161 €/a	161 €/a	537 €/a	537 €/a	1.075 €/a	1.075 €/a	1.612 €/a	1.612 €/a
Kosten Zähler	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €	1.000 €	550 €
Amortisationszeit statisch	6,20 a	3,41 a	1,86 a	1,02 a	0,93 a	0,51 a	0,62 a	0,34 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	3.224 €	3.224 €	10.746 €	10.746 €	21.492 €	21.492 €	32.238 €	32.238 €
Amortisationszeit dynamisch	**6,20 a**	**3,41 a**	**1,86 a**	**1,02 a**	**0,93 a**	**0,51 a**	**0,62 a**	**0,34 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**2.223 €**	**2.673 €**	**9.744 €**	**10.194 €**	**20.488 €**	**20.938 €**	**31.231 €**	**31.681 €**
interner Zinsfuß	**3,22 %**	**5,86 %**	**10,75 %**	**19,54 %**	**21,49 %**	**39,08 %**	**32,24 %**	**58,61 %**

Abbildung 62: Variantenvergleich Zählernachrüstung im Bestand (1 Zähler / 50 Zähler, RLT ohne WRG, Volumenstrom variabel, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

6.1.3 Zählergrundausstattung für Neugeräte

Vollklimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter elektrisch (Typ 22)									
Nutzenergie	Vent SFP4	1500	1300 W/(m³/s)	Wärme 20°C	1078 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2434 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1354	1174 Wh/m³/h	250d/13h	800 Wh/m³/h	250d/13h	1667 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1354	1174 Wh/m³/h	1,3	1040 Wh/m³/h	1,3	2167 Wh/m³/h	1,16	3436 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1354	1174 Wh_el/m³/h	1	1040 Wh_th/m³/h	4	542 Wh_el/m³/h	1	3436 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1354	1174 Wh_el/m³/h	100%	1040 Wh_th/m³/h	100%	542 Wh_el/m³/h	100%	3436 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,27	0,23 €/m³/ha	0,06	0,06 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,2	0,69 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	ohne Logfunktion, 3.000 m³/h	mit Logfunktion, 3.000 m³/h	ohne Logfunktion, 10.000 m³/h	mit Logfunktion, 10.000 m³/h	ohne Logfunktion, 20.000 m³/h	mit Logfunktion, 20.000 m³/h	ohne Logfunktion, 30.000 m³/h	mit Logfunktion, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	1,36 €/m³/ha	1,36 €/m³/ha	1,36 €/m³/ha	1,36 €/m³/ha	1,36 €/m³/ha	1,36 €/m³/ha	1,36 €/m³/ha	1,36 €/m³/ha
Kosteneinsparung 1,66% / 3,33%	0,02 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,02 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,02 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha	0,02 €/m³/ha	0,05 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	68 €/a	136 €/a	227 €/a	455 €/a	454 €/a	909 €/a	682 €/a	1.364 €/a
Kosten Zähler	200 €	500 €	200 €	500 €	200 €	500 €	200 €	500 €
Amortisationszeit statisch	2,93 a	3,67 a	0,88 a	1,10 a	0,44 a	0,55 a	0,29 a	0,37 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	1.363 €	2.727 €	4.545 €	9.090 €	9.090 €	18.180 €	13.635 €	27.270 €
Amortisationszeit dynamisch	**2,93 a**	**3,67 a**	**0,88 a**	**1,10 a**	**0,44 a**	**0,55 a**	**0,29 a**	**0,37 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**1.163 €**	**2.226 €**	**4.344 €**	**8.588 €**	**8.888 €**	**17.676 €**	**13.432 €**	**26.765 €**
interner Zinsfuß	**6,82 %**	**5,45 %**	**22,72 %**	**18,18 %**	**45,45 %**	**36,36 %**	**68,17 %**	**54,54 %**

Teilklimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 15)									
Nutzenergie	Vent SFP4	1500	1300 W/(m³/s)	Wärme 20°C	4395 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2375 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1354	1174 Wh/m³/h	250d/13h	3261 Wh/m³/h	250d/13h	1627 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1354	1174 Wh/m³/h	1,3	4239 Wh/m³/h	1,3	2115 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1354	1174 Wh_el/m³/h	1	4239 Wh_th/m³/h	4	529 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1354	1174 Wh_el/m³/h	100%	4239 Wh_th/m³/h	100%	529 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,27	0,23 €/m³/ha	0,06	0,25 €/m³/ha	0,2	0,11 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	ohne Logfunktion, 3.000 m³/h	mit Logfunktion, 3.000 m³/h	ohne Logfunktion, 10.000 m³/h	mit Logfunktion, 10.000 m³/h	ohne Logfunktion, 20.000 m³/h	mit Logfunktion, 20.000 m³/h	ohne Logfunktion, 30.000 m³/h	mit Logfunktion, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha
Kosteneinsparung 1,66% / 3,33%	0,01 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,01 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,01 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,01 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	43 €/a	87 €/a	144 €/a	289 €/a	289 €/a	577 €/a	433 €/a	866 €/a
Kosten Zähler	200 €	500 €	200 €	500 €	200 €	500 €	200 €	500 €
Amortisationszeit statisch	4,62 a	5,78 a	1,39 a	1,73 a	0,69 a	0,87 a	0,46 a	0,58 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	866 €	1.731 €	2.885 €	5.771 €	5.771 €	11.542 €	8.656 €	17.313 €
Amortisationszeit dynamisch	**4,62 a**	**5,78 a**	**1,39 a**	**1,73 a**	**0,69 a**	**0,87 a**	**0,46 a**	**0,58 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**665 €**	**1.231 €**	**2.685 €**	**5.270 €**	**5.570 €**	**11.040 €**	**8.455 €**	**16.810 €**
interner Zinsfuß	**4,33 %**	**3,46 %**	**14,43 %**	**11,54 %**	**28,85 %**	**23,08 %**	**43,28 %**	**34,63 %**

Teilklimaanlage mit WRG 75%, keine Feuchteanf. (Typ 4)									
Nutzenergie	Vent SFP4	1500	1300 W/(m³/s)	Wärme 20°C	926 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2303 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1354	1174 Wh/m³/h	250d/13h	687 Wh/m³/h	250d/13h	1577 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1354	1174 Wh/m³/h	1,3	893 Wh/m³/h	1,3	2051 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1354	1174 Wh_el/m³/h	1	893 Wh_th/m³/h	4	513 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1354	1174 Wh_el/m³/h	100%	893 Wh_th/m³/h	100%	513 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,27	0,23 €/m³/ha	0,06	0,05 €/m³/ha	0,2	0,10 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	ohne Logfunktion, 3.000 m³/h	mit Logfunktion, 3.000 m³/h	ohne Logfunktion, 10.000 m³/h	mit Logfunktion, 10.000 m³/h	ohne Logfunktion, 20.000 m³/h	mit Logfunktion, 20.000 m³/h	ohne Logfunktion, 30.000 m³/h	mit Logfunktion, 30.000 m³/h
Kosten gesamt	0,66 €/m³/ha	0,66 €/m³/ha	0,66 €/m³/ha	0,66 €/m³/ha	0,66 €/m³/ha	0,66 €/m³/ha	0,66 €/m³/ha	0,66 €/m³/ha
Kosteneinsparung 1,66% / 3,33%	0,01 €/m³/ha	0,02 €/m³/ha	0,01 €/m³/ha	0,02 €/m³/ha	0,01 €/m³/ha	0,02 €/m³/ha	0,01 €/m³/ha	0,02 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	33 €/a	66 €/a	110 €/a	221 €/a	221 €/a	441 €/a	331 €/a	662 €/a
Kosten Zähler	200 €	500 €	200 €	500 €	200 €	500 €	200 €	500 €
Amortisationszeit statisch	6,05 a	7,56 a	1,81 a	2,27 a	0,91 a	1,13 a	0,60 a	0,76 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	662 €	1.323 €	2.206 €	4.411 €	4.411 €	8.822 €	6.617 €	13.233 €
Amortisationszeit dynamisch	**6,05 a**	**7,56 a**	**1,81 a**	**2,27 a**	**0,91 a**	**1,13 a**	**0,60 a**	**0,76 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**462 €**	**823 €**	**2.005 €**	**3.910 €**	**4.210 €**	**8.321 €**	**6.415 €**	**12.731 €**
interner Zinsfuß	**3,31 %**	**2,65 %**	**11,03 %**	**8,82 %**	**22,06 %**	**17,64 %**	**33,08 %**	**26,47 %**

Abbildung 63: Variantenvergleich Zählereinbau im Neubau (Zähler ohne Logfunktion / Zähler mit Logfunktion, Volumenstrom konstant, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

Vollklimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter elektrisch (Typ 22)																
Nutzenergie	Vent SFP4	729	632	W/(m³/s)	Wärme 20°C	1078	Wh/m³/h		Kälte 20°C	2434	Wh/m³/h		Dampf	3992	Wh/m³/h	
Betriebszeit	250d/13h	658	570	Wh/m³/h	250d/13h	800	Wh/m³/h		250d/13h	1667	Wh/m³/h		250d/13h	2962	Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	658	570	Wh/m³/h	1,3	1040	Wh/m³/h		1,3	2167	Wh/m³/h		1,16	3436	Wh/m³/h	
Endenergie (SEER)	1	658	570	Wh_el/m³/h	1	1040	Wh_th/m³/h		4	542	Wh_el/m³/h		1	3436	Wh_el/m³/h	
mittlerer Belastungsgrad	70%	658	570	Wh_el/m³/h	70%	728	Wh_th/m³/h		70%	379	Wh_el/m³/h		70%	2405	Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,2	0,13	0,11	€/m³/ha	0,06	0,04	€/m³/ha		0,2	0,08	€/m³/ha		0,2	0,48	€/m³/ha	
Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	ohne Logfunktion, 3.000 m³/h		mit Logfunktion, 3.000 m³/h		ohne Logfunktion, 10.000 m³/h		mit Logfunktion, 10.000 m³/h		ohne Logfunktion, 20.000 m³/h		mit Logfunktion, 20.000 m³/h		ohne Logfunktion, 30.000 m³/h		mit Logfunktion, 30.000 m³/h	
Kosten gesamt	0,85 €/m³/ha		0,85 €/m³/ha		0,85 €/m³/ha		0,85 €/m³/ha		0,85 €/m³/ha		0,85 €/m³/ha		0,85 €/m³/ha		0,85 €/m³/ha	
Kosteneinsparung 3,33% / 6,66%	0,03 €/m³/ha		0,06 €/m³/ha		0,03 €/m³/ha		0,06 €/m³/ha		0,03 €/m³/ha		0,06 €/m³/ha		0,03 €/m³/ha		0,06 €/m³/ha	
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h		3.000 m³/h		10.000 m³/h		10.000 m³/h		20.000 m³/h		20.000 m³/h		30.000 m³/h		30.000 m³/h	
Einsparung absolut	85 €/a		169 €/a		282 €/a		564 €/a		564 €/a		1.128 €/a		846 €/a		1.692 €/a	
Kosten Zähler	200 €		500 €		200 €		500 €		200 €		500 €		200 €		500 €	
Amortisationszeit statisch	2,36 a		2,95 a		0,71 a		0,89 a		0,35 a		0,44 a		0,24 a		0,30 a	
Nutzungszeit	20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a	
Kapitalzins	0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %	
Rückzahlungen in Nutzungszeit	1.692 €		3.385 €		5.641 €		11.282 €		11.282 €		22.564 €		16.923 €		33.847 €	
Amortisationszeit dynamisch	**2,36 a**		**2,95 a**		**0,71 a**		**0,89 a**		**0,35 a**		**0,44 a**		**0,24 a**		**0,30 a**	
Kapitalwert nach Nutzungsende	**1.492 €**		**2.884 €**		**5.440 €**		**10.780 €**		**11.080 €**		**22.060 €**		**16.720 €**		**33.340 €**	
interner Zinsfuß	**8,46 %**		**6,77 %**		**28,21 %**		**22,56 %**		**56,41 %**		**45,13 %**		**84,62 %**		**67,69 %**	

Teilklimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 15)																
Nutzenergie	Vent SFP4	729	632	W/(m³/s)	Wärme 20°C	4395	Wh/m³/h		Kälte 20°C	2375	Wh/m³/h		Dampf	0	Wh/m³/h	
Betriebszeit	250d/13h	658	570	Wh/m³/h	250d/13h	3261	Wh/m³/h		250d/13h	1627	Wh/m³/h		250d/13h	0	Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	658	570	Wh/m³/h	1,3	4239	Wh/m³/h		1,3	2115	Wh/m³/h		1,16	0	Wh/m³/h	
Endenergie (SEER)	1	658	570	Wh_el/m³/h	1	4239	Wh_th/m³/h		4	529	Wh_el/m³/h		1	0	Wh_el/m³/h	
mittlerer Belastungsgrad	70%	658	570	Wh_el/m³/h	70%	2968	Wh_th/m³/h		70%	370	Wh_el/m³/h		70%	0	Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,2	0,13	0,11	€/m³/ha	0,06	0,18	€/m³/ha		0,2	0,07	€/m³/ha		0,2	0,00	€/m³/ha	
Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	ohne Logfunktion, 3.000 m³/h		mit Logfunktion, 3.000 m³/h		ohne Logfunktion, 10.000 m³/h		mit Logfunktion, 10.000 m³/h		ohne Logfunktion, 20.000 m³/h		mit Logfunktion, 20.000 m³/h		ohne Logfunktion, 30.000 m³/h		mit Logfunktion, 30.000 m³/h	
Kosten gesamt	0,50 €/m³/ha		0,50 €/m³/ha		0,50 €/m³/ha		0,50 €/m³/ha		0,50 €/m³/ha		0,50 €/m³/ha		0,50 €/m³/ha		0,50 €/m³/ha	
Kosteneinsparung 3,33% / 6,66%	0,02 €/m³/ha		0,03 €/m³/ha		0,02 €/m³/ha		0,03 €/m³/ha		0,02 €/m³/ha		0,03 €/m³/ha		0,02 €/m³/ha		0,03 €/m³/ha	
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h		3.000 m³/h		10.000 m³/h		10.000 m³/h		20.000 m³/h		20.000 m³/h		30.000 m³/h		30.000 m³/h	
Einsparung absolut	50 €/a		100 €/a		166 €/a		332 €/a		332 €/a		664 €/a		498 €/a		995 €/a	
Kosten Zähler	200 €		500 €		200 €		500 €		200 €		500 €		200 €		500 €	
Amortisationszeit statisch	4,02 a		5,02 a		1,21 a		1,51 a		0,60 a		0,75 a		0,40 a		0,50 a	
Nutzungszeit	20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a	
Kapitalzins	0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %	
Rückzahlungen in Nutzungszeit	995 €		1.991 €		3.318 €		6.636 €		6.636 €		13.271 €		9.953 €		19.907 €	
Amortisationszeit dynamisch	**4,02 a**		**5,02 a**		**1,21 a**		**1,51 a**		**0,60 a**		**0,75 a**		**0,40 a**		**0,50 a**	
Kapitalwert nach Nutzungsende	**795 €**		**1.490 €**		**3.117 €**		**6.134 €**		**6.434 €**		**12.768 €**		**9.751 €**		**19.403 €**	
interner Zinsfuß	**4,98 %**		**3,98 %**		**16,59 %**		**13,27 %**		**33,18 %**		**26,54 %**		**49,77 %**		**39,81 %**	

Teilklimaanlage mit WRG 75%, keine Feuchteanf. (Typ 4)																
Nutzenergie	Vent SFP4	729	632	W/(m³/s)	Wärme 20°C	926	Wh/m³/h		Kälte 20°C	2303	Wh/m³/h		Dampf	0	Wh/m³/h	
Betriebszeit	250d/13h	658	570	Wh/m³/h	250d/13h	687	Wh/m³/h		250d/13h	1577	Wh/m³/h		250d/13h	0	Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	658	570	Wh/m³/h	1,3	893	Wh/m³/h		1,3	2051	Wh/m³/h		1,16	0	Wh/m³/h	
Endenergie (SEER)	1	658	570	Wh_el/m³/h	1	893	Wh_th/m³/h		4	513	Wh_el/m³/h		1	0	Wh_el/m³/h	
mittlerer Belastungsgrad	70%	658	570	Wh_el/m³/h	70%	625	Wh_th/m³/h		70%	359	Wh_el/m³/h		70%	0	Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,2	0,13	0,11	€/m³/ha	0,06	0,04	€/m³/ha		0,2	0,07	€/m³/ha		0,2	0,00	€/m³/ha	
Wirtschaftlichkeit Zähler zuluftse	ohne Logfunktion, 3.000 m³/h		mit Logfunktion, 3.000 m³/h		ohne Logfunktion, 10.000 m³/h		mit Logfunktion, 10.000 m³/h		ohne Logfunktion, 20.000 m³/h		mit Logfunktion, 20.000 m³/h		ohne Logfunktion, 30.000 m³/h		mit Logfunktion, 30.000 m³/h	
Kosten gesamt	0,35 €/m³/ha		0,35 €/m³/ha		0,35 €/m³/ha		0,35 €/m³/ha		0,35 €/m³/ha		0,35 €/m³/ha		0,35 €/m³/ha		0,35 €/m³/ha	
Kosteneinsparung 3,33% / 6,66%	0,01 €/m³/ha		0,02 €/m³/ha		0,01 €/m³/ha		0,02 €/m³/ha		0,01 €/m³/ha		0,02 €/m³/ha		0,01 €/m³/ha		0,02 €/m³/ha	
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h		3.000 m³/h		10.000 m³/h		10.000 m³/h		20.000 m³/h		20.000 m³/h		30.000 m³/h		30.000 m³/h	
Einsparung absolut	35 €/a		71 €/a		118 €/a		237 €/a		237 €/a		473 €/a		355 €/a		710 €/a	
Kosten Zähler	200 €		500 €		200 €		500 €		200 €		500 €		200 €		500 €	
Amortisationszeit statisch	5,64 a		7,04 a		1,69 a		2,11 a		0,85 a		1,06 a		0,56 a		0,70 a	
Nutzungszeit	20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a		20 a	
Kapitalzins	0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %		0,00 %	
Rückzahlungen in Nutzungszeit	710 €		1.420 €		2.366 €		4.732 €		4.732 €		9.464 €		7.098 €		14.195 €	
Amortisationszeit dynamisch	**5,64 a**		**7,04 a**		**1,69 a**		**2,11 a**		**0,85 a**		**1,06 a**		**0,56 a**		**0,70 a**	
Kapitalwert nach Nutzungsende	**510 €**		**919 €**		**2.165 €**		**4.231 €**		**4.531 €**		**8.962 €**		**6.896 €**		**13.692 €**	
interner Zinsfuß	**3,55 %**		**2,84 %**		**11,83 %**		**9,46 %**		**23,66 %**		**18,93 %**		**35,49 %**		**28,39 %**	

Abbildung 64: Variantenvergleich Zählereinbau im Neubau (Zähler ohne Logfunktion / Zähler mit Logfunktion, Volumenstrom variabel, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

6.1.4 Systematische Inbetriebnahme

Klimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 43)								
Nutzenergie	Vent SFP4	1500	1300 W/(m³/s)	Wärme 20°C	3657 Wh/m³/h	Kälte 20°C	6076 Wh/m³/h	Dampf	8911 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1354	1174 Wh/m³/h	250d/13h	2714 Wh/m³/h	250d/13h	4162 Wh/m³/h	250d/13h	6612 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1354	1174 Wh/m³/h	1,3	3528 Wh/m³/h	1,3	5410 Wh/m³/h	1,16	7670 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1354	1174 Wh_el/m³/h	1	3528 Wh_th/m³/h	3	1803 Wh_el/m³/h	1	7670 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1354	1174 Wh_el/m³/h	100%	3528 Wh_th/m³/h	100%	1803 Wh_el/m³/h	100%	7670 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,27	0,23 €/m³/ha	0,06	0,21 €/m³/ha	0,2	0,36 €/m³/ha	0,2	1,53 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechnik	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	2,61 €/m³/ha	2,61 €/m³/ha	2,61 €/m³/ha	2,61 €/m³/ha	2,61 €/m³/ha	2,61 €/m³/ha	2,61 €/m³/ha	2,61 €/m³/ha
Kosteneinsparung 8% (KVS)	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	627 €/a	627 €/a	2.090 €/a	2.090 €/a	4.179 €/a	4.179 €/a	6.269 €/a	6.269 €/a
Kosten Systematische IBN (20 MT	3.200 €	4.700 €	3.200 €	4.700 €	3.200 €	4.700 €	3.200 €	4.700 €
Amortisationszeit statisch	5,10 a	7,50 a	1,53 a	2,25 a	0,77 a	1,12 a	0,51 a	0,75 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	12.537 €	12.537 €	41.790 €	41.790 €	83.580 €	83.580 €	125.370 €	125.370 €
Amortisationszeit dynamisch	**5,11 a**	**7,50 a**	**1,53 a**	**2,25 a**	**0,77 a**	**1,12 a**	**0,51 a**	**0,75 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**9.335 €**	**7.835 €**	**38.582 €**	**37.082 €**	**80.363 €**	**78.863 €**	**122.145 €**	**120.645 €**
interner Zinsfuß	**3,92 %**	**2,67 %**	**13,06 %**	**8,89 %**	**26,12 %**	**17,78 %**	**39,18 %**	**26,67 %**

Klimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 22)								
Nutzenergie	Vent SFP4	1500	1300 W/(m³/s)	Wärme 20°C	1078 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2434 Wh/m³/h	Dampf	3992 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1354	1174 Wh/m³/h	250d/13h	800 Wh/m³/h	250d/13h	1667 Wh/m³/h	250d/13h	2962 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1354	1174 Wh/m³/h	1,3	1040 Wh/m³/h	1,3	2167 Wh/m³/h	1,16	3436 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1354	1174 Wh_el/m³/h	1	1040 Wh_th/m³/h	3	722 Wh_el/m³/h	1	3436 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1354	1174 Wh_el/m³/h	100%	1040 Wh_th/m³/h	100%	722 Wh_el/m³/h	100%	3436 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,27	0,23 €/m³/ha	0,06	0,06 €/m³/ha	0,2	0,14 €/m³/ha	0,2	0,69 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechnik	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	1,40 €/m³/ha	1,40 €/m³/ha	1,40 €/m³/ha	1,40 €/m³/ha	1,40 €/m³/ha	1,40 €/m³/ha	1,40 €/m³/ha	1,40 €/m³/ha
Kosteneinsparung 8% (KVS)	0,11 €/m³/ha	0,11 €/m³/ha	0,11 €/m³/ha	0,11 €/m³/ha	0,11 €/m³/ha	0,11 €/m³/ha	0,11 €/m³/ha	0,11 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	336 €/a	336 €/a	1.120 €/a	1.120 €/a	2.239 €/a	2.239 €/a	3.359 €/a	3.359 €/a
Kosten Systematische IBN (16 MT	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €
Amortisationszeit statisch	7,62 a	10,60 a	2,29 a	3,18 a	1,14 a	1,59 a	0,76 a	1,06 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	6.718 €	6.718 €	22.394 €	22.394 €	44.788 €	44.788 €	67.183 €	67.183 €
Amortisationszeit dynamisch	**7,62 a**	**10,60 a**	**2,29 a**	**3,18 a**	**1,14 a**	**1,59 a**	**0,76 a**	**1,06 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**4.157 €**	**3.157 €**	**19.830 €**	**18.830 €**	**42.219 €**	**41.219 €**	**64.609 €**	**63.609 €**
interner Zinsfuß	**2,62 %**	**1,89 %**	**8,75 %**	**6,29 %**	**17,50 %**	**12,58 %**	**26,24 %**	**18,87 %**

Klimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 15)								
Nutzenergie	Vent SFP4	1500	1300 W/(m³/s)	Wärme 20°C	4395 Wh/m³/h	Kälte 20°C	2375 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1354	1174 Wh/m³/h	250d/13h	3261 Wh/m³/h	250d/13h	1627 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1354	1174 Wh/m³/h	1,3	4239 Wh/m³/h	1,3	2115 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1354	1174 Wh_el/m³/h	1	4239 Wh_th/m³/h	3	705 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1354	1174 Wh_el/m³/h	100%	4239 Wh_th/m³/h	100%	705 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,27	0,23 €/m³/ha	0,06	0,25 €/m³/ha	0,2	0,14 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechnik	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	0,90 €/m³/ha	0,90 €/m³/ha	0,90 €/m³/ha	0,90 €/m³/ha	0,90 €/m³/ha	0,90 €/m³/ha	0,90 €/m³/ha	0,90 €/m³/ha
Kosteneinsparung 8% (KVS)	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha	0,07 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	216 €/a	216 €/a	721 €/a	721 €/a	1.441 €/a	1.441 €/a	2.162 €/a	2.162 €/a
Kosten Systematische IBN (16 MT	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €
Amortisationszeit statisch	11,84 a	16,46 a	3,55 a	4,94 a	1,78 a	2,47 a	1,18 a	1,65 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	4.324 €	4.324 €	14.414 €	14.414 €	28.829 €	28.829 €	43.243 €	43.243 €
Amortisationszeit dynamisch	**11,84 a**	**16,47 a**	**3,55 a**	**4,94 a**	**1,78 a**	**2,47 a**	**1,18 a**	**1,65 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**1.763 €**	**763 €**	**11.852 €**	**10.852 €**	**26.263 €**	**25.263 €**	**40.675 €**	**39.675 €**
interner Zinsfuß	**1,69 %**	**1,21 %**	**5,63 %**	**4,05 %**	**11,26 %**	**8,10 %**	**16,89 %**	**12,15 %**

Lüftungsanlage mit WRG 75% (Typ 4)								
Nutzenergie	Vent SFP4	1500	1300 W/(m³/s)	Wärme 20°C	926 Wh/m³/h	Kälte 20°C	0 Wh/m³/h	Dampf	0 Wh/m³/h
Betriebszeit	250d/13h	1354	1174 Wh/m³/h	250d/13h	687 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h	250d/13h	0 Wh/m³/h
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	1354	1174 Wh/m³/h	1,3	893 Wh/m³/h	1,3	0 Wh/m³/h	1,16	0 Wh/m³/h
Endenergie (SEER)	1	1354	1174 Wh_el/m³/h	1	893 Wh_th/m³/h	3	0 Wh_el/m³/h	1	0 Wh_el/m³/h
mittlerer Belastungsgrad	100%	1354	1174 Wh_el/m³/h	100%	893 Wh_th/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h	100%	0 Wh_el/m³/h
Kosten spezifisch	0,2	0,27	0,23 €/m³/ha	0,06	0,05 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha	0,2	0,00 €/m³/ha

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechnik	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	0,56 €/m³/ha	0,56 €/m³/ha	0,56 €/m³/ha	0,56 €/m³/ha	0,56 €/m³/ha	0,56 €/m³/ha	0,56 €/m³/ha	0,56 €/m³/ha
Kosteneinsparung 8% (KVS)	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha	0,04 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	134 €/a	134 €/a	447 €/a	447 €/a	895 €/a	895 €/a	1.342 €/a	1.342 €/a
Kosten Systematische IBN (12 MT	1.920 €	2.420 €	1.920 €	2.420 €	1.920 €	2.420 €	1.920 €	2.420 €
Amortisationszeit statisch	14,31 a	18,03 a	4,29 a	5,41 a	2,15 a	2,71 a	1,43 a	1,80 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2.684 €	2.684 €	8.946 €	8.946 €	17.893 €	17.893 €	26.839 €	26.839 €
Amortisationszeit dynamisch	**14,31 a**	**18,04 a**	**4,29 a**	**5,41 a**	**2,15 a**	**2,71 a**	**1,43 a**	**1,80 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**763 €**	**263 €**	**7.025 €**	**6.525 €**	**15.969 €**	**15.469 €**	**24.914 €**	**24.414 €**
interner Zinsfuß	**1,40 %**	**1,11 %**	**4,66 %**	**3,70 %**	**9,32 %**	**7,39 %**	**13,98 %**	**11,09 %**

Abbildung 65: Variantenvergleich Systematische Inbetriebnahme (Vollklimaanlage / Teilklimaanlage / Lüftungsanlage, Volumenstrom konstant, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

Klimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. ohne Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 43)																
Nutzenergie	Vent SFP4	729	632	W/(m³/s)	Wärme 20°C	3657	Wh/m³/h		Kälte 20°C	6076	Wh/m³/h		Dampf	8911	Wh/m³/h	
Betriebszeit	250d/13h	658	570	Wh/m³/h	250d/13h	2714	Wh/m³/h		250d/13h	4162	Wh/m³/h		250d/13h	6612	Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	658	570	Wh/m³/h	1,3	3528	Wh/m³/h		1,3	5410	Wh/m³/h		1,16	7670	Wh/m³/h	
Endenergie (SEER)	1	658	570	Wh_el/m³/h	1	3528	Wh_th/m³/h		3	1803	Wh_el/m³/h		1	7670	Wh_el/m³/h	
mittlerer Belastungsgrad	70%	658	570	Wh_el/m³/h	70%	2469	Wh_th/m³/h		70%	1262	Wh_el/m³/h		70%	5369	Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,2	0,13	0,11	€/m³/ha	0,06	0,15	€/m³/ha		0,2	0,25	€/m³/ha		0,2	1,07	€/m³/ha	

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	1,72 €/m³/ha	1,72 €/m³/ha	1,72 €/m³/ha	1,72 €/m³/ha	1,72 €/m³/ha	1,72 €/m³/ha	1,72 €/m³/ha	1,72 €/m³/ha
Kosteneinsparung 12% (VVS)	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha	0,21 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	619 €/a	619 €/a	2.064 €/a	2.064 €/a	4.128 €/a	4.128 €/a	6.192 €/a	6.192 €/a
Kosten Systematische IBN (20 MT	3.200 €	4.700 €	3.200 €	4.700 €	3.200 €	4.700 €	3.200 €	4.700 €
Amortisationszeit statisch	5,17 a	7,59 a	1,55 a	2,28 a	0,78 a	1,14 a	0,52 a	0,76 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	12.384 €	12.384 €	41.281 €	41.281 €	82.561 €	82.561 €	123.842 €	123.842 €
Amortisationszeit dynamisch	**5,17 a**	**7,59 a**	**1,55 a**	**2,28 a**	**0,78 a**	**1,14 a**	**0,52 a**	**0,76 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**9.182 €**	**7.682 €**	**38.072 €**	**36.572 €**	**79.345 €**	**77.845 €**	**120.617 €**	**119.117 €**
interner Zinsfuß	**3,87 %**	**2,63 %**	**12,90 %**	**8,78 %**	**25,80 %**	**17,57 %**	**38,70 %**	**26,35 %**

Klimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Dampfbefeuchter (Typ 22)																
Nutzenergie	Vent SFP4	729	632	W/(m³/s)	Wärme 20°C	1078	Wh/m³/h		Kälte 20°C	2434	Wh/m³/h		Dampf	3992	Wh/m³/h	
Betriebszeit	250d/13h	658	570	Wh/m³/h	250d/13h	800	Wh/m³/h		250d/13h	1667	Wh/m³/h		250d/13h	2962	Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	658	570	Wh/m³/h	1,3	1040	Wh/m³/h		1,3	2167	Wh/m³/h		1,16	3436	Wh/m³/h	
Endenergie (SEER)	1	658	570	Wh_el/m³/h	1	1040	Wh_th/m³/h		3	722	Wh_el/m³/h		1	3436	Wh_el/m³/h	
mittlerer Belastungsgrad	70%	658	570	Wh_el/m³/h	70%	728	Wh_th/m³/h		70%	506	Wh_el/m³/h		70%	2405	Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,2	0,13	0,11	€/m³/ha	0,06	0,04	€/m³/ha		0,2	0,10	€/m³/ha		0,2	0,48	€/m³/ha	

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha	0,87 €/m³/ha
Kosteneinsparung 12% (VVS)	0,10 €/m³/ha	0,10 €/m³/ha	0,10 €/m³/ha	0,10 €/m³/ha	0,10 €/m³/ha	0,10 €/m³/ha	0,10 €/m³/ha	0,10 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	314 €/a	314 €/a	1.046 €/a	1.046 €/a	2.091 €/a	2.091 €/a	3.137 €/a	3.137 €/a
Kosten Systematische IBN (16 MT	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €
Amortisationszeit statisch	8,16 a	11,35 a	2,45 a	3,40 a	1,22 a	1,70 a	0,82 a	1,13 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	6.274 €	6.274 €	20.915 €	20.915 €	41.830 €	41.830 €	62.745 €	62.745 €
Amortisationszeit dynamisch	**8,16 a**	**11,35 a**	**2,45 a**	**3,40 a**	**1,22 a**	**1,70 a**	**0,82 a**	**1,13 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**3.713 €**	**2.713 €**	**18.351 €**	**17.351 €**	**39.262 €**	**38.262 €**	**60.172 €**	**59.172 €**
interner Zinsfuß	**2,45 %**	**1,76 %**	**8,17 %**	**5,87 %**	**16,34 %**	**11,75 %**	**24,51 %**	**17,62 %**

Klimaanlage mit WRG 75%, Feuchteanf. mit Toleranz, Verdunstungsbefeuchter (Typ 15)																
Nutzenergie	Vent SFP4	729	632	W/(m³/s)	Wärme 20°C	4395	Wh/m³/h		Kälte 20°C	2375	Wh/m³/h		Dampf	0	Wh/m³/h	
Betriebszeit	250d/13h	658	570	Wh/m³/h	250d/13h	3261	Wh/m³/h		250d/13h	1627	Wh/m³/h		250d/13h	0	Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	658	570	Wh/m³/h	1,3	4239	Wh/m³/h		1,3	2115	Wh/m³/h		1,16	0	Wh/m³/h	
Endenergie (SEER)	1	658	570	Wh_el/m³/h	1	4239	Wh_th/m³/h		3	705	Wh_el/m³/h		1	0	Wh_el/m³/h	
mittlerer Belastungsgrad	70%	658	570	Wh_el/m³/h	70%	2968	Wh_th/m³/h		70%	493	Wh_el/m³/h		70%	0	Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,2	0,13	0,11	€/m³/ha	0,06	0,18	€/m³/ha		0,2	0,10	€/m³/ha		0,2	0,00	€/m³/ha	

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	0,52 €/m³/ha	0,52 €/m³/ha	0,52 €/m³/ha	0,52 €/m³/ha	0,52 €/m³/ha	0,52 €/m³/ha	0,52 €/m³/ha	0,52 €/m³/ha
Kosteneinsparung 12% (VVS)	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha	0,06 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	188 €/a	188 €/a	627 €/a	627 €/a	1.254 €/a	1.254 €/a	1.880 €/a	1.880 €/a
Kosten Systematische IBN (16 MT	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €	2.560 €	3.560 €
Amortisationszeit statisch	13,61 a	18,93 a	4,08 a	5,68 a	2,04 a	2,84 a	1,36 a	1,89 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	3.761 €	3.761 €	12.536 €	12.536 €	25.073 €	25.073 €	37.609 €	37.609 €
Amortisationszeit dynamisch	**13,61 a**	**18,93 a**	**4,08 a**	**5,68 a**	**2,04 a**	**2,84 a**	**1,36 a**	**1,89 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**1.200 €**	**200 €**	**9.974 €**	**8.974 €**	**22.507 €**	**21.507 €**	**35.041 €**	**34.041 €**
interner Zinsfuß	**1,47 %**	**1,06 %**	**4,90 %**	**3,52 %**	**9,79 %**	**7,04 %**	**14,69 %**	**10,56 %**

Lüftungsanlage mit WRG 75% (Typ 4)																
Nutzenergie	Vent SFP4	729	632	W/(m³/s)	Wärme 20°C	926	Wh/m³/h		Kälte 20°C	0	Wh/m³/h		Dampf	0	Wh/m³/h	
Betriebszeit	250d/13h	658	570	Wh/m³/h	250d/13h	687	Wh/m³/h		250d/13h	0	Wh/m³/h		250d/13h	0	Wh/m³/h	
Heiz-, Kälte-, Dampffaktor	1	658	570	Wh/m³/h	1,3	893	Wh/m³/h		1,3	0	Wh/m³/h		1,16	0	Wh/m³/h	
Endenergie (SEER)	1	658	570	Wh_el/m³/h	1	893	Wh_th/m³/h		3	0	Wh_el/m³/h		1	0	Wh_el/m³/h	
mittlerer Belastungsgrad	70%	658	570	Wh_el/m³/h	70%	625	Wh_th/m³/h		70%	0	Wh_el/m³/h		70%	0	Wh_el/m³/h	
Kosten spezifisch	0,2	0,13	0,11	€/m³/ha	0,06	0,04	€/m³/ha		0,2	0,00	€/m³/ha		0,2	0,00	€/m³/ha	

Wirtschaftlichkeit SYS_IBN	000 m³/h (ohne Messtechni	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni	.000 m³/h (ohne Messtechn	.000 m³/h (mit Messtechni
Kosten gesamt	0,28 €/m³/ha	0,28 €/m³/ha	0,28 €/m³/ha	0,28 €/m³/ha	0,28 €/m³/ha	0,28 €/m³/ha	0,28 €/m³/ha	0,28 €/m³/ha
Kosteneinsparung 12% (VVS)	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha	0,03 €/m³/ha
Luftvolumenstrom	3.000 m³/h	3.000 m³/h	10.000 m³/h	10.000 m³/h	20.000 m³/h	20.000 m³/h	30.000 m³/h	30.000 m³/h
Einsparung absolut	102 €/a	102 €/a	340 €/a	340 €/a	679 €/a	679 €/a	1.019 €/a	1.019 €/a
Kosten Systematische IBN (12 MT	1.920 €	2.420 €	1.920 €	2.420 €	1.920 €	2.420 €	1.920 €	2.420 €
Amortisationszeit statisch	18,84 a	23,74 a	5,65 a	7,12 a	2,83 a	3,56 a	1,88 a	2,37 a
Nutzungszeit	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a
Kapitalzins	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Rückzahlungen in Nutzungszeit	2.038 €	2.038 €	6.795 €	6.795 €	13.589 €	13.589 €	20.384 €	20.384 €
Amortisationszeit dynamisch	**18,84 a**	**23,75 a**	**5,65 a**	**7,12 a**	**2,83 a**	**3,56 a**	**1,88 a**	**2,37 a**
Kapitalwert nach Nutzungsende	**118 €**	**-382 €**	**4.873 €**	**4.373 €**	**11.667 €**	**11.167 €**	**18.460 €**	**17.960 €**
interner Zinsfuß	**1,06 %**	**0,84 %**	**3,54 %**	**2,81 %**	**7,08 %**	**5,62 %**	**10,62 %**	**8,42 %**

Abbildung 66: Variantenvergleich Systematische Inbetriebnahme (Vollklimaanlage / Teilklimaanlage / Lüftungsanlage, Volumenstrom konstant, 3.000m³/h / 10.000m³/h / 20.000m³/h / 30.000m³/h)

6.2 Info Flyer „Die Luft ist rein“

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

DEUTSCHLAND MACHT'S EFFIZIENT.

Die Luft ist rein

Effiziente Klima- und Lüftungsanlagen helfen Energie sparen

Ist Ihre Klima- und Lüftungsanlage optimal eingestellt?

Viele Klima- und Lüftungsanlagen sind versteckte Energiefresser, die in Büros, öffentlichen Gebäuden und Unternehmen bis zu 50 Prozent der Energiekosten ausmachen. Oft sind sie nicht optimal eingestellt, enthalten veraltete Komponenten und sind überdimensioniert. Damit verschwenden sie unnötig Energie und erzeugen hohe Betriebskosten.

Optimieren lassen sich alle Anlagen. Durch Betriebsoptimierungen und technische Verbesserungen lassen sich große Einsparungen erzielen.

Betriebsoptimierung:
- Auswertung von vorhandenen Messungen (z. B. Abrechnungen, Trend-Protokolle)
- Parameter anpassen an aktuelle Nutzeranforderungen (z. B. Volumenströme)

Technische Verbesserung:
- Austausch von ineffizienten Komponenten (Pumpen, Ventilatoren, Kälteerzeuger)
- Bedarfsgerechte Luftvolumenstromregelung nach Präsenz und Luftqualität
- Ergänzung durch neue Komponenten (z. B. Regelungstechnik)

Die positiven Effekte einer energetischen Verbesserung der Anlage sind spürbar.
Neben teilweise signifikanten Energiekosteneinsparungen verbessert sich auch das Raumklima im Gebäude und damit der Komfort für alle Nutzer.

Dieses Infoblatt zeigt Ihnen an konkreten Beispielen auf, wie Sie die Energiekosten senken und welche Unterstützung Sie dafür bekommen können.

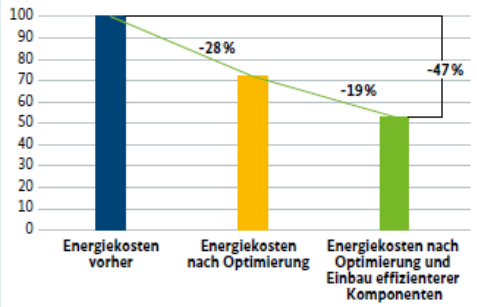
Abbildung 67: Info Flyer: „Die Luft ist rein -Effiziente Klima und Lüftungsanlagen helfen sparen“, Seiten 1 und 2

Nahezu jede Klima- und Lüftungsanlage lässt sich verbessern

Einfache Maßnahmen erzielen oft erhebliche Kosteneinsparungen.
Allein durch Optimierungsmaßnahmen lassen sich in der Regel Energiekostenreduzierungen von ca. 30 Prozent realisieren. Wenn zusätzlich effizientere Komponenten eingebaut werden, lassen sich die Energiekosten von Klima- und Lüftungsanlagen durchschnittlich um fast die Hälfte reduzieren.

So viel lässt sich einsparen:

Potenzial zur Energiekostenreduzierung



Quelle: Ecofys 2017 basierend auf Schiller et al. 2013

Zum Beispiel: Die Laufzeit der Lüftungsanlage um zwei Stunden pro Tag zu verkürzen, spart in einem 1.700 m² großen Bürogebäude ca. 5.000 Euro/Jahr Energiekosten ein.

Auf den folgenden Seiten zeigen wir Ihnen zwei gute Beispiele von Projekten, bei denen durch Optimierungsmaßnahmen und technische Verbesserungen der Lüftungsanlagen Energiekosten deutlich eingespart werden konnten.

Best Practice: Reine Luft in den Werkshallen

Ein deutscher metallverarbeitender Industriebetrieb betreibt an verschiedenen Produktionsorten in Deutschland eine große Anzahl von Lüftungsanlagen. Die Energieeffizienz dieser Anlagen wurde durch ein Energieeinspar-Contracting deutlich gesteigert.

Durchgeführte Maßnahmen

- Austausch von über 300 veralteten Ventilatoren durch Radialventilatoren
- Austausch alter Motoren durch effiziente Motoren
- Einsatz von Frequenzumformern zur Anpassung der Luftmengen an den tatsächlichen Bedarf

Ergebnisse
Alle Umbaumaßnahmen wurden im laufenden Betrieb durchgeführt. Die Investitionskosten werden über eine Contracting-Rate refinanziert.

Energiekosteneinsparung: 3.700.000 Euro/Jahr
Energieeinsparung Strom: 35.600.000 kWh/Jahr
CO_2 Einsparung: 26.222 Tonnen CO_2/Jahr

Abbildung 68: Info Flyer: „Die Luft ist rein -Effiziente Klima und Lüftungsanlagen helfen sparen“, Seiten 3 und 4

Best Practice: Raumklima verbessert – Energiebedarf verringert

Durch die Sanierung im Schulzentrum Lichtenberg in Kassel wurden nicht nur der Energiebedarf deutlich gesenkt, sondern auch das Raumklima und damit das Lernklima verbessert.

Durchgeführte Maßnahmen

- Einbau von geräuscharmen, dezentralen Lüftungsgeräten in die Fensterfassade
- Sensoren schalten die Geräte präsenzabhängig und regeln bedarfsgerecht die Luftqualität
- Die integrierten Wärmetauscher gewinnen rund 75 Prozent der Wärmeenergie zurück
- Einbau energiesparender Ventilatoren

Ergebnisse der Energiesparmaßnahmen

Zusätzlich zu den Investitionen in die raumlufttechnischen Anlagen wurden die Fenster ausgetauscht und die Fassade saniert. Alle Maßnahmen zusammen ergaben folgende Einsparungen:

	Vorher	Nachher
Energiekosten/Jahr	90.548 Euro	40.186 Euro
Energieverbrauch/Jahr	840 MWh	400 MWh
CO_2-Ausstoß/Jahr	145 Tonnen	69 Tonnen

Schulträger: Landkreis Kassel

Wie hilft der Staat finanziell?

Zur Steigerung der Energieeffizienz von Klima- und Lüftungsanlagen stellt die Bundesregierung Unternehmen und Kommunen verschiedene Förderangebote zur Verfügung:

Zuschuss zur Beratung

Im Programm **Energieberatung im Mittelstand** und **Energieberatung Kommunen** werden Zuschüsse zu den Beratungskosten zur Identifizierung von Energiesparpotenzialen vergeben.

Zuschuss zur Finanzierung

Bezuschusst wird im Programm **„Querschnittstechnologien"** zum Beispiel die Finanzierung des Kaufs von Ventilatoren, Anlagen zur Wärmerückgewinnung und die Optimierung technischer Systeme.

Das Förderprogramm **„Kälte-Klima-Richtlinie"** bezuschusst Klimaschutzmaßnahmen, in die Errichtung oder Sanierung von Kälte- oder Klimaanlagen.

Zinsvergünstigte Kredite

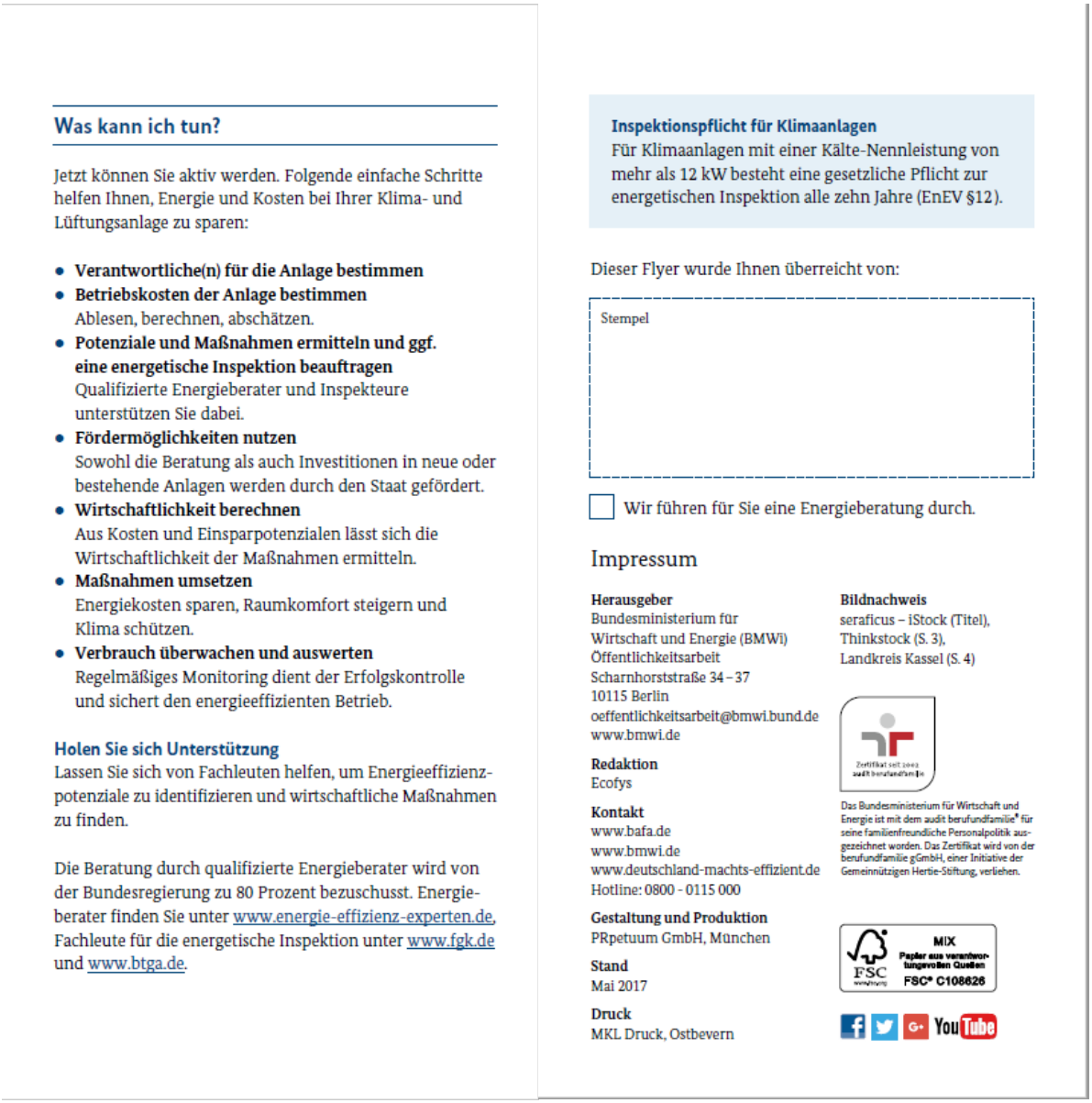
Die **KfW** bietet mit BMWi-Mitteln vergünstigte Kredite mit Tilgungszuschüssen für die Sanierung von Nichtwohngebäuden oder für Einzelmaßnahmen in Unternehmen, z. B. an Klima- und Lüftungsanlagen oder für Gebäudeautomation.

Zuschuss zu innovativen Energiedienstleistungen

Das **Pilotprojekt Einsparzähler** fördert ausgewählte „smarte" IT-gestützte Projekte, um Energiesparlösungen zu erproben und marktfähig zu machen – auch für Klima- und Lüftungsanlagen.

Eine Übersicht aller Fördermöglichkeiten sowie weitere Informationen finden Sie unter www.deutschland-machts-effizient.de.

Abbildung 69: Info Flyer: „Die Luft ist rein -Effiziente Klima und Lüftungsanlagen helfen sparen", Seiten 5 und 6



Was kann ich tun?

Jetzt können Sie aktiv werden. Folgende einfache Schritte helfen Ihnen, Energie und Kosten bei Ihrer Klima- und Lüftungsanlage zu sparen:

- **Verantwortliche(n) für die Anlage bestimmen**
- **Betriebskosten der Anlage bestimmen**
  Ablesen, berechnen, abschätzen.
- **Potenziale und Maßnahmen ermitteln und ggf. eine energetische Inspektion beauftragen**
  Qualifizierte Energieberater und Inspekteure unterstützen Sie dabei.
- **Fördermöglichkeiten nutzen**
  Sowohl die Beratung als auch Investitionen in neue oder bestehende Anlagen werden durch den Staat gefördert.
- **Wirtschaftlichkeit berechnen**
  Aus Kosten und Einsparpotenzialen lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ermitteln.
- **Maßnahmen umsetzen**
  Energiekosten sparen, Raumkomfort steigern und Klima schützen.
- **Verbrauch überwachen und auswerten**
  Regelmäßiges Monitoring dient der Erfolgskontrolle und sichert den energieeffizienten Betrieb.

Holen Sie sich Unterstützung

Lassen Sie sich von Fachleuten helfen, um Energieeffizienzpotenziale zu identifizieren und wirtschaftliche Maßnahmen zu finden.

Die Beratung durch qualifizierte Energieberater wird von der Bundesregierung zu 80 Prozent bezuschusst. Energieberater finden Sie unter www.energie-effizienz-experten.de, Fachleute für die energetische Inspektion unter www.fgk.de und www.btga.de.

Inspektionspflicht für Klimaanlagen
Für Klimaanlagen mit einer Kälte-Nennleistung von mehr als 12 kW besteht eine gesetzliche Pflicht zur energetischen Inspektion alle zehn Jahre (EnEV §12).

Dieser Flyer wurde Ihnen überreicht von:

Stempel

☐ Wir führen für Sie eine Energieberatung durch.

Impressum

Herausgeber
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
Scharnhorststraße 34 – 37
10115 Berlin
oeffentlichkeitsarbeit@bmwi.bund.de
www.bmwi.de

Redaktion
Ecofys

Kontakt
www.bafa.de
www.bmwi.de
www.deutschland-machts-effizient.de
Hotline: 0800 - 0115 000

Gestaltung und Produktion
PRpetuum GmbH, München

Stand
Mai 2017

Druck
MKL Druck, Ostbevern

Bildnachweis
seraficus – iStock (Titel), Thinkstock (S. 3), Landkreis Kassel (S. 4)

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ist mit dem audit berufundfamilie® für seine familienfreundliche Personalpolitik ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.

MIX Papier aus verantwortungsvollen Quellen FSC® C108626

Abbildung 70: Info Flyer: „Die Luft ist rein - Effiziente Klima und Lüftungsanlagen helfen sparen“, Seiten 7 und 8

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zu den im folgenden dargestellten Internetseiten Beiträge geleistet.

6.3 Anpassungsvorschläge der Internetseiten „Deutschland-macht's-effizient“ des BMWi

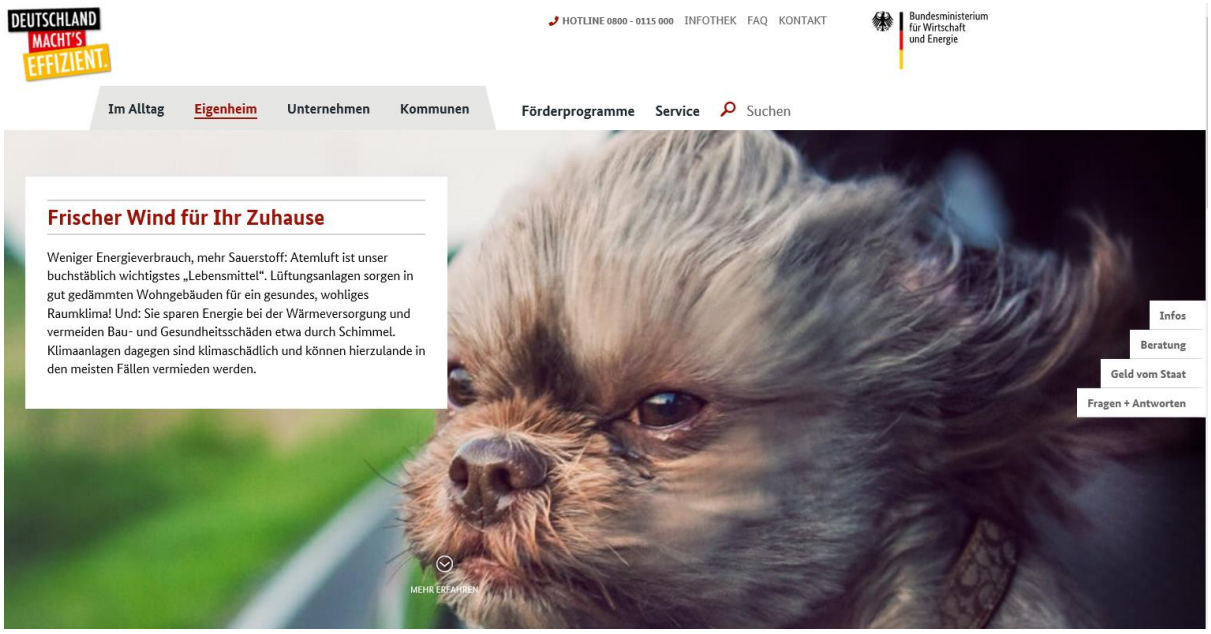


Abbildung 71: Textliche Ergänzung der Interseiten Deutschland macht´s effizient: Rubrik „Eigenheim“[45]

[45] Quelle: https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Navigation/DE/Eigenheim/Lueftungsanlagen/energieeffizienz-durch-lueftungsanlagen.html, abgerufen am 21.6.2018

DEUTSCHLAND MACHT'S EFFIZIENT.

HOTLINE 0800 - 0115 000 INFOTHEK FAQ KONTAKT

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Im Alltag Eigenheim Unternehmen Kommunen Förderprogramme Service Suchen

STARTSEITE → EIGENHEIM → LÜFTUNG

Lüftung

Seite empfehlen

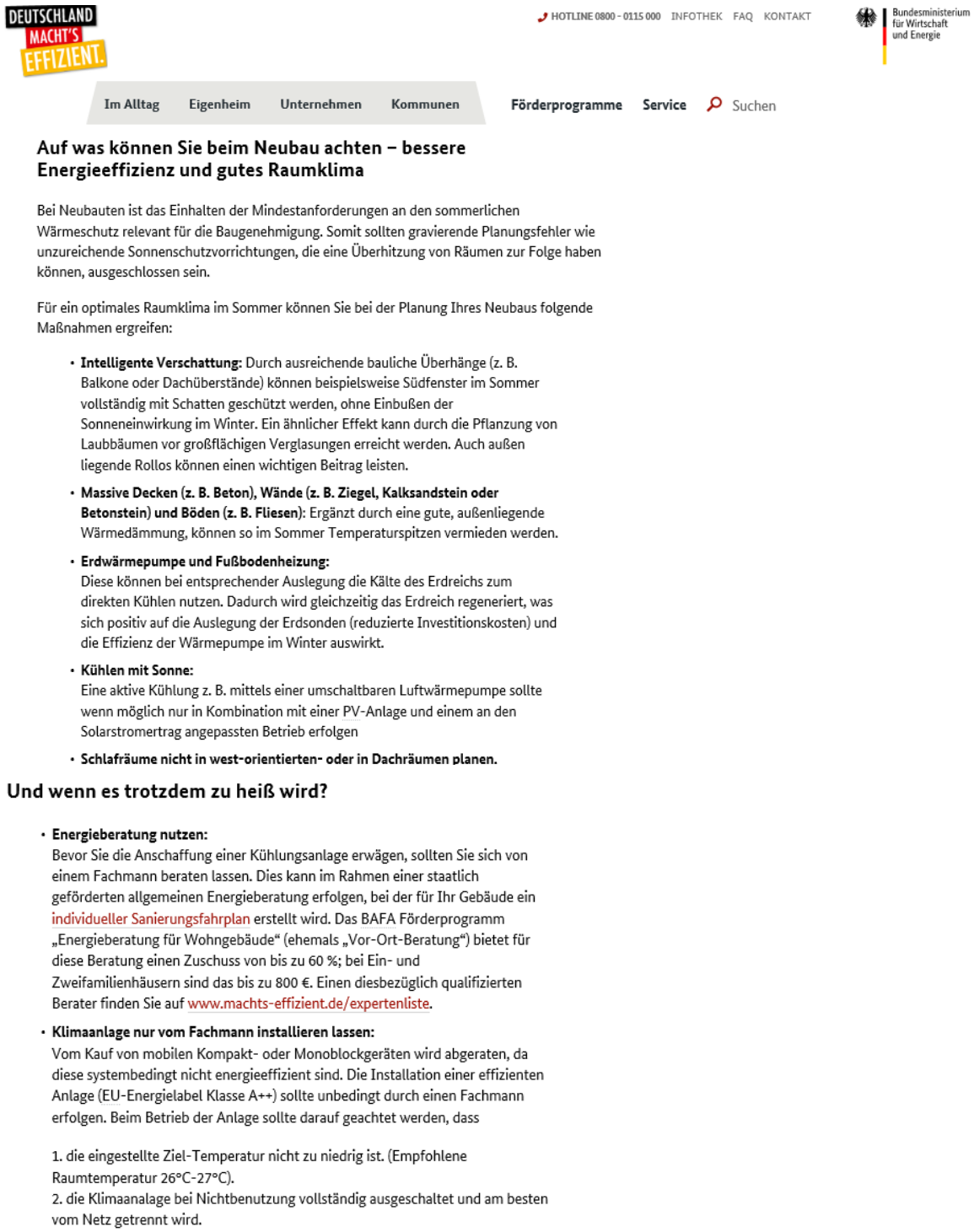
So vermeiden Sie Klimaanlagen

So behalten Sie im Sommer einen kühlen Kopf – auch ohne Klimaanlage

- **Richtiges und gezieltes Lüften, wenn Überhitzung droht:**
  Maximale Fensterlüftung, wenn die Außentemperatur niedriger ist als die Raumtemperatur (optimal ist es früh am Morgen vor 9:00 Uhr). Dagegen minimales/kein Lüften, wenn die Außentemperatur höher als die Raumtemperatur ist (kritisch ist hier im Hochsommer der Zeitraum zwischen 14:00 und 20:00 Uhr)
- **Wirksamer Sonnenschutz an den Fenstern:**
  Schattenspender auch auf der Ost- und Westseite anbringen. Außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen sind in aller Regel um ein Vielfaches wirksamer als innenliegende.
- **Dämmung der Dachräume:**
  Insbesondere für Dachräume ist eine gute Dämmung eine notwendige Grundvoraussetzung, um zu verhindern, dass die Sommerhitze nach innen dringt.
- **Wärmequellen innerhalb des Gebäudes minimieren und Verdunstungskälte nutzen:**
  Zum Beispiel auf den Gebrauch von Wäschetrocknern verzichten, lange Koch- und Backzeiten vermeiden, unnötige Energiefresser wie z. B. die Warmhaltefunktion bei Kaffeemaschinen abschalten. Duschtemperatur reduzieren und ggf. heiße feuchte Luft umgehend durch gezieltes Lüften reduzieren. Auch Zimmerpflanzen tragen zur Verbesserung des Raumklimas bei.
- **Schlafräume nach Möglichkeit nicht gen Westen ausrichten:**
  Ebenso falls möglich die Schlafräume nicht unterm Dach einrichten, insbesondere, wenn diese Räume schlecht gedämmt sind und/oder einen unvermeidbar unzureichenden Sonnenschutz aufweisen.
- **aktive Luftbewegung (Ventilatoren)**
  Durch den Einsatz von Ventilatoren kann die empfundene Temperatur um bis zu 3°C herabgesenkt werden, eine verglichen mit den Investitions- und Betriebskosten einer Klimaanlage deutlich günstigere und effizientere Alternative.
- **Im Sommer nur dünne Bettdecken oder nur Bettbezüge verwenden**

Abbildung 72: Textliche Ergänzung der Interseiten Deutschland macht´s effizient: Rubrik „Eigenheim=> Lüftung“, Dossier Klimaanlagen, Teil 1 [46]

[46] Quelle: https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Standardartikel/Dossier/B-klimaanlagen.html, abgerufen am 21.6.2018



DEUTSCHLAND MACHT'S EFFIZIENT.

HOTLINE 0800 - 0115 000 INFOTHEK FAQ KONTAKT

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Im Alltag Eigenheim Unternehmen Kommunen Förderprogramme Service Suchen

Auf was können Sie beim Neubau achten – bessere Energieeffizienz und gutes Raumklima

Bei Neubauten ist das Einhalten der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz relevant für die Baugenehmigung. Somit sollten gravierende Planungsfehler wie unzureichende Sonnenschutzvorrichtungen, die eine Überhitzung von Räumen zur Folge haben können, ausgeschlossen sein.

Für ein optimales Raumklima im Sommer können Sie bei der Planung Ihres Neubaus folgende Maßnahmen ergreifen:

- **Intelligente Verschattung:** Durch ausreichende bauliche Überhänge (z. B. Balkone oder Dachüberstände) können beispielsweise Südfenster im Sommer vollständig mit Schatten geschützt werden, ohne Einbußen der Sonneneinwirkung im Winter. Ein ähnlicher Effekt kann durch die Pflanzung von Laubbäumen vor großflächigen Verglasungen erreicht werden. Auch außen liegende Rollos können einen wichtigen Beitrag leisten.
- **Massive Decken (z. B. Beton), Wände (z. B. Ziegel, Kalksandstein oder Betonstein) und Böden (z. B. Fliesen)**: Ergänzt durch eine gute, außenliegende Wärmedämmung, können so im Sommer Temperaturspitzen vermieden werden.
- **Erdwärmepumpe und Fußbodenheizung:**
  Diese können bei entsprechender Auslegung die Kälte des Erdreichs zum direkten Kühlen nutzen. Dadurch wird gleichzeitig das Erdreich regeneriert, was sich positiv auf die Auslegung der Erdsonden (reduzierte Investitionskosten) und die Effizienz der Wärmepumpe im Winter auswirkt.
- **Kühlen mit Sonne:**
  Eine aktive Kühlung z. B. mittels einer umschaltbaren Luftwärmepumpe sollte wenn möglich nur in Kombination mit einer PV-Anlage und einem an den Solarstromertrag angepassten Betrieb erfolgen
- **Schlafräume nicht in west-orientierten- oder in Dachräumen planen.**

Und wenn es trotzdem zu heiß wird?

- **Energieberatung nutzen:**
  Bevor Sie die Anschaffung einer Kühlungsanlage erwägen, sollten Sie sich von einem Fachmann beraten lassen. Dies kann im Rahmen einer staatlich geförderten allgemeinen Energieberatung erfolgen, bei der für Ihr Gebäude ein individueller Sanierungsfahrplan erstellt wird. Das BAFA Förderprogramm „Energieberatung für Wohngebäude" (ehemals „Vor-Ort-Beratung") bietet für diese Beratung einen Zuschuss von bis zu 60 %; bei Ein- und Zweifamilienhäusern sind das bis zu 800 €. Einen diesbezüglich qualifizierten Berater finden Sie auf www.machts-effizient.de/expertenliste.
- **Klimaanlage nur vom Fachmann installieren lassen:**
  Vom Kauf von mobilen Kompakt- oder Monoblockgeräten wird abgeraten, da diese systembedingt nicht energieeffizient sind. Die Installation einer effizienten Anlage (EU-Energielabel Klasse A++) sollte unbedingt durch einen Fachmann erfolgen. Beim Betrieb der Anlage sollte darauf geachtet werden, dass

  1. die eingestellte Ziel-Temperatur nicht zu niedrig ist. (Empfohlene Raumtemperatur 26°C-27°C).
  2. die Klimaanalage bei Nichtbenutzung vollständig ausgeschaltet und am besten vom Netz getrennt wird.

Abbildung 73: Textliche Ergänzung der Interseiten Deutschland macht´s effizient: Rubrik „Eigenheim=> Lüftung", Dossier Klimaanlagen, Teil 2 [47]

[47] Quelle: https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Standardartikel/Dossier/B-klimaanlagen.html, abgerufen am 21.6.2018

Lüftung

Seite empfehlen

Prima Raumklima, weniger Energieverbrauch – frische Luft für Ihr Zuhause!

Energieeffizient sanierte Wohngebäude und hocheffiziente Neubauten garantieren einen geringen Verbrauch an Energie zur Wärmeversorgung, da sie wärme- und luftdicht sind. Für eine optimale Belüftung der Wohnräume bieten Lüftungsanlagen eine komfortable und effiziente Lösung für Ihr Zuhause. Nutzen Sie dafür das vom BMWi finanzierte attraktive KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren".

Denn: In einem Dreipersonenhaushalt verdunsten täglich etwa sechs bis acht Liter Wasser! Zu hohe Feuchtigkeit in den Räumen kann zu Bauschäden etwa durch Schimmelbefall führen. Um die Luftfeuchtigkeit dauerhaft niedrig zu halten und Ihre Gesundheit zu schützen, müssten Sie mindestens fünfmal am Tag intensiv lüften. Einfacher und bequemer geht das mit einer Lüftungsanlage.

Mit einer Lüftungsanlage ist ihr Zuhause immer frisch gelüftet, sogar wenn Sie nicht da sind, es im Winter klirrend kalt ist oder der Verkehrslärm draußen bleiben soll. Ist die Lüftungsanlage erst einmal richtig eingestellt, müssen Sie sich um nichts mehr kümmern und Ihr Wohnkomfort steigt spürbar.

Energieeffizienz steigern und Kosten sparen!

Besonders effizient sind Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung: Die Wärme, die sonst aus der Abluft nach außen geleitet würde, wird zurückgewonnen und genutzt. Damit lassen sich bis zu 90 Prozent der wertvollen Energie sparen, die sonst beim Lüften verloren geht. Das ist effizient und spart Heizkosten.

Um eine Lüftungsanlage zu betreiben, benötigen Sie natürlich auch Strom. Bei effizienten Geräten fallen pro Tag Stromkosten von 0,10 bis 0,30 Euro an – gerechnet für eine Wohnung mit 100 m2. Da sich ihre Heizkosten reduzieren, sparen Sie mit Lüftungsanlagen dennoch viel Geld und Energie. Seit dem Januar 2016 gibt es ein EU Label für die Effizienz von Wohnungslüftungsanlagen. Die Einstufung orientiert sich dabei an der erreichbaren Primärenergieeinsparung. Geräte, die in der höchsten Klasse A+ eingestuft sind erreichen bezogen auf eine 100 m²-Wohnung eine jährliche Energiekostenersparnis von über 230 Euro.

Abbildung 74: Textliche Ergänzung der Interseiten Deutschland macht´s effizient: Rubrik „Eigenheim=> Lüftung", Dossier Lüftungsanlagen, Teil 1 [48]

[48] Quelle: https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Standardartikel/Dossier/B-lueftungsanlagen.html, abgerufen am 21.6.2018

Welche Lüftungsanlage passt perfekt zu Ihrem Zuhause?

Zentrale Lüftungsanlagen

Besonders komfortabel ist eine zentrale Lösung: Eine einzige Lüftungsanlage sorgt in allen Räumen für frische Luft. Interessant ist das vor allem für luftdicht gedämmte, besonders energiesparende Passiv- oder Nullenergiehäuser.

Ein weiterer Vorteil, wenn Sie aufs Lüften bei offenem Fenster verzichten können: Der Lärm bleibt draußen und die Pollen auch, falls Sie einen speziellen Filter dafür einbauen. Das lässt Allergiker aufatmen.

Dezentrale Lüftungsanlagen

In Altbauten sind dezentrale Lüftungsanlagen oft leichter zu installieren. Sie werden dort angebracht, wo sie gebraucht werden, beispielsweise im Bad oder in der Küche. Reine Abluftanlagen, kombiniert mit Lüftungsschlitzen oder -klappen für die Zuluft, sind dabei eine recht einfache Variante.

Welches für Sie die ideale Lösung ist, hängt also auch von Ihrem Gebäude ab. Unter dem Aspekt der optimalen Energieeffizienz schneiden gleichwohl die zentralen Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung am besten ab.

Mit dem KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren" wird der Einbau einer Lüftungsanlage seit 2016 durch das BMWi verstärkt gefördert – vorausgesetzt, Sie führen auch mindestens eine Dämmmaßnahme an der Gebäudehülle durch oder tauschen Fenster aus und senken so den Wärmeverlust.

Abbildung 75: Textliche Ergänzung der Interseiten Deutschland macht´s effizient: Rubrik „Eigenheim=> Lüftung", Dossier Lüftungsanlagen, Teil 2 [49]

6.4 Textvorschlag zur Anpassung der AMEV-Kälterichtlinie

EnEV - Energetische Inspektion nach § 12

Die Energieeinsparverordnung schreibt eine Inspektion von Kälteanlagen unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz verbindlich vor. In Abhängigkeit vom Alter und der Größe ist durch fachkundige Personen eine Prüfung der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf durchzuführen und die energetische Qualität der Kälteanlage einschließlich der wesentlichen Hilfsenergieverbraucher (Rückkühlwerke, Pumpen) festzustellen. Eine detaillierte Übersicht über den Inspektionsumfang enthält DIN SPEC 15240 (bzw. prEN 16798-17). Im Ergebnis der energetischen Inspektion sind durch den Inspekteur fachliche Hinweise für Maßnahmen zur kostengünstigen Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage und in speziellen Fällen auch für deren Austausch oder Alternativlösungen zu geben. Die Inspektion ist wiederkehrend im Zyklus von 10 Jahren durchzuführen und muss vom Betreiber der Kälteanlage beauftragt werden. Von der Inspektionspflicht ausgeschlossen sind kleine Kälteanlagen mit einer Nennleistung < 12 kW und Anlagen, deren Energieeinsatz ausschließlich der Aufrechterhaltung eines Produktions- oder Lagerprozesses dient (z. B. Rechenzentren ohne Bedienpersonal, Lebensmittellagerung).

Die Umsetzung der Inspektionspflicht liegt in der Verantwortung des Betreibers. Gemäß DIN SPEC 15240 können in Abhängigkeit der vorhandenen Anlagentechnik verschiedene Inspektionsstufen mit verschiedenen Inspektionsumfang beauftragt werden.

Stufe A: begrenzter Umfang für einfache Klimaanlagen (z. B. Split- und Multisplit-Klimaanlagen, VRF-Klimaanlagen, kleinere Kaltwassersysteme ohne Außenluftaufbereitung)

[49] Quelle: https://www.deutschland-machts-effizient.de/KAENEF/Redaktion/DE/Standardartikel/Dossier/B-lueftungsanlagen.html, abgerufen am 21.6.2018

Stufe B: normaler Umfang (z. B. RLT-Geräte mit Außenluftaufbereitung, große Kaltwassernetze)

Stufe C: optionale, zusätzliche Leistungen (z. B. Kühllastberechnung, Wirtschaftlichkeitsberechnung)

Die Beauftragung sollte in schriftlicher Form mit einem klar definierten Anlagenumfang und Festlegung der (bei mehreren Anlagen jeweiligen) Inspektionsstufe erfolgen. Zusätzliche Leistungen sollten getrennt angeboten und vergütet werden.

Im Ergebnis der Energetischen Inspektion ist ein Inspektionsbericht zu erstellen, der folgende Informationen enthalten muss:

- Allgemeine Angaben zum Objekt, Auftraggeber, Inspekteur;
- Beurteilung des Gesamtsystems (DIN SPEC 15240, Tabelle 18);
- Übersichtsblätter je Komponente (DIN SPEC 15240 Anhang B);
- Hinweise zur Lastreduzierung und auffälligem Betriebsverhalten;
- Fachliche Hinweise zu energetischen Verbesserungspotentialen, zum Austausch von Komponenten oder für Alternativlösungen;
- Benennung von Handlungsempfehlungen.

Der Inspektionsbericht muss vom Inspekteur unterschrieben und, mit einer Registriernummer versehen, an den Betreiber übergeben werden.

6.5 Textvorschläge für Quickchecktool

Textvorschlag zur Beurteilung des Ergebnisses Quickcheck Lüftungsanlagen
(Stand 18. Januar 2018)

- Aufgrund des Baualters fällt die Anlage unter die Inspektionspflicht für Klimaanlagen nach § 12 EnEV. Durch die energetische Inspektion lassen sich häufig niedriginvestive, sehr wirtschaftliche Maßnahmen zur Energiekostensenkung erkennen.
- Ihre Daten deuten darauf hin, dass die Anlage zu sehr hohen Energiekosten führt. Es besteht die Vermutung, dass die Hauptanteile aufgrund des hohen Luftvolumenstroms auf einen hohen Wärmeverbrauchsanteil bzw. auf einen hohen Ventilatorstromverbrauch entfallen.
- Die fehlende Wärmerückgewinnung deutet auf das größte Einsparpotenzial hin. Eine Überprüfung im Rahmen der energetischen Inspektion kann Sie über Nachrüstmöglichkeiten informieren.
- Anlagen mit Umluftbeimischung sind häufig überdimensioniert und ineffizient.
- Aufgrund des Baualters und der Nutzung lässt sich ein übliches Energieeinsparpotenzial vermuten, dass durch die Optimierung der Betriebsweise realisieren lässt.
- Ungeregelte Ventilatoren führen erfahrungsgemäß häufig zu einer nicht bedarfsgerechten Überversorgung.

Textvorschlag zur Beurteilung des Ergebnisses Quickcheck Kältetechnik
(Stand 18. Januar 2018)

Aus den gewählten Eingangsgrößen im Quickcheck-Tool kann festgestellt werden, in welchen Bereichen der Kälteerzeugungsanlage Verbesserungspotentiale bestehen. Die Empfehlungen können sich jedoch nur auf klar erkennbare und abgesicherte Potenziale beziehen, um nicht durch falsche Interpretationen die Glaubwürdigkeit des Quickcheck-Tools in Frage zu stellen, da für technisch versierte

Anlagenbetreiber eine Plausibilitätskontrolle der Verbesserungsvorschläge unproblematisch möglich ist. Der Umfang der möglichen Empfehlungen wird dadurch eingegrenzt.

Darüber hinaus sind die Eingangsgrößen mit Unsicherheiten bei der Datenerhebung versehen bzw. nur vermutete Szenarien. Die Formulierungen der Hinweistexte müssen daher ausreichend allgemein gehalten sein, ohne absolute Potenzialaussagen und Einsparversprechen.

Darüber hinaus muss vermieden werden, dass der Anschein erweckt wird, mit den aufgezeigten Schwachstellen (und evtl. deren Beseitigung) bereits eine Art energetische Grundinspektion durchgeführt zu haben. Eine Angleichung der inhaltlichen Abläufe in Quickcheck-Tool und Anlagenlabel unterstützt die dahingehenden Bedenken der Industrieverbände (siehe Herstellerworkshop).

Tabelle 47 benennt grundsätzliche Potenziale in Abhängigkeit der gewählten Eingangsparameter im Bereich der Kältetechnik.

Tabelle 47: Empfehlungen Quickcheck Kältetechnik

Hauptnutzung	Bauart	Verdichterart / Teillastregelung	Parameter	Hinweistext
Serverraum	KKM, AKM	alle / alle	Freie Kühlung: „keine“ ausgewählt	Überprüfen Sie die Möglichkeit zur Nachrüstung einer Freien Kühlung!
alle	KKM, AKM	alle / alle außer „mischend“	Kühlwassertemperatur im Teillastbetrieb: „Sollwert konstant“ ausgewählt	Überprüfen Sie die Möglichkeit zur Absenkung der Kühlwassertemperatur im Teillastbetrieb!
alle	KKM, AKM	alle / alle	Kaltwassertemperatur: „6°C“ ausgewählt	Überprüfen Sie die Möglichkeit zur Anhebung der Kaltwassertemperatur!
alle	KKM	alle / alle	Baujahr: „bis 1985“ ausgewählt	Überprüfen Sie die Möglichkeit die Kältemaschine zu erneuern! Neue Anlagen besitzen in der Regel eine deutlich bessere Energieeffizienz.
alle außer Serverraum	alle	alle / alle	Betriebsart der Verteilung: „saisonal“ ausgewählt	Überprüfen Sie die Möglichkeiten zur Reduzierung die Betriebszeiten der Pumpen!

6.6 Checklisten und Textvorschläge für Zusatzbewertungen („Icons“) des Anlagenlabels

6.6.1 Sommerlicher Wärmeschutz

6.6.1.1 Checkliste

( )	
Falls eine der folgenden Aussagen zutrifft, darf kein „★“ vergeben werden	
☐	Es gibt in mindestens einem der durch die Klimaanalage versorgten Räume Fenster ohne einen wirksamen außenliegenden Sonnenschutz in Form von Rollläden, Fensterläden, Jalousien und Raffstores mit drehbaren Lamellen und Markisen, parallel zur Verglasung.
★	
Falls eine der folgenden Aussagen zutrifft, darf mindestens ein „★“ vergeben werden	
☐	Es liegt ein Nachweis auf Erfüllung des sommerlichen Wärmeschutzes gem. DIN 4108-2 [2013-02] vor.
☐	Alle durch die Kälteanlagen versorgten Räume weisen einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von weniger als 35 % auf und bei nicht jederzeit vollständig verschatteten Fenstern gibt es einen außenliegenden Sonnenschutz in Form von Rollläden, Fensterläden, Jalousien und Raffstores mit drehbaren Lamellen und Markisen, parallel zur Verglasung.
☐	Bei den durch die Kälteanlage versorgten Räumen liegt bei nicht jederzeit vollständig verschatteten Fenstern ein außenliegender Sonnenschutz in Form von Raffstores mit drehbaren Lamellen oder gleichwertig vor (ggf. Gleichwertigkeitsnachweis von $F_C \leq 0{,}2$, z. B. aus Produktspezifikation erforderlich).
★★	
Falls eine der folgenden Aussagen zutrifft, dürfen mindestens zwei „★“ vergeben werden	
☐	Alle durch die Kälteanlagen versorgten Räume weisen einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von weniger als 35 % auf und-bei den durch die Kälteanlage versorgten Räumen liegt bei nicht jederzeit vollständig verschatteten Fenstern ein außenliegender Sonnenschutz in Form von Raffstores mit drehbaren Lamellen oder gleichwertig vor (ggf. Gleichwertigkeitsnachweis von $F_C \leq 0{,}2$, z. B. aus Produktspezifikation erforderlich).
☐	Es liegt ein Nachweis auf Erfüllung des sommerlichen Wärmeschutzes gem. DIN 4108-2 [2013-02] vor und bei den durch die Kälteanlage versorgten Räumen liegt bei nicht jederzeit vollständig verschatteten Fenstern ein außenliegender Sonnenschutz in Form von Raffstores mit drehbaren Lamellen oder gleichwertig vor (ggf. Gleichwertigkeitsnachweis von $F_C \leq 0{,}2$, z. B. aus Produktspezifikation erforderlich)

★★★	
Falls eine der folgenden Aussagen zutrifft, dürfen drei „★“ vergeben werden	
☐	In den durch die Kälteanlagen versorgten Räumen gibt es keine Fenster.
☐	Alle durch die Kälteanlagen versorgten Räume weisen einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von weniger als 35 % auf und-alle nicht jederzeit vollständig verschatteten Fenster, in den durch die Kälteanlage versorgten Räumen, verfügen über einen sehr wirksamen automatisch geregelten Sonnenschutz in Form von Raffstores mit drehbaren Lamellen oder gleichwertig (ggf. Gleichwertigkeitsnachweis von $F_C \leq 0{,}2$, z. B. aus Produktspezifikation erforderlich). Der automatische Sonnenschutz muss über eine Regelung verfügen, die über eine Anbindung an die zentrale Gebäudeautomation bzw. ein Energiemanagementsystem verfügt.
	Es liegt ein Nachweis auf Erfüllung des sommerlichen Wärmeschutzes gem. DIN 4108-2 [2013-02] vor und alle nicht jederzeit vollständig verschatteten Fenster, in den durch die Kälteanlage versorgten Räumen, verfügen über einen sehr wirksamen automatisch geregelten Sonnenschutz in Form von Raffstores mit drehbaren Lamellen oder gleichwertig (ggf. Gleichwertigkeitsnachweis von $F_C \leq 0{,}2$, z. B. aus Produktspezifikation erforderlich). Der automatische Sonnenschutz muss über eine Regelung verfügen, die über eine Anbindung an die zentrale Gebäudeautomation bzw. ein Energiemanagementsystem verfügt.

6.6.1.2 Abfragen und Auswahltexte im Onlinetool

1. Liegt ein Nachweis zur Erfüllung des Sommerlichen Wärmeschutzes vor?
   - ➔ Tooltipp: Der Nachweis nach DIN 4108-2 [2013-02] ist seit 2009 üblicherweise Bestandteil des Bauantragsverfahrens.
   - a) Ja
   - b) Nein

2. Wie hoch ist der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil der durch die Kälteanlagen versorgten Räume?
   - ➔ Tooltipp: Anteil der Fensterfläche im Verhältnis zur Grundfläche des Raumes
   - a) 0 % (keine Fenster)
   - b) >0 % und <35 % (normaler Fensterflächenanteil)
   - c) ≥35 % (hochverglast)

3. Sind die Fenster jederzeit vollständig verschattet?
   - ➔ Tooltipp: z. B. durch angrenzende Bebauung
   - a) Ja
   - b) Nein

4. Wo ist die Sonnenschutzeinrichtung in Bezug auf das Fenster angebracht?
   - a) außenliegend
   - b) Sonstige (z. B. zwischen den Scheiben oder innen) → Abbruchkriterium

5. Um welche Bauart handelt es sich bei der außenliegenden Sonnenschutzeinrichtung?

- a) Rollläden, Fensterläden, Jalousien, Raffstores und Markisen, parallel zur Verglasung
- b) Raffstores mit drehbaren Lamellen oder gleichwertig ($F_C \leq 0,2$)

6. Wie erfolgt die Regelung des außenliegenden Sonnenschutzes?
   - a) keine Regelung (manuelle Bedienung)
   - b) Automatische Regelung, ohne Anbindung an die zentrale Gebäudeautomation
   - c) Automatische Regelung, die über eine Anbindung an die zentrale Gebäudeautomation bzw. ein zentrales Energiemanagementsystem verfügt

➔ In Abhängigkeit der 6 ausgewählten Optionen wird die entsprechende Anzahl der Sterne vergeben.
➔ Es muss eine dynamische Ausblendung für Punkt 3 - 6 in Abhängigkeit der unter 2 gemachten Eingaben erfolgen (2a => 3-6 ausblenden)
➔ Es muss eine dynamische Ausblendung für Punkt 5 und 6 in Abhängigkeit der unter 4 gemachten Eingaben erfolgen. (falls 4b=> 5+6 ausblenden)

6.6.1.3 Beurteilungstexte

Sommerlicher Wärmeschutz

★★★: Die durch die Kälteanlage versorgten Räumen verfügen über einen sehr guten sommerlichen Wärmeschutz. In allen Bereichen entstehen im Sommer keine unnötigen Wärmeeinträge durch Sonneneinstrahlung. Alle kritischen Fenster sind mit einem hochwirksamen intelligent geregelten Sonnenschutz ausgestattet. So wird nicht nur Ihr Energiebedarf für Kühlung, sondern auch Ihr Energiebedarf für Heizung und Beleuchtung minimiert – das ist umweltfreundlich und spart Kosten.

★★: Bei den durch die Kälteanlage versorgten Räumen werden die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gem. EnEV übertroffen. Der offensichtlich vorhandene hochwirksame Sonnenschutz verfügt jedoch über keine oder nur eine unzureichende automatische Regelung. Durch Nachrüstung einer entsprechenden intelligenten Regelung könnten Sie nicht nur den Energieverbrauch für die Kälteerzeugung, sondern auch für Heizung und Beleuchtung reduzieren – das ist umweltfreundlich und spart Kosten.

★: Bei den durch die Kälteanlage versorgten Räumen sind die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gem. EnEV erfüllt. Somit sind die diesbezüglichen gesetzlichen Vorgaben, die seit 2009 für Neubauten gelten, eingehalten. Es wird dennoch empfohlen - nicht zuletzt bei einer Erneuerung der Sonnenschutzanlagen - Verbesserungsmöglichkeiten in Betracht zu ziehen.

(): Die durch die Kälteanlage versorgten Räume sind im Sommer offensichtlich unzureichend gegen Wärmeeinträge durch Sonneneinstrahlung geschützt und erfüllen, zumindest teilweise, nicht einmal die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gem. EnEV. Es gibt keine oder nur Sonnenschutzvorrichtungen. Dadurch verbraucht Ihre Kälteanlage viel Energie, um die unnötigen Wärmeeinträge weg zu kühlen. Es lohnt sich deshalb, eine Nachrüstung von wirksamen Sonnenschutzeinrichtungen zu prüfen!

6.6.2 Ausstattung mit Zählern und Sensorik

6.6.2.1 Checkliste

( )	
Falls die folgende Aussage zutrifft, darf kein „★“ vergeben werden	
☐	Es findet keine separate Messung des Energiebedarfs der Anlage statt.
★	
Falls die folgende Aussage zutrifft, darf mindestens ein „★“ vergeben werden	
☐	Es ist ein separater Stromzähler zur Erfassung des Energiebedarfs der Anlage vorhanden. Dabei muss mindestens eine der wesentlichen energieintensiven Komponenten der Anlage durch mindestens einen separaten Zähler permanent erfasst werden (z. B. bei RLT-Anlagen: Messung des Stromverbrauchs eines (Haupt-)Ventilators oder bei Kälteanlagen: Messung des Stromverbrauchs eines (Haupt-)Kompressors).
★★	
Falls die folgende Aussage zutrifft, dürfen mindestens zwei „★“ vergeben werden	
☐	Es ist ein separater Stromzähler zur Erfassung des Energiebedarfs der Anlage vorhanden. Darüber hinaus wird mindestens noch der Volumenstrom Anlage oder die Kältemenge durch weitere permanente Zähler und Sensoren erfasst, die eine Bestimmung von mindestens einer der im Folgenden genannten wesentlichen Effizienzkenngrößen ermöglichen: - L*üftungseffizienz*: spezifische Leistungsaufnahme der Ventilatoren P_{SFP} (Messung des Volumenstroms der Lüftungsanlage und der Stromaufnahme der Ventilatoren) - *Kühleffizienz*: (S)EER-Wert (Messung der Kühlleistung und der Stromaufnahme der Kompressoren und Pumpen) Bei RLT-Analgen mit einem Nennvolumenstrom von über 3000 m³/h und/oder Kälteanlagen mit einer Nennleistung von über 70 kW werden die gemessenen, mind. stundenfein erfassten Daten über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr, für eine mögliche spätere Auswertung, aufgezeichnet. Die Anlagen ab der genannten Größenordnung sind mit einer zentralen Gebäudeautomation verbunden.
★★★	
Falls die folgende Aussage zutrifft, dürfen drei „★“ vergeben werden	
☐	Es ist ein separater Stromzähler zur Erfassung des Energiebedarfs der Anlage vorhanden. Darüber hinaus wird mindestens noch der Volumenstrom Anlage oder die Kältemenge durch weitere permanente Zähler und Sensoren erfasst, die eine Bestimmung von mindestens einer der im Folgenden genannten wesentlichen Effizienzkenngrößen ermöglichen: - L*üftungseffizienz*: spezifische Leistungsaufnahme der Ventilatoren P_{SFP} (Messung des Volumenstroms der Lüftungsanlage und der Stromaufnahme der Ventilatoren)

	- *Kühleffizienz*: (S)EER-Wert (Messung der Kühlleistung und der Stromaufnahme der Kompressoren und Pumpen) Die erfassten Daten werden, zusammen mit anderen wichtigen System-Parametern (z. B. Soll- und Messwerten von Temperaturen und Volumenströmen), mindestens stundenfein von einer zentralen Gebäudeautomation erfasst, aufbereitet und über einen Zeitraum von über einem Jahr gespeichert. Von der Gebäudeautomation werden bei identifizierten Effizienzeinschränkungen entweder automatische Warnungen ausgegeben und/oder im Idealfall eine automatische Anpassung der Betriebsparameter vorgenommen (intelligentes Energiemanagementsystem).

6.6.2.2 Abfragen und Auswahltexte im Onlinetool

1. Sind Stromzähler (Wirkenergiezähler) für die Erfassung der Hauptkomponenten vorhanden?
   - a) Nein
   - b) Ventilator RLT-Gerät
   - c) Kompressor Kältemaschine

2. Sind weitere Zähleinrichtungen für die Erfassung der Hauptkomponenten vorhanden?
   - a) Nein
   - b) Volumenstrommesseinrichtung RLT-Gerät (=> Bestimmung der Lüftungseffizienz (SFP))
   - c) Kältemengenzähler Kältemaschine (=> Bestimmung der Kühleffizienz ((S)EER))

3. Werden weitere wichtige System-Parameter erfasst?
   - ➔ Tooltipp: z. B. Soll- und Messwerte von Temperaturen und Volumenströmen
   - a) Ja
   - b) Nein

4. Werden die erfassten Messdaten und Parameter als Stundenwerte gespeichert?
   - a) Nein
   - b) Kurzfristig (im Ringspeicher der GLT)
   - c) Langfristig (für mindestens 1 Jahr auf der GLT oder im Energiemanagementsystem)

5. Erfolgt eine automatisierte Auswertung der erfassten Messdaten (d. h. es werden automatische Warnungen ausgegeben und/oder im Idealfall eine automatische Anpassung der Betriebsparameter vorgenommen (intelligentes Energiemanagementsystem))?
   - a) Ja
   - b) Nein

6. Beträgt der Nennvolumenstrom der RLT-Anlage mehr als 3000 m³/h, bzw. die Nennkälteleistung des Kälteerzeugers mehr als 70kW?
   - a) Ja
   - b) Nein

7. Ist die Anlage mit einer zentralen Gebäudeautomation verbunden?
   - a) Ja
   - b) Nein

- ➔ In Abhängigkeit der ausgewählten Optionen wird die entsprechende Anzahl der Sterne vergeben.
- ➔ Es muss eine dynamische Ausblendung der Punkte 2 bis 7 in Abhängigkeit der unter 1 gemachten Eingabe erfolgen (siehe Abbruchkriterium).

6.6.2.3 Beurteilungstexte

Zähler und Sensorik

★★★: Ihre Anlage ist hervorragend mit Zählern und Sensorik ausgestattet. Sie umfasst separate Zähler zur Bestimmung aller wesentlichen Effizienzkenngrößen. Die gemessenen Werte werden über die Gebäudeleittechnik oder ein Energiemanagementsystem aufgezeichnet und zusammengeführt, sodass der Anlagenbetrieb umfassend ausgewertet werden kann oder bestenfalls sogar automatisch optimiert wird. Fehler, Unregelmäßigkeiten und Abweichungen im Betrieb werden so ersichtlich. Die Anlagennutzung kann optimiert und Investitionsentscheidungen auf eine sichere Basis gestellt werden. Nicht zuletzt erleichtern die vorhandenen Zähler und Sensoren auch die energetische Inspektion.

★★: Ihre Anlage ist gut mit Zählern und Sensorik ausgestattet. Wesentliche Komponenten Ihrer Anlage werden durch separate Zähler erfasst. Bei größeren Anlagen werden die gemessenen Daten über einen längeren Zeitraum von einem Jahr aufgezeichnet. Die Betriebseffizienz der Anlage kann über die vorhandenen Zähler ausreichend gut nachvollzogen werden, um Optimierungsmaßnahmen zu ergreifen. Nicht zuletzt erleichtern die vorhandenen Zähler und Sensoren auch die energetische Inspektion.

★**:** Ihre Anlage verfügt über eine Minimalausstattung mit zumindest einem separaten Energiezähler. Dadurch wird zumindest die Größenordnung und Relevanz des Energieverbrauchs der Anlage deutlich. Fehler, Unregelmäßigkeiten und Abweichungen im Betrieb werden jedoch nur extrem begrenzt ersichtlich. Auch für eine Optimierung der Anlagennutzung und belastbare Investitionsentscheidungen wären Nachrüstungen hilfreich.

(): Es sind keine separaten Energiezähler vorhanden. Damit entgehen Ihnen wesentliche Diagnose- und Steuerungsmöglichkeiten. Schon der Istzustand der Anlage, sowie die damit verbundenen Betriebskosten, sind unter diesen Umständen nicht oder nur extrem grob zu ermitteln. Eine darüber hinaus wünschenswerte Erkennung von Betriebsfehlern, Optimierung der Anlagennutzung und eine Absicherung von Investitionsentscheidungen ist nicht möglich. Es empfiehlt sich daher dringend, zusätzliche Zähler und Sensoren nachzurüsten.

6.6.3 Ökologie des Kältemittels

6.6.3.1 Checkliste

( )	
Falls eine der folgenden Aussagen zutrifft, darf kein „★“ vergeben werden	
☐	Die Anlage wird mit einem Kältemittel mit einem GWP von über 2500 (z. B. R 422D) betrieben.
☐	Die Anlage wird mit einem Kältemittel betrieben, dessen Verwendung verboten ist z. B. mit dem FCKW R 12 (Verwendungsverbot seit 01.07.1997) oder dem HFCKW R 22 (Verwendungsverbot seit 01.01.2015).
☐	Das verwendete Kältemittel ist unbekannt.
★	
Falls die folgende Aussage zutrifft, darf mindestens ein „★“ vergeben werden	
☐	Die Anlage wird mit einem konventionellen Kältemittel mit einem Treibhausgaspotenzial (GWP) zwischen 2500 und 150 betrieben (z. B. R 134a, R 407A, R 407C oder R 410A).
★★	
Falls die folgende Aussage zutrifft, dürfen mindestens zwei „★“ vergeben werden	
☐	Das Treibhausgaspotenzial (GWP) des Kältemittels der Anlage beträgt 150 oder niedriger und enthält halogenierte Bestandteile (z. B. R 1234ze, R 1233zd)
★★★	
Falls eine der folgende Aussagen zutrifft, dürfen drei „★“ vergeben werden	
☐	Die Anlage wird mit einem natürlichen Kältemittel (z. B. Propan (R 290), Ammoniak (R 717), Kohlendioxid (R 744) oder Wasser (R 718)) betrieben.

6.6.3.2 Abfragen und Auswahltexte im Onlinetool

1. Ist das verwendete Kältemittel bekannt?
   - a) Ja
   - b) Nein (Abbruchkriterium)

2. Handelt es sich um ein natürliches Kältemittel
   - ➔ Tooltipp: z. B. Propan (R 290), Ammoniak (R 717), Kohlendioxid (R 744) oder Wasser (R 718)
   - a) Ja (Abbruchkriterium)
   - b) Nein

3. Wie hoch ist das Treibhauspotenzial (GWP-Wert) des Kältemittels?
   - ➔ Tooltipp: GWP = Global Warming Potential oder CO_2-Äquivalent (CO2 = 1)
   - a) GWP ≤ 150 (z. B. R 1234ze, R 1233zd)
   - b) 150 < GWP ≤ 2500 (z. B. R 134a, R 407A, R 407C oder R 410A)
   - c) GWP > 2500 (z. B. R 422D, R 404A)

4. Wie hoch ist der Ozonabbaupotential (ODP-Wert) des Kältemittels?
   - ➔ Tooltipp: ODP = Ozone Depletion Potential (R11 = 1)
   - a) 0 (z. B. R 134a, R 407A, R 407C, R 410A oder alle natürlichen Kältemittel)
   - b) > 0 (z. B. R12, R22)

➔ In Abhängigkeit der 4 ausgewählten Optionen wird die entsprechende Anzahl der Sterne vergeben. Die exakte Zuordnung muss noch erfolgen.

➔ Dynamische Ausblendungen sind an 2 Stellen erforderlich (siehe Abbruchkriterium).

6.6.3.3 Beurteilungstexte

Ökologie des Kältemittels

★★★: Ihre Kälteanlage arbeitet mit natürlichem Kältemittel. Aus Klimaschutzsicht haben Sie damit eine sehr gute Wahl getroffen!

★★: Ihre Kälteanlage arbeitet mit einem synthetischen Kältemittel mit einem Treibhauspotenzial von bis zu 150, das heißt es ist bis zu 150 mal so klimaschädlich wie CO_2. Das bedeutet, dass selbst geringe Kältemittelemissionen klimaschädlich sind. Deshalb müssen Kältemittelleckagen so weit wie möglich vermindert werden – hierzu gibt es regelmäßige und für viele Anlagen gesetzlich vorgeschriebene Dichtheitsprüfungen. Die EU-F-Gas-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) sorgt außerdem über ein Quotensystem für einen schrittweisen Ausstieg aus den klimaschädlichen Kältemitteln. Sie werden nach und nach auf dem Markt knapper, sodass Nachfüllmengen sich verteuern und Umrüstungen wirtschaftlich attraktiver werden.

★: Ihre Kälteanlage arbeitet mit einem synthetischen Kältemittel mit einem Treibhauspotenzial von 150 bis 2.500, d. h. es ist mehr als 150 bis 2.500 mal so klimaschädlich wie CO_2. Das bedeutet, dass selbst geringe Kältemittelemissionen sehr klimaschädlich sind. Deshalb müssen Kältemittelleckagen so weit wie möglich vermindert werden – hierzu gibt es regelmäßige und für viele Anlagen gesetzlich vorgeschriebene Dichtheitsprüfungen. Die EU-F-Gas-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) sorgt außerdem über ein Quotensystem für einen schrittweisen Ausstieg aus den klimaschädlichen Kältemitteln. Sie werden nach und nach auf dem Markt knapper, sodass Nachfüllmengen sich verteuern und Umrüstungen wirtschaftlich attraktiver werden.

(): Die Kälteanlage arbeitet mit einem Kältemittel, das nicht mehr verwendet werden darf oder einem unbekannten Kältemittel oder mit einem Kältemittel, dessen Treibhausgaspotenzial gleich oder über 2.500 ist. Für letztere Kältemittel gelten ab 2020 teilweise Serviceverbote (Verordnung (EU) Nr. 517/2014). Es wird daher dringend empfohlen, umgehend auf ein klimafreundliches Kältemittel umzustellen.

6.7 Empfehlung für eine Gliederung des Inspektionsberichtes

mit Hinweistexten - Tooltipps

1. Allgemeine Daten

- *Siehe Checklisten DIN SPEC 15240 Anhang C*
- *Mindestinformationen: Baujahr, Gesamtkälteleistung, Adresse des Objektes, Kontaktdaten Ansprechpartner, Datum der Inspektion, inspizierende Person, Registriernummer, Art des Klimasystems, Art des Kälteerzeugungssystems*

2. Anlagendokumentation

2.1. Vollständigkeit / Aktualität der Dokumentation

- *Überprüfung der übergebenen Dokumentationsunterlagen auf Aktualität (z. B. Änderungen an Anlagenparametern oder Nutzungsbedingungen) und Aussagefähigkeit (Vollständigkeit, inhaltliche Qualität)*

2.2. Vorliegende Verbrauchsdaten / Messwerte

- *Prüfung der Verfügbarkeit und Auswertung von Verbrauchsdaten (z. B. Zählwerte) und Messwerten (z. B. Luftvolumenstrom), die für die Inspektion verwendbar sind*

3. Prüfung der Anlagendimensionierung

3.1. Klimatisierte Flächen

- *Ermittlung der klimatisierten Flächen und Nutzungsarten als Basis für die Prüfung der Anlagendimensionierung*

3.2. Bauphysikalische Daten

- *Feststellung bauphysikalischer Randbedingungen (z. B. Wärmespeichervermögen der Wände) als Basis für die stichprobenhafte Überprüfung der Kühllast*

3.3. Nutzungsbedingte Randbedingungen

- *Ermittlung der inneren Lasten (z. B. durch Personen, Beleuchtung, Arbeitshilfen) und deren zeitlichen Verläufen*
- *Überprüfung der Sollwerte für das Raumklima*

3.4. Rechnerische Prüfung der Kühllast

- *Stichprobenartige Überprüfung der Kühllast nach DIN SPEC 15240 für repräsentative Räume, wenn die Kühllast die Analgendimensionierung beeinflusst*

3.5. Dimensionierung der Kälteübergabesysteme

- *Stichprobenartige Überprüfung der Auslegung der Komponenten, die die Kühllast im Raum decken (z. B. Ventilatorkonvektoren, Zuluft-Kühlregister)*

3.6. Dimensionierung der Kälteerzeugungssysteme

- *Überprüfung der Auslegung der Kältemaschine im Verhältnis zur ermittelten Leistungsbedarf der versorgten Anlagen*

3.7. Dimensionierung des Außenluftvolumenstroms

- *Rechnerische Überprüfung der hygienisch notwendigen Mindestaußenluftmengen*

4. Überprüfung der Betriebsweise der Anlagen

4.1. Betriebszeiten

- *Überprüfung der Betriebszeiten der Anlage und Abgleich mit dem Bedarf*
- *Feststellung von Möglichkeiten zur Betriebszeitreduzierung (z. B. Nachtabsenkung)*

4.2. Raumregelung und Sollwerte

- *Überprüfung der Plausibilität der Sollwerte (Raumtemperatur, Raumluftfeuchte)*
- *Feststellung von Möglichkeiten zur Sollwertreduzierung in der Nebenbetriebszeit*

4.3. Luftvolumenstromregelung

- *Überprüfung der vorhandenen Möglichkeiten und der vorgefundenen Nutzung zur bedarfsgerechten Luftvolumenstromregelung*
- *Feststellung von Möglichkeiten zur Luftmengenreduzierung (z. B. in der Nebenbetriebszeit)*

4.4. Regelung der thermischen Luftaufbereitung

- *Überprüfung der Regelsequenzen der RLT-Geräte (z. B. Betriebsverhalten der Wärmerückgewinnung)*

4.5. Regelung der Kälteerzeugung
- *Überprüfung der Regelsequenzen der Kältemaschinen (z. B. Grundlast – Spitzenlastbetrieb)*

4.6. Regelung der Kälteverteilung
- *Überprüfung der Betriebsweise der Pumpen*
- *Feststellung von Möglichkeiten zur Mengenreduzierung (z. B. in der Nebenbetriebszeit)*

5. Prüfung der Komponenten

5.1. Ventilatoren
- *Messung der energetisch relevanten Parameter (Luftvolumenstrom, Ventilatordruckdifferenz, Ventilator-Wirkleistung)*
- *Ermittlung des Systemwirkungsgrades der Ventilatoren*

5.2. Luftkanalnetz
- *Stichprobenartige Überprüfung der Luftdichtheit und der Druckverluste*

5.3. Wärmerückgewinnung
- *Überprüfung der energetischen Qualität des vorhandenen WRG-Systems bzw. Überprüfung von Nachrüstmöglichkeiten*

5.4. Luftbefeuchter
- *Überprüfung der Effizienz und der Regelung des vorhandenen Befeuchtungssystems*

5.5. Kälteerzeuger
- *Ermittlung der Effizienzkennwerte EER und PLV*

5.6. Raumkühlgeräte und Komponenten
- *Überprüfung der Effizienz und der Regelung des vorhandenen Kälteübergabesystems*

5.7. Kalt- und Kühlwasserpumpen
- *Überprüfung der Effizienz und der Regelung der vorhandenen hydraulischen Netze und der jeweiligen Pumpen*

5.8. Rückkühleinrichtungen
- *Überprüfung der Dimensionierung und der Effizienz des vorhandenen Rückkühlsystems*

6. Systembetrachtung

6.1. Ermittlung der Energiekennwerte
- *Ermittlung der Effizienzkennwerte für das RLT-System nach DIN SPEC 15240*
- *Ermittlung des Effizienzkennwertes für das Kälteerzeugungssystem nach DIN SPEC 15240*

6.2. Ganzheitliche Betrachtung des Klimasystems
- *Einschätzung zur Plausibilität des sommerlichen Wärmeschutzes*
- *Einschätzung zur Plausibilität des vorhandenen Anlagensystems zur Klimatisierung*
- *Einschätzung zur Plausibilität der verwendeten Energieträger*

6.3. Ganzheitliche Betrachtung des Energiekonzeptes
- *Einschätzung der Potentiale beim Einsatz erneuerbarer Energien, von Abwärme oder aus Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen (KWK) oder Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsprozessen (KWKK)*

7. Empfehlungen

7.1. Individuelle kosteneffiziente Empfehlungen und Hinweise
- *Erarbeitung von Ratschlägen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage*

7.2. Niedriginvestive Verbesserungsvorschläge
- *Erarbeitung von Ratschlägen zur kostengünstigen Verbesserung des Anlagenbetriebes*

7.3. Alternativlösungen für grundlegende Modernisierungen
- *Erarbeitung von Vorschlägen für alternative Systemlösungen im Zuge geplanter Modernisierungen*

6.8 Erhöhung der Aussagekraft des Anlagenlabels durch zusätzliche Darstellung von Effizienzkategorien im Begleittext

6.8.1 Vorschlag für mögliche Effizienzkategorien:

1. Komponenteneffizienz
2. Betriebseffizienz
3. Dimensionierungsgüte

- als zusammenfassende Schwachstellenanalyse ohne Details aus dem Inspektionsbericht vorwegzunehmen
- Bewertung jeweils als Einzelkategorie, keine Zusammenfassung aller Einzeleffekte wie im Label
- jeweils qualitative Aussage in 3 Klassen: gut – EnEV-konform (neutral) – schlecht

6.8.2 Möglichkeiten der Umsetzung im Berechnungstool:

- Vorzugslösung:
  - rechnerische Umsetzung mit automatisch ermittelten Teilkennwerten, bei denen die jeweils anderen Effekte rechnerisch ausgeblendet werden
  - keine zusätzliche Eingabe durch Inspekteur erforderlich
  - Ergebnisklassifikation in Abhängigkeit der ermittelten Berechnungsergebnisse im Vergleich zu Referenzausstattung (analog Label)
- Alternativlösung:
  - Kriterientabelle mit automatischer Verknüpfung zu den Eingabedaten,
  - ggf. Ergänzungen durch den Inspekteur erforderlich,
  - Ergebnisklassifikation in Abhängigkeit der Anzahl der erfüllten Kriterien

6.8.3 Umsetzung im Anlagenlabel RLT

Effizienzkriterium 1: Komponenteneffizienz

Bei der Berechnung der Komponenteneffizienz sollen die Einflussgrößen „Betriebsweise“ und „Überdimensionierung“ ausgeblendet werden. Gleichzeitig soll eine kombinierte Bewertung aller thermischen und elektrischen Energiebedarfsanteile erfolgen, die das Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten, die Luftförderung und die Hilfsenergien beeinflussen.

Der Vorschlag wird an den bestehenden Gerätekennwert nach DIN SPEC 15240 angelehnt. Dazu wird der Energiekennwert auf Basis eines monatlich konstanten Volumenstroms von 1 m³/h berechnet:

a) für den Istwert: $E_{RLT,IST}$ [kWh/(m³/h)]
b) für den Vergleichswert: $E_{RLT,REF,KOMP}$ [kWh/(m³/h)]

Alle Energiebedarfsanteile werden primärenergetisch bewertet und summiert. Die Umrechnung der Ventilatorleistung vom realen Volumenstrom auf den Bewertungsvolumenstrom erfolgt über den aus den realen Daten ermittelten SFP-Wert.

Abweichend von der DIN SPEC 15240 und der EnEV werden folgende Verfahrensänderungen vorgeschlagen:

- Die Zulufttemperatur im Heizfall wird von 18° C auf realistische 20° C angehoben, um den Effekt der Wärmerückgewinnung besser abzubilden.
- Für Luftbefeuchter werden Referenzausführungen definiert, siehe Tabelle 48
- Umluftbeimischung wird als Energierückgewinnung gewertet, auf den Malus-Zuschlag beim Ventilatorstrom wird verzichtet, da diese Bewertung durch das Hauptverfahren (Systemkennwert) erfolgt.

Tabelle 48: Parameter zur Berechnung der Komponenteneffizienz RLT

Randbedingung	Referenztechnik, angelehnt an EnEV 2009 / EnEV 2013
Ventilatoren:	- Zuluft: P_{SFP} = 1,5 kW/(m³/s) - Abluft: P_{SFP} = 1,0 kW/(m³/s) - Zuschläge nach DIN EN 13779: 2007-09 Abschnitt 6.5.2 können nur für den Fall von HEPA-Filtern, Gasfiltern oder Wärmerückführungsklassen H2 oder H1 angerechnet werden
Wärmerückgewinnung:	- Plattenwärmeübertrager - Wärmerückgewinnungsgrad 60 %
Be- und Entfeuchtung (wenn vorhanden):	- Sollwerte wie ausgeführt
Befeuchter:	- bei Dampfbefeuchtern: Dampf aus fossilem Brennstoff, - bei Verdunstungsbefeuchtern: Hochdruckbefeuchter
Leckagefaktor	- Klasse B
Wärmeversorgung	- Vorlauftemperatur 70° C
Kälteversorgung	- Kaltwasser 6 / 12° C
Der mit den obigen Randbedingungen ermittelte Kennwert $E_{RLT,REF,KOMP}$ ist mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren.	

Ergebnis: gute – EnEV-konforme – geringe Komponenteneffizienz

- Gute Komponenteneffizienz: $E_{RLT,IST} \leq 0{,}85 \times E_{RLT,REF,KOMP}$
- EnEV-konforme Komponenteneffizienz: $0{,}85 \times E_{RLT,REF,KOMP} < E_{RLT,IST} < 1{,}15 \times E_{RLT,REF,KOMP}$
- geringe Komponenteneffizienz: $E_{RLT,IST} \geq 1{,}15 \times E_{RLT,REF,KOMP}$

Hinweis: Die Wertebereiche müssen noch durch weitere Beispielrechnungen im Rahmen der pragrammtechnischen Umsetzung validiert werden.

Vorschlag für den Begleittext:

a) Die RLT-Anlage besitzt ausreichend effiziente Komponenten und weist somit eine gute Komponenteneffizienz auf.

b) Die RLT-Anlage besitzt Komponenten, die sich am Referenzniveau der aktuellen EnEV orientieren.

c) Die RLT-Anlage besitzt zum Teil ineffiziente Komponenten (z. B. Ventilatoren) und weist somit eine schlechte Komponenteneffizienz auf.

Der Begleittext kann an dieser Stelle um folgende Informationen ergänzt werden, die sich aus dem Ergebnis des Hauptverfahrens (Systemkennwert) ableiten lassen:

- Angabe des Jahres-Primärenergiebedarfs als absoluter Betrag in [kWh]
- Prozentuale Zusammensetzung dieses Betrages aus den Bestandteilen: Wärme, Kälte, Dampf und Strom für Luftförderung und Hilfsantriebe. Durch diese zusätzlichen Informationen werden die Aussagen zur Komponenteneffizienz transparenter.

Effizienzkriterium 2: Betriebseffizienz

Die Betriebseffizienz einer raumlufttechnischen Anlage manifestiert sich an der Fähigkeit, den Luftvolumenstrom optimal dem Bedarf der einzelnen Zonen anzupassen. Einflussgrößen sind:

- Anpassung der Luftvolumenströme an die unterschiedlichen Nutzungszeiten der Zonen
- Anpassung der Luftvolumenströme an veränderliche Präsenz und Belegungsdichten
- Anpassung der Luftvolumenströme an veränderliche Kühllasten.

Im Rahmen des Hauptverfahrens werden die mittleren monatlichen Bilanzvolumenströme über alle Zonen unter Berücksichtigung der regelungstechnischen Ausstattung ermittelt.

Der monatliche Bilanzvolumenstrom $\dot{V}_{mech,b,\mathrm{mth}}$ folgt aus dem Maximum der notwendigen Volumenströme zur Mindestlüftung und zur Kühlung des jeweiligen Berechnungsmonats.

$$\dot{V}_{mech,b,\mathrm{mth,z}} = MAX\left(\dot{V}_{dc,\mathrm{mth,z}} \middle| \dot{V}_{cool,\mathrm{mth,z}}\right)$$

Dabei sind:

$\dot{V}_{mech,b,\mathrm{mth,z}}$ der mittlere monatliche Bilanz-Volumenstrom einer Zone [m³/h]

$\dot{V}_{dc,\mathrm{mth}}$ der mittlere monatliche Volumenstrom zur Mindestlüftung einer Zone [m³/h]

$\dot{V}_{cool,\mathrm{mth}}$ der mittlere kühllastabhängige monatliche Volumenstrom einer Zone [m³/h]

Der mittlere monatliche Volumenstrom zur Mindestlüftung wird im Rahmen der Inspektion ermittelt. Soweit die regelungstechnischen Voraussetzungen für eine bedarfsgeregelte Lüftung vorliegen, werden diese bei der Bestimmung des Mindestvolumenstroms entsprechend der Rechenregeln nach DIN V 18599-7 berücksichtigt.

Der maximale Luftvolumenstrom zur Deckung der maximalen Kühllast $\dot{V}_{cool,max,z}$ ist im Rahmen der Inspektion ebenfalls vorab zu bestimmen und wird mit einem monatsweisen Lastprofil multipliziert.

Der monatliche Bilanz-Volumenstrom der Gesamtanlage, errechnet sich aus den Bilanz-Volumenströmen aller Zonen unter Berücksichtigung der Bedarfszeiten der unterschiedlichen Zonen.

Tabelle 49: Referenztechnik bezüglich der regelungstechnischen Ausstattung von RLT-Anlagen

Bedarfsabhängige Lüftung:	Für alle Zonen mit Luftvolumenstrom > 9 m³/(h m²) bzw. Zonen der Nutzungen 4, 8, 9, 12, 13, 23, 24, 35, 37 und 40: Klasse IDA3
Anlagen zur vollständigen Kühllastdeckung	Variabel-Volumenstrom-System

Um zu einer rechnerisch ermittelten Bewertungsgröße zu gelangen, wird vorgeschlagen, aus den monatlich variierenden Bilanz-Volumenströmen den durchschnittlichen Jahresvolumenstrom zu errechnen. Vereinfachend kann der arithmetische Mittelwert aus allen Monatsvolumenströmen errechnet werden.

Die Gegenüberstellung von Ist-Wert der inspizierten Anlage und dem Referenzwert mit der regelungstechnischen Ausstattung nach Tabelle 49 bildet die Grundlage der Bewertung. Dazu ist es notwendig, die Überlagerung möglicher Überdimensionierungen auszuschließen. Da sich im vorbeschriebenen Bewertungsverfahren die Überdimensionierung linear in das Ergebnis einfließt, ist die Korrektur der Mittelwerte möglich. Es ergibt sich somit folgende dimensionsloser Faktor für die Betriebseffizienz:

$$f_{Betrieb} = \frac{\dot{V}_{mittel,IST} \cdot \dot{V}_{ZUL,max,prüf}}{\dot{V}_{mittel,Ref} \cdot \dot{V}_{ZUL,max,IST}}$$

mit:

$f_{Betrieb}$	dimensionsloser Faktor zur Beurteilung der Betriebseffizienz
$\dot{V}_{mittel,IST}$	mittlerer Jahres-Volumenstrom als Istwert in m³/h
$\dot{V}_{mittel,Ref}$	mittlerer Jahres-Volumenstrom (Referenzwert) in m³/h
$\dot{V}_{ZUL,max,prüf}$	maximaler Volumenstrom, geprüfter Sollwert in m³/h
$\dot{V}_{ZUL,max,IST}$	maximaler Volumenstrom als Ist-Wert in m³/h

Ergebnis: gute – EnEV-konforme – schlechte Betriebseffizienz

- Gute Betriebseffizienz: $f_{Betrieb} < 0{,}85$
- EnEV-konforme Betriebseffizienz: $0{,}85 < f_{Betrieb} \leq 1{,}15$
- schlechte Betriebseffizienz: $f_{Betrieb} > 1{,}15$

  Hinweis: Wertebereiche müssen noch durch weitere Beispielrechnungen validiert werden.

Vorschlag für den Begleittext:

a) Der Volumenstrom Ihrer RLT-Anlage wird ausreichend effizient geregelt und weist somit eine gute Betriebseffizienz auf. Dennoch kann das Betriebsverhalten der Anlage weiter optimiert werden.

b) Die RLT-Anlage wird so betrieben, wie es das Referenzniveau der aktuellen EnEV vorgibt. Es sind jedoch weitere Verbesserungen des Betriebsverhaltens möglich.

c) Durch die Betriebsweise ihrer RLT-Anlage wird der Volumenstrom nicht optimal dem Bedarf angepasst. Die Anlage weist somit eine schlechte Betriebseffizienz auf, die dringend verbessert werden sollte.

Effizienzkriterium 3: Dimensionierungsgüte

Die Dimensionierung einer raumlufttechnischen Anlage lässt sich über den Zuluftvolumenstrom bzw. Außenluftvolumenstrom überprüfen. Eine Überprüfung der Dimensionierung gehört zu den Kernaufgaben der energetischen Inspektion gemäß § 12 EnEV.

Im Gegensatz zur Kälteerzeugung wirkt sich eine Überdimensionierung immer und unmittelbar auf den Energiebedarf aus. Unterdimensionierungen werden dagegen nicht bewertet, da Energieeffizienz nicht zu Lasten der Raumluftqualität gehen kann und soll.

In der Regel wird der Ist-Volumenstrom durch Messungen an der laufenden Anlage unter Nennlastbedingungen überprüft und dem rechnerisch ermittelten Sollwert gegenübergestellt. Diese Informationen bilden wesentliche Eingangsgrößen für das Hauptverfahren zur Berechnung des Energielabels. Somit ist eine Bewertung der Dimensionierungsgüte möglich, ohne dass gesonderte Algorithmen entwickelt werden müssen.

$$f_{Dim} = \frac{\dot{V}_{ZUL,max,IST}}{\dot{V}_{ZUL,max,prüf}}$$

mit:

f_{Dim}	dimensionsloser Faktor zur Beurteilung der Dimensionierung
$\dot{V}_{ZUL,max,prüf}$	maximaler Volumenstrom, geprüfter Sollwert in m³/h
$\dot{V}_{ZUL,max,IST}$	maximaler Volumenstrom als Ist-Wert in m³/h

Die maximalen Anlagenvolumenströme werden dabei für alle Zonen nach Maximalauswahl aus Mindestvolumenstrom und Volumenstrom zur Kühllastabfuhr aufsummiert.

Ergebnis: erhebliche Überdimensionierung – Überdimensionierung – keine Überdimensionierung

- Erhebliche Überdimensionierung: $f_{Dim} > 1{,}30$
- Überdimensionierung: $1{,}10 < f_{Dim} \leq 1{,}30$
- Angemessene Dimensionierung: $f_{Betrieb} > 1{,}10$

Hinweis: Wertebereiche müssen noch durch weitere Beispielrechnungen validiert werden.

Vorschlag für den Begleittext:

a) Die RLT-Anlage ist erheblich überdimensioniert. Überdimensionierte Luftvolumenströme werden vom Nutzer kaum wahrgenommen, wirken sich aber negativ auf sämtliche Energieverbräuche aus.

b) Die RLT-Anlage ist etwas überdimensioniert. Überdimensionierte Luftvolumenströme werden vom Nutzer kaum wahrgenommen, wirken sich aber negativ auf sämtliche Energieverbräuche aus.

c) Die RLT-Anlage ist im Verhältnis am Kühlbedarf angemessen dimensioniert.

Wir die Anlage mit Umluftbeimischung betrieben, wird ein gesonderter Hinweistext generiert, der auf die systematischen energetischen und lufthygienischen Nachteile hinweist. Ausnahme: Nutzungen, bei denen der Kühllastvolumenstrom den Mindestvolumenstrom deutlich übersteigt und bei denen ein konstantes Kühllastprofil gewählt wurde (z. B. Rechenzentren). Vorschlag: „Anlagen mit Umluftbeimischung bewirken energetische und auch lufthygienische Nachteile. Es muss mehr Luft transportiert werden, als für die Lüftungsfunktion notwendig, was zu einem höheren Stromverbrauch führt."

6.8.4 Umsetzung im Anlagenlabel Kälte

Effizienzkriterium 1: Komponenteneffizienz:

Eine hohe Effizienz der wesentlichen Komponenten einer Kälteanlage (Kältemaschine, Rückkühler, Pumpen) ist Voraussetzung für eine hohe Effizienz des gesamten Kälteanlagesystems. Die Feststellung der Effizienz dieser Komponenten ist zentrale Aufgabe der Energetischen Inspektion und Bestandteil des Arbeitsplanes nach DIN SPEC 15240. Ein mathematischer Ansatz zur Ermittlung der Komponenteneffizienz ist bisher noch nicht etabliert.

Vorschlag zum Vorgehen:

– mathematischer Vergleich des berechneten IST-Energiekennwertes $E_{KK,IST}$ mit einem Referenzkennwert unter Nutzung von EnEV-Referenz-Komponenten $E_{KK,REF,KOMP}$ und unveränderten IST-Betriebsparametern (Erzeugerregelung, Kühlwassertemperatur-regelung, Pumpenregelung)

$$E_{KK,REF,KOMP} = \frac{EER_{REF,KOMP} \cdot PLV_{KK,av} \cdot f_{FC,REF}}{1 + q_{R,elektr,REF} \cdot PLV_{KK,av} \cdot f_{FC,REF} \cdot f_{KK,R,av} \cdot f_{R,FC,REF} \cdot \left(1 + EER_{REF,KOMP}\right) + EER_{REF,KOMP} \cdot PLV_{KK,av} \cdot f_{FC,REF} \cdot q_{Verteilung,REF,KOMP}}$$

$$q_{Verteilung,REF,KOMP} = \frac{\sum(P_{\text{spez,d,i,REF}} \cdot \dot{Q}_i \cdot t_{d,i} \cdot f_{P,i})}{\dot{Q}_{C,outg} \cdot t_{d,PRI,DIN}} \qquad \textit{mit i = GEB, PRI+RLT, RKK, HE}$$

Tabelle 50: Parameter für die Berechnung der Komponenteneffizienz und Wirksamkeits-Zuordnung für die verschiedenen Technologien

Bezeichnung	Parameter	Referenzwert	KKM	SKM	GEO	RAC
Nennleistungszahl / Kältemittel	$EER_{REF,KOMP}$	2,7	x	x	x	x
Baualter	$f_{C,B,REF}$	1,1 (ab 2016)	x	-	-	-
spez. Rückkühler-leistung	$q_{R,elektr,REF}$	nicht belegt	x	x	-	-
spez. Pumpen-leistung Kaltwasser primär + RLT+Kreis	$P_{spez,d,PRI+RLT,REF}$	20 W/kW	x	x	-	-
spez. Pumpen-leistung Kaltwasser sekundär (Gebäude)	$P_{spez,d,GEB,REF}$	30 W/kW	x	x	x	-
spez. Pumpen-leistung Kühlwasser	$P_{spez,d,RKK,REF}$	nicht belegt	(x)	x	-	-
spez. Pumpen-leistung Heizwasser	$P_{spez,d,HE,REF}$	nicht belegt	-	x	-	-
Freie Kühlung	$f_{FC,REF}$, $f_{R,FC,REF}$	1,0	x	-	-	-

Problemstellung:

- EnEV-Referenz: KKM luftgekühlt, daher nicht alle Parameter belegt
- GEO immer besser als Referenz, auch mit schlechter Pumpeneffizienz
- bei RAC geht nur EER als Parameter ein

Lösung: Festlegung einer eigenen Referenztechnik je Bauart (mit Zielgröße EnEV-Referenz)

Tabelle 51: Referenztechnik je Bauart (nur Komponenten)

Parameter	KKM luftgekühlt	KKM wassergekühlt	SKM	GEO	RAC
$EER_{KOMP,REF,6°C/14°C}$ (R134a)	2,7/3,3	4,0/4,6	0,70	50	3,4
$f_{C,B,REF}$	1,1	1,1	-	-	-
$q_{R,elektr,REF}$	-	0,045 W/kW	0,033 W/kW	-	-
$P_{spez,d,PRI+RLT,REF}$	20 W/kW	20 W/kW	20 W/kW	-	-
$P_{spez,d,GEB,REF}$	30 W/kW	30 W/kW	30 W/kW	30 W/kW	-
$P_{spez,d,RKK,REF}$	-	20 W/kW	25 W/kW	-	-
$P_{spez,d,HE,REF}$	-	-	10 W/kW	-	-
$f_{FC,REF}$, $f_{R,FC,REF}$	1,0	1,0	-	-	-

Hinweis: nicht aufgeführt Komponenteneigenschaften (z. B. Verdampfungsart, Rückkühlerart, Splitbauweise, Primärenergiefaktor SKM) wie in ausgeführter Anlage

Ergebnis: gute – EnEV-konforme – schlechte Komponenteneffizienz

- Gute Komponenteneffizienz: $E_{KK,IST} \geq 1{,}15 \times E_{KK,REF,KOMP}$
- EnEV-konforme Komponenteneffizienz: $0{,}85 \times E_{KK,REF,KOMP} < E_{KK,IST} < 1{,}15 \times E_{KK,REF,KOMP}$
- schlechte Komponenteneffizienz: $E_{KK,IST} \leq 0{,}85 \times E_{KK,REF,KOMP}$

  Hinweis: Wertebereiche müssen noch durch weitere Beispielrechnungen validiert werden.

Beispiele für alle Technologien siehe Anhang A

Vorschlag für den Begleittext:

d) Die Kälteanlage besitzt ausreichend effiziente Komponenten und weist somit eine gute Komponenteneffizienz auf.

e) Die Kälteanlage besitzt Komponenten, die sich am Referenzniveau der aktuellen EnEV orientieren.

f) Die Kälteanlage besitzt zum Teil ineffiziente Komponenten (z. B. Pumpen) und weist somit eine schlechte Komponenteneffizienz auf.

Alle: Weiterführende Informationen dazu und Hinweise zum Austausch von einzelnen Komponenten finden Sie im Inspektionsbericht.

Alternative: Kriterientabelle mit Vorgabe von Mindesteffizienzgraden für Komponenten (z. B. Nennleistungszahl EER, Rückkühlerleistung $q_{R,elektr}$, spez. Pumpenleistung) → wird vorerst nicht weiter verfolgt, da zusätzlicher Aufwand für den Inspekteur

<u>Effizienzkriterium 2: Betriebseffizienz:</u>

Der Anlagenbetrieb steht im Fokus der energetischen Inspektion, da Verbesserungen des Betriebsverhaltens mit geringem Aufwand hohe energetische Vorteile erschließen können. Die Bewertung des Anlagenbetriebes ist Bestandteil des Arbeitsplanes nach DIN SPEC 15240. Ein mathematischer Ansatz zur Ermittlung der Komponenteneffizienz ist bisher noch nicht etabliert.

Vorschlag zum Vorgehen:

- mathematischer Vergleich des berechneten IST-Energiekennwertes $E_{KK,IST}$ mit einem Referenzkennwert unter Nutzung von EnEV-Referenz-Betriebsdaten $E_{KK,REF,BETR}$ und unveränderter IST-Komponentenausstattung (Verdichterart, Rückkühlerart, Pumpenleistung)

$$E_{KK,REF,BETR} = \frac{EER_{REF,BETR} \cdot PLV_{KK,av,REF} \cdot f_{FC}}{1 + q_{R,elektr} \cdot PLV_{KK,av,REF} \cdot f_{FC} \cdot f_{KK,R,av,REF} \cdot f_{R,FC} \cdot \left(1 + EER_{REF,BETR}\right) + EER_{REF,BETR} \cdot PLV_{KK,av,REF} \cdot f_{FC} \cdot q_{Verteilung,REF,BETR}}$$

$$q_{Verteilung,REF,BETR} = \frac{\sum(P_{spez,d,i} \cdot \dot{Q}_i \cdot t_{d,i,REF} \cdot f_{P,i,REF})}{\dot{Q}_{C,outg} \cdot t_{d,PRI,DIN}} \qquad \textit{mit i = GEB, PRI+RLT, RKK, HE}$$

Tabelle 52: Parameter für die Berechnung der Betriebseffizienz und Wirksamkeits-Zuordnung für die verschiedenen Technologien:

Parameter	Parameter	Referenzwert	KKM	SKM	GEO	RAC
Regelung primär	$PLV_{KK,av,REF}$	=f(Nutzung)	x	-	x	x
Kaltwassertemp. / Nennleis-tungszahl	$T_{KaWa,VL,REF}$ $EER_{REF,BETR}$	6°C (RLT) 14°C (>5.000m²)	x	x	x	-
Regelung Kühl-wassertempera-tur	$f_{KK,R,av,REF}$	nicht belegt	x	-	-	-
Pumpenregelung Kaltwasser primär + RLT+Kreis	$t_{d,PRI+RLT,REF}$ $f_{P,PRI+RLT,REF}$	intermittierend / ungeregelt	x	x	-	-
Pumpenregelung Kaltwasser sekundär (Gebäude)	$t_{d,GEB,REF}$ $f_{P,GEB,REF}$	Intermittierend / elektronisch gere-gelt	x	x	x	-
Pumpenregelung Kühlwasser	$t_{d,RKK,REF}$, $f_{P,RKK,REF}$	nicht belegt	(x)	x	-	-
Pumpenregelung Heizwasser	$t_{d,HE,REF}$, $f_{P,HE,REF}$	nicht belegt	-	x	-	-

Problemstellung:

- Referenz KKM luftgekühlt, daher nicht alle Parameter belegt (z. B. Kühlwasser)
- bei RAC geht nur PLV als Parameter ein

Lösung: Festlegung einer eigenen Referenztechnik je Bauart (mit Zielgröße EnEV-Referenz)

Tabelle 53: Referenztechnik je Bauart (nur Betriebsparameter)

Parameter	KKM luftgekühlt	KKM wassergekühlt	SKM	GEO	RAC
$PLV_{KK,av,REF}$	Verdichter-verbund (B) Raum-K: 1,40 (Büro) RLT-K: 1,28 (Büro)	Verdichter-verbund (2) Raum-K: 1,75 (Büro) RLT-K: 1,73 (Büro)	0,95 = konst.	geregelte Pumpe (I) Raum-K: 0,85 (Büro) RLT-K: 0,74 (Büro)	VRF (d) Raum-K: 1,29 (Büro)
$t_{VL,KaWa,REF}$	6°C/14°C	6°C/14°C	6°C/14°C	-	-
$EER_{REF,BETR}$	2,7/3,3	4,0/4,6	0,70	-	-
$f_{KK,R,av,REF}$	-	variable Kühlwasser-temperatur Raum-K: 0,9 (Büro) RLT-K: 0,69 (Büro)	0,65 = konst	-	-
$t_{d,PRI+RLT,REF}$ $f_{P,PRI+RLT,REF}$	Intermittierend / ungeregelt	Intermittierend / ungeregelt	Intermittierend / ungeregelt	-	-
$t_{d,GEB,REF}$ $f_{P,GEB,REF}$	intermittierend / geregelt	intermittierend / geregelt	intermittierend / geregelt	intermittierend / geregelt	-
$t_{d,RKK,REF}$ $f_{P,RKK,REF}$	-	Intermittierend / ungeregelt	Intermittierend / ungeregelt	-	-
$t_{d,HE,REF}$ $f_{P,HE,REF}$	-	-	Intermittierend / ungeregelt	-	-

Ergebnis: gute – EnEV-konforme – schlechte Betriebseffizienz

- Gute Betriebseffizienz: $E_{KK,IST} \geq 1{,}15 \times E_{KK,REF,BETR}$
- EnEV-konforme Betriebseffizienz: $0{,}85 \times E_{KK,REF,BETR} < E_{KK,IST} < 1{,}15 \times E_{KK,REF,BETR}$
- schlechte Betriebseffizienz: $E_{KK,IST} \leq 0{,}85 \times E_{KK,REF,BETR}$

  Hinweis: Wertebereiche müssen noch durch weitere Beispielrechnungen validiert werden.

Beispiele für alle Technologien siehe Anhang A

Vorschlag für den Begleittext:

d) Die Kälteanlage wird ausreichend effizient betrieben und weist somit eine gute Betriebseffizienz auf. Dennoch kann das Betriebsverhalten der Anlage weiter optimiert werden.

e) Die Kälteanlage wird so betrieben, wie es das Referenzniveau der aktuellen EnEV vorgibt. Es sind jedoch weitere Verbesserungen des Betriebsverhaltens möglich.

f) Die Betriebsweise der Kälteanlage oder einzelner Komponenten ist uneffizient (z. B. die Betriebszeit der Pumpen). Die Anlage weist somit eine schlechte Betriebseffizienz auf, die dringend verbessert werden sollte.

Alle: Weiterführende Informationen dazu und Empfehlungen zur weiteren Verbesserung des Anlagenbetriebes finden Sie im Inspektionsbericht.

Alternative: Kriterientabelle mit Vorgabe von Mindestanforderungen für das Betriebsverhalten (z. B. Kühlwasserreglung, Pumpenreglung, Teillastregelung Kältemaschine) → wird vorerst nicht weiterverfolgt, da zusätzlicher Aufwand für den Inspekteur

Effizienzkriterium 3: Dimensionierungsgüte:

Durch eine Über- oder Unterdimensionierung verschiebt sich der Arbeitspunkt auf der Teillastkennlinie, da die Maschineneffizienz (Teillastfaktor f1) je nach Teillastregelart sinkt oder steigt (Abbildung 52). Das führt bauartabhängig zu einer niedrigeren aber teilweise auch zu einer höheren Energieeffizienz der Kälteanlage.

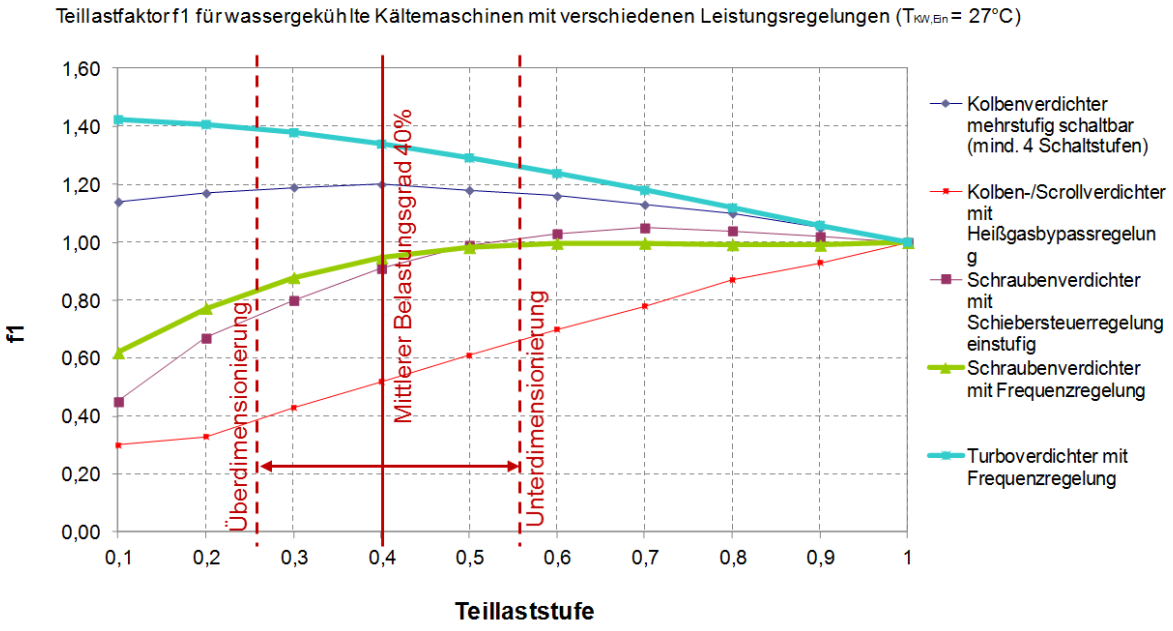


Abbildung 76: Einfluss der Über- oder Unterdimensionierung des Kälteerzeugers auf den Teillastfaktor

Vorschlag zum Vorgehen (Schritt 1):

- Eingabe der Kühllast durch den Inspektor (Grundleistung der Energetischen Inspektion) und rechnerischer Vergleich mit der Anlagenleistung (=Berechnung des Dimensionierungsgrades DIM)
- Ermittlung der Belastungsgradänderung □k_{AV} nach DIN SPEC 15240 Anhang E

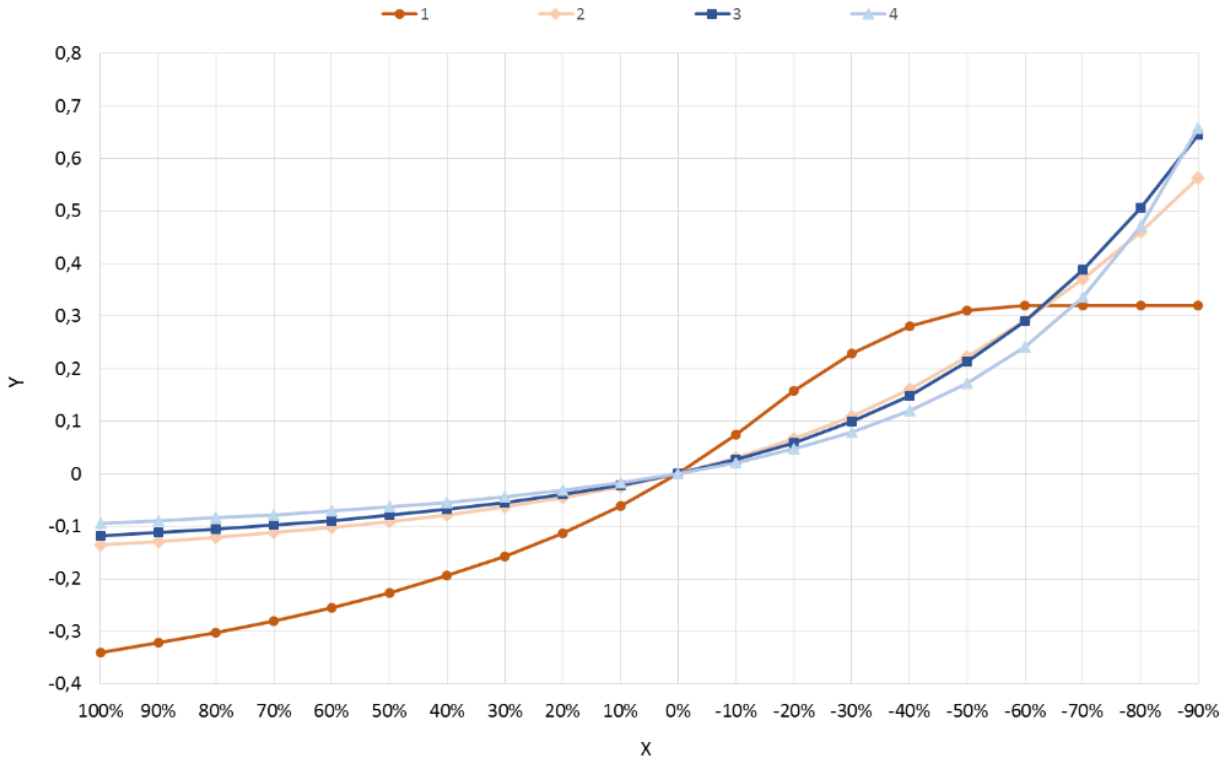


Abbildung 77: Belastungsgradänderung in Abhängigkeit des Über- oder Unterdimensionierungsgrade bei RLT- und Raumkühlung

Legende

X Dimensionierungsgrad DIM (positiv: Überdimensionierung, negativ: Unterdimensionierung)

Y mittlere Belastungsgradänderung Δk_{AV} (positiv: höhere Anlagenbelastung, negativ: geringere Anlagenbelastung)

Ergebnis 1: Aussage zur Überdimensionierung der Anlagentechnik im Verhältnis zum Kühlbedarf

- effizienzrelevante Überdimensionierung: $\Delta k_{AV} \leq -0{,}05$
- kein Effizienzeinfluss durch die Dimensionierung: $-0{,}05 < \Delta k_{AV} < 0{,}05$
- effizienzrelevante Unterdimensionierung: $\Delta k_{AV} \geq 0{,}05$

Schritt 2: Bewertung des Einflusses Über- und Unterdimensionierung

– Abschätzung der Effizienzänderung in Abhängigkeit der Teillastregelart des Kälteerzeugers (Trendauswertung Faktor f1 nach DIN V 18599 Anhang B mit der Annahme f2 ≈ konst., da Außentemperatureinfluss unverändert und nur geringer Einfluss durch veränderte Rückkühlleistung)

Tabelle 54: DIN V 18599 Tabellen B.3, B.4 und B.5 — Teillastfaktoren $f_{1,n}$ für wassergekühlte, luftgekühlte Kältemaschinen und Raumklimasysteme je Teillaststufe k_n

Art der Teillastregelung		Teillaststufe k_n									
		0,1	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1**
wassergekühlt	(1)	0,96	0,94	0,92	0,90	0,90	0,90	0,92	0,94	0,96	1,00
	(2)	1,14	1,17	1,19	1,20	1,18	1,16	1,13	1,10	1,05	1,00
	(3)	0,44	0,54	0,62	0,70	0,76	0,82	0,88	0,92	0,96	1,00
	(4)	0,30	0,33	0,43	0,52	0,61	0,70	0,78	0,87	0,93	1,00
	(5)	0,45	0,67	0,80	0,91	0,99	1,03	1,05	1,04	1,02	1,00
	(6)	0,50	0,72	0,84	0,93	0,99	1,01	1,03	1,02	1,01	1,00
	(7)	0,62	0,77	0,88	0,95	0,98	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00
	(8)	1,42	1,41	1,38	1,34	1,29	1,24	1,18	1,12	1,06	1,00
Luftgekühlt	(A)	0,83	0,87	0,92	0,95	0,98	1,00	1,01	1,02	1,01	1,00
	(B)	0,87	1,03	1,05	1,06	1,03	1,08	1,09	1,07	1,03	1,00
	(C)	0,47	0,51	0,66	0,80	0,88	0,76	0,85	0,91	0,95	1,00
	(D)	1,19	1,19	1,13	1,08	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02	1,00
	(E)	1,40	1,40	1,32	1,24	1,18	1,13	1,09	1,06	1,03	1,00
	(F)	0,43	0,54	0,65	0,75	0,84	0,91	0,97	1,01	1,02	1,00
Raumklimasystem	(a)	1,34	1,34	1,34	1,34	1,27	1,23	1,16	1,09	1,02	0,95
	(b)	0,68	0,73	0,77	0,80	0,86	0,93	0,95	0,97	0,94	0,90
	(c)	1,52	1,54	1,57	1,69	1,45	1,31	1,21	1,09	1,03	0,95
	(d)	0,77	1,18	1,42	1,55	1,54	1,46	1,35	1,19	1,06	0,92

– Trendauswertung bei Über- oder Unterdimensionierung ausgehend von einer mittleren Anlagenbelastung von 40 %

Ergebnis 2: qualitative Aussage zum Einfluss der Dimensionierungsgüte auf die Energieeffizienz für jede Teillastregelart

Tabelle 55: Ergebnistabelle zur Effizienzänderung durch Über- oder Unterdimensionierung

Art der Teillastregelung		Überdimensionierung	Unterdimensionierung
Wassergekühlt	(1)	positiver Effekt	kein nennenswerter Effekt
	(2)	kein nennenswerter Effekt	negativer Effekt
	(3)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(4)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(5)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(6)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(7)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(8)	positiver Effekt	negativer Effekt
luftgekühlt	(A)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(B)	kein nennenswerter Effekt	negativer Effekt
	(C)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(D)	positiver Effekt	negativer Effekt
	(E)	positiver Effekt	negativer Effekt
	(F)	negativer Effekt	positiver Effekt
Raumklimasys-tem	(b)	negativer Effekt	positiver Effekt
	(d)	negativer Effekt	kein nennenswerter Effekt

Vorschlag für den Begleittext:

d) Die Kälteanlage ist überdimensioniert. Dies hat einen [positiven / keinen nennenswerten / einen negativen] Effekt für auf die Energieeffizienz der Anlagentechnik.

e) Die Kälteanlage ist im Verhältnis am Kühlbedarf angemessen dimensioniert.

f) Die Kälteanlage ist unterdimensioniert. Dies hat einen [positiven / keinen nennenswerten / einen negativen] Effekt für auf die Energieeffizienz der Anlagentechnik.

Alle: Weiterführende Informationen dazu finden Sie im Inspektionsbericht.

Zusammenfassung:

Neben dem Bewertungsmaßstab für das Gesamtsystem (Energiekennwert $E_{KK,Ref}$), der für die Vergabe des Anlagenlabels verwendet wird, wurden 2 weitere Referenzkennwerte für die Komponenteneffizienz $E_{KK,REF,KOMP}$ und die Betriebseffizienz $E_{KK,REF,BETR}$ von Kälteanlagen entwickelt. Durch den Vergleich mit dem realen Anlagen-Ist-Kennwert $E_{KK,IST}$ mit diesen Kennwerten wird es möglich, allein aus dem Energiekennwert, automatisiert Einzelaussagen über die Effizienz der eingesetzten Komponenten und deren Betriebsverhalten abzuleiten. Ein qualitativer Ansatz zur Bewertung der Anlagendimensionierung lässt darüber hinaus eine Aussage zur energetischen Relevanz einer vorliegenden Über- oder Unterdimensionierung zu.

Anlage 1:

Beispielrechnungen für die Komponenten- und die Betriebseffizienz:

Effizienzkategorie		Parameter Komponenteneffizienz (Nennleistung 100 kW)							Parameter Betriebseffizienz (Büro, 50% Raum- und 50% RLT-Kühlung)							Gesamteffizienz (Label)				Komponenteneffizienz			Betriebseffizienz		
Bauart	Variante	$EER_{Komp,6°C/14°C}$ (R134a)	$f_{C,B}$	$q_{R,elektr}$	$P_{spez,d,PRI+RLT}$	$P_{spez,d,GEB}$	$P_{spez,d,RKK}$	f_{FC}, $f_{R,FC}$	$PLV_{KK,av}$	$T_{VL,KaWa}$	EER_{BETR}	$f_{KK,R,av}$	$t_{d,PRI+RLT}$ $f_{P,PRI+RLT}$	$t_{d,GEB}$ $f_{P,GEB}$	$t_{d,RKK}$ $f_{P,RKK}$	$E_{KK,IST}$	$E_{KK,REF}$	$E_{KK,IST}$ / $E_{KK,REF}$	LABEL	$E_{KK,REF,KOMP}$	$E_{KK,IST}$ / $E_{KK,REF,KOMP}$	gut / EnEV / schlecht	$E_{KK,REF,BETR}$	$E_{KK,IST}$ / $E_{KK,REF,BETR}$	gut / EnEV / schlecht
KKM luftgekühlt	EnEV-Referenz (Kolben)	2,7/3,3	1,1	-	20 W/kW	30 W/kW	-	1	(B) 1,40/1,28	6°C / 14°C	2,7/3,3	-	intermitt. / ungeregelt	intermitt. / geregelt	-	3,322	3,322	100%	C	3,322	100%	EnEV	3,322	100%	EnEV
	Bsp. 1 (Kolben)	3,0/ -	1,1	-	15 W/kW	20 W/kW	-	1	(B) 1,40/1,28	6°C / -	3,0/ -	-	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	-	3,354		101%	C	2,84	118%	gut	3,946	85%	schlecht
	Bsp. 2 (Turbo)	3,8/ -	1,0	-	10 W/kW	15 W/kW	-	1	(E) 1,69/1,61	14°C / -	4,8/ -	-	bedarfsgest. / geregelt	bedarfsgest. / geregelt	-	7,35		221%	A	5,361	137%	gut	3,621	203%	gut
	Bsp. 3 (Scroll)	2,3/ -	0,92	-	30 W/kW	40 W/kW	-	1	(F) 1,05/0,86	6°C / -	2,3/ -	-	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	-	1,565		47,1%	F	2,206	71%	schlecht	2,354	66%	schlecht
KKM wassergekühlt	Ziel-Referenz (Kolben)	4,0/4,6	1,1	(TK) 0,045 W/kW	20 W/kW	30 W/kW	20 W/kW	1	(2) 1,75/1,73	6°C / 14°C	4,0/4,6	(var) 0,9/0,69	intermitt. / ungeregelt	intermitt. / geregelt	intermitt. / ungeregelt	3,336	3,322	100%	C	3,336	100%	EnEV	3,336	100%	EnEV
	Bsp. 1 (Kolben)	4,3	1,1	(VK offen) 0,018 W/kW	15 W/kW	20 W/kW	15 W/kW	1	(2) 1,32/1,37	6°C / -	4,3	(konst) 0,13/0,12	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	3,635		109%	C	2,992	121%	gut	5,067	72%	schlecht
	Bsp. 2 (Turbo)	5,2	1,0	(VK geschl) 0,033 W/kW	10 W/kW	15 W/kW	10 W/kW	1,03	(8) 1,7/1,8	10°C / -	5,55	(var) 0,45/0,46	bedarfsgest. / geregelt	bedarfsgest. / geregelt	bedarfsgest. / geregelt	7,896		238%	A	5,676	139%	gut	4,898	161%	gut
	Bsp. 3 (Schraube)	2,9	0,92	(TK) 0,045 W/kW	30 W/kW	40 W/kW	30 W/kW	1	(5) 0,95/0,87	6°C/-	2,9	(konst) 0,09/0,10	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	1,543		46,4%	F	2,419	64%	schlecht	2,62	59%	schlecht
Sorptions-kältemaschine	Ziel-Referenz (LiBr, 110°C,)	0,7	-	(VK geschl.) 0,033 W/kW	20 W/kW	30 W/kW	25 W/kW	-	0,95	6°C/ -	0,7	0,65	intermitt. / ungeregelt	intermitt. / geregelt	intermitt. / ungeregelt	6,037	3,322	182%	B	6,037	100%	EnEV	6,037	100%	EnEV
	Bsp. 1 (LiBr, 130°C)	0,71	-	(VK offen) 0,018 W/kW	15 W/kW	20 W/kW	15 W/kW	-	0,95	6°C/ -	0,73	0,65	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	saisonal / ungeregelt	5,342		161%	B	3,722	144%	gut	8,098	66%	schlecht
	Bsp. 2 (AdKM, 90°C)	0,51	-	(VK offen) 0,018 W/kW	10 W/kW	15 W/kW	10 W/kW	-	0,95	16°C/ -	0,55	0,65	bedarfsgest. / geregelt	bedarfsgest. / geregelt	bedarfsgest. / geregelt	18,6		560%	A	9,264	201%	gut	8,845	210%	gut
	Bsp. 3 (NH3, 70°C)	0,5	-	(VK geschl) 0,033 W/kW	30 W/kW	40 W/kW	30 W/kW	-	0,95	12°C/ -	0,56	0,65	3-stufig / geregelt	bedarfsgest. / geregelt	3-stufig / geregelt	6,301		190%	B	9,16	69%	schlecht	4,05	156%	gut
Geothermie	Referenz (GW, 10K, SP)	55	-	-	-	30 W/kW	-	-	(geregelt I) 0,85/0,74	-	-	-	-	intermitt. / geregelt	-	26,745	3,322	805%	A	26,745	100%	EnEV	26,745	100%	EnEV
	Bsp. 1 (GW, 15K, HP)	89	-	-	-	20 W/kW	-	-	(ungeregelt II) (0,50/0,40)	-	-	-	-	saisonal / 2-stufig	-	20,223		609%	A	12,996	156%	gut	41,993	48%	schlecht
	Bsp. 2 (ES, KS, 2U, HP)	174	-	-	-	15 W/kW	-	-	(geregelt I) 0,85/0,74	-	-	-	-	bedarfsgest. / geregelt	-	86,812		2613%	A	26,745	325%	gut	69,017	126%	gut
	Bsp. 3 (ES, KS, 1U, SP)	41	-	-	-	50 W/kW	-	-	(ungeregelt II) (0,50/0,40)	-	-	-	-	saisonal / ungeregelt	-	7,924		238,5%	A	11,961	66%	schlecht	18,222	43%	schlecht
Raumklima-system	Ziel-Referenz (Multisplit)	2,6	-	-	-	-	-	-	(d) 1,29	-	-	-	-	-	-	3,354	3,322	101%	C	3,354	1	EnEV	3,354	1	EnEV
	Bsp. 1 (Multi-Split)	3,0	-	-	-	-	-	-	(b) 0,84	-	-	-	-	-	-	2,52		76%	E	2,18	116%	gut	3,87	65%	schlecht
	Bsp. 2 (VRF)	3,4	-	-	-	-	-	-	(d) 1,29	-	-	-	-	-	-	4,386		132%	C	3,354	131%	gut	4,386	100%	EnEV

Abbildung 78: Beispielrechnungen für die Komponenten- und die Betriebseffizienz

6.9 Vorschlag für Ökodesign-Anforderungen an die Betriebsüberwachung von Klima/Lüftungsanlagen

6.9.1 Betriebsüberwachung bei RLT-Anlagen

6.9.1.1 Hintergrund

Raumlufttechnische Anlagen im Nichtwohngebäudebereich werden individuell geplant, hergestellt und installiert. Die Kombination unterschiedlicher Fabrikate für Zentralgeräte und Gebäudeautomation stellt den weit überwiegenden Regelfall dar. Komplettlösungen, bestehend aus Zentralgeräten und MSR sind bei den seltener anzutreffenden Seriengeräten wie Präzisionsklimaschränken anzutreffen. Letztlich beruht das Energieeinspar-Potenzial eines Betriebsmonitorings gerade aus dieser Individualität und den daraus entstehenden Schnittstellen.

Die statistische Auswertung von Klimaanlageninspektionsberichten[50] zeigt, dass bei älteren Anlagen durch niedriginvestive Maßnahmen (Optimierungen, Bedarfsanpassungen, Regelstrategien, Fehlerbeseitigungen) Energieeinsparungen von bis zu 30 % möglich sind, die sich in kurzer Zeit amortisieren.

Die Umsetzung der gesetzlichen Inspektionspflicht ist bislang unbefriedigend. Die Akzeptanz der energetischen Inspektion bei den Anlagenbetreibern wird gefördert, wenn die Untersuchungen in die Tiefe gehen und individuell zugeschnittene Verbesserungen bei gleichzeitig niedrigen Kosten liefern.

Die gesetzliche Pflicht zur Klimaanlageninspektion greift erst am Ende der Zehnjahresfrist, häufig sind die Einsparungen bereits früher möglich.

Eine Studie zur Wirksamkeit des Betriebsmonitorings der TU Braunschweig[51] am Beispiel neu errichteter Bundesbauten beziffert die Qualitätsdefizite und daraus resultierenden Einsparpotenziale nach Auswertung von 120 Lüftungsanlagen bei der Wärme auf 10 – 30 % und beim Strom auf 5 – 25 %.

Die energetischen Potenziale sind bei raumlufttechnischen Anlagen deshalb besonders hoch, weil

- die Anlagendimensionierung auf häufig unsicheren Annahmen (Nutzungszeiten, Belegungsdichten, Gleichzeitigkeitsfaktoren, Wärmelasten von Geräten) beruht und die Nutzung häufig Veränderungen unterliegt
- die energetische Sensitivität von Störungen / Fehlern bei RLT-Anlagen besonders hoch ist
- Überversorgungen (z. B. zu hohe Luftvolumenströme oder zu geringe wirksame Temperaturdifferenzen) von Nutzern und Betreibern kaum wahrgenommen werden, sich aber deutlich auf den Verbrauch auswirken.

Die Tätigkeitsfelder beim Betriebsmonitoring und bei energetischen Inspektionen weisen Überscheidungen auf. In beiden Fällen ist der Zugang zu Mess- und Verbrauchsdaten essentiell. Aufgrund der ausgeprägten Witterungsabhängigkeit und der damit verbundenen Dynamik des Energieverbrauchs sollten die Daten gespeichert werden und einer nachträglichen Auswertung zugänglich sein.

[50] Schiller, Mai, Händel: „Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche“; 2013

[51] Fisch, Norbert; Plesser, Stefan: Monitoring für Bundesbauten – Studie für das BBSR; 2016

Daher wurde ein Vorschlag für die Mindestausstattung mit Mess- und Zähleinrichtungen sowie Mindestanforderungen an die Datenspeicherung erarbeitet und auf Wirtschaftlichkeit geprüft.

6.9.1.2 Quantifizierung der Energiebedarfsanteile

In der Musterberechnung nach Abbildung 79 wurden die Energiekosten einer RLT-Anlage mit 3.000 m³/h und unterschiedlichen Luftbehandlungsfunktionen berechnet. Unterschieden wurde weiterhin nach Konstant- und Variabel-Volumenstromanlagen. Die Rechnung basiert auf Nutzenergiebedarfsanteilen nach DIN V 18599 Teil 3 und überschlägigen Endenergie-Aufwandszahlen sowie typischen Energiepreisen.

Zugrunde gelegt wurde ein hocheffizientes Wärmerückgewinnungssystem mit Rückwärmzahl 75 %. Aus den typischen Ventilatorkennwerten resultieren SFP-Werte für Zuluft und Abluft in Summe von 3,0 kWs/m³, die etwas unterhalb unter der Referenzausführung der EnEV 2013 liegen (dort: 2,5 kWs/m³ Basiswert zzgl. 0,6 kWs/m³ WRG-Zuschlag).

Bei hocheffizienter Wärmerückgewinnung nimmt der Stromverbrauch einen wesentlichen Anteil bei den Energiekosten an. Der Wärmeverbrauch steigt erst bei Anlagen mit Befeuchtung an, der Kälteverbrauch wird durch die Wärmerückgewinnung nur gering beeinflusst. Die spezifischen Energiekosten betragen zwischen 0,39 und 0,97 EUR/(m³/h).

		Lüftungsanlage Heizen		Teilklimaanlage Heizen/Kühlen		Klimaanlage Heizen/Befeuchten/Kühlen	
Volumenstrom	[m³/h]	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Betriebstage	[d/a]	250	250	250	250	250	250
Betriebsstunden	[h/a]	13	13	13	13	13	13
Volumenstromregelung		KVS	VVS	KVS	VVS	KVS	VVS
Auslastungsfaktor	[-]	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75
Druckerhöhung ZUL	[Pa]	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Druckerhöhung ABL	[Pa]	800	800	800	800	800	800
Systemwirkungsgrad	[-]	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Leistung 100 %		3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Leistung 50 %		0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Leistung bei GLZ		3,33	2,13	3,33	2,13	3,33	2,13
SFP-Wert (ZUL+ABL)	[kWs/m³]	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Elektroenergiebedarf	[kWh]	10.833	6.906	10.833	6.906	10.833	6.906
Wärmekennwert	[Wh/(m³/h)]	926	926	926	926	4.395	4.395
Kältekennwert	[Wh/(m³/h)]	-	-	2.303	2.303	2.375	2.375
Endenergiefaktor Wärme+Kälte	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Wärmebedarf (WRG 75%)	[kWh]	3.573	2.680	3.573	2.680	16.958	12.718
Kältebedarf	[kWh]	-	-	8.886	6.665	9.164	6.873
Wärmepreis	[EUR/kWh]	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Kältepreis	[EUR/kWh]	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074
Strompreis	[EUR/kWh]	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Energiekosten	[EUR]	2.381 €	1.542 €	3.039 €	2.036 €	3.863 €	2.653 €
Energiekosten, spezifisch	[EUR/(m³/h)]	0,60	0,39	0,76	0,51	0,97	0,66
Anteil Wärme	[%]	9%	10%	7%	8%	26%	29%
Anteil Kälte	[%]	0%	0%	22%	24%	18%	19%
Anteil Strom	[%]	91%	90%	71%	68%	56%	52%

Abbildung 79: Berechnung der Energiebedarfsanteile einer typischen Lüftungs-, Teilklima- und Klimaanlage mit Luftvolumenstrom 4.000 m³/h

6.9.1.3 Vorschlag für die technische Ausstattung

6.9.1.3.1 Messeinrichtungen

Da der Stromverbrauch der Ventilatoren den wesentlichen Anteil an den Energiekosten verursacht, dieser vom Volumenstrom abhängt und der Volumenstrom auch für alle thermischen Energieverbrauchsanteile maßgebend ist, sollten sowohl der Zuluft- als auch der Abluftvolumenstrom gemessen werden.

Ein preiswertes und leicht realisierbares Verfahren ist die Messung der Wirkdruckdifferenz an der Ventilator-Einlaufdüse, für die die Hersteller kalibrierte Düsenbeiwerte zur Verfügung stellen. Um eine derartige Messstelle herzustellen sind Druckstutzen, Schläuche und ein Differenzdrucktransmitter[52] sowie die Signalaufschaltung auf das digitale Regelgerät notwendig.

Der Energiebedarf für die thermische Luftaufbereitung ist rechnerisch überschlägig bestimmbar, wenn die Enthalpiedifferenz vor und nach den aktiven Luftbehandlungseinheiten (Erhitzer, Kühler, Befeuchter) gemessen wird. Die Enthalpiedifferenz kann bei Anlagen ohne geregelte Be- und Entfeuchtung mittels Temperatursensoren erfolgen. Findet eine geregelte Be- und Entfeuchtung statt, muss neben der Temperatur die Luftfeuchte gemessen werden. Aus Temperatur und Feuchte ist die Enthalpie berechenbar. Die Umrechnung kann nachträglich im Rahmen der Auswertung bzw. des Monitorings erfolgen. Zur Umrechnung muss eine Näherungsgleichung für die Dampfdruckkurve vorhanden sein, die der einschlägigen Fachliteratur entnommen werden kann. Bei den Temperatur- und Feuchtemessstellen kann davon ausgegangen werden, dass die Messstellen in der Zuluft (Geräteaustritt) vorhanden sind, da diese die Ist-Werte für die Regler liefern müssen. Zusätzliche Kosten würden insofern nur für die vorgeschalteten Messstellen entstehen.

Anlagen zur Energierückgewinnung (Wärmerückgewinner, Umluftbeimischungen) werden als passive Luftbehandlungskomponenten betrachtet, da diese selbst keinen nennenswerten Energieverbrauch erzeugen.

Um die Effizienz eines Wärmerückgewinners zu prüfen, wären zusätzliche Messstellen in der Außenluft erforderlich. Diese werden häufig gebäudezentral gemessen oder durch den Deutschen Wetterdienst auch in Form von Datensätzen zur Verfügung gestellt. Insofern ist eine Ausstattung je Anlage nicht zwingend erforderlich.

Um die Effizienz von Ventilatoren zu bestimmen (Systemwirkungsgrad) wäre die Messung des Differenzdrucks zwischen Druckseite und Saugseite erforderlich. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wird eine passive Messstelle in Form von Stutzen und Druckschläuchen für ausreichend erachtet. Auf die Druckwandler, die Systemaufschaltung und die kontinuierliche Datenspeicherung könnte verzichtet werden, zumal veränderliche Drücke sich auch in einem veränderten Stromverbrauch widerspiegeln würden.

6.9.1.3.2 Energiezähler

Als Minimalausstattung wird ein Stromzähler vorgeschlagen, der die Verbräuche von Zuluft- und Abluftventilator gemeinsam misst. Eine rechnerische Aufteilung des gemessenen Verbrauches auf beide Ventilatoren wäre anhand der Volumenstrommessungen, gestützt durch Einmalmessungen von Stromaufnahme und Differenzdruck, mit hinreichender Genauigkeit möglich.

[52] Katalog-Preisliste 2018; Oppermann Regelgeräte

6.9.1.3.3 Anordnung der Mess- und Zähleinrichtungen

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Messstellen für Anlagen mit und ohne Luftbefeuchtung dargestellt. Dabei wurden in der Farbe Grün die „Sowieso-Sensoren“ dargestellt, die für die Betriebsweise der Anlage erforderlich sind und üblicherweise verbaut werden. Grau dargestellt sind die Messstellen für die Ventilator-Differenzdrücke, bei denen ein späterer Zugang für Handmessgeräte über Schläuche ausreichend ist.

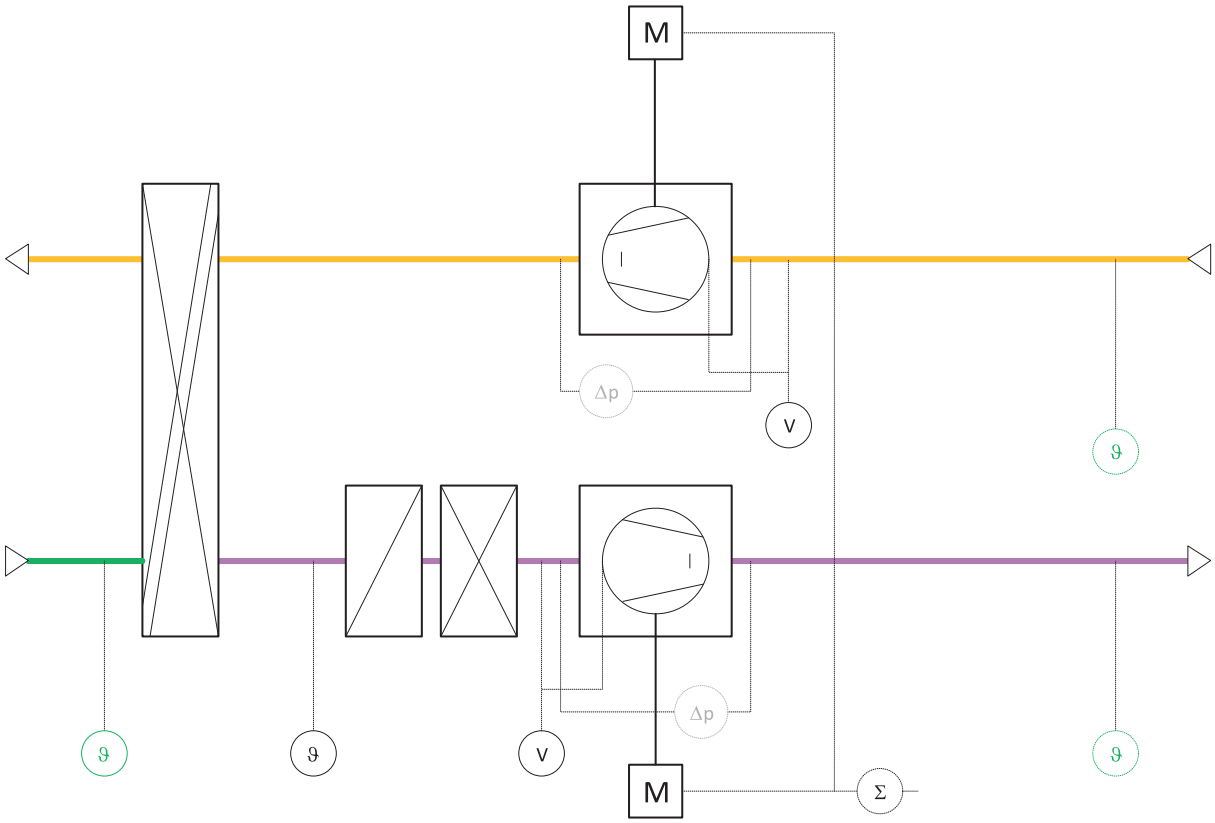


Abbildung 80: Schematische Darstellung der der Messstellen und Energiezähler bei Teilklimaanlagen (grün: sowieso vorhandene Sensoren, grau: nur Vorhaltung für Handmessungen)

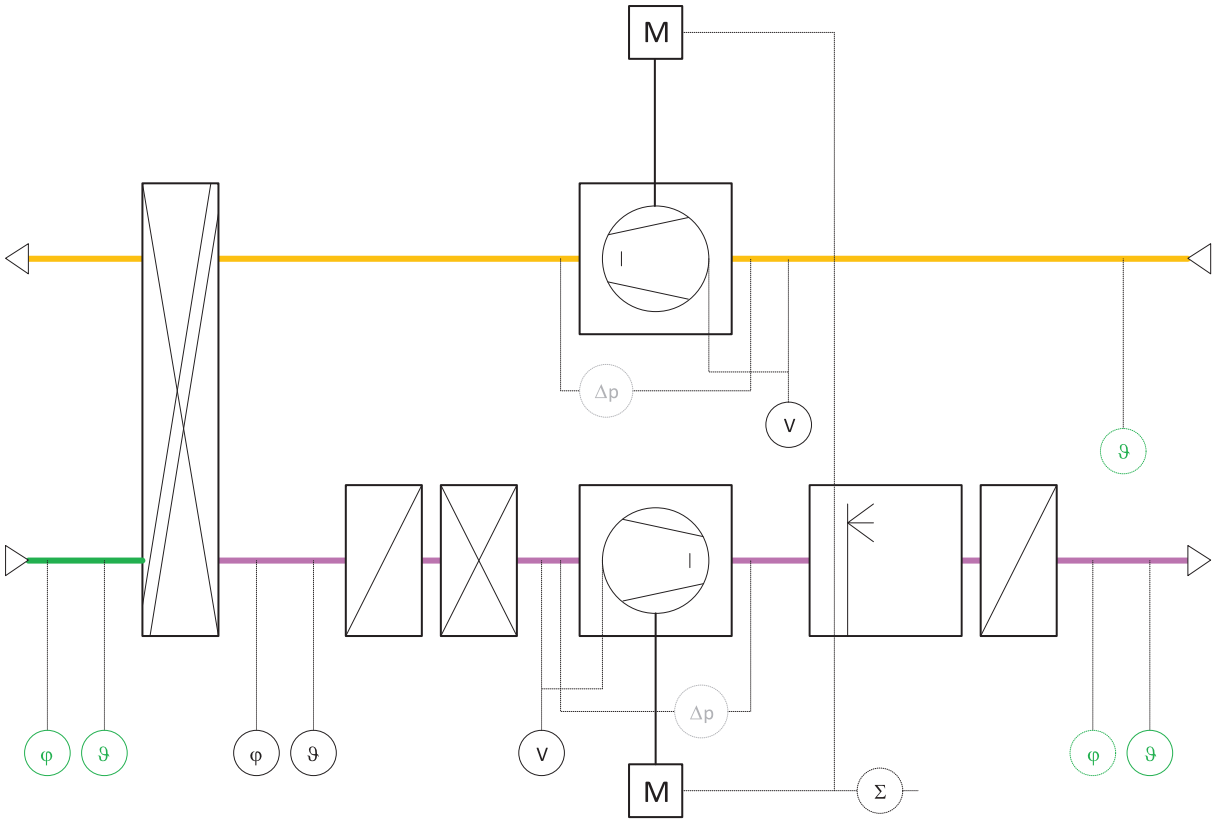


Abbildung 81: Schematische Darstellung der Messstellen und Energiezähler bei Klimaanlagen (grün: sowieso vorhandene Sensoren, grau: nur Vorhaltung für Handmessungen)

6.9.1.3.4 Datenspeicherung

Empfohlen wird die Speicherung der Daten über einen Zeitraum von 12 Monaten. Die Zeitschrittweite sollte mindestens eine Stunde, besser 15 Minuten betragen. Kürzere Zeitschrittweiten bringen keinen wesentlichen Erkenntnisgewinn, durch das vergrößerte Datenvolumen würde die Handhabung und Auswertung erschwert werden.

Raumlufttechnische Anlagen im Nichtwohngebäudebereich werden individuell geplant, hergestellt und installiert. Die Kombination unterschiedlicher Fabrikate für Zentralgeräte und Gebäudeautomation stellt den weit überwiegenden Regelfall dar. Komplettlösungen, bestehend aus Zentralgeräten und MSR sind bei den seltener anzutreffenden Seriengeräten wie Präzisionsklimaschränken anzutreffen. Das Energieeinspar-Potenzial beim Betriebsmonitoring beruht auf dieser Individualität und den daraus entstehenden Schnittstellen.

Bei den Kosten für die Datenspeicherung muss unterschieden werden zwischen Anlagen mit und ohne Aufschaltung auf eine Gebäudeleittechnik.

Gebäudeleittechnik vorhanden

Die Möglichkeit zur Trenddatenanalyse mit Speicherung, Visualisierung und Export der Daten ist Stand der Technik. Die Speicherung erfolgt über Datenbanken auf separaten Servern. Dadurch sind die Daten auch bei Ausfall der Automationsstationen weitgehend gesichert. Daher wären in diesem Fall keine Mehrkosten für die Datenspeicherung zu erwarten.

Gebäudeleittechnik nicht vorhanden

Die Automationsstationen verfügen zwar ebenfalls über interne Speicher zur Datenpufferung, allerdings sind diese nicht bei allen Fabrikaten ausreichend groß. Ebenso kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Daten bei Stromausfall wiederherstellbar sind, da die Trenddatenauswertung zu den Aufgaben der Managementebene gehört.

Denkbar wären zwei Lösungen:

- Separate Hardware zur Datenerfassung mit BUS-Ankopplung: In diesem Fall würde ein kleiner Datenserver über Schnittstellen zu den üblichen BUS-Systemen die Daten erfassen, speichern und über einen Netzwerkanschluss auslesbar machen. Denkbar wäre, dass ein Datenserver mehrere Anlagen ausliest und deren Daten speichert.
- Weiterentwicklung der Automationsstationen: Dazu müssten die Automationsstationen mit Speichermedien wie SD-Karten und der Möglichkeit zur Datenauslesung ausgestatten werden.

Das Problem bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung besteht darin, dass keine verfügbaren technischen Lösungen recherchiert werden konnten, die diese Funktionen preiswert erfüllten. Bestehende Lösungen wie Energiemanagementsysteme, die den notwendigen Funktionsumfang leisten können, wären für kleinere Gebäude, in denen z. B. nur eine Anlage betrieben wird, überdimensioniert und zu teuer. Sinnvoller erscheint die vorgenannte dezentrale Lösung, bei denen die Automationsdaten (Ein- und Ausgangssignale) innerhalb der Automationsstation bzw. einem preiswerten Erweiterungsmodul gespeichert werden. Die Kosten für eine solche noch zu entwickelnde Lösung zu schätzen ist problematisch. Speichermedien selbst, wie z. B. Festplatten oder SD-Karten, sind Massenartikel, allerdings handelt es sich hier um einen deutlich kleineren Markt. Um dennoch zu einer Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung zu kommen, wird der Preis für die Datenspeicherung je Anlage auf ca. 500 EUR geschätzt.

6.9.1.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

6.9.1.4.1 Statische Amortisationszeiträume

Mit den Kostenannahmen aus Abschnitt 6.9.1.3 und den Basis-Energiekosten aus Abschnitt 6.9.1.2 wurde die Wirtschaftlichkeit des Vorschlags über eine statische Amortisationsberechnung abgeschätzt.

Das durch Monitoring erzielbare Energieeinsparpotenzial wird auf 8 % eingeschätzt. Die Ergebnisse der Musterberechnung für eine Anlagengröße von 4.000 m³/h ist Abbildung 82 zu entnehmen. Dabei wurde die Anlagengröße von 4.000 m³/ an den § 15 der EnEV angelehnt. Die Anlagengröße würde in etwa auch den mindestens 12 kW für die Inspektionsgrenze nach § 12 entsprechen.

Nicht betrachtet wurden die Personalkosten für das Monitoring, da einerseits die Klimaanlageninspektion eine gesetzliche Verpflichtung darstellt, andererseits eine verbesserte Datenbereitstellung das Monitoring vereinfachen würde und auf Basis einer genormten Datenerfassung auch automatisierte Auswerteroutinen denkbar wären.

Im Ergebnis stellt sich eine statische Amortisationszeit je nach Variante zwischen 7 und 14 Jahren ein. Dabei ist der Unterschied zwischen Variabel- und Konstantvolumenstrom-Anlage dominierend.

		Lüftungsanlage Heizen		Teilklimaanlage Heizen/Kühlen		Klimaanlage Heizen/Befeuchten/Kühlen	
Volumenstrom	[m³/h]	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Betriebstage	[d/a]	250	250	250	250	250	250
Betriebsstunden	[h/a]	13	13	13	13	13	13
Volumenstromregelung		KVS	VVS	KVS	VVS	KVS	VVS
Auslastungsfaktor	[-]	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75
Energiekosten	[EUR]	2.381 €	1.542 €	3.039 €	2.036 €	3.863 €	2.653 €
Energiekosten, spezifisch	[EUR/(m³/h)]	0,60	0,39	0,76	0,51	0,97	0,66
Anteil Wärme	[%]	9%	10%	7%	8%	26%	29%
Anteil Kälte	[%]	0%	0%	22%	24%	18%	19%
Anteil Strom	[%]	91%	90%	71%	68%	56%	52%
Zugrunde gelegtes Einsparpotenzial		8%	8%	8%	8%	8%	8%
Stromzähler	[EUR]	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €
Temperatursensor	[EUR]	100 €	100 €	100 €	100 €	100 €	100 €
Feuchtesensor	[EUR]	- €	- €	- €	- €	200 €	200 €
2 x Volumenstrom-Messeinrichtung	[EUR]	460 €	460 €	460 €	460 €	460 €	460 €
2 x Differenzdruck-Messstelle	[EUR]	30 €	30 €	30 €	30 €	30 €	30 €
Zwischensumme	[EUR]	790 €	790 €	790 €	790 €	990 €	990 €
Datenpunkte	[-]	3	3	3	3	5	5
Kosten je Datenpunkt (I/O-Module, Verkabelung,	[EUR/DP]	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €
Schaltschrank, Programmierung)	[EUR]	450 €	450 €	450 €	450 €	750 €	750 €
Speichermodul	[EUR]	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €
Gesamtkosten	[EUR]	1.740 €	1.740 €	1.740 €	1.740 €	2.240 €	2.240 €
Statische Amortisationszeit	[a]	9	14	7	11	7	11

Abbildung 82: Berechnungen der statischen Amortisationszeiten einer Monitoringausstattung für unterschiedliche Anlagentypen

6.9.1.4.2 Mögliche Effekte zur Kostensenkungen

Generell gilt, dass bei sehr hochwertigen und gut ausgestatten Anlagen die beschriebenen teilweise oder vollständig vorhanden sind. Dies betrifft insbesondere die Anlagen, die mit hohen Luftvolumenströmen und langen Laufzeiten betrieben werden, z. B. in Forschungseinrichtungen, Krankenhäusern usw.

Die Volumenstrommesseinrichtungen können die Funktion der Ventilator-Laufüberwachung übernehmen. Dabei handelt es sich um aktive Rückmeldungen über Differenzdrucksignale, die häufig dann eingesetzt werden, wenn die Anlagen räumlich weit entfernt sind und / oder sensible Funktionen übernehmen. Für die Laufüberwachung ist es unerheblich, ob die Druckdifferenz oder der Volumenstrom überwacht wird, so dass hier keine Mehrkosten entstünden.

Wirkleistungsmessungen sind häufig in Frequenzumrichter integriert. Wenn diese Frequenzumrichter zur Ventilatorsteuerung eingesetzt würden, könnte auf zusätzliche Stromzähler verzichtet werden.

6.9.1.4.3 Empfehlung für die Mindest-Anlagengröße

Die Kosten für die Sensorik und Datenspeicherung ist unabhängig von der Anlagengröße. Die Energiekosten steigen proportional zu Volumenstrom, so dass durch Vorgabe einer Mindestgröße die Wirtschaftlichkeit maßgebend beeinflusst wird.

Vorgeschlagen wird daher, die Anlagen-Mindestgröße von 4.000 m³/h entsprechend des bestehenden § 15 beizubehalten.

6.9.1.5 Zusammenfassung und Formulierungsvorschlag für RLT-Anlagen

Der Vorschlag für eine wirtschaftliche Anlagenausstattung als Grundlage eines Betriebsmonitorings lautet zusammengefasst wie folgt.

- Betroffen sind raumlufttechnische Anlagen mit einem Mindestvolumenstrom von 4.000 m³/h.
- Derartige Anlagen müssen mit mindestens einem Stromzähler ausgestattet werden, über den der Stromverbrauch von Zuluft- und Abluftventilator gemessen wird.
- Ventilatoren derartiger Anlagen müssen mit Einrichtungen für kontinuierliche Messungen des Luftvolumenstroms ausgestattet werden. Weiterhin müssen Vorrichtungen für eine manuelle Messung der statischen Druckerhöhung vorhanden sein.
- Weitere Messstellen sollen kontinuierlich die zuluftseitige Enthalpiedifferenz über Energierückgewinnungseinrichtungen und über die gesamte energetische Zuluftkonditionierung bis zum Geräteaustritt berechenbar machen. Weiterhin muss die Enthalpiedifferenz zwischen Abluftzustand und Zuluftzustand an den Gerätegrenzen abgeleitet werden können. Erfolgt keine Luftbefeuchtung, können die Enthalpiedifferenzen näherungsweise über Temperaturmesswerte gebildet werden. Stehen Außenklimadaten aus anderen Quellen für den Standort zur Verfügung, ist eine Übertragung für diese Daten ausreichend.
- Alle vorgenannten Messwerte müssen für einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten bei einer Zeitschrittweite von maximal einer Stunde archiviert werden. Ein Datenexport über genormte universelle Schnittstellen in einem Standardformat wie CSV muss möglich sein.

Im Zusammenhang mit der Ökodesign-Richtlinie sollte geprüft werden, wie mit der Tatsache umgegangen wird, dass Hersteller des Lüftungsgerätes und Hersteller der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik häufig nicht identisch sind. Die vorbeschriebenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen basieren darauf, dass Regelungskomponenten für das Monitoring genutzt werden und somit doppelte Installationen vermieden werden. Dadurch würde der Anlagenerrichter stärker in die Verantwortung für die Umsetzung der Richtlinie rücken und die Vollzugsprüfung von der Produktion hin zum Gebäude verlagert werden.

6.9.2 Betriebsüberwachung bei Kälteanlagen

6.9.2.1 Ausgangssituation

Von EU 2016/2281 sind luft- und wassergekühlte Kaltwassersätze für die Klimakälteanwendung (Kühlungsprodukte) betroffen. Für Kaltwassersätze gelten ab einer Grenze von 400 kW höhere Mindestanforderungen. Für direktverdampfende Systeme wie Multisplit- und VRF-Anlagen sind herstellerseitig messtechnische Nachweise an der Außeneinheit gefordert.

Im Sinne der Prüfnorm DIN EN 14825 muss die Ermittlung der Jahresarbeitszahlen und Raumkühlungsnutzungsgrade durch den Hersteller für 4 verschiedene Teillastverhältnisse erfolgen, die anschließend mit verschiedenen Häufigkeiten gewichtet werden. Die Messwerte der 4 Einzelpunkte werden durch die Hersteller in der Regel nicht öffentlich publiziert oder nur als Marketinginstrument für besonders effiziente Technologien verwendet.

Die Effizienz der Kälteerzeugungsanlage ist im Betrieb (außerhalb des Nennlastbereiches) neben den Systemtemperaturen vor allem von der Teillastregelart des Verdichters abhängig. Diese weicht bei Teillast oft sehr stark vom Auslegungspunkt (Nennleistungspunkt) ab. Sie kann dabei höher (z. B. bei invertergeregelten Systemen) oder niedriger (z. B. bei bypassgeregelten Systemen) als bei Nennleistung sein. Für die Effizienzbewertung anhand von Messwerten ist neben den Systemtemperaturen daher vor allem die Kenntnis des jeweiligen Belastungsgrades (Teillastpunktes) der Kältemaschine erforderlich.

Energieeinsparungen an Kälteanlagen werden in der Regel nicht durch Komponentenänderungen/ -tausch sondern durch Betriebsoptimierungen erreicht[53] (Anhebung der Kaltwassertemperaturen, Verbesserung der Kühlwasserregelung). Für das Feststellen dieser Maßnahmen ist keine Leistungsmessung der Verdichterwirkleistung erforderlich. Temperaturanzeigen sind an angeschlossenen hydraulischen Kreisen in der Regel vorhanden.

6.9.2.2 Quantifizierung der Energieanteile

Die Einsparungen an Kältearbeit durch Verbesserungen am Übergabesystem (z. B. RLT-Anlage) sind im RLT-Teil bereits enthalten. Durch eine Betriebsüberwachung der Kälteanlage kann also nur noch ein zusätzlicher Effizienzgewinn am Erzeuger (niedriger SEER) zusätzliche Einsparungen generieren. Die Einsparungen durch Effizienzverbesserung betreffen neben der Erzeugung auch die Rückkühlung, nicht aber die Kälteverteilung, da keine Lastreduzierung erfolgt.

6.9.2.3 Vorschlag für die technische Ausstattung

6.9.2.3.1 Energiezähler

Grundsätzlich ist für eine belastbare Effizienzaussage eine gemeinsame Zählung von Wirkleistung und Kälteleistung erforderlich (siehe Abschnitt 6.9.2.1). Eine ausschließliche Zählung der Wirkleistung allein wird nicht empfohlen, da dieser Wert ohne Kenntnis des dazugehörigen Betriebspunktes nicht aussagekräftig ist. Die Stromzählung kann über konventionelle Wirkenergiezähler erfolgen. Für die Kälteleistungsmessung wird ein Kältemengenzähler benötigt, der neben den Kaltwassermassestrom auch die Kaltwasservorlauf- und -rücklauftemperatur separat erfasst und über ein Rechenwerk unter Verwendung der Stoffdaten in eine Kälteleistung umrechnet und die Energiemengen kumuliert.

Kältemengenzähler unterliegen Bauartzulassungen. Für den Einsatz in Kaltwassersystemen wird der Einsatz von Magnetisch-Induktiven Zählern (MID) empfohlen, um eine hohe Messgenauigkeit auch im niedrigen Temperaturbereich um 4…6 °C zu erreichen.

Der Energieanteil für Rückkühlung und Kälteverteilung ist im Vergleich zur Kälteerzeugung gering und rechtfertigt keine separaten Messungen.

6.9.2.3.2 Datenspeicherung

Empfohlen wird die Speicherung der Daten über einen Zeitraum von 12 Monaten. Die Zeitschrittweite sollte mindestens eine Stunde, besser 15 Minuten betragen. Kürzere Zeitschrittweiten bringen keinen

[53] Schiller, Mai, Händel: „Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche“; 2013

wesentlichen Erkenntnisgewinn, durch das vergrößerte Datenvolumen würde die Handhabung und Auswertung erschwert werden.

6.9.2.3.3 Weitere Messgrößen

Die Kaltwassertemperatur ist in der Regel eine fest eingestellte Regelgröße und muss nicht separat gemessen und historisiert werden, da nur das grundsätzliche Niveau über die Effizienz der Erzeugung entscheidet. An den meisten Anlagen sind Anzeigeinstrumente vorhanden.

Die Art der Regelung im Kühlwasserkreis (Drosselung oder Beimischung) entscheidet über die Kühlwassereintrittstemperatur in die Kältemaschine. Zur grundsätzlichen Einschätzung des prinzipiellen Temperaturniveaus ist auch dafür keine zusätzliche Messung erforderlich.

Messstellen für Hoch- und Niederdruck sind für Servicezwecke und Dichtheitsprüfungen an Kälteanlagen standardmäßig vorhanden, erfordern aber den Nachweis der Sachkunde für Arbeiten an Kältemittelkreisläufen. Das erschwert die Informationsbeschaffung z. B. im Rahmen der Energetischen Inspektion, da Inspekteure (vorwiegend TGA-Ingenieure) diesen Sachkundenachweis in der Regel nicht besitzen. Über die gemessenen Drücke können die inneren Systemtemperaturen (Verdampfungstemperatur und Kondensationstemperatur) ermittelt werden. Bei ungewöhnlich hoher oder niedriger Drucklage können Unregelmäßigkeiten im System vorliegen, die mit Effizienzverlusten einhergehen (z. B. durch Verschmutzungen der Wärmeübertrager, Undichtheiten). Wünschenswert wäre es daher, wenn die Systemdrücke als analoge Ausgangssignale an einer definierten Schnittstelle an der Kältemaschine durch den Hersteller bereitgestellt werden würden. Die erforderlichen Druckmesseinrichtungen sind für den Hersteller sehr kostengünstig verfügbar und wirtschaftlich umsetzbar.

In der Regel wird der Betrieb des Verdichters maschinenintern überwacht. Die Bereitstellung dieser Information durch die Hersteller als Betriebsmeldung ist jedoch nicht generell gegeben. Aus der Betriebsmeldung können wichtige Informationen wie Betriebszeiten und Taktbetrieb gewonnen werden. Es wäre daher darüber hinaus auch wünschenswert, wenn die Betriebsmeldung als digitales Ausgangssignal (potenzialfreier Kontakt) an einer definierten Schnittstelle an der Kältemaschine durch den Hersteller bereitgestellt werden würde.

Als Anlagengröße für die Verpflichtung zur Bereitstellung der Systemdrücke und Betriebsmeldungen an der Herstellerschnittstelle erscheint in Anlehnung an EnEV § 12 eine Mindestleistung von 12 kW sinnvoll.

6.9.2.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Das durch Monitoring erzielbare Energieeinsparpotenzial wird auf 8 % eingeschätzt. Die Kosten für die Energiezähler wurden aktuellen Ausschreibungsergebnissen aus eigenen Bauvorhaben entnommen. Nicht betrachtet wurden die Personalkosten für das Monitoring, da einerseits die Klimaanlageninspektion eine gesetzliche Verpflichtung darstellt, andererseits eine verbesserte Datenbereitstellung das Monitoring vereinfachen würde und auf Basis einer genormten Datenerfassung auch automatisierte Auswerteroutinen denkbar wären.

Abbildung 83 zeigt die statischen Amortisationszeiten für die messtechnische Ausstattung von Kälteanlagen eines Bürogebäudes mit Kältemengen- und Stromzählern und Datenspeicher. Die Ergebnisse der Musterberechnung wurden für verschiedene Anlagengrößen von 100 kW bis 1500 kW durchgeführt. Dabei wurde die Anlagengröße von 400 kW an die Leistungsgrenze der EU-Verordnung EU 2281/2016 angelehnt, ab welcher verschärfte Mindestanforderungen an der Mindestenergieeffizienz gelten.

Nennleistung	**kW**	**100**	**200**	**400**	**1.500**
Vollbenutzungsstunden Büro	h/a	400	400	400	400
Kältearbeit	kWh/a	40.000	80.000	160.000	600.000
Jahresarbeitszahl SEER_IST		3,5	4,0	4,5	5,0
Effizienzsteigerung	%	8,0	8,0	8,0	8,0
Jahresarbeitszahl SEER_OPT		3,8	4,3	4,9	5,4
Elektroenergieverbrauchsreduzierung	kWh/a	847	1.481	2.634	8.889
Strompreis	EUR/kWh	0,20	0,20	0,20	0,20
Kosteneinsparung	**EUR/a**	**169**	**296**	**527**	**1.778**
MID-Kältemengenzähler	EUR	1.500	1.700	2.000	2.500
Stromzähler	EUR	200	200	200	200
2 Datenpunkte je 150,-	EUR	300	300	300	300
Speichermodul	EUR	500	500	500	500
Gesamtkosten	**EUR**	**2.500**	**2.700**	**3.000**	**3.500**
statische Amortisationszeit	**a**	**14,8**	**9,1**	**5,7**	**2,0**

Abbildung 83: Wirtschaftlichkeitsbewertung der Zählerausstattung von Kälteanlagen

Im Ergebnis stellt sich eine statische Amortisationszeit je nach Variante zwischen 2 und 15 Jahren ein. Dabei ist der Einfluss der Anlagengröße (Nennkälteleistung) dominierend. Wirtschaftliche Amortisationszeiträume sind erst ab einer Anlagengröße von 400 kW erreichbar. Vorgeschlagen wird daher, die Anlagen-Mindestgröße von 400 kW für die Einführung einer Zählerpflicht an die bestehenden Grenzen der EU 2281/2016 zu koppeln.

6.9.2.5 Zusammenfassung und Formulierungsvorschlag für Kälteanlagen

Der Vorschlag für eine wirtschaftliche Anlagenausstattung als Grundlage eines Betriebsmonitorings von Kälteanlagen lautet zusammengefasst wie folgt.

- Kälteanlagen mit einer Mindestgröße von 12 kW Nennkälteleistung müssen an einer definierten Schnittstelle analoge Ausgangssignale für den Verdampfungsdruck und den Kondensationsdruck kontinuierlich bereitstellen.
- Kälteanlagen mit einer Mindestgröße von 12 kW Nennkälteleistung müssen an einer definierten Schnittstelle ein digitales Ausgangssignal für die Betriebsmeldung des Verdichters kontinuierlich bereitstellen.
- Kälteanlagenanlagen mit einer Mindestgröße von 400 kW Nennkälteleistung müssen mit mindestens einem Stromzähler und einem Kältemengenzähler ausgestattet werden. Die Messwerte müssen für einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten bei einer Zeitschrittweite von maximal einer Stunde archiviert werden. Ein Datenexport über genormte universelle Schnittstellen in einem Standardformat wie CSV muss möglich sein.

7 QUELLENVERZEICHNIS

Adnot, Jérôme; Riviere, P.; Marchio, D.; Becirspahic, S.; Lopes, C.; Blanco, I. et al. (2003): *Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC) (*France, 19.03.2012).

Beck, E. (2000): *Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüfungsanalagen*. Dissertation. Universität Kassel.

Bettgenhäuser, Kjell; Boermans, Thomas; Offermann, Markus; Krechting, Anja; Becker, Daniel (2011): *Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes*. ECOFYS. Dessau-Roßlau.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2013): *Arbeitsmarktprognose 2030. Eine strategische Vorausschau auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage in Deutschland*.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2015a): *Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2015b): *Zweiter Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. 2. EEWärmeG - Erfahrungsberich*t.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2017): *Kurzexpertise Bewertung der Einsparwirkung des neuen NAPE-"Maßnahmenpakets Klima/Lüftung". Unveröffentlicht*.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018): *Kurzgutachten zur Aktualisierung und Fortschreibung der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sowie zu Flexibilisierungsoptionen. Unveröffentlicht*.

Bürger, Veit; Hermann, Andreas; Keimeyer, Friedhelm; Brunn, Christoph; Haus, David; Menge, Joanna; Klinski, Stefan (2013): *Konzepte für die Beseitigung rechtlicher Hemmnisse des Klimaschutzes im Gebäudebereich. Unmweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*. Umweltbundesamt, Öko-Institut e.V., Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin. Dessau-Roßlau.

Bürger, Veit; Hesse, Tilman; Quack, Dietlinde; Palzer, Andreas; Köhler, Benjamin; Herkel, Sebastian; Engelmann, Peter (2016): *Klimaneutraler Gebäudebestand 2050*. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Edited by UBA. Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISE. Dessau-Roßlau.

CCI Zeitung (2017): *Neuer Schub durch neue EPBD?*, 2017.

CCI Zeitung (2018): *Lüftung läuft, Wasser mau. Heft 05/18* (2018).

Clausnitzer, Klaus-Dieter; Fette, Max; Gabriel, Jürgen (2011): *Evaluation der KfW-Prgramme „KfW-Kommunalkredit – Energetische Gebäudesanierung". „Energieeffizient Sanieren - Kommunen" und „Sozial investieren - Energetische Gebäudesanierung" der Jahre 2007 bis 2010*.

Clausnitzer, Klaus-Dieter; Gabriel, Jürgen; Fette, Max (2015): *Wirkungen von Förderprogrammen der KfW im Bereich Nichtwohngebäude der Förderjahre 2011 bis 2014. Im Auftrag der KfW Bankengruppe*. Fraunhofer IFAM. Bremen.

Deilmann, Clemens; Behnisch, Martin; Dirlich, Stefan; Gruhler, Karin; Hagemann, Ulrike; Petereit, Raph et al. (2013): *Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO2-Minderungspotenzialen. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013*. Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: *DIN SPEC 15240 Energetische Inspektion von Klimaanlagen*.

DIN V 18599-3 (2011): „Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Be-leuchtung - Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung“; Beuth-Verlag, Berlin 2011

DIN V 18599-6 (2016): „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau“; Beuth-Verlag, Berlin 2016

DIN V 18599-7 (2011): „Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Be-leuchtung - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakälte¬systemen für den Nichtwohnungsbau“; Beuth-Verlag, Berlin 2011

DIN V 18599-10 (2011): „Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Be-leuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten“; Beuth-Verlag, Berlin 2011

ECOFYS; Waide Strategic Efficiency; Öko-Institut e.V. (2014): *Evaluation of the Energy Labelling Directive. and specific aspects of the Ecodesign Directive*.

EnEV 2013: *Energieeinsparverordnung*.

Eurovent (2018): *Rating Standard for the Certification of Liquid Chilling Packages. RS 6/c/003-2018 rev1.*

Grözinger, Jan; Petersdorff, Carsten; Dinges, Katja; Nabe, Christian (2015): *Die Rolle von Submetering im Kontext von Energieeffizienz und Smart Meter Rollout. Studie im Auftrag der ista Deutschland GmbH*. Ecofys Germany GmbH. Köln.

IGS TU Braunschweig (2016)*: Monitoring für Bundesbauten. Abschlussbericht. IGS TU Braunschweig, SIZ EGS, SIZ energie+. Braunschweig, Stuttgart.*

IWU Institut Wohnen und Umwelt; Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (Fraunhofer IFAM) (2014): *Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2013*.

JARN, Studie (2012): *Zusammenfassung JARN-Studie 2006-2012* (2012).

Kaup, C. (2009): *Potenzial der Wärmerückgewinnung* (2009).

Kaup, C. (2012): *Erweiterung der Studie zur Energieeffizienz von raumlufttechnischen Geräten* (2012).

Kröling (1985): *Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden: Vergleichende Untersuchung zum "buildingillness"-Syndrom*. München.

Mai, Michael; Gruber, Edelgard; Holländer, Edith; Roser, Annette; Gerspacher, Andreas; Fleiter, Tobias et al. (2014): *Evaluation des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“. Schlussbericht*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. IREES, Fraunhofer ISI. Karlsruhe.

Naturschutzbund (NABU) (2012): *Gut beraten sanieren. Leitfaden für den Aufbau regionaler Netzwerke*. Berlin.

Offermann, Markus; Manteuffel, Bernhard von; Blume, Julia; Kühler, Daniel (2016): *Klimaschonende Klimatisierung (Heizen und Kühlen) mit natürlichen Kältemitteln – Konzepte für Nichtwohngebäude mit Serverräumen/Rechenzentren*. UBA.

Ökoinstitut (2016): *Nationale Einsparungen durch Öko-Design- und Energiekennzeichnungs-Verordnungen bei Lüftungsanlagen*.

RLT-RICHTLINIE 01 (2018): Allgemeine Anforderungen an Raumlufttechnische Geräte; Herstellerverband Raumlufttechnische Geräte e. V.
http://www.rlt-geraete.de/joomla/images/RLT-01_Richtlinie/RLT_01_Richtlinie_DE.pdf

Schiller, Heiko; Mai, Ronny; Händel, Claus (2014): *Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben BBSR AZ II 3-F20-11-1-165*. With assistance of Forschungsinitiative ZukunftBau. Stuttgart.

Schlomann, Barbara; Dütschke, Elisabeth; Gigli, Michaela; Steinbach, Jan; Kleeberger, Heinrich; Geiger, Bernd et al. (2011): *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010*. In German (Germany, 2012-02-25).

Thamling, Nils; Pehnt, Martin; Kirchner, Joachim (2015): *Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude*. IWU, ifeu, Prognos AG. Berlin, Heidelberg, Darmstadt.

Thamling, Nils; Weinert, Karsten; Hoch, Markus (2014): *Ermittlung der Förderwirkungen des KfW - Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012. Endbericht*. Im Auftrag der KfW Bankengruppe. Prognos AG. Berlin.

Weiß, Uta (2016): *Instrumente zur Hebung von Einsparpotenzialen bei Klima- und Lüftungsanlagen (unveröffentlicht)*.