

Heiko Schiller, Ronny Mai, Claus Händel

# **Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche**

F 2888

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9180-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

Fachbericht  
ILK-B-31-13-3819  
13.03.2013  
Seitenzahl 256

## Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben

### „Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche“

Dipl.-Ing. Heiko Schiller

Dipl.-Ing. Ronny Mai

Dipl.-Ing. Claus Händel

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.  
(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-12.09)  
Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Markt-, Investitions- und Energieeinsparpotentiale der Energetischen Inspektion</b>	<b>9</b>
1.1 Marktpotentiale	9
1.1.1 Allgemeines	9
1.1.2 Bestand von Nichtwohngebäuden	10
1.1.3 Marktdaten RLT-Zentralgeräte	16
1.1.4 Marktdaten Kältemaschinen	19
1.1.5 Betrachtung von Nutzungsarten	22
1.1.6 Ergebnisse der Marktabfrage	24
1.1.7 Fazit	29
1.2 Auswertung durchgeführter Inspektionsergebnisse und realisierter Maßnahmen	32
1.2.1 Ergebnisse der Marktabfrage im Bereich RLT-Technik	32
1.2.1.1 Struktur des Bestandes von RLT-Anlagen	32
1.2.1.2 Energierückgewinnung	34
1.2.1.3 Ventilatoreffizienz	38
1.2.1.4 Sanierungsempfehlungen	47
1.2.2 Ergebnisse der Marktabfrage im Bereich Kältetechnik	54
1.2.2.1 Baualter	54
1.2.2.2 Leistungszahl, Teilkennwert	54
1.2.2.3 Art der Teillastregelung	56
1.2.2.4 Art der Rückkühlung	56
1.2.2.5 Sanierungsempfehlungen	57
1.2.2.6 Stand der Realisierung der Sanierungsempfehlungen	58
1.2.3 Abschätzung der Energieeinsparpotenziale und Extrapolation auf den Gebäudebestand	60
1.2.3.1 Potenzial Raumluftechnik	60
1.2.3.2 Potenzial Kältetechnik	67
1.3 Fazit	72

<b>2. Maßnahmenkataloge zum Inspektionsumfang und Stufenpläne für wirtschaftliche Sanierungsverpflichtungen</b>	<b>76</b>
2.1 Maßnahmenkataloge für unabhängige Kontrollsysteme (Zertifizierungssysteme)	76
2.1.1 Allgemeines	76
2.1.2 Typen von Klimaanlage	76
2.1.3 Inhalte der Energetischen Inspektion von Klimaanlage	78
2.1.4 Fachkunde der zur Energetischen Inspektion berechtigten Personen	81
2.1.4.1 Qualifizierung für die Energetische Inspektion Stufe A	81
2.1.4.2 Qualifizierung für die Energetische Inspektion Stufe B	82
2.1.5 Anforderungen und Inhalte der Qualifizierung für die Energetische Inspektion	83
2.1.5.1 Verordnungsrechtliche Grundlagen zur Energetischen Inspektion	83
2.1.5.2 Inspektionsvorbereitung	83
2.1.5.3 Zonen und Gebäudeparameter	83
2.1.5.4 Klima- und Behaglichkeitsparameter	84
2.1.5.5 Abschätzung von Kühllasten	84
2.1.5.6 Beurteilung von Lüftungs- und Klimaanlage	84
2.1.5.7 Beurteilung der Kälteerzeugung	84
2.1.5.8 Kühl und Kaltwasserverteilung	85
2.1.5.9 Luftverteilung	85
2.1.5.10 Automatisierung und Regelung	85
2.1.5.11 Vergleichskennzahlen	85
2.1.5.12 Messtechnik	85
2.1.5.13 Grundlagen der Beurteilung von Modernisierungsempfehlungen	85
2.1.6 Listen qualifizierter Personen	85
2.1.7 Vollzug und Überprüfung der Energetischen Inspektion	86
2.1.7.1 Überprüfung der Berichte – Inspektionsergebnisse	87
2.2 Stufenpläne für wirtschaftliche Sanierungsanforderungen	88
2.2.1 Allgemeines	88
2.2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen	89
2.2.2.1 Berechnungsgrundlagen	89
2.2.2.2 Sanierung Luftfördersystem	91
2.2.2.3 Nachrüstung Wärmerückgewinnung	99
2.2.2.4 Erneuerung Gesamtsystem	105

<b>3. Ableitung von praxisgerechten Inspektionsmethoden und Verbesserung der verfügbaren Inspektionswerkzeuge</b>	<b>110</b>
3.1 Standortbasierte Bewertung von RLT- und Kältesystemen	110
3.1.1 Allgemeines	110
3.1.2 Wetterdaten	110
3.1.3 Auswirkungen auf den Nutzenergiebedarf RLT	112
3.1.4 Auswirkungen auf den Teilkennwert Raumluftechnik	113
3.1.5 Verfahren zur Berücksichtigung der Standortabhängigkeit	115
3.1.6 Auswirkungen auf die Erzeugereffizienz Kältetechnik	127
3.1.6.1 Einfluss von mikroklimatischen Effekten	132
3.2 Energetische Bewertung von RLT- und Kältesystemen anhand von Produktkennwerten	141
3.2.1 Allgemeines	141
3.2.2 Anforderungen an Berechnungsverfahren zur Effizienzbewertung	141
3.2.2.1 Kennwertverfahren	141
3.2.2.2 Belastungsgradverfahren	142
3.2.3 Produktkennwerte für RLT-Anlagen	144
3.2.3.1 Energieeffizienzlabel RLT-Gerät	144
3.2.4 Produktkennwerte für Kälteanlagen	148
3.2.4.1 Berechnungsrandbedingungen	148
3.2.4.2 Vergleich mit nationalen Energiekennwerten	152
3.2.4.3 Umrechnungsverfahren	154
3.3 Kurzverfahren zur Prüfung der Anlagendimensionierung	158
3.3.1 Allgemeines	158
3.3.2 Gesamtkühlleistung	158
3.3.3 Kühlleistung der thermischen Luftaufbereitung	159
3.3.4 Gebäudekühlleistung	159
3.3.4.1 Statische Verfahren	160
3.3.4.2 Benchmarkverfahren	161
3.3.4.3 Kurzverfahren nach VDI 2078 (1996) [34]	162
3.3.4.4 (EDV-)Verfahren nach VDI 2078	162
3.3.4.5 Abschätzverfahren nach VDI 2078 (Entwurf März 2012)	163
3.3.4.6 Vorschlag für ein Verfahren zur Abschätzung der Gebäudekühlleistung	173

<b>4. Schnittstellen zur nationalen und europäischen Normung</b>	<b>175</b>
4.1 Stand der Normung	175
4.2 Überführung der Forschungsergebnisse in die DIN SPEC 15240	178
4.3 Europäische normative Rahmenbedingungen	179
4.4 Handlungsempfehlungen für die Überarbeitung der Inspektionsnormen EN 15239 und EN 15240 im CEN TC 156	185
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>190</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtdarstellung und Mittelwertbildung der Flächenangaben für Nichtwohngebäude, extrapoliert auf das Bezugsjahr 2012 (Industrieanteil für GHD 2009 korrigiert)	15
Abbildung 3: Schätzung des installierten Luftvolumenstroms nach [10] für Gebäude mit hohem Klimatisierungsgrad	22
Abbildung 4: Anzahl aller inspizierten Nutzungsarten [Gebäudeanzahl] aus der 1. Marktabfrage	25
Abbildung 5: Anzahl aller inspizierten RLT-Anlagen je Nutzungsart [Anlagenanzahl] aus der 1. Marktabfrage	26
Abbildung 6: Gesamtluftvolumenstrom aller inspizierten RLT-Anlagen je Nutzungsart [m <sup>3</sup> /h]	27
Abbildung 7: Gesamtkälteleistung aller inspizierten RLT-Anlagen je Nutzungsart [kW]	27
Abbildung 8: Verwendete Hilfsmittel bei der Energetischen Inspektion	28
Abbildung 9: Abschätzung der Stückzahlen von installierten RLT-Anlagen für 2012 nach verschiedenen Methoden	30
Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung für das Baualter der inspizierten Klimaanlage aus der Marktumfrage	34
Abbildung 11: Verteilung der Energierückgewinnungssysteme – volumenstromgewichtet	35
Abbildung 12: Verteilung der Anteile der Energierückgewinnungssysteme nach Baualtersklassen – ungewichtet	37
Abbildung 13: Verteilung der Anteile der Energierückgewinnungssysteme nach Baualtersklassen - volumenstromgewichtet	38
Abbildung 14: SFP-Werte in Abhängigkeit des Anlagen-Baualters	40
Abbildung 15: SFP-Werte in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms	41
Abbildung 16: Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit des Baualters	42
Abbildung 17: Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms	43
Abbildung 18: Mittlere Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit der Bauart	44
Abbildung 19: Mittlere Gesamt-Druckerhöhungen nach Baualtersklassen	45
Abbildung 20: Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit der Gesamtdruckerhöhung	46
Abbildung 21: statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen nach Kategorien (RLT) – ungewichtete Häufigkeiten	48
Abbildung 22: statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen nach Kategorien (RLT) – volumenstromgewichtete Häufigkeiten	49
Abbildung 23: Auswirkung der Empfehlung „Luftvolumenstrom reduzieren“ auf den Gesamtvolumenstrom	50
Abbildung 24: Volumenstromanteile der Empfehlung „Wärmerückgewinner nachrüsten“	52
Abbildung 25: Volumenstromanteile der Empfehlung „Wärmerückgewinner verbessern“	52
Abbildung 26: Häufigkeit (volumenstromgewichtet) der Empfehlungen „grundsätzliche Systemänderung“ oder „Rückbau / Alternativlösung“	53
Abbildung 27: Nennleistungszahlen EER in Abhängigkeit vom Baujahr (l.) und Nennleistung (r.)	55
Abbildung 28: statistische Verteilung der eingesetzten Teillastregelarten	56

Abbildung 29: statistische Verteilung der eingesetzten Rückkühlerarten	57
Abbildung 30: statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen nach Kategorien (Kältetechnik)	58
Abbildung 31: statistische Verteilung der Realisierungsquote im Bereich Kältetechnik	59
Abbildung 32: Abschätzung des Einsparpotenzials aus den Empfehlungen der energetischen Inspektion Raumluftechnik; Primärenergie; ohne Superposition	63
Abbildung 33: Einsparpotenzial an Endenergie, resultierend aus Maßnahmenpaketen unter Berücksichtigung der Superposition	64
Abbildung 34: Einsparpotenzial volumenstromspezifischer jährlicher Energiekosten, resultierend aus Maßnahmenpaketen (Wärmepreis 75 EUR/MWh, Strompreis 150 EUR/MWh)	66
Abbildung 35: Abschätzung des Einsparpotenzials aus den Empfehlungen der energetischen Inspektion Kältetechnik am Gesamtmarkt; Endenergie; mit Superposition	71
Abbildung 36: Einsparpotenzial an Endenergie im Gesamtmarkt resultierend aus Maßnahmenpaketen unter Berücksichtigung von Superposition	72
Abbildung 37: Amortisationsdauer für Variante: Ersatz Keilriemen durch Flachriemen	92
Abbildung 38: Amortisationsdauer für Variante: Motortausch AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen	93
Abbildung 39: Amortisationsdauer für Variante: Austausch Ventilator mit AC-Motor 2-stufig und Flachriemen	94
Abbildung 40: Amortisationsdauer für Variante: Motortausch AC-Motor mit Frequenzumrichter und Flachriemen	95
Abbildung 41: Amortisationsdauer für Variante: Ersatz durch Gehäuseventilator mit EC-Motor	96
Abbildung 42: Amortisationsdauer für Variante: Ersatz durch Freilaufendes Rad mit EC-Motor	96
Abbildung 43: Überschreitung der Nutzungsdauer (ohne BAFA-Förderung)	97
Abbildung 44: Überschreitung der Nutzungsdauer (mit BAFA-Förderung)	99
Abbildung 45: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung KV-System extern	102
Abbildung 46: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung KV-System intern	102
Abbildung 47: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung Plattenwärmeübertrager	103
Abbildung 48: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung Rotationswärmeübertrager	103
Abbildung 49: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung Rotationswärmeübertrager (WRG-Klasse H1 mit BAFA-Förderung)	105
Abbildung 50: Amortisationsdauer für Variante: Austausch RLT-Gerät (Abmessung wie Bestand)	108
Abbildung 51: Amortisationsdauer für Variante: Austausch RLT-Gerät (Abmessung veränderbar)	108
Abbildung 52: mittlere monatliche Außenlufttemperatur für alle Repräsentanzstationen	112
Abbildung 53: Vergleich RLT-Kühlenergiebedarf 24h-Betrieb TRY04 - TRY08 - TRY12 (Basisfall)	113
Abbildung 54: Feldaufteilung im h,x-Diagramm zur Ermittlung von Enthalpiestunden	116

Abbildung 55: Relative Abweichung der Heiz-Enthalpiestunden in Abhängigkeit der TRY-Zone (Referenzstation)	118
Abbildung 56: Relative Abweichung der Befeuchtungs-Enthalpiestunden zwischen den Klimazonen (Referenzstationen)	119
Abbildung 57: Relative Abweichung der Kühl-Enthalpiestunden	120
Abbildung 58: Korrelation: simulierter Heizbedarf – Näherungsverfahren; Darstellung als relative Abweichung zum Referenzwert TRY Zone 04 (Referenzstation Potsdam)	124
Abbildung 59: Korrelation: simulierter Dampfbedarf – Näherungsverfahren; Darstellung als relative Abweichung zum Referenzwert TRY Zone 04 (Referenzstation Potsdam)	125
Abbildung 60: Korrelation: simulierter Kühlbedarf –Näherungsverfahren; Darstellung als relative Abweichung zum Referenzwert TRY Zone 04 (Referenzstation Potsdam)	126
Abbildung 61: prozentuale Änderung des Energiekennwertes durch den Stadt-/Höheneffekt	139
Abbildung 62: Abweichungen der Teillastkennwerte f1 (wassergekühlt) und PLV (luftgekühlt) im Monatsbilanzverfahren (Darstellung anlagenabhängig)	143
Abbildung 63: Abweichungen der Teillastkennwerte f1 (wassergekühlt) und PLV (luftgekühlt) im Monatsbilanzverfahren (Darstellung nutzungsabhängig)	143
Abbildung 64: Ventilatorsystemwirkungsgrad für die Ventilatorklassen nach DIN EN 13035 im Vergleich zur Mindestanforderung 2013 nach ErP-Richtlinie (EU327/2011)	147
Abbildung 65: Vergleich der Teillasthäufigkeit für IPLV, ESEER und SEER	150
Abbildung 66: Vergleich der Außenlufttemperaturen für luftgekühlte Kältemaschinen bei IPLV, ESEER und SEER	151
Abbildung 67: Vergleich der Außenlufttemperaturen für wassergekühlte Kältemaschinen (Verdunstungskühler) bei IPLV, ESEER und SEER	151
Abbildung 68: Vergleich IPLV, ESEER und SEER für Teillastregelart (B)	152
Abbildung 69: Vergleich IPLV, ESEER und SEER für Teillastregelart (D)	153
Abbildung 70: Vergleich IPLV, ESEER und SEER für Teillastregelart (F)	153
Abbildung 71: mittlere hüllflächenbezogene Bauwerksmasse für verschiedene Nutzungen und Wandaufbauten (Bauteil- und Schichtdaten siehe Anhang 8)	164
Abbildung 72: Validierung des vereinfachten Abschätzverfahrens nach VDI 2078	172
Abbildung 73: Projektphasen des Mandates M/480 [43]	180
Abbildung 74: Organisationsstruktur zur Überarbeitung der EPBD Normen [43]	180
Abbildung 75: Zeitplanung des Mandates M/480 [44]	181
Abbildung 76: Übersicht modulare Struktur der EPBD Normen im Mandat M/480	182
Abbildung 77: Auszug Normenmodule Kühlung [44]	183
Abbildung 78: Auszug Normenmodule Lüftung [44]	183

## Aufgabenstellung

Mit der Energieeinsparverordnung 2007 wurde die energetische Inspektion von Klimaanlage erstmalig in Deutschland verpflichtend eingeführt. Entsprechend des Baualters der Klimaanlage sind bis zu festgelegten Terminen Inspektionen durchzuführen und Inspektionsberichte auf Verlangen vorzulegen. Die praktischen Erfahrungen zeigen jedoch, dass diese Verpflichtung nur schleppend umgesetzt wird. Die Gründe dafür sind vielfältig: Zum Teil sind die Inspektionsanforderungen bei den Betreibern nicht oder nur wenig bekannt, bei den Inspektoren herrscht Unsicherheit über Art und Umfang der durchzuführenden Inspektionstätigkeiten und nicht zuletzt fehlt die flächendeckende Kontrolle über die Einhaltung der Fristen.

Ziel des Forschungsvorhabens sind aktuelle Erkenntnisse darüber, welche Chancen die verordnungsrechtliche Anforderung zur Energetischen Inspektion von Klimaanlage für den Gesetzgeber, den Anlagenbetreiber und die Branche insgesamt bietet. Daneben soll das Forschungsvorhaben eine objektive Aussage über den derzeitigen Umsetzungsstand des §12 der EnEV liefern.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind in diesem Abschlussbericht zusammengestellt. Inhaltlich wurden dabei 3 wesentliche Schwerpunkte bearbeitet:

1. Ermittlung der Markt-, Investitions- und Energieeinsparpotentiale der Energetischen Inspektion einschl. Praxis-Validierung anhand durchgeführter Inspektionen
2. Ermittlung von Maßnahmenkatalogen und Stufenplänen für wirtschaftliche Sanierungsverpflichtungen
3. Ableitung von praxismethoden und Verbesserung der verfügbaren Inspektionswerkzeuge als Grundlage für die Erstellung normativer Inhalte für DIN SPEC 15240

Abschließend werden in Kapitel 4 Schnittstellen zur nationalen und europäischen Normung definiert und Vorschläge zur Überführung der Forschungsergebnisse in normative Inhalte erarbeitet.

# 1. Markt-, Investitions- und Energieeinsparpotentiale der Energetischen Inspektion

## 1.1 Marktpotentiale

### 1.1.1 Allgemeines

Seit Einführung der Energie-Einsparverordnung 2007 (EnEV 2007) wird die regelmäßige energetische Inspektion von Klimaanlage verpflichtend vorgeschrieben. Die Übergangsfristen für Altanlagen laufen aus. Alle Anlagen, die zum Zeitpunkt 1.10.2007 älter als 12 Jahre waren, hätten zum Ende 2011 inspiziert sein müssen. Die Übergangsfrist für Anlagen mit Baualter vor 2003 läuft zum 1.10.2013 aus. Die Vollzugsquote wird als unzureichend eingeschätzt. Nachfolgend soll das Marktpotenzial auf Basis aktueller Erkenntnisse und einer durchgeführten Marktbefragung abgeschätzt werden.

Da eine Mindest-Kälteleistung von 12 kW und damit das Vorhandensein einer aktiven Kühlung Voraussetzungen für die Inspektionspflicht nach § 12 der EnEV sind, beschränkt sich die Inspektionsverpflichtung nahezu ausschließlich auf Nichtwohngebäude.

Ebenso kann davon ausgegangen werden, dass raumluftechnische Anlagen mit Kühlfunktion, die nicht Produktionsanlagen zuzuordnen sind, in landwirtschaftlich genutzten Gebäuden einen vernachlässigbaren Stellenwert haben. Daher wurden diese Gebäude aus den Statistiken ausgeschlossen.

In der Vergangenheit sind immer wieder Versuche unternommen worden, Bestand und Ausstattung von raumluftechnischen Anlagen in Nichtwohngebäuden zu analysieren. Alle Studien mussten mit dem Problem umgehen, dass nur wenig statistisches Datenmaterial zur Verfügung stand, so dass Schätzungen und Extrapolationen nach verschiedenen Kennziffern vorgenommen werden mussten.

Auch im Rahmen dieses Projektes standen wenig neue Basisdaten zur Verfügung. Vielmehr soll in den nachfolgenden Betrachtungen der Wissensstand zusammengefasst und abgeglichen werden. Auf Basis dieses Abgleichs soll ein möglichst wahrscheinliches Szenario für die Klimainspektions-tätigkeit abgeleitet und einer wahrscheinlichen Vollzugsquote gegenüber gestellt werden.

In Deutschland wurden in den vergangenen 20 Jahren ca. 35.000 - 45.000 RLT-Geräte pro Jahr gebaut, welche gemäß EnEV in den nächsten Jahren einer Inspektionsverpflichtung unterliegen.

Hinzu kommt eine Vielzahl von Altanlagen im Bestand, deren Inspektionszeitpunkt bereits überschritten ist.

### **1.1.2 Bestand von Nichtwohngebäuden**

Bereits mehrere Studien hatten in der Vergangenheit das Ziel, den Bestand von Nichtwohngebäuden zu ermitteln. Dabei wurden unterschiedliche Methoden angewandt. Die Bautätigkeit in Form von jährlichen Baufertigstellungen wird über das statistische Bundesamt erfasst und veröffentlicht [2]. Mehrere Veröffentlichungen basieren auf Daten von Gebäudezählungen in den 50er Jahren und der Fortschreibung dieser Daten durch regelmäßige Statistiken zur Baufertigstellung. Dabei bestehen folgende Probleme:

- Das statistische Datenmaterial für die neuen Bundesländer wurde nicht in gleicher Weise erfasst.
- Die Gebäudekategorisierung ist nur sehr grob. Kategorien wie „Anstaltsgebäude“ erscheinen heute nicht praxisgerecht. Angaben zu Ausstattungsgraden fehlen. Mischnutzungen sind schwer zu analysieren

Nachfolgend sollen die Ergebnisse aus vier unterschiedlichen Veröffentlichungen gegenüber gestellt, verglichen und auf ein einheitliches Bezugsdatum gestellt werden.

HASSLER, KOHLER, PASCHEN veröffentlichten 1999 in [3] eine Schätzung für die Enquete-Kommission des Bundestages. Das Bezugsjahr für den Bestand war 1991, neben der Schätzung des Flächenbestandes wurde auch eine Einteilung der Flächen in Baualtersklassen vorgesehen. Danach wurden 1991 ca. 75 % des Nichtwohngebäudebestandes vor 1965 errichtet. Die ermittelte Bestandsfläche zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Nutzflächenschätzung von Nichtwohngebäuden nach [3] zum Stichjahr 1991 (ohne Landwirtschaftliche Betriebsgebäude)

Nutzungsklasse	Nutzfläche	
	[Mio. m <sup>2</sup> ]	Anteil
Büro- und Verwaltungsgebäude	218	10%
Anstaltsgebäude	219	10%
Hotels & Gaststätten	45	2%
Handels- und Lagergebäude	623	28%
Fabrik & Werkstattgebäude	549	24%
Sonstige	587	26%
Summe:	2 241	100%

In der aktuelleren Veröffentlichung des BMVBS [4] wurden alternative Ansätze geprüft, den Nichtwohngebäudebestand zu extrapolieren. Angewandte Methoden waren:

- die Nutzung geografischer Informationssysteme
- die Anwendung städtebaulicher Richtwerte
- die Verwendung statistischer Daten zum Anlagevermögen „Bauten“ und Baukosten-Kennziffern.

Am erfolgversprechendsten erscheint der Ansatz über das Anlagevermögen. Nach dieser Auswertung ergab sich eine Nutzfläche von 2.213 Mio. m<sup>2</sup> zum Stichjahr 2009. Ohne landwirtschaftlich genutzte Gebäude ergaben sich 1.875 Mio. m<sup>2</sup> nach Tabelle 2.

Tabelle 2: Flächenschätzung von Nichtwohngebäuden auf Basis des Anlagevermögens nach [4] zum Stichjahr 2009 (ohne Landwirtschaftliche Betriebsgebäude)

Nutzungsklasse	Fläche	
	[Mio. m <sup>2</sup> ]	Anteil
Büro- und Verwaltungsgebäude	276	15%
Anstaltsgebäude	97	5%
Fabrik- und Werkstattgebäude	417	22%
Handels- und Lagergebäude	714	38%
Hotels und Gaststätten	40	2%
Sonstige Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	161	9%
Sonstige	170	9%
Summe:	1.875	100%

Eine Veröffentlichung der Deutsche Bank Research geht von einer Gesamtfläche Nichtwohngebäude 2.100 Mio. m<sup>2</sup> für das Jahr 2007 aus.

Tabelle 3: Flächenannahme Nichtwohngebäude Deutsche Bank Research, Stichjahr 2007

Nutzungsklasse	Fläche	
	[Mio. m <sup>2</sup> ]	Anteil
Büro- und Verwaltungsgebäude	231	11%
Gebäude des Bildungswesens	147	7%
Gebäude des Gesundheitswesens	105	5%
Fabrik- und Werkstattgebäude	609	29%
Handels- und Lagergebäude	483	23%
Sonstige	525	25%
Summe:	2.100	100%

Eine Studie zum Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für das BMWi und BMU [5] nahm die Hochrechnung zum Gebäudebestand folgendermaßen vor:

- Breitenbefragungen durch Fragebogenaktionen, Intensivbefragungen ausgewählter Arbeitsstätten
- Verwendung statistischer Daten zu den Bezugseinheiten, in der Mehrzahl Erwerbstätige aus Arbeitsmarktstatistiken, aber auch Bettenzahlen, Schülerzahlen u. ä. und Hochrechnung auf den Bestand.

Produktionsstätten wurden dem Sektor GHD nur dann zugeordnet, wenn die Beschäftigtenzahlen kleiner als 19 (industrielle Kleinbetriebe, Handwerk) blieben. Größere Industriebetriebe sind somit nicht Bestandteil der Erhebung.

Tabelle 4: Hochrechnung des NWG-Bestandes auf Basis von Bezugseinheiten für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen nach [5], Stichjahr 2006

Nutzungsklasse	Nutzfläche	
	[Mio. m <sup>2</sup> ]	Anteil
Baugewerbe	150	8%
Büroähnliche Betriebe	495	26%
Handel	509	27%
Herstellungsbetriebe	87	5%
Krankenhäuser, Schulen, Bäder	283	15%
Beherbergung, Gaststätten, Heime	285	15%
Nahrungsmittelgewerbe	8	0%
Flughäfen	30	2%
Sonstige	30	2%
Summe:	1.877	100%

Der Vergleich der unterschiedlichen Quellen wird dadurch erschwert, dass die Gebäudekategorien einerseits sehr grob, andererseits abweichend vorgenommen wurden. Gleichwohl wird deutlich, dass die größten eindeutig zuzuordnenden Kategorien durch die Gruppen:

- Büro / Verwaltung
- Handel
- Fabrik und Werkstattgebäude

gebildet werden.

Die unterschiedlichen Bezugsjahre lassen sich durch einen Wachstumsindex näherungsweise vergleichbar machen.

In den Jahren 2001 bis 2011 erhöhte sich nach Angaben des statistischen Bundesamtes die Nutzfläche von Nichtwohngebäuden jährlich um durchschnittlich 27,7 Mio. m<sup>2</sup> (inkl. landwirtschaftlich genutzter Gebäude). Zur Vergleichbarkeit der Daten aus den unterschiedlichen Studien kann daraus ein Wachstumsindex von ca. 1,4 % abgeleitet werden.

Tabelle 5: Zusammenstellung ausgewählter Gebäudekategorien und Summe Nichtwohngebäude mit Extrapolation auf das Bezugsjahr 2012

	Kohler, Hassler, Paschen 1999	BMBS- Studie 2011	DB Research 2008	GHD 2009	Mittelwert
Bezugsjahr	1991	2009	2007	2006	
Büro	218	276	231	495	305
Handel	623	714	483	509	582
Fabrik / Werkstattgebäude	549	417	609	k. A.	525
Summe NWG ohne Landwirtschaft	2 241	1 875	2 100	1 877	2 023
Bezugsjahr vereinheitlicht	2012	2012	2012	2012	
Extrapolationsfaktor	1,34	1,04	1,07	1,09	
Büro	292	288	248	538	341
Handel	835	744	518	553	663
Fabrik / Werkstattgebäude	735	435	653	k. A.	608
Summe NWG ohne Landwirtschaft	3 001	1 955	2 251	2 040	2 312

Ergänzt man den in der GHD-Studie fehlenden Industriegebäudeanteil aus den Mittelwerten der anderen Quellen, ergibt sich die Gesamtdarstellung nach Abbildung 1.

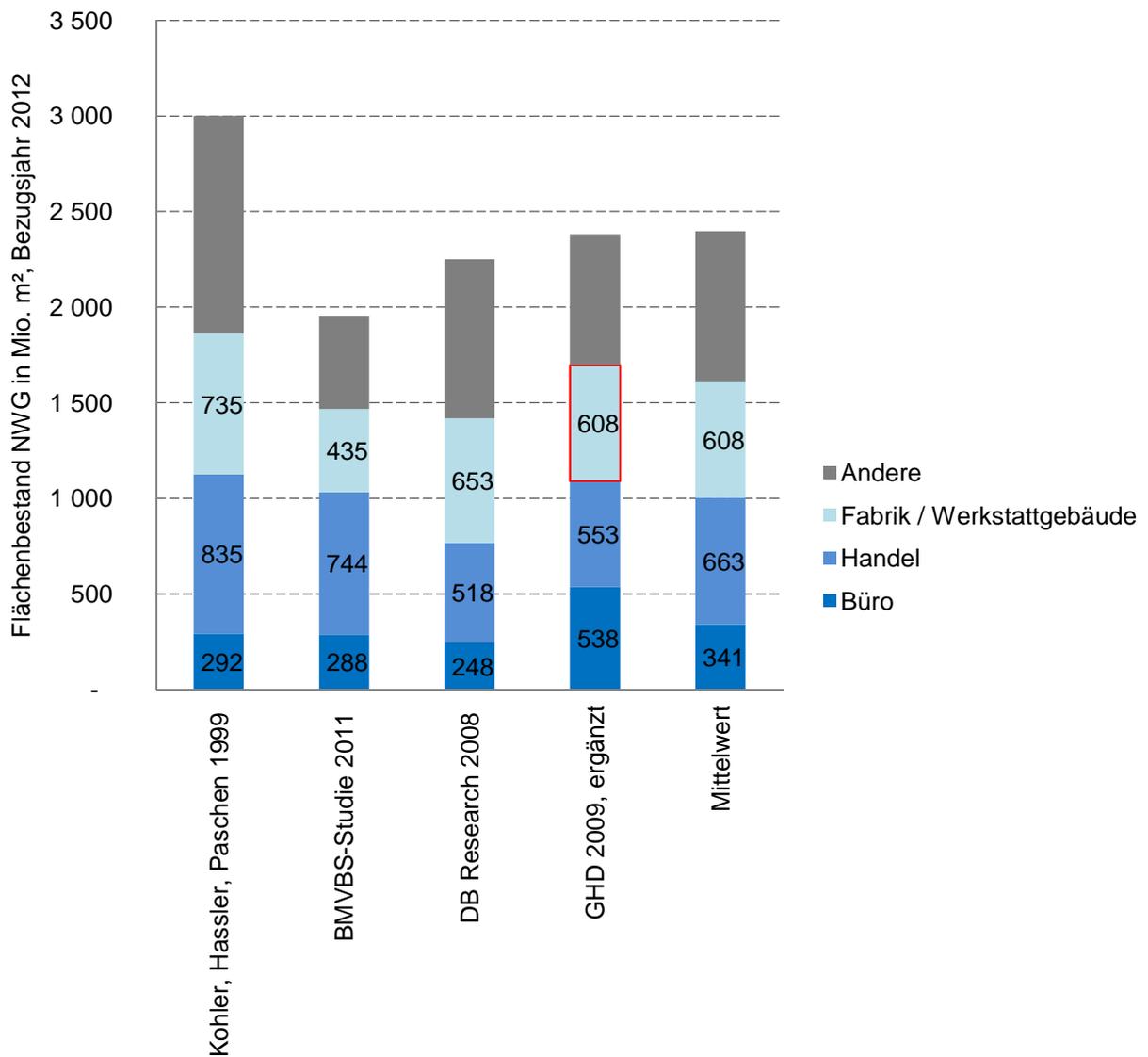


Abbildung 1: Gesamtdarstellung und Mittelwertbildung der Flächenangaben für Nichtwohngebäude, extrapoliert auf das Bezugsjahr 2012 (Industrieanteil für GHD 2009 korrigiert)

Aus den vier unterschiedlichen Quellen ergibt sich eine gemittelte Nichtwohngebäudefläche von 2.397 Mio. m<sup>2</sup> für das Bezugsjahr 2012.

In Abbildung 1 ist die starke Streuung der Angaben für Büro- und Verwaltungsgebäude auffällig. Zur Überprüfung sollen veröffentlichte Büromarktdaten aus der Immobilienwirtschaft herangezogen werden. Nach [6] standen in den sieben größten Städten Deutschlands, deren Einwohnerzahl ca. 14 % der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland repräsentiert, 2012 ca. 88 Mio. m<sup>2</sup> Bü-

rofläche zur Verfügung. Schätzt man den Pendleranteil auf 30 %, ergibt sich bei Ansatz einer Kennzahl Bürofläche zu Einwohnerzahl ein Gesamtbestand von ca. 400 Mio. m<sup>2</sup>.

Eine andere Einschätzung aus der Büroimmobilien-Marktforschung gelangt zu der Einschätzung, dass im Basisjahr 2006 ca. 400 m<sup>3</sup> BGF und 320 m<sup>2</sup> Mietfläche an Büroimmobilien bestanden.

Beide Ergebnisse stützen den in Abbildung 1 dargestellten Mittelwert von 341 Mio. m<sup>2</sup>, der durch die Angabe aus der GHD-Studie über dem Ergebnis der übrigen drei Quellen liegt.

### 1.1.3 Marktdaten RLT-Zentralgeräte

In zwei Studien [7], [8] wurden durch KAUP zum Potenzial von Wärmerückgewinnungsanlagen in raumluftechnischen Anlagen wurden sehr große Stichproben von Herstellern raumluftechnischer Zentralgeräte ausgewertet. Zugrunde lagen ca. 80.000 Geräteauslegungsdaten zur Angebotserstellung aus Datenbanken zweier Hersteller aus den Jahren 2003 und 2009, später ergänzt um das Jahr 2010.

Die Verteilungsstruktur der Gerätegrößen unterschied sich zwischen den Herstellern und zwischen den beiden zeitlichen Stichproben nur geringfügig.

Aus der Größenverteilung der abgesetzten Zentralgeräte ergibt sich ein Mittelwert von 14.340 m<sup>3</sup>/h je RLT-Gerät.

Vom Herstellerverband Raumluftechnische Geräte sind Marktdaten zu Stückzahlen und Umsätzen veröffentlicht. KAUP schätzt den Marktanteil der Verbandsmitglieder auf 70,5 %. Daraus ermittelte

KAUP ermittelte für die Jahre 2006 – 2008 durchschnittlich ca. abgesetzte 43.200 Einheiten, die einem jährlichen Gesamtvolumenstrom von 619 Mio. m<sup>3</sup>/h entsprechen. BECK ermittelte in seiner Dissertation [9] nach einer ähnlichen Marktanalyse für das Jahr 1997 ca. 38.000 abgesetzte Zentralgeräte bei einem Gesamtvolumenstrom von 658 Mio. m<sup>3</sup>/h. Seine Markteinschätzung konnte durch den Vergleich mit der Anzahl produzierter Ventilatoren, die gesondert erhoben wurde, gestützt werden.

Aus den unterschiedlichen Marktzahlen beider Untersuchungen lässt sich keine Entwicklung im Gesamtvolumenstrom ableiten. Deutlich wird nur die Tendenz, dass der Volumenstrom je Gerät fallend ist, was bereits aus den beiden Veröffentlichungen [7] und [8] deutlich wird und sich in einer Steigerung der Stückzahlen ausdrückt. Schreibt man die Marktdaten von KAUP [7] mit jüngeren

Absatzzahlen des Herstellerverbandes fort, erkennt man ebenfalls keinen generellen Trend sondern lediglich konjunkturelle Schwankungen.

Für die energetische Inspektion von Klimaanlage nach §12 EnEV müssen die Anlagen ohne Kühlfunktion ausgeklammert werden. Ebenfalls nicht betrachtet werden Anlagen mit einer Kühlleistung  $< 12$  kW.

Bei der Enthalpiedifferenz eines Luftkühlers von 16 kJ/kg folgt aus der 12-kW-Grenze ein Außenluftvolumenstrom von 2.200 m<sup>3</sup>/h für die untere Grenze der Inspektionspflicht von RLT-Geräten. Dies würde zwar ca. 15 % der Geräte-Stückzahlen, aber nur 2 – 3 % des Luftvolumenstroms betreffen.

Den Ausstattungsgrad mit Luftkühlern hat KAUP mit 41 % ermittelt. Über die Verteilung des Ausstattungsgrades über die Baugrößen liegen keine Informationen vor. Nimmt man eine gleichmäßige Verteilung des Ausstattungsgrades an, ergibt sich ein Gesamtvolumenstrom von jährlich gelieferten Klimaanlage mit  $> 12$  kW Kühlleistung von ca. 200 Mio. m<sup>3</sup>/h.

Grundsätzlich wären aus den Absatzzahlen noch die Anlagen auszunehmen die nicht der Raumlufttechnik sondern der Prozesslufttechnik zuzuordnen wären. Nach § 1 der EnEV wären diese Anlagen der Produktion zuzuordnen und somit nicht inspektionspflichtig. Nur ein Teil dieser Anlagen wird von den gleichen Herstellern beliefert, insbesondere dann, wenn es sich um Kühlaufgaben handelt, wie in Schaltwarten, Rechenzentren sowie Lüftungsaufgaben, die bei niedrigen Druckstufen stattfinden. In vielen Produktionseinrichtungen dienen die Anlagen aber der Produktion und dem Aufenthalt von Personen gleichermaßen. Der Anteil reiner Produktionsanlagen wird unter 10 % eingeschätzt.

KAUP rechnete mit einer Anlagennutzungsdauer von 20 Jahren. Tatsächlich dürften die Anlagen deutlich länger betrieben werden, wenn nicht wesentliche Nutzungsänderungen in den betreffenden Gebäuden eine Umrüstung erfordern. Aus den Rückmeldungen der Marktumfrage ergibt sich ein Durchschnittsalter von 28 Jahren aus 160 inspizierten Anlagen mit Baualtersangabe. Der volumenstromgewichtete Mittelwert liegt mit 27 Jahren in der gleichen Größenordnung.

Berücksichtigt man, dass die die durchschnittlich 28 Jahre alten Anlagen auch nach der energetischen Inspektion weiter betrieben werden, kann in guter Näherung von einer mittleren Betriebszeit in der Größenordnung von 25 - 30 Jahren ausgegangen werden.

Somit führt der aus den Absatzzahlen zu ermittelnde Anlagenbestand mit den Annahmen von

- einem jährlichen Luftvolumenstroms von Anlagen mit Kühlfunktion >12 kW von ca. 200 Mio. m<sup>3</sup>/h
- einem Anteil an reinen Produktionsanlagen von <10 %
- und einer angenommenen Betriebszeit von 25 - 30 Jahren

zu einem installierten Gesamtvolumenstrom in der Größenordnung von 4,5 - 5,4 Mrd. m<sup>3</sup>/h.

### 1.1.4 Marktdaten Kältemaschinen

Eine Übersicht über die in Deutschland installierte Kälteleistung verschiedener Kältemaschinen gibt der DKV-Statusbericht Nr. 22 aus dem Jahr 2002 [11]. Alle anderen verfügbaren Studien und Veröffentlichungen zum Markt der Kältetechnik in Deutschland basieren mehr oder weniger stark auf dieser Publikation. Der DKV-Statusbericht Nr. 22 wird derzeit in Bezug auf die Marktentwicklung der vergangenen Jahre überarbeitet, liegt aber noch nicht in veröffentlichter Form vor. Die derzeit verfügbaren Informationen zeigt Tabelle 7.

Tabelle 6: installierte Kälteleistung verschiedener Nutzungen in Deutschland 2002 nach [11] und Abschätzung der Anzahl installierter Kältemaschinen

Kälteleistung [MW]	Hotel/Versammlungsstätten							Summe [MW] mit Industriekühlung	Summe [MW] 50% Industriekühlung	kW/Stk. geschätzt	Anzahl [Stk.] mit Industriekühlung	Anzahl [Stk.] 50% Industriekühlung
	Industrie	Büro	Einzelhandel	Sportstätten	Hotels/Versammlungsstätten	Gastronomie	Wohnbereich					
Fenstergeräte	0	0	893	0	0	383	0	1 276	1 276	2.5	510 400	510 400
Split, Multisplit	0	2 871	883	0	0	663	0	4 417	4 417	5.0	883 400	883 400
Mobile Geräte	0	390	0	0	0	0	390	780	780	1.0	780 000	780 000
Absorber	233	100	226	0	47	0	0	606	490	400.0	1 515	1 224
Turboverdichter	700	117	583	0	933	0	0	2 333	1 983	800.0	2 916	2 479
Kaltwassersätze	9 900	6 500	8 250	1 650	6 600	0	0	32 900	27 950	250.0	131 600	111 800
Verflüssiger	1 548	387	1 548	387	0	0	0	3 870	3 096	400.0	9 675	7 740
<b>Summe</b>	<b>12 381</b>	<b>10 365</b>	<b>12 383</b>	<b>2 037</b>	<b>7 580</b>	<b>1 046</b>	<b>390</b>	<b>46 182</b>	<b>39 992</b>		<b>2 319 506</b>	<b>2 297 043</b>
Summe Raumklimasysteme								6 473	6 473	3.0	2 173 800	2 173 800
<b>Summe Kältemaschinen EnEV §12</b>								<b>39 709</b>	<b>33 519</b>	<b>272.0</b>	<b>145 706</b>	<b>123 243</b>

Unterstellt man im Industriebereich einen 50%-igen Anteil der installierten Gesamtkälteleistung für die nicht inspektionspflichtige reine Industriekühlung (Prozessanwendungen), ergibt sich eine Gesamtzahl der gemäß EnEV §12 zu inspizierenden Kältemaschinen von etwa 123.000 Stück mit einer mittleren Kälteleistung von 272 kW. Für die Industriekühlung sind weitere ca. 22.500 Kältemaschinen (ca. 15 %) installiert, die nach EnEV §1 nicht der Inspektionspflicht unterliegen. Dieser Wert deckt sich sehr gut mit den Angaben im VDMA-Branchenbericht [12], wo eine Anzahl von 22.000 Stk. Kälteanlagen für Industrieenanwendungen (ohne Kompressoren, Prozesskälte, Schaltschrankkühlung) genannt wird.

Die weitaus größere Anzahl der in Deutschland eingesetzten Kältemaschinen sind Raumklimasysteme, die aufgrund der unterhalb 12 kW liegenden Kälteleistung ebenfalls nicht inspektionspflichtig sind. VRF-Anlagen mit einer Kälteleistung >12 kW spielen erst ab dem Jahr 2000 eine nennenswerte Rolle am deutschen Markt [13] und sind aus Sicht der Inspektionspflicht damit zurzeit auch noch nicht relevant.

Ebenfalls aus [13] lässt sich eine Statistik der in den Jahren 2006 bis 2011 in Deutschland verkauften Wasserkühlsätze ableiten. Im Mittel wurden jährlich ca. 6.500 Wasserkühlsätze verkauft, was bei einer mittleren Nutzungsdauer von 20 Jahren und einer konstanten Marktnachfrage eine Gesamtanzahl von ca. 130.000 Wasserkühlsätzen bedeuten würde. Eine bessere Abbildung des tatsächlichen Marktvolumens vor dem Jahr 2006 erreicht man durch Korrelation der aktuellen Marktdaten mit den jährlichen Baufertigstellungen gemäß Statistischem Bundesamt [2]. Anhang 0 zeigt die bis zum Jahr 1982 zurück reichende Hochrechnung der auf die im Folgejahr fertiggestellte Nutzfläche von Nichtwohngebäuden bezogenen Stückzahlen für Kältemaschinen und RLT-Geräte.

Im Zeitraum von 20 Jahren (1982-2002) sind demnach ca. 146.700 Kältemaschinen errichtet worden, die mit sehr großer Wahrscheinlichkeit immer noch genutzt werden. Unter Beachtung eines 15%-igen Anteils für Prozesskühlung unterliegen davon ca. 124.800 Kältemaschinen der Inspektionspflicht gemäß EnEV §12, was gut mit den berechneten Daten nach Tabelle 6 übereinstimmt.

Die Rückmeldungen der Marktumfragen zeigen jedoch, dass die tatsächliche Nutzungsdauer von Kälteanlagen oft über 20 Jahre beträgt. Das mittlere Baualter der rückgemeldeten Anlagen betrug 21 Jahre, wobei davon auszugehen ist, dass diese Anlagen teilweise auch nach der Energetischen Inspektion noch weiter betrieben werden. Erst ab einem mittleren Baualter von 30 Jahren wurde ein Anlagenneubau empfohlen. Bezogen auf den energetisch zu inspizierenden Anlagenbestand in Deutschland kann daher von einer mittleren Nutzungsdauer von 25 Jahren ausgegangen werden.

In einen 25-jährigen Zeitraum sind ca. 180.700 Kältemaschinen errichtet worden. Unter Beachtung einer 15 %-igen Anteils für die Prozesskühlung unterliegen davon insgesamt ca. 153.500 Kältemaschinen der Inspektionspflicht gemäß EnEV §12.

Unter Beachtung der verfügbaren Marktdaten im Bereich der Klimakältetechnik kann in guter Näherung davon ausgegangen werden, dass insgesamt ca. 150.000 Stk. Kältemaschinen einer Energetischen Inspektion zu unterziehen sind.

Ausgehend von dieser Anzahl kann die RLT-Marktsituation von der Kälteseite gegengeprüft werden. Tabelle 7 zeigt die Approximation der RLT-Gerätemengen aus der Stückzahl der am Markt befindlichen Kältemaschinen.

Tabelle 7: Approximation der RLT-Gerätestückzahlen aus dem Kältemaschinenmarkt

<b>Anzahl Kältemaschinen §12 (ohne Raumklimasysteme und Prozesskühlung)</b>		<b>150 000 Stk.</b>
Anteil Raumkühlung (Ventilatorkonvektor, Kühldecken, BTA)		20%
<b>Anzahl Kältemaschinen §12 nur RLT-Kühlung</b>		<b>120 000 Stk.</b>
mittlere Kälteleistung je Kältemaschine		272 kW
RLT-Typ	100% AUL 33°C/40%, ohne Entfeuchtung	77 kW bei 14.000 m³/h
RLT-Typ	100% AUL 33°C/40%, mit Entfeuchtung 6/12°C	150 kW bei 14.000 m³/h
RLT-Typ	90% UML 26°C/50%, ohne Entfeuchtung	43 kW bei 14.000 m³/h
RLT-Typ	90% UML 26°C/50%, mit Entfeuchtung 6/12°C	97 kW bei 14.000 m³/h
RLT-Typ	Mittelwert bei 14.000 m³/h (Anteil je 25%)	<b>92 kW bei 14.000 m³/h</b>
Anzahl RLT je Kältemaschine		<b>2.96 Stk. RLT / KWS</b>
<b>Anzahl RLT</b>		<b>355 749 Stk. RLT-Geräte</b>

Bei insgesamt 150.000 Stk. zentralen Kältemaschinen und einem geschätztem Anteil der Raumkühlung mit reinen kaltwasserbasierten Kühlsystemen von 20% (z.B. Kühldeckensysteme in Büros, Ventilatorkonvektoren in Rechenzentren) sind insgesamt ca. 120.000 Kältemaschinen mit einer mittleren Leistung von 272 kW für die RLT-Kühlung installiert.

Die Kühlerleistung ist dabei maßgeblich vom Umluftanteil und von der Entfeuchtungsleistung abhängig. Die meisten Kaltwassersysteme im Bestand arbeiten mit einem Kaltwassertemperaturniveau von 6/12°C, eine ungewollte Entfeuchtung am Kühlregister ist bei Außenluftanlagen daher zumindest anteilig zu berücksichtigen. Umluftanlagen werden häufig zur Lastabfuhr installiert und sollten im Sommer mit geringem Außenluftanteil betrieben werden. Eine exakte Verteilung der dieser RLT-Anlagentypen am Markt ist nicht bekannt. Die Ergebnisse der Marktumfrage zeigen 53% reine Außenluftanlagen, 35% Mischluftanlagen, 8% reine Umluftanlagen (Rest ohne Angabe).

Verteilt man 4 typische RLT-Anlagenkonzepte aus Sicht der Häufigkeit zunächst paritätisch, ergibt sich daraus eine mittlere Kühlerleistung von ca. 92 kW je RLT-Gerät. Bezogen auf die mittlere Kältemaschinenleistung von 272 kW versorgt eine Kältemaschine damit im Mittel ca. 3 RLT-Geräte, was eine RLT-Gerätemenge von insgesamt etwa 355.000 Stück, bezogen auf installierte Kältemaschinenanzahl, ergibt.

### 1.1.5 Betrachtung von Nutzungsarten

FRANZKE, SCHILLER haben in [10] den Versuch unternommen, die Gebäudetypen zu analysieren, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit ein deutlicher Klimatisierungsgrad vermutet wird und für die gleichzeitig zusätzliche statistische Daten verfügbar sind. Da die Gebäudekategorisierung kleinteiliger war, konnte die Schätzung des Klimatisierungsgrades bzw. des spezifischen Volumenstroms raumlufttechnischer Anlagen zielgerichteter geschätzt werden. Dazu wurden weitere Literaturquellen ausgewertet und Referenz-Liegenschaften aus der eigenen Berufspraxis analysiert. Es handelt sich also um eine Bottom-Up-Methode, mit der die aus der Top-Down-Methode (Markzahlen Gerätehersteller) abgeglichen werden sollte.

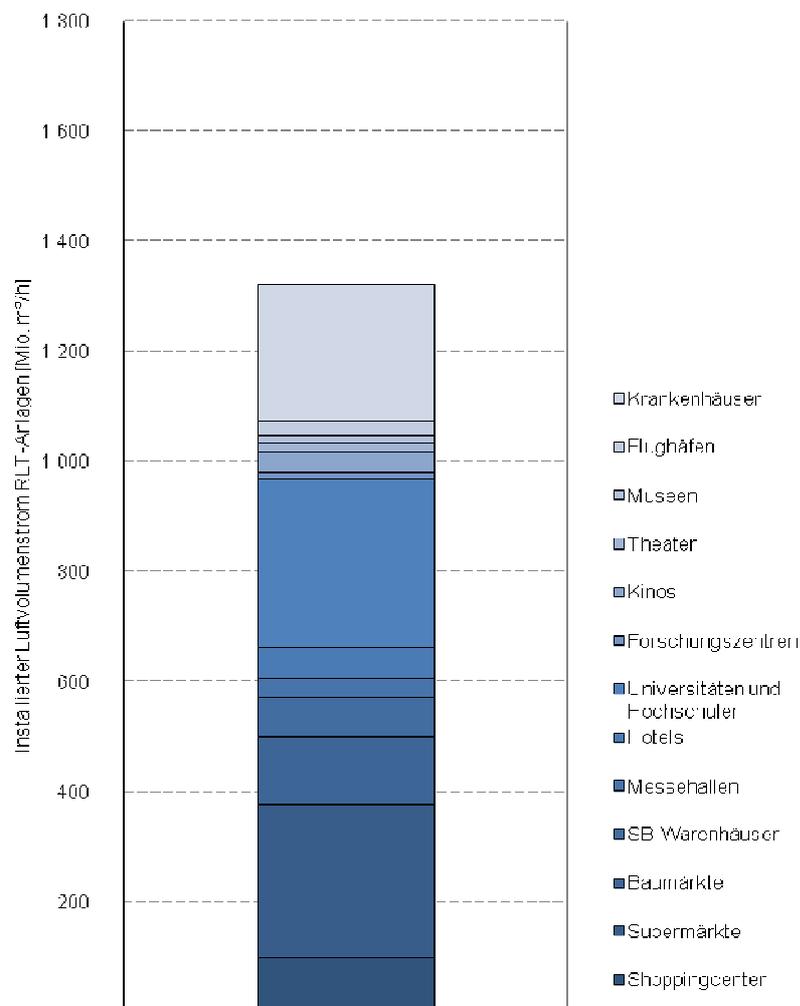


Abbildung 2: Schätzung des installierten Luftvolumenstroms nach [10] für Gebäude mit hohem Klimatisierungsgrad

Die wesentlichen, in Abbildung 2 nicht aufgeführten Gebäudetypen, in denen Klimaanlage betrieben werden, sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Nicht erfasste Gebäudetypen mit Klimatisierungsanteilen

Bürogebäude	Die überschlägig ermittelte Fläche an Büro- und Verwaltungsgebäude beträgt ca. 341. Mio. m <sup>2</sup> . Bei einem Ausstattungsgrad mit raumluftechnischen Anlagen von ca. 37 % und einem angenommenen spezifischen Volumenstrom von 7 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) ergibt sich ein Gesamtvolumenstrom von ca. 880 Mio. m <sup>3</sup> /h.
Industriegebäude	Im DKV-Statusbericht zum Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte [11] wird der Klimatisierungsgrad in Industriegebäuden nach branchendifferenzierter Schätzung auf 62 Mio. m <sup>2</sup> (entspricht ca. 9 % der Fläche nach Abbildung 1) geschätzt. Bei einem angenommenen spezifischen Volumenstrom von 12 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) ergibt sich ein Gesamtvolumenstrom von ca. 774 Mio. m <sup>3</sup> /h.
Fehlende Daten für den Einzelhandel	Die Zusammenstellung in Abbildung 2 umfasst nur Auszüge großflächiger Handelsstrukturen. Hochwertige Verkaufsflächen von Einzelhändlern z. B. Textilgeschäfte, Drogeriemärkte, Möbelhändler außerhalb von Shoppingcentern fehlen.
Fehlende Daten für Verkehrsgebäude	Außer Flughäfen fehlen in der Zusammenstellung die zunehmend ausgebauten und hochwertig modernisierten Bahnhöfe, Tankstellen und Raststätten.
Fehlende Daten für Sport- und Freizeiteinrichtungen	Nach Verbandsangaben existieren in Deutschland ca. 3.500 überdachte Schwimm- und Freizeitbäder. Ebenfalls aus Verbandsangaben ist zu entnehmen, dass ca. 5.600 Fitnesscenter betrieben werden. Zu den Gebäuden mit hohem Klimatisierungsgrad gehören weiterhin Sport- und Multifunktionsarenen einschl. Stadien, die ebenfalls nicht erfasst wurden.
Fehlende Daten für Gesundheitseinrichtungen	Arzt- und Zahnarztpraxen, Therapiepraxen, Apotheken sind nicht erfasst. Ebenso sind in der Krankenhausstatistik Kur- und Rehabilitationseinrichtungen nicht erfasst.
Sonstige Gebäude	In den unterschiedlichen Ermittlungen der Flächen für Nichtwohngebäude machen zu zuzuordnende Flächen „Sonstige“ einen Anteil von bis zu 25 % aus. Natürlich ist auch in diesen Gebäuden ein bestimmter Klimatisierungsgrad zu vermuten.

Ergänzt man das Ergebnis aus Abbildung 2 (1.320 Mio. m<sup>3</sup>/h) mit den Daten aus Tabelle 8 für Industriegebäude (774 Mio. m<sup>3</sup>/h) und Büroflächen (880 Mio. m<sup>3</sup>/h, ergibt sich für diese Nutzungsarten ein installierter Gesamtvolumenstrom von ca. 3.000 Mio. m<sup>3</sup>/h. Unter Berücksichtigung einer Schätzung der fehlenden Daten und sonstigen Gebäude in Tabelle 8 mit einem Anteil von 500 – 1.000 Mio. m<sup>3</sup>/h (Zuschlag 17 – 33 %) kann durch die Bottom-Up-Methode der Gesamtvolumenstrom auf 3.500 – 4.000 Mio. m<sup>3</sup>/h extrapoliert werden.

### 1.1.6 Ergebnisse der Marktabfrage

Seit 2007 wurden und werden vom Antragsteller und den Projektpartnern regelmäßig Energetische Inspektionen von RLT-Anlagen durchgeführt. Daher liegt eine Vielzahl von praktischen Inspektionsergebnissen vor. Eine Auswertung dieser Daten dokumentiert den technischen Stand einer Vielzahl von inspizierten RLT-Systemen. Um die Datenbasis für die Auswertung weiter zu erhöhen, wurde eine Markterhebung durchgeführt. Diese wurde neben eigenen Kontakten auch über die Industrieverbände BTGA e.V. und FGK e.V. an ca. 800 Personen und Institutionen verteilt, die potenziell als Inspekteur oder Auftraggeber von Energetischen Inspektionen in Frage kommen.

Um eine möglichst hohe Rückmeldequote zu erreichen wurde zunächst ein Formular mit nur einigen wenigen Angaben zu

- Baugröße, Nennleistung und Stückzahl der Klimaanlage,
- dem Status der Bearbeitung (Angebotsphase, Inspektion durchgeführt, Inspektion zur Beauftragung vorgesehen) und
- den verwendeten Hilfsmitteln (Normen, Richtlinien, Leitfäden, etc.)

erarbeitet und verteilt. Das Formular ist in Anhang 1 enthalten.

Im Zeitraum August bis Oktober wurden ca. 800 Personen angefragt. Der Personenkreis beinhaltete u. a. ca. 450 Teilnehmer von spezialisierten Schulungen zur energetischen Inspektion.

Insgesamt haben 69 Teilnehmer auf die Marktumfrage reagiert, 30 davon hatten bereits Energetische Inspektionen durchgeführt, 39 hatten bis dato noch keine Inspektionen durchgeführt. Die Rückmeldequote ist erfahrungsgemäß als gering einzuschätzen und kann unter Beachtung der insgesamt am Markt im Bereich der Energetischen Inspektion Tätigen mit ca. 20 % eingeschätzt

werden. Insofern ist davon auszugehen, dass bisher insgesamt etwa fünfmal mehr Energetische Inspektionen durchgeführt wurden, als Rückmeldungen eingegangen sind.

Unter Berücksichtigung aller von den Autoren und Marktteilnehmern durchgeführten und beauftragten Energetischen Inspektionen ergibt sich eine Gesamtanzahl von 705 St. Klimaanlage mit einer Gesamtluftmenge von ca. 15 Mio. m<sup>3</sup>/h und ca. 73 MW Kälteleistung in insgesamt 169 Gebäuden bzw. Gebäudenutzungsbereichen. In Bezug auf die Anzahl der inspizierten Gebäudenutzungsarten dominiert dabei der Büro- und Verwaltungsbereich (33 %), gefolgt vom Bereich Industrie/Produktion (24 %) und der Nutzungsart Labor mit 9 %. Abbildung 3 zeigt die Verteilung über alle Nutzungsarten.

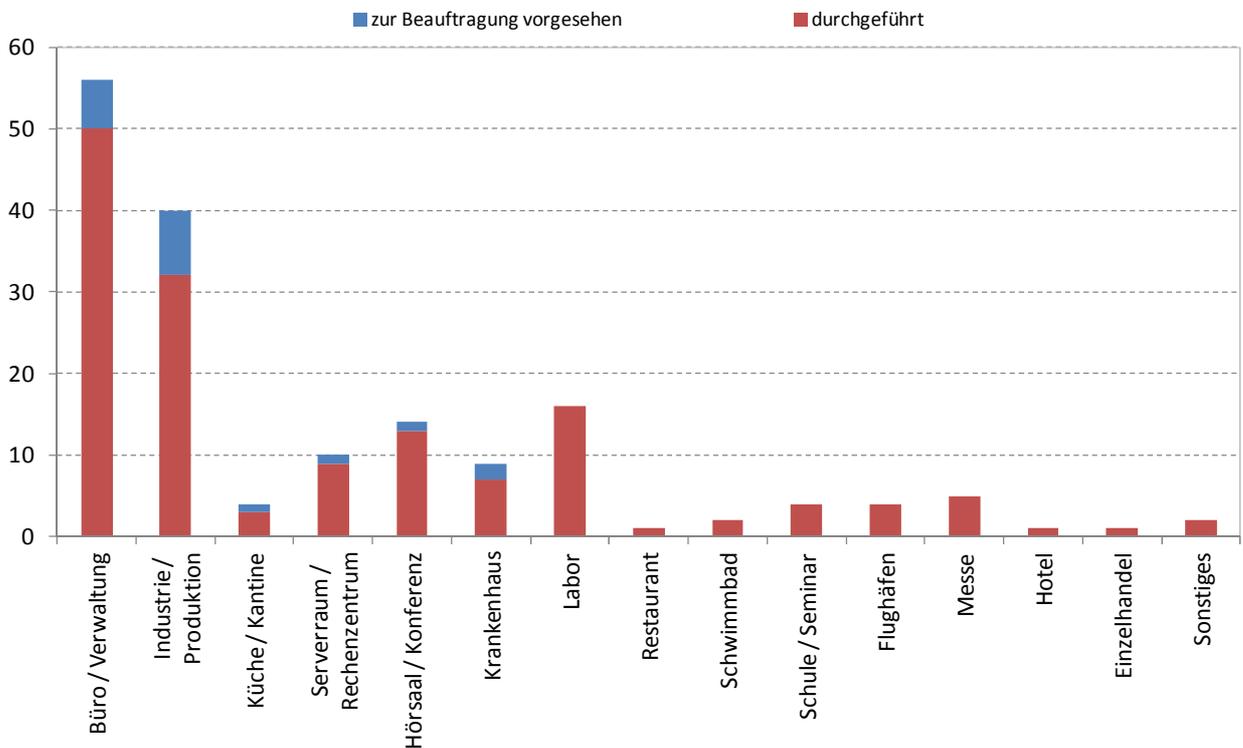


Abbildung 3: Anzahl aller inspizierten Nutzungsarten [Gebäudeanzahl] aus der 1. Marktabfrage

Die meisten energetisch inspizierten RLT-Anlagen finden sich jedoch dem Bereich Industrie/Produktion (42 %), da an Industriestandorten mehrere, in der Regel baugleiche, RLT-Anlagen inspiziert worden sind. Etwa 24 % entfallen auf den Büro- und Verwaltungsbereich, gefolgt von Messen (8 %) und Laboren (7 %). Abbildung 4 zeigt die Verteilung über alle Nutzungsarten.

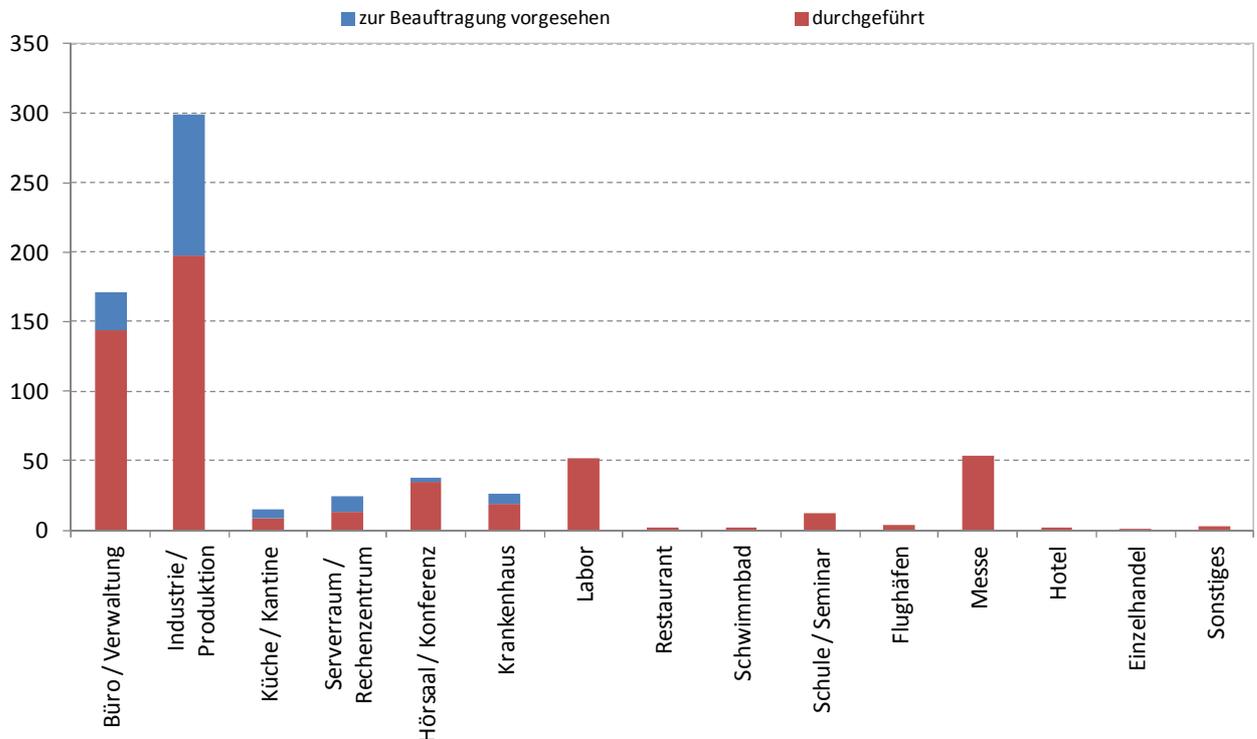


Abbildung 4: Anzahl aller inspizierten RLT-Anlagen [Anlagenanzahl] aus der 1. Marktabfrage

Aufgrund der im Industriebereich spezifisch großen Geräteluftmengen ist auch die inspizierte Gesamtluftmenge (42 %) und die inspizierte Kälteleistung (37 %) im Bereich Industrie/Produktion am Größten, gefolgt vom Büro- und Verwaltungsbereich (19 % und 22 %). Auch im Bereich der Messen werden in der Regel große spezifische Geräteluftmengen gefördert, weshalb dieser Bereich bei der Gesamtluftmenge und der Gesamtkälteleistung (je 20 %) ebenfalls stark herausragt. Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Verteilung in Abhängigkeit der Nutzungsart grafisch.

Die Häufigkeit der inspizierten RLT-Anlagen je Nutzungsart entspricht gut der Häufigkeitsverteilung aller am Markt installierten RLT-Geräte nach FRANZKE, SCHILLER [10]. Insofern lässt sich derzeit keine Dominanz einer einzelnen Nutzungsart nachweisen.

Der mittlere Luftvolumenstrom aller inspizierten RLT-Anlagen liegt mit ca. 21.000 m<sup>3</sup>/h über dem Mittelwert der in den letzten Jahren errichteten RLT-Anlagen von ca. 14.000 m<sup>3</sup>/h (Zuluftgeräte) gemäß [7] und [8]. Insofern lässt sich aus den Daten der Marktabfrage ein Trend zur bevorzugten Beauftragung der Energetischen Inspektion im Bereich großer RLT-Anlagen mit hohen Luftvolumenströmen ableiten.

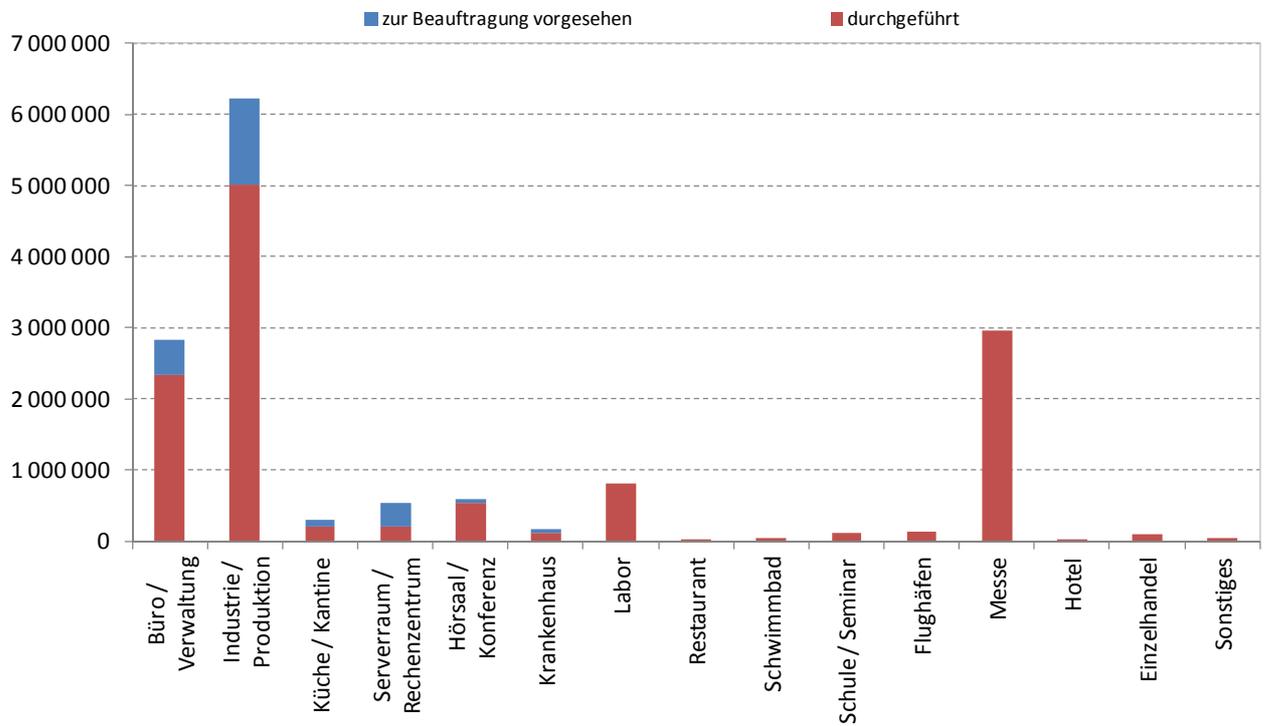


Abbildung 5: Gesamtluftvolumenstrom aller inspizierten RLT-Anlagen je Nutzungsart [m³/h]

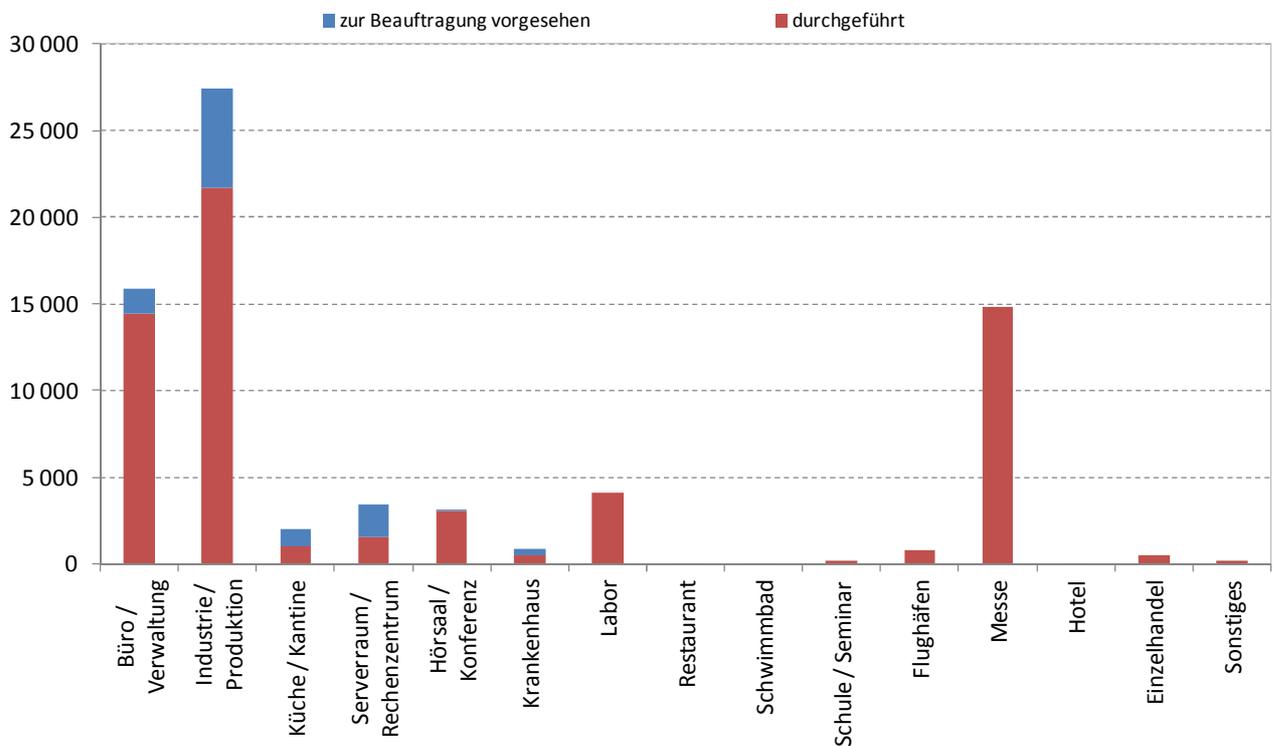


Abbildung 6: Gesamtkälteleistung aller inspizierten RLT-Anlagen je Nutzungsart [kW]

Die Häufigkeitsverteilung der für die Inspektion verwendeten Hilfsmittel zeigt Abbildung 7.

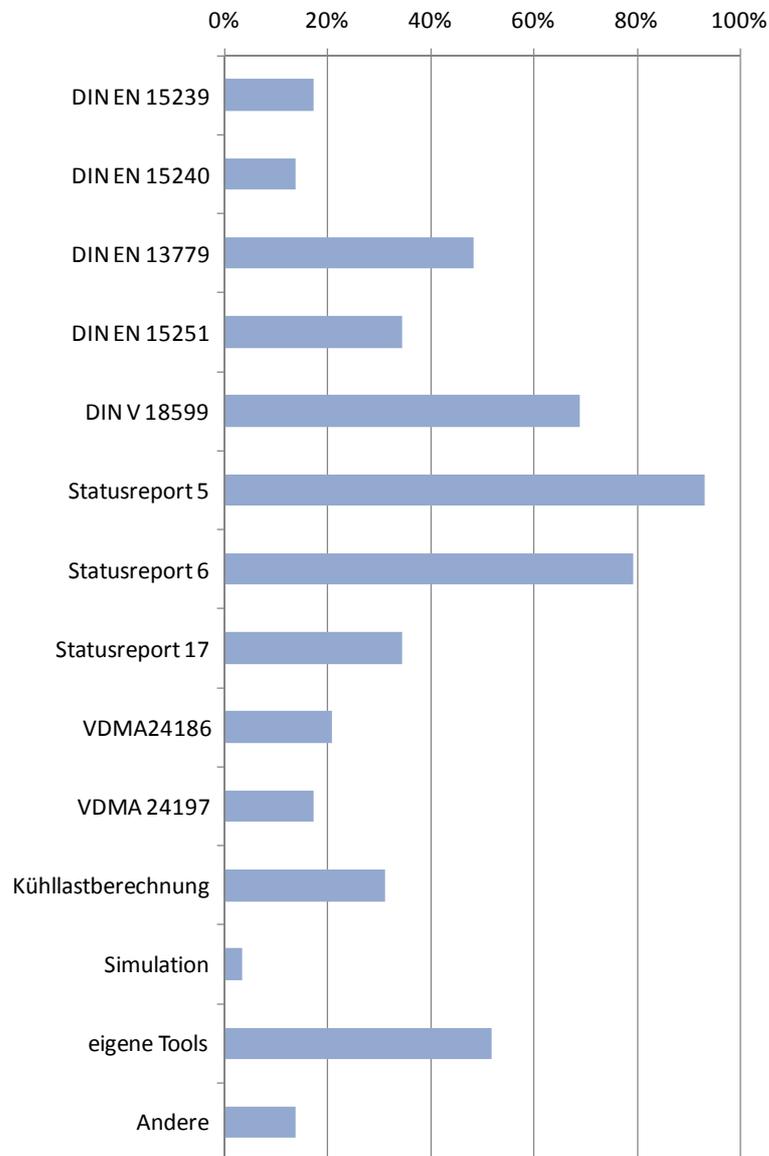


Abbildung 7: Verwendete Hilfsmittel bei der Energetischen Inspektion

Der hohe Anteil der FGK-Statusrepte 5 und 6 [14], [15] verweist auf die Notwendigkeit der bisher geleisteten Verbandsarbeit auf diesem Gebiet. Gleichzeitig wird deutlich, dass die europäische Normung (DIN EN 15239 und 15240) trotz aller Unklarheiten in Betracht gezogen wird. Erwartungsgemäß werden für die Energetische Inspektion sehr selten Simulationstools verwendet.

### 1.1.7 Fazit

Für die Bestandsflächen von Nichtwohngebäuden wird nach Auswertung verschiedener Quellen von einer Nutzfläche in Höhe von 2,4 Mrd. m<sup>2</sup> ausgegangen.

Die Markteinschätzung für die installierten Klimaanlage beinhaltet aufgrund der Datenlage weiterhin Unsicherheiten.

Eine Methode basiert auf der Auswertung der Absatzzahlen von Lüftungstechnischen Zentralgeräten, die zu einer Bestandsschätzung für den Luftvolumenstrom von 4,5 bis 6,0 Mrd. m<sup>3</sup>/h führte. Diese Zahl kann durch die Bestandsermittlung nach der Bottom-Up-Methode, bei der von statistischen Gebäudedaten und typischen Ausstattungsgraden ausgegangen wird, nicht ganz bestätigt werden. Gleichwohl muss gesagt werden, dass die Bottom-Up-Methode deutlich mehr Lücken und somit Unsicherheiten enthält. Nach dieser Methode hochgerechnet, ergibt sich ein Bestands-Luftvolumenstrom von 3,5 bis 6,0 Mrd. m<sup>3</sup>/h.

Legt man einen mittleren spezifischen Außenluftvolumenstrom von 6 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>) zugrunde (entspricht einem ca. 2-fachen Luftwechsel) würde aus dem Gesamtvolumenstrom und dem Flächenbestand eine Flächenkonditionierungsquote von 24 % bis 42 % resultieren.

Legt man den durchschnittlichen Luftvolumenstrom aus der Häufigkeitsverteilung der am Markt abgesetzten Geräte von ca. 14.000 m<sup>3</sup>/h zugrunde, ergibt sich eine Bestandszahl von 250.000 – 420.000 raumluftechnische Anlagen mit Kühlfunktion > 12 kW.

Der Rückschluss von den Marktdaten für Kältemaschinen auf die installierten RLT-Anlagen bestätigt die vorgenannte Bandbreite, wie Abbildung 8 zeigt.

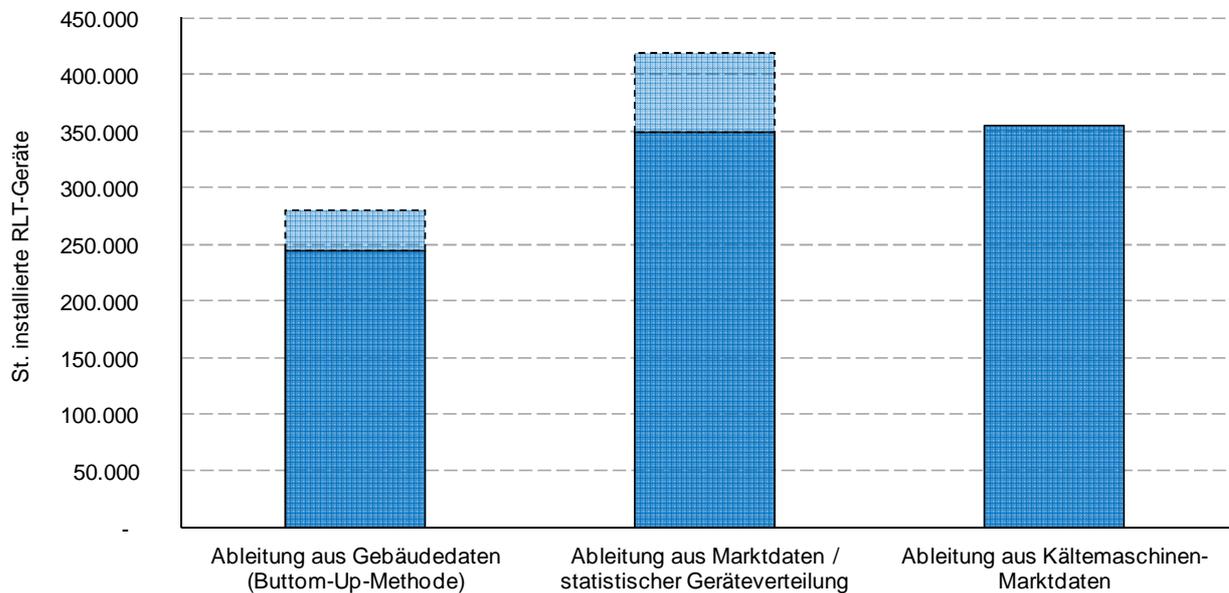


Abbildung 8: Abschätzung der Stückzahlen von installierten RLT-Anlagen für 2012 nach verschiedenen Methoden

Nicht erfasst sind reine Raumkühlsysteme. Hier besteht auch das Problem, dass häufig raumlufttechnische Anlagen zur Mindestlüftung und dezentrale Kühlsysteme zur Spitzenkühlung kombiniert werden, so dass beide Systeme nicht additiv betrachtet werden dürfen. Bei Berücksichtigung ausschließlicher Raumkühlsysteme dürfte sich die Stückzahl erhöhen, wegen der eher geringen Leistungen werden aber keine signifikanten Steigerungen bei den klimatisierten Flächen erwartet.

Mit den Rückmeldungen der Marktumfrage wurden 705 durchgeführte Inspektionen an raumlufttechnischen Anlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von ca. 15 Mio. m<sup>3</sup>/h direkt zurückgemeldet. Nach realistischer Einschätzung der Gesamtsituation wird davon ausgegangen, dass dies ca. 20 % des Marktes abdeckt. Somit würde die Schätzung zu einem erwarteten Vollzug der Klimaanlageinspektion von ca. 3.500 Anlagen und 75 Mio. m<sup>3</sup>/h bedeuten. Extrapoliert auf das Jahresende 2013 (Faktor 1,2) ergeben sich ca. 4.300 Anlagen und ein Volumenstrom von 90 Mio. m<sup>3</sup>/h.

Zum 1. Oktober 2013 müssen entsprechend § 12 der EnEV alle Anlagen inspiziert sein, die vor dem 1.10.2003 errichtet wurden. Unter Berücksichtigung der gesetzlichen Inspektionsintervalle und Übergangsfristen sowie statistischen Altersverteilung entsprechend der Baufertigstellung von Nichtwohngebäuden ergibt sich, dass

- ca. 68 % des Bestandes an raumluftechnischen Anlagen mit > 12 kW Kühlleistung
- ca. 64 % des angenommenen Bestandes an Kaltwassersätzen

zum 01.10.2013 inspiziert werden müssen. Dies führt zu folgenden Stückzahlen für die vor-schriftsmäßig abzuschließenden Inspektionen in 2013:

- 170.000 – 290.000 RLT-Geräte
- 20.000 wassergestützte Raumklimasysteme

denen die geschätzt vollzogenen 4.300 Inspektionen gegenüberstehen.

Der Vollzug würde also nach Stückzahlen 1,4 – 2,3 % des betroffenen Bestandes entsprechen. Bezogen auf den Gesamtvolumenstrom liegt die geschätzte Quote bei 1,5 – 2,6 %.

Bei aller Unsicherheit die nachwievor besteht, kann davon ausgegangen werden, dass eine Vollzugsquote von mehr als 3 % äußerst unwahrscheinlich ist.

Für eine stärkere Marktdurchdringung sind die bestehenden rechtlichen Instrumente unzureichend. Grundsätzlich bestehen zwar Sanktionsmöglichkeiten wie Ordnungsstrafen – praktisch ist aber kein Fall bekannt, bei dem diese Instrumente bisher genutzt wurden.

Teil- und Vollklimaanlagen bilden einen Anteil von ca. 40 % der abgesetzten raumluftechnischen Zentralgeräte. Daher existiert parallel ein nahezu ebenso großer Bestand an raumluftechnischen Anlagen ohne Kühlfunktion, die bisher nicht beachtet wurden. Da die wesentlichen Energieeinsparungen nicht im Bereich der Kälteerzeugung stattfinden sondern bei der Lufterwärmung und der Luftförderung, wird hier ein noch unerschlossenes Potenzial gesehen.

## **1.2 Auswertung durchgeführter Inspektionsergebnisse und realisierter Maßnahmen**

Seit 2009 wurden und werden vom Antragsteller und den Projektpartnern regelmäßig Energetische Inspektionen von RLT-Anlagen durchgeführt. Daher liegt eine Vielzahl von praktischen Inspektionsergebnissen vor. Eine Auswertung dieser Daten dokumentiert den technischen Stand einer Vielzahl von inspizierten RLT-Systemen. Anhand der gegebenen fachlichen Hinweise lassen sich allgemeingültige Sanierungsempfehlungen und daraus allgemeingültige, praktisch belegbare Energieeinsparpotentiale und Marktpotentiale von RLT-Anlagen ermitteln. Um die Datenbasis deutlich zu erweitern, wurde unter den Teilnehmern der ersten Marktabfrage im Zeitraum November bis Dezember 2012 eine erneute Umfrage nach detaillierten Inspektionsergebnissen für die RLT- und Kältetechnik durchgeführt. Zu den abgefragten Daten gehörten neben technischen Daten der Anlagentechnik auch die ermittelten Messwerte und Aussagen zu den Sanierungsempfehlungen.

### **1.2.1 Ergebnisse der Marktabfrage im Bereich RLT-Technik**

#### **1.2.1.1 Struktur des Bestandes von RLT-Anlagen**

Das mittlere Baualter aller inspizierten RLT-Anlagen liegt bei 25 Jahren (volumenstromgewichtet 27 Jahre) und reicht vom Baujahr 1965 bis 2010.

Diese gliedern sich auf in 61 % Kombigeräte und 36 % der Geräte mit räumlich getrennter Aufstellung der Zu- und Ablufteinheiten (3 % enthielten keine Angabe).

Die installierte Kühlerleistung summiert sich zu 15,23 MW, was einer spezifischen Kälteleistung von 7,2 W je m<sup>3</sup>/h Luftvolumenstrom entspricht. Ungefähr zwei Drittel der Anlagen beziehen die Kälteenergie aus gebäude- oder liegenschaftszentralen Erzeugungsanlagen, die nicht speziell der RLT-Anlage zuzuordnen sind. Ca. ein Drittel der RLT-Anlagen werden von direkt zuzuordnenden Kältemaschinen versorgt. Der Anteil geräteintegrierter Kältemaschinen ist von untergeordneter Bedeutung, was sicher durch die Nutzungs- und Größenstruktur der inspizierten RLT-Anlagen zu begründen ist. Demzufolge werden mehr als 90 % der Anlagen mit Kaltwasser gekühlt, der Anteil Direktverdampfer liegt unter 10 %.

Tabelle 9: Struktur der Kälteversorgung

	Anteil nach Stückzahlen	Anteil volumenstromgewichtet
Fremdlieferung aus Kaltwassernetz	65%	67%
separate Kältemaschine	31%	31%
integrierte Kältemaschine	5%	2%
<hr/>		
Kaltwasserkühlung	91%	96%
Direktverdampfung	9%	4%

Weitere wichtige Merkmale sind die Befeuchtungsfunktion sowie die Unterscheidung in reine Außenluftanlagen und Anlagen mit Umluftbeimischung.

Tabelle 10: Zusammensetzung der Luftbehandlungsfunktionen inspizierter RLT-Anlagen

	Anteil nach Stückzahlen	Anteil volumenstromgewichtet
Außenluftanlagen	53%	51%
Mischluftanlagen mit Umluftanteil	35%	39%
Umluftanlagen	8%	10%
<hr/>		
keine Luftbefeuchtung	61%	50%
Verdunstungsbefeuchtung	12%	21%
Dampfbefeuchtung	28%	29%

Jede zweite inspizierte Anlage wird demzufolge mit Umluft betrieben. Ungefähr 10 % der Anlagen haben nur offensichtlich eine reine Kühl- und keine Lüftungsfunktion und können mit 100 % Umluft betrieben werden.

Ungefähr 50 % des installierten Volumenstroms wird durch technische Einrichtungen befeuchtet, wobei der Anteil von Dampfluftbefeuchtern überwiegt. Der Energiebedarf dieser Anlagen ist überdurchschnittlich einzuschätzen.

Abbildung 9 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Baualtersklassen. Die tatsächliche Anlagennutzungsdauer liegt damit deutlich über der technischen Nutzungsdauer von RLT-Anlagen. Dabei

muss berücksichtigt werden, dass ein längerer Weiterbetrieb der Anlagen wahrscheinlich ist, wenn der Eigentümer eine energetische Inspektion veranlasst. Weiterhin ist festzustellen, dass energetische Inspektionen auch für Anlagen geringen Baualters außerhalb der vom Gesetzgeber geforderten Fristen beauftragt werden.

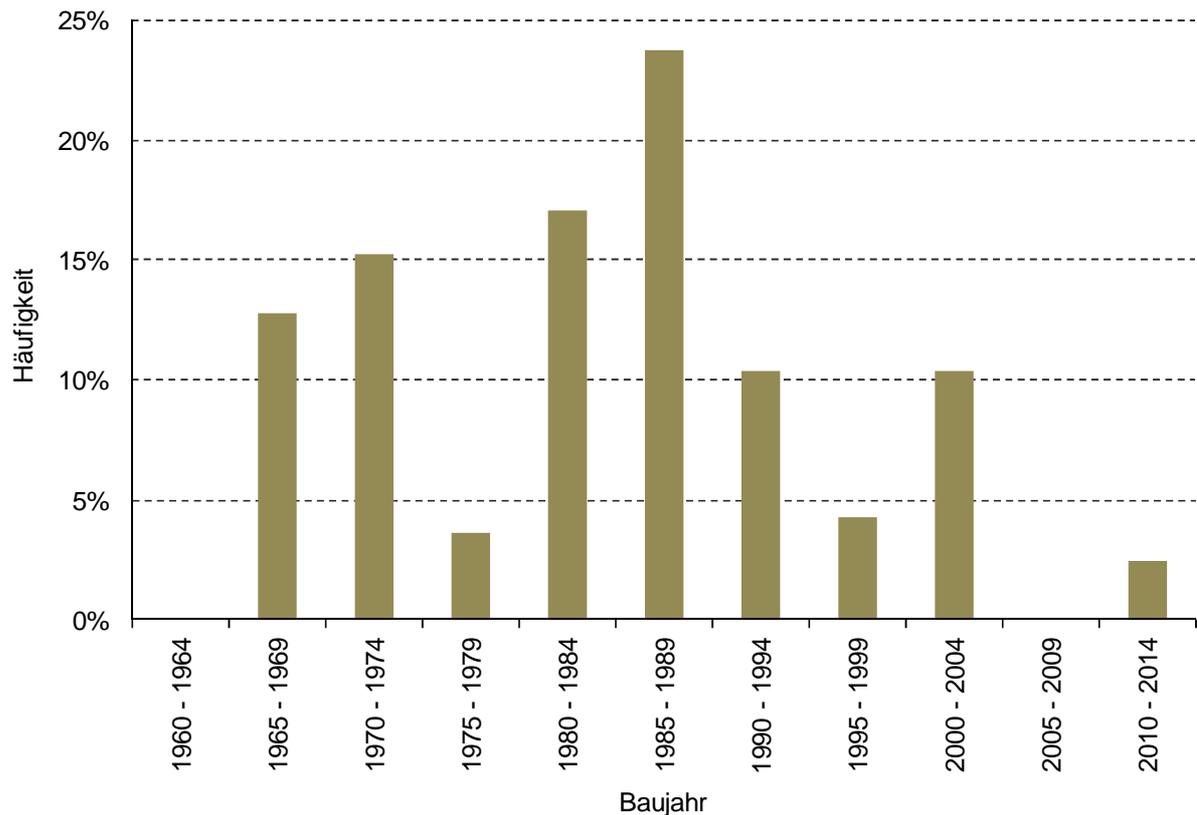


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung für das Baualter der inspizierten Klimaanlage aus der Marktumfrage

### 1.2.1.2 Energierückgewinnung

Ein sehr hoher Anteil der inspizierten Anlagen wurde mit Umluftbeimischung oder als reine Umluft-Kühlanlage (z.B. in Rechenzentren) betrieben. Umluftbeimischung diente zur Energierückgewinnung und wird nachfolgend auch als solche betrachtet. Auch wenn das Beimischen von Umluft in vielen Fällen wegen des hohen Aufwands zum Lufttransport für die Kühlung von Räumen nicht als energieoptimal angesehen werden kann, wird bei derartigen Anlagen der Einsatz von Wärmerückgewinnern häufig unwirtschaftlich.

Tatsächlich wies insgesamt nur ein Anteil von 19 % des Gesamtvolumenstroms keinerlei Energierückgewinnungsmöglichkeit auf. Anlagen mit Umluftbeimischung repräsentieren nahezu die Hälfte des Gesamtvolumenstroms. Bei den Wärmeübertrager-Systemen dominieren Rotoren und Kreislauf-Verbund-Systeme. Mit Plattenwärmeübertragern waren nur 3 von 119 Anlagen, deren Volumenströme deutlich unterhalb des Mittelwertes.

Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung von Energierückgewinnungssystemen

	Anteil nach Stückzahlen	Anteil volumenstromgewichtet
Platten-Wärmeübertrager	4%	2%
Rotationswärmeübertrager	13%	17%
Kreislauf-Verbund-System	11%	14%
Umluftbeimischung	42%	48%
keine	30%	19%

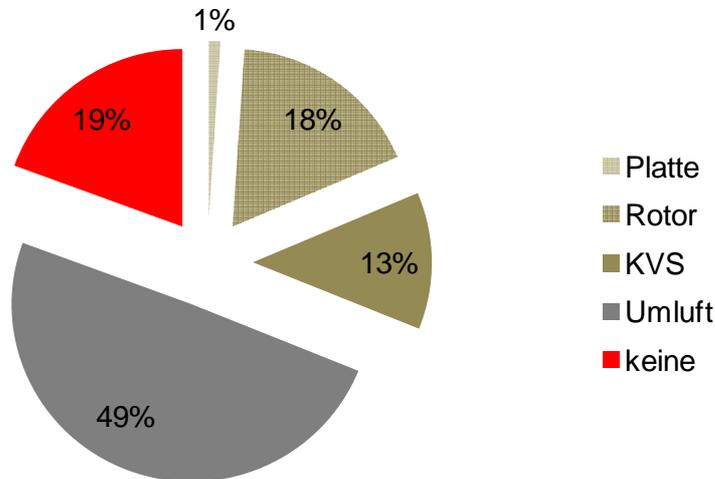


Abbildung 10: Verteilung der Energierückgewinnungssysteme – volumenstromgewichtet

Tabelle 12: Mittelwerte für Rückwärmzahl und Umluftanteil (nur betroffene Anlagen)

	einfacher Mittelwert	gewichteter Mittelwert
Rückwärmzahl	55%	56%
Umluftanteil	77%	69%

Den Inspektionsberichten von Anlagen der 60er und frühen 70er Jahre waren keine technischen Wärmerückgewinnungsanlagen zu entnehmen. Zu vermuten ist, dass Wärmerückgewinnungsanlagen erst als Reaktion auf die Ölpreiskrisen in den 70er Jahren in nennenswertem Umfang eingesetzt wurden. Die älteste Anlage mit einer separaten Wärmerückgewinnungsanlage stammt aus dem Jahr 1978.

Ebenso wird vermutet, dass der Ölpreisverfall der 80er Jahre sich rückläufig auf die Ausstattung von Energierückgewinnungssystemen auswirkte.

Grundsätzlich dürfte sich die Diskussion um das „Sick Building Syndrom“ der 90er Jahre auf den Rückgang von Anlagen mit Umluftbeimischung ausgewirkt haben. Dieser Effekt wird aber teilweise dadurch überlagert, dass die Inspektionsberichte eine Reihe von Anlagen beinhalten, die zur Kühlung thermisch hochbelasteter Räume (z. B. EDV) dienen, bei denen die Raumluftqualität keine entscheidende Rolle spielte.

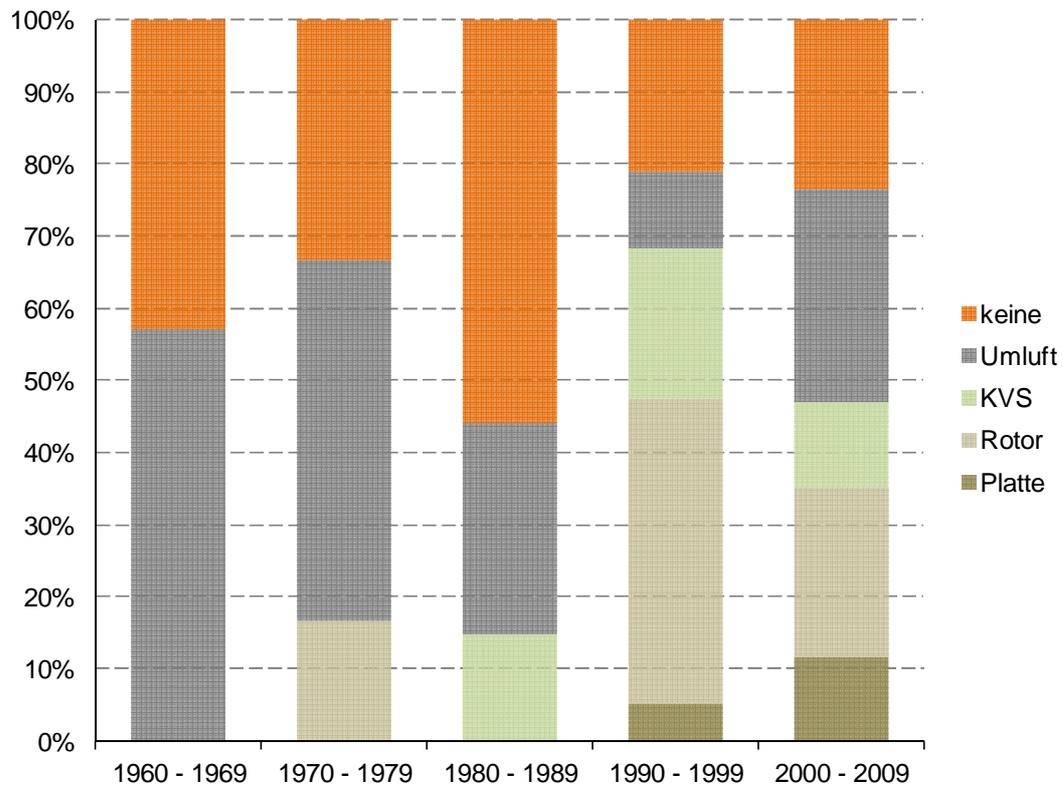


Abbildung 11: Verteilung der Anteile der Energierückgewinnungssysteme nach Baualterklassen – ungewichtet

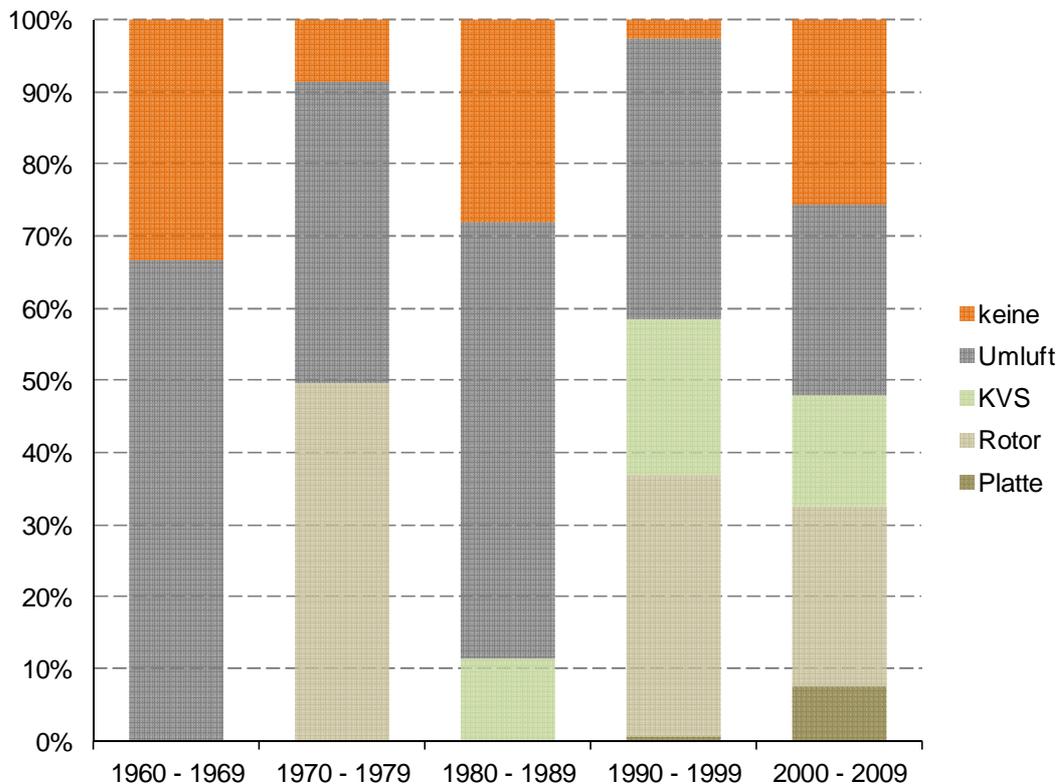


Abbildung 12: Verteilung der Anteile der Energierückgewinnungssysteme nach Baualtersklassen - volumenstromgewichtet

### 1.2.1.3 Ventilatoreffizienz

Bei den Ventilatoren überwiegen Radialventilatoren deutlich. Innerhalb dieser Gruppe dominieren Laufräder mit rückwärts gekrümmten Schaufeln, die sogenannten Hochleistungsventilatoren. Trommelläufer (vorwärts gekrümmte Schaufeln), die typischerweise geringere Wirkungsgrade aufweisen, nehmen insgesamt einen Anteil von nur 12 % ein. Dieser geringe Ausstattungsgrad ist sicherlich durch die überdurchschnittliche Anlagengröße begründet, in kleineren Anlagen wird ein höherer Anteil vermutet.

Mehr als die Hälfte der Ventilatoren sind mit Einrichtungen zur Drehzahlregelung ausgestattet. Hier dominieren Frequenzumrichter. Der Anteil älterer Systeme wie Dralldrossel-Regelung oder Schaufelverstellung ist gering. Da der Einsatz von Frequenzumrichtern erst in den 90er Jahren wirtschaftlich möglich wurde, kann ein hoher Anteil an Nachrüstungen auch bei älteren Anlagen angenommen werden.

Ca. 95 % der Ventilatoren werden über Keilriemen angetrieben. Flachriemen machen nur 1 % der Kraftübertragungssysteme aus. Ein geringer Anteil der neueren Anlagen wird direkt angetrieben.

Tabelle 13: Technologien zur Luftförderung

	Anteil nach Stückzahlen	Anteil volumenstromgewichtet
Radialventilator, vorwärts gekrümmt	12%	12%
Radialventilator, rückwärts gekrümmt	86%	84%
Axialventilator	2%	4%
keine Einrichtung zur Drehzahlregelung	48%	45%
Frequenzumrichter	50%	47%
Dralldrossel-Regelung	2%	7%
Schaufelverstellung	1%	1%
Keilriemen	94%	96%
Flachriemen	1%	1%
Direktantrieb	5%	2%

Der mittlere SFP-Wert aller Zuluftventilatoren beträgt 2,00 kW/(m<sup>3</sup>/s), bei den Abluftventilatoren liegt der mittlere SFP-Wert bei 1,32 kW/(m<sup>3</sup>/s). Damit liegen die SFP-Werte durchschnittlich ca. ein Drittel über den Referenzwerten der aktuellen Energie-Einsparverordnung. Die gewichteten Mittelwerte aus Zu- und Abluftventilatoren entsprechen allerdings im Mittel den Anforderungen der EnEV im §15 (Klasse SFP 4).

Tabelle 14: Mittelwerte der spezifische Ventilatorleistungen (SFP-Werte)

	einfacher Mittelwert [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	gewichteter Mittelwert [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	Referenzwert EnEV 2009 [kW/(m <sup>3</sup> /h)]
Zuluftventilatoren	2,00	1,99	1,50
Abluftventilatoren	1,32	1,32	1,00

Gemäß Abbildung 13 und Abbildung 14 ist eine signifikante Abhängigkeit der SFP-Werte vom Baujahr oder vom Luftvolumenstrom nicht erkennbar.

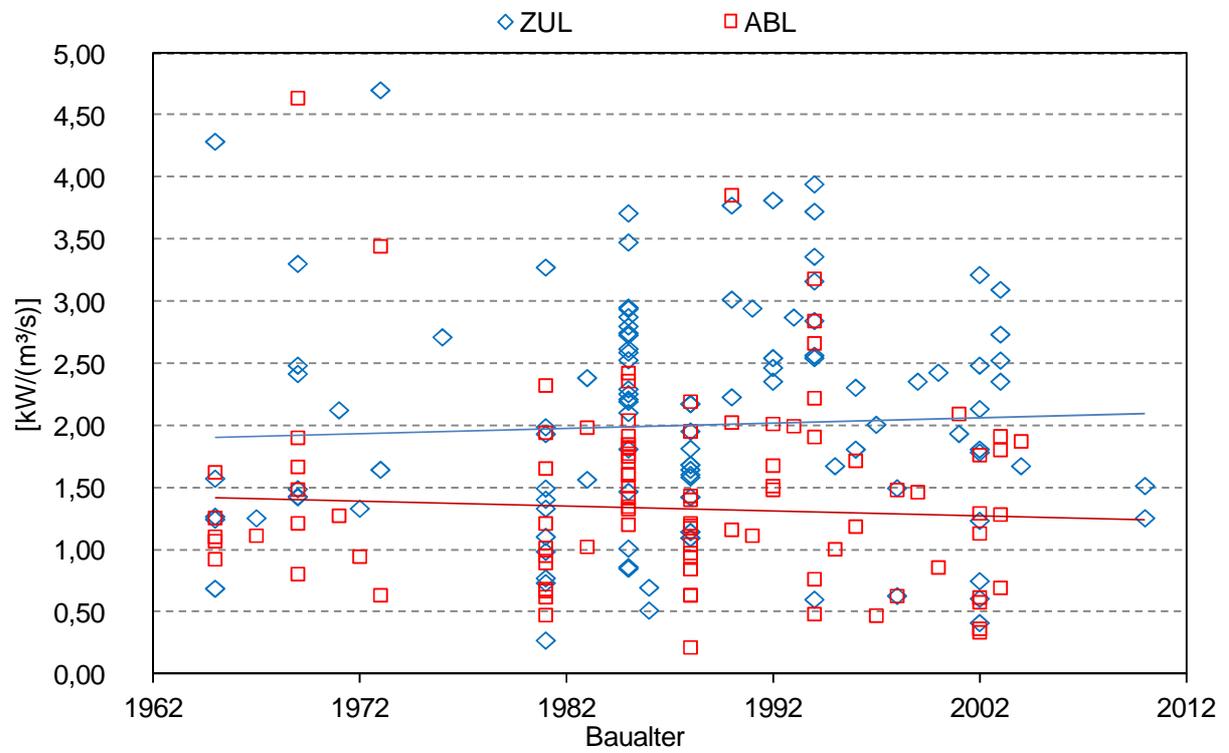


Abbildung 13: SFP-Werte in Abhängigkeit des Anlagen-Baualters

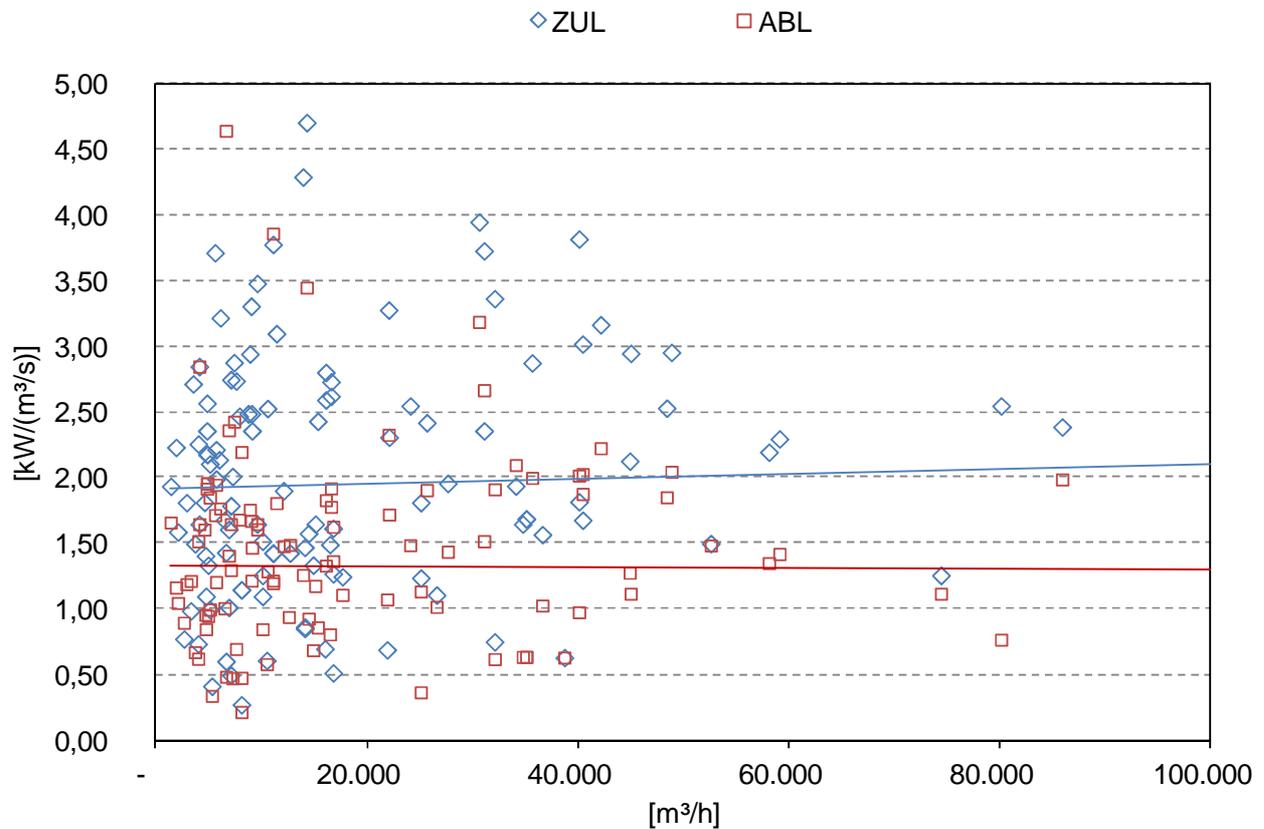


Abbildung 14: SFP-Werte in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms

Die durchschnittlich festgestellten Systemwirkungsgrade lagen unterhalb von 40 % gegenüber einem Benchmark von 70 %. Durch effizientere Komponenten wären theoretisch Stromeinsparungen von durchschnittlich bis zu 50 % zu erwarten.

Tabelle 15: Mittlere Systemwirkungsgrade von Ventilatoren

	einfacher Mittelwert	gewichteter Mittelwert	Benchmark
Zuluftventilatoren	38%	38%	70%
Abluftventilatoren	34%	32%	70%

Einen sichtbaren Zusammenhang zwischen dem Systemwirkungsgrad und Baualter zeigt Abbildung 15. Das tendenziell höhere Wirkungsgrade bei Ventilatoren größerer Leistung auftreten, verdeutlicht Abbildung 16. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Ventilator-Bauart und Wirkungsgrad konnte nicht festgestellt werden, siehe Abbildung 17.

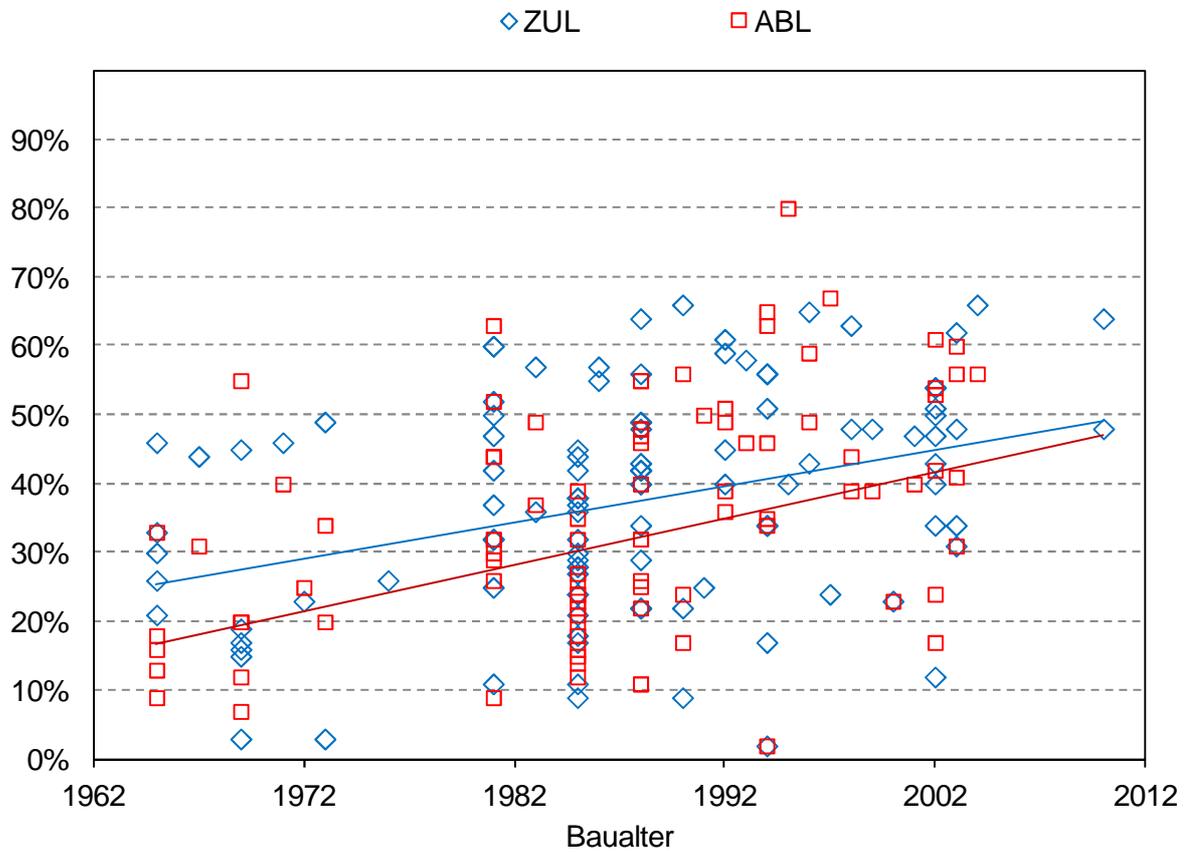


Abbildung 15: Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit des Baualters

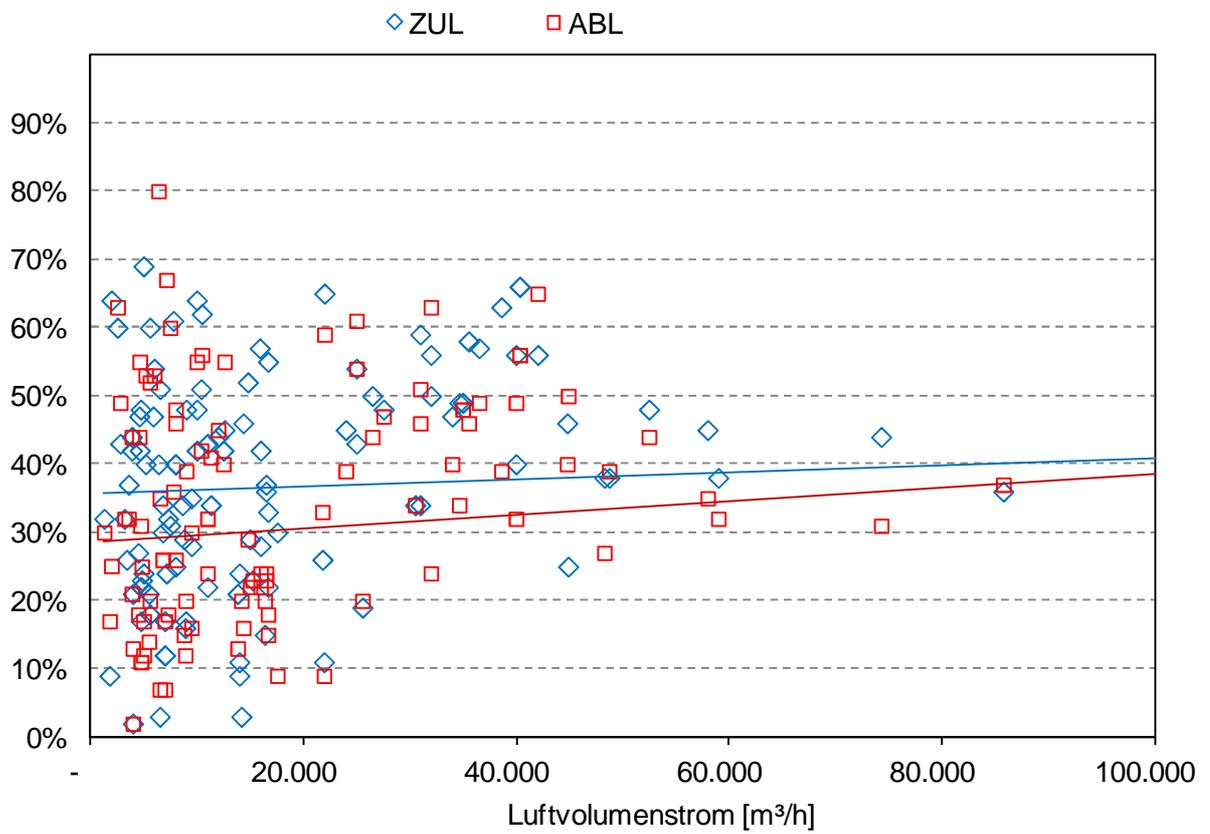


Abbildung 16: Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms

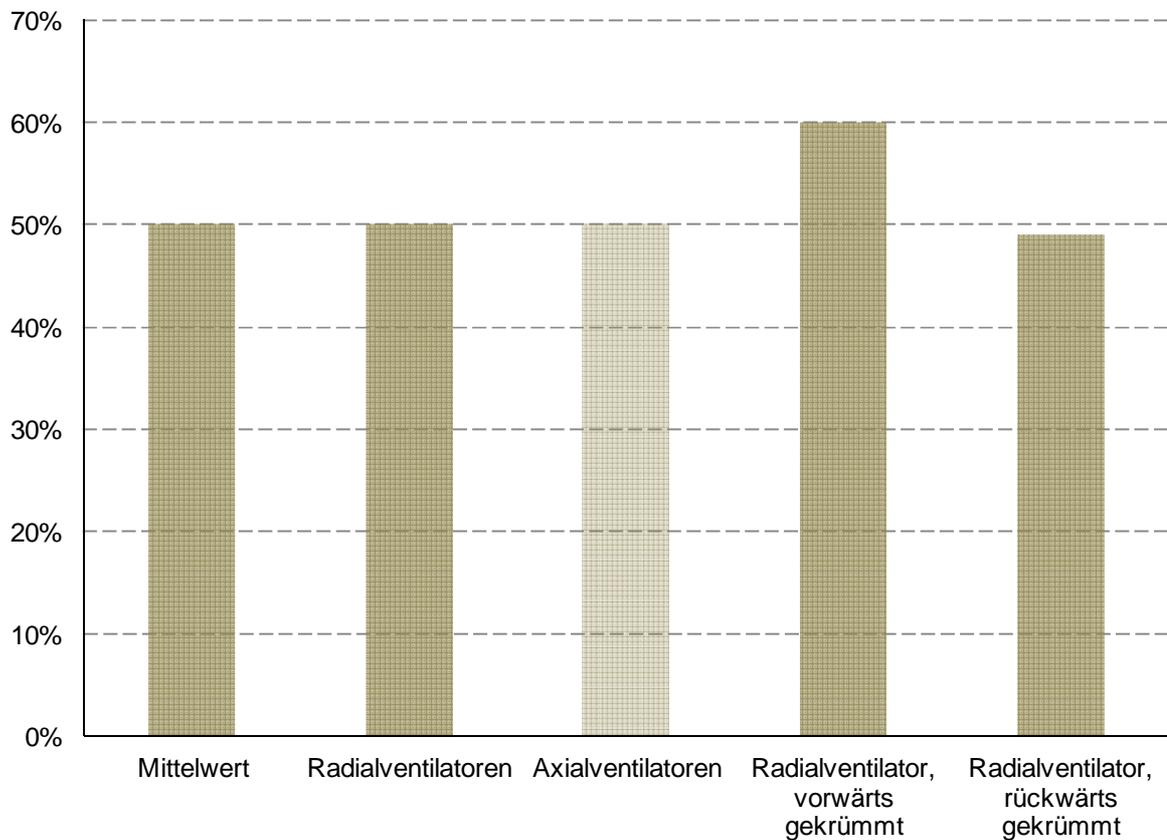


Abbildung 17: Mittlere Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit der Bauart

Unerwartet stellt sich der Zusammenhang zwischen den festgestellten Gesamt-Druckerhöhungen der Ventilatoren und den Baualtersklassen dar, der in Abbildung 18 ersichtlich ist. Danach wurden bei den sehr alten Anlagen der 60er und 70er Jahre außerordentlich niedrige Druckerhöhungen festgestellt. Die höchsten Werte wurden in Anlagen der 90er Jahre festgestellt, während in den 2000er Jahren eine Abnahme zu verzeichnen war.

Es liegt die Vermutung nahe, dass in den sehr alten Anlagen bereits Volumenstromreduzierungen stattgefunden haben, die zu einer Abnahme der Druckverluste führten. Eine Auslegung der Ventilatoren im Durchschnitt auf unter 500 Pa Gesamtdruckerhöhung bei Nennvolumenstrom deckt sich nicht mit den Erfahrungen mit der Sichtung von Bestandsunterlagen derartiger Anlagen.

Diese Hypothese wird bestätigt, wenn die Systemwirkungsgrade als Funktion der Gesamtdruckerhöhung nach Abbildung 19 dargestellt werden. Hier ergibt sich ein sehr deutlicher Zusammenhang,

der auf Verschiebungen der Ventilator-Betriebspunkte in nichtoptimale Kennfeldbereiche vermuten lässt und zu Überdimensionierungen bei den Antriebssystemen führte.

Volumenstromreduzierungen haben den bereits Energieverbrauch gesenkt. Es bleibt aber zu vermuten, dass vielfach die Verschiebungen der Betriebspunkte zu einer Verringerung der Druckverluste bei gleichzeitiger Verschlechterung der Wirkungsgrade geführt haben, wodurch die SFP-Werte entsprechend Abbildung 14 im Mittel weitgehend unverändert blieben.

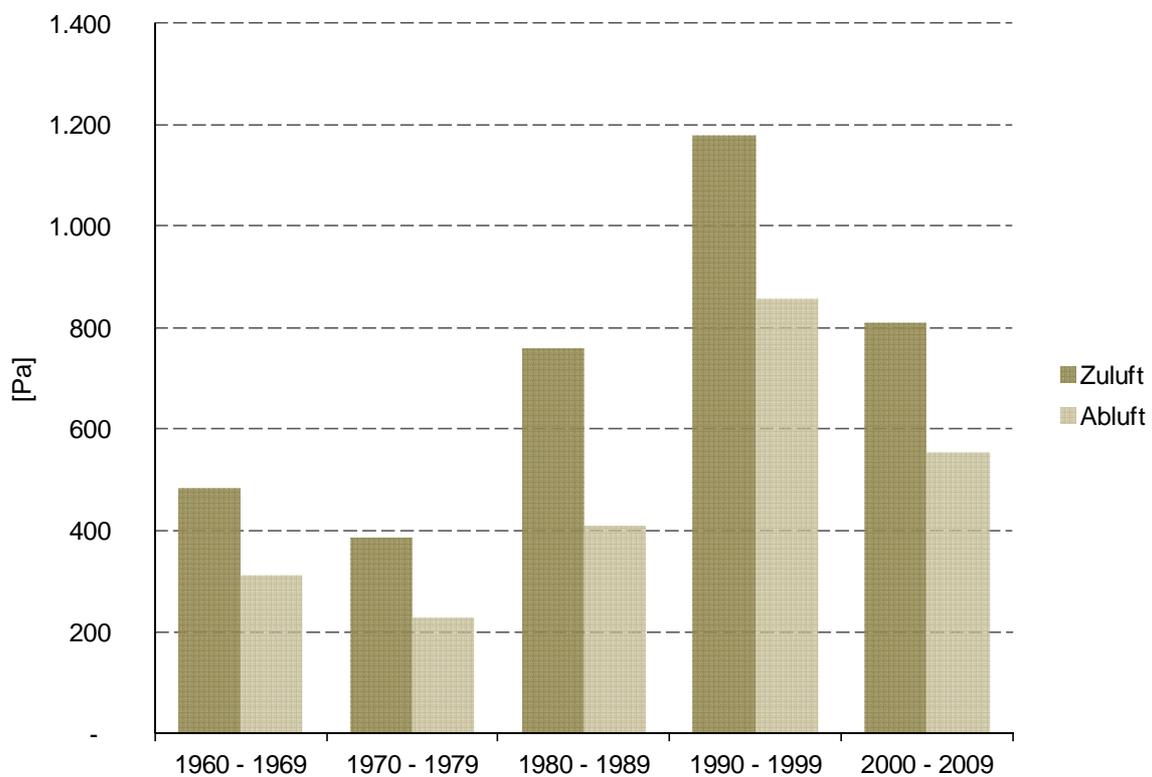


Abbildung 18: Mittlere Gesamt-Druckerhöhungen nach Baualterklassen

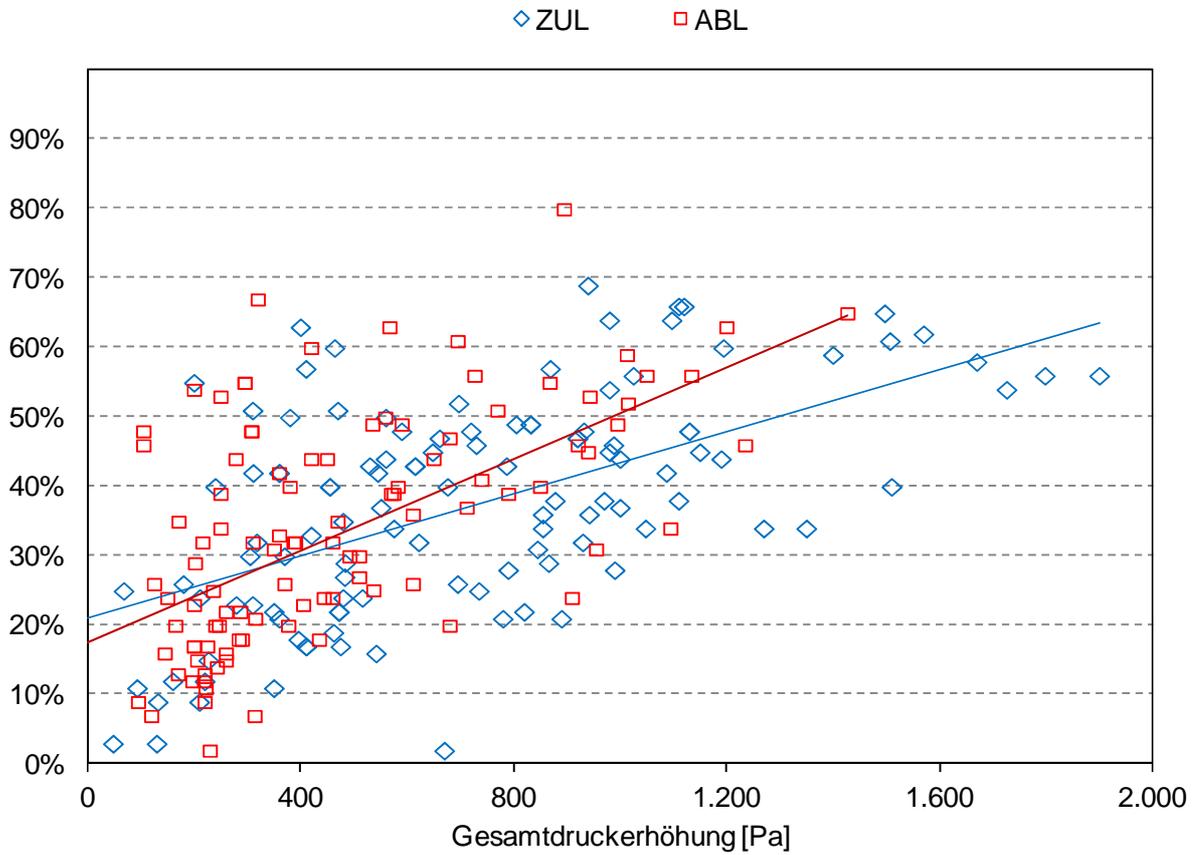


Abbildung 19: Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit der Gesamtdruckerhöhung

#### 1.2.1.4 Sanierungsempfehlungen

Gemäß § 12 der EnEV hat mit der Inspektion eine Prüfung der Anlagendimensionierung zu erfolgen. Daher wurde zunächst das Ergebnis der Prüfung der Anlagen-Überdimensionierungen und die Bezugsgröße (Kühllast oder Außenluftbedarf) abgefragt. Wenn eine Überdimensionierung hinsichtlich beider Bezugsgrößen festgestellt wurde, kann eine Reduzierung der Anlagenleistung vorgenommen werden.

Tabelle 16: Häufigkeiten und Gründe für die Überdimensionierung von RLT-Anlagen

	einfacher Mittelwert	gewichteter Mittelwert
Kühllast	23%	25%
Außenluftbedarf	53%	67%
Kühllast und Außenluftbedarf	13%	21%
keine Überdimensionierung	39%	29%

Bei nur 39 % der RLT-Anlagen und 29 % des Anlagenvolumenstroms wurde keine Überdimensionierung vor. 21 % des betroffenen Volumenstroms war sowohl in Bezug auf die Kühllast als auch in Bezug auf den Außenluftbedarf eine Überdimensionierung vor. Der deutliche Unterschied in der Häufigkeit der Kriterien „Kühllast“ und „Außenluftbedarf“ zeigt die Tendenz, dass die Anlagen zur Kühllastabfuhr mehr Luft transportieren als zur Deckung des Außenluftbedarfs notwendig wäre – typisch für „Nur-Luft-Systeme“.

Um eine statistische Auswertung der sehr individuellen Inspektionsergebnisse vornehmen zu können, wurden für die detaillierte Marktabfrage typische Empfehlungsklassen definiert und dafür die Häufigkeit der Empfehlung sowie der Stand der Realisierung abgefragt. Dabei wurden nur anlagentechnische Maßnahmen definiert, keine Empfehlungen, die eine Lastminimierung (z.B. Sonnenschutzanlagen) zum Ziel gehabt hätten. Die Ergebnisse zeigen Abbildung 20 und Abbildung 21, wobei zwischen der ungewichteten und volumenstromgewichteten Darstellung nur geringe Unterschiede auftreten.

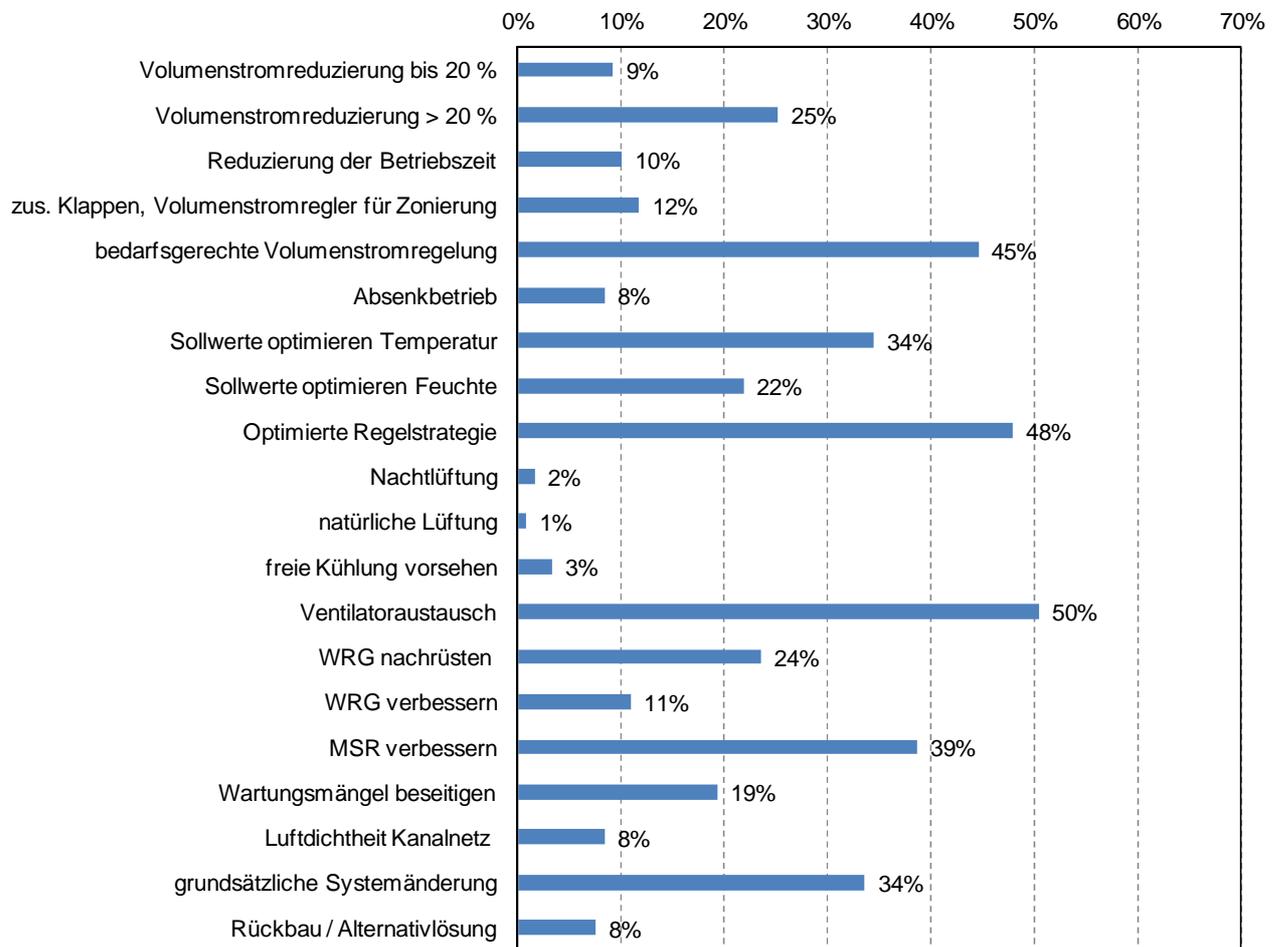


Abbildung 20: statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen nach Kategorien (RLT) – ungewichtete Häufigkeiten

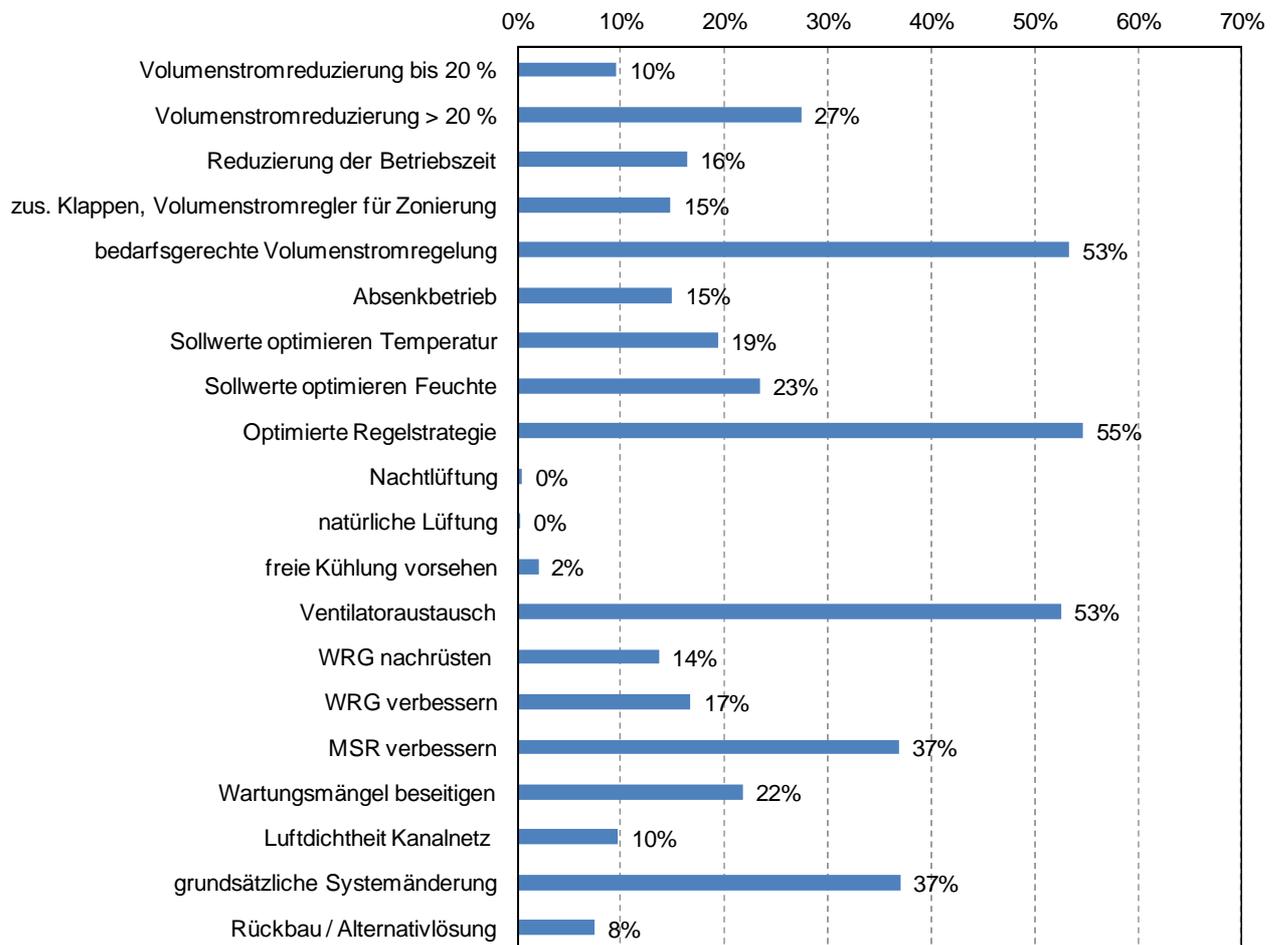


Abbildung 21: statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen nach Kategorien (RLT) – volumenstromgewichtete Häufigkeiten

In 9 % aller Fälle wurde eine Volumenstromreduzierung bis zu 20 % empfohlen, bei 27 % aller Anlagen eine Volumenstromreduzierung von über 25 %. Die geringere Quote von 9 % für kleinere Volumenstromreduzierungen im Verhältnis zur hohen Häufigkeit großer Volumenstromreduzierungen überrascht. Gleichzeitig erscheint widersprüchlich, dass bei 27 % aller Anlagen eine Volumenstromreduzierung empfohlen wurde, während nur bei 13 % aller Anlagen sowohl eine Überdimensionierung hinsichtlich der Kühllast und gleichzeitig auch hinsichtlich des Außenluftbedarfs festgestellt wurde.

Legt man mittlere Reduzierungen in den beiden Fällen von 15 % bzw. 30 % zugrunde, ergibt sich aus den Empfehlungen ein Reduktionspotenzial von insgesamt 10 % des Luftvolumenstroms entsprechend Abbildung 22.

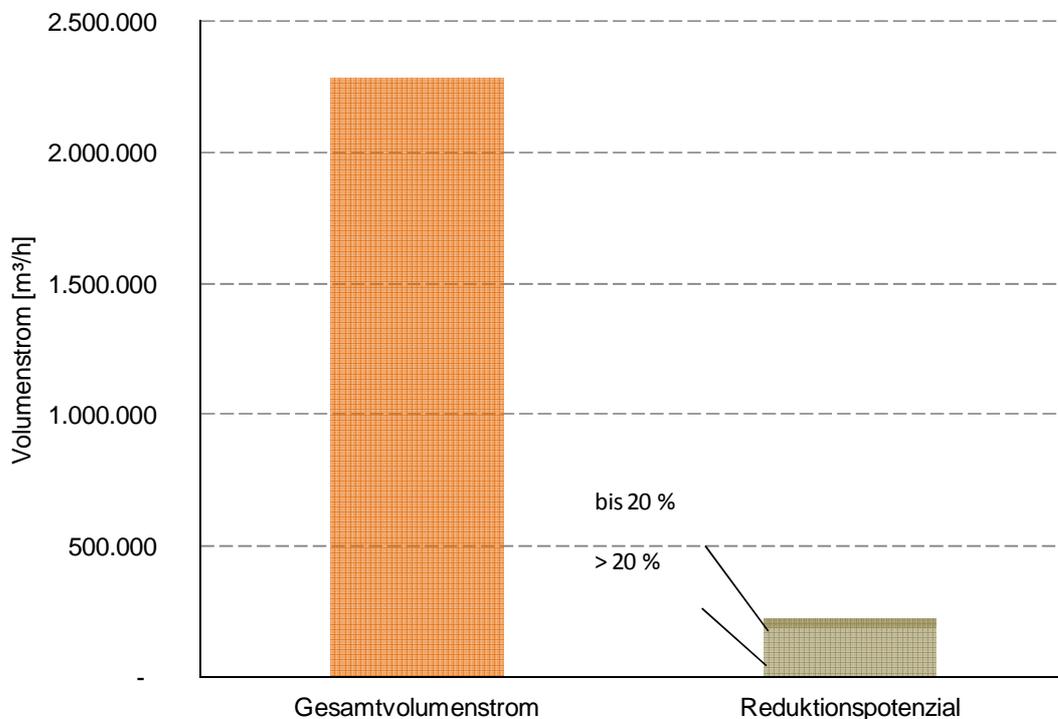


Abbildung 22: Auswirkung der Empfehlung „Luftvolumenstrom reduzieren“ auf den Gesamtvolumenstrom

Neben der Volumenstromreduzierung wurden sehr häufig weitere Empfehlungen abgegeben, die unter dem Begriff Betriebsoptimierung zusammengefasst werden können.

Bei jeder 10. Anlage lässt sich die Betriebszeit reduzieren, davon ist 16 % des Gesamtvolumenstroms betroffen.

Bei 45 % aller Fälle wurde eine bedarfsgerechte Volumenstromregelung empfohlen. Gleichzeitig wurde nur bei 12 % der Anlagen die Notwendigkeit gesehen, zusätzliche Klappen oder Volumenstromregler zur besseren Zonierung nachzurüsten. Die Empfehlung zur bedarfsgerechten Lüftung betraf bei 60 % der Fälle auf Anlagen zu, die bereits eine Drehzahlregeleinrichtung durch Frequenzumrichter aufwiesen. Beide Ergebnisse zeigen die Tendenz, dass die Umsetzung einer bedarfsangepassten Lüftung mit geringerem Aufwand möglich scheint, als angenommen.

Insgesamt werden wird empfohlen,

- bei 8 % aller Anlagen einen Absenkbetrieb vorzunehmen
- bei 48 % aller Anlagen die Regelstrategie zu optimieren

Dazu wird bei 39 % der Anlagen eine Modernisierung der MSR-Technik empfohlen. Die Empfehlung „optimierte Regelstrategie“ konnte bei jeder zweiten Anlage ohne die Empfehlung „MSR modernisieren“, also auf Basis der vorhandenen Hardware abgegeben werden.

Einfache Sollwert-Anpassungen, die üblicherweise ohne zusätzliche Investitionen vorzunehmen sind, werden bei 34 % (Temperatur) bzw. 22 % (Feuchte) aller Anlagen empfohlen. Dabei ist besonders interessant, dass bei jeder zweiten Anlage mit Befeuchtungseinrichtung eine Anpassung des Feuchte-Sollwertes empfohlen wurde.

Für 24 % aller RLT-Anlagen wird die Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung empfohlen, in 11 % aller Fälle wurde empfohlen, das vorhandene WRG-System zu optimieren. Erwartungsgemäß traf die Empfehlung „Wärmerückgewinner nachrüsten“ überwiegend Anlagen, die mit reiner Außenluft arbeiten. Für Anlagen mit Umluftbeimischung traf die Empfehlung kaum zu, da hohen Investitionskosten geringere Einsparungen gegenüber stehen.

Wenn eine Empfehlung getroffen wurde, vorhandene Wärmerückgewinnungsanlagen zu verbessern, betraf dies überwiegend Kreislauf-Verbund-Systeme (Abbildung 23).

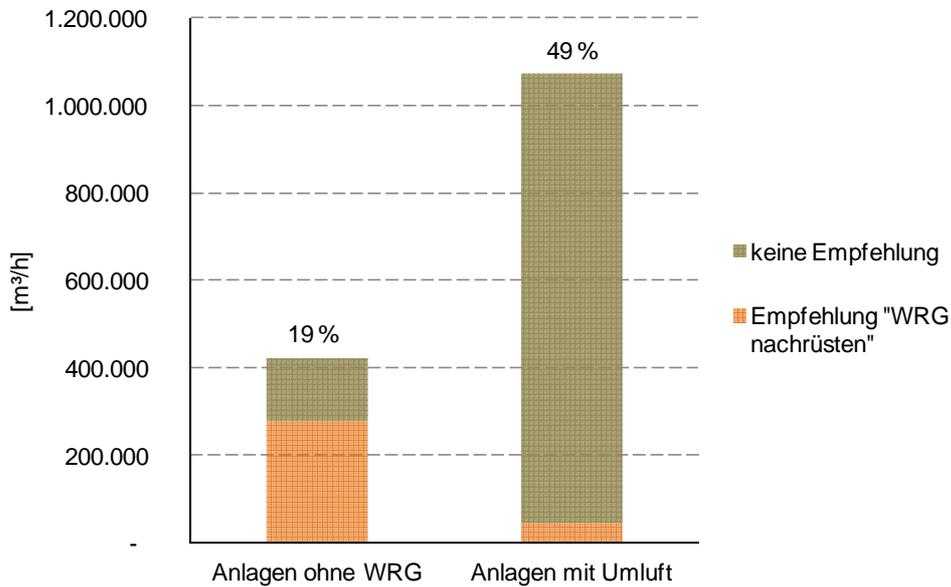


Abbildung 23: Volumenstromanteile der Empfehlung „Wärmerückgewinner nachrüsten“

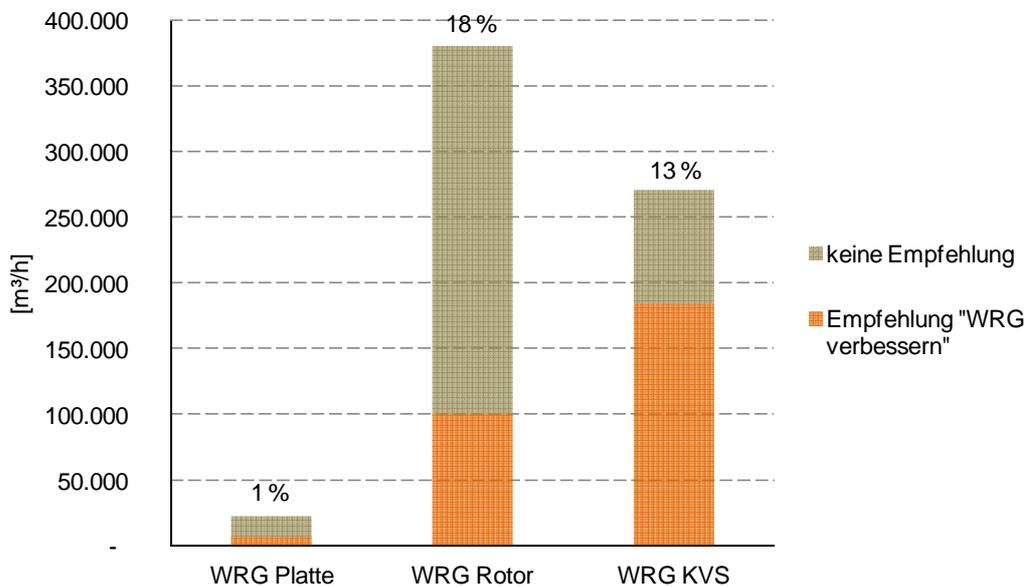


Abbildung 24: Volumenstromanteile der Empfehlung „Wärmerückgewinner verbessern“

Ein großes Potenzial wird im Austausch der Ventilatoren gesehen. Für 50 % aller Anlagen lautete die Empfehlung „Ventilatoren austauschen“, was bei den niedrigen Systemwirkungsgraden entsprechend Tabelle 15 plausibel erscheint. Filtert man die Systemwirkungsgrade der Anlagen, bei denen diese Empfehlung abgegeben wurde, ergeben sich für die betroffenen Systemwirkungsgra-

de Mittelwerte, der nur geringfügig von den Mittelwerten aller Anlagen abweichen. Dies kann objektive Gründe (unterschiedliche Anlagenlaufzeiten, Zugänglichkeit, organisatorische Probleme) haben. Es können aber durch individuell unterschiedliche Einschätzungen der Wirtschaftlichkeit durch die Inspektoren begründet sein.

In etwa einem Drittel aller Fälle wurde empfohlen, eine grundsätzliche „Systemänderung“ oder „Rückbau / Alternativlösungen“ vorzunehmen. Davon waren Anlagen mit Umluftbeimischung fast immer betroffen (94 %), bei reinen Außenluftanlagen traf die Empfehlung nur auf 17 % des Gesamtvolumenstroms zu.

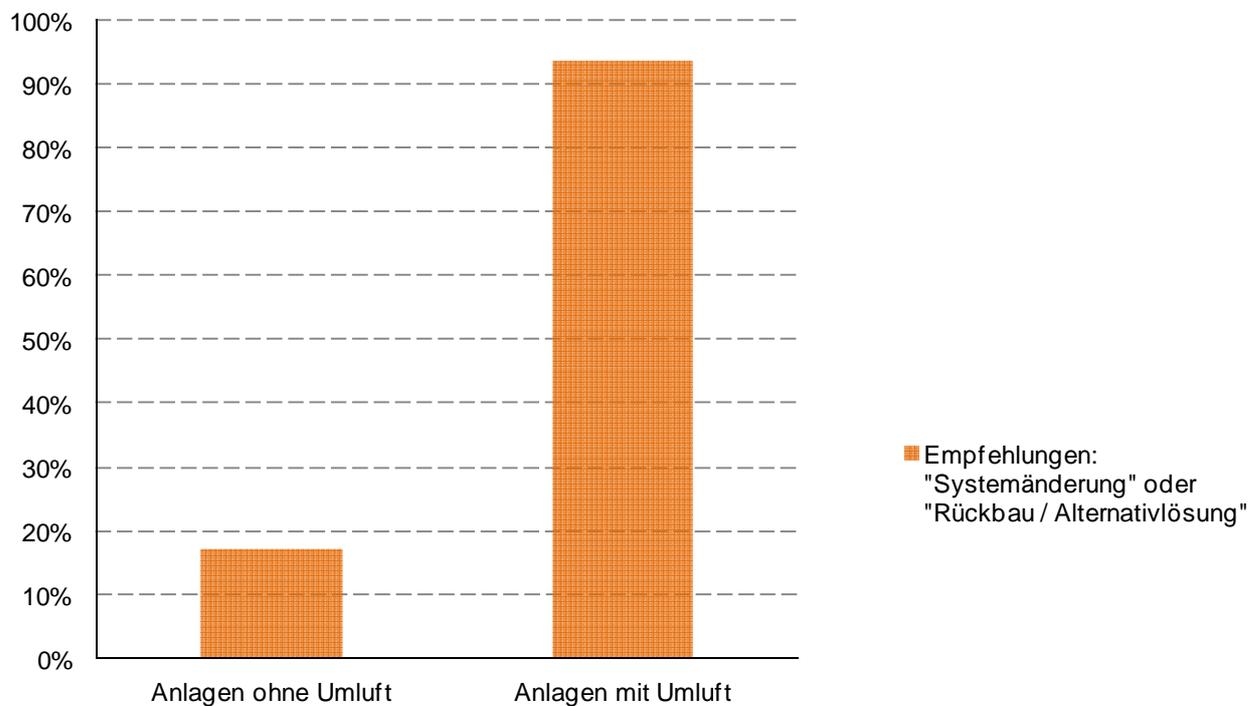


Abbildung 25: Häufigkeit (volumenstromgewichtet) der Empfehlungen „grundsätzliche Systemänderung“ oder „Rückbau / Alternativlösung“

## 1.2.2 Ergebnisse der Marktabfrage im Bereich Kältetechnik

Im Bereich der Kälteanlagen wurden per Formular folgende Inhalte abgefragt:

- technischen Daten (Baujahr, Nennleistung, Nennleistungszahl, Kältemittel),
- Bauart (Rückkühler, Verdichtertyp, Leistungsregelung),
- Kaltwasserhydraulik (Pumpenleistung, Leistungsregelung, Betriebszeit),
- Prüfergebnis (Teilkennwert, Sanierungsempfehlungen).

Das Formular mit RLT- und Kälteteil ist in Anhang 2 enthalten.

Unter Berücksichtigung aller von den Autoren und den Marktteilnehmern durchgeführten Energetischen Inspektionen liegen in Summe 33 detaillierte Inspektionsergebnisse im Bereich Kältetechnik vor, die einen guten Durchschnitt über alle Nutzungsarten bilden. Das entspricht von der Anzahl her etwa einem Drittel der RLT-Anlagen, was daran liegt, dass Kälteanlagen in der Regel mehrere RLT-Geräte versorgen. Insofern kann auch bei dieser Stichprobe von einem repräsentativen Marktquerschnitt der bisher durchgeführten Energetischen Inspektionen ausgegangen werden. Insgesamt konnten so Kälteanlagen mit einer Gesamtkälteleistung von 7.800 kW in die detaillierte Auswertung einbezogen werden, was einer mittleren Kälteleistung von 235 KW je Anlage entspricht. Davon sind 70 % luftgekühlte und 30 % wassergekühlte Geräte von denen nur eine Anlage mit einer Möglichkeit zur Freien Kühlung ausgestattet war.

### 1.2.2.1 Baualter

Das mittlere Baualter aller inspizierten Kälteanlagen liegt bei 21 Jahren und reicht von Baujahr 1965 bis 2010. Die tatsächliche Anlagennutzungsdauer liegt damit deutlich über der technischen Nutzungsdauer von Kälteanlagen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass Energetische Inspektionen auch für Anlagen geringen Baualters außerhalb der vom Gesetzgeber geforderten Fristen beauftragt werden.

### 1.2.2.2 Leistungszahl, Teilkennwert

Die mittleren Nennleistungszahlen der betrachteten Kältemaschinen betragen 3,67 (wassergekühlt) bzw. 2,82 (luftgekühlt) bei einer mittleren Verdampfungstemperatur von 2,5°C und einer mittleren Verflüssigungstemperatur von 39,5°C. Bei den luftgekühlten Anlagen im kleineren Leistungsbereich ist keine signifikante Abhängigkeit vom Baualter oder von der Kälteleistung festzustellen.

Bei den wassergekühlten Anlagen steigt die Leistungszahl erwartungsgemäß bei geringerem Baualter und größerer Nennleistung, wie Abbildung 26 verdeutlicht.

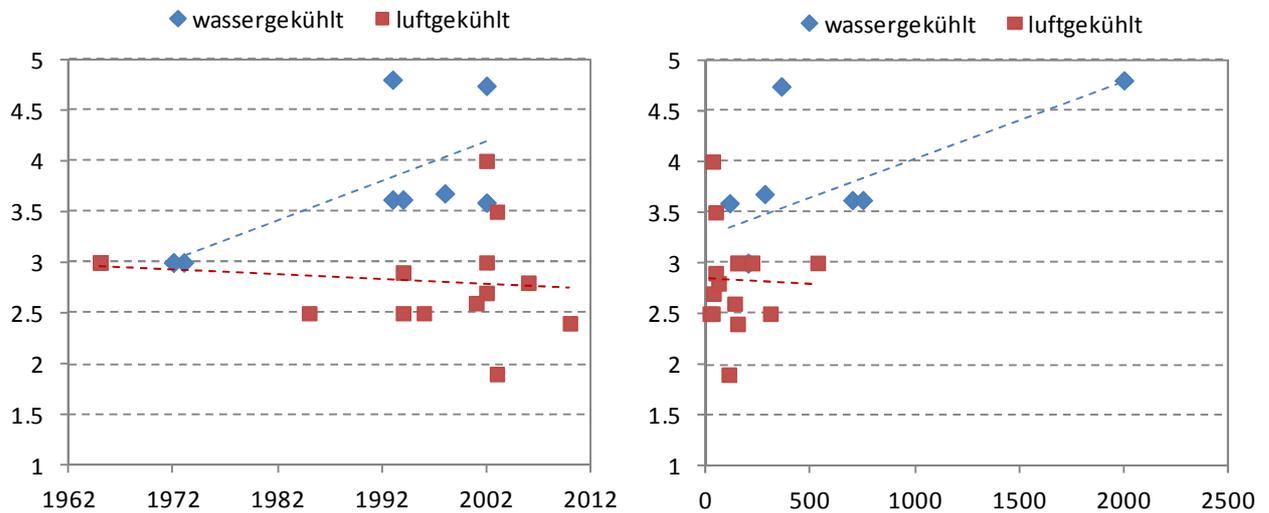


Abbildung 26: Nennleistungszahlen EER in Abhängigkeit vom Baujahr (l.) und Nennleistung (r.)

Die mittleren Leistungszahlen der inspizierten Maschinen liegen ca. 14 % (wassergekühlt) bzw. 6 % unter den Standardwerten nach DIN V 18599-7. Vor dem Hintergrund, dass in 24 % der Fälle keine Wartungsprotokolle und in immerhin 44 % aller Fälle keine Nachweise über die gesetzlich vorgeschriebene Dichtheitsmessungen vorlagen, ist davon auszugehen, dass Kälteanlagen teilweise nicht im bestimmungsgemäßen Betriebs(druck-)punkt arbeiten. Im Rahmen der Energetischen Inspektion wurden mit hoher Wahrscheinlichkeit vielfach Maschinendaten aus Herstellerunterlagen verwendet, weshalb die praktisch erreichten Leistungszahlen tatsächlich geringer ausfallen.

Der Teilkennwert für Klimakältesysteme  $E_{KK}$  nach FGK-Statusreport 6 [15] für die Bewertung der Effizienz des Gesamtkältesystems wurde nur von einem Drittel der Inspektoren ermittelt. Der Mittelwert der berechneten Anlagen liegt bei 3.43 und damit ca. 15 % unter dem Referenzwert von ca. 4.0, den die Referenztechnik nach EnEV 2009 nutzungsabhängig in etwa erreichen würde. Aufgrund der geringen Anzahl der berechneten Teilkennwerte und den vorstehend genannten Unsicherheiten bei der Ermittlung der Leistungszahlen EER muss auch dieser Wert praktisch etwas niedriger eingeschätzt werden und ist nur bedingt als repräsentativ für den Gesamtmarkt zu betrachten.

### 1.2.2.3 Art der Teillastregelung

Die Art der Teillastregelung der Kältemaschine bestimmt maßgeblich den Jahresenergiebedarf, da verschiedene Teillastregelarten einen unterschiedlich hohen Energiebedarf im Teillastregelbetrieb aufweisen. In 73 % aller Anwendungen kommen ein- oder mehrstufig taktende Anlagen zum Einsatz, die bei richtiger Anlagendimensionierung aus energetischer Sicht keinen Anlagenaustausch erfordern. 18 % der Anlagen sind mit einer wenig effizienten Heißgasbypassregelung ausgestattet, was bei gleichzeitig hohem Baualter für eine Erneuerung der Kältemaschine spricht.

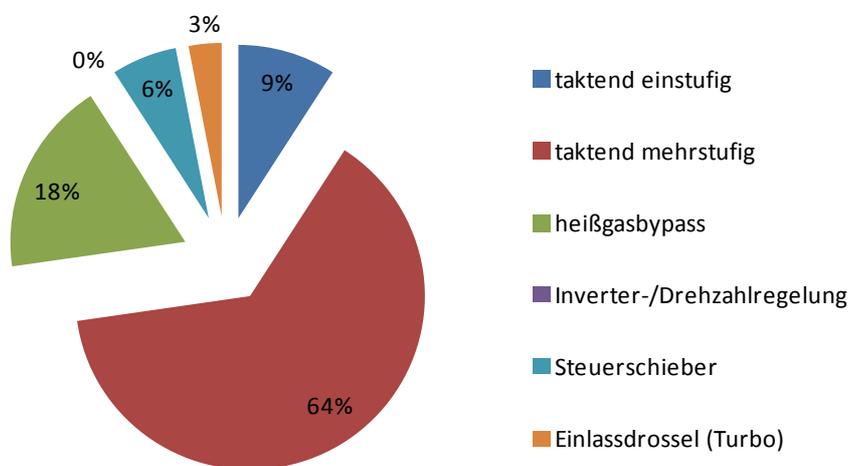


Abbildung 27: statistische Verteilung der eingesetzten Teillastregelarten

### 1.2.2.4 Art der Rückkühlung

Auch die Art der Rückkühlung bestimmt bei wassergekühlten Systemen über die Effizienz des gesamten Anlagensystems. Trockenrückkühler weisen einen hohen Ventilatorenergiebedarf auf, insbesondere bei nicht leistungsgeregelten Ausführungen. Darüber hinaus sind höhere Kühlwassertemperaturen als bei Verdunstungsrückkühlern in Kauf zu nehmen, was infolge der höheren Kondensationsdrücke die Effizienz der Kältemaschine negativ beeinflusst. Verdunstungsrückkühler besitzen energetische Vorteile, sind aber hinsichtlich der Aufwendungen für Wasseraufbereitung und Hygiene in der Betriebsführung und Wartung anspruchsvoller.

50 % der eingesetzten Rückkühler sind offene Verdunstungssysteme, 30 % besitzen geschlossene Kühlwasserkreisläufe. Die verbleibenden 20 % sind Trockenrückkühler, wie Abbildung 28 zeigt.

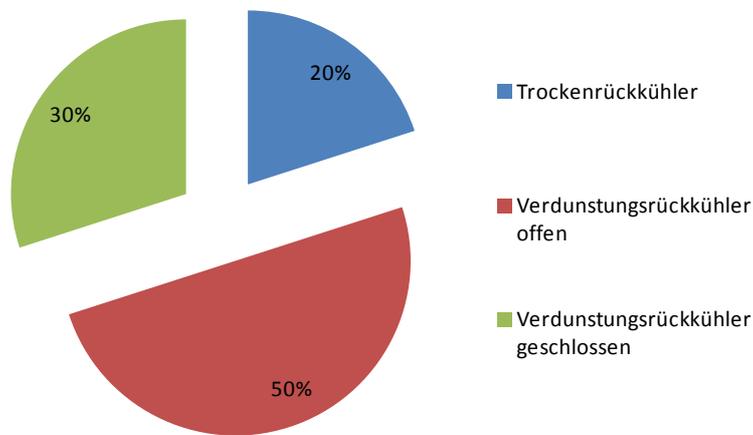


Abbildung 28: statistische Verteilung der eingesetzten Rückkühlerarten

50 % der Kühlwasserkreisläufe werden mit konstanten Kühlwassereintrittstemperaturen in die Kältemaschine betrieben, 20 % mit variablen Eintrittstemperaturen, was die Effizienz bei den meisten Kälteanlagen verbessert. Bei 30 % der Anlagen liegen keine Informationen diesbezüglich vor.

#### 1.2.2.5 Sanierungsempfehlungen

Analog zu den RLT-Anlagen wurden für die detaillierte Marktabfrage typische Sanierungsempfehlungen definiert und dafür auch der Stand der Realsierung der Empfehlungen mit abgefragt. Das Ergebnis zeigt Abbildung 29.

Alle Kategorien weisen eine mehr oder weniger häufige Nennung auf. Trotz der im Mittel recht guten Inspektionsergebnisse wurde bei immerhin 45 % der Anlagen die Kategorie Rückbau / Alternativlösung angekreuzt, was daran liegt, dass diese Anlagen oft alt und technisch verschlissen waren. Das mittlere Baualter der betreffenden Anlagen liegt bei 30 Jahren.

Unter sonstiges wurde objektspezifische Maßnahmen wie die Verbesserung der Erzeugerfolgeregulierung, der Einbau von Pufferspeichern oder regelbaren Kaltwasserpumpen benannt.

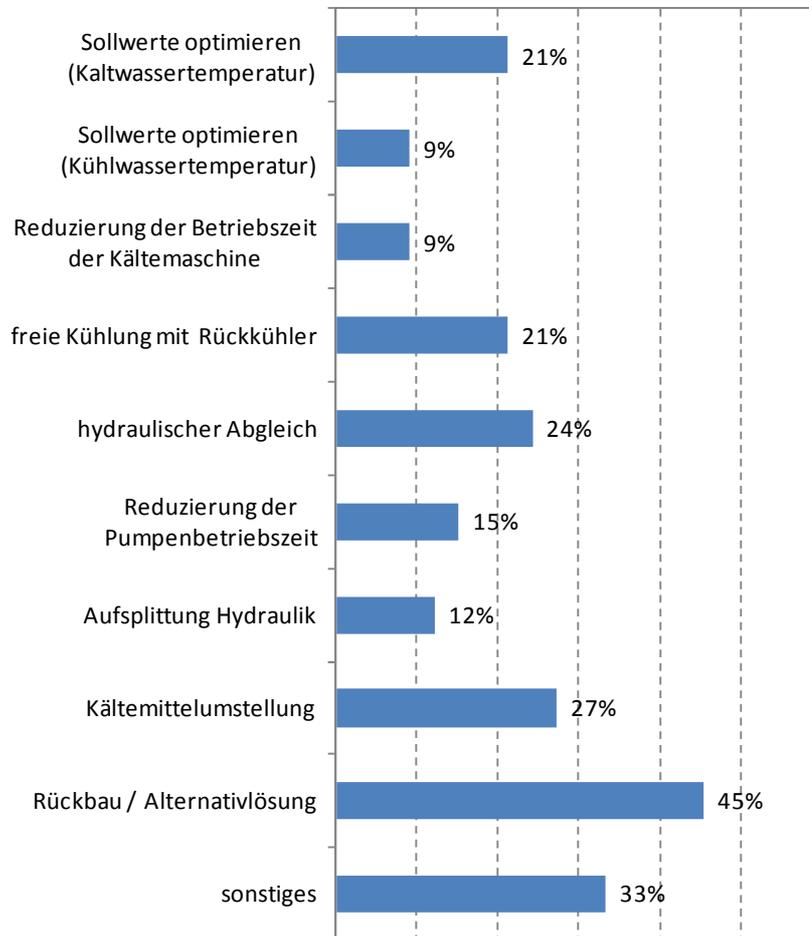


Abbildung 29: statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen nach Kategorien (Kältetechnik)

#### 1.2.2.6 Stand der Realisierung der Sanierungsempfehlungen

Ähnlich wie bei den RLT-Anlagen zeigt die Auswertung der in der zweiten Marktumfrage abgefragten Realisierungsquote auch im Bereich der Kältetechnik ein sehr geringes Feedback. In nur 4 der 9 Kategorien wird zwischen einem und dreimal benannt, dass eine Realisierung der vorgeschlagenen Maßnahmen erfolgt ist. Gründe dafür könnten neben der geringen Realisierungsquote an sich aber auch die fehlende Information des Inspektors über die weitergehenden Maßnahmen des Anlagenbetreibers sein oder die Tatsache, dass der Zeitraum zwischen erfolgter Inspektion und möglicher Realisierung zu gering war. Anhand der Umfrageergebnisse kann diesbezüglich keine Unterscheidung vorgenommen werden. Abbildung 30 zeigt die statistische Verteilung des Realisierungsgrades.

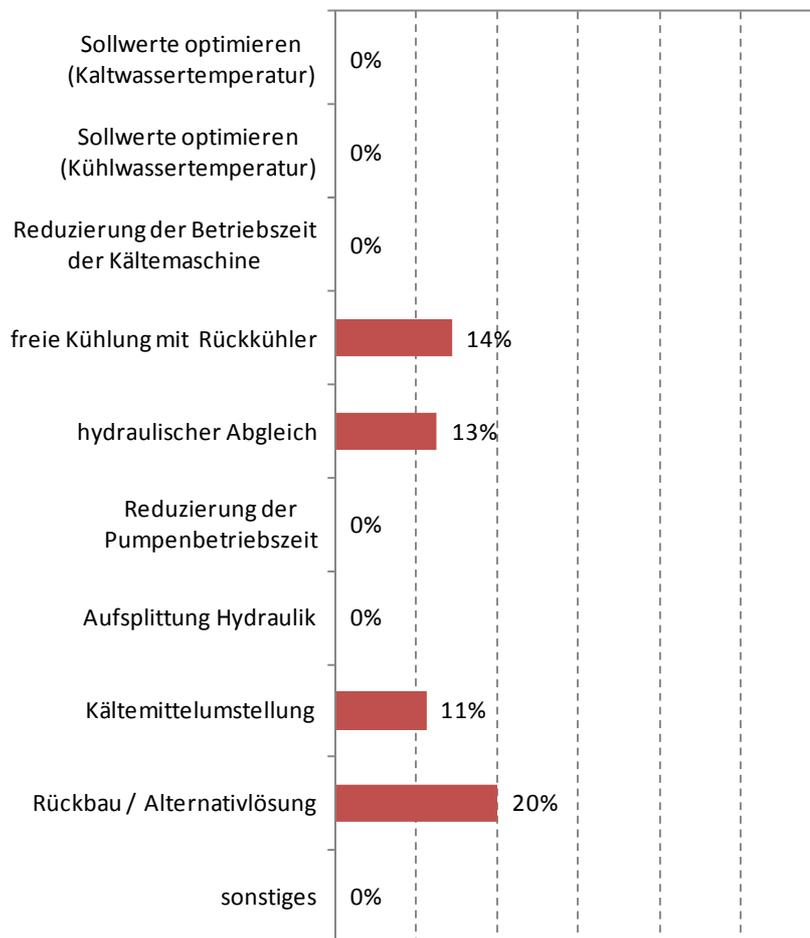


Abbildung 30: statistische Verteilung der Realisierungsquote im Bereich Kältetechnik

Die Benennung der Maßnahmen Kältemittelumstellung und Rückbau/Alternativlösung zeigen, dass größere Investitionsentscheidungen nicht zwingend das Ergebnis der Energetischen Inspektion sind, sondern erst bei stark fortgeschrittenem Baualter der Anlagentechnik, im Zuge gesetzlicher Umrüstungsvorschriften bzw. eingeschränkter Versorgungssicherheit gefällt werden. Die energetische Inspektion fungiert in diesen Fällen höchstens als Bestätigung der ohnehin bekannten Effizienzdefizite und wird so u.U. zum direkten Auslöser für ohnehin geplante Investitionsmaßnahmen.

### **1.2.3 Abschätzung der Energieeinsparpotenziale und Extrapolation auf den Gebäudebestand**

#### **1.2.3.1 Potenzial Raumluftechnik**

Aus den Effizienzkenwerten und Ausstattungen der inspizierten Anlagen sowie den Inspektionsempfehlungen wurde das mögliche Energieeinsparpotenzial ermittelt, dass sich aus der Umsetzung aller empfohlenen Maßnahmen der Stichprobe von 119 Anlagen realisieren ließe. Dabei wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

1. Berechnung des Endenergiebedarfs für Wärme und Strom für den Ist-Zustand
  - Annahme einer mittleren Anlagenbetriebszeit von 3.120 h/a (12 h/d, 5 Tage an 52 Wochen)
  - Berechnung der Endenergien für die Luftförderung aus den gemeldeten SFP-Werten
  - Zuordnung der Anlagen nach Gruppen: Rückwärmzahl (0 %, 40 % und 70 %) sowie mit / ohne Luftbefeuchtung
  - Berechnung von Nutzenergie-Kennwerten nach DIN V 18599 – 3 für die vorgenannten Gruppen
  - Ansatz von Aufwandszahlen für Wärme und Kälte nach FGK-Statusreport Nr. 5 [14] und Berechnung der Endenergien aus den Nutzenergie-Kennwerten und den Anlagen-Volumenströmen
  - Zusammenfassung der Endenergien Wärme (zum Heizen und Befeuchten) und Strom (Luftkühlung und Luftförderung)
2. Berechnung der möglichen Einsparpotenziale je Anlage und Empfehlung
  - Ansatz von pauschalen Reduktionsfaktoren, getrennt nach Wärme und Strom für jede Einzelmaßnahme entsprechend Tabelle 17
3. Zusammenfassung von Einzel-Potenzialen zu Gruppen unter Berücksichtigung der Superposition
  - Zusammenfassung aller Maßnahmen, die im Zusammenhang mit einer Betriebsoptimierung stehen (Tabelle 17 Nr. 1-11, 17-18).

- Zusammenfassung aller Maßnahmen, die im Zusammenhang mit einem Komponentenaustausch stehen (Tabelle 17 Nr. 12-16).

4. Primärenergetische Bewertung der Einzel- und Paketmaßnahmen (Primärenergiefaktoren: Wärme 1,1 und Strom 2,6)

Bei der Zusammenfassung von Einzelmaßnahmen unter Berücksichtigung der Superposition werden die Reduktionsfaktoren der Einzelmaßnahmen getrennt nach den Anteilen für Wärme und Strom multipliziert. Die

Die Empfehlungen „grundsätzliche Systemänderung“ sowie „Rückbau / Alternativlösung“ wurden nur dann gesondert bewertet, wenn die Superposition der anderen Reduktionsfaktoren ein ungünstigeres Ergebnis ergab. Aus dieser Vorgehensweise ergaben sich keine nennenswerten Veränderungen, so dass auf die gesonderte Auswertung verzichtet wurde. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Umsetzung sämtlicher Einzelempfehlungen den gleichen energetischen Effekt wie eine grundsätzliche Modernisierung oder Alternativlösung ergibt.

Tabelle 17: Pauschale Faktoren zur Schätzung der Energieeinsparpotenziale von Einzelempfehlungen im Bereich der Raumluftechnik

Nr.		Einsparpotenziale		Bemerkung
		Wärme	Strom	
1	Volumenstromreduzierung bis 20 %	10%	15%	
2	Volumenstromreduzierung > 20 %	25%	30%	
3	Reduzierung der Betriebszeit	8%	8%	
4	zusätzliche Klappen, Volumenstromregler für Zonierung	0%	0%	siehe bedarfsgerechte Volumenstromregelung
5	bedarfsgerechte Volumenstromregelung	20%	25%	
6	Absenkbetrieb	15%	20%	
7	Sollwerte optimieren Temperatur	5%	2%	
8	Sollwerte optimieren Feuchte	5%	0%	
9	Optimierte Regelstrategie	10%	10%	
10	Nachtlüftung	0%	3%	
11	natürliche Lüftung	0%	10%	
12	freie Kühlung vorsehen	0%	10%	
13	Ventilator austausch	0%	x%	individuelle Berechnung mit Systemwirkungsgrad neu = 60 %
14	WRG nachrüsten	70%	-6%	
15	WRG verbessern	30%	-3%	
16	MSR verbessern	0%	0%	siehe optimierte Regelstrategie
17	Wartungsmängel beseitigen	3%	3%	
18	Luftdichtheit Kanalnetz	5%	5%	
19	grundsätzliche Systemänderung	30%	40%	
20	Rückbau / Alternativlösung	30%	40%	

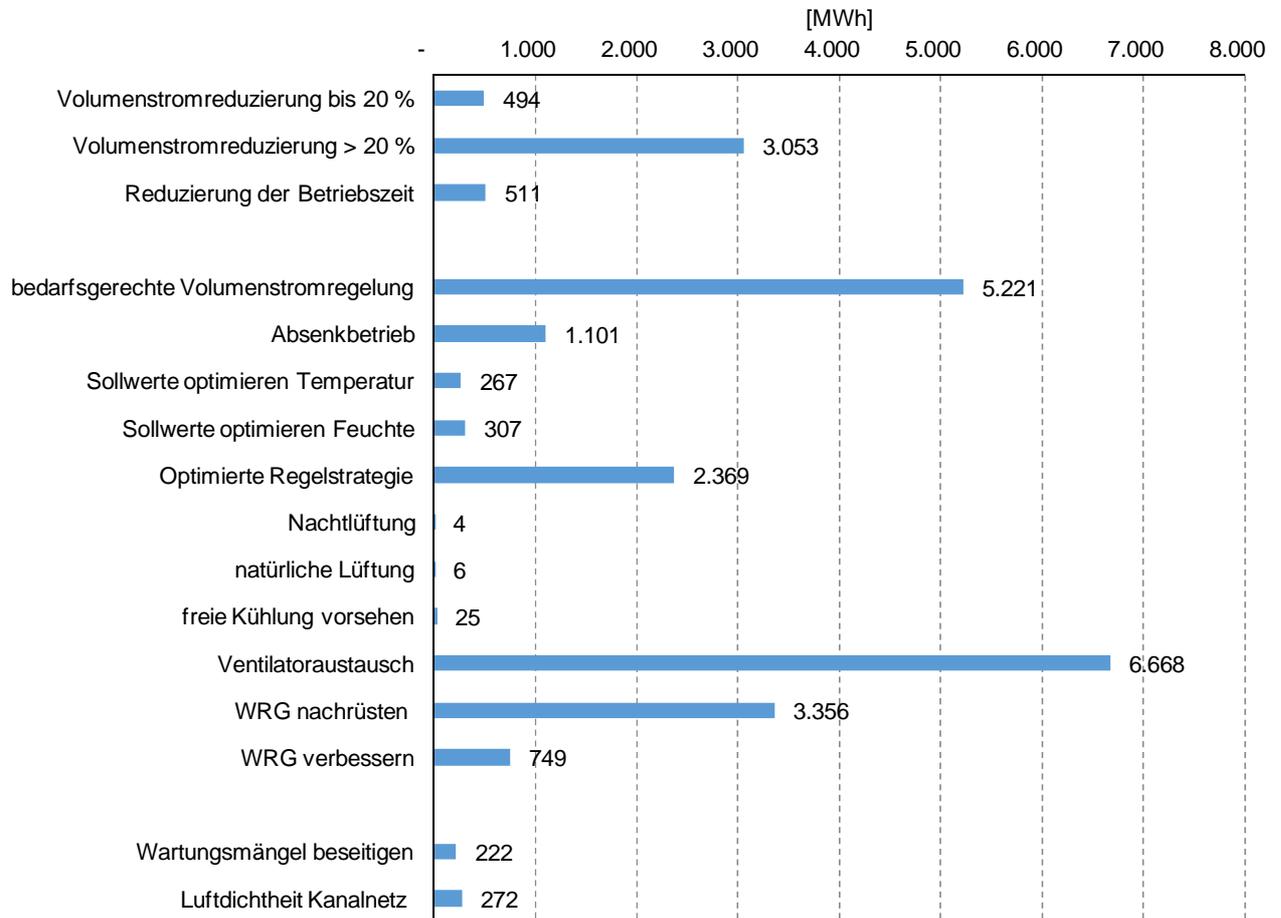


Abbildung 31: Abschätzung des Einsparpotenzials aus den Empfehlungen der energetischen Inspektion Raumluftechnik; Primärenergie; ohne Superposition

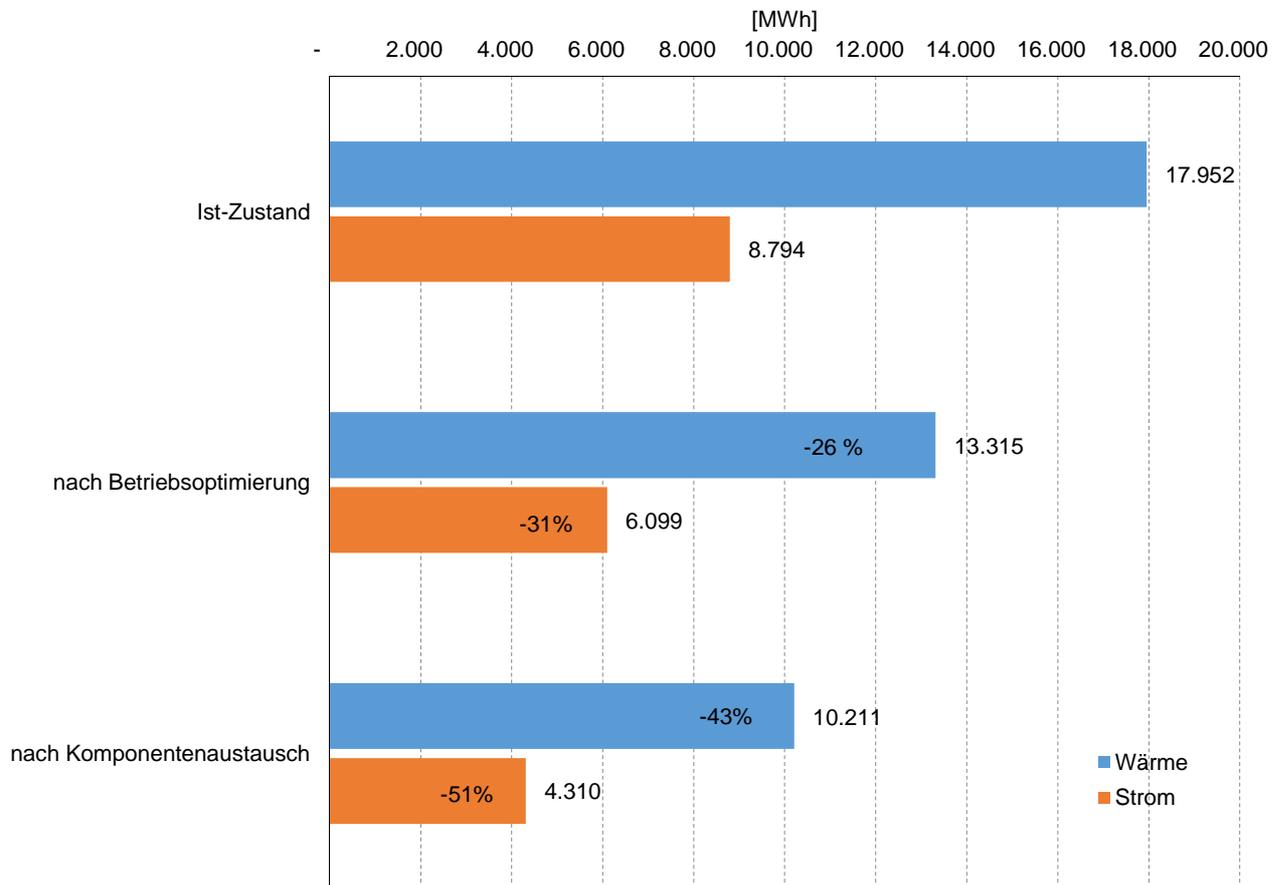


Abbildung 32: Einsparpotenzial an Endenergie, resultierend aus Maßnahmenpaketen unter Berücksichtigung der Superposition

Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass die von den Inspektoren vorgeschlagenen Maßnahmen sich im Rahmen der Wirtschaftlichkeit bewegen. Die EnEV §12 spricht von „Maßnahmen zur kostengünstigen Verbesserungen der energetischen Eigenschaften der Anlage, für deren Austausch oder für Alternativlösungen“. Abgeleitet aus der Stichprobe der 119 ausgewerteten RLT-Inspektionsberichte ergibt sich für die Maßnahmenpakete ein Potenzial zur Energiekostenreduzierung von durchschnittlich (Abbildung 33):

- 0,33 EUR/(m<sup>3</sup>/h) bzw. 28 % durch alle Maßnahmen, die den Anlagenbetrieb optimieren
- 0,55 EUR/(m<sup>3</sup>/h) bzw. 47 % wenn zusätzlich noch effizientere Komponenten eingebaut werden.

Zur Plausibilisierung der Wirtschaftlichkeit soll folgende Kontrollrechnung dienen:

- Anlagengröße: 14.000 m<sup>3</sup>/h (siehe Abschnitt 1.1.7 sowie [7], [8])
- Betrachtungszeitraum: 15 Jahre
- Energiekosteneinsparung durch Betriebsoptimierung: 0,33 EUR/(m<sup>3</sup>/h) entsprechend Abbildung 33
- Energiekostenreduzierung in 15 Jahren pro Anlage ohne Energiepreissteigerung = 69.300 EUR

Es wird davon ausgegangen, dass die Maßnahmen zur Betriebsoptimierung personalintensiv sind (Bestandsaufnahmen, Einregulierungen, Mängelbeseitigung, Umprogrammierung der Regelung, Überwachung und Kontrolle). Wird weiterhin von einem Stundensatz in Höhe von 65 EUR sowie einem Materialkostenanteil MSR in Höhe von 35 % ausgegangen, könnten ca. 24.000 EUR Material und 693 Personalstunden je Anlage aufgewendet werden, um diese Einsparungen zu amortisieren, was mehr als ausreichend erscheint.

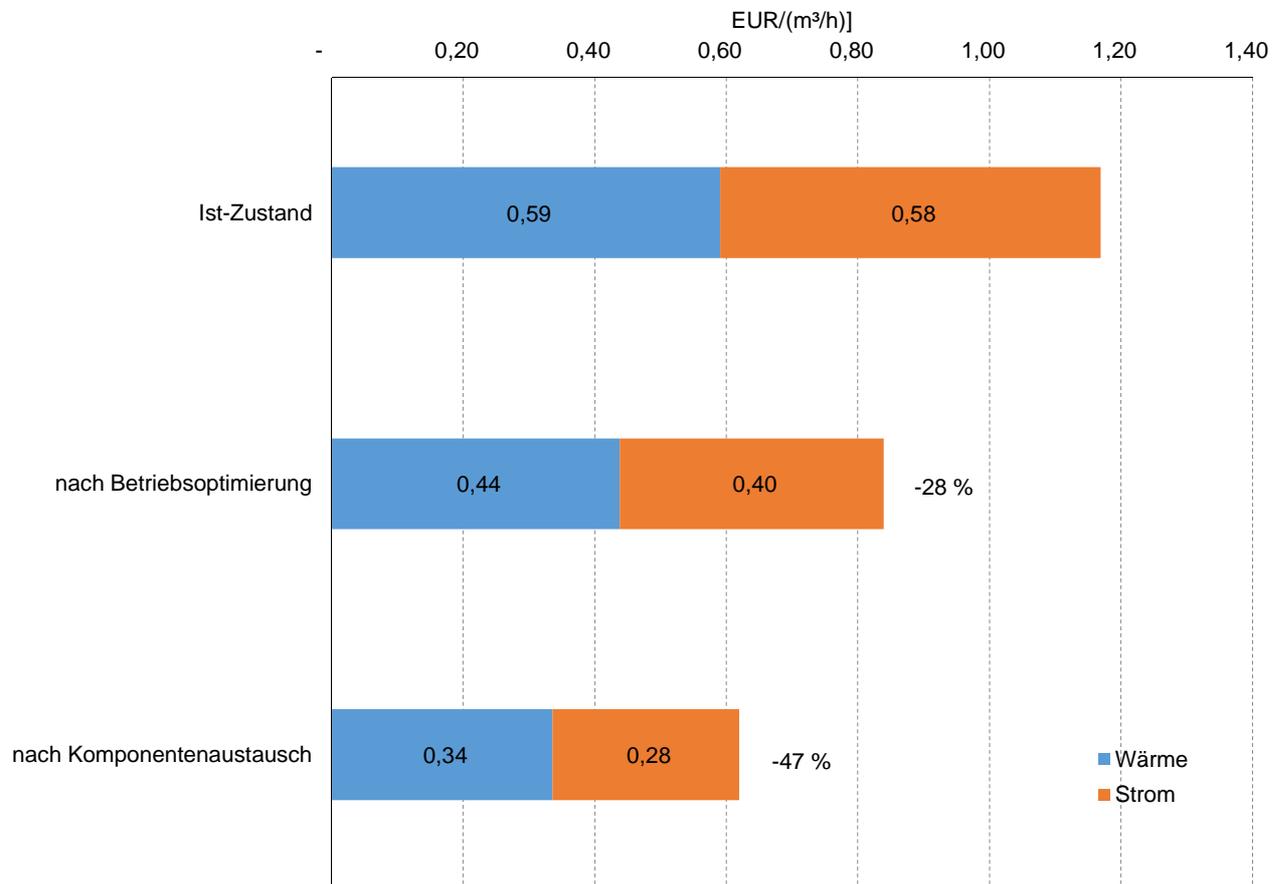


Abbildung 33: Einsparpotenzial volumenstromspezifischer jährlicher Energiekosten, resultierend aus Maßnahmenpaketen (Wärmepreis 75 EUR/MWh, Strompreis 150 EUR/MWh)

Abbildung 32 gibt das Gesamtpotenzial der Stichprobe von 119 Anlagen an, Abbildung 33 liefert spezifische volumenstrombezogene Kennzahlen.

Eine Hochrechnung auf den Anlagenbestand kann über die Marktdaten der installierten Gesamtvolumenströme erfolgen. Diese Extrapolation auf das Marktpotenzial erfolgt zusammen mit den Potenzialen aus dem Bereich Kältetechnik im nachfolgenden Abschnitt 1.3.

### 1.2.3.2 Potenzial Kältetechnik

Auch für die Kältetechnik kann unter Verwendung der Marktdaten aus dem DKV-Statusbericht 22 [11] und unter Beachtung der aus der Marktanalyse abgeleiteten Inspektionsempfehlungen das mögliche Energieeinsparpotenzial auf den Gesamtmarkt hochgerechnet werden. Analog zur Raumluftechnik werden dafür pauschale Reduktionsfaktoren für Strom für jede Einzelmaßnahme zum Ansatz gebracht. Anschließend können die Einzelpotentiale unter Berücksichtigung der Superposition zu Maßnahmengruppen zusammengefasst werden, die

- im Zusammenhang mit einer Betriebsoptimierung stehen oder
- im Zusammenhang mit einem Komponentenaustausch stehen.

Folgende Einzelmaßnahmen wurden dabei als wesentliche Maßnahmen zur Energieeinsparung bei Kälteanlagen definiert und im Zuge der Marktumfrageprotokolle berücksichtigt:

- Anhebung der zentralen Kaltwassertemperatur (Betriebsoptimierung)
- Absenkung bzw. Regelung der Kühlwassereintrittstemperaturen in die Kältemaschine (Betriebsoptimierung)
- Reduzierung der Anlagenbetriebszeit durch Anlagenabschaltung wie Nacht-, Wochenend-, Ferienabschaltung (Betriebsoptimierung)
- Hydraulischer Abgleich der Kaltwasserströme in Erzeuger und Verbraucherkreisen (Betriebsoptimierung)
- Reduzierung der Pumpenbetriebszeit durch Bedarfsregelung (Komponentenänderung)
- Austausch von Kühl- und Kaltwasserpumpen, Ersatz durch Hocheffizienzpumpen (Komponentenänderung)
- Aufspaltung der Hydraulik in nutzungsbezogene Teilabschnitte mit Einzelpumpen. Die im Nichtnutzungsfall abgeschaltet werden können (Komponentenänderung)
- Freie Kühlung durch Nachrüstung einer Bypassschaltung zwischen Kühl- und Kaltwasserkreis zur direkten Kühlenergiebereitstellung durch den Rückkühler (Komponentenänderung)
- Umstellung des Kältemittels auf Ersatzkältemittel infolge verordnungsrechtlicher Verpflichtungen

- Anlagenerneuerung durch Rückbau und Ersatz durch Alternativlösung (Systemumstellung)

Die Auswahl der Maßnahmen berücksichtigt neben der Angemessenheit der Maßnahme bezogen auf den möglichen Systemeingriff auch eine wirtschaftliche Durchführung unter Beachtung der Restlaufzeiten im Zuge der Energetischen Inspektion. So ist eine Optimierung der Teillastregelung in der Regel mit einem Komplettumbau der Kälteanlage (z. B. Austausch des Verdichters) verbunden und daher nicht im Maßnahmenkatalog enthalten.

Die Einsparpotentiale der Einzelmaßnahmen und die Zuordnung zu den Maßnahmenpaketen Betriebsoptimierung und Komponententausch zeigt Tabelle 18.

Tabelle 18: Pauschale Faktoren zur Abschätzung der Energieeinsparpotenziale von Einzelempfehlungen im Bereich der Kältetechnik mit Superposition

Sanierungsmaßnahme	Maßnahmenpaket			Einsparpotential
	Betriebs- optimierung	Komponenten- änderung	System- umstellung	Strom
Sollwerte optimieren (Kaltwassertemperatur)	x		x	6%
Sollwerte optimieren (Kühlwassertemperatur)	x		x	4%
Reduzierung der Betriebszeit der Kältemaschine	x		x	3%
hydraulischer Abgleich	x		x	4%
Reduzierung der Pumpenbetriebszeit		x	x	7%
Austausch Pumpen				10%
Aufsplittung Kaltwasserhydraulik		x	x	0%
freie Kühlung mit Rückkühler		x	x	2%
Kältemittelumstellung				
Rückbau / Alternativlösung			x	20%
<b>Betriebsoptimierung</b>	x			17%
<b>Komponentenänderung</b>		x		19%
<b>Systemumstellung / Neubau (alle Maßnahmen)</b>			x	56%

Die Empfehlung „Kältemittelumstellung“ wird in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt, da diese Maßnahme eine verordnungsrechtlich bedingte Pflichtmaßnahme ist und damit nicht dem Ergebnis einer Energetischen Inspektion zuzuschreiben ist.

Die Ermittlung der Einsparpotentiale erfolgte unter folgenden Randbedingungen:

- Kaltwassertemperaturänderung gemäß DIN V 18599-7 (2 K Anhebung Systemtemperatur)

- Kühlwasserregelung gemäß DIN V 18599-7 (PLV-Wert und Nutzungsfaktor Rückkühler für konstante und variable Kühlwassertemperaturen)
- Hydraulischer Abgleich: Einsparung der Pumpenhilfsenergie um 10% nach DIN V 18599-7
- Reduzierung der Pumpenbetriebszeit: Einsparung der Pumpenhilfsenergie um 30% (nur Zeitanteil) nach DIN V 18599-7
- Austausch Pumpen: Einsparung der Pumpenhilfsenergie um 45% (nur Leistungsanteil) nach DIN V 18599-7
- freie Kühlung mit Rückkühler: Freikühlfaktoren  $f_C$  nach DIN V 18599-7 für Büronutzung, Kaltwasser 10/15°C, leichte Bauweise, Alternativbetrieb

Die Empfehlung „Aufsplittung der Kaltwasserhydraulik“ ist mit einem Pumpenaustausch verbunden, weshalb das diesbezügliche Einsparpotential in der Einzelmaßnahme „Austausch Pumpen“ berücksichtigt ist.

Eine in der Raumluftechnik übliche Sanierung von Bestandsanlagen durch die Erneuerung von Einzelkomponenten ist in der Klimakältetechnik nicht üblich. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass hier die Umsetzung sämtlicher Einzelempfehlungen nicht den gleichen energetischen Effekt wie eine grundsätzliche Modernisierung oder Alternativlösung ergibt.

Insgesamt ergibt sich für die Klimakältetechnik gemäß Tabelle 18 ein Einsparpotential von 56 %, welches sich zu 17 % aus der Betriebsoptimierung, zu 19 % aus der Komponentenänderung und zu 20 % aus der Maßnahme „Rückbau/Alternativlösung“ zusammensetzt.

Die Empfehlung „Rückbau / Alternativlösung“ wird dabei nicht in der Kategorie Komponentenaustausch berücksichtigt, da eine ausschließlich energetisch motivierte Anlagenerneuerung oft nicht wirtschaftlich darstellbar ist und praktisch in der Regel verschleißbedingt erfolgt. Das bestätigen die Ergebnisse der Marktumfrage, bei der diese Sanierungsempfehlung gemäß Abbildung 29 statistisch gesehen zwar am häufigsten auftritt, dies aber nur sehr alte Anlagen (mittleres Baualter 30 Jahre) betrifft. Die Empfehlung „Rückbau / Alternativlösung“ ist somit dem Verschleiß der Anlage und nicht dem Ergebnis der Energetischen Inspektion zuzuschreiben, die hier nur als auslösendes Element für ohnehin geplante Investitionsentscheidungen zu betrachten ist. Eine Ausnahme bilden Rechenzentren, die am Gesamtenergiebedarf der Kältetechnik jedoch nur einen geringen Anteil ausmachen und daher nicht gesondert betrachtet werden.

Da nicht alle Maßnahmen in allen Anlagen am Markt gleichermaßen möglich und zulässig sind, ist zur Hochrechnung auf den Gesamtmarkt eine Abschätzung des Marktanteils der Einzelmaßnahmen erforderlich. Auf Basis der Umfrageergebnisse konnte eine diesbezügliche Abschätzung der Marktanteile erfolgen. Da die Stichprobe von 33 Anlagen für eine verallgemeinerungsfähige Aussage zu gering ist, wurden die ermittelten Marktanteile unter Berücksichtigung eigener Erfahrungen aus einer Vielzahl selbst durchgeführter Energetischer Inspektionen, verifiziert. Tabelle 19 zeigt diese Marktanteile in der Spalte „Umfrage“ und „nach Verifizierung“ und das unter Verwendung der Einsparpotentiale nach Tabelle 18 ermittelte Marktpotential. Dieses stellt als Produkt aus Einsparpotential und Marktanteil die am Gesamtmarkt der Klimakältetechnik möglichen Einsparungen an Nutzenergie als relativen Wert dar.

Tabelle 19: Marktpotentiale von Einzelempfehlungen im Bereich der Kältetechnik

Sanierungsmaßnahme	Marktanteil		Marktpotential
	Umfrage	nach Verifizierung	%
Sollwerte optimieren (Kaltwassertemperatur)	21%	20%	1.2%
Sollwerte optimieren (Kühlwassertemperatur)	9%	20%	0.8%
Reduzierung der Betriebszeit der Kältemaschine	9%	10%	0.3%
hydraulischer Abgleich	24%	30%	1.2%
Reduzierung der Pumpenbetriebszeit	15%	30%	5.1%
Austausch Pumpen			
Aufsplittung Pumpenhydraulik			
freie Kühlung mit Rückkühler	21%	10%	0.2%
<b>Betriebsoptimierung</b>			<b>3.5%</b>
<b>Komponentenänderung</b>			<b>5.3%</b>

Eine konsequente Betriebsoptimierung aller dafür geeigneten Anlagen führt, bezogen auf den Gesamtmarkt der Klimakältetechnik, zu einer Nutzenergieeinsparung von 3,5 %. Würden zusätzlich in allen diesbezüglich geeigneten Anlagen auch Komponentenänderungen durchgeführt, könnte im Gesamtmarkt eine zusätzliche Nutzenergieeinsparung von 5,3 % erreicht werden.

Gemäß Tabelle 6 ist in Deutschland von einer installierten Gesamtkälteleistung von 46.182 MW und einem Nutzenergiebedarf von 32.440 GWh/a im Klimakältebereich auszugehen, was einer Vollbenutzungsstundenzahl von ca. 700 h/a entspricht. Unter Berücksichtigung einer geringeren Gesamtleistung aller inspektionspflichtigen Kälteanlagen in Höhe von 33.519 MW (gemäß Tabelle 6) ist von einem etwas geringeren Nutzenergiebedarf von 23.545 GWh/a auszugehen. Bezogen auf die ermittelte Marktmenge von 150.000 Stk. inspektionspflichtigen Kälteanlagen in Deutschland ergibt sich eine mittlere Kälteleistung von 223 kW, die sehr gut mit dem Mittelwert der Marktumfrageergebnisse von 236 kW korreliert.

Anhand des Gesamtenergiebedarfes der inspektionspflichtigen Kälteanlagen und des ermittelten Marktpotentials kann das absolute Einsparpotential jeder Einzelmaßnahme ermittelt werden. Die Verteilung der absoluten Einsparungen auf die Einzelmaßnahmen zeigt Abbildung 34.

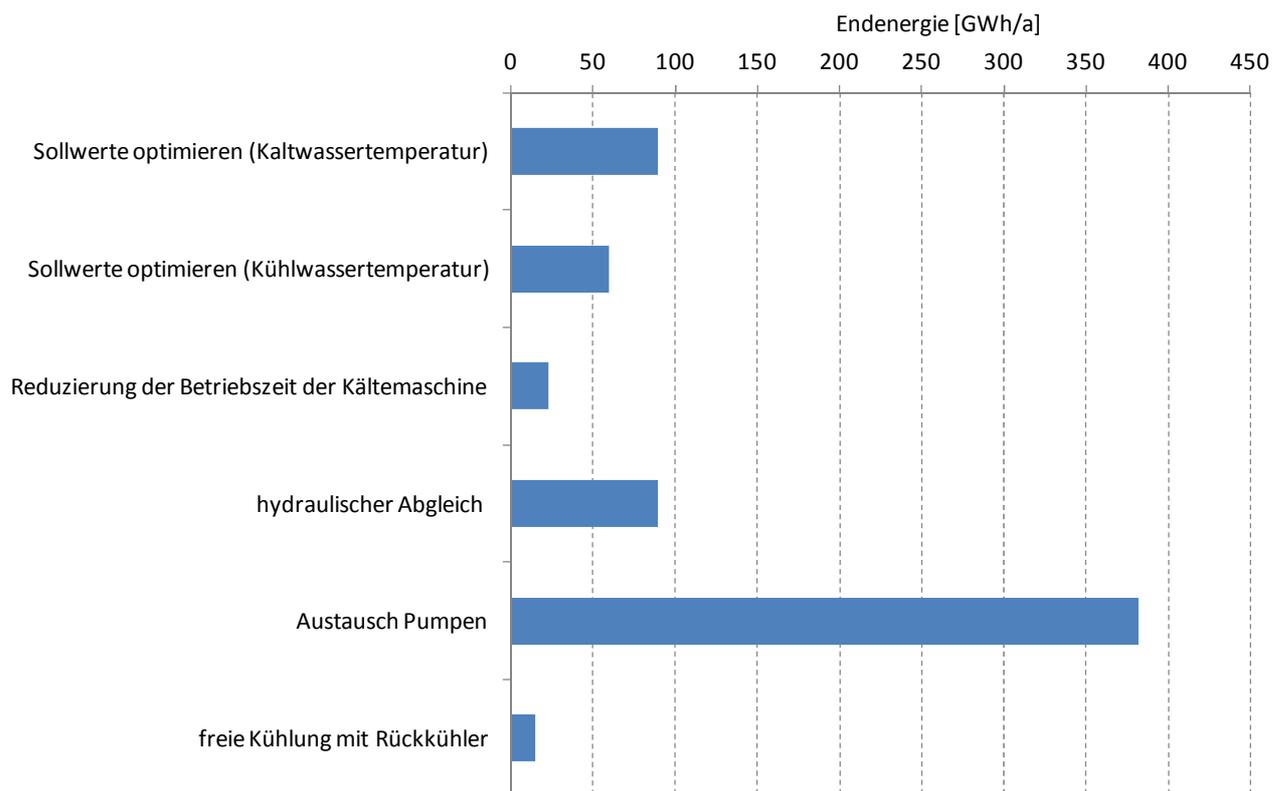


Abbildung 34: Abschätzung des Einsparpotenzials aus den Empfehlungen der energetischen Inspektion Kältetechnik am Gesamtmarkt; Endenergie; mit Superposition

Bezugnehmend auf die Maßnahmenpakete Betriebsoptimierung und Komponentenerneuerung zeigt Abbildung 35 das Gesamtpotential der Energetischen Inspektion im Bereich der Klimakälte-technik.

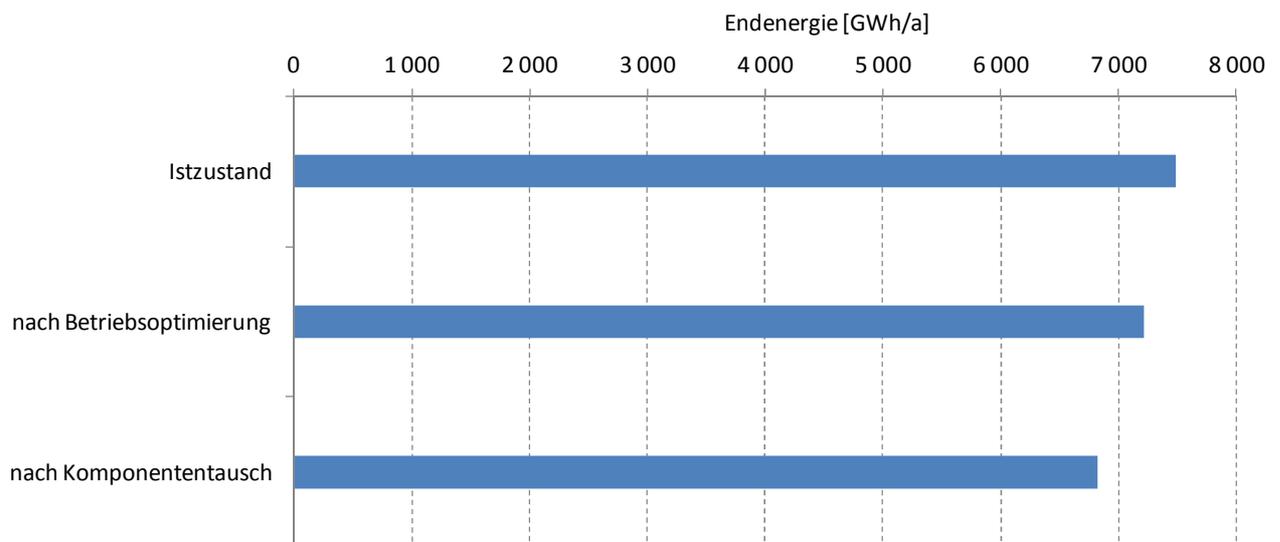


Abbildung 35: Einsparpotenzial an Endenergie im Gesamtmarkt resultierend aus Maßnahmenpaketen unter Berücksichtigung von Superposition

Es zeigt sich, dass die Marktpotentiale der Kältetechnik im Zuge der Energetischen Inspektion im Vergleich zur Raumluftechnik als vergleichsweise gering einzuschätzen sind.

Bei der konsequenten Betriebsoptimierung ist von einer Energiekosteneinsparung von ca. 40 Mio. Euro auszugehen, beim Komponententausch von insgesamt ca. 100 Mio. Euro. Bei einem Stundensatz von 65 Euro/h ist eine Personaleinsatzzeit von 20 h je Anlage für die Umsetzung des Maßnahmenpaketes Betriebsoptimierung möglich, prinzipiell was gerechtfertigt und notwendig erscheint. Für den Komponententausch steht zusätzlich ca. 1.200 Euro je Kälteanlage zur Verfügung.

### 1.3 Fazit

Die zweite Marktbefragung gestattete eine detaillierte Auswertung des Ausstattungsgrades und der Inspektionsergebnisse von 119 RLT-Anlagen, die einen Luftvolumenstrom von 2,28 Mio. m<sup>3</sup>/h und eine Kälteleistung von 15 MW repräsentieren. Das volumenstromgewichtete mittlere Baualter der Anlagen betrug 27 Jahre. Die älteste Anlage stammte aus dem Jahr 1965 und war somit 47 Jahre alt. Ungefähr 50 % des Volumenstroms wird mit Luftbefeuchtern behandelt.

Ungefähr die Hälfte aller Anlagen wird mit Umluft betrieben, der Volumenstromanteil, der ohne Energierückgewinnung konditioniert wird, beträgt lediglich 19 %. Für Anlagen mit Umluftbeimischung erfolgte in der Regel keine Empfehlung, eine WRG nachzurüsten. Daher kann es keinen Automatismus zwischen dem Vorhandensein einer WRG und der Empfehlung diese nachzurüsten geben.

Die mittleren SFP-Werte liegen ca. ein Drittel über dem SFP-Wert nach EnEV 2009. Bei differenzierter Betrachtung wurde deutlich, dass sehr niedrige Druckerhöhungen bei älteren Ventilatoren und sehr ungünstige Systemwirkungsgrade einhergehen. Die Betriebspunkte bei älteren Anlagen dürften von den ursprünglichen Bedingungen abweichen.

Bei den Optimierungsempfehlungen ergibt sich ein sehr großes Potenzial im Bereich der Betriebsoptimierung. Dazu gehören: Luftmengenreduzierungen, Betriebszeitverkürzungen, optimierte Sollwerte und Regelstrategien und vor allem ein bedarfsgerechter volumenstromvariabler Betrieb. Dieses Einsparpotenzial kann mit verhältnismäßig geringen Investitionen erschlossen werden.

Zusätzlich können nennenswerte Einsparungen durch den Austausch von Ventilatoren und, wo sinnvoll, durch die Nachrüstung von Wärmerückgewinnungsanlagen erschlossen werden.

Die Umsetzungsquote der Sanierungsempfehlungen erscheint gering oder ist den Inspektoren nicht bekannt.

Ausgehend von den Anlagenmerkmalen der Stichprobe wurden der energetische Ist-Zustand und die aus den Empfehlungen resultierenden Einsparpotenziale pro Anlage ermittelt und hochgerechnet.

Für den Kälteanlagenbestand erfolgte die Hochrechnung nicht über die ausgewertete Stichprobe der Marktumfrage, da offensichtlich Unsicherheiten bei der Feststellung der Leistungszahlen der Bestandsanlagen bestanden, die Ergebnis für den Gesamtmarkt stark beeinflussen würden. Stattdessen erfolgte eine Hochrechnung des Gesamtmarktes anhand des in [11] für den Klimakältemarkt abgeleiteten Gesamtnutzenergiebedarfs und den Marktpotentialen der Einzelempfehlungen aus der Marktbefragung.

Betrachtet man die Ergebnisse der Befragung als repräsentativ für den Anlagenbestand, ergibt sich durch Extrapolation auf den installierten Luftvolumenstrom im Bereich 3,5 bis 6,0 Mrd. m<sup>3</sup>/h (Abschnitt 1.1.7) ein Endenergieverbrauch von 41 – 70 TWh bei einem Stromanteil von 33 %.

Rechnet man die Ergebnisse der Inspektionen auf den Anlagenbestand in Deutschland hoch, ergibt sich bei Umsetzung aller Maßnahmen ein maximales jährliches Energieeinsparpotenzial von 11,9 – 20,4 TWh Wärme und 7,5 bis 12,5 TWh elektrische Energie. Dies würde eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von maximal 7,7 bis 12,9 Mio. t ergeben. Mehr als die Hälfte der Einsparungen wären bereits realisierbar, wenn allein die Empfehlungen zur Betriebsoptimierung umgesetzt werden würden.

Tabelle 20: Hochrechnung der jährlichen Endenergie-Einsparpotenziale auf den Anlagenbestand

	Stichprobe		Hochrechnung auf den Bestand		
		Volumenstrom		untere Schätzung	obere Schätzung
		[Mio. m <sup>3</sup> /h]		[Mio. m <sup>3</sup> /h]	[Mio. m <sup>3</sup> /h]
		2,28		3.500	6.000
<b>Betriebsoptimierung</b>					
Wärme	[MWh]	4.637	[GWh]	7.118	12.202
Strom (Nutzkälte, Ventilatoren)	[MWh]	2.695	[GWh]	4.138	7.093
Strom (Kälteeffizienz-Maßnahmen, inkl. Raumkühlsysteme)			[GWh]	262	
<b>Primärenergieeinsparung</b>			[GWh]	<b>19.269</b>	<b>32.546</b>
			[%]	-26%	-27%
Reduzierung CO <sub>2</sub> -Emissionen			[Mio. t]	4,5	7,6
<b>Betriebsoptimierung und Komponentenaustausch</b>					
Wärme	[MWh]	7.741	[GWh]	11.883	20.370
Strom (Nutzkälte, Ventilatoren)	[MWh]	4.484	[GWh]	6.883	11.800
Strom (Kälteeffizienz-Maßnahmen, inkl. Raumkühlsysteme)			[GWh]	659	
<b>Primärenergieeinsparung</b>			[GWh]	<b>32.681</b>	<b>54.801</b>
			[%]	-45%	-46%
Reduzierung CO <sub>2</sub> -Emissionen			[Mio. t]	7,7	12,9

Die im Ergebnis einer Energischen Inspektion erzielbaren Endenergie-Einsparpotenziale sind im Bereich der kältetechnischen Anwendung als sehr gering einzuschätzen. Die größten Einsparungen sind durch gezielte Beeinflussung der lufttechnischen Prozesse zu generieren. Diese Potentiale sind prinzipiell auch in Lüftungsanlagen ohne Kühlfunktion vorhanden, für die eine Energetische Inspektion entsprechend den aktuellen gesetzlichen Anforderungen derzeit nicht verpflichtend durchzuführen ist.

## 2. Maßnahmenkataloge zum Inspektionsumfang und Stufenpläne für wirtschaftliche Sanierungsverpflichtungen

### 2.1 Maßnahmenkataloge für unabhängige Kontrollsysteme (Zertifizierungssysteme)

#### 2.1.1 Allgemeines

Die EPBD 2010 [14] fordert unabhängige Kontrollsysteme (Zertifizierungssysteme) für Inspektionsberichte. Dabei ist durch eine zuständige Stelle ein statistisch signifikanter Prozentanteil aller jährlich ausgestellten Berichte einer Überprüfung zu unterziehen. Darüber hinaus müssen der Öffentlichkeit aktualisierte Listen qualifizierter und/oder zugelassener Fachleute zugänglich gemacht werden. Im Rahmen dieser Arbeitspaketes werden aktuelle Schulungsunterlagen zur Energetischen Inspektion ausgewertet und Mindestanforderungen an die Qualifikation zugelassener Fachleute definiert. Im Weiteren werden Anforderungen und Inhalte von unabhängigen Kontrollsystemen beschrieben und Zertifizierungsschritte benannt.

#### 2.1.2 Typen von Klimaanlage

Die europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden EU2002/91/EG Artikel 2 [19] definiert eine Klimaanlage wie folgt:

„**Klimaanlage**“: Eine Kombination sämtlicher Bauteile, die für eine Form der Luftbehandlung erforderlich sind, bei der die Temperatur, eventuell gemeinsam mit der Belüftung, der Feuchtigkeit und der Luftreinheit, geregelt wird oder gesenkt werden kann.

Im Sinne dieser Richtlinie und der nationalen Umsetzung der Energetischen Inspektion einer Klimaanlage im Rahmen der EnEV wird eine „Klimaanlage“ wie folgt definiert:

1. Anlagen mit Lüftungsfunktion (Lüftungs- und Klimaanlage siehe Tabelle 21)
2. Anlagen zur Raumkühlung ohne Lüftungsfunktion (Raumkühlsysteme, Raumklimageräte, etc.)

Tabelle 21: Grundarten der RLT-Anlagen nach Funktionen

Kategorie	Filterung	Thermodynamische Funktion					Bezeichnung
		Lüftung	Heizung	Kühlung	Befeuchtung	Entfeuchtung	
THM – C0	x	x	-	-	-	-	Einfache <b>Lüftungsanlage</b>
THM – C1	x	x	x	-	-	-	<b>Lüftungsanlage</b> mit der Funktion Heizen oder Luftheizung
THM – C2	x	x	x	-	x	-	<b>Teilklimaanlage</b> mit den Funktionen Lüften, Heizen, Befeuchten
THM – C3	x	x	x	x	-	(x)	<b>Teilklimaanlage</b> mit den Funktionen Lüften, Heizen, Kühlen
THM – C4	x	x	x	x	x	(x)	<b>Teilklimaanlage</b> mit den Funktionen Lüften, Heizen, Kühlen und Befeuchten
THM – C5	x	x	x	x	x	x	<b>Klimaanlage</b> mit den Funktionen Lüften, Heizen, Kühlen und Be- und Entfeuchten
Legende			-	von der Anlage nicht beeinflusst			
			x	von der Anlage geregelt und im Raum sichergestellt			
			(x)	durch die Anlage beeinflusst, jedoch ohne Garantiewerte im Raum			

Für die Verwendung in der EnEV ist eine Klimaanlage wie folgt definiert::

- Klima- und Teilklimaanlagen C2 bis C5 nach Tabelle 21 mit mehr als 12 kW Nennkühlleistung.
- Raumklimageräte und Raumkühlsysteme ohne Lüftungsfunktion ab 12 kW Nennkühlleistung (Summe je Nutzungseinheit oder je Gebäude bei mehrfach gleichartigen Geräten).

Die **Nennleistung** einer „Klimaanlage“ ist die vom Hersteller festgelegte und unter Beachtung des vom Hersteller angegebenen Wirkungsgrades als einhaltbar garantierte größte Kälteleistung (sensibel und latent).

Das bedeutet, dass nach EnEV § 12 „Energetische Inspektion von Klimaanlagen“ eine periodische Inspektion für folgende Anlagen erforderlich ist:

- Klimaanlage mit einem Kälteerzeuger mit mehr als 12 kW Nennkälteleistung (Summe je Nutzungseinheit oder Gebäude).
- Andere maschinelle Systeme zur Temperaturabsenkung mit mehr als 12 kW Nennkühlleistung (bezogen auf die Zuluft oder die Raumluft), wie z. B.: Direkte oder indirekte Verdunstungskühlung, freie Kühlung über Kühlturm, geothermische Kühlung, Grund- und Oberflächenwasserkühlung und so weiter.

Diese Definition einer Klimaanlage ist im Sinne der EnEV im Dezember 2009 in der DIN SPEC 13779 [20]. übernommen worden. Diese Norm ist als nationaler Anhang zu sehen und regelt die Verwendung der EN 13779 [21] im Sinne der EnEV.

### 2.1.3 Inhalte der Energetischen Inspektion von Klimaanlagen

Bezogen auf die einzelnen Bestandteile (Komponenten, Systeme) einer Klimaanlage sind zur Erfüllung des Umfangs der Energetischen Inspektion unterschiedliche Tätigkeiten erforderlich. In Abhängigkeit der Komplexität der Klimaanlagen (Größe und thermodynamischen Funktionen) sind die Tätigkeitsmerkmale der Energetischen Inspektion in Tabelle 22 aufgelistet (Detailbeschreibungen der einzelnen Tätigkeitsmerkmale sind im Textentwurf zur DIN SPEC 15240 [1] enthalten).

- Stufe A: **Grobanalyse; Feststellung der wesentlichen Schwachstellen;** normaler Arbeitsumfang für kleine Gebäude und nur einzelne klimatisierte Nutzungsbereiche. Zum Beispiel: VRF Klimaanlagen, Multi-Split Klimaanlagen, Fan-Coil-Geräte oder Bauteilkühlung mit einem einzelnen luftgekühlten Kaltwassersatz kleiner Leistung (z.B. < 250 kW)
- Stufe B: **Energetische Inspektion;** Normaler Arbeitsumfang für großflächig klimatisierte Nutzungsbereiche und Gebäude, sowie umfangreiche Klimaanlagen mit vielen thermodynamischen Funktionen. Zum Beispiel: Klimazentralgeräte (THM-C2 bis C5), Befeuchtungsanlagen, Kaltwassersätze großer Leistung oder mit wassergekühlten Rückkühlern oder Mehrerzeugeranlagen.
- Stufe C: **Optionale Leistungen** bei umfassenden Inspektionen, die bei besonderen Verdachtsmomenten berücksichtigt werden können. Hier können auch zusätzliche Leistungen sinnvoll sein.

Tabelle 22: Tätigkeiten der Energetischen Inspektion

Nr.	Tätigkeit/ Parameter	Stufe A	Stufe B	Stufe C
<b>1.</b>	<b>Inspektionsvorbereitung</b>			
1.1.	Prüfung der Dokumentation	x	x	
<b>2.</b>	<b>Gebäude-/ Zonenparameter</b>			
2.1.	Konditionierte Flächen	x	x	
2.2.	Nutzung		x	
2.3.	Verglasung und Sonnenschutz	x	x	
2.4.	Beleuchtung		x	
2.5.	Geräte und Maschinen	x	x	
2.6.	Personen		x	
2.7.	Benchmark Kühllasten	x	x	
2.8.	Abschätzung der Kühllasten		x	
2.9.	Kühllastrechnung			x
<b>3.</b>	<b>Raumklimaparameter</b>			
3.1.	Außenluftvolumenströme	x	x	
3.2.	Raumtemperatur	x	x	
3.3.	Raumluftfeuchtigkeit			x
<b>4.</b>	<b>Betriebszeiten und Regelung</b>			
4.1.	Betriebszeiten	x	x	
4.2.	Sollwerte RLT		x	
4.3.	Sollwerte Klimakälte		x	
4.4.	Luftvolumenstromregelung		x	
<b>5.</b>	<b>Inspektion RLT-Gerät</b>			
5.1.	Ermittlung Luftvolumenströme		x	
5.2.	Ermittlung Wirkleistung Ventilatoren		x	
5.3.	Statische Druckerhöhung		x	
5.4.	Feststellung Effizienz Luftförderung		x	
5.5.	Druckverteilung im RLT-Gerät			x
5.6.	Abschätzung WRG		x	
5.7.	Messung Effizienz WRG			x
5.8.	Feststellung Nebenantriebe WRG		x	
5.9.	Messung Nebenantriebe WRG			x
5.10.	Feststellung Umluftanteile		x	
5.11.	Messung Umluftanteile			x
5.12.	Feststellung Dampfbefeuchtung		x	

Nr.	Tätigkeit/ Parameter	Stufe A	Stufe B	Stufe C
5.13.	Feststellung Wasserbefeuchtung		x	
5.14.	Messung Befeuchtung			x
<b>6.</b>	<b>Inspektion Kanalnetz</b>			
6.1.	Dichtigkeit Kanalnetz und Geräte		x	
6.2.	Dichtigkeitsmessungen			x
6.3.	Wärmedämmung RLT-Gerät		x	
6.4.	Wärmedämmung Kanalnetz		x	
<b>7.</b>	<b>Effizienzkennwerte RLT</b>			
7.1.	Berechnung Effizienzkennwert und Referenzkennwert		x	
7.2.	Berechnung SFP		x	
<b>8.</b>	<b>Inspektion Kälteerzeuger</b>			
8.1.	Überprüfung Wartungstätigkeiten	x	x	
8.2.	Feststellung EER	x	x	
8.3.	Messung EER			x
8.4.	Feststellung PLV	x	x	
8.5.	Feststellung Rückkühlventilatoren		x	
8.6.	Messung Rückkühlung			x
<b>9.</b>	<b>Inspektion Kaltwasserhydraulik</b>			
9.1.	Feststellung Pumpen		x	
9.2.	Berechnung elektrischer Aufwand der Verteilung		x	
9.3.	Detaillierte Berechnung der Hydraulik			x
9.4.	Feststellung der Wärmedämmung		x	
9.5.	Berechnung Bedarfskennwert			x
<b>10.</b>	<b>Referenzkennwert Klimakälte</b>			
10.1.	Berechnung Effizienzkennwert	x	x	
10.2.	Berechnung Referenzkennwert	x	x	
<b>11.</b>	<b>Inspektion Endgeräte</b>			
11.1.	Begehung und Feststellung	x	x	
11.2.	Funktion der Regelung	x	x	
11.3.	Messung ausgewählte Komponenten			x
<b>12.</b>	<b>Beurteilung Klimakonzept</b>			
12.1.	Systembetrachtung		x	
12.2.	Energetisches Gesamtkonzept	x	x	

#### **2.1.4 Fachkunde der zur Energetischen Inspektion berechtigten Personen**

Im Gegensatz zu EnEV 2009 §12 Absatz (5) wird vorgeschlagen, die Fachkunde in Abhängigkeit der Anlagenkomplexität zu unterscheiden.

Für einfache Anlagen nach Inspektionsumfang A können die zur Energetischen Inspektion notwendigen Tätigkeiten bei einer komponentenbezogenen Inspektion ausgeführt werden.

Die Energetische Inspektion derartiger Anlagen kann von Personen durchgeführt werden die auch zur Inspektion von Kälteerzeugern nach diversen Vorschriften wie die Druckgeräterichtlinie, die Chemikalien-Ozonschutzverordnung und die F-Gase-Verordnung qualifiziert sind. Diese Personen sind nach einer Zusatzqualifizierung auch für die Energetische Inspektion kundig (z.B. Meister, Techniker im Bereich Klima- und Kältetechnik)

Dadurch ergeben sich Synergien bei der Durchführung der Inspektion und damit verbunden auch Kosteneinsparungen bei der Abstimmung und Durchführung. Damit könnte kann die Akzeptanz der Energetischen Inspektion erheblich verbessert werden.

Es sind bei einfachen Anlagen nach Inspektionsumfang Stufe A auch durch anders qualifizierte Personen (z.B. Ingenieure) keine weitergehenden Erkenntnisse zu erwarten.

Die EPBD Richtlinie 2010/31/EU [14] weist ausdrücklich darauf hin, dass die Inspektion im Einklang mit anderen Verordnungen durchgeführt werden sollen.

Artikel 15:

(3) Beim Erlass der in den Absätzen 1 und 2 dieses Artikels aufgeführten Maßnahmen gewährleisten die Mitgliedstaaten -soweit wirtschaftlich und technisch realisierbar-, dass die Inspektionen im Einklang mit der in Artikel 14 dieser Richtlinie vorgesehenen Inspektion von Heizungsanlagen und anderen technischen Systemen und den in der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase genannten Kontrollen auf Dichtheit durchgeführt werden.

Für Anlagen im Inspektionsumfang B wird die Ingenieurausbildung vorausgesetzt.

##### **2.1.4.1 Qualifizierung für die Energetische Inspektion Stufe A**

Vorgeschlagen für die Energetische Inspektion der Stufe A wird folgende Qualifizierung.

Fachkundig sind insbesondere

1. Personen mit berufsqualifizierendem Abschluss Meister oder Techniker in den Fachrichtungen Klima- und Kältetechnik mit mindestens einem Jahr Berufserfahrung in Planung, Bau, Betrieb oder Prüfung Klimaanlageanlagen (Kategorie 1 nach EG 303/2008),
2. Personen mit berufsqualifizierendem Abschluss Meister oder Techniker in
  - a) den Fachrichtungen Heizungstechnik,
  - b) Elektrotechnik oder vergleichbaren Fachbereichen
 mit einem zusätzlichen Weiterbildungsschwerpunkt Klima- und Kältetechnik mit mindestens drei Jahren Berufserfahrung in Planung, Bau, Betrieb oder Prüfung von Klimaanlageanlagen (Kategorie 1 nach EG 303/2008).

Gleichwertige Ausbildungen, die in einem anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union, einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum oder der Schweiz erworben worden sind und durch einen Ausbildungsnachweis belegt werden können, sind den in Satz 2 genannten Ausbildungen gleichgestellt.

Mit einer zusätzlichen Weiterbildung für die Energetische Inspektion von Klimaanlageanlagen nach Abschnitt 2.1.5 kann die Qualifikation nach Stufe A ebenfalls erlangt werden.

#### **2.1.4.2 Qualifizierung für die Energetische Inspektion Stufe B**

Grundlage sind die in der EnEV 2009 getroffenen Festlegungen.

Fachkundig sind insbesondere

1. Personen mit berufsqualifizierendem Hochschulabschluss in den Fachrichtungen Versorgungstechnik oder Technische Gebäudeausrüstung mit mindestens einem Jahr Berufserfahrung in Planung, Bau, Betrieb oder Prüfung raumluftechnischer Anlagen,
2. Personen mit berufsqualifizierendem Hochschulabschluss in
  - a) den Fachrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik, Verfahrenstechnik, Bauingenieurwesen oder
  - b) einer anderen technischen Fachrichtung mit einem Ausbildungsschwerpunkt bei der Versorgungstechnik oder der Technischen Gebäudeausrüstung

mit mindestens drei Jahren Berufserfahrung in Planung, Bau, Betrieb oder Prüfung raumlufttechnischer Anlagen.

Gleichwertige Ausbildungen, die in einem anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union, einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum oder der Schweiz erworben worden sind und durch einen Ausbildungsnachweis belegt werden können, sind den in Satz 2 genannten Ausbildungen gleichgestellt.

In Ergänzung wird auch für diese Personengruppe eine Weiterqualifizierung nach Abschnitt 2.1.5 sinnvoll, da die Ausbildung und die Berufserfahrung durchaus verschieden sein kann.

### **2.1.5 Anforderungen und Inhalte der Qualifizierung für die Energetische Inspektion**

Für die Durchführung der Energetischen Inspektion sind Kenntnisse in den folgenden Grundlagen in einer Weiterbildung zu vermitteln.

#### **2.1.5.1 Verordnungsrechtliche Grundlagen zur Energetischen Inspektion**

- EnEV
- EEWärmeG
- ChemKlimaschutzVO

#### **2.1.5.2 Inspektionsvorbereitung**

- Prüfung der Dokumentation und der energetischen Kennwerte von anlagentechnischen Komponenten einschließlich der Klimarandbedingungen und Witterungseinflüssen auf den Energieverbrauch

#### **2.1.5.3 Zonen und Gebäudeparameter**

- Ermittlung von Eingangs- und Berechnungsgrößen für die energetische Berechnung, Durchführung der erforderlichen Berechnungen nach DIN V 18599 sowie Anwendung vereinfachter Annahmen und Berechnungs- und Beurteilungsmethoden:
  - Sonnenschutz
  - Innere Lasten
  - Geräte und Maschinen
  - Nutzungsparameter

- Flächen und Zonierung
- Versorgungsbereiche

#### **2.1.5.4 Klima- und Behaglichkeitsparameter**

- Außenluftvolumenstrom
- Raumtemperaturen
- Raumluftfeuchten
- Vergleich Soll-Ist

#### **2.1.5.5 Abschätzung von Kühllasten**

- Kühllastrechnung
- Vereinfachte Verfahren

#### **2.1.5.6 Beurteilung von Lüftungs- und Klimaanlage**

- Bewertung unterschiedlicher Arten von Lüftungsanlagen und deren Konstruktionsmerkmalen
- Durchführung der Berechnungen nach DIN V 18599 Teile 3 und 7
- Grundkenntnisse über Klimaanlage:
  - Luftaufbereitung
  - Kennzahlen der Luftaufbereitung DIN V 18599 Teil 3 [22]
  - Ventilatoren und Elektroenergiebedarf für den Lufttransport
  - Wärmerückgewinnung
  - Hilfsenergiebedarf
  - Befeuchtung

#### **2.1.5.7 Beurteilung der Kälteerzeugung**

- Grundlagen der Kälteerzeugung
- Arten der Kälteerzeugung
- Freie Kühlung
- Berechnungen von Kennzahlen nach DIN V 18599 Teil 7 [23]

### **2.1.5.8 Kühl und Kaltwasserverteilung**

- Grundlagen der Hydraulik nach DIN V 18599 Teil 7 [23]
- Vereinfachte Verfahren

### **2.1.5.9 Luftverteilung**

- Dichtigkeit Kanalnetz
- Wärmedämmung Geräte und Kanalnetz

### **2.1.5.10 Automatisierung und Regelung**

- Betriebszeiten
- Regelung
- Sollwerte

### **2.1.5.11 Vergleichskennzahlen**

- Kennzahlermittlung für Energetische Vergleiche

### **2.1.5.12 Messtechnik**

- Messungen in Anlagen nach DIN EN 12599 [24]
  - Messung der elektrischen Wirkleistung
  - Druckmessungen
  - Volumenstrommessungen
  - Temperatur- und Feuchtemessung

### **2.1.5.13 Grundlagen der Beurteilung von Modernisierungsempfehlungen**

- Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit
- Erstellung von erfahrungsgemäß wirtschaftlichen (rentablen), im Allgemeinen verwirklichungsfähigen Modernisierungsempfehlungen für kostengünstige Verbesserungen der energetischen Eigenschaften

## **2.1.6 Listen qualifizierter Personen**

Derzeit bieten folgende Institutionen Seminare und Lehrgänge speziell zum Thema Energetische Inspektion an.

- BTGA
- FGK
- CCI-Dialog
- DMT und TÜV
- TAC
- VDI

Grundlagen sind meist die vom FGK herausgegeben STATUS-Reporte 5,6 und 17 sowie die DIN V 18599. Sie sind somit inhaltlich vergleichbar. Einzelne Schulungsanbieter wie der BTGA fordern zusätzlich Fachkundenachweise und stellen Zertifikate für die Befähigung aus.

Derzeit sind etwa knapp 600 Personen nach diesen Rahmenbedingungen geschult. Es werden derzeit Listen dieser Schulungspartner erstellt, die zukünftig die Fachkunde für Nachfrage transparent machen werden. Diese werden von den Verbänden gemeinsam veröffentlicht. Nach Vorliegen der DIN SPEC 15240 [1] können diese Schulungsmaßnahmen entsprechend angepasst und die Listen aktualisiert werden.

### **2.1.7 Vollzug und Überprüfung der Energetischen Inspektion**

Für den Vollzug und die Überprüfung sind die Bundesländer verantwortlich. Normalerweise ist den Baubehörden nicht bekannt, in welchen Gebäuden sich Klimaanlageanlagen welcher Leistung befinden, da diesbezüglich keine Meldepflicht der Betreiber besteht. Dies ist ein erschwerender Faktor. Verantwortlich für die Umsetzung sind die Betreiber.

Derzeit wurden nur für maximal 3 % der Klimaanlageanlagen für die eine Inspektionspflicht besteht, Inspektionen tatsächlich umgesetzt. Es sind demnach weitere Anreize zu schaffen, damit diese Dienstleistung stärker nachgefragt wird. Folgende Instrumente sind prinzipiell dazu geeignet:

- Finanzielle Förderung
- Öffentlichkeitsarbeit, Darstellung von Vorteilen, Einsparpotenzialen
- Recht der Nutzer/Mieter auf Information der Inspektionsergebnisse kombiniert mit verstärkter Öffentlichkeitsarbeit
- Höhere Strafen

- Kontrolle durch bestellte Personen (Schornsteinfeger, TÜV, etc.)

#### **2.1.7.1 Überprüfung der Berichte – Inspektionsergebnisse**

Durch eine zentrale Registrierung der durchgeführten Inspektionen können diese erfasst und ggf. überprüft werden. Es ist jedoch zu hinterfragen, ob eine Überprüfung sinnvoll ist, solange der Vollzug mangelhaft ist.

Dies würde zu der unverständlichen Situation führen, dass Betreiber die eine Energetische Inspektion durchführen lassen, ggf. wegen mangelhafter Erfüllung betrafft werden können, diejenigen Betreiber die erst keine Energetische Inspektion durchführen lassen, damit eher straffrei bleiben.

Voraussetzung für eine Überprüfbarkeit von Energetischen Inspektionen ist die Definition des notwendigen Arbeitsumfanges. Es sind derzeit keine Dokumente verfügbar, die den notwendigen Leistungsumfang der Energetischen Inspektion rechtssicher beschreiben.

Die Tätigkeitsmerkmale in Tabelle 22 sind dazu geeignet, das inhaltliche Mengengerüst zu definieren. Eine Überprüfung auf mögliche Vollständigkeit ist damit möglich. Voraussetzung ist, dass der Verordnungsgeber dieses Mengengerüst an einer Stelle der Verordnung oder der Durchführungsverordnungen vorgibt.

Eine Prüfung auf Richtigkeit der festgestellten Ergebnisse ist vermutlich derzeit aufgrund der geringen Umsetzung schwer vermittelbar.

## **2.2 Stufenpläne für wirtschaftliche Sanierungsanforderungen**

### **2.2.1 Allgemeines**

Die Energieeinsparverordnung sieht im §12 vor, dass dem Betreiber durch die inspizierende Person Ratschläge zur kostengünstigen Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage, für deren Austausch oder für Alternativlösungen zu geben sind. Es muss unterstellt werden, dass diese Maßnahmen auch in Anlehnung an das Wirtschaftlichkeitsgebot gemäß §5 Energieeinspargesetz, wirtschaftlich sind. Die Wirtschaftlichkeit ist dabei generell dann gegeben, wenn die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können. Bei bestehenden Gebäuden ist die noch zu erwartende Nutzungsdauer zu berücksichtigen. Aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen und den typischen Randbedingungen des Bestandes ist die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme jedoch oft nicht offensichtlich, sondern bedarf einer detaillierten Berechnung. Diese wiederum ist nicht Gegenstand der Energetischen Inspektion nach EnEV §12 und ist aus zeitlichen und finanziellen Gesichtspunkten in diesem Zusammenhang auch nicht zu leisten. Es erscheint daher wünschenswert, einen Katalog wirtschaftlicher Maßnahmen zu erstellen, der in Abhängigkeit typischer Randbedingungen die jeweilige Amortisationsdauer ausweist.

Unter der Annahme verschiedener Randbedingungen zur Anlagengröße und Anlagenbetriebszeit werden daher typische hochinvestive Sanierungs- bzw. Nachrüstlösungen hinsichtlich ihrer Gesamtwirtschaftlichkeit untersucht. Ergänzt werden die Berechnungen durch die Erneuerung des RLT-Gerätes, da bei der Sanierung des Luftfördersystems und gleichzeitiger Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung der Ersatz des RLT-Gerätes mit einer an den (veränderten) Bedarf angepassten Auslegung insgesamt wirtschaftlicher sein kann. Alle Maßnahmen werden im Hinblick auf eine Standardtechnologie und die beste am Markt verfügbare Technologie bewertet, um die damit einhergehenden Unterschiede herauszuarbeiten. Anhand dieser Berechnungen wären prinzipiell auch Sanierungsverpflichtungen für künftige verordnungsrechtliche Vorgaben ableitbar, wobei diese einfach erkennbar und hochwirtschaftlich sein müssen [17]. Im Ergebnis können Stufenpläne abgeleitet werden, die aufzeigen, welche konstruktiven und nutzungsbedingten Randbedingungen (z.B. Anlagenbaualter, Nennvolumenstrom, Betriebszeit) eingehalten werden müssen, damit eine Sanierung innerhalb der zu erwartenden Nutzungsdauer der Anlage wirtschaftlich darstellbar ist.

## 2.2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

### 2.2.2.1 Berechnungsgrundlagen

Um ein breites Anlagen- und Nutzungsspektrum abzudecken und die Wirkung von vorhandenen Marktanzreizprogrammen einschätzen zu können, erfolgen die Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter Variation folgender Parameter:

1. Anlagenbaugröße:
  - 5.000 m<sup>3</sup>/h
  - 15.000 m<sup>3</sup>/h
  - 30.000 m<sup>3</sup>/h
2. Anlagenbetriebszeit (jährlich)
  - 1800 h (z.B. Hörsaal, Theater)
  - 3750 h (z.B. Büro, Einzelhandel)
  - 8760 h (z.B. Industrie, Rechenzentrum)

Die Berechnung der Amortisationsdauer erfolgt entsprechend der Anuitätsmethode nach VDI 2067-1 [16]. Dabei werden die kapitalgebundenen Kosten dynamisch entsprechend der technischen Nutzungsdauer und den Zinskosten ermittelt, die bedarfsgebundenen Kosten in Form der Energiekosteneinsparung berechnet und die betriebsgebundene Kosten für Bedienung, Wartung, Inspektion und Instandsetzung mit prozentualen Kapitalkostenzuschlägen bewertet. Der Zinssatz wird dabei mit 2,5 % angenommen.

Im Bafa-Förderprogramm „Hocheffiziente Querschnittstechnologien im Mittelstand“ werden für verschiedene Einzelmaßnahmen bei der RLT-Anlagenerneuerung Investitionszuschüsse in Höhe von maximal 30 % auf die förderfähigen Kosten gewährt. Diese Zuschüsse werden bei Erreichen der Fördervoraussetzungen entsprechend berücksichtigt, um die Angemessenheit und Wirksamkeit der Förderinstrumente zu überprüfen.

Die Energieträgerkosten werden ohne Beachtung der Energiepreissteigerung wie folgt verwendet:

- Wärmekosten 7,5 ct/kWh und
- Stromkosten 15 ct/kWh.

Da es sich bei allen Sanierungsvarianten um (vorgezogene) energetisch motivierte Sanierungen handelt, ist der Restwert der Bestandsanlage zu berücksichtigen. Rechnerisch erfolgt dabei eine

Abminderung der Investitionskosten, da die Sanierung des Anlagenbauteils nach Ablauf der Restnutzungsdauer ohnehin erfolgen muss. Ein gerade saniertes Bauteil hätte demnach einen Restwert von 100 %, ein Bauteil am Ende der Nutzungsdauer einen Restwert von 0 %. Diese Betrachtung gilt nur für den Austausch von Anlagen und Bauteilen (Austausch Luftfördersystem, Erneuerung RLT-Gerät), nicht jedoch für den erstmaligen Einbau einer Komponente (Nachrüstung WRG), da hier keine Restnutzungsdauer anfällt.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird eine (abgelaufene) Nutzungsdauer von 10 Jahren angenommen, da die Energetische Inspektion nach Ablauf der Übergangsfristen erstmalig im 10. Jahr nach Inbetriebnahme durchzuführen ist. Ausgehend von einer anhand der Marktumfrage ermittelten marktüblichen Nutzungsdauer von mindestens 25 Jahren für RLT-Geräte ist somit eine Restnutzungsdauer von 15 Jahren zu berücksichtigen. Unter der Annahme einer kontinuierlichen Abschreibung wird für alle Austauschlösungen ein Restwert in Höhe von 60% der erforderlichen Investitionskosten angesetzt. Die Investition wird somit rechnerisch um den Anteil der bereits abgelaufenen Nutzungsdauer (40%) abgemindert. Bei dieser zeitlichen Betrachtung ist sicher gestellt, dass die rechnerische Nutzungsdauer der sanierten Komponente innerhalb der Restnutzungsdauer der Bestandsanlage liegt. Parallel erfolgen alle Berechnungen für einen Restwert von 100 % ohne Investitionskostenabminderung.

Die als Vergleichsbasis dienende Bestandsanlage ist mit einem zweistufigen Ventilator ausgeführt, bei dem eine 50 %-ige Betriebszeit in der maximalen Stufe 2 (Kühllastdeckung) und 50 % der Betriebszeit in der reduzierten Leistungsstufe 1 (hygienischer Mindestluftwechsel) angenommen wird. Bei allen Sanierungslösungen, die eine variable Volumenstromregelung ermöglichen, wird eine 50 %-ige Betriebszeit mit Mindestluftvolumenstrom in der Leistungsstufe 1 (50 %) und eine 50 %-ige Betriebszeit mit variabler Luftmengenregelung zwischen Mindestluftvolumenstrom und Nennluftmenge angenommen. Um einen breiten Bereich an Bestandslösungen zu berücksichtigen, wird neben der zweistufigen auch eine einstufige Ventilatorausführung betrachtet.

Für die aus thermischer Sicht relevanten Einsparpotentiale wird als Vergleichsbasis neben einer reinen Außenluftanlage auch eine für den Bestand typische Umluftregelung mit einer Mischkammer berücksichtigt.

### 2.2.2.2 Sanierung Luftfördersystem

Die betrachteten Sanierungslösungen werden in einen 1-zu-1-Austausch (2-stufige Luftmengenumschaltung) und die Nachrüstung zur stetigen Luftmengenregelung unterschieden. Für die Ventilatoren ist dabei die Anforderungen an die Mindesteffizienz nach Stufe 2 (verbindlich ab 2015) der EG-Verordnung 327/2011 und für die Motoren eine Mindesteffizienz-Klasse IE3 nach EG-Verordnung 640/2009 zu erfüllen, um die Fördervoraussetzung der BAFA-Richtlinie „Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand“ zu erreichen. Folgende Sanierungsmaßnahmen werden betrachtet:

1. 1zu1-Tausch (2-stufig)
  - Flachriemen, Riemenscheibe
  - AC-Motor 2-stufig, Flachriemen
  - Gehäuseventilator mit AC-Motor 2-stufig, Flachriemen
2. Stetige Luftmengenregelung
  - AC-Motor stetig, Flachriemen, FU
  - Gehäuseventilator mit EC-Motor direkt getrieben, Anpassung Ventilatorkammer
  - Freilaufendes Rad mit EC-Motor, Umbau Ventilatorkammer

Bei den Investitionskosten für die Sanierungslösung werden neben den reinen Komponentenkosten auch Montageleistungen und die betriebsbedingt erforderlichen Anpassungen in der Regelungstechnik berücksichtigt. Die Detailbeschreibungen der Sanierungslösungen, die erreichbaren energetischen Potentiale (Systemwirkungsgrade), die Investitionskostenübersichten und die detaillierten Berechnungsergebnisse für die einzelnen Maßnahmen enthält Anhang 3.

Als Vergleichsvarianten werden typische Bestandssituationen betrachtet, die sich neben den globalen Einflussgrößen Anlagengröße und Betriebszeit vor allem durch die Effizienz des Antriebssystems (Systemwirkungsgrad) und die Stufigkeit des Ventilators (ein- und zweistufig) unterscheiden. Die Auswertung der Marktumfrage zeigt, dass Bestandanlagen im Mittel Systemwirkungsgrade um 35 % aufweisen, gerade neuere Anlagen aber auch Werte um 50 % erreichen können, weshalb beide Varianten als Bezugswerte verwendet werden. Abbildung 36 bis Abbildung 41 zeigen die berechneten Amortisationsdauern für die betrachteten Sanierungslösungen zunächst ohne Berücksichtigung von Investitionszuschüssen.

Aufgrund der kurzen Nutzungsdauer (technische Nutzungsdauer rot gestrichelt) ist ein Keilriemen-austausch nur bei sehr großen einstufigen RLT-Anlagen mit Dauerbetrieb wirtschaftlich darstellbar. Wird diese Maßnahme mit dem Motortausch kombiniert, ergibt sich gemäß Abbildung 37 eine deutlich größere Anzahl wirtschaftlicher Varianten. Insbesondere für kleine RLT-Anlagen und geringe Laufzeiten ist aber auch bei dieser Sanierungslösung keine Wirtschaftlichkeit gegeben.

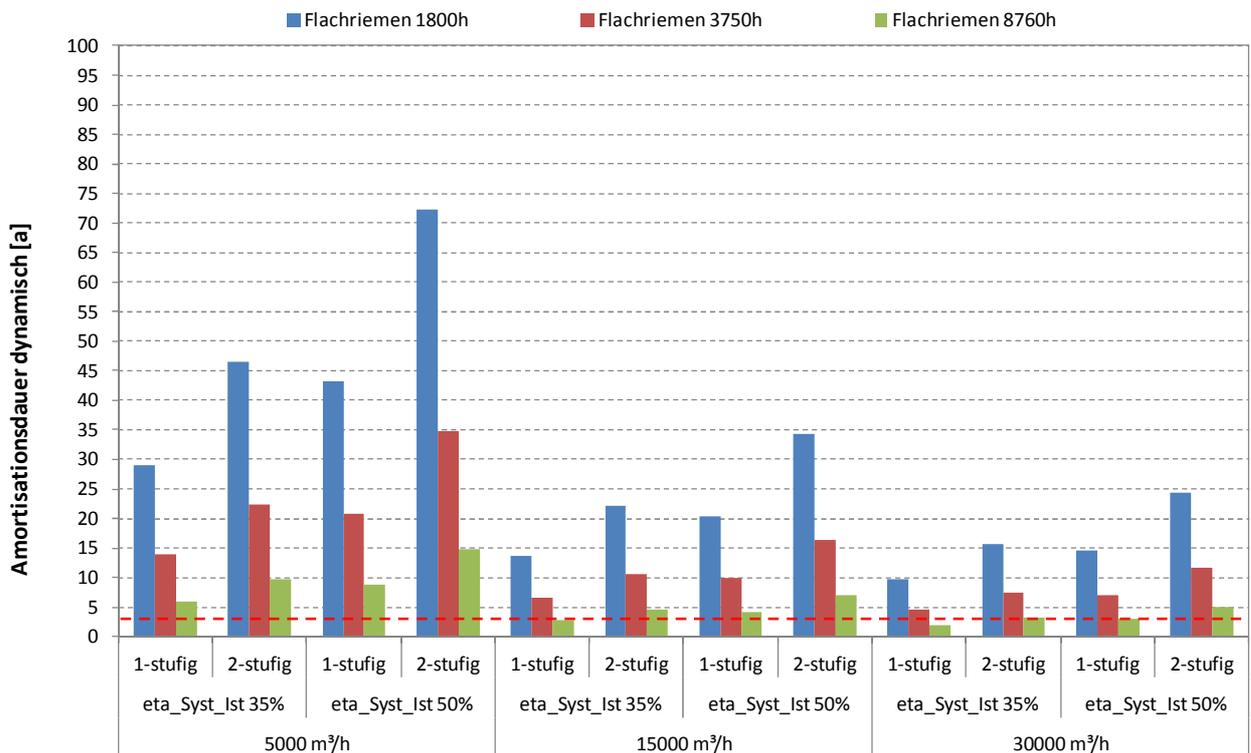


Abbildung 36: Amortisationsdauer für Variante: Ersatz Keilriemen durch Flachriemen

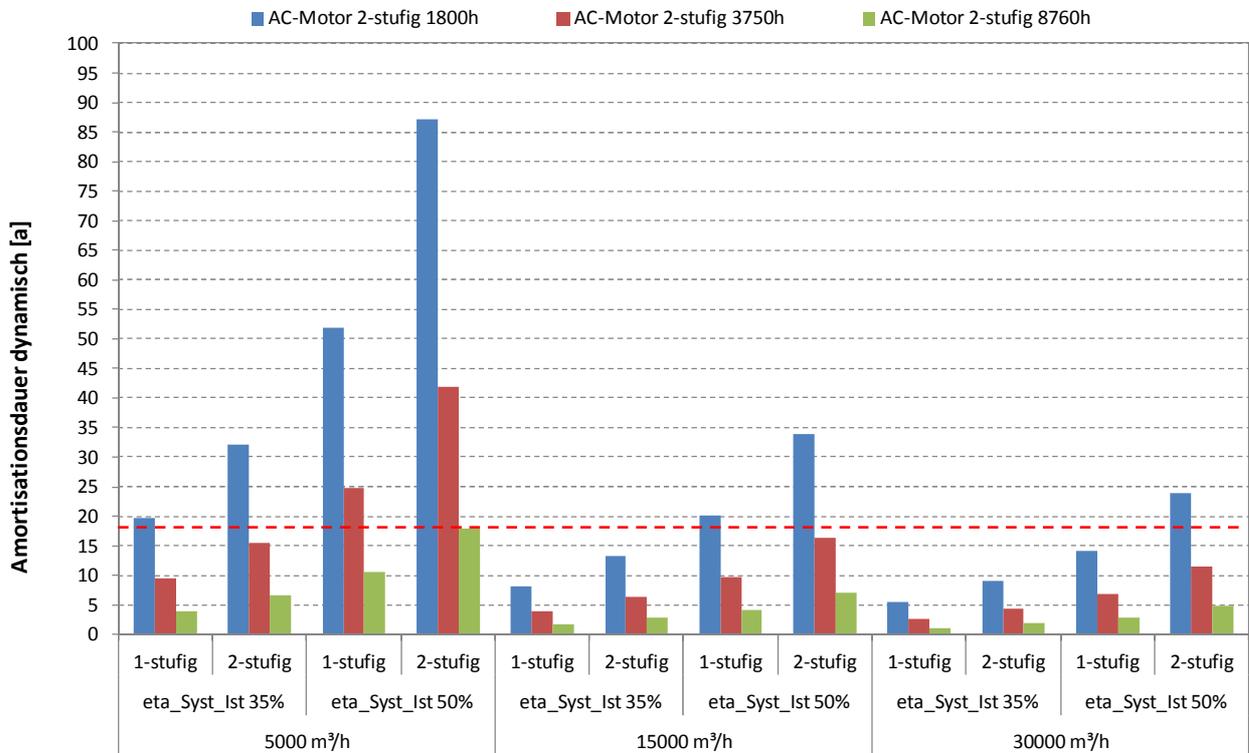


Abbildung 37: Amortisationsdauer für Variante: Motortausch AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen

Wird nicht nur der Motor und der Riemen sondern der gesamte Ventilator getauscht, kann der höchste Systemwirkungsgrad aller stufigen Sanierungslösungen von max. 65% (siehe Anhang 3, Seite 13) erreicht werden, was die Amortisationsdauer prinzipiell noch etwas weiter reduziert und die Anzahl wirtschaftlicher Varianten weiter erhöht. Insgesamt ist gemäß Abbildung 38 aber auch bei dieser Variante keine der betrachteten Sanierungslösungen unter allen Randbedingungen wirtschaftlich. Sanierungsentscheidungen sind also immer in Abhängigkeit der tatsächlich gegebenen Randbedingungen der Bestandsanlage zu fällen.

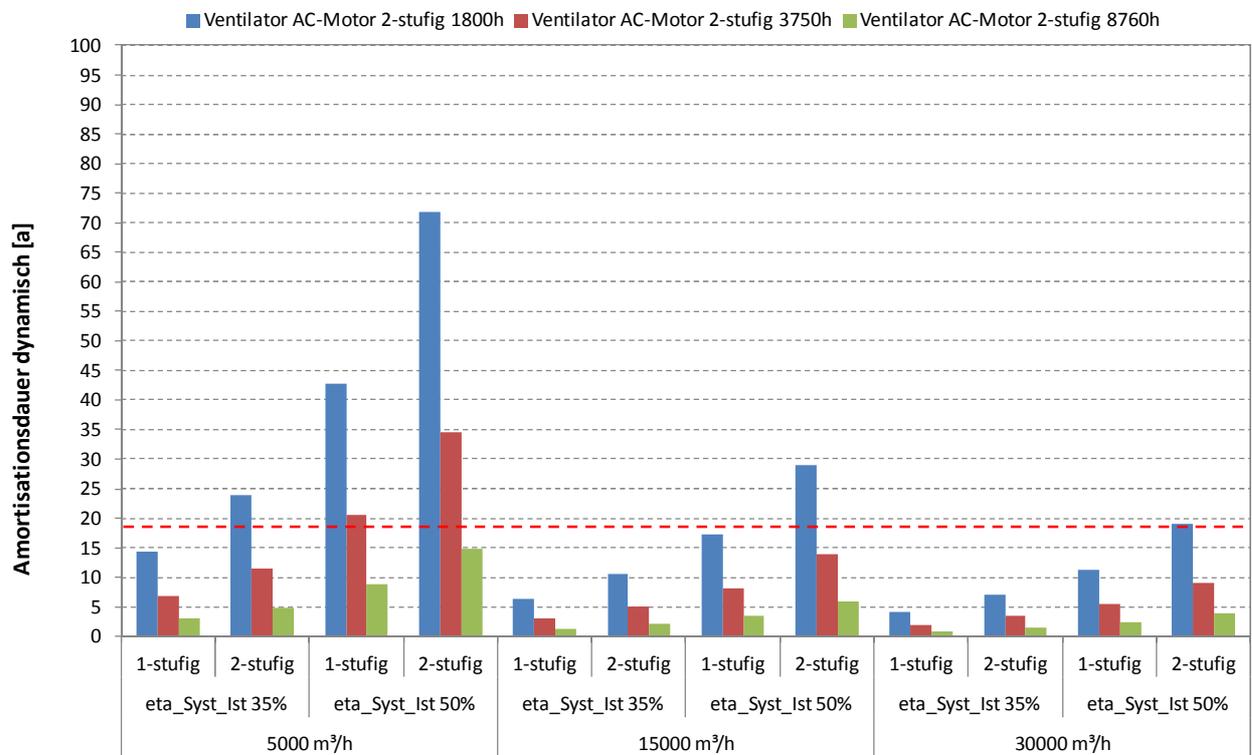


Abbildung 38: Amortisationsdauer für Variante: Austausch Ventilator mit AC-Motor 2-stufig und Flachriemen

Größter Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit bei den betrachteten stufig schaltbaren Sanierungslösungen ist die Effizienz des Bestandssystems, die mit etwa Faktor 3 einget (dreifache Amortisationsdauer). Diese wird gefolgt von der Baugröße der Anlage (Volumenstrom) und der Betriebszeit, die mit etwa Faktor 2 (doppelte Amortisationsdauer) eingehen. Die Stufigkeit des Ventilators ist relativ betrachtet von geringster Bedeutung und geht „nur“ mit etwa Faktor 1,7 ein.

Wird neben den anlagentechnischen Verbesserungen im Zuge der Sanierung die Möglichkeit zur variablen Luftmengenregelung geschaffen, kann das die bedarfsgebundenen Kosten weiter reduzieren und damit die Wirtschaftlichkeit erhöhen. Abbildung 39 zeigt diesen Zusammenhang für die Sanierung mit einem frequenzgeregelten AC-Motor mit Flachriemen.

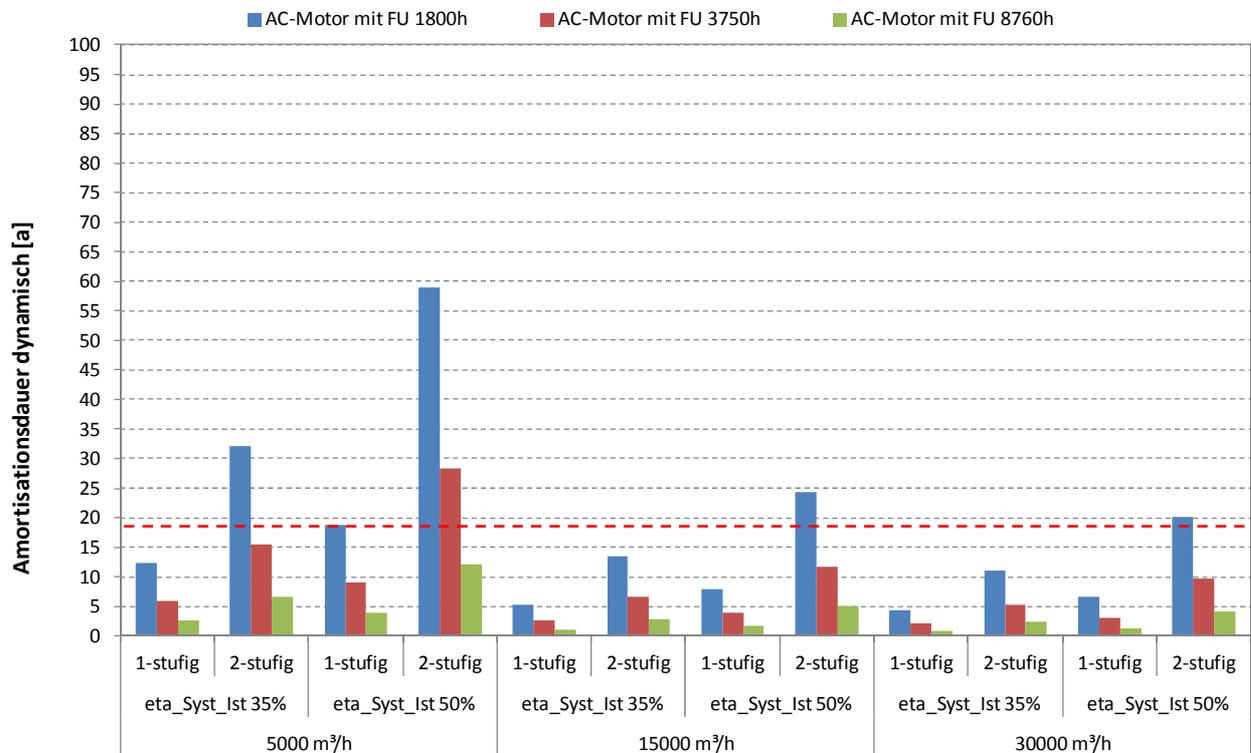


Abbildung 39: Amortisationsdauer für Variante: Motortausch AC-Motor mit Frequenzumrichter und Flachriemen

Diese Sanierungslösung ist für alle einstufigen Bestandssysteme uneingeschränkt wirtschaftlich darstellbar.

Wird der gesamte Ventilator getauscht, kann der höchste Systemwirkungsgrad aller Sanierungslösungen von bis zu 70% erreicht werden. Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigen die weiter sinkende Amortisationsdauer für diese Sanierungslösungen. Allerdings beträgt die rechnerische Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 für direktgetriebene Axialventilatoren nur 12 statt 18 Jahren für riemengetriebene Axialventilatoren, was die Wirtschaftlichkeit dieser Lösungen insgesamt negativ beeinflusst.

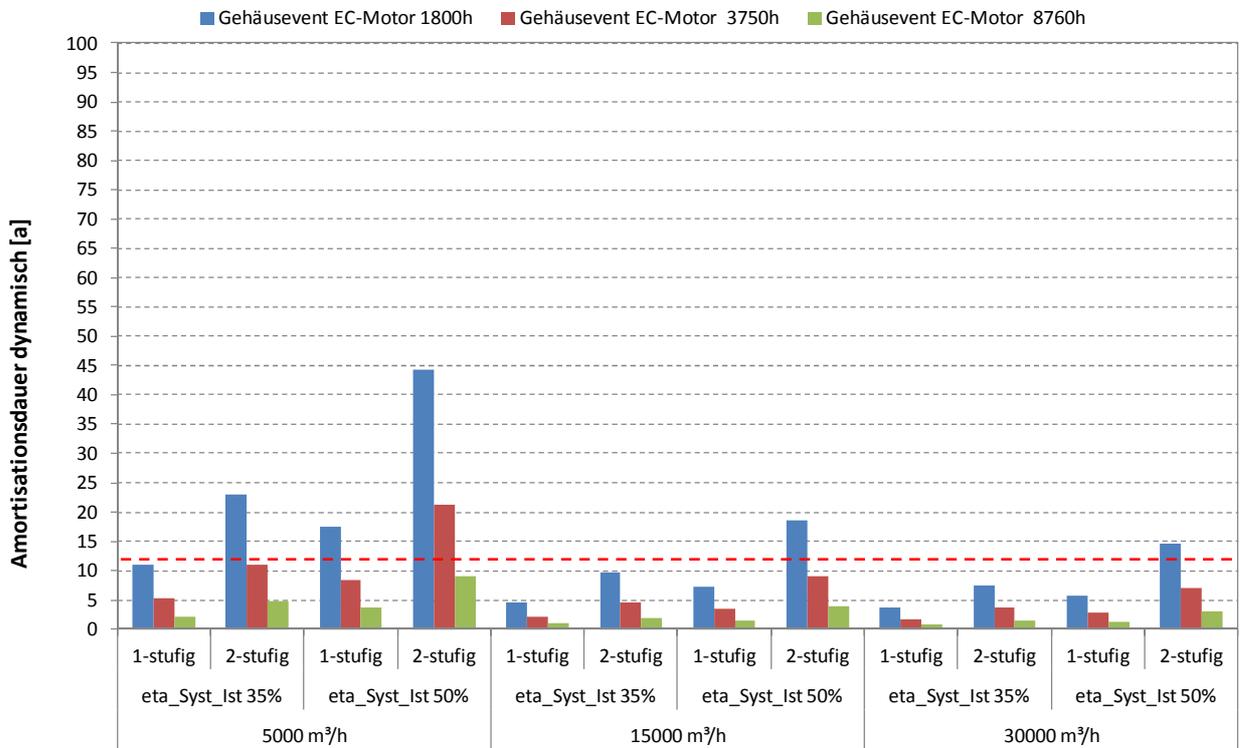


Abbildung 40: Amortisationsdauer für Variante: Ersatz durch Gehäuseventilator mit EC-Motor

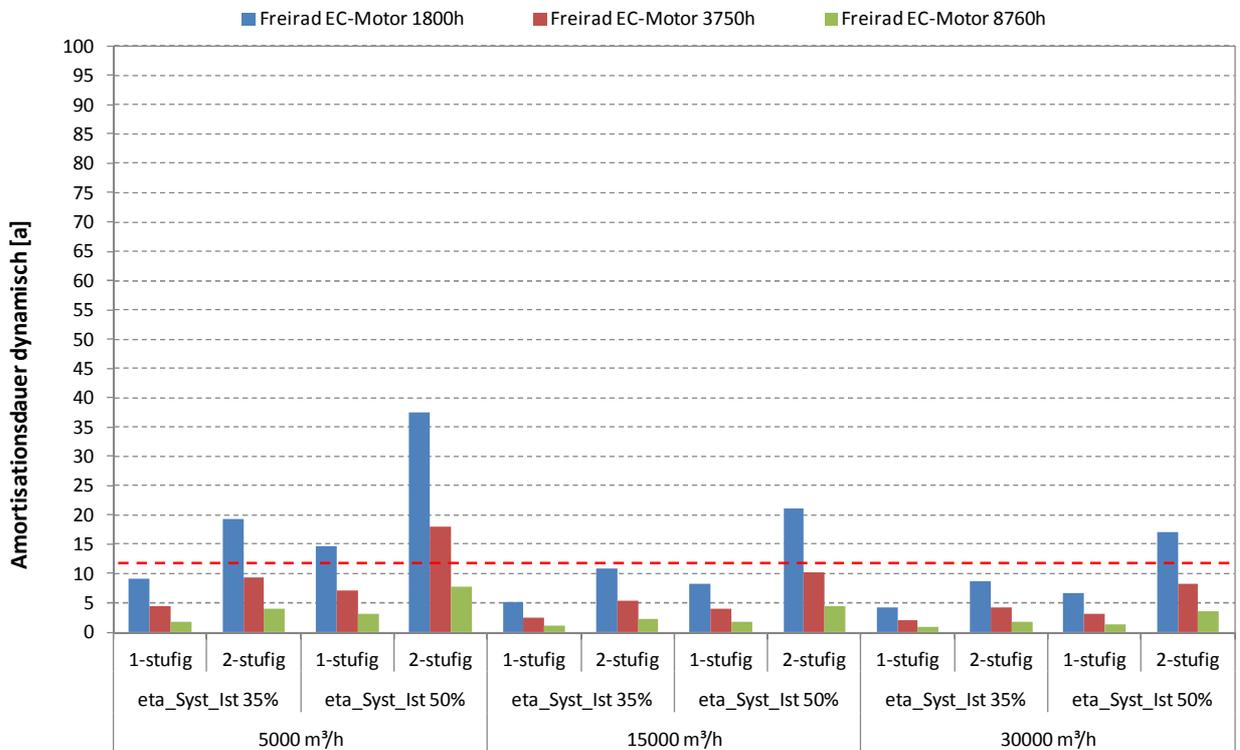


Abbildung 41: Amortisationsdauer für Variante: Ersatz durch Freilaufendes Rad mit EC-Motor

Größter Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit bei den variabel regelbaren Sanierungslösungen ist die Stufigkeit des Ventilators, die mit etwa Faktor 2,3 eingeht. Diese wird gefolgt von der Baugröße der Anlage (Volumenstrom) und der Betriebszeit, die mit etwa Faktor 2 (doppelte Amortisationsdauer) eingehen. Die Effizienz des Bestandssystems ist bei den volumenstromregelbaren Sanierungslösungen relativ betrachtet von geringster Bedeutung und geht „nur“ noch mit etwa Faktor 1,8 ein.

Insgesamt ist keine der betrachteten Sanierungslösungen unter allen Randbedingungen wirtschaftlich, da die Amortisationsdauer die verbleibende Nutzungsdauer bei jeder Sanierungslösung unter mindestens einer Randbedingung übersteigt. Abbildung 42 zeigt diesen Zusammenhang in Form der Überschreitung der Nutzungsdauer.

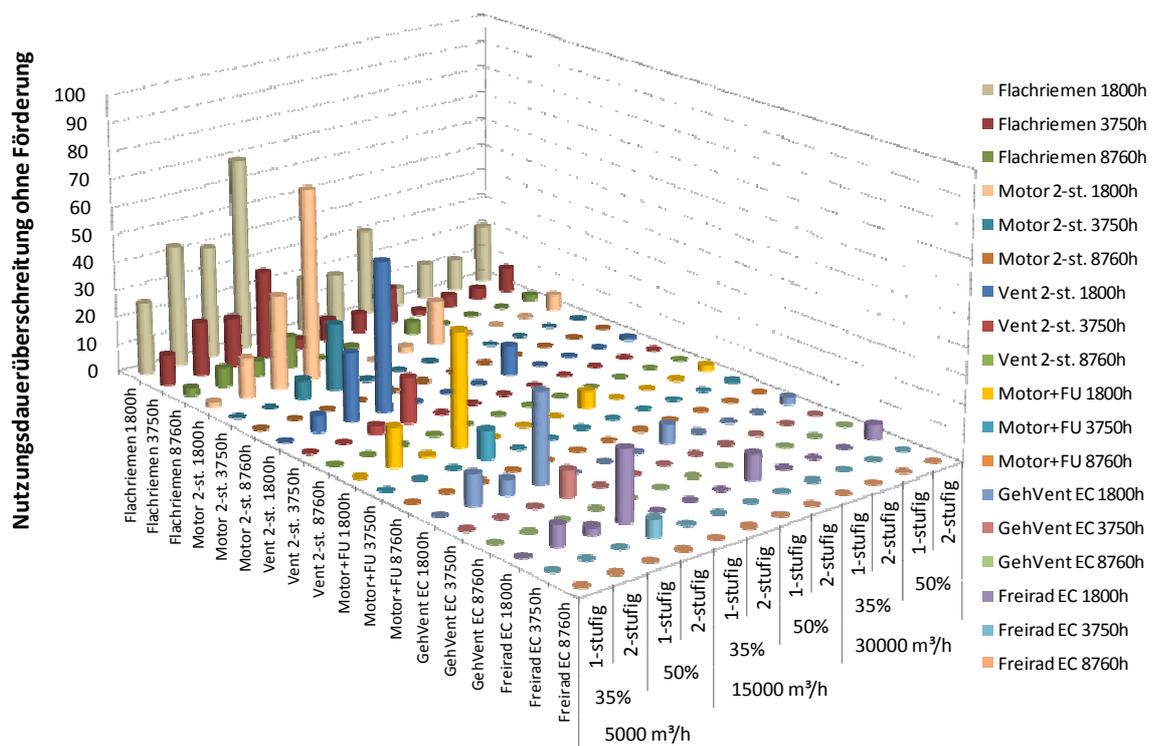


Abbildung 42: Überschreitung der Nutzungsdauer (ohne BAFA-Förderung)

Eine Sanierungsverpflichtung müsste daher an (möglichst einfach erkennbare) Randbedingungen geknüpft sein. Einfach feststellbare Kriterien sind die Anlagenbaugröße und die Stufigkeit des Bestandsventilators. Die Betriebszeit ist bei gemischter Nutzung nicht zweifelsfrei feststellbar und die Effizienz des Bestandssystems erfordert in jedem Fall messtechnische Untersuchungen.

- Es könnte eine Sanierungsverpflichtung für einstufige RLT-Anlagen mit einem Volumenstrom von mindestens 15.000 m<sup>3</sup>/h festgelegt werden, wenn die Sanierungslösung eine variable Volumenstromregelung zulässt. Allerdings müssten von dieser Verpflichtung diejenigen Nutzungen ausgeschlossen werden, die einen konstanten Luftvolumenstrom erfordern (z. B. zur kontinuierlichen Lastabfuhr).

Für alle anderen Bestandssituationen ist ein Einzelnachweis der Wirtschaftlichkeit notwendig, wofür die hier dargestellten Berechnungsergebnisse orientierend verwendet werden können. Eine geringere Amortisationsdauer ist bei Berücksichtigung einer Energiepreissteigerung oder einer geringen Restnutzungsdauer (Restwert) zu erwarten. Dabei muss aber sichergestellt sein, dass die berücksichtigte rechnerische Lebensdauer der erneuerten Komponente innerhalb der Restnutzungsdauer der Bestandsanlage liegt.

Die Förderbedingungen der BAFA im Programm „Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand“ sind mit allen Sanierungslösungen zu erreichen. Einzige Ausnahme ist der ausschließliche Riementausch, der nicht förderfähig ist. Unter Berücksichtigung der Investitionszuschüsse auf die förderfähigen Kosten sinkt die Amortisationsdauer abhängig von der Sanierungslösung zwischen 10 % und 26 %. Es wird trotz Förderung jedoch für keine Maßnahme eine generelle Wirtschaftlichkeit erreicht. Abbildung 43 zeigt die Überschreitung der Nutzungsdauer unter Berücksichtigung der BAFA-Förderung.

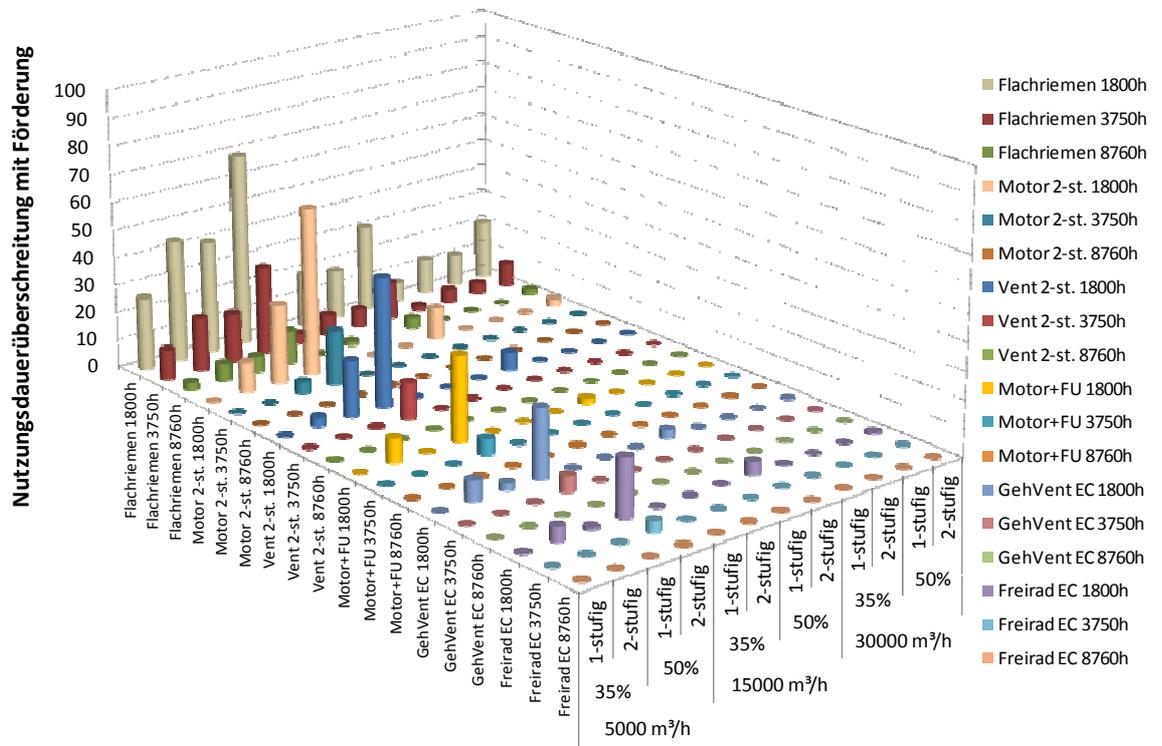


Abbildung 43: Überschreitung der Nutzungsdauer (mit BAFA-Förderung)

### 2.2.2.3 Nachrüstung Wärmerückgewinnung

Die Nachrüstung einer Wärmerückgewinnungseinrichtung erfolgt mit dem Ziel, mindestens die WRG-Klasse H4 ( $\eta_e \geq 0,45$ ) und bestens die WRG-Klasse H3 ( $\eta_e \geq 0,55$ ), H2 ( $\eta_e \geq 0,64$ ) oder H1 ( $\eta_e \geq 0,71$ ) nach DIN EN 13053 [26] zu erreichen. Folgende Nachrüstlösungen werden betrachtet:

1. Kreislauf-Verbund-System außerhalb RLT-Gerät
  - mit Standard-Wärmeübertrager WRG-Klasse H4
  - Hochleistungs-Wärmeübertrager WRG-Klasse H2
2. Kreislauf-Verbund-System innerhalb RLT-Gerät
  - mit Standard-Wärmeübertrager WRG-Klasse H4
  - Hochleistungs-Wärmeübertrager WRG-Klasse H3
3. Plattenwärmeübertrager außerhalb RLT-Gerät
  - Kreuzstrom-Wärmeübertrager WRG-Klasse H4
  - Kreuzgegenstrom-Wärmeübertrager WRG-Klasse H2

#### 4. Rotationswärmeübertrager außerhalb RLT-Gerät

- Kondensationsrotor WRG-Klasse H2
- Kondensationsrotor WRG-Klasse H1

Dabei wird für das Bestandsgerät eine interne Strömungsgeschwindigkeit von 3 m/s angenommen, die den Anlagenbestand gut repräsentiert. Bei einer Anordnung außerhalb des Gerätes zählt die WRG-Klasse als Kriterium und nicht die Strömungsgeschwindigkeit. Eine Nachrüstung der Wärmerückgewinnung erfordert zu- und abluftseitig eine ausreichende Druckreserve, die nach Auswertung der Marktumfragedaten in vielen Anlagen vorhanden ist. Für die Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die Druckreserve zur Verfügung steht und keine Beeinträchtigung der Luftvolumenströme erfolgt.

Die Berechnungsergebnisse ermöglichen eine Vergleichbarkeit anhand der erreichbaren WRG-Klasse. Der dafür erforderliche Platzbedarf ist für die Variantenbetrachtung nicht limitiert und muss vor Ort vorhanden sein. Inhaltlich geht es zudem darum, verschiedene technische Lösungen zu untersuchen, die prinzipiell die gleichen WRG-Klassen erreichen können.

Als Vergleichsvarianten werden typische Bestandssituationen betrachtet, die sich neben den globalen Einflussgrößen Anlagengröße und Betriebszeit vor allem durch die Stufigkeit des Ventilators (ein- und zweistufig) und das Vorhandensein einer Umluft unterscheiden. Für die Umluftbeimischung wird eine auf 12°C temperaturgeregelte Mischkammer berücksichtigt, deren energetischer Einfluss nach DIN SPEC 15240 [1] bewertet werden kann. Die Auswertung der Marktumfrage zeigt, dass Bestandanlagen sehr oft mit einer Möglichkeit zur Umluftbeimischung ausgestattet sind, weshalb dieser Parameter bei der energetischen Bewertung der Bestandssituation zwingend berücksichtigt werden muss.

Bei den Investitionskosten für die Sanierungslösung werden neben den reinen Komponentenkosten auch Montageleistungen und die betriebsbedingt erforderlichen Anpassungen in der Regelungstechnik berücksichtigt. Die Detailbeschreibungen der Sanierungslösungen, die erreichbaren energetischen Potentiale (WRG-Klassen), die Investitionskostenübersichten und die detaillierten Berechnungsergebnisse für die einzelnen Maßnahmen enthält Anhang 4.

Eine Abminderung der Investitionskosten für diese Sanierungsmaßnahmen erfolgt nicht, da die WRG-Nachrüstung den Neubau einer bisher nicht vorhandenen Komponente darstellt. Es geht dabei nicht um die Erneuerung einer bereits zeitweise genutzten Komponente, die nach Ende der

Restnutzungsdauer ohnehin erneuert werden muss. Bei Zugrundelegung einer bereits abgelaufenen 10-jährigen Nutzungsdauer kann davon ausgegangen werden, dass die die Nutzungsdauer der Sanierungslösung maximal 15 Jahre erreicht. Für die Variante „Nachrüstung Plattenwärmeübertrager“ wird daher abweichend von VDI 2067-1 nicht mit einer 20-jährigen sondern nur mit einer 15-jährigen Nutzungsdauer gerechnet. Alle anderen Sanierungslösungen weisen nach VDI 2067-1 ebenfalls eine rechnerische Nutzungsdauer von 15 Jahren auf.

Um die Fördervoraussetzung der BAFA-Richtlinie „Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand“ zu erreichen, muss für die Sanierungslösung die WRG-Klasse H1 nach DIN EN 13053 [26] erreicht werden. Diese Anforderung ist unter den typischen Bedingungen des Bestandes (fehlende Einbringöffnungen, eingeschränkte Transportwege, mangelnde Aufstellfläche) und unter Beachtung der verfügbaren Technologien nur sehr selten erreichbar. Bei den betrachteten Sanierungslösungen erfüllt nur die Sanierungsvariante „Nachrüstung Kondensationsrotor“ die Anforderung der BAFA-Richtlinie nach einer WRG-Klasse H1. Der Platzbedarf für diese Lösung wird vorausgesetzt ist nicht Gegenstand der Betrachtung.

Abbildung 44 bis Abbildung 47 zeigen die berechneten Amortisationsdauern für die betrachteten Sanierungslösungen zunächst ohne Berücksichtigung von Investitionszuschüssen.

Bei den KV-Systemen zeigt sich eine starke Abhängigkeit von der Anlagengröße und der Betriebszeit, die in etwa mit Faktor 2,0 (doppelte Amortisationsdauer) eingehen. Der Umluftanteil hat mit Faktor 1,7 geringeren Einfluss. Die geringste Änderung der Amortisationsdauer ist der Zweistufigkeit des Ventilators zuzuschreiben, die eine Anhebung um Faktor 1,3 bewirkt.

Insgesamt schneidet die interne Lösung erwartungsgemäß schlechter ab, als die externe Lösung, die in der Hochleistungsvariante zudem die höhere WRG-Klasse H2 erreicht. Aufgrund der hohen Investitionskosten für das Hochleistungssystem ist die Standardlösung mit WRG-Klasse H4 zudem gesamtwirtschaftlich günstiger.

Für keine Sanierungsvariante ist eine generelle Wirtschaftlichkeit gegeben. Erst bei mittleren Baugrößen (15.000 m<sup>3</sup>/h) und mittleren Betriebszeiten (3750 h) sind mit KV-Systemen wirtschaftliche Lösungen realisierbar.

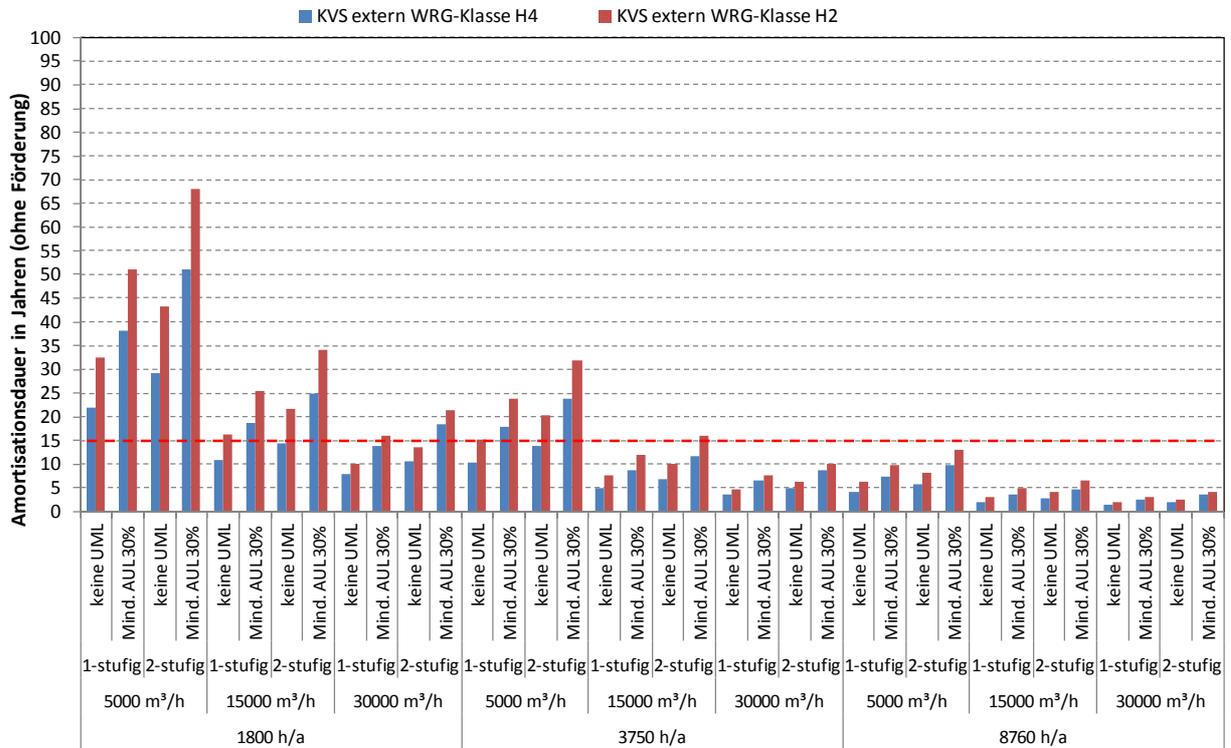


Abbildung 44: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung KV-System extern

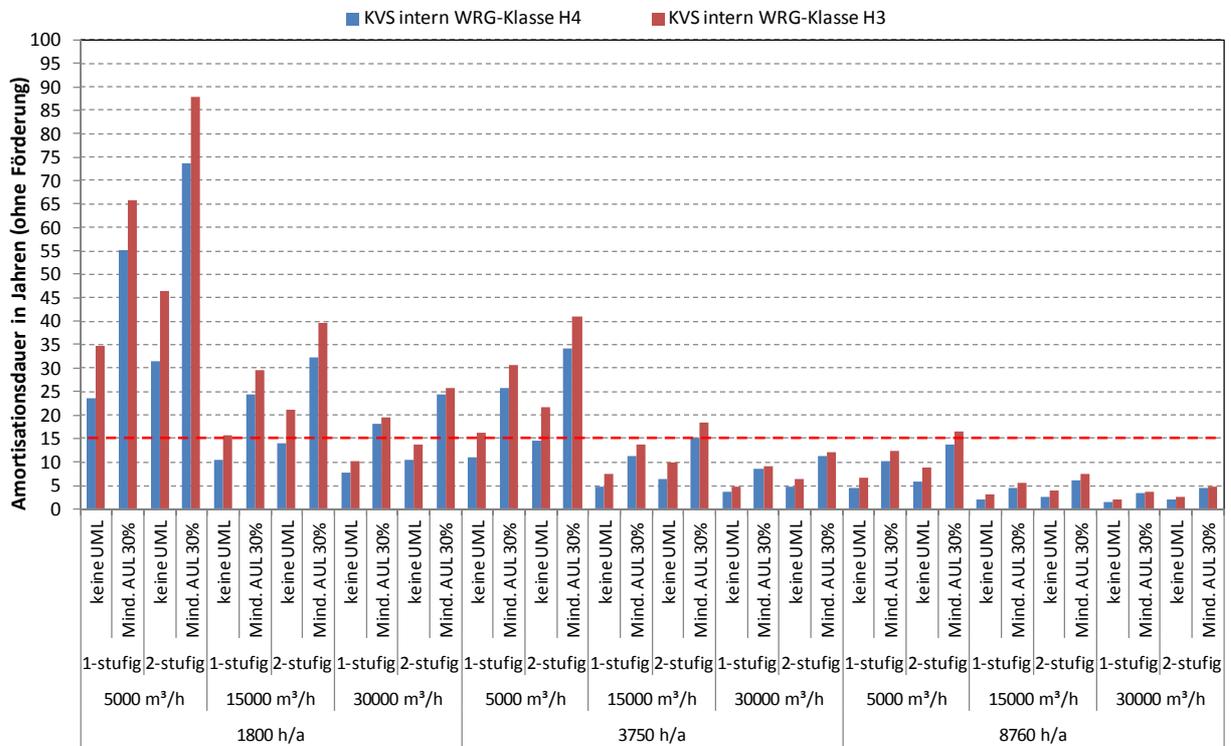


Abbildung 45: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung KV-System intern

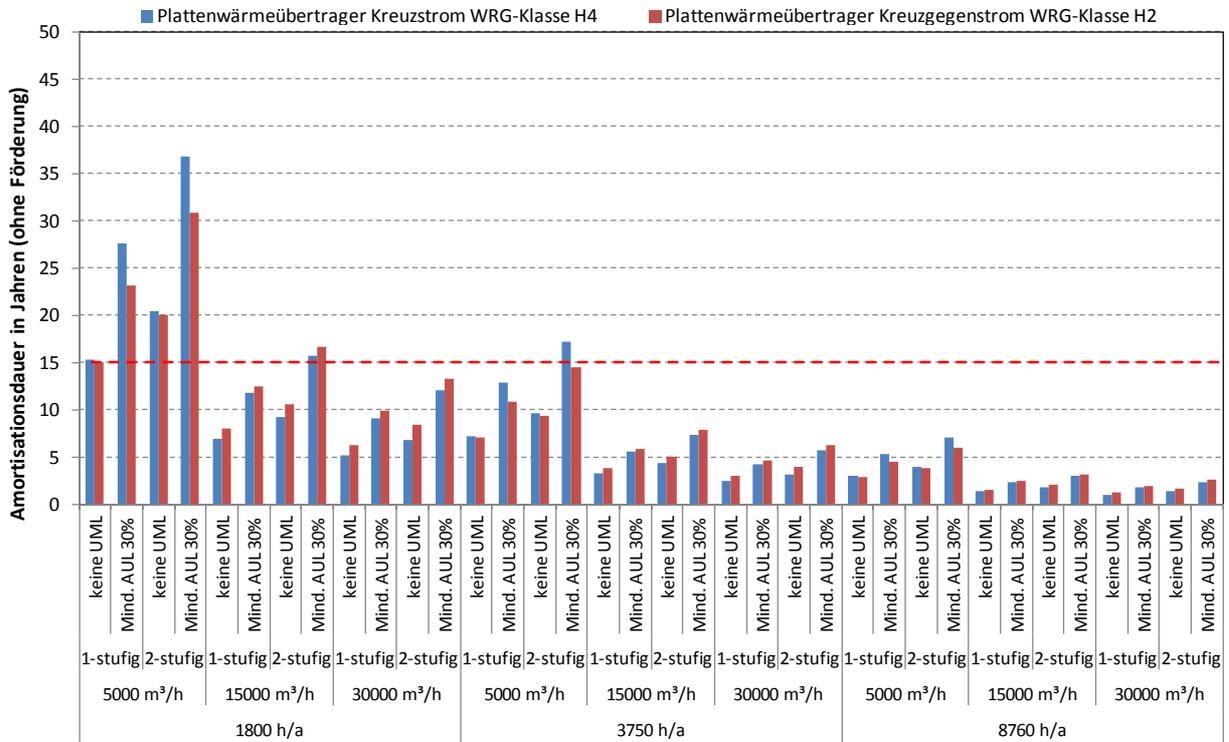


Abbildung 46: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung Plattenwärmeübertrager

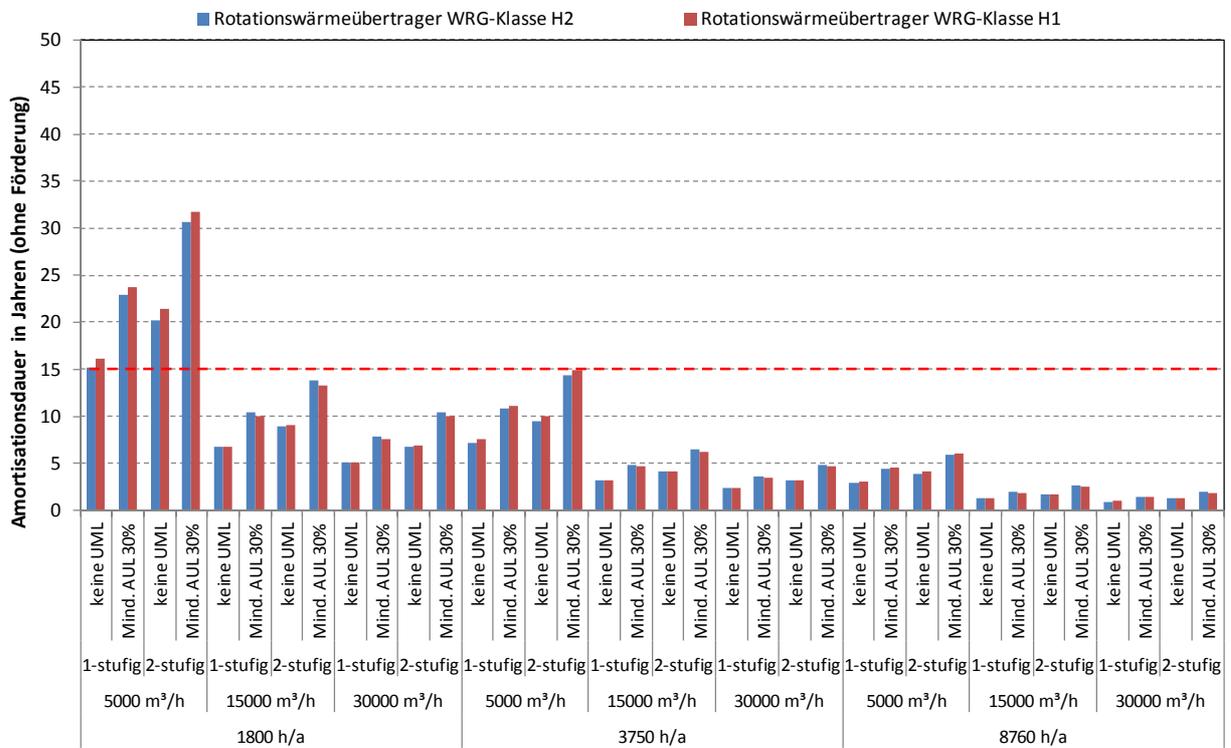


Abbildung 47: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung Rotationswärmeübertrager

Die Nachrüstung von Platten- oder Rotationswärmeübertragern ist aufgrund der geringeren spezifischen Investitionskosten und der höheren Einsparpotentiale insgesamt wirtschaftlicher als die Nachrüstung von KV-Systemen. Allerdings ist der benötigte Platzbedarf deutlich größer und wird in nur wenigen Fällen voll umfänglich zur Verfügung stehen.

Aus Sicht der erreichbaren WRG-Klassen ergibt sich kein wesentlicher Einfluss auf die Amortisationsdauer. Die höheren Investitionskosten energieeffizienterer Systeme werden in etwa durch die eingesparten Energiekosten kompensiert.

Insgesamt ist jedoch auch hier für keine der beiden Sanierungsvarianten eine generelle Wirtschaftlichkeit gegeben. Insbesondere kleine Baugrößen (5.000 m<sup>3</sup>/h) mit geringen Betriebszeiten (1800 h) sind nicht wirtschaftlich realisierbar. Problematisch ist, dass die Wirtschaftlichkeit stark von der Bauart (KVS, Platte, Rotor) abhängig ist und damit bei gleicher WRG-Klasse wirtschaftliche und unwirtschaftliche Lösungen existieren. Eine Sanierungsverpflichtung müsste daher an (möglichst einfach erkennbare) Randbedingungen und unter Umständen auch an die Bauart der Wärmerückgewinnung geknüpft sein. Einfach feststellbare Kriterien sind die Anlagenbaugröße und die Stufigkeit des Bestandsventilators. Die Betriebszeit ist bei gemischter Nutzung nicht zweifelsfrei feststellbar und die tatsächliche Effizienz der Umluftbeimischung müsste unter Umständen messtechnisch ermittelt werden.

- ➔ Eine Sanierungsverpflichtung zur Nachrüstung von Wärmerückgewinnungssystemen erscheint nicht zweckmäßig und aus Sicht des dafür erforderlichen Platzbedarfes praxisfremd. Insbesondere in Bestandsanlagen mit effizient geregelten Mischkammern ist aus energetischer Sicht oft keine wirtschaftliche Sanierung möglich.

Die Wirtschaftlichkeit der Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung ist insbesondere in Anlagen mit großen hygienischen Außenluftvolumenströmen im Einzelnachweis kritisch zu prüfen, wofür die hier dargestellten Berechnungsergebnisse orientierend verwendet werden können. Eine geringere Amortisationsdauer ist bei Berücksichtigung einer Energiepreissteigerung und einer geringen Restnutzungsdauer (Restwert) zu erwarten. Dabei muss aber sichergestellt sein, dass die berücksichtigte rechnerische Lebensdauer der erneuerten Komponente innerhalb der Restnutzungsdauer der Bestandsanlage liegt.

Die Förderbedingungen der BAFA im Programm „Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand“ nach einer WRG-Klasse sind mit der Sanierungslö-

sung „Nachrüstung Rotationswärmeübertrager“ zu erreichen. Diese hohen Anforderungen sind aufgrund des Platzbedarfes nur in wenigen Anlagensystemen realisierbar. Unter Berücksichtigung der Investitionszuschüsse auf die förderfähigen Kosten sinkt die Amortisationsdauer abhängig von der Sanierungslösung zwischen 15 % und 18 %. Gemäß Abbildung 48 wird trotz Förderung jedoch für keine Maßnahme eine generelle Wirtschaftlichkeit erreicht. Der Unterschied zwischen der WRG-Klasse H2 und H1 nimmt jedoch zu, was bei Erreichen der Förderkriterien für den Einsatz der höheren WRG-Klasse spricht.

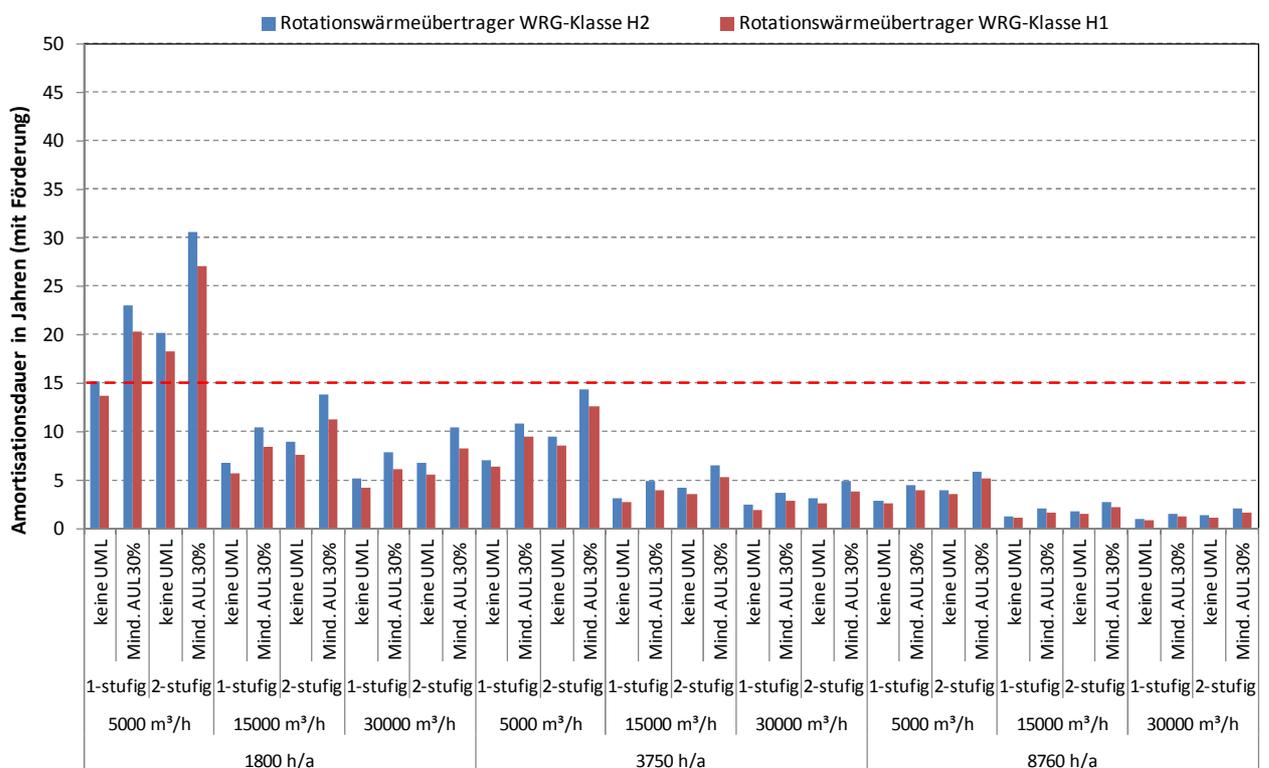


Abbildung 48: Amortisationsdauer für Variante: Nachrüstung Rotationswärmeübertrager (WRG-Klasse H1 mit BAFA-Förderung)

#### 2.2.2.4 Erneuerung Gesamtsystem

Durch die massiven baulichen Eingriffe beim Umbau des Luftfördersystems und die Nachrüstung einer Wärmerückgewinnungseinrichtung kann es insbesondere bei nicht korrekt ausgelegten Bestandsgeräten sinnvoller sein, das Bestandsgerät komplett auszutauschen und beide Teilmaßnahmen zu vereinen. In diesem Zusammenhang kann die Auslegung des neuen RLT-Gerätes gleichzeitig an die ggf. veränderte Bedarfssituation angepasst werden.

Als Basis für den Wirtschaftlichkeitsvergleich dient hier eine Teilklimaanlage mit den Luftbehandlungsfunktionen Heizen und Kühlen, die zudem eine (Umluft-)Mischkammer und einen 2-stufigen Ventilator besitzt. Dabei werden für das Bestandsgerät SFP-Werte von 2.500 W/(m<sup>3</sup>/s) zuluftseitig und von 1.800 W/(m<sup>3</sup>/s) abluftseitig zugrunde gelegt, die etwas oberhalb der ermittelten Marktmittelwerte liegen, den sanierungsbedürftigen Anlagenbestand jedoch besser charakterisieren, als der Marktmittelwert. Als Vergleichsvarianten werden wieder typische Bestandssituationen betrachtet, die sich neben den globalen Einflussgrößen Anlagengröße und Betriebszeit vor allem durch die Stufigkeit des Ventilators (ein- und zweistufig) und das Vorhandensein einer Umluft unterscheiden. Für die Umluftbeimischung wird eine auf 12°C temperaturregelte Mischkammer berücksichtigt, deren energetischer Einfluss nach DIN SPEC 15240 [1] bewertet werden kann.

Das Austauschgerät muss mindestens die Anforderungen der EnEV §15 erfüllen, wobei zum Einen aufgrund der baulich vorgegebenen Aufstellbedingungen ein identisches Gerät mit identischen Abmessungen und zum Anderen ein größeres RLT-Gerät eingesetzt werden kann. Das entspricht in etwa einer internen Strömungsgeschwindigkeit von 3 m/s für das baugleiche RLT-Gerät und 2 m/s für das vergrößerte RLT-Gerät, dessen Abmessungen damit immer noch an ein begrenztes bauliches Platzangebot gekoppelt sind. Parallel wird im Rahmen einer Parameterdiskussion das Potential einer evtl. möglichen Luftmengenreduzierung untersucht. Folgende Sanierungsmaßnahmen werden betrachtet:

1. Ersatz RLT-Gerät durch baugrößengleiches RLT-Gerät (3 m/s)
  - Nennluftvolumenstrom unverändert
  - Luftmengenreduzierung 10 %
  - Luftmengenreduzierung 25 %
  - Luftmengenreduzierung 40 %
2. Ersatz RLT-Gerät durch größeres RLT-Gerät (2 m/s)
  - Nennluftvolumenstrom unverändert
  - Luftmengenreduzierung 10 %
  - Luftmengenreduzierung 25 %
  - Luftmengenreduzierung 40 %

Für alle Sanierungslösungen wird in Anlehnung an VDI 2067-1 eine rechnerische Nutzungsdauer von 15 Jahren angenommen, was der Restlaufzeit einer 10 Jahre alten Bestandsanlage entspricht.

Zur Berücksichtigung des Restwertes wird die Berechnung wieder unter Beachtung einer Abminderung der Investitionskosten für die vorgezogene energetisch motivierte Sanierungsmaßnahme in Höhe von 40% (Restwert 60%) durchgeführt. Parallel findet die Berechnung ohne Abminderung der Investitionskosten (Restwert 100 %) statt.

Die komplette Erneuerung der RLT-Anlage ist nicht Fördergegenstand der BAFA-Richtlinie „Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand“, weshalb für diese Sanierungslösung keine Investitionskostenzuschüsse berücksichtigt werden können.

Bei den Investitionskosten für die Sanierungslösung werden neben den reinen Komponentenkosten auch Montageleistungen und die betriebsbedingt erforderlichen Anpassungen in der Regelungstechnik berücksichtigt. Die Detailbeschreibungen der Sanierungslösungen, die erreichbaren energetischen Potentiale (thermische Rückwärmzahlen, SFP-Werte), die Investitionskostenübersichten und die detaillierten Berechnungsergebnisse für die einzelnen Maßnahmen enthält Anhang 5.

Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen die berechneten Amortisationsdauern für die betrachteten Sanierungslösungen kumulativ.

Erwartungsgemäß liegt die Amortisationsdauer bei den RLT-Geräten mit unveränderlichen Abmessungen über denen mit veränderbarer Baugröße. Das Potential einer Volumenstromanpassung an den veränderten Bedarf ist bei allen Varianten nachweisbar und führt zu einer deutlichen Reduzierung der Amortisationszeiten.

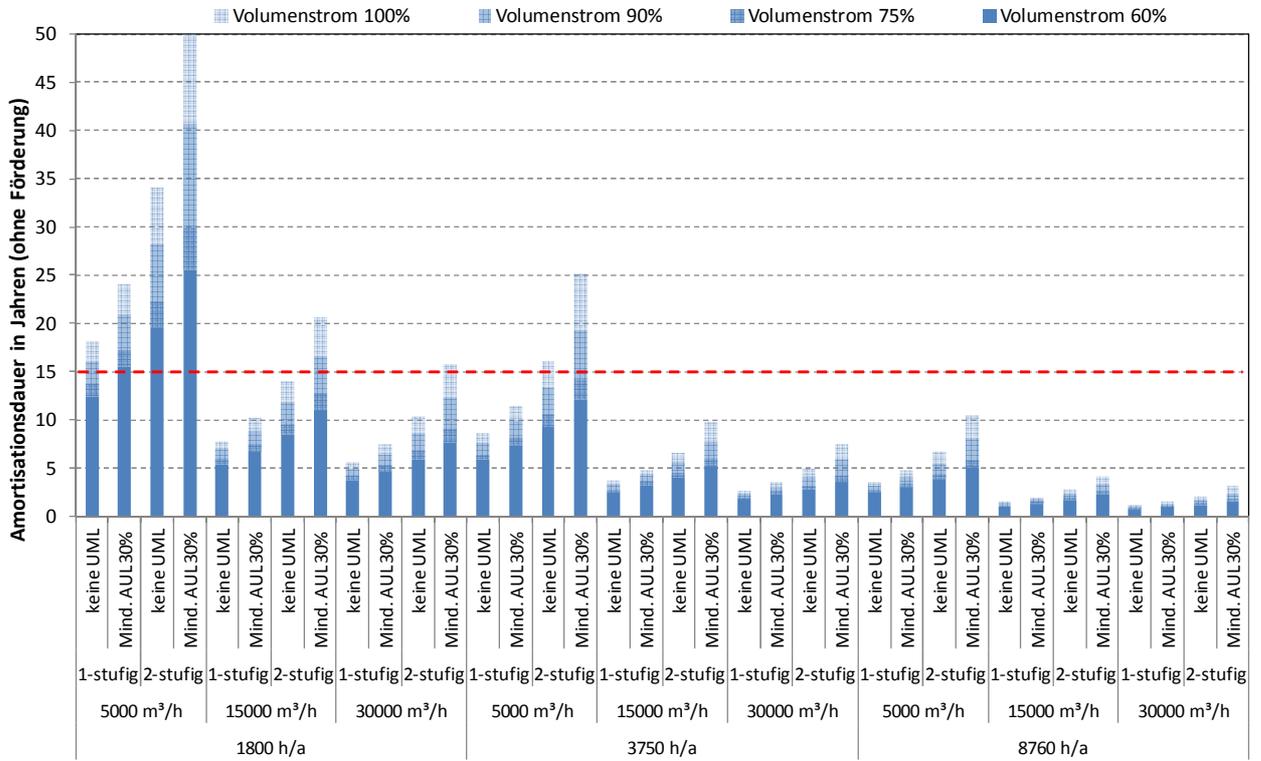


Abbildung 49: Amortisationsdauer für Variante: Austausch RLT-Gerät (Abmessung wie Bestand)

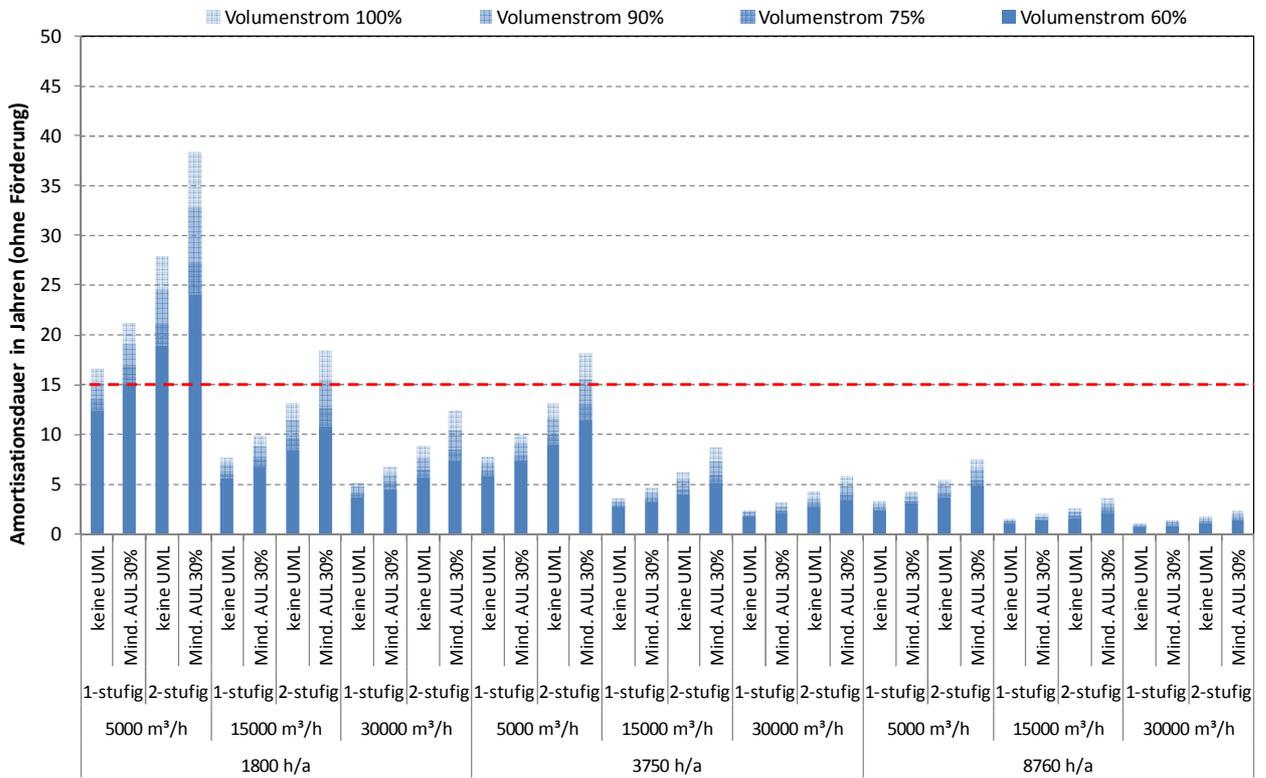


Abbildung 50: Amortisationsdauer für Variante: Austausch RLT-Gerät (Abmessung veränderbar)

Trotz Restwertbetrachtung ist jedoch für keine der beiden Sanierungslösungen eine generelle Wirtschaftlichkeit gegeben. Insbesondere kleine Baugrößen (5.000 m<sup>3</sup>/h) mit geringen Betriebszeiten (1800 h) sind nicht wirtschaftlich realisierbar. Für einstufige RLT-Anlagen mit einem Volumenstrom von mindestens 15.000 m<sup>3</sup>/h ist eine Sanierung auch mit einem baugrößengleichen RLT-Gerät hingegen immer wirtschaftlich darstellbar. Eine Sanierungsverpflichtung müsste daher an (möglichst einfach erkennbare) Randbedingungen geknüpft sein.

- ➔ Es könnte eine Sanierungsverpflichtung zur Anlagenerneuerung für einstufige RLT-Anlagen mit einem Volumenstrom von mindestens 15.000 m<sup>3</sup>/h festgelegt werden, wenn die Sanierungslösung die Effizienzanforderungen nach EnEV §15 einhält und die Bestandsanlage mindestens eine 10-jährige Nutzungsdauer aufweist.

Für alle anderen Bestandssituationen ist ein Einzelnachweis der Wirtschaftlichkeit notwendig, wofür die hier dargestellten Berechnungsergebnisse orientierend verwendet werden können. Eine geringere Amortisationsdauer ist bei Berücksichtigung einer Energiepreissteigerung oder einer geringen Restnutzungsdauer (Restwert) zu erwarten.

### 3. Ableitung von praxisgerechten Inspektionsmethoden und Verbesserung der verfügbaren Inspektionswerkzeuge

#### 3.1 Standortbasierte Bewertung von RLT- und Kältesystemen

##### 3.1.1 Allgemeines

Die Effizienzbewertung von Bestandsanlagen nach den Regeln der Technik (DIN V 18599) erfolgt anhand von energetischen Teilkennwerten, die auf mittleren statistischen Klimadaten für Deutschland beruhen. Eine standortspezifische Betrachtungsweise ist derzeit nicht möglich. In vielen Fällen (insbesondere bei stark von den mittleren Klimadaten abweichenden Anwendungsgebieten z.B. Gebirgslagen, innerstädtischem Mikroklima) ist es jedoch wichtig, die standortspezifischen Einflüsse bei der Effizienzbewertung berücksichtigen zu können. Die berechneten Ergebnisse sind ansonsten oft praxisfremd und korrelieren nicht mit den erfassten Verbrauchswerten.

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes werden die verwendeten Defaultwerte für andere Klimaregionen umgerechnet bzw. entsprechende Korrekturfaktoren für abweichende mikroklimatische Bedingungen ermittelt. In die Betrachtung werden dabei auch europäische Standorte einbezogen.

##### 3.1.2 Wetterdaten

Seit 2011 existieren neue vom Deutschen Wetterdienst veröffentlichte Testreferenzjahr-Wetterdatensätze [45] (TRY = „Test Reference Year“), die alle für Energiebedarfsberechnungen relevanten Zustandsgrößen im Jahrgang mit einer Zeitschrittweite von 1 Stunde enthalten. Aufgrund der mit geographischen Besonderheiten verbundenen lokalen Witterungsbedingungen sind diese innerhalb Deutschlands in verschiedene 15 Klimazonen mit entsprechenden Repräsentanzstationen eingeteilt. Im Rahmen der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 (Normenfassung 2011) wird zukünftig das Testreferenzjahr (DWD-Ausgabe 2011) Zone 04 mit der Repräsentanzstation Potsdam als einheitliches Witterungskriterium festgelegt. Das hat den Vorteil, dass der Witterungseinfluss in der Anlagenbewertung ausgeblendet wird. Es hat aber auch den Nachteil, dass unterschiedliche Standorte nicht bewertet werden können und u.U. Sanierungsempfehlungen auf Basis nicht exakt zutreffender Witterungsrandbedingungen falsch eingeschätzt werden. Alle nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausnahmslos auf die TRY-Version 2011 des Deutschen Wetterdienstes [45].

Aus Sicht der RLT-Technik sind die Außenlufttemperatur und der Außenluftwassergehalt entscheidende Einflussgrößen auf den Nutzenergiebedarf für Heizung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung. Für

die Kältetechnik kommt die Strahlung als indirekter Parameter hinzu, der den Lastverlauf und damit die Nennleistung und die Teillastanforderungen des Kälteerzeugers zusätzlich mit beeinflusst.

Tabelle 23 und Abbildung 51 zeigen die mittleren monatlichen Temperaturen für die 15 Testreferenzjahrenzonen.

Tabelle 23: Mittlere monatliche Außenlufttemperatur für die Repräsentanzstationen der Zonen TRY 01 bis TRY 15

Region	Referenzort	Mittlere monatliche Außenlufttemperatur $\vartheta_e$ [°C]												Jahreswert [°C] Jan bis Dez
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1	Bremerhaven	2.9	3.2	5.4	9.0	13.1	16.0	17.9	18.2	15.0	10.6	6.1	3.2	10.1
2	Rostock	2.3	2.4	4.3	8.0	12.4	15.6	18.0	18.0	14.7	10.2	5.5	2.6	9.5
3	Hamburg	2.5	2.7	4.9	8.5	12.8	15.5	17.8	17.8	14.1	9.8	5.1	2.3	9.5
<b>4</b>	<b>Potsdam</b>	<b>1.0</b>	<b>1.9</b>	<b>4.7</b>	<b>9.2</b>	<b>14.1</b>	<b>16.7</b>	<b>19.0</b>	<b>18.6</b>	<b>14.3</b>	<b>9.5</b>	<b>4.1</b>	<b>0.9</b>	<b>9.5</b>
5	Essen	3.1	3.5	6.6	9.5	13.7	15.9	18.2	18.2	14.6	10.8	6.1	3.5	10.4
6	Marienberg	0.1	0.5	3.6	7.0	11.5	14.0	16.1	16.0	12.3	8.1	3.2	0.6	7.8
7	Kassel	1.0	2.1	5.2	8.8	13.3	15.9	18.1	17.8	13.7	9.5	4.5	1.7	9.3
8	Braunlage	-0.8	-0.3	2.1	5.7	10.5	12.9	15.0	15.0	11.1	7.1	2.3	-0.2	6.7
9	Chemnitz	0.5	1.0	3.9	8.2	12.9	15.5	17.5	17.6	13.2	9.2	3.8	0.8	8.7
10	Hof	-1.2	-0.4	2.8	6.6	11.7	14.5	16.3	16.6	12.0	7.6	2.3	-0.7	7.4
11	Fichtelberg	-3.3	-3.5	-1.3	2.3	7.4	9.8	12.2	12.4	8.1	4.4	-0.6	-2.8	3.8
12	Mannheim	2.4	3.6	7.1	10.6	15.6	18.1	20.1	20.2	15.7	11.0	5.7	3.1	11.1
13	Passau	-1.2	0.4	4.3	8.2	13.7	16.4	18	17.8	13.1	8.7	3	-0.2	8.6
14	Stötten	-0.5	0.3	3.4	6.8	11.8	14.4	16.6	16.7	12.3	8.5	2.6	-0.2	7.8
15	Garmisch	-2.3	-0.5	3.2	7.0	11.8	14.8	16.6	16.4	12.3	8.4	1.9	-1.8	7.4

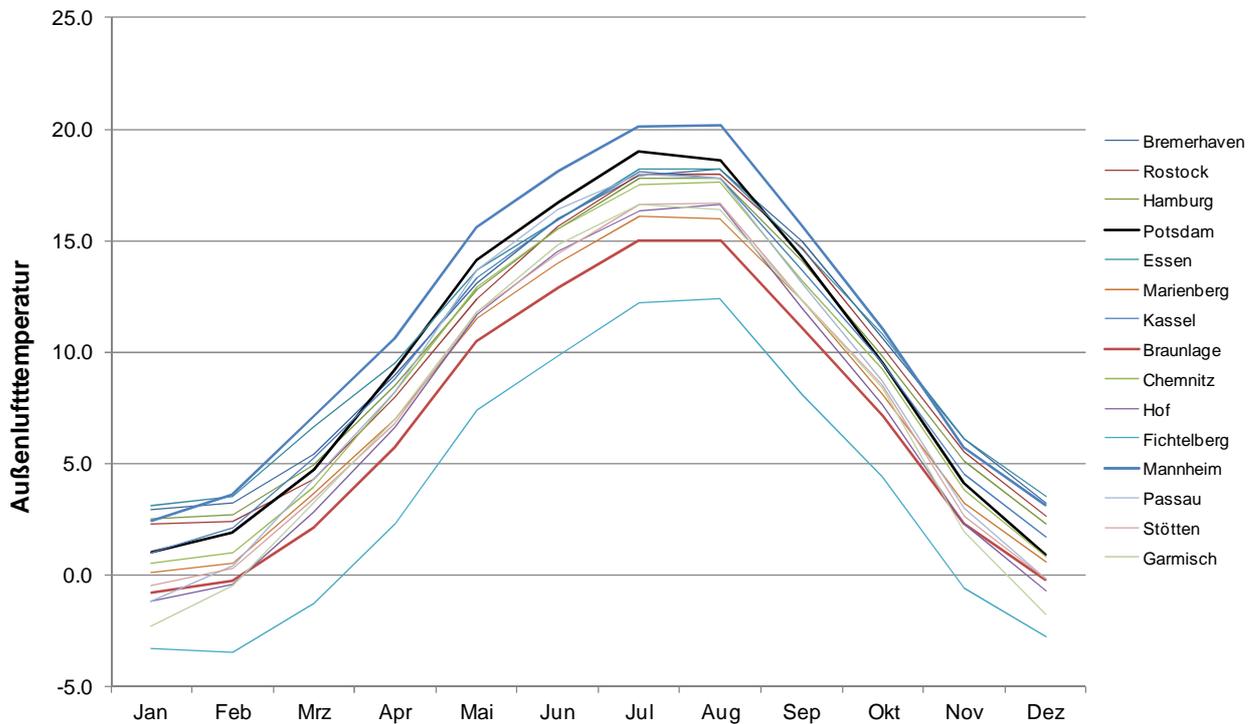


Abbildung 51: Mittlere monatliche Außenlufttemperatur für die Repräsentanzstationen der Zonen TRY 01 bis TRY 15

Eine analoge Darstellung der Monatsmittelwerte des Wasserdampfgehaltes und der Solarstrahlung enthält Anhang 6.

Zur Beurteilung des Witterungseinflusses auf die energetischen Kennwerte sollen zunächst die extremen Witterungsbedingungen in Form einer Grenzwertbetrachtung untersucht werden, um generelle Tendenzen und Größenordnungen ableiten zu können. Testreferenzjahr 11 (Fichtelberg) stellt dabei in jeder Hinsicht einen Extremfall dar. Aufgrund der geringen Verbreitungsfläche und der geringen Besiedelung der zur TRY 11 gehörenden Gebiete wird dieses TRY jedoch nicht für die Grenzwertbetrachtung herangezogen. Stattdessen wird für die „kühle Witterung“ das TRY 08 (Braunlage) und für die „warme Witterung“ das TRY 12 (Mannheim) herangezogen.

### 3.1.3 Auswirkungen auf den Nutzenergiebedarf RLT

Entsprechend den geänderten Witterungsbedingungen verändern sich die Bedarfswerte für Wärme, Kälte und Dampf. Abbildung 52 zeigt exemplarisch den Nutzkühlenergiebedarf für den Basisfall ohne indirekte Verdunstungskühlung. Gegenüber dem Referenzwert nach TRY 04 (Potsdam) steigen bei TRY 08 (Mannheim) alle Werte um bis zu einem Drittel an, bei TRY12 (Braunlage) sin-

ken sie deutlich um bis zu zwei Drittel. Der Heizenergiebedarf hingegen verhält sich genau umgekehrt.

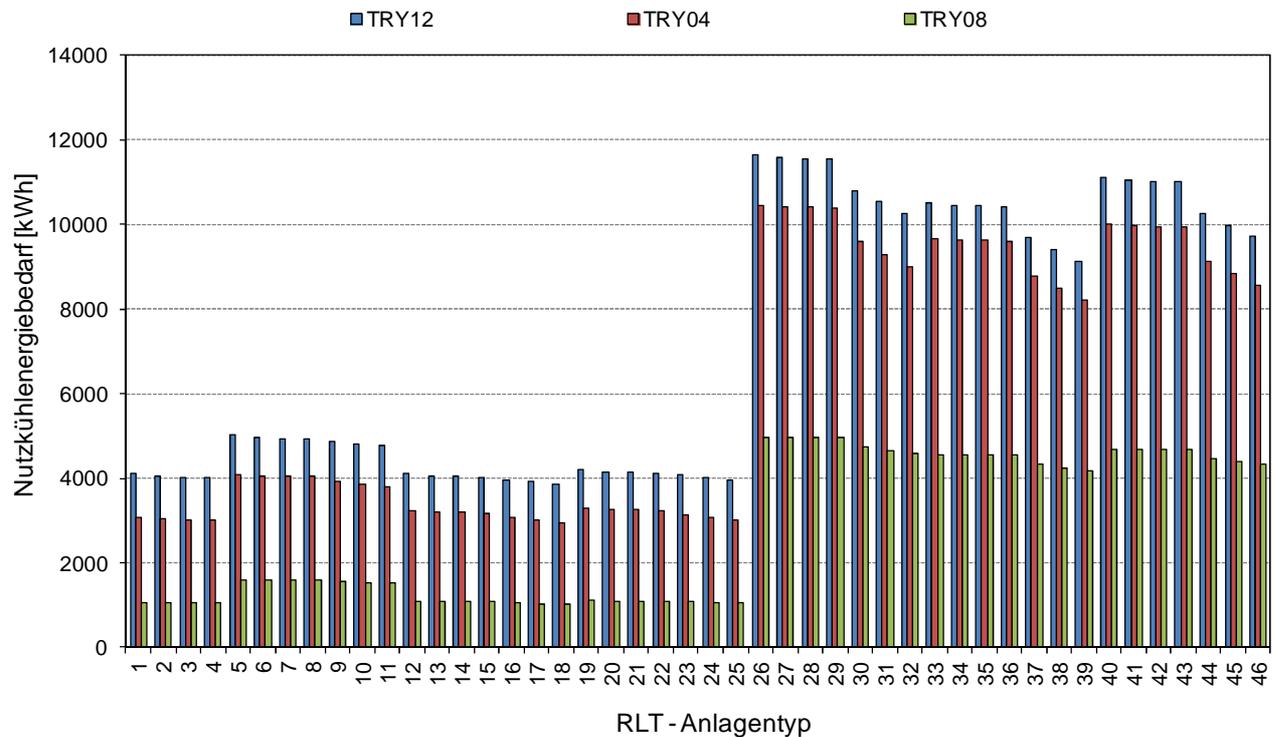


Abbildung 52: Vergleich RLT-Kühlenergiebedarf 24h-Betrieb TRY04 - TRY08 - TRY12 (Basisfall)

### 3.1.4 Auswirkungen auf den Teilkennwert Raumluftechnik

Gemäß DIN SPEC 15240 [1] kann ein Teilkennwert der Raumluftechnik  $E_{RLT}$  berechnet werden, der eine gemeinsame Bilanzierung aller Nutzenergieanteile Wärme, Dampf und Kälte erlaubt und darüber hinaus auch die Hilfsenergien für Luftförderung und Nebenantriebe berücksichtigt. Dieser Teilkennwert bietet damit die Möglichkeit, alle einzelnen Einflüsse der Wetterdatenänderung gesamtheitlich für die RLT-Anlage abzubilden.

Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse exemplarischer Kennwertberechnungen, bei der vom Standardfall eines konstanten Luftvolumenstromes ausgegangen wird. Der Endenergiebedarf der Luftförderung ist daher bei beiden Varianten identisch. Der Berechnung liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- Kennwert  $p_{SFP}$ : entsprechend Referenz EnEV 2009; Betriebszeit 365 d/a; 12 h/d
- Primärenergiefaktor nach EnEV 2009:  $f_s = 2,6$

- Nennleistungszahl EER Kälte: 2.70 (luftgekühlt, Kolben-/Scrollverdichter, Kaltwasser 6 °C)
- Teillastfaktor  $PLV_{AV}$  Kälte: gemäß DIN V 18599-7 Anhang A
- Endenergie-Aufwandszahl Wärme: 1,23 (PWW-Heizung 70 / 50 °C) und Dampf: 1,45 (Fremddampf, Nah- und Fernwärme)

Tabelle 24: Auswirkungen der TRY-Änderung auf den Teilkennwert  $E_{RLT}$ 

Var.	Bezeichnung		Nutzenergie			Teillastfaktor	Endenergie	Primärenergie
			Wärme	Dampf	Kälte	$PLV_{av}$	Transport (Referenz EnEV 2009)	Teilkennwert $E_{RLT}$
			[Wh/(m³/h)]	[Wh/(m³/h)]	[Wh/(m³/h)]	[-]	[Wh/(m³/h)]	[Wh/(m³/h)]
1	Teilklimaanlage ohne Be- und Entfeuchtung, ohne WRG, $\vartheta_{V,mech} = 18 \text{ °C}$	TRY 08	13.504	-	826	1,39	3.042	26.713
		Abw.	31%	0%	-65%	9,1%	0%	13%
		TRY 04	10.289	-	2.362	1,27	3.042	23.589
		TRY 12	8.360	-	2.882	1,25	3.042	21.413
		Abw.	-19%	0%	22%	-1,5%	0%	-9%
3	Teilklimaanlage ohne Be- und Entfeuchtung, WRG 60%, $\vartheta_{V,mech} = 18 \text{ °C}$	TRY 08	1.607	-	824	1,38	3.042	10.651
		Abw.	40%	0%	-64%	8,1%	0%	-5%
		TRY 04	1.146	-	2.315	1,28	3.042	11.197
		TRY 12	718	-	2.791	1,26	3.042	11.011
		Abw.	-37%	0%	21%	-1,6%	0%	-2%
3	Teilklimaanlage ohne Be- und Entfeuchtung, WRG 60%, $\vartheta_{V,mech} = 18 \text{ °C}$ ; indirekte Verdunstungskühlung	TRY 08	1.607	-	474	1,38	3.042	10.408
		Abw.	40%	0%	-66%	8,1%	0%	-1%
		TRY 04	1.146	-	1.388	1,28	3.042	10.500
		TRY 12	718	-	1.552	1,26	3.042	10.064
		Abw.	-37%	0%	12%	-1,6%	0%	-4%
21	Vollklimaanlage Dampfbefeuchter, mit Sollwert-Toleranz , trockene WRG 60%, $\vartheta_{V,mech} = 18 \text{ °C}$	TRY 08	1.410	4.575	867	1,38	3.042	18.014
		Abw.	38%	15%	-65%	8,1%	0%	1%
		TRY 04	1.025	3.992	2.448	1,28	3.042	17.764
		TRY 12	624	3.616	2.902	1,26	3.042	16.976
		Abw.	-39%	-9%	19%	-1,6%	0%	-4%
42	Vollklimaanlage Dampfbefeuchter, ohne Sollwert-Toleranz , trockene WRG 60%, $\vartheta_{V,mech} = 18 \text{ °C}$	TRY 08	2.689	10.024	2.969	1,40	3.042	30.225
		Abw.	-10%	12%	-51%	8,0%	0%	-3%
		TRY 04	2.975	8.911	6.099	1,30	3.042	31.244
		TRY 12	2.773	8.257	6.580	1,29	3.042	30.295
		Abw.	-7%	-7%	8%	-1,1%	0%	-3%

Anhand der Berechnungsergebnisse kann man folgendes erkennen:

- Die Unterschiede in den Teilergebnissen Wärme / Kälte variieren sehr viel stärker als bei den Kältekennwerten.
- Im primärenergetischen RLT-Kennwert heben sich diese Effekte auf, insbesondere wenn eine Wärmerückgewinnung vorhanden ist.
- Wenn man Anreize für energieeffiziente Technologien setzen will, ist der Gesamtkennwert nicht aussagekräftig genug. In TRY 12 würde effizientes Kühlen sinnvoll sein, in TRY 08 wären dann eher Technologien zu bevorzugen, die den Heizbedarf senken.

### 3.1.5 Verfahren zur Berücksichtigung der Standortabhängigkeit

Um den Einfluss der lokalen Klimadaten zu quantifizieren, wurden die Testreferenzjahrdaten (TRY = „Test Reference Year“) der 15 Klimaregionen einer statistischen Auswertung unterzogen. Wegen des Einflusses der Luftfeuchten war es notwendig, Enthalpiestunden zu ermitteln anstatt, wie bei der Raumheizung üblich, Gradstunden. Die Enthalpiestunden wurden für die folgenden Fälle aus den stündlichen Wetterdaten ermittelt:

- Heiz-Enthalpiestunden, bezogen auf eine Heizgrenztemperatur, die wiederum von der Effizienz der Wärmerückgewinnung abhängig ist
- Befeuchtungs-Enthalpiestunden, bezogen auf einen Zuluftfeuchte-Sollwert von 6 g/kg analog zur DIN V 18599 - 3. Zugrunde gelegt wurden die Differenz des Wasserdampfgehaltes und die Verdampfungsenthalpie von Wasser.
- Kühl-Enthalpiestunden, die sich aus dem Fall „trockene Kühlung“ ( $x < 11$  g/kg) und „nasse Kühlung“ ( $x > 11$  g/kg) zusammensetzen.
- Für den Sonderfall „Feuchteanforderung ohne Toleranz“ nach DIN V 18599 - 3 werden die Entfeuchtungsenthalpien benötigt.

Die Rechenvorschriften für die Enthalpiestunden lauten:

$$Eh_{12_x} = \sum_{z=1}^{8760} (12 \text{ °C} - \theta_{\text{ext},z}) c_{p,l} \quad (1)$$

$$Eh_{18_x} = \sum_{z=1}^{8760} (18 \text{ °C} - \theta_{\text{ext},z}) c_{p,l} \quad (2)$$

$$E_{hu_x} = \sum_{z=1}^{8760} (6 \text{ g/kg} - x_{\text{ext},z}) r_0 \quad (3)$$

$$E_{c_x} = \sum_{z=1}^{8760} \begin{cases} x_{\text{ext},z} \leq 11 \text{ g/kg}: (\theta_{\text{ext},z} - 16 \text{ °C}) c_{p,l} \\ x_{\text{ext},z} > 11 \text{ g/kg}: (h_{\text{ext},z} - 41,4 \text{ kJ/kg}) \end{cases} \quad (4)$$

$$E_{c_x} = \sum_{z=1}^{8760} (x_{\text{ext},z} - 11 \text{ g/kg}) r_0 \quad (5)$$

wobei grundsätzlich in allen Summen nur Summanden  $> 0$  zu berücksichtigen sind.

Abbildung 53 zeigt die Feldeinteilung und die Grenzen für die Bestimmung der Enthalpiestunden.

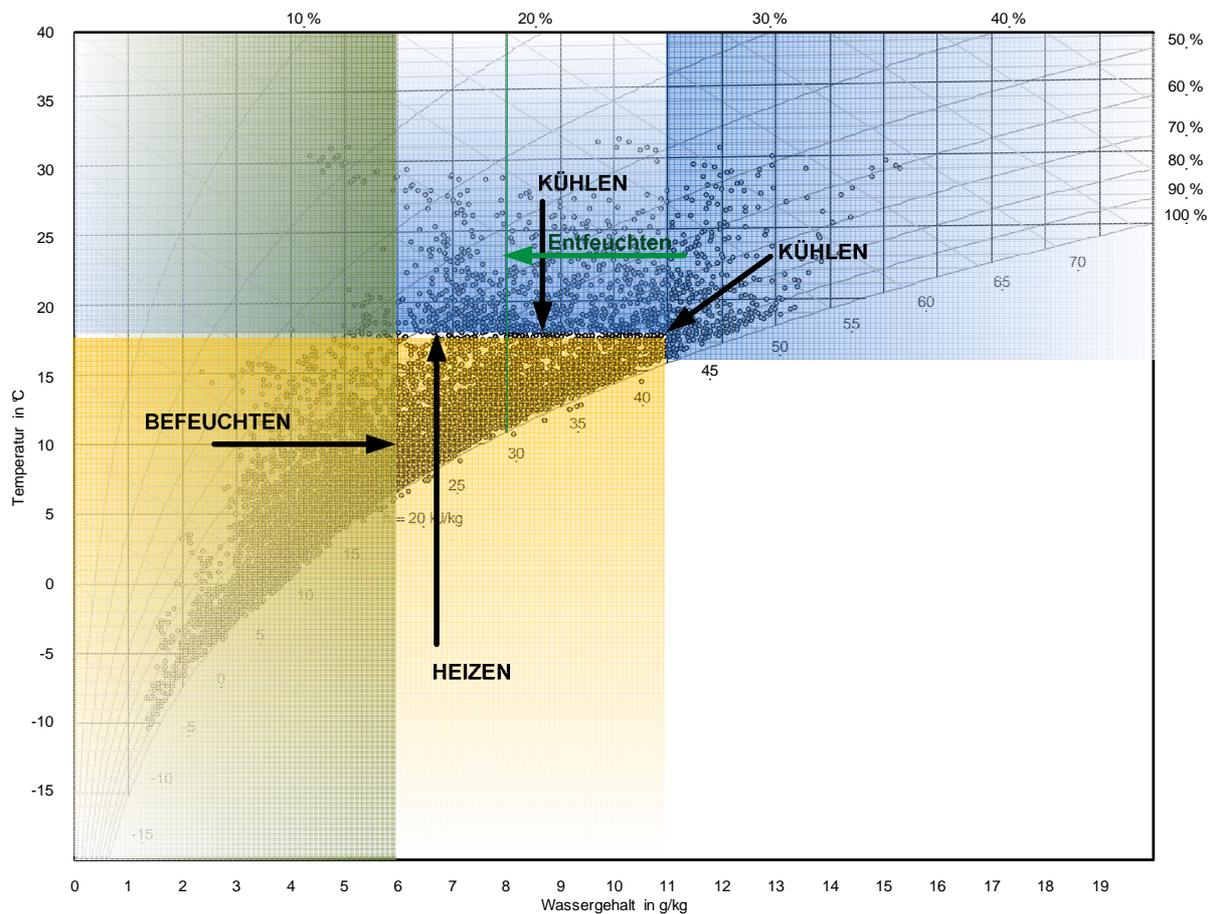


Abbildung 53: Feldeinteilung im h,x-Diagramm zur Ermittlung von Enthalpiestunden

Bei den Heiz-Enthalpiestunden besteht die Besonderheit, dass die Heizgrenztemperaturen durch die Effizienz der Wärmerückgewinnungssysteme beeinflusst werden und daher sehr starken Unterschieden unterstehen.

Der Zusammenhang ist durch die Gleichung (6) gegeben:

$$\vartheta_{\text{grenz}} = \frac{\vartheta_{\text{ZUL}} - \Phi_{\text{WRG}} \vartheta_{\text{ABL}}}{1 - \Phi_{\text{WRG}}} \quad (6)$$

Bei Ansatz der Standard-Werte (Zulufttemperatur 18 °C / Ablufttemperatur 22 °C) ergeben sich folgende Heizgrenztemperaturen.

Tabelle 25: Heizgrenztemperatur für Luftherhitzer in Abhängigkeit der Rückwärmzahl

Rückwärmzahl	$\vartheta_{\text{grenz RT}}$
0,45	14,7
0,50	14,0
0,55	13,1
0,60	12,0
0,65	10,6
0,70	8,7
0,75	6,0

Die Gegenüberstellung der unterschiedlich ausgewerteten Heiz-Enthalpiestunden lässt folgende Aussagen zu.

- Grundsätzlich wird die richtige Tendenz für den jeweiligen Standort von allen Heiz-Enthalpiestunden richtig wiedergegeben.
- Je niedriger die Heizgrenz-Temperatur, desto größer sind die relativen Abweichungen der Enthalpiestunden. Im Näherungsverfahren führt dies zu einer stärkeren Wichtung der Standortunterschiede.

Daher wird im weiteren Verfahren davon ausgegangen, dass

- für alle Anlagen ohne Wärmerückgewinnung eine Heizgrenze von 18 °C bei der Bestimmung der Enthalpiestunden anzusetzen ist,
- für alle Anlagen mit Wärmerückgewinnung die Heizgrenze mit 12 °C definiert wird.

Beim Vergleich der standortabhängigen Heizkennwerte kann man erkennen, dass die Referenzklimaregion Potsdam den mittleren Wert für die Bundesrepublik Deutschland im Heizfall dann gut repräsentiert, wenn Sonderfälle wie die Mittelgebirgslagen nicht betrachtet werden.

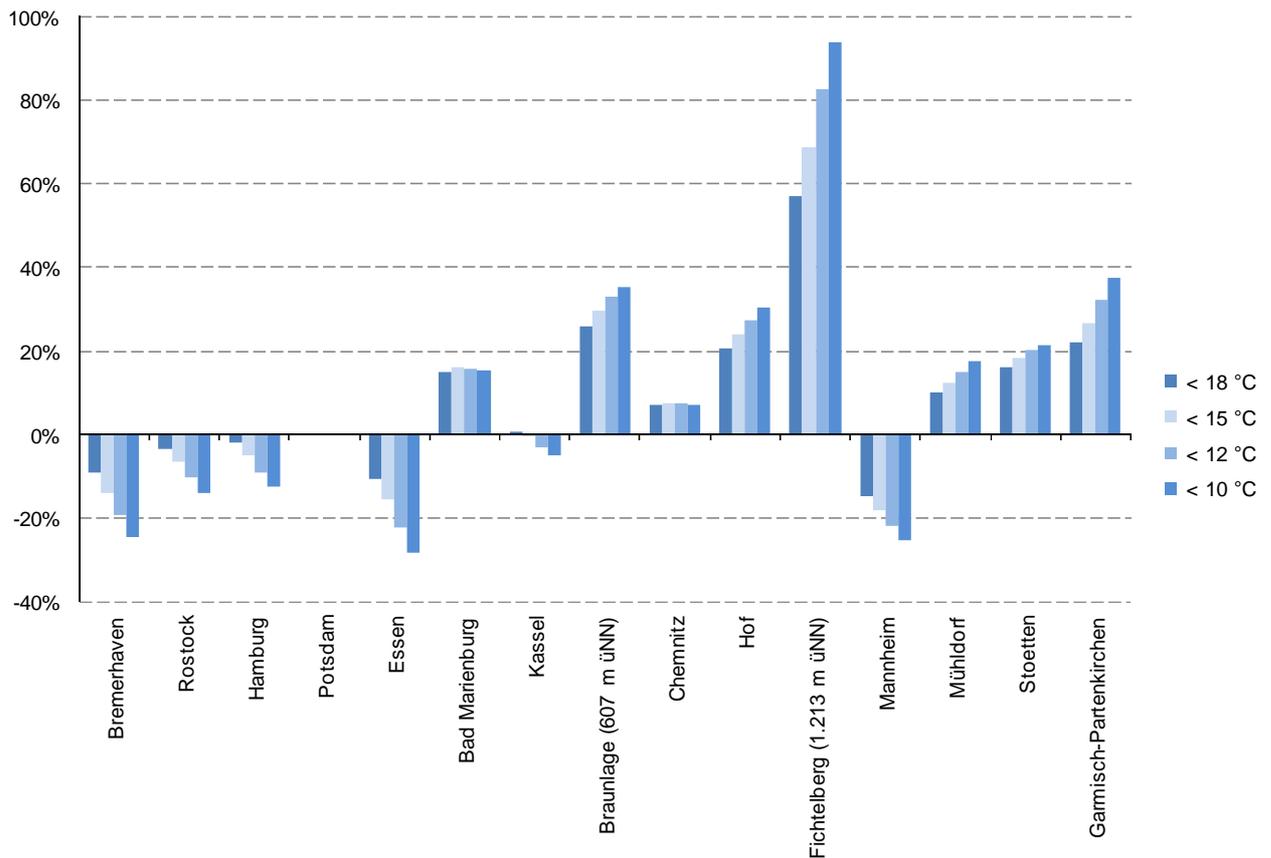


Abbildung 54: Relative Abweichung der Heiz-Enthalpiestunden in Abhängigkeit der TRY-Zone (Referenzstation)

Bei den Kühl-Enthalpiestunden führt die Anwendung der TRY-Daten für die Zone 04 (Station Potsdam bzw. Referenzklima für die Bundesrepublik Deutschland) zum zweithöchsten Energiebedarf nach der Klimazone 12 (Station Mannheim), siehe Abbildung 56. Hier repräsentiert die Referenzstation Potsdam nicht den bundesdeutschen Mittelwert.

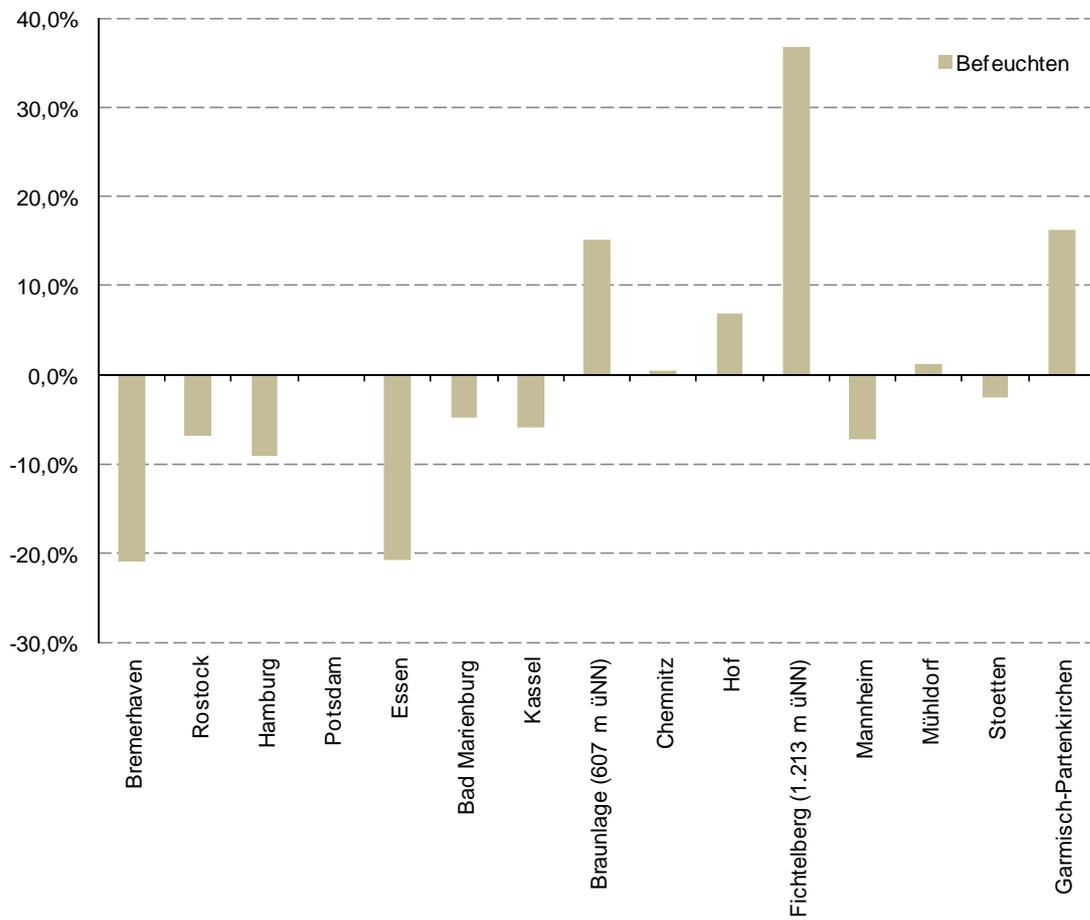


Abbildung 55: Relative Abweichung der Befeuchtungs-Enthalpiestunden zwischen den Klimazonen (Referenzstationen)

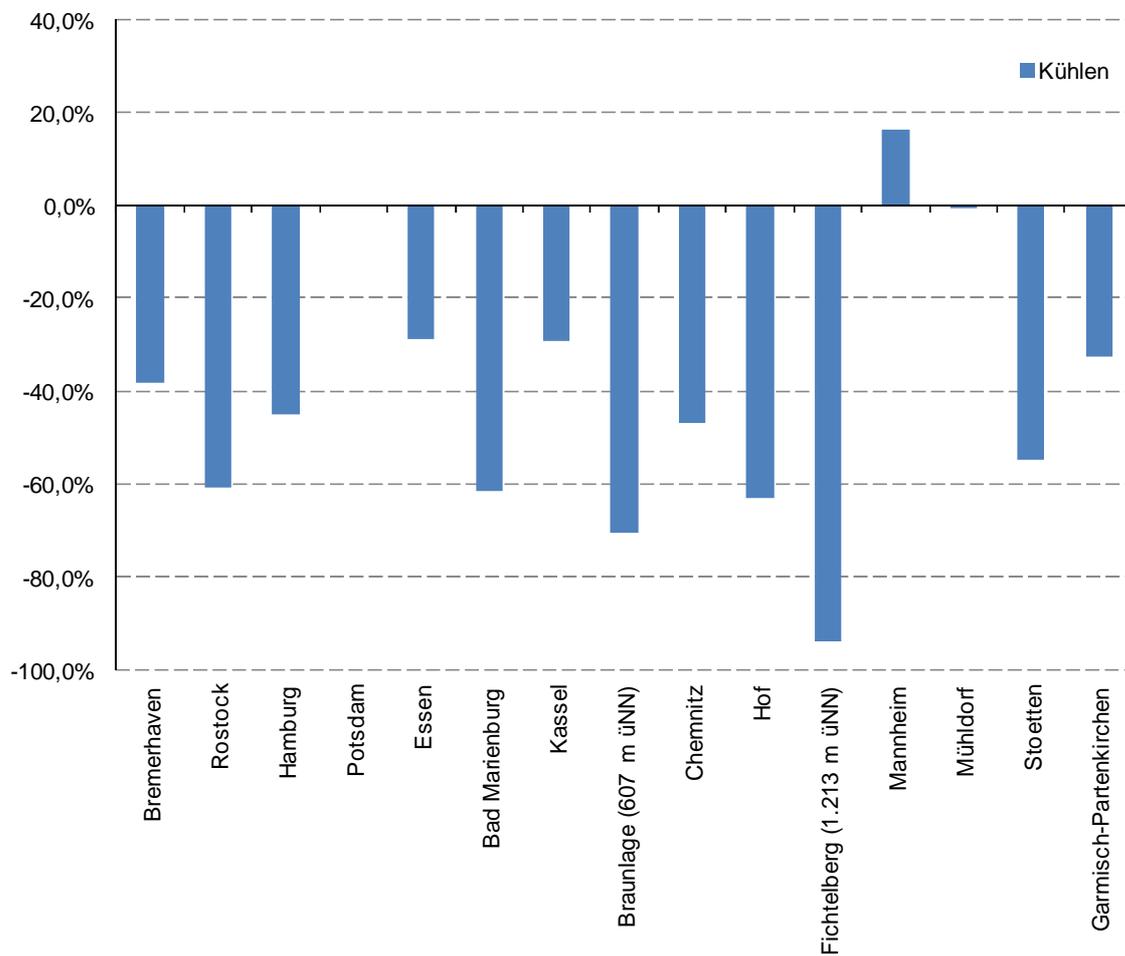


Abbildung 56: Relative Abweichung der Kühl-Enthalpiestunden zwischen den Klimazonen (Referenzstationen)

Tabelle 26: Auswertung der Enthalpiestunden für die 15 Testreferenzjahrenzonen

TRY-Zone	Referenzstation	Heiz-Enthalpiestunden			Befeuchtung- Enthalpiestunden	Kühl- Enthalpiestunden	Entfeuchtung- Enthalpiestunden
		< 18 °C	< 15 °C	< 12 °C			
		[kJ h/kg]	[kJ h/kg]	[kJ h/kg]			
TRY 01	Bremerhaven	72.963	51.216	33.471	18.050	5.948	10.785
TRY 02	Rostock	77.482	55.574	37.287	21.277	3.789	7.431
TRY 03	Hamburg	78.642	56.467	37.654	20.755	5.280	7.561
TRY 04	Potsdam	80.298	59.506	41.502	22.832	9.641	11.748
TRY 05	Essen	71.705	50.291	32.229	18.115	6.843	10.215
TRY 06	Bad Marienburg	92.435	69.052	48.060	21.726	3.709	7.564
TRY 07	Kassel	80.960	59.172	40.212	21.485	6.821	9.005
TRY 08	Braunlage (607 m üNN)	101.185	77.196	55.239	26.307	2.844	5.933
TRY 09	Chemnitz	85.916	63.928	44.544	22.962	5.105	6.862
TRY 10	Hof	96.748	73.793	52.820	24.399	3.566	6.356
TRY 11	Fichtelberg (1.213 m üNN)	125.994	100.463	75.826	31.201	604	3.305
TRY 12	Mannheim	68.479	48.828	32.369	21.173	11.205	10.855
TRY 13	Mühdorf	88.384	66.783	47.660	23.123	9.568	12.087
TRY 14	Stoetten	93.191	70.502	49.863	22.250	4.337	7.530
TRY 15	Garmisch-Partenkirchen	97.999	75.345	54.874	26.559	6.507	9.521

Im folgenden Schritt wurde untersucht, ob die Standortbereinigung mit Hilfe der lokalen Enthalpiestunden zu einer akzeptablen Korrelation mit den unterschiedlichen Simulationsergebnissen führt.

Voruntersuchungen zeigten, dass ein komplexerer Algorithmus notwendig wird, wenn die Luftentfeuchtung den Nachheizbedarf nicht dominiert.

In allen anderen Fällen besteht ein annähernd linearer Zusammenhang, der eine sehr gute standortbezogene Bereinigung der Energiekennwerte erwarten lässt.

Für die Fälle „ohne Feuchteanforderung“ und „Feuchteanforderung mit Toleranz“ erfolgt die Umrechnung proportional zu den Enthalpiestunden Heizen.

$$q_{h,x} = \frac{E_{h_x}}{E_{h_{TRY04}}} q_{h, TRY04} \quad (7)$$

Liegen Feuchteanforderungen ohne Toleranz der Sollwerte vor, muss zunächst eine Trennung des Heizenergiekennwertes in einen Anteil Winter und Sommer vorgenommen werden. Dabei wird als winterlicher Anteil der korrespondierende Kennwert der Variante „mit Toleranz“  $q_{h,TRY04,mT}$  verwendet.

$$q_{h,TRY04,Wi} = q_{h,TRY04,mT} \quad (8)$$

Der Sommeranteil ergibt sich aus der Differenzbildung.

$$q_{h,TRY04,So} = q_{h,TRY04} - q_{h,TRY04,Wi} \quad (10)$$

Im Näherungsverfahren erfolgt dann die Umrechnung des winterlichen Anteils mit den Heizenthalpiestunden. Der sommerliche Anteil für die Nachheizung im Entfeuchtungsfall wird ebenfalls separat korrigiert, anschließend werden beide Anteile zum Endergebnis summiert.

Die Entfeuchtungsarbeit findet sowohl in den Enthalpiestunden für die Kälte als auch in den Entfeuchtungs-Enthalpiestunden Berücksichtigung. Es hat sich gezeigt, dass die Korrelation verbessert werden kann, wenn für die Bewertung der Entfeuchtung die Differenz aus beiden Enthalpiestunden herangezogen wird.

$$q_{h,x} = \frac{E_{h_x}}{E_{h_{TRY04}}} q_{h,TRY04,Wi} + \frac{E_{dh_x} - E_{c_x}}{E_{dh_{TRY04}} - E_{c_{TRY04}}} q_{h,TRY04,So} \quad (11)$$

Sowohl der Kälte- als auch der Dampfbedarf lassen sich in guter Näherung in einem Schritt mittels Enthalpiestunden standortkorrigieren.

$$q_{c,x} = \frac{Ec_x}{Ec_{TRY04}} q_{c,TRY04} \quad (12)$$

$$q_{st,x} = \frac{Ehu_x}{Ehu_{TRY04}} q_{st,TRY04} \quad (13)$$

mit:

$q_{h,x}, q_{st,x}, q_{c,x}$	Energiekennwerte am Standort x für Wärme, Dampf und Kälte
$q_{h,TRY04}, q_{st,TRY04}, q_{c,TRY04}$	Energiekennwerte für Standort Potsdam, TRY 04 – identisch mit den Normkennwerten nach DIN V 18599 Teil 3
$Eh_x$	Enthalpiestunden Heizen [kJh/kg] Anlagen ohne WRG: Heizgrenze 18 °C $Eh18_x$ Anlagen mit WRG: Heizgrenze 12 °C $Eh12_x$
$Ehu_x$	Enthalpiestunden Befeuchten [kJh/kg]
$Ec_x$	Enthalpiestunden Kühlen [kJh/kg]
$Edh_x$	Enthalpiestunden Entfeuchten [kJh/kg]

Zur Validierung wurden die extrem abweichenden Testreferenzjahr-Zonen TRY 08 und TRY 12 sowie zwei gemäßigte Zonen Bremerhaven (TRY 01) und Kassel (TRY 05) herangezogen.

Dazu wurde in den nachfolgenden Diagrammen eine dimensionslose Darstellung gewählt, bei der die Abweichung der simulierten lokalen Nutzenergie-Kennwerte zu den Abweichungen der lokalen Enthalpiestunden (Näherungsverfahren) gegenübergestellt wurden.

Die Darstellungen Abbildung 57 - Abbildung 59 zeigen, dass dann eine sehr gute Korrelation erkennbar ist, solange in einzelnen Ausnahmefällen die Luftentfeuchtung den Kühl- und Nachheizbedarf nicht dominiert („ohne Sollwert-Toleranz“). In allen anderen Fällen besteht ein annähernd linearer Zusammenhang, der eine sehr gute standortbezogene Bereinigung der Energiekennwerte erwarten lässt.

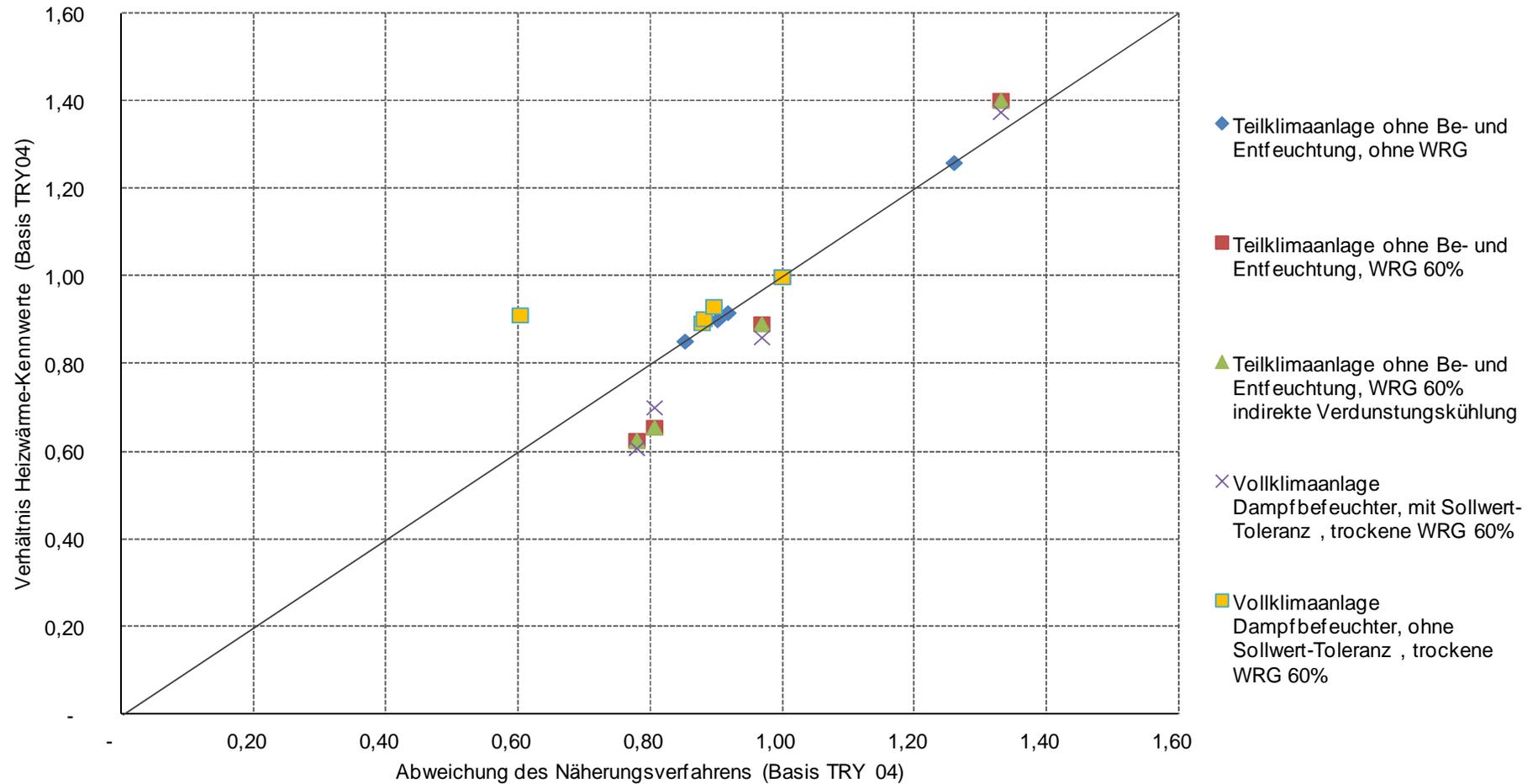


Abbildung 57: Korrelation: simulierter Heizbedarf – Näherungsverfahren; Darstellung als relative Abweichung zum Referenzwert TRY Zone 04 (Referenzstation Potsdam)

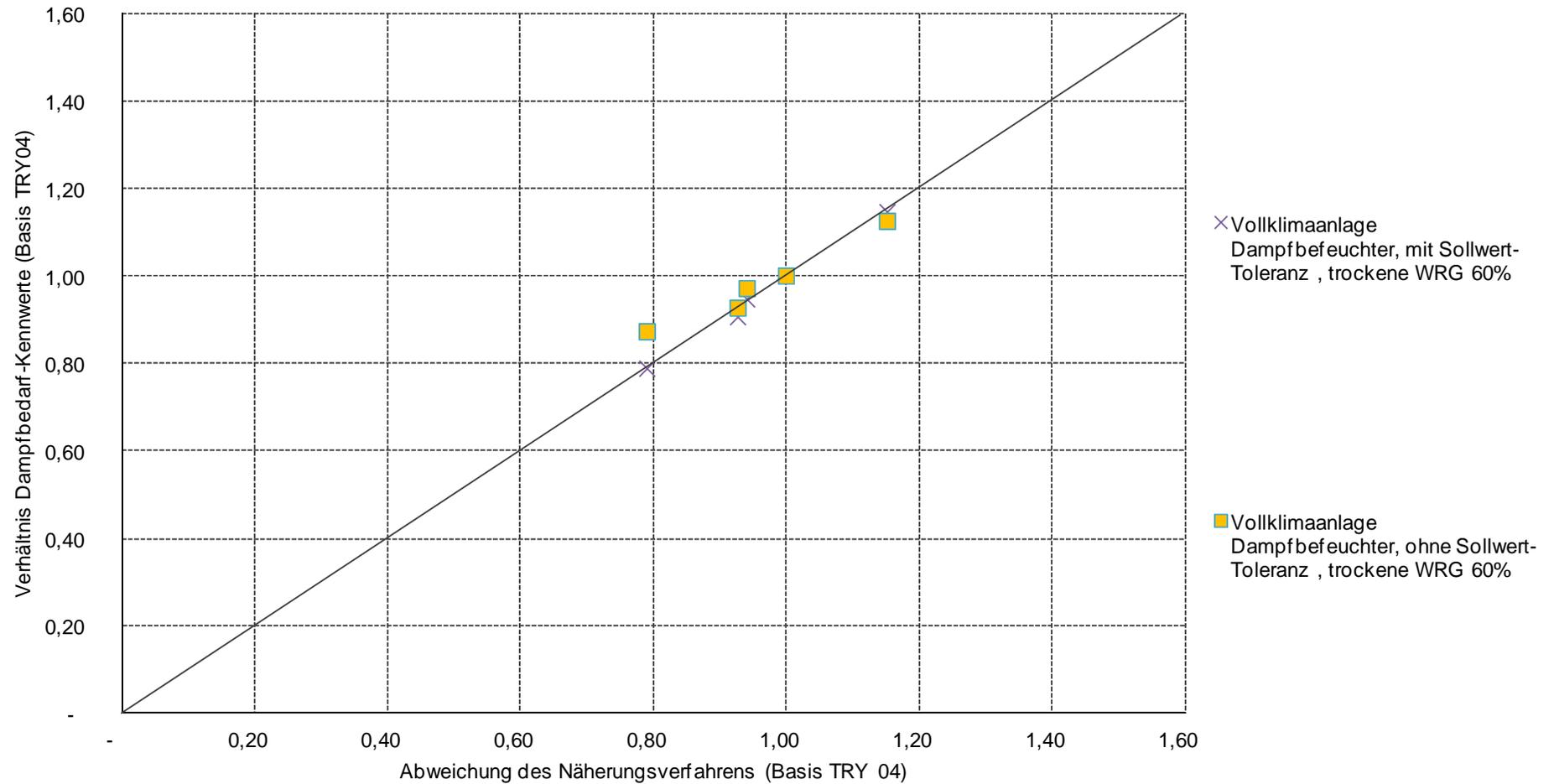


Abbildung 58: Korrelation: simulierter Dampfbedarf – Näherungsverfahren; Darstellung als relative Abweichung zum Referenzwert TRY Zone 04 (Referenzstation Potsdam)

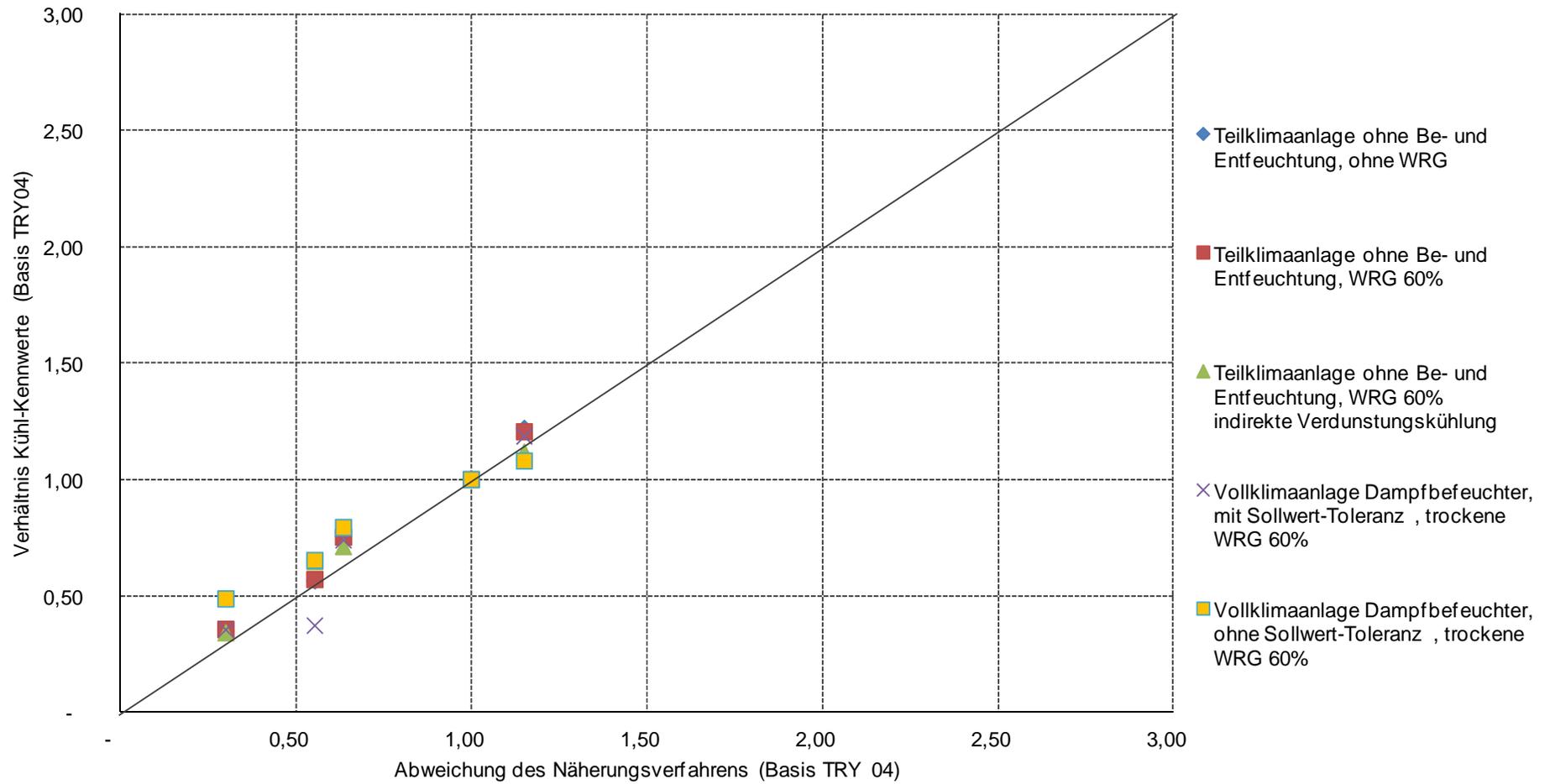


Abbildung 59:

Korrelation: simulierter Kühlbedarf –Näherungsverfahren; Darstellung als relative Abweichung zum Referenzwert TRY Zone 04 (Referenzstation Potsdam)

Man kann in den Darstellungen erkennen, dass die Methode der Enthalpiestunden in allen Fällen zu Ergebnissen führt, die tendenziell richtig sind. In den meisten Fällen entsteht nur ein geringer Fehler. Größere relative Abweichungen treten auf, wenn die Beträge sehr klein sind oder bei der Heizwärme im Fall der seltenen Anlagen mit „Feuchteanforderungen ohne Toleranz“. Die exakteste Übereinstimmung von Näherung und Simulation ergibt sich beim Dampfbedarf.

Grundsätzlich wird die Methode als geeignet eingeschätzt, den Standorteinfluss bei der Erstellung von Energiekennwerten im Rahmen der Klimaanlageinspektion angemessen zu berücksichtigen.

### 3.1.6 Auswirkungen auf die Erzeugereffizienz Kältetechnik

Entsprechend den Wetterdaten verändern sich die Absolutwerte des Kühlenergiebedarfes für Raumkühlung und RLT-Kühlung. Da die Bewertung der Erzeugereffizienz relativ zum Absolutwert erfolgt, wird diese Änderung hier nicht betrachtet, sondern nur das Betriebsverhalten untersucht.

Aus Sicht des Teillastverhaltens ist bei fast allen Erzeugerarten ein Einfluss der geänderten Wetterdatenbasis rechnerisch nachweisbar. Das betrifft insbesondere die folgenden Teillastkennwerte:

- Teillastfaktor  $f_1$  verändert sich variabel in Abhängigkeit der Teillasteffizienz der Kälteanlage
- Teillastfaktor  $f_2$  verändert sich durch veränderte Außenluft- bzw. Kühlwassertemperaturen
- Teillastfaktor  $PLV_{AV}$  reagiert in Abhängigkeit der Veränderung der Teillastfaktoren  $f_1 / f_2$
- Nutzungsgrad des Rückkühlers  $f_R$  verändert sich durch veränderte Außenlufttemperaturen / Feuchtkugeltemperaturen
- Betriebszeit des Rückkühlers  $t_R$  verändert sich infolge veränderter Kühlbetriebszeit
- Teillastfaktor  $PLV_{AV,EXH}$  bei RLT-integrierter Kälteerzeugung verändert sich infolge geänderter Ablufttemperaturen
- Deckungsgrad Freie Kühlung  $f_{FC}$  verändert sich infolge geänderter Außenlufttemperaturen / Feuchtkugeltemperaturen

Im Rahmen der Grenzwertbetrachtung wurde zunächst wieder der Einfluss der extremen Testreferenzjahre TRY 08 (Braunlage) und TRY 12 (Mannheim) auf die Maschineneffizienz für die Nutzungsprofile Büro und Serverraum untersucht. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand des Teilkennwertes Klimakälte  $E_{KK}$  nach DIN SPEC 15240 [1]. Dieser Teilkennwert bietet die Möglichkeit, alle oben genannten Einzeleinflüsse der Wetterdatenänderung gesamtheitlich abzubilden.

Tabelle 27 zeigt die Ergebnisse exemplarischer Kennwertberechnungen für den Wetterdatenwechsel TRY04 (Referenzwert Potsdam) → TRY08 (Braunlage). Es wurden bewusst extreme Anlagen- und Nutzungsszenarien gewählt, um die Grenzwerte der Effizienzänderung durch den Wetterdatenwechsel zu ermitteln. Ausgehend von einer konventionellen wassergekühlten Kolbenverdichteranlage mit Taktbetrieb (Teillastbetriebsart 1) ist rot die Veränderung der Randbedingungen zur vorherigen Variante dargestellt.

Tabelle 27: Auswirkungen der TRY-Änderung TRY 04 → TRY 08 auf den Energiekennwert  $E_{KK}$ 

Kältemittel	Kühlwassertemperatur	Kaltwassertemperatur	Verdichterart	Teillastregelart	Nutzungsart	Testreferenzjahr TRY	Nennleistungszahl EER	Teillastfaktor $PLV_{AV}$	Nutzungsgrad Rückkühler $f_R$	Leistung Rückkühler $q_R$	Teilkennwert Kälteerzeugung $E_{KK}$	Änderung durch TRY
R134a	wassergek. 27/33°C konst.	6°C	Kolben	(1)	Büro Raumkühlung	TRY04	4.0	0.92	0.14	0.033	<b>3.60</b>	<b>1.5%</b>
						TRY08	4.0	0.93	0.11	0.033	<b>3.66</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Kolben	(3)	Büro Raumkühlung	TRY04	4.0	0.94	0.48	0.033	<b>3.50</b>	<b>2.2%</b>
						TRY08	4.0	0.94	0.33	0.033	<b>3.58</b>	
R134a	wassergek. 40/45°C var.	6°C	Schraube	(5)	Büro RLT-Kühlung	TRY04	2.9	1.45	0.94	0.045	<b>3.39</b>	<b>10.3%</b>
						TRY08	2.9	1.58	0.81	0.045	<b>3.74</b>	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Büro Raumkühlung	TRY04	2.7	1.40	-	-	<b>3.78</b>	<b>10.0%</b>
						TRY08	2.7	1.54	-	-	<b>4.16</b>	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Serverraum Raumkühlung	TRY04	2.7	1.68	-	-	<b>4.54</b>	<b>3.6%</b>
						TRY08	2.7	1.74	-	-	<b>4.70</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum Raumkühlung	TRY04	4.5	1.30	0.45	0.033	<b>5.29</b>	<b>2.5%</b>
						TRY08	4.5	1.31	0.37	0.033	<b>5.42</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum RLT-Kühlung	TRY04	4.5	1.10	0.42	0.033	<b>4.57</b>	<b>-3.0%</b>
						TRY08	4.5	1.03	0.25	0.033	<b>4.43</b>	

Folgende prinzipielle Tendenzen ergeben sich aus der Wetterdatenbetrachtung TRY04 → TRY 08:

- E\_KK steigt i.a. (max. 12 %)
- Anstieg bei luftgekühlten Technologien > wassergekühlten Technologien, durch geringere mittlere Außenlufttemperatur (und Dämpfung im Kühlwasserkreis)
- Anstieg bei klimabedingter Teillast (Büro) > nutzungsbedingter Teillast (Serverraum)
- Anstieg bei Raumkühlung > RLT-Kühlung, da Anstieg der Teillast bei RLT-Kühlung (infolge steigendem Kühlpotential der Außenluft)
- bei wassergekühlter Technologie im Serverraum mit RLT-Kühlung Reduzierung von E\_KK möglich
- Betriebszeit der Rückkühlung sinkt bei Raumkühlung um ca. 20 % (außer Serverraum), bei RLT-Kühlung um ca. 40 %
- **Werte aus TRY04 (Potsdam) sind eingeschränkt verwendbar**

Tabelle 28 zeigt die Ergebnisse für den Wetterdatenwechsel TRY04 (Referenzwert Potsdam) nach TRY12 (Mannheim).

Tabelle 28: Auswirkungen der TRY-Änderung TRY 04 → TRY 12 auf den Energiekennwert  $E_{KK}$ 

Kältemittel	Kühlwassertemperatur	Kaltwassertemperatur	Verdichterart	Teillastregelart	Nutzungsart	Testreferenzjahr TRY	Nennleistungszahl EER	Teillastfaktor $PLV_{AV}$	Nutzungsgrad Rückkühler $f_R$	Leistung Rückkühler $q_R$	Teilkennwert Kälteerzeugung $E_{KK}$	Änderung durch TRY
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum RLT-Kühlung	TRY04	4.5	1.10	0.42	0.033	<b>4.57</b>	<b>-0.3%</b>
						TRY12	4.5	1.09	0.39	0.033	<b>4.55</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum Raumkühlung	TRY04	4.5	1.30	0.45	0.033	<b>5.29</b>	<b>-0.2%</b>
						TRY12	4.5	1.30	0.46	0.033	<b>5.28</b>	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Serverraum Raumkühlung	TRY04	2.7	1.68	-	-	<b>4.54</b>	<b>-1.2%</b>
						TRY12	2.7	1.66	-	-	<b>4.48</b>	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Büro Raumkühlung	TRY04	2.7	1.40	-	-	<b>3.78</b>	<b>-2.1%</b>
						TRY12	2.7	1.37	-	-	<b>3.70</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Kolben	(3)	Büro Raumkühlung	TRY04	4.0	0.94	0.48	0.033	<b>3.50</b>	<b>1.0%</b>
						TRY12	4.0	0.95	0.48	0.033	<b>3.53</b>	
R134a	wassergek. 40/45°C var.	6°C	Kolben	(3)	Büro Raumkühlung	TRY04	3.1	1.05	0.71	0.045	<b>2.86</b>	<b>-0.7%</b>
						TRY12	3.1	1.05	0.75	0.045	<b>2.84</b>	
R134a	wassergek. 40/45°C konst.	6°C	Kolben	(4)	Büro RLT-Kühlung	TRY04	3.1	0.44	0.10	0.045	<b>1.35</b>	<b>6.8%</b>
						TRY12	3.1	0.47	0.10	0.045	<b>1.44</b>	

Folgende prinzipielle Tendenzen ergeben sich aus der Wetterdatenbetrachtung TRY04 → TRY12:

- E\_KK sinkt leicht (max. -4 %)
- Reduzierung bei luftgekühlten Technologien > wassergekühlten Technologien, durch höhere mittlere Außenlufttemperatur (und Dämpfung im Kühlwasserkreis)
- Reduzierung bei Raumkühlung > RLT-Kühlung, da Anstieg der Belastung bei RLT-Kühlung (infolge sinkendem Kühlpotential der Außenluft),
- bei RLT-Kühlung und geringer Teillasteffizienz (Teillastregelart 4, C, F) Anstieg der Effizienz durch höheren Belastungsgrad ( $f_1$  steigt)
- Betriebszeit der Rückkühlung steigt bei Raumkühlung um ca. 10 % (außer Serverraum), bei RLT-Kühlung um ca. 20 %
- **i.a. Werte aus TRY04 (Potsdam) sind gut verwendbar**

Die Einflussgrößen und Parameterveränderungen sind vielfältig und unterscheiden sich nutzungsspezifisch. Eine Ableitung einfach handhabbarer Approximationslösungen für abweichende Wetterdaten erscheint daher nicht praktikabel und nicht notwendig. Der Einfluss der Wetterdatenänderung auf die Referenzwerte ist für die kühlere Klimaregion TRY08 (Braunlage) recht deutlich ausgeprägt und beträgt maximal 12 %. Im Zusammenspiel mit den deutlich verringerten Absolutwerten für den Kühlenergiebedarf ist diese Abweichung im Zuge der Betrachtung des Gebäudeenergieumsatzes vertretbar, da in dieser Klimaregion die Prämisse auf der Optimierung der Heizenergiebedarfsdeckung liegen muss. In der gegenüber dem Referenzwert wärmeren Klimaregion TRY12 (Mannheim) können die Teillastkennwerte der Referenz-Klimaregion TRY04 (Potsdam) mit guter Genauigkeit verwendet werden.

### 3.1.6.1 Einfluss von mikroklimatischen Effekten

Zu den wesentlichen mikroklimatischen Effekten mit Einfluss auf die Maschineneffizienz zählen die geografische Lage im urbanen Raum (Landgebiet / Innenstadt) und die Höhe des Standortes (Tallage / Höhenlage). Beide Effekte bewirken eine standortabhängige Beeinflussung der Lufttemperatur und Luftfeuchte, die in den statistischen Daten für die Repräsentanzstation nicht enthalten sein kann. Die statistischen Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ermöglichen die Berücksichtigung dieser Effekte im Rahmen von Simulationsrechnungen durch das Aufprägen mikroklimatischer Einflüsse auf die Standard-Wetterdatensätze.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollen dabei zunächst die Witterungsextreme betrachtet werden, da diese den maximalen Einfluss auf die Maschineneffizienz besitzen. Daher wird die prinzipiell wärmste Witterung (TRY12) mit dem Stadteffekt korreliert und dem tendenziell kühlen TRY08 eine zusätzliche Höhenlage aufgeprägt. Ausgehend von dieser Grenzwertbetrachtung sind dann Rückschlüsse auf andere mikroklimatische Konstellationen ableitbar.

### 3.1.6.1.1 Stadteffekt

Der Stadteffekt wird bei allen Testreferenzjahren nur in Abhängigkeit der Einwohnerzahl aufgeprägt. Der Einfluss ist damit auch für die anderen Klimazonen charakteristisch. Tabelle 29 zeigt den Einfluss des Stadteffektes auf die Witterungsdaten der Repräsentanzstation Mannheim (TRY12).

Tabelle 29: Einfluss des Stadteffektes auf TRY12

	Temperatur [°C]		
	Maximum	Jahresmittel	Minimum
TRY12 (ohne Stadteffekt)	36.3	11.1	-9.3
TRY12 mittleres Stadtgebiet	36.9	12.0	-7.7
<b>TRY12 eng bebaute Innenstadt</b>	<b>37.4</b>	<b>12.4</b>	<b>-7.0</b>

Für die Grenzwertbetrachtung wird der Effekt „eng bebaute Innenstadt“ (TRY12S) verwendet. Die im Rahmen der Simulationsrechnungen ermittelten Ergebnisse zeigt Anhang 7. Wie erwartet verstärkt der Stadteffekt die Tendenz sinkender Erzeugereffizienz (Teillastfaktor PLV), da mit höheren Außenlufttemperaturen tendenziell ungünstigere Kondensationsbedingungen einher gehen. Gleichzeitig steigen die Nutzungszeiten der Rückkühlung und damit die Auslastung der Rückkühler (Nutzungsfaktor Rückkühlung  $f_R$ ).

Tabelle 30 zeigt die Veränderung der Teillastkennwerte PLV (Teillastfaktor) und  $f_R$  (Nutzungsfaktor Rückkühlung) durch den Stadteffekt.

Tabelle 30: Einfluss des Stadteffektes auf die Teillastkennwerte für TRY12

Anlagenart		Kennwert	Nutzungsart Büro		Nutzungsart Serverraum		
			maximale Abweichung	mittlere Abweichung	maximale Abweichung	mittlere Abweichung	
Luftgekühlte KKM Teillastfaktor		PLV <sub>AV</sub>	-2,1 %	-1,2 %	-3,9 %	-2,0 %	
Wassergekühlte KKM	Verdunstungsrückkühler	Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	-1,1 %	-0,2 %	+2,1 %	+0,1 %
		Kältemaschine konstant	f <sub>R,VK</sub>	+1,6 %	+0,1 %	+8,0 %	+3,9%
		Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	-0,7 %	-0,1 %	-1,0 %	0,0 %
		Kältemaschine variabel	f <sub>R,VK</sub>	+3,9 %	+2,1%	+7,9 %	+4,6%
	Trockenrückkühler	Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	-1,1 %	-0,2 %	+2,1 %	+0,2%
		Kältemaschine konstant	f <sub>R,TK</sub>	+3,3 %	+2,0%	+7,7 %	+4,4%
		Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	-1,5 %	-0,7 %	-1,9 %	-0,9 %
		Kältemaschine variabel	f <sub>R,TK</sub>	+2,6 %	+1,6%	+11,5 %	+7,7%

Prinzipiell steigt durch den Stadteffekt bei allen Anlagenarten die Auslastung der Rückkühler (Nutzungsfaktor  $f_R$ ) wohingegen die Maschineneffizienz (mittlerer Teillastfaktor PLV<sub>AV</sub>) sinkt. Es gibt insbesondere bei der Nutzungsart Serverraum jedoch einzelne Ausnahmen mit umgekehrter Tendenz (z.B. Teillastregelart 4 – Heißgasbypass). Hier wird durch die höhere Auslastung der nicht teillastoptimierten Anlagentechnik eine (relativ betrachtet) bessere Maschineneffizienz erreicht, die aber auch hier mit höheren Aufwendungen bei der Rückkühlung korreliert.

Der Gesamteinfluss „Stadteffekt“ ist insgesamt sehr gering. Tabelle 31 zeigt die Auswirkungen auf den Energiekennwert  $E_{KK}$  für verschiedene Anlagenkonstellationen.

Tabelle 31: Auswirkungen des Stadteffektes auf den Energiekennwert  $E_{KK}$ 

Kältemittel	Kühlwassertemperatur	Kaltwassertemperatur	Verdichterart	Teillastregelart	Nutzungsart	Testreferenzjahr TRY	Nennleistungszahl EER	Teillastfaktor $PLV_{AV}$	Nutzungsgrad Rückkühler $f_R$	Leistung Rückkühler $q_R$	Teilkennwert Kälteerzeugung $E_{KK}$	Änderung durch Stadteffekt
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum RLT-Kühlung	TRY12	4.5	1.09	0.39	0.033	4.55	0.3%
						TRY12S	4.5	1.10	0.42	0.033	4.57	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum Raumkühlung	TRY12	4.5	1.30	0.46	0.033	5.28	-0.4%
						TRY12S	4.5	1.30	0.48	0.033	5.25	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Serverraum Raumkühlung	TRY12	2.7	1.66	-	-	4.48	-1.8%
						TRY12S	2.7	1.63	-	-	4.40	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Büro Raumkühlung	TRY12	2.7	1.37	-	-	3.70	-1.5%
						TRY12S	2.7	1.35	-	-	3.65	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Kolben	(3)	Büro Raumkühlung	TRY12	4.0	0.95	0.48	0.033	3.53	-1.0%
						TRY12S	4.0	0.94	0.48	0.033	3.50	
R134a	wassergek. 40/45°C var.	6°C	Kolben	(3)	Büro Raumkühlung	TRY12	3.1	1.05	0.75	0.045	2.84	-0.2%
						TRY12S	3.1	1.05	0.76	0.045	2.84	
R134a	wassergek. 40/45°C konst.	6°C	Kolben	(4)	Büro RLT-Kühlung	TRY12	3.1	0.47	0.10	0.045	1.44	-2.1%
						TRY12S	3.1	0.46	0.10	0.045	1.41	

### 3.1.6.1.2 Höhengeneffekt

Der Höhengeneffekt berücksichtigt die Abhängigkeit der Temperatur und Luftfeuchte in orographisch gegliedertem Gelände. Tabelle 32 zeigt den Einfluss des Höhengeneffektes auf die Witterungsdaten der Repräsentanzstation Braunlage (TRY08) bei verschiedenen Höhenkorrekturen. Eine Höhenkorrektur sollte prinzipiell dann erfolgen, wenn die Höhe des Standortes mehr als 100m von der Höhe der Repräsentanzstation abweicht.

Tabelle 32: Einfluss des Höhengeneffektes bei TRY08 (Repräsentanzstation Braunlage)

	Temperatur [°C]			Wassergehalt [g/kg]		
	Maximum	Jahresmittel	Minimum	Maximum	Jahresmittel	Minimum
TRY08 (ohne Höhengeneffekt)	29.2	6.7	-14.8	15.8	5.6	1.1
<b>TRY08 +200m Höhenkorrektur</b>	<b>27.8</b>	<b>5.7</b>	<b>-15.5</b>	<b>15.4</b>	<b>5.4</b>	<b>1.0</b>
TRY08 +400m Höhenkorrektur	26.2	4.7	-16.2	14.9	5.1	0.8

Für die Grenzwertbetrachtung wird im Rahmen der Simulationsrechnungen der Effekt „+200m Höhenkorrektur“ (TRY08H) verwendet, da eine noch stärkere Höhenkorrektur die Klimadaten bereits zu stark an den Extremstandort TRY 11 (Repräsentanzstation Fichtelberg) annähert.

Die im Rahmen der Simulationsrechnungen ermittelten Ergebnisse zeigt Anhang 7. Wie erwartet verstärkt der Höhengeneffekt die Tendenz steigender Erzeugereffizienz (Teillastfaktor PLV), da mit niedrigeren Außenlufttemperaturen tendenziell günstigere Kondensationsbedingungen einher gehen. Gleichzeitig sinken die Nutzungszeiten der Rückkühlung und damit die Auslastung der Rückkühler (Nutzungsfaktor Rückkühlung  $f_R$ ).

Tabelle 33 zeigt die Veränderung der Teillastkennwerte PLV (Teillastfaktor) und  $f_R$  (Nutzungsfaktor Rückkühlung) durch den Höhengeneffekt.

Tabelle 33: Einfluss des Höheneffektes auf die Teillastkennwerte für TRY08

Anlagenart		Kennwert	Nutzungsart Büro		Nutzungsart Serverraum		
			maximale Abweichung	mittlere Abweichung	maximale Abweichung	mittlere Abweichung	
Luftgekühlte KKM Teillastfaktor		PLV <sub>AV</sub>	+3,5 %	+2,4 %	+2,6 %	+1,3 %	
Wassergekühlte KKM	Verdunstungsrückkühler	Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	+1,6 %	-0,1 %	-3,0 %	-0,7 %
		Kältemaschine konstant	f <sub>R,VK</sub>	-8,4 %	-5,2 %	-7,5 %	-5,2 %
		Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	+1,4 %	0,0 %	-2,7 %	-0,4 %
		Kältemaschine variabel	f <sub>R,VK</sub>	-14,5 %	-10,1 %	-15,4 %	-10,8 %
	Trockenrückkühler	Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	+1,6 %	-0,1 %	-3,0 %	-0,7 %
		Kältemaschine konstant	f <sub>R,TK</sub>	-4,4 %	-3,0 %	-2,9 %	-2,3 %
		Kühlwassereintritt	PLV <sub>AV</sub>	+1,8 %	+0,5 %	-2,2 %	-0,2 %
		Kältemaschine variabel	f <sub>R,TK</sub>	-11,9 %	-6,4 %	-12,8 %	-7,5 %

Prinzipiell sinkt durch den Höheneffekt bei allen Anlagenarten die Auslastung der Rückkühler (Nutzungsfaktor  $f_R$ ) wohingegen die Maschineneffizienz (mittlerer Teillastfaktor PLV<sub>AV</sub>) bei der Nutzungsart Büro steigt. Bei der Nutzungsart Serverraum gibt es jedoch einzelne Ausnahmen mit umgekehrter Tendenz (z.B. Teillastregelart 4 – Heißgasbypass). Hier wird durch die geringere Auslastung der nicht teillastoptimierten Anlagentechnik eine (relativ betrachtet) schlechtere Maschineneffizienz erreicht. Bei den teillastoptimierten Teillastregelarten (z.B. Teillastregelart 8 – Inverterregelung) hingegen ist auch bei der Nutzungsart Serverraum analog zum Büro eine Erhöhung der Effizienz (mittlerer Teillastfaktor PLV<sub>AV</sub>) durch den Höheneffekt zu verzeichnen.

Tabelle 34 zeigt die Auswirkungen auf den Energiekennwert  $E_{KK}$  für verschiedene Anlagenkonstellationen.

Tabelle 34: Auswirkungen des Höheneffektes auf den Energiekennwert  $E_{KK}$ 

Kältemittel	Kühlwassertemperatur	Kaltwassertemperatur	Verdichterart	Teillastregelart	Nutzungsart	Testreferenzjahr TRY	Nennleistungszahl EER	Teillastfaktor $PLV_{AV}$	Nutzungsgrad Rückkühler $f_R$	Leistung Rückkühler $q_R$	Teilkennwert Kälteerzeugung $E_{KK}$	Änderung durch Höheneffekt
R134a	wassergek. 27/33°C konst.	6°C	Kolben	(1)	Büro Raumkühlung	TRY08	4.0	0.93	0.11	0.033	<b>3.66</b>	<b>0.2%</b>
						TRY08H	4.0	0.93	0.10	0.033	<b>3.66</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Kolben	(3)	Büro Raumkühlung	TRY08	4.0	0.94	0.33	0.033	<b>3.58</b>	<b>-0.3%</b>
						TRY08H	4.0	0.93	0.28	0.033	<b>3.57</b>	
R134a	wassergek. 40/45°C var.	6°C	Schraube	(5)	Büro RLT-Kühlung	TRY08	2.9	1.58	0.81	0.045	<b>3.74</b>	<b>0.5%</b>
						TRY08H	2.9	1.59	0.81	0.045	<b>3.76</b>	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Büro Raumkühlung	TRY08	2.7	1.54	-	-	<b>4.16</b>	<b>1.9%</b>
						TRY08H	2.7	1.57	-	-	<b>4.24</b>	
R134a	luftgekühlt	6°C	Kolben	(B)	Serverraum Raumkühlung	TRY08	2.7	1.74	-	-	<b>4.70</b>	<b>0.0%</b>
						TRY08H	2.7	1.74	-	-	<b>4.70</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum Raumkühlung	TRY08	4.5	1.31	0.37	0.033	<b>5.42</b>	<b>0.4%</b>
						TRY08H	4.5	1.31	0.35	0.033	<b>5.44</b>	
R134a	wassergek. 27/33°C var.	6°C	Schraube	(5)	Serverraum RLT-Kühlung	TRY08	4.5	1.03	0.25	0.033	<b>4.43</b>	<b>-2.1%</b>
						TRY08H	4.5	1.00	0.21	0.033	<b>4.33</b>	

Der Gesamteinfluss durch den „Höheneffekt“ auf den Energiekennwert  $E_{KK}$  ist sehr gering. Die Auswirkungen sind noch geringer einzustufen als beim „Stadteffekt“, da dort die effektbedingte Temperaturänderung im sommerlichen Kühlfall viel stärker ausgeprägt ist, als das durch den Höheneinfluss der Fall ist.

Abbildung 60 zeigt zusammenfassend den Einfluss von Stadt- bzw. Höheneffekt auf die Maschineneffizienz.

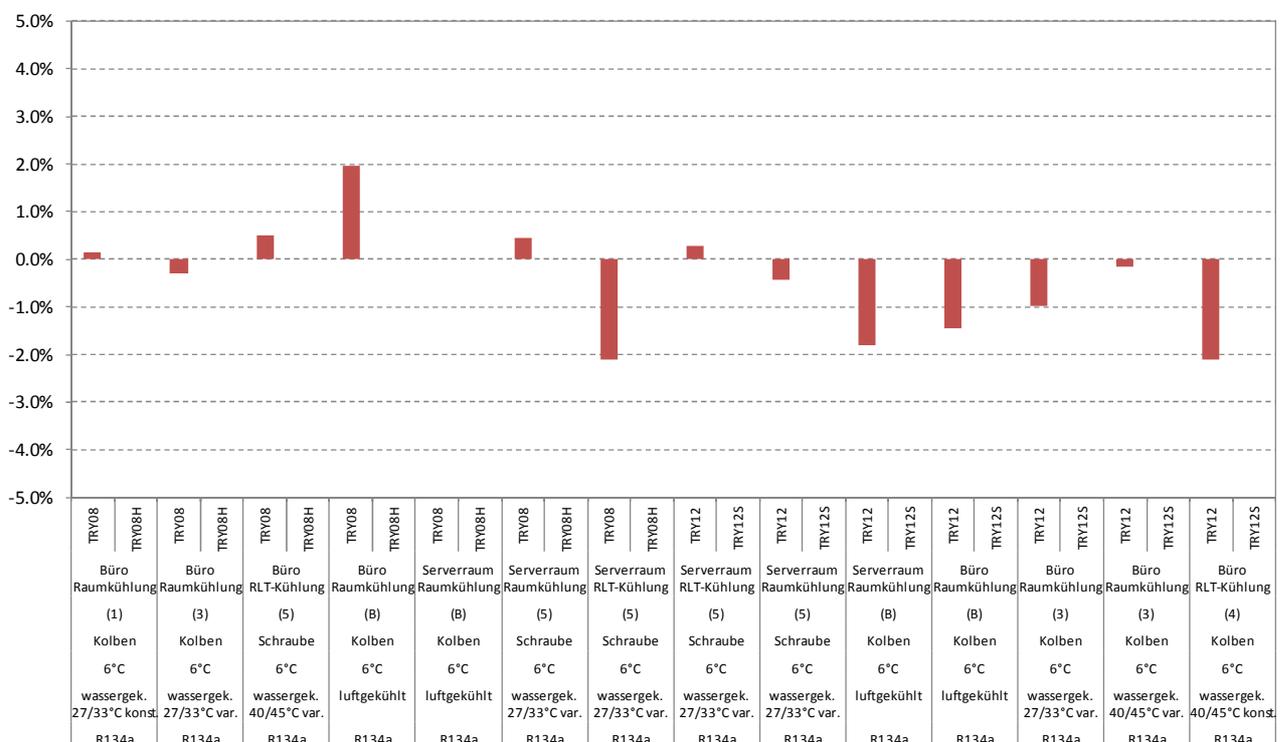


Abbildung 60: prozentuale Änderung des Energiekennwertes durch den Stadt-/Höheneffekt

Anhand der Simulationsergebnisse lassen sich folgende grundlegende Abhängigkeiten ableiten:

- Auswirkung des Stadt-/Höheneffektes auf die Effizienz der Kälteerzeugung sehr gering
- gleichgerichtete (verallgemeinerungsfähige) Tendenzen für alle Technologien / Nutzungen nur beim Nutzungsfaktor Rückkühlung  $f_R$
- starke Abhängigkeit der Auswirkung des Stadt-/Höheneffektes von der Teillastregelart
- Abhängigkeit der Auswirkung des Stadt-/Höheneffektes von der Nutzungsart
- Abhängigkeit der Auswirkung des Stadt-/Höheneffektes von der Anlagenart (luftgekühlt, wassergekühlt)

- Abhängigkeit Auswirkung des Stadt-/Höheneffektes von der Rückkühlerart und der Regelung der Rückkühlung

Aufgrund der Vielfältigkeit der Einflussfaktoren lassen sich keine verallgemeinerungsfähigen Umrechnungsfaktoren ableiten, ohne eine fehlerhafte Tendenz bei einzelnen Technologien bzw. Nutzungen in Kauf zu nehmen. Da das implizite Kennwertverfahren keine explizite Ermittlung der Effizienz erlaubt, sondern auf tabellarisch abgelegte Kennwerte zurückgreift, müssten daher für alle Nutzungsarten und Teillastregelarten 19 neue Kennwerttabellen gemäß DIN V 18599-7 Anhang A [23] jeweils für Stadteffekt und Höheneffekt erstellt werden. Dieser Aufwand erscheint vor dem Hintergrund der geringen Auswirkungen der untersuchten Effekte auf die Erzeugereffizienz nicht gerechtfertigt. Viel wesentlicher ist die Berücksichtigung der Effekte bei der Lastberechnung (Gebäudekühllast, thermische Luftaufbereitung), da der Einfluss hier, absolut betrachtet, viel größer ist. Insbesondere bei der thermischen Luftaufbereitung im Kühlfall (Kühlung, Entfeuchtung) haben die veränderten thermischen und hygrischen Außenluftbedingungen direkten Einfluss auf die Erzeugereffizienz der RLT-Anlage.

## **3.2 Energetische Bewertung von RLT- und Kältesystemen anhand von Produktkennwerten**

### **3.2.1 Allgemeines**

Die Effizienzbewertung von Bestandsanlagen erfolgt derzeit anhand von energetischen Teilkennwerten, die auf Defaultwerten von anlagentechnischen Kenngrößen beruhen. Eine anlagenspezifische Betrachtungsweise ist derzeit nur bedingt möglich, was in der praktischen Anwendung bei definierten (und bekannten) Randbedingungen oft zu Abweichungen von den erfassten Verbrauchswerten führt. Darüber hinaus existieren eingeführte nationale, im Kältebereich auch nicht-nationale Energiekennwerte die eine Aussage über die Anlageneffizienz ermöglichen. Es ist zu prüfen, inwieweit diese mit hinreichender Genauigkeit für eine Verwendung im nationalen Kontext (Energiepass, Energetische Inspektion) geeignet sind.

### **3.2.2 Anforderungen an Berechnungsverfahren zur Effizienzbewertung**

#### **3.2.2.1 Kennwertverfahren**

Das national verwendete Verfahren zur Effizienzbewertung von Kälteerzeugern nach DIN V 18599 beruht auf einem impliziten Kennwertverfahren. Die Kennwerte berücksichtigen die Gebäudebelastung durch die Witterung und das Nutzerverhalten, die Randbedingungen des Baukörpers werden jedoch nur mit vordefinierten Standardkonstruktionen berücksichtigt und können damit spezielle, vor Ort vorgefundene bauliche Bedingungen (z.B. nicht vorhandener sommerlicher Wärmeschutz) nicht ausreichend genau abbilden. Das implizite Kennwertverfahren basiert auf im Voraus im Stundenschritt berechneten energetischen Teillastkennwerten für die Kältemaschine (Teillastfaktor PLV) und die Rückkühlung (Nutzungsgrad  $f_R$ ). Dieses Verfahren ist auch für die Bewertung von Bestandsanlagen geeignet und damit auch im Rahmen der Energetischen Inspektion gut anwendbar. Es ermöglicht neben der stündlichen Korrelation zwischen Last und Leistung indirekt auch die Berücksichtigung dynamischer Effekte und Regelstrategien. Prinzipiell erreicht dieses Verfahren eine hohe Genauigkeit bei der Effizienzbewertung der Kälteerzeugung, wenn die Standardrandbedingungen (sommerlicher Wärmeschutz, Nutzung nach DIN V 18599-10) annähernd eingehalten werden. Bei teilweise abweichenden Nutzungsrandbedingungen oder besonderen baukonstruktiven Randbedingungen gelten diese energetischen Kennwerte jedoch nur näherungsweise. Daher wäre für die energetische Inspektion im Bestand eine ausreichend genaue Erzeugerbewertung im Rahmen einer expliziten Berechnung unter Beachtung der tatsächlichen Gebäudekonstruktion wünschenswert.

### 3.2.2.2 Belastungsgradverfahren

Belastungsgradverfahren basieren auf der Bewertung der Effizienz einer Technologie unter bestimmten, in der Regel zeitlich gemittelten Belastungssituationen. Dazu werden zeitlich gemittelte Bedarfswerte verwendet, wobei die Zeitschrittweite die Genauigkeit des Ergebnisses stark beeinflusst. Für die Effizienzbewertung von Kältemaschinen, die belastungsbedingt ein ausgeprägtes Teillastverhalten aufweisen, sollte diese Zeitschrittweite möglichst gering sein. Unter Beachtung der verfügbaren Bedarfsberechnungsverfahren erscheint eine monatliche Zeitschrittweite als absolut unterste Grenze der Genauigkeit, die im Vergleich zum Kennwertverfahren (Stundenverfahren) geprüft werden muss.

Für das Belastungsgradverfahren ist folgender Mindestumfang an (monatlichen) Eingangsparametern erforderlich, die z. B. mit dem Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599-2 ermittelbar sind:

- maximale monatliche Nennleistung Kälteerzeuger  $\dot{Q}_{\max, \text{mon}}$  (Erzeuger-Nennkälteleistung entspricht Maximalwert der monatlichen Kühllast)
- monatlicher Kühlenergiebedarf  $Q_{\text{mon}}$
- monatliche Kühlbetriebsstunden  $t_{\text{B, mon}}$
- mittlere monatliche Außenlufttemperatur (idealerweise während der Kühlbetriebsstunden)  $T_{\text{AU, mon}}$

Der mittlere monatlicher Anlagenbelastungsgrad  $b_{\text{mon}}$  wird nach Beziehung (2) ermittelt:

$$b_{\text{mon}} = \frac{Q_{\text{mon}}}{\dot{Q}_{\max, \text{mon}} \cdot t_{\text{B, mon}}} * \frac{\dot{Q}_{\max, \text{mon}}}{\dot{Q}_{\max, \text{a}}} \quad (14)$$

Die Erzeugereffizienz wird beim Belastungsgradverfahren analog DIN V 18599-7 Anhang B [23] unter Verwendung des mittleren monatlichen Belastungsgrades  $b_{\text{mon}}$  für nur 12 Zeitschritte ermittelt. Die Ergebnisse zeigen Abbildung 61 und Abbildung 62 in graphischer Form.

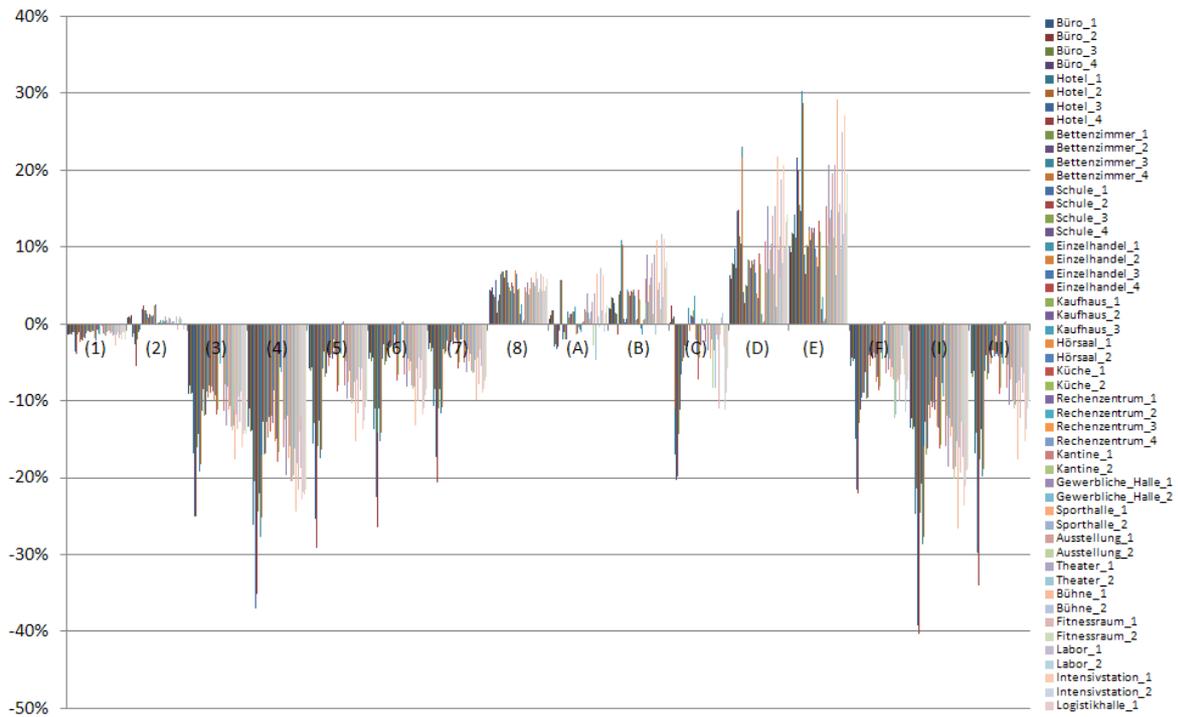


Abbildung 61: Abweichungen der Teillastkennwerte f1 (wassergekühlt) und PLV (luftgekühlt) im Monatsbilanzverfahren (Darstellung anlagenabhängig)

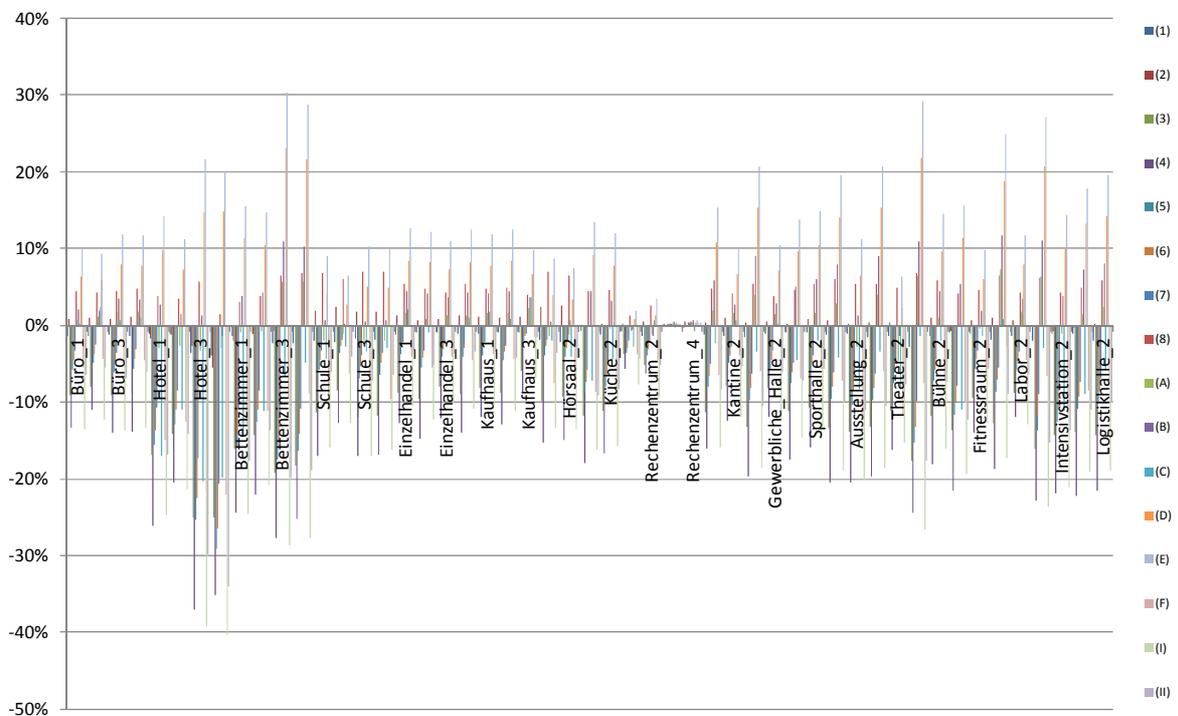


Abbildung 62: Abweichungen der Teillastkennwerte f1 (wassergekühlt) und PLV (luftgekühlt) im Monatsbilanzverfahren (Darstellung nutzungsabhängig)

Die Genauigkeit ist gegenüber dem Stundenverfahren etwas geringer, die Abweichungen betragen im Mittel zwischen 10 und 20 %. Bei einzelnen Nutzungen (Büro, Serverraum) und einzelnen Teillastregelarten (1, 2, 8, A) liegen die Abweichungen unter 10 %, bei anderen speziellen Nutzungen (Hotel, Bettenstation, Bühne) bzw. Teillastregelarten (4, E, I, II) teilweise auch deutlich über 20 %. Vorteilhaft ist, dass bei der Ermittlung des Belastungsgrades das reale Gebäude berücksichtigt werden kann. Das erscheint insbesondere dann von Vorteil, wenn die tatsächlichen nutzungsspezifischen (Raumsollwerte, innere Belastung) und baulichen Randbedingungen (Verschattung, Wärmedämmung) deutlich von den normativen Ansätzen abweichen, für die die Kennwerte im Stundenverfahren ermittelt wurden. Für die Energetische Inspektion in Bestandgebäuden erscheint das Verfahren daher prinzipiell dann gut geeignet, wenn die genannten Abweichungen von den Standardrandbedingungen gegeben sind. Der Fehler bei der Berechnung mit monatlichen Mittelwerten wird dann u.U. durch die Berücksichtigung der realen Gebäudeeigenschaften kompensiert.

### **3.2.3 Produktkennwerte für RLT-Anlagen**

#### **3.2.3.1 Energieeffizienzlabel RLT-Gerät**

Der Herstellerverband RLT-Geräte e.V. definiert in der RLT-Richtlinie 01 [25] ein Labeling für Energieeffizienzklassen Raumluftechnischer Zentralgeräte mit den Effizienzklassen A, B (seit 2007) und A+ (seit 2009) unter Beachtung folgender Einflussgrößen:

- Wärmerückgewinnungsklasse
- Elektrische Leistungsaufnahme des Ventilatormotors
- Geschwindigkeitsklasse im Gerätequerschnitt

Es handelt sich dabei um ein Hersteller-Label mit einer Qualitätssicherung durch Eigenüberwachung und TÜV-Überprüfung. Dieses wird nur vergeben, wenn alle Kriterien erfüllt sind, eine gegenseitige Anrechnung guter und schlechter Eigenschaften ist nicht zulässig. Inhaltlich handelt es sich um eine reine Gerätebetrachtung (ohne externe Druckverluste). Damit stellt die Effizienzklasse einen reinen Produktkennwert, losgelöst von den tatsächlichen Gebäudeeigenschaften und speziellen Nutzeranforderungen, dar. Zudem ist die Effizienzklasse ein reiner Leistungskennwert ohne Berücksichtigung des Teillastverhaltens (Betriebsverhalten bei Volumenstromregelung). Tabelle 35 zeigt die Zuordnung zu den Effizienzklassen.

Tabelle 35: Effizienzklassen für RLT-Geräte nach RLT-Richtlinie 01 (Ausgabe 2009) [25]

Geräteausführung	Effizienzklasse A+	Effizienzklasse A	Effizienzklasse B
<b>Geschwindigkeitsklassen nach DIN EN 13053 [26]</b>			
ohne thermodynamische Luftbehandlung	V4 (2,0... 2,2m/s)	V4 (2,0... 2,2m/s)	V5 (2,2... 2,5m/s)
mit Lufterwärmung	V3 (1,8... 2,0m/s)	V3 (1,8... 2,0m/s)	V4 (2,0... 2,2m/s)
mit weiteren Funktionen	V2 (1,6... 1,8m/s)	V2 (1,6... 1,8m/s)	V3 (1,8... 2,0m/s)
<b>Leistungsaufnahme Ventilator <math>P_{m,max}</math></b>	0,90 x $P_{m,ref}$	0,95 x $P_{m,ref}$	1,00 x $P_{m,ref}$
<b>Leistungsklasse nach DIN EN 13053</b>	Klasse P2	Klasse P3	Klasse P4
<b>Wärmerückgewinnungsklasse nach DIN EN 13053 [26]</b>	H1	H2	H3

Anhand der dargestellten Parameter ist keine direkte Aussage über die Einhaltung der EnEV-Anforderungswerte (z.B. §15, Referenzwert) ableitbar. Durch die Beschränkung auf die drei dargestellten Parameter und die internen Geräteeigenschaften ist auch keine direkte Umrechnung, z.B. in einen EnEV-konformen Vergleichsmaßstab (z. B. Teilkennwert RLT) möglich. Umgekehrt kann anhand des Messumfangs der Energetischen Inspektion die Effizienzklasse nach RLT-Richtlinie 01 [25] ermittelt werden. Ggf. ist dafür eine zusätzliche, in der Regel unproblematische Messung der externen Druckverluste erforderlich. Das ermöglicht eine Nachprüfung der Effizienzklasse im Einbauzustand.

Die Kenntnis des Effizienzkenwertes nach RLT-Richtlinie 01 [25] in der derzeitigen Form ersetzt nicht die vorgesehene Betrachtungsweise nach DIN SPEC 15240 [1] zur Überprüfung der Anlageneffizienz. Es sind zwei Wege denkbar, die Effizienzklassen nach Herstellerverband im Rahmen der Energetischen Inspektion dennoch ansatzweise zu verwenden:

## 1. Verwendung der Effizienzklassen für die energetische Bewertung im Rahmen der Energetischen Inspektion

Die Effizienzklasse lässt eine direkte Bewertung der Qualität der WRG-Systems zu. Bereits Effizienzklasse B erfüllt dabei die Anforderungen nach EnEV 2009 §15.

Eine Limitierung der Geschwindigkeiten im Gerätequerschnitt ist verordnungsrechtlich nicht vorgegeben.

Die Effizienz des Antriebssystems wird in der EnEV durch den SFP-Wert limitiert, der das Gesamtsystem RLT-Gerät einschl. Kanalnetz bewertet. Gemäß RLT-Richtlinie 01 [25] wird über die Effizienzklasse indirekt die Ventilator-Leistungsklasse definiert. Das ermöglicht anhand der gemessenen statischen Druckes und des Volumenstromes eine näherungsweise Bestimmung der tatsächlichen Wirkleistung gemäß DIN EN 13053 [26]. Daraus kann der SFP-Wert des Gesamtsystems ermittelt und eine Aussage über die energetische Qualität des Antriebssystems im Vergleich zu den gesetzlichen Anforderungen abgeleitet werden. Auf die Wirkleistungsmessung kann somit verzichtet werden. Da diese im Vergleich zur Volumenstrommessung einen unwesentlichen Aufwand darstellt, trägt dieses Vorgehen zu keiner besonderen Verbesserung in der Durchführungsqualität bei, kann aber in bestimmten Situationen (z. B. bei nachgewiesenen unzulänglicher Wirkdruckmessung) geeignet sein.

## 2. vergleichende Ermittlung der Effizienzklassen im Zuge der Energetischen Inspektion

Im Zuge der energetischen Inspektion werden prinzipiell alle für die Ermittlung der Effizienzklasse erforderlichen Daten erhoben. Anhand dieser kann die Effizienzklasse vergleichend unter Praxisbedingungen mit den tatsächlichen externen Druckverlusten ermittelt werden. Hier ist zu beachten, dass die Bedingungen für die Effizienzklassen im Zuge der Anpassung an Europäische Norm DIN EN 13053 [26] bereits fortgeschrieben wurden (RLT-Richtlinie 01 Ausgabe 2011) und weiter fortgeschrieben werden müssen. Insbesondere sind zukünftig die Anforderungen der relevanten ErP-Richtlinien zu beachten. Perspektivisch unter Beachtung der Produkt-Anforderungen nach den ErP-Richtlinien zu Ventilatoren EU 327/2011 [27] und Lüftungsgeräten (ENTR Lot 6 und ENER Lot 10) muss eine Schnittstelle zwischen produktspezifischen Geräteanforderungen und systemabhängigen Energiekennwerten geschaffen werden. Die Anforderungen der ErP-Richtlinie Ventilatoren EU 327/2011 [27] sind z.B. deutlich höher als in der RLT-Richtlinie 01 [25] für Effizienzklasse A+.

Unter Beachtung der veröffentlichten und ab 2013 geltenden Richtlinie EU 327/2011 [27] sind bei der Geräteauslegung zukünftig Mindesteffizienzwerte für Ventilatoren einzuhalten. Abbildung 63 zeigt den Systemwirkungsgrad für ein Antriebssystem mit verschiedenen Leistungsklassen nach DIN EN 13035 (P4, P2, P1) [26] mit einem Luftvolumenstrom von 10.000 m<sup>3</sup>/h. Es wird deutlich, dass ab 2013 nur noch Ventilatoren der Klasse P1 die Zielenergieeffizienz nach ErP-Richtlinie EU327/2011 [27] erreichen. Damit müssen perspektivisch die aktuell höchsten Anforderungen der Effizienzklasse A+ gemäß RLT-Richtlinie 01 [25] mit Leistungsklasse P1 noch übererfüllt werden.

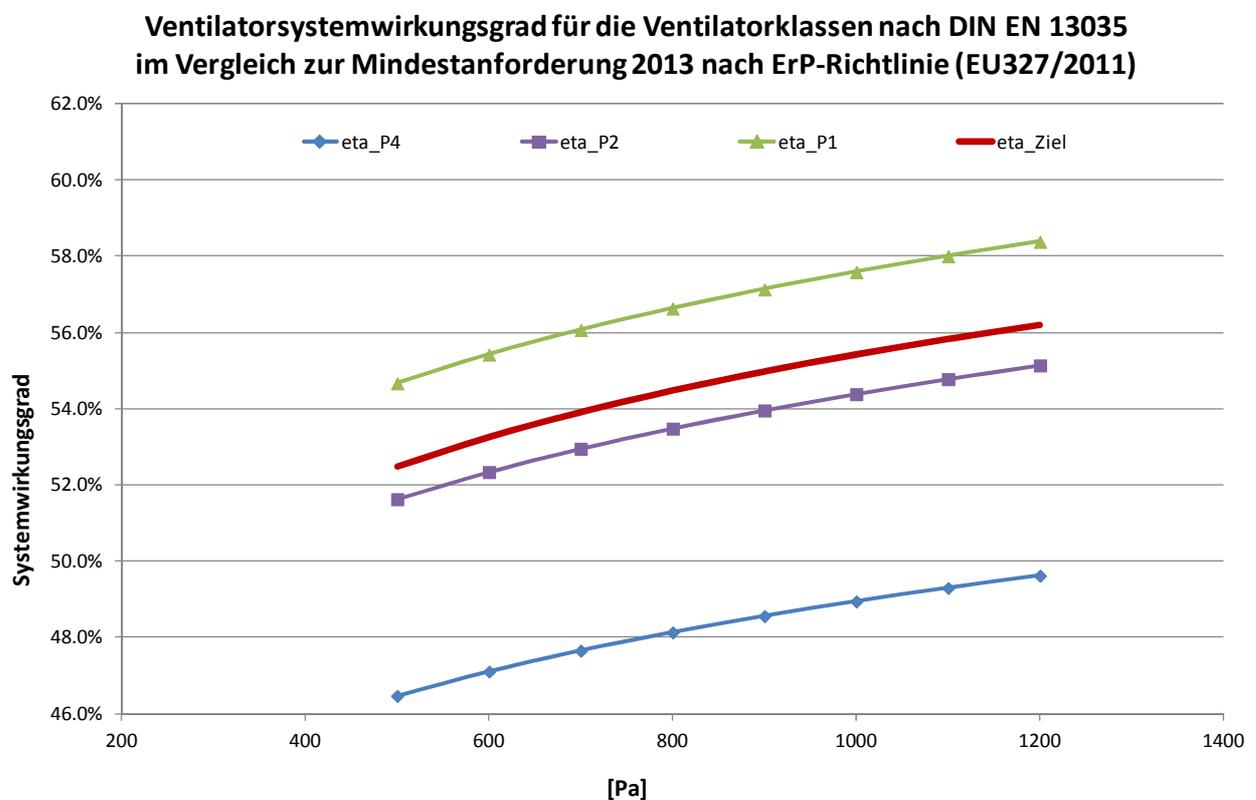


Abbildung 63: Ventilatorsystemwirkungsgrad für die Ventilatorklassen nach DIN EN 13035 im Vergleich zur Mindestanforderung 2013 nach ErP-Richtlinie (EU327/2011)

Es wird zukünftig also notwendig sein, die energetischen Anforderungen vom Produkt über das Gerät hin zum Anlagensystem einheitlich zu bewerten. Die augenblickliche Situation erlaubt diese Betrachtungsweise nicht. Aufgrund der Verfügbarkeit des Effizienzlabels nach RLT-Richtlinie 01 [24] frühestens ab dem Gerätebaujahr 2007 ist es für die Bewertung von Bestandsanlagen heute noch nicht interessant.

### 3.2.4 Produktkennwerte für Kälteanlagen

Die Verwendung von Produktkennwerten für den Nennleistungsbetrieb ist für Kälteanlagen nach DIN EN 15240 [1] bereits möglich. Voraussetzung ist, dass die Kennwerte gemäß den entsprechenden Produktnormen (z.B. DIN EN 14511 [28]) ermittelt wurden. Im Zuge des nationalen Bewertungsverfahrens erfolgt dann eine Umrechnung auf die Standardsystemrandbedingungen.

Für teillastabhängige Jahreskennwerte (z.B. IPLV, ESEER) ist bisher keine Umrechnungsvorschrift definiert. Grund dafür ist, dass diese Jahreskennwerte aus Sicht der klimatischen und nutzungsspezifischen Randbedingungen nicht kompatibel zu den nationalen Kennwerten sind.

#### 3.2.4.1 Berechnungsrundbedingungen

Der ARI-Standard 550/590 [29] des Institut AHRI (Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute, vorher ARI) definiert seit 1992 einen Kennwert IPLV (Integrated Part Load Value) zur Berechnung des Teillastverhaltens von Kältemaschinen. Im Jahr 2003 wurde diese Norm aktualisiert und zuletzt im Jahr 2011 überarbeitet. Die Berechnungsvorschrift für den Kennwert IPLV lautet:

$$\text{IPLV} = A \times \text{EER}_{100\%} + B \times \text{EER}_{75\%} + C \times \text{EER}_{50\%} + D \times \text{EER}_{25\%} \quad (15)$$

Die Eingangsparameter zur Messung und Berechnung zeigt Tabelle 36.

Tabelle 36: Randbedingungen zur Ermittlung von IPLV (nach ARI550/590)

Laststufe	Außenlufttemperatur [°C]	Kühlwassereintritts- temperatur [°C]	Wichtungsfaktoren (A, B, C, D)
100 %	35,0	29,4	1 %
75 %	26,7	23,9	42 %
50 %	18,3	18,3	45 %
25 %	12,8	18,3	12 %

Dem IPLV-Verfahren entsprechend wurde in einer europäischen Studie im Rahmen des europäischen SAVE-Programms [30] im Jahr 2003 einen Kennwert ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) unter Berücksichtigung europäischer Witterungsbedingungen definiert. Mit dem ESEER beurteilt die Eurovent Certification (Tochter von Eurovent/Cecomaf, des europäischen Dachverbands der Heizungs-, Lüftungs-, Kälte- und Klimaindustrie, mit Sitz in Brüssel) seit Herbst 2006 die Jahresleistungszahl für die Kaltwassersätze in Europa. Die Berechnungsvorschrift ist

analog der des IPLV, jedoch sind die Wichtungsfaktoren A, B, C und D gemäß Tabelle 37 europäisch anders festgelegt.

Tabelle 37: Randbedingungen zur Ermittlung von ESEER (nach DIN EN 14825 [30])

Laststufe	Außenlufttemperatur [°C]	Kühlwassereintritts-temperatur [°C]	Wichtungsfaktoren (A, B, C, D)
100 %	35	30	3 %
75 %	30	26	33 %
50 %	25	22	41 %
25 %	20	18	23 %

Inhaltlich werden zur Ermittlung von IPLV und ESEER für vier definierte Teillastzustände Häufigkeitsverteilungen vorgegeben und diese mit den Teillast-EERs der jeweiligen Leistungsstufe bei vorgegebenen Rückkühlbedingungen ausmultipliziert. Durch die Festschreibung der Lasthäufigkeit sind die Gebäudeeigenschaften und Nutzungsanforderungen indirekt als konstant vorgegeben, obwohl unterschiedliche Bauweisen und Nutzungen sehr unterschiedliche Lastprofile und damit Lasthäufigkeiten erzeugen. Daneben sind die Rückkühlbedingungen fest an die Laststufe gebunden, was praktisch nutzungsabhängig stark variieren kann und maßgeblich von der Betriebszeit der Kältemaschine bzw. Nutzungszeit des Kälteversorgungsbereiches abhängt.

Bei der SEER-Kennwertermittlung nach DIN V 18599-7 [23] liegt dagegen ein Stundenverfahren zugrunde, bei dem sowohl die Außenluft- bzw. Kühlwassertemperatur als auch die im Berechnungsschritt aktuelle Kühllast mit dem tatsächlichen Teillast-EER der Kältemaschine im Stunden-schritt in Korrelation gebracht wird. Dieses Berechnungsverfahren ist damit deutlich exakter, aber auch deutlich aufwändiger als die IPLV- und ESEER-Bewertung. Zudem sind die Lasthäufigkeiten auf nationale Witterungsbedingungen zugeschnitten. Abbildung 64 zeigt den Verlauf der angenommenen Teillasthäufigkeit in Abhängigkeit der Laststufe für die drei beschriebenen Verfahren, wobei für Deutschland ein Mittelwert aus allen Nutzungen nach DIN V 18599-10 [32] zugrunde gelegt ist.

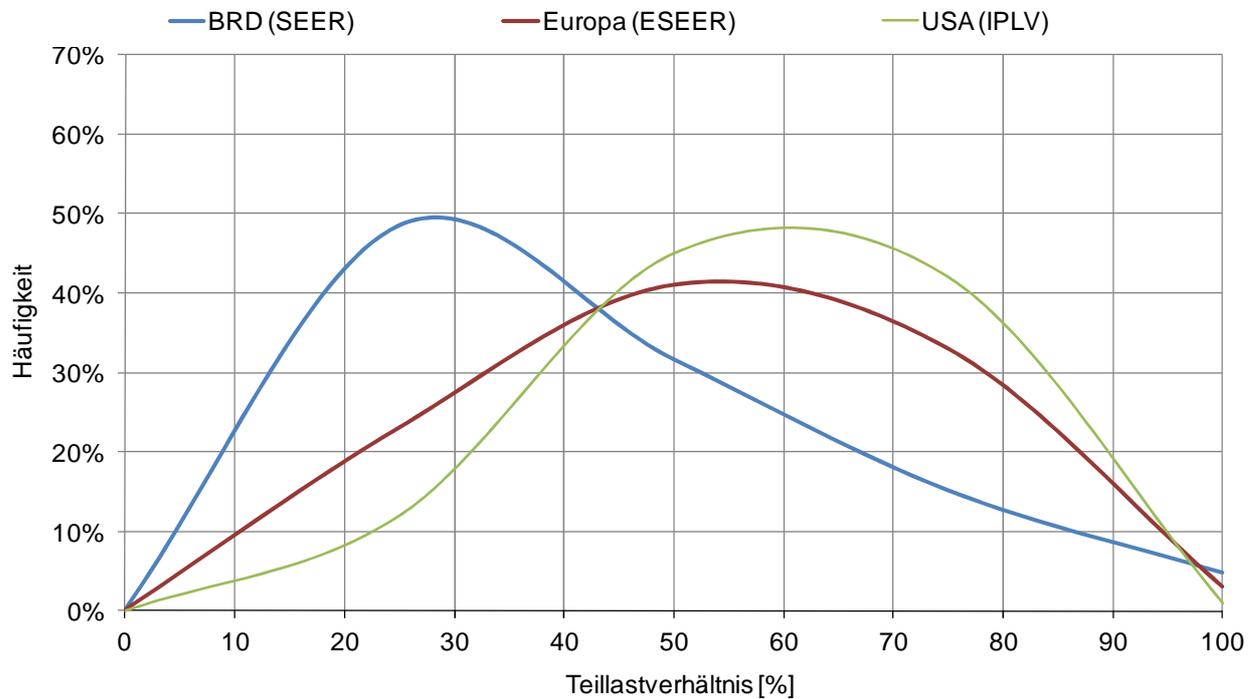


Abbildung 64: Vergleich der Teillasthäufigkeit für IPLV, ESEER und SEER

Während in Deutschland die größte Teillasthäufigkeit im Bereich um 30 % Nennleistung auftritt, ist das in Europa und Amerika bei 50 bis 60 % Nennleistung der Fall. Dieses Verhalten ist den zugrunde gelegten Witterungsbedingungen geschuldet, die für Europa einen Mittelwert aus den Standorten Mailand, London und Sevilla darstellen und damit südeuropäische Witterungsbedingungen mit höherer Wichtung berücksichtigen.

Neben der Lasthäufigkeit weichen die Rückkühlbedingungen der einzelnen Verfahren voneinander ab, sodass eine direkte Verwendung im nationalen Verfahren fehlerbehaftet wäre. Abbildung 65 und Abbildung 66 zeigen die zugrunde liegenden Außenluftbedingungen für luftgekühlte und wassergekühlte Kältemaschinen für die drei beschriebenen Verfahren, wobei für Deutschland wieder ein Mittelwert aus allen Nutzungen nach DINV 18599-10 [32] zugrunde gelegt ist.

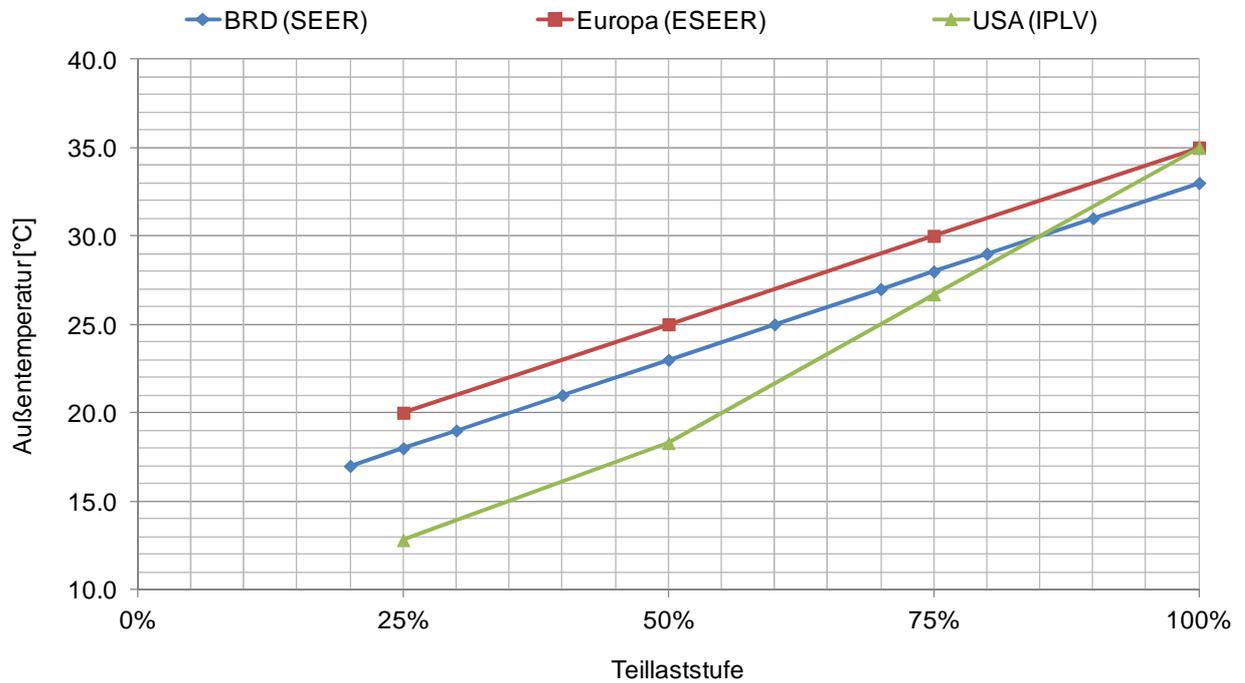


Abbildung 65: Vergleich der Außenlufttemperaturen für luftgekühlte Kältemaschinen bei IPLV, ESEER und SEER

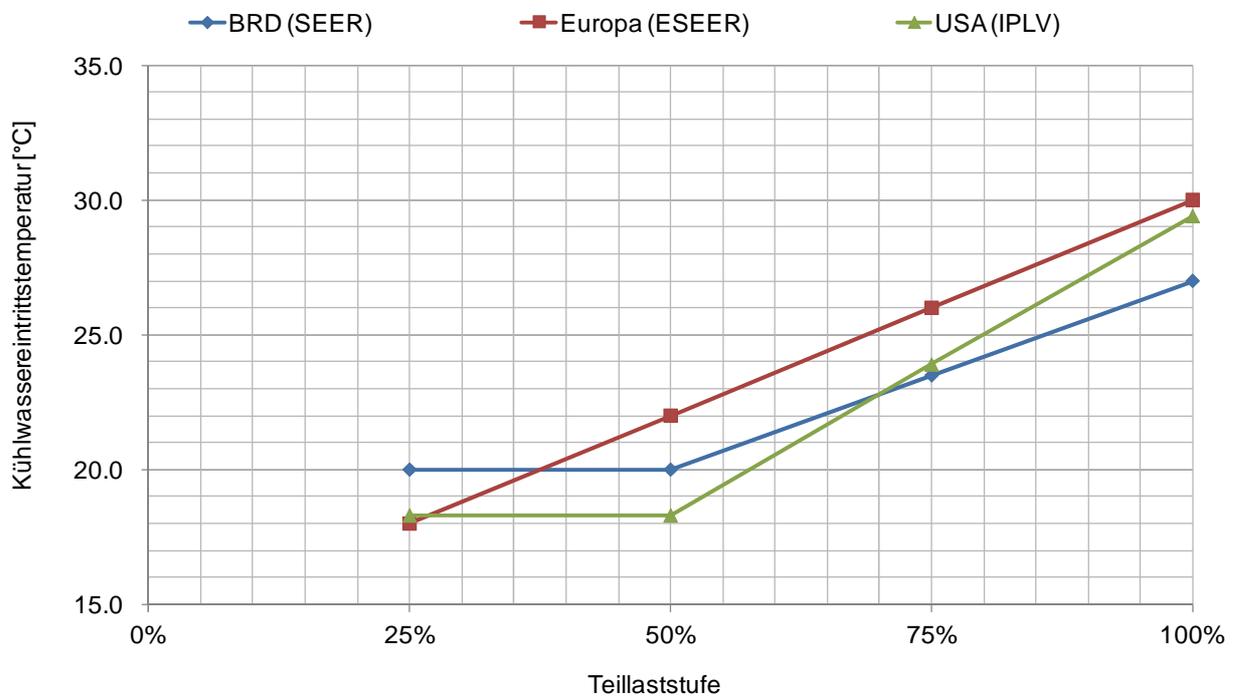


Abbildung 66: Vergleich der Außenlufttemperaturen für wassergekühlte Kältemaschinen (Verdunstungskühler) bei IPLV, ESEER und SEER

Für eine grobe Abschätzung der Maschineneffizienz im Rahmen der energetischen Inspektion wäre ein einfach handhabbares explizites Bewertungsverfahren auf Basis von IPLV und ESEER insbesondere für Kältemaschinen wünschenswert, die im Berechnungsverfahren der DIN V 18599-7 [23] nicht als Standardtechnologien bewertbar sind. Einerseits sollte dabei die tatsächliche Nutzung und globale Lage ausreichend genau eingehen, andererseits erscheint eine Betrachtung von 4 Teillaststufen ausreichend genau. Aufgrund der Abweichungen in den Randbedingungen bei der Kennwertermittlung ist eine direkte Umrechnung der ausmultiplizierten IPLV- bzw. ESEER-Werte in den SEER jedoch nicht möglich. Nachteilig ist zudem, dass in Herstellerunterlagen in der Regel nur die ausmultiplizierten Werte und nicht die Teillast-EER-Werte der 4 Teillaststufen angegeben werden.

### 3.2.4.2 Vergleich mit nationalen Energiekennwerten

Betrachtet man für die gleiche Kältemaschine den ESEER- und IPLV-Wert im Vergleich zu den nutzungsabhängigen SEER-Werten nach DIN V 18599-7 [23] zeigt sich eine zum Teil deutliche Abweichung der Werte. Abbildung 67 bis Abbildung 69 zeigen diese beispielhaft für drei verschiedene Teillastregelarten.

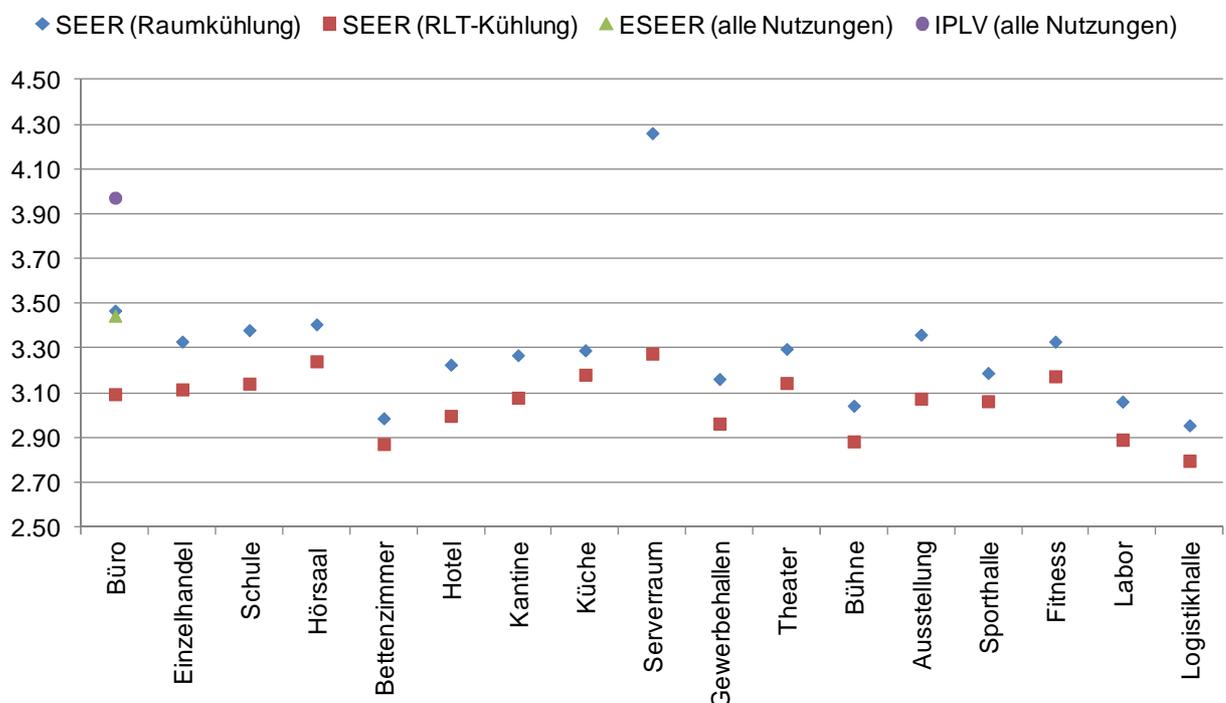


Abbildung 67: Vergleich IPLV, ESEER und SEER für Teillastregelart (B)

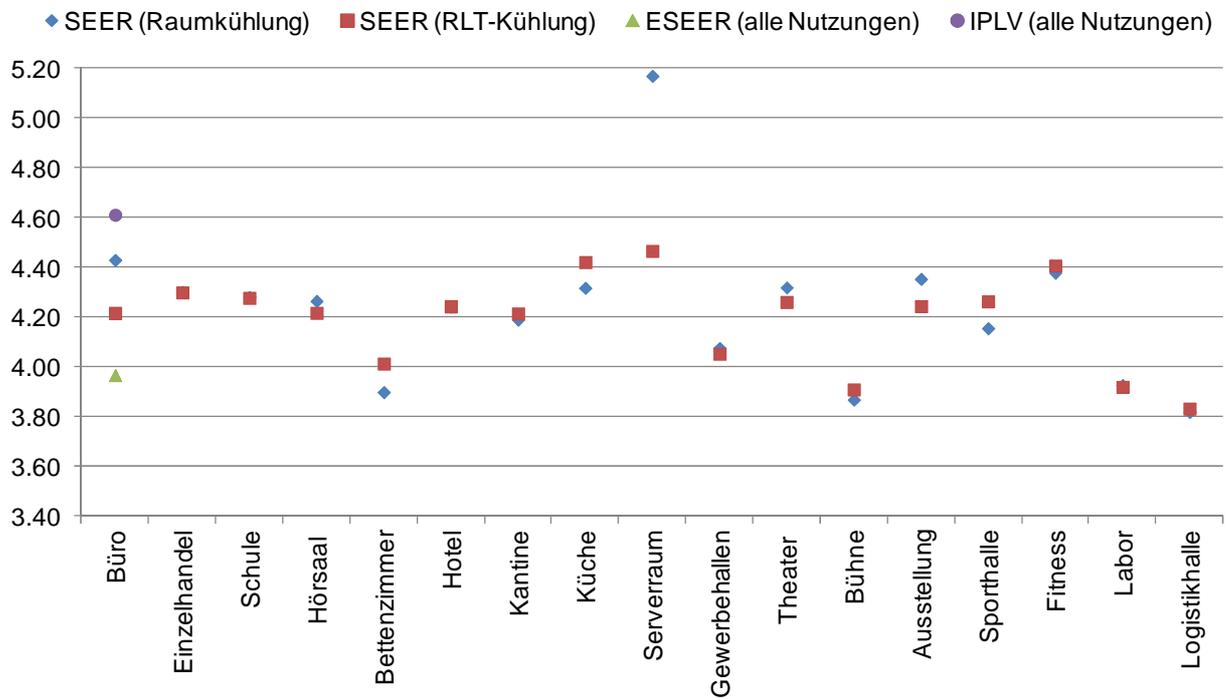


Abbildung 68: Vergleich IPLV, ESEER und SEER für Teillastregelart (D)

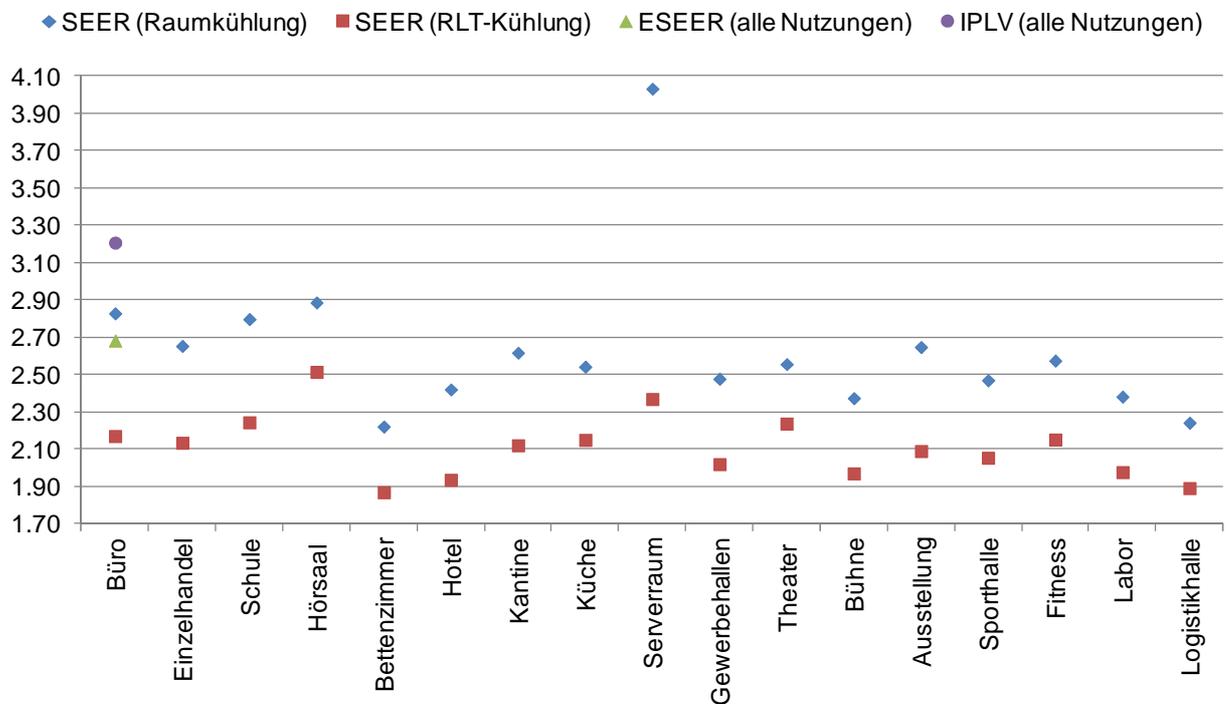


Abbildung 69: Vergleich IPLV, ESEER und SEER für Teillastregelart (F)

Eine uneingeschränkte Verwendung der (ausmultiplizierten) energetischen Kennwerte IPLV und ESEER im Rahmen nationaler Energiebedarfsberechnungen kann damit nicht empfohlen werden. In der Regel wird die Effizienz der Kältemaschinen zu gut bewertet. Die Abweichung zum SEER bei der Verwendung von IPLV beträgt bis zu +35 % beim ESEER bis zu +25 %. Es ist jedoch möglich allgemeine Tendenzen abzuleiten, da die Relation der Kennwerte zueinander korrekt abgebildet ist. Eine Kältemaschine mit höherem IPLV bzw. ESEER wird auch immer einen höheren SEER besitzen, als eine tendenziell weniger effiziente Maschine mit geringerem IPLV bzw. ESEER. Diese Aussage kann im Rahmen der energetischen Inspektion im Zuge der Wirkungsgradermittlung verwendet werden, allerdings sind die nationalen Referenzwerte (SEER, PLV) dann als Vergleichsmaßstab nicht geeignet.

### **3.2.4.3 Umrechnungsverfahren**

Eine Möglichkeit zur weiteren Annäherung der nationalen und internationalen Bewertungsmaßstäbe ist nur dann gegeben, wenn neben dem ausmultiplizierten (Gesamt-)Kennwert auch die zu den 4 Laststufen gehörenden Teillasteffizienzgrößen  $EER_{100}$ ,  $EER_{75}$ ,  $EER_{50}$ ,  $EER_{25}$  aus Herstellerunterlagen bekannt sind. In diesem Fall kann eine Temperaturkorrektur erfolgen, bei der die internationalen Randbedingungen auf die nationalen Bedingungen in jeder der vier Laststufen getrennt umgerechnet werden. Daneben kann dann noch eine auf der tatsächlichen Nutzung beruhende Laststufenhäufigkeit zur Berechnung des Gesamtkennwertes verwendet werden. Damit ist eine bessere Übereinstimmung bei den Berechnungsrandbedingungen zu erreichen, die dann auch eine objektive Vergleichbarkeit mit nationalen Referenzwerten möglich macht.

Die anhand der Carnotbetrachtung ermittelten Temperaturumrechnungsfaktoren zeigen Tabelle 38 bis Tabelle 40. Für wassergekühlte Kältemaschinen wird in der internationalen Kennwertbetrachtung ausschließlich das Temperaturniveau der Verdunstungsrückkühlung berücksichtigt. Für Trockenkühler mit höherem Kühlwassertemperaturniveau sind die Umrechnungsfaktoren daher besonders groß.

Tabelle 38: Umrechnungsfaktoren für luftgekühlte Kältemaschinen

Teillast- stufe n	Luft Eintrittstemperatur $t_A$ [°C]			Kaltwassertemperaturen Aus/Ein [°C]			Leistungszahl (mittl. Gütegrad 0.5)			Umrechnungsfaktor $EER_n$	
	SEER	ESEER	IPLV	SEER	ESEER	IPLV	SEER	ESEER	IPLV	SEER / ESEER	SEER / IPLV
25%	18.0	20.0	12.8	6 / 7,5	7 / 8,3	6,7 / 8,1	5.29	5.11	6.86	<b>1.03</b>	<b>0.77</b>
50%	23.0	25.0	18.3	6 / 9	7 / 9,5	6,7 / 9,5	4.44	4.31	5.39	<b>1.03</b>	<b>0.82</b>
75%	28.0	30.0	26.7	6 / 10,5	7 / 10,8	6,7 / 10,8	3.82	3.73	4.06	<b>1.02</b>	<b>0.94</b>
100%	33.0	35.0	35.0	6 / 12	7 / 12	6,7 / 12,2	3.36	3.29	3.26	<b>1.02</b>	<b>1.03</b>

Tabelle 39: Umrechnungsfaktoren für wassergekühlte Kältemaschinen mit Verdunstungskühler

Teillast- stufe n	Kühlwassertemperaturen EIN/AUS [°C]			Kaltwassertemperaturen Aus/Ein [°C]			Leistungszahl (mittl. Gütegrad 0.5)			Umrechnungsfaktor $EER_n$	
	SEER	ESEER	IPLV	SEER	ESEER	IPLV	SEER	ESEER	IPLV	SEER / ESEER	SEER / IPLV
25%	18 / 19.5	18 / 19.3	18.3 / 19.8	6 / 7,5	7 / 8,3	6,7 / 8,1	5.85	6.19	5.97	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>
50%	21 / 24	22 / 24.5	18.3 / 21.2	6 / 9	7 / 9,5	6,7 / 9,5	4.91	5.02	5.63	<b>0.98</b>	<b>0.87</b>
75%	24 / 28.5	26 / 29.8	23.9 / 28.1	6 / 10,5	7 / 10,8	6,7 / 10,8	4.23	4.21	4.39	<b>1.01</b>	<b>0.96</b>
100%	27 / 33	30 / 35	29.4 / 35	6 / 12	7 / 12	6,7 / 12,2	3.72	3.63	3.60	<b>1.02</b>	<b>1.03</b>

Tabelle 40: Umrechnungsfaktoren für wassergekühlte Kältemaschinen mit Trockenrückkühler

Teillast- stufe n	Kühlwassertemperaturen EIN/AUS [°C]			Kaltwassertemperaturen Aus/Ein [°C]			Leistungszahl (mittl. Gütegrad 0.5)			Umrechnungsfaktor $EER_n$	
	SEER	ESEER	IPLV	SEER	ESEER	IPLV	SEER	ESEER	IPLV	SEER / ESEER	SEER / IPLV
25%	23.3 / 24.6	18 / 19.3	18.3 / 19.8	6 / 7,5	7 / 8,3	6,7 / 8,1	5.19	6.83	5.97	<b>0.76</b>	<b>0.87</b>
50%	28.8 / 31.3	22 / 24.5	18.3 / 21.2	6 / 9	7 / 9,5	6,7 / 9,5	4.15	5.43	5.63	<b>0.76</b>	<b>0.74</b>
75%	34.4 / 38.1	26 / 29.8	23.9 / 28.1	6 / 10,5	7 / 10,8	6,7 / 10,8	3.44	4.50	4.39	<b>0.77</b>	<b>0.78</b>
100%	40 / 45	30 / 35	29.4 / 35	6 / 12	7 / 12	6,7 / 12,2	2.94	3.85	3.60	<b>0.76</b>	<b>0.82</b>

Tabelle 41 zeigt die an die internationale Normung angepasste 4-stufige Häufigkeitsverteilung auf Basis nationaler Witterungsbedingungen und Nutzungsszenarien nach DIN V 18599-10.

Tabelle 41: Wichtungsfaktoren für Nutzungsprofile nach DIN V 18599-7 (nur Raumkühlung)

Laststufe	Büro (A, B, C, D)	Schule (A, B, C, D)	Bettenstation (A, B, C, D)	Serverraum (A, B, C, D)
100 %	4 %	9 %	4 %	33 %
75 %	23 %	22 %	9 %	56 %
50 %	38 %	33 %	27 %	11 %
25 %	35 %	35 %	60 %	0 %

Eine exakte Übereinstimmung der temperaturkorrigierten und neu gewichteten Produktkennwerten mit dem auf Stundenbasis ermittelten SEER wird dennoch nicht möglich sein, da durch die summative Betrachtung Einzeleinflüsse verwaschen werden. Insbesondere die Temperaturabhängigkeit bei der Rückkühlung ist im Stundenschritt deutlich exakter abbildbar und führt teilweise zu ungenaueren Ergebnissen bei der Verwendung der Produktkennwerte. Tabelle 42 zeigt die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen. Abweichungen über 10 % sind rot markiert.

Tabelle 42: Produkt-SEER für Nutzungsprofile nach DIN V 18599-7 (nur Raumkühlung)

Teillastregelart	SEER Büro	ESEER	IPLV	Produkt-SEER
(B)	3.47	3.45	3.97	<b>3.76</b>
		-1%	<b>15%</b>	8%
(D)	4.43	3.97	4.61	<b>4.49</b>
		<b>-10%</b>	4%	1%
(F)	2.83	2.68	3.21	<b>2.78</b>
		-5%	<b>13%</b>	-2%
Teillastregelart	SEER Schule	ESEER	IPLV	Produkt-SEER
(B)	3.38	3.45	3.97	<b>3.71</b>
		2%	<b>18%</b>	9.8%
(D)	4.28	3.97	4.61	<b>4.42</b>
		-7%	8%	3%
(F)	2.80	2.68	3.21	<b>2.77</b>
		-4%	<b>15%</b>	-1%
Teillastregelart	SEER Serverraum	ESEER	IPLV	Produkt-SEER
(B)	4.26	3.45	3.97	<b>3.12</b>
		<b>-19%</b>	-7%	<b>-27%</b>
(D)	5.17	3.97	4.61	<b>3.35</b>
		<b>-23%</b>	<b>-11%</b>	<b>-35%</b>
(F)	4.03	2.68	3.21	<b>2.88</b>
		<b>-33%</b>	<b>-20%</b>	<b>-29%</b>
Teillastregelart	SEER Bettenstation	ESEER	IPLV	Produkt-SEER
(B)	2.99	3.45	3.97	<b>3.96</b>
		<b>15%</b>	<b>33%</b>	<b>33%</b>
(D)	3.90	3.97	4.61	<b>4.91</b>
		2%	<b>18%</b>	<b>26%</b>
(F)	2.22	2.68	3.21	<b>2.66</b>
		<b>21%</b>	<b>44%</b>	<b>20%</b>

Die Übereinstimmung des Produkt-SEER mit den SEER-Werten nach DIN V 18599-7 [23] ist bei den Nutzungen Büro und Serverraum insbesondere bei Teillastregelart (D) und (F) als sehr gut einzuschätzen. Größere Abweichungen zeigen sich bei den „extremen“ Nutzungsprofilen Serverraum und Bettenstation, wo ein 24-stündiger Anlagenbetrieb vor allem auch in der Übergangszeit bei tendenziell geringeren Außenlufttemperaturen (Serverraum) und bzw. nachts bei sehr geringer Teillast (Bettenstation) stattfindet. Hier müssten für eine weitere Verbesserung der Genauigkeit neben nutzungsabhängigen Wichtungsfaktoren auch nutzungsabhängige Rückkühlbedingungen vorgegeben werden.

### 3.3 Kurzverfahren zur Prüfung der Anlagendimensionierung

#### 3.3.1 Allgemeines

Im Rahmen der Energetischen Inspektion ist eine Prüfung der Anlagendimensionierung und ein Abgleich mit dem tatsächlichen Kühlbedarf durchzuführen. Diesem Punkt kommt eine zentrale Bedeutung zu, da die Vermeidung des Energiebedarfs vor der Optimierung der Energiebedarfsdeckung erfolgen muss. Aus der praktischen Erfahrung zeigt sich, dass das hinter diesem Ansatz steckende Potential häufig nicht erschlossen wird. Maßgeblich trägt der potentiell hohe Aufwand für die Durchführung dieses Bedarfsabgleichs, insbesondere der Kühlbedarfsermittlung, dazu bei.

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes werden bekannte Verfahren zur Kühllastabschätzung hinsichtlich Ihrer Eignung für die Energetische Inspektion untersucht und das Aufwand-/Nutzen-Verhältnis aus zeitlicher Sicht bewertet. Darüber hinaus wird unter Verwendung der ermittelten wesentlichen Kriterien für die Prüfung der Anlagendimensionierung ein Kurzverfahren abgeleitet.

#### 3.3.2 Gesamtkühllast

Im Rahmen der energetischen Inspektion ist die Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes zu prüfen. Dazu ist die sich aus der augenblicklichen Nutzung ergebende tatsächliche Kühllast der jeweiligen Kälteversorgungsbereiche und die Kälteleistung der thermischen Luftaufbereitung der versorgten RLT-Geräte mit der installierten Gesamtkälteleistung zu vergleichen. Anhand dieses Vergleiches kann eine Aussage über eine Überdimensionierung der Anlagentechnik oder eine Unterversorgung der Gebäudezonen getroffen werden. Die Gesamtkühllast des (Kälte-)Versorgungsbereiches kann für jede Kältemaschine getrennt nach Gleichung (16) überschlägig ermittelt werden:

$$\dot{Q}_{C,Ges,i} = \left[ \sum_1^n (\dot{q}_{C,Zone,n} \cdot A_{Zone,n}) + \sum_1^j \dot{Q}_{C,RLT,j} \right] \cdot f_C \quad (16)$$

mit  $\dot{Q}_{C,Ges,i}$  .... Gesamtkühllast des Kälteversorgungsbereiches i

$\dot{q}_{C,Zone,n}$  .... spez. Kühllast der Zone n (ohne Luftaufbereitung)

$A_{Zone,n}$  .... gekühlte Nutzfläche der Zone n

$\dot{Q}_{C,RLT,j}$  .... Kühlleistung zur Luftaufbereitung der angeschlossenen RLT-Kühlregister j

$f_C$  .... Faktor für Speicher-, Entfeuchtungs-, Verteil- und Übergabeverluste

### 3.3.3 Kühlleistung der thermischen Luftaufbereitung

Die Kühlleistung zur Luftaufbereitung der RLT-Kühlregister kann nach Gleichung (17) ermittelt werden. Für den Luftvolumenstrom ist der gemessene Wert des Außenluftvolumenstromes einzusetzen. Bei RLT-Anlagen mit Zonenkühlern kann der gebäudeabhängige oder personenabhängige Außenluftvolumenstrom nach DIN EN 15251 [33] verwendet werden.

$$\dot{Q}_{C,RLT,j} = \dot{V}_{L,AU,j} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_{AU} - \vartheta_R) + \dot{Q}_{C,Entf,j} \quad (17)$$

mit  $\dot{V}_{L,AU,j}$  .... Außenluftvolumenstrom des RLT-Gerätes j  
 $\vartheta_{AU}$  .... max. Außenlufttemperatur am Gebäudestandort  
 $\vartheta_R$  .... Raumtemperatursollwert (ggf. Mittelwert der Zonen n)  
 $\dot{Q}_{C,Entf,j}$  .... Entfeuchtungsleistung des RLT-Gerätes j (nur bei geregelter Entfeuchtung)

Bei Anlagen mit geregelter Luftentfeuchtung durch Kondensation am Kühlregister kann die latente Kälteleistung separat nach Gleichung (18) ermittelt werden.

$$\dot{Q}_{C,Entf,j} = \dot{V}_{L,AU,j} \cdot \rho_L \cdot r_0 \cdot (x_{AU} - x_{ZU}) \quad (18)$$

mit  $r_0$  .... Kondensationsenthalpie  
 $x_{AU}$  .... max. Außenluftwassergehalt am Gebäudestandort  
 $x_{ZU}$  .... Zuluftwassergehalt

Ein zusätzlicher Leistungsbedarf der Kältemaschine für Sonderkühlzwecke (z.B. für technologischer Kühlwasserbedarf) ist mit einem geeigneten Berechnungsverfahren zu ermitteln und separat zu berücksichtigen.

### 3.3.4 Gebäudekühllast

Die spezifische Kühllast der Nutzungszonen ist mit einem geeigneten Verfahren überschlägig zu ermitteln. Im Rahmen der energetischen Inspektion ist dafür ein einfach und schnell handhabbares Verfahren mit einer für die Kernaussage (Prüfung der Anlagendimensionierung) ausreichenden Genauigkeit erforderlich. Tabelle 43 zeigt verschiedene bekannte Verfahren und deren Eignung im Kontext der Energetischen Inspektion.

Tabelle 43: Übersicht und Bewertung der Eignung verschiedener Verfahren zur Kühllastberechnung im Rahmen der Energetischen Inspektion

Berechnungsverfahren	Aufwand für die Datenaufnahme	Aufwand für die Berechnung	erreichbare Genauigkeit
Statische Verfahren	mittel	gering	sehr gering
Benchmarkverfahren	gering	gering	gering
VDI 2078 (1996) Kurzverfahren	hoch	mittel	gering
VDI 2078 (1996) EDV-Verfahren	sehr hoch	hoch	mittel
VDI 2078 (2012) Abschätzverfahren	mittel	mittel	hoch
VDI 2078 (2012) EDV-Verfahren	sehr hoch	hoch	sehr hoch
Thermisch energetische Gebäudesimulation	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch

### 3.3.4.1 Statische Verfahren

Bei statischen Verfahren erfolgt eine Bewertung der Kühllast durch eine kumulierte Betrachtung einzelner Einflussfaktoren (z. B. innere, äußere Belastungen) ohne Berücksichtigung des realen Speicherverhaltens und des zeitlichen Verlaufs der Belastung. Sie werden in der Regel in Auslegungsprogrammen von Herstellern einschlägiger Kühlsysteme im unteren Leistungsbereich (z.B. Split-Systeme) verwendet und neigen aufgrund der oben genannten Effekte zur Überbewertung der Einflüsse und in Folge zur Überdimensionierung der Anlagentechnik. Sie erfordern jedoch einen nicht unerheblichen Aufwand für die Datenbeschaffung und sind im Rahmen der Energetischen Inspektion daher nur bedingt nutzbar.

### 3.3.4.2 Benchmarkverfahren

Benchmarkverfahren, bei denen ein Vergleich spezifischer Kennwerte mit anderen Gebäuden gleicher Nutzung erfolgt, bieten den Vorteil des geringen Datenerhebungs- und Berechnungsaufwandes. Sie besitzen durch die ausschließlich vergleichende Betrachtung mit Kennwerten anderer Gebäude aber den Nachteil einer geringen Genauigkeit, insbesondere bei von der Standardanwendung abweichenden Randbedingungen. Dennoch erscheint die Nutzung von Benchmarks zur Kühllastabschätzung im Rahmen der Energetischen Inspektion gerade aufgrund des geringen Aufwandes, zumindest für eine erste Abschätzung, durchaus gut geeignet. Vergleichskennwerte (Benchmarks) für die spezifische Kühllast für die Nutzungen nach DIN V 18599-10 [32] zeigt Tabelle 44.

Tabelle 44: Vergleichskennwerte für die spezifische Kühllast verschiedener Nutzungsarten

Nutzungsart	spezifische Kühllast [W/m <sup>2</sup> ]		
	min	mittel	max
Büro	27	39	53
Hotel	11	25	33
Bettzimmer	23	34	46
Schule	25	41	67
Einzelhandel	35	39	46
Hörsaal	68	93	117
Küche	282	306	330
Kantine	85	111	137
Werkstatt	55	85	115
Sporthalle	21	27	33
Ausstellung	15	46	78
Theater	55	94	134
Bühne	41	75	109
Serverraum	98	213	327
Fitnessraum	41	71	101
Labor	55	83	111
Intensivstation	59	84	110
Logistikhalle	13	15	17

Die dargestellten Werte gelten unter der Annahme, dass der sommerliche Wärmeschutz und der hygienische Mindestaußenluftwechsel eingehalten werden. Die angegebenen Mittelwerte stellen Mittelwerte unter verschiedenen geometrischen und bauphysikalischen Randbedingungen und nicht die Mittelwerte der Min-Max-Betrachtung dar.

#### **3.3.4.3 Kurzverfahren nach VDI 2078 (1996) [34]**

Die VDI 2078 (Ausgabe 1996) enthält neben dem EDV-Verfahren ein Kurzverfahren zur Kühllastberechnung, welches als „Handrechenverfahren“ auf Berechnungsgrundsätze (Speicherfaktoren) der VDI 2078 (Ausgabe 1977) zurückgreift. Aufgrund einiger fester Vorgaben im Berechnungsalgorithmus (z. B. konstante Betriebsweise, konstante Raumlufttemperatur, konstanter Sonnenschutz) ist der Berechnungsaufwand geringer als im EDV-Verfahren. Die Berechnungsgenauigkeit ist trotz des hohen Aufwandes für die Datenerhebung jedoch insbesondere bei von den o.g. Annahmen abweichenden Randbedingungen oft sehr ungenau. Das Verfahren ist aufgrund der unflexiblen Randbedingungen bei vergleichsweise hohem Berechnungsaufwand nicht an die Anforderungen der energetischen Inspektion angepasst und kann vor dem Hintergrund der im Jahr 2012 neu erschienenen Ausgabe der VDI 2078 [35] inzwischen auch als unzeitgemäß betrachtet werden.

#### **3.3.4.4 (EDV-)Verfahren nach VDI 2078**

Das EDV-Verfahren der VDI 2078 (Ausgabe 1996) verwendet mit der Responsefaktormethode ein Verfahren, welches eine Klassifizierung nach Typräumen bzw. Bauschwereklassen mit vorausberechneten Übertragungsfunktionen vorsieht. Die Zuordnung des realen Raumes zu einer Bauschwereklasse und die nötige Denormierung des Typraumes auf die realen Abmessungen und Wärmedurchgangskoeffizienten des zu berechnenden Raumes führen zu Ungenauigkeiten. Das Verfahren ist mit der Einführung der künftigen VDI 2078 (Entwurf März 2012) nicht mehr Stand der Technik und sollte daher nicht mehr eingesetzt werden.

Die künftige VDI 2078 (Entwurf März 2012) verwendet eine direkte analytische Lösung, die über ein elektrisches Analogiemodell (Beuken-Modell) hergeleitet ist. Somit werden die realen Wandaufbauten des zu berechnenden Raumes direkt berücksichtigt. Es erfolgt eine Kopplung der thermischen Raumbilanz mit den Eigenschaften aktiver Anlagenkomponenten (z. B. Flächenheizung oder -kühlung, natürlicher Lüftung) bei denen sich eine Leistungsänderung bei veränderter Raumtemperatur ergibt. Bei der Lastabfuhr wird zwischen Konvektion und Strahlung unterschieden. Das Berechnungsergebnis Raumtemperatur unterscheidet Raumluft- und operative Temperatur. Die Festlegungen zur Cooling Design Period (aperiodische Auslegungsperiode) berücksichtigen so-

wohl klimatische Veränderungen als auch Besonderheiten des Standortes (Großstadtlage). Das Berechnungsverfahren liefert bei hohem Aufwand für die Datenerhebung und Berechnung sehr genaue Ergebnisse. Im Rahmen der Energetischen Inspektion ist das Verfahren nur im Sonderfall für Nachrechnungen geeignet und sollte gesondert vergütet werden, da der Berechnungsaufwand für eine Grundleistung als unverhältnismäßig hoch eingeschätzt werden muss.

### 3.3.4.5 Abschätzverfahren nach VDI 2078 (Entwurf März 2012)

Die VDI 2078 (Entwurf März 2012) enthält darüber hinaus ein Abschätzverfahren, welches bei verhältnismäßigem Aufwand für die Datenerhebung und die Berechnung eine ausreichend gute Genauigkeit bietet und die wesentlichsten Einflussgrößen auf die Kühllast als variable Parameter berücksichtigt. Das Verfahren bietet damit gute Voraussetzungen für die Verwendung im Rahmen der Energetischen Inspektion. Zudem erscheint es möglich, den Aufwand für die Datenerhebung durch eine gezielte Verdichtung einzelner Einflussgrößen noch weiter zu reduzieren.

Das Verfahren basiert auf der Berechnung nach DIN V 18599-2 [36] Anhang C unter Beachtung der in VDI 2078 [35] festgelegten Randbedingungen und dient einer groben Abschätzung der Kühllast. Das Abschätzverfahren berücksichtigt

- die Speicherfähigkeit des Raumes  $C_{\text{wirk},\text{Hüll}}$
- den zulässigen Schwankungsbereich der Raumsolltemperatur  $\Delta\vartheta$
- die reale Betriebszeit  $t_{\text{C},\text{op},\text{d}}$
- alle Quellen  $\dot{Q}_{\text{Source,max}}$  und Senken  $\dot{Q}_{\text{Sink,max}}$
- die örtlichen Außenklimaparameter (Kühllastzone).

Das Abschätzverfahren berücksichtigt damit die wichtigsten Einflussgrößen auf die Kühllast und scheint für die Verwendung im Rahmen der Energetischen Inspektion gut geeignet. Die maximale Kühllast  $\dot{Q}_{\text{C,max}}$  ergibt sich nach Beziehung (19):

$$\dot{Q}_{\text{C,max}} = -1 \cdot \left[ 0,9 \cdot (\dot{Q}_{\text{source,max}} - \dot{Q}_{\text{sink,max}}) \cdot \left[ 1 + 0,3 \cdot \exp\left(\frac{-\tau}{120}\right) \right] - C_{\text{wirk},\text{Hüll}} \cdot \frac{A_{\text{Hüll}}}{t_{\text{Cwirk,bez}}} \cdot (\Delta\vartheta - 2) + C_{\text{wirk},\text{Hüll}} \cdot \frac{A_{\text{Hüll}}}{40} \left( \frac{12}{t_{\text{c,op;d}}} - 1 \right) \right] \quad (19)$$

### 3.3.4.5.1 Ermittlung der wirksamen Speicherfähigkeit

Die wirksame Speicherfähigkeit  $c_{\text{wirk,Hüll}}$  ergibt sich gemäß VDI 2078 [35] aus der auf die Hüllfläche bezogenen mittleren Masse der Raumumschließungsflächen und einer daraus abgeleiteten Klassifizierung eines Raumtyps (XL, L, M, S, XS). Für dieses Vorgehen ist die Fläche und Dicke aller Raumumschließungsflächen (Bauteile) zu ermitteln und die Schichtdicke und Speicherfähigkeit jeder Bauteilschicht zu ermitteln. Der Aufwand für diese Datenerhebung ist im Zuge der Energetischen Inspektion nicht leistbar. Ziel ist es daher, das Vorgehen so zu vereinfachen, dass eine Klassifizierung des Raumtyps ausschließlich nach Art und Menge der verwendeten Baustoffe erfolgen kann, ohne dass alle Schichtdaten aller Bauteile bekannt sein müssen.

Um eine entsprechende Klassifizierung für eine vereinfachte Datenaufnahme bei der Energetischen Inspektion abzuleiten, wurden exemplarisch 3 verschiedene Nutzungsbereiche (Büro, Klassenraum, Hörsaal) mit verschiedenen Raumgeometrien untersucht. Dabei wurden unterschiedlich gut speichernde Wandkonstruktionen aus verschiedenartigen Baustoffen für die Berechnung der mittleren Bauwerksmasse betrachtet. Die verwendeten Baustoffdaten und Schichtaufbauten sind im Anhang 8 dargestellt, die Ergebnisse der Variantenbetrachtung zeigt Abbildung 70.

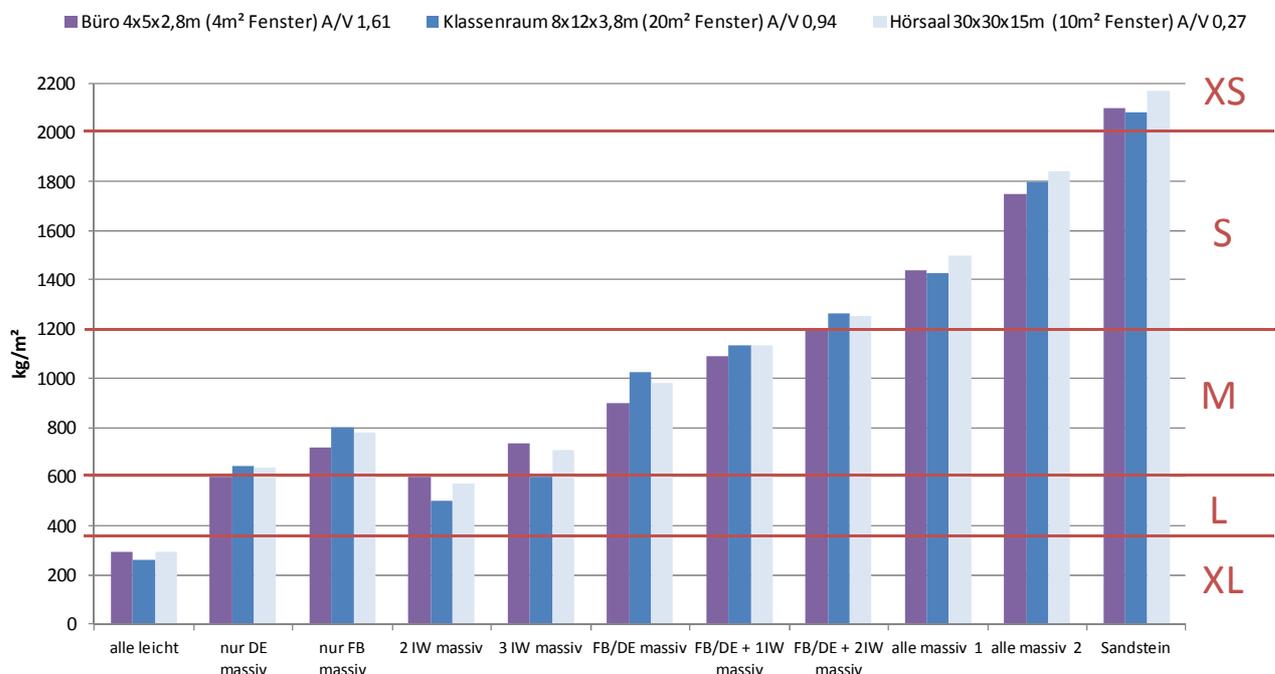


Abbildung 70: mittlere hüllflächenbezogene Bauwerksmasse für verschiedene Nutzungen und Wandaufbauten (Bauteil- und Schichtdaten siehe Anhang 8)

Unterschiede in der mittleren Bauwerksmasse zwischen einzelnen nutzungsabhängigen Raumgeometrien (unterschiedlichen A/V-Verhältnissen) sind nachweisbar, können im Rahmen der erforderlichen Genauigkeit des Verfahrens jedoch vernachlässigt werden.

Insgesamt zeigt sich, dass eine prinzipielle Unterscheidung anhand der Anzahl der massiven, gut wärmespeicherfähigen Bauteile möglich ist. Als massiv bzw. gut speicherfähig gelten dabei alle Bauteile mit einer mittleren Bauteildichte  $>1500 \text{ kg/m}^3$ , wozu prinzipiell Wände und Decken aus Ziegel-, Kalksandstein-, Beton- und Sandstein zählen. Tabelle 45 zeigt einen anhand der Variantenberechnungen abgeleiteten Vorschlag für eine Klassifizierungsmethode.

Eine Bewertung der Gebäudespeicherfähigkeit anhand Art und Anzahl der verwendeten Baustoffe nach den Kriterien in Tabelle 44 und unter Beachtung der Existenz eventueller vorgeblendeter Abdeckungen lässt sich im Rahmen der Gebäudeinspektion mit angemessenem Zeitaufwand durchführen. Auf die zeitaufwändige Erhebung der Schichtdicken und Bauteildaten kann damit ohne einen wesentlichen Genauigkeitsverlust verzichtet werden.

Tabelle 45: pauschale Klassifizierung des Raumtyps mittels Bauteilbewertung

Raumtyp	vorzugsweise verwendete Baustoffe	Anzahl der Bauteile mit gut speicherfähigen Baustoffen *)	typischer Anwendungsfall
XL	Porenbeton, Gipsbauplatten, Holz	keine speicherfähigen Baustoffe	Holzbalkendecken mit Trockenbau / Porenbeton
L	wie XL, anteilig Ziegel, Beton, Kalksandstein	Decke oder Fußboden oder max. 2 Wände	
M	alle	Decke und Fußboden oder mind. 3 Wände	
S	wie XS, anteilig Ziegel, Beton, Kalksandstein	Decke und Fußboden und mind. 3 Wände	
XS	Sandstein, Beton	alle Wände und Decken	Kirchen, Bunker, historische Bauten
Hinweis:	Bauteile mit vorgeblendeten Abdeckungen (z.B. abgehängte Decken, Akustikpaneel, Vorsatzschalen, Doppelböden) oder innenliegenden Dämmschichten sind als nicht speicherfähige Bauteile zu betrachten.		

\*) Ziegelmauerwerk, Kalksandstein, Stahlbeton, Sandstein

### 3.3.4.5.2 Festlegung der Auslegungsbedingungen

Für die Kühllastberechnung ist die Festlegung von Standortdaten (Klimazone, Berechnungsmonat) und Sollwerten (Raumsolltemperatur, zulässige Schwankung, Betriebsdauer der Raumkühlung) erforderlich, die im Rahmen der Energetischen Inspektion aus Auslegungsunterlagen entnommen oder bei der Gebäudebegehung unproblematisch erhoben werden können. Standardwerte für die Auslegungstemperatur und Strahlungsintensität der verschiedenen Klimazonen enthält VDI 2078 [35]. Eine weitere Vereinfachung des Berechnungserfahrens an dieser Stelle ist nicht erforderlich.

### 3.3.4.5.3 Ermittlung der Wärmequellen und –senken

Zunächst sind die Transmissionswärmeströme aller Raumumschließungsflächen zu ermitteln. Gemäß VDI 2078 [35] sind dazu die Bauteilflächen, die U-Werte und die Nebenraum- bzw. Außentemperaturen je Bauteil zu ermitteln. Problematisch erscheint in diesem Zusammenhang die Beschaffung der U-Werte der Baukonstruktion, die in vielen Fällen im Bestand nicht vorliegen (z.B. Wärmeschutznachweise, Bauteilkatalogen). Diese anhand des tatsächlichen Wandaufbaus und der Schichtdaten im Zuge der Energetischen Inspektion zu ermitteln, ist mit unverhältnismäßigem Aufwand verbunden. Um in diesem Fall dennoch zu fundierten Ergebnissen zu gelangen, kann auf standardisierte U-Werte typischer Baukonstruktionen zurückgegriffen werden, die mit dem Baualter der Immobilie und den zeitlich zugeordneten Bauvorschriften korrelieren. Tabelle 46 zeigt Empfehlungswerte für Wärmedurchgangskoeffizienten typischer Wand- und Deckenbauteile.

Tabelle 46: Empfehlung für U-Werte von typischen Bauteilen U\_BT [W/m²K]

Dämmstandard	gering	normal	hoch
Baujahr ca.	bis 1994	nach 1994	nach 2002
typische U-Werte [W/m²K] in Anlehnung an	-	WSchV 1994	EnEV 2002
Außenwand	1	0,5	0,35
Außenfenster	2,5	1,8	1,7
Dach, oberste Geschossdecke	0,8	0,3	0,3
Wand / Decke gegen unbeheizte Räume / Erdreich	1	0,5	0,4
<b>typische U-Werte [W/m²K] für Innenbauteile (zu beheizten Nachbarbereichen)</b>			
massiv (Ziegel, Kalksandstein, Beton)	1,8		
leicht (Gipsbauplatten, Porenbeton, Holzdecken)	0,8		

Zur Ermittlung der Infiltrations-Lüftungswärmeströme ist der Luftwechsel durch Undichtheiten über die Umfassungskonstruktion zu definieren. Da eine Luftdichtheitsmessung im Kontext der Energetischen Inspektion nicht durchführbar ist, kann unter Beachtung von Baualter und Bauausführung eine pauschale Abschätzung nach Tabelle 47 vorgenommen werden. Die angegebenen Bemessungswerte für den Infiltrationsluftwechsel in Anlehnung an DIN V 18599-2 [36] Tabelle 6 berücksichtigen auch eine Abhängigkeit der Infiltrationsluftmenge vom Raumvolumen der betrachteten Gebäudezone.

Tabelle 47: Empfehlung für Kategorien zur pauschalen Abschätzung der Gebäudedichtheit

Raumvolumen	< 1500 m <sup>3</sup>	> 1500 m <sup>3</sup>
Bemessungswert	n <sub>inf</sub> [1/h]	q <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
dicht (Anforderung ab EnEV 2007)	0,1	2
undicht	0,4	9
offensichtliche Undichtheiten	0,7	15

Zur Ermittlung der solaren Wärmeeinträge ist für alle transparenten Bauteile deren (Glas-)Fläche, der Verschmutzungsfaktor und der Gesamtenergiedurchlassgrad zu bestimmen. Die Bestimmung von Fläche und Verschmutzung aller transparenten Bauteile ist im Rahmen der Gebäudebegehung unproblematisch möglich. Für den Gesamtenergiedurchlassgrad  $g_{tot}$  hält die VDI 2078 [35] eine Vielzahl von Standardwerten bereit, die in Abhängigkeit der Parameter

- Anzahl der Scheiben der Verglasung (Einfach- / Zweifach- / Dreifachverglasung)
- Art der Verglasung (Isolier- / Wärmeschutz- / Sonnenschutzverglasung)
- Art des Sonnenschutzes (ohne / Store sauber / verschmutzt, Screen hell / dunkel)
- Lage des Sonnenschutzes (innen / außen / zwischen den Scheiben)
- Durchlüftung des Sonnenschutzsystems (vorhanden / nicht vorhanden)
- Bauart der Fassade (einschalig / zweischalig)
- Durchlüftung der Fassade (durchlüftet / nicht durchlüftet)

zwischen 0,90 (Einfachverglasung ohne Sonnenschutz) und 0,06 (2-fach Sonnenschutzverglasung verspiegelt, Screen dunkel, außenliegend, durchlüftet, einschalige Fassade) variieren. Die Gesamtübersicht enthält Anhang 9. Der Gesamtenergiedurchlassgrad bestimmt maßgeblich über die

solaren Wärmegewinne und damit über die Kühllast der Gebäudezone. Es ist daher wichtig, diesen Wert möglichst genau zu bestimmen, jedoch ohne das Nutzen-Aufwand-Verhältnis für die Datenerhebung im Bestand bei der gegebenen Genauigkeit eines Abschätzverfahrens aus den Augen zu verlieren. Für ein vereinfachtes Verfahren zur Kühllastberechnung erscheint der Detaillierungsgrad noch etwas zu hoch, insbesondere auch weil bei einer Gebäudebegehung in der Regel nicht alle Parameter ohne Weiteres zu eruiieren sind. Darüber hinaus sind im Gebäudebestand unzählige Arten von Sonnenschutzvorrichtungen bekannt, die nicht immer eine exakte Zuordnung zu den tabellierten Standardwerten in Anhang 9 ermöglichen. Eine 3-fach-Wärmeschutzverglasung ist für den Bestand nicht relevant. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wird daher vorgeschlagen, die Tabellenwerte aus Anhang 9 durch Mittelwertbildung (wie in Tabelle 48 dargestellt) weiter zu verdichten. Die Genauigkeitsverluste, bezogen auf die Absolutwerte der solaren Wärmegewinne, sind dabei sehr gering.

Tabelle 48: mittlere Gesamtenergiedurchlassgrade  $g_{\text{tot}}$  in Anlehnung an VDI 2078 [35] Anhang B3

Bauart der Fassade	Lage des Sonnenschutzes	Art des Sonnenschutzes	Durchlüftung Sonnenschutz / Fassade	Einfachverglasung	2-fach Isolierverglasung	2-fach Wärmeschutzverglasung	2-fach Sonnenschutzverglasung	2-fach Sonnenschutzverglasung verspiegelt
einschalig	ohne	-	-	0,90	0,78	0,64	0,40	0,31
einschalig	außen	alle	alle	0,21	0,17	0,13	0,09	0,08
einschalig	zwischen Scheiben	alle	alle	-	0,35	0,23	0,24	0,20
einschalig	innen	alle	alle	0,55	0,56	0,52	0,31	0,26
zweischalig	Luftzwischenraum	alle	ja	-	-	0,11	0,07	-
zweischalig	Luftzwischenraum	alle	nein	-	-	0,21	0,18	-

Eventuell können diese Werte noch weiter verdichtet werden, indem man bei einschaliger Fassadenausführung die Isolier- und Wärmeschutzverglasung und die Sonnenschutzverglasung zusammenfasst. Praktisch wird es im Bestand vielfach nicht möglich sein, diese Nuancen in der Verglasung sicher unterscheiden zu können. Bei zweischaliger Fassadenbauweise ist der Einfluss der

Verglasungsart gegenüber dem Einfluss einer Fassadendurchlüftung deutlich untergeordnet. Damit könnten die Anzahl der Werte aus Tabelle 48, wie in Tabelle 49 dargestellt, noch weiter verdichtet werden.

Tabelle 49: verdichtete mittlere Gesamtenergiedurchlassgrade  $g_{\text{tot}}$  in Anlehnung an VDI 2078 [35]

Bauart der Fassade	Lage des Sonnenschutzes	Art des Sonnenschutzes	Durchlüftung der Fassade	Einfachverglasung	2-fach Isolier-/Wärmeschutzverglasung	2-fach Sonnenschutzverglasung (ggf. verspiegelt)
einschalig	ohne	-	-	0,90	0,70	0,35
einschalig	außen	alle	alle	0,21	0,15	0,085
einschalig	zwischen Scheiben	alle	alle	-	0,29	0,22
einschalig	innen	alle	alle	0,55	0,54	0,28
zweischalig	Luftzwischenraum	alle	ja	-	0,09	
zweischalig	Luftzwischenraum	alle	nein	-	0,19	

Für alle einschaligen Fassaden ist dann nur noch zwischen der Lage des Sonnenschutzes und drei prinzipiellen Verglasungsarten zu unterscheiden. Bei zweischaliger Fassadenbauweise ist nur die Funktion einer ggf. vorhandenen Durchlüftung zu erheben. Dieses Vorgehen erscheint bei ausreichender Genauigkeit gut an die speziellen Bedingungen der Energetischen Inspektion angepasst. Es kann im Rahmen der Gebäudebegehung mit vernünftigem Zeitaufwand erfolgen.

Zur Ermittlung der internen Wärmequellen ist die thermische Belastung des Raumes durch Personen, Beleuchtung, Arbeitshilfen und sonstige wärmeabgebende Geräte zu beschreiben. Dabei sind im Abschätzverfahren die Tagesmittelwerte der inneren Wärmequellen jeweils auf die mittlere Wärmeleistung während der Betriebszeit der Raumkühlanlage umzurechnen. Zur Ermittlung der inneren Wärmemengen kann auf spezifische Werte aus den einschlägigen Normen und Richtlinien zurückgegriffen werden. Richtwerte für die Verwendung zur Kühllastabschätzung bei der Energetischen Inspektion zeigen Tabelle 50 bis Tabelle 52.

Tabelle 50: Richtwerte für die sensible Wärmeabgabe von Personen nach DIN EN 13779 [21]

Aktivitätsgrad	I	II	III	IV
Aktivität	entspannt sitzend	sitzende Tätigkeit (Büro, Schule)	stehend, leichte Tätigkeit (Labor)	stehend, mittel-schwere Tätigkeit
Wärmeabgabe [W]	70	75	85	105

Tabelle 51: Richtwerte der Nennbeleuchtungsstärke nach DIN 5035, elektrische Anschlussleistung

Raumzweck / Art der Tätigkeit	Nenn-beleuch-tungsstärke	elektrische Anschlussleistung [W/m <sup>2</sup> ]	
		Glühlampen	Hoch- und Niederdruck-entladungslampen
Lagerräume (Suchen), Verkehrswege, Treppen, Flure, Wohnräume Theater	100 lx	22,5	5,0
Lagerräume (Lesen), Kantinen, Empfang, Speiseräume, einfache Montage	200 lx	45,0	11,0
Einzelbüro (Fenster), Bibliotheken, Unterricht, Sitzung, Besprechung, Verkauf, Schalterhalle	300 lx	70,0	13,0
Gruppenbüro, EDV-Räume, spez. Unterricht, Hörsaal (Fenster), Küche, Labor, Kaufhaus, Ausstellung, Messe	500 lx	110,0	17,5
Großraumbüro, Zeichenraum, Supermarkt, Hörsaal	750 lx	-	22,5
Großraumbüro (Sonderfall), Feinmontage	1000 lx	-	30,0

Tabelle 52: Richtwerte für die Wärmeabgabe von Arbeitshilfen in Anlehnung an VDI 2078 [35]

ausgewählte Geräte	Standby-Leistung [W]
PC-Arbeitsplatz (PC, Monitor, Drucker)	100
Notebook, Arbeitsplatz-Kopierer	20
Bürokopierer (Abteilung)	300
Bürodrucker (Abteilung)	100

### 3.3.4.5.4 Validierung des gekürzten Abschätzverfahrens

Zur Überprüfung der Richtigkeit der getroffenen Vereinfachungen wurde das gekürzte Verfahren einer Validierung unterzogen. Dazu wurde das in der VDI-Richtlinie 2078 [35] im Anhang C2 enthaltene Berechnungsbeispiel jeweils mit und ohne Vereinfachungen berechnet. Dabei wurde immer auf die Defaultwerte aus Tabelle 45 bis Tabelle 52 zurückgegriffen, auch wenn einzelne Daten (z.B. U-Werte) genauer bekannt waren. Somit wurde sichergestellt, dass alle Vereinfachungen bei der Validierung berücksichtigt werden. Tabelle 53 zeigt eine Zusammenstellung der von den Vereinfachungen betroffenen Parameter.

Tabelle 53: Parameter mit Vereinfachungen bei der Validierung

Vereinfachtes Verfahren nach VDI 2078	Beispiel Anhang C2	Vereinfachung im gekürzten Abschätzverfahren
U-Wert Außenwand $U_{AW}$	0,365 ... 0,372 (1,654) W/m <sup>2</sup> K	0,35 W/m <sup>2</sup> K (nach Tabelle 46)
U-Wert Fenster $U_{tr}$	1,4 W/m <sup>2</sup> K	1,7 W/m <sup>2</sup> K (nach Tabelle 46)
U-Wert Dach $U_{DA}$	0,274 ... 0,290 W/m <sup>2</sup> K	0,3 W/m <sup>2</sup> K (nach Tabelle 46)
Infiltrationsluftwechsel $n_{inf}$	0,141 1/h	0,1 1/h (nach Tabelle 47)
Rahmenanteil Fenster $F_F$	0,21	0,2 (frei wählbar in 5 %-Schritten)
g-Wert Verglasung $g_{tot}$	0,13	0,15 (nach Tabelle 49)
Personenwärme $Q_{I,P}$	80 W/Pers	75 W/Pers (nach Tabelle 50)
Beleuchtungswärme $Q_{I,L}$	12,8 W/m <sup>2</sup> (240 W)	13 W/m <sup>2</sup> (nach Tabelle 51)

Das Beispiel beinhaltet zwei Standorte (Klimazone 2 - Hamburg, Klimazone 4 - Mannheim) mit jeweils zwei Varianten (wenig schwingende Raumlufttemperatur  $\Delta\vartheta=3K$ , stärker schwingende Raumlufttemperatur  $\Delta\vartheta=5K$ ). Für drei Konstellationen wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Anhang 10 ausführlich und in Abbildung 71 graphisch dargestellt sind.

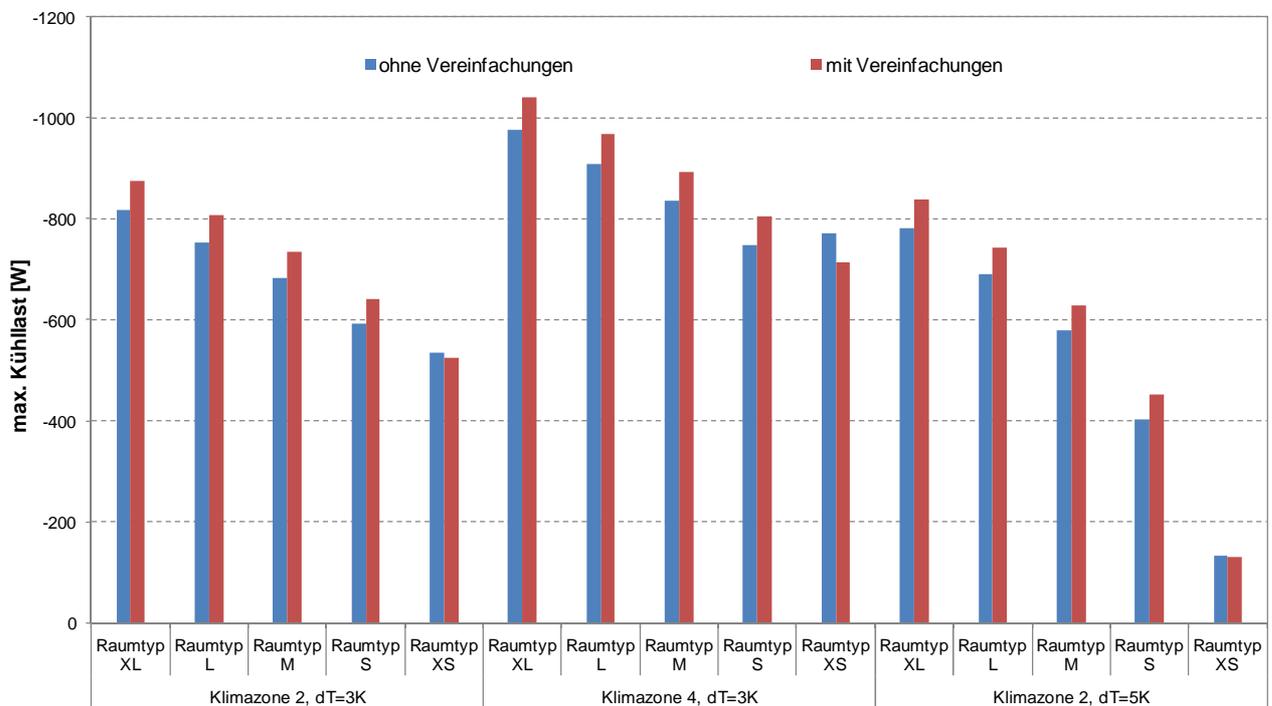


Abbildung 71: Validierung des vereinfachten Abschätzverfahrens nach VDI 2078

Die maximale Abweichung liegt bei 56 W bzw. 12,1 %, die mittlere Abweichung aller Beispiele bei 5,5 %. Die erreichte Genauigkeit ist im Verhältnis zur Aufwandsminimierung für die Datenerhebung somit als sehr gut einzuschätzen.

### 3.3.4.5.5 Bewertung der Eignung des gekürzten Abschätzverfahrens nach VDI 2078

Das Abschätzverfahren nach VDI 2078 [35] (Entwurf März 2012) kann unter Beachtung der speziellen Anforderungen an die Kühllastermittlung im Zuge der Energetischen Inspektion weiter vereinfacht werden, ohne grundlegend an Genauigkeit zu verlieren oder wichtige Einflussfaktoren zu vernachlässigen. Die freien Parameter können auf die im Anhang 11 dargestellte Anzahl reduziert werden, wobei für einen Großteil der Parameter nur die Auswahl eines Standardwertes erfolgen muss (direkte Eingabewerte sind grau hinterlegt). Die Hauptaufgabe im Zuge der Gebäudeinspektion ist und bleibt die Ermittlung der opaken und transparenten Raumumschließungsflächen, die in der Regel auch aus Zeichnungsunterlagen entnommen werden können und vor Ort dann nur noch stichpunktartig geprüft werden müssen. Die aufwändige Ermittlung von Wandaufbauten und Schichtdaten kann unter Verwendung der Defaultwerte aus Tabelle 45 und Tabelle 46 entfallen. Sollten detaillierte Bauteilinformationen vorliegen, sind diese bevorzugt zu verwenden.

Die getroffenen Vereinfachungen dienen vordergründig der zeitsparenden Kühllastbewertung im Zuge einer visuellen Begutachtung des Versorgungsbereiches mit gezielter Kontrolle wesentlicher Haupteinflussgrößen auf die Kühllast. Das gekürzte Verfahren ist gut geeignet, um die für die energetische Inspektion erforderliche überschlägige Kühllastabschätzung durchzuführen.

#### **3.3.4.6 Vorschlag für ein Verfahren zur Abschätzung der Gebäudekühllast**

Im Rahmen der energetischen Inspektion ist eine Ermittlung der Gebäudekühllast durchzuführen, um die Anlagendimensionierung (kühllastabhängige Luftmenge, Kälteleistung) überprüfen zu können. Dazu kann ein Benchmarkverfahren oder das verkürzte Abschätzverfahren nach VDI 2078 [35] (Entwurf März 2012) genutzt werden. Die Anwendung des Benchmarkverfahrens gemäß Tabelle 44 wird jedoch nur dann empfohlen, wenn

- keine besonderen baulichen oder nutzungsbedingten Randbedingungen vorliegen, die die Kühllast in besonderer Art und Weise beeinflussen (z.B. Ganzglasfassaden, Atrien, Kühlarbeitsräume, Räume mit besonderen technologischen Lasten, etc.),
- der sommerliche Wärmeschutz durch baukonstruktive Maßnahmen erfüllt ist und
- der hygienische Luftwechsel in der betrachteten Zone eingehalten wird.

Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, ist das Abschätzverfahren nach VDI 2078 (Entwurf März 2012) unter Verwendung der in Kapitel 3.3.4.5 beschriebenen Vereinfachungen anzuwenden.

Bei Verwendung des Benchmarkverfahrens ist bei der Gebäudebegehung eine Sichtprüfung der folgenden 4 Indikatoren erforderlich, die einen wesentlichen Einfluss auf die Kühllast haben:

- Innere Belastung (Personen, Beleuchtung, Geräte und Maschinen)
- Äußere Belastung (solare Einstrahlung, Verschattung)
- Speicherfähigkeit (Bauweise, Baustoffe, raumseitige Verkleidungen)
- Sollwerte (Temperatur, Feuchte, Toleranzband)

Anhand dieser vier Indikatoren kann eine Einordnung der spezifischen Kühllast in eine Kategorie nach Tabelle 44 erfolgen. Für eine bessere Einordnung in den Wertebereich (Min-Mittel-Max) kann die Hilfsmatrix nach Tabelle 54 verwendet werden. Ggf. kann optional eine zusätzliche Wichtung der einzelnen Indikatoren erfolgen.

Tabelle 54: Hilfsmatrix zur Kategorisierung der spezifischen Kühllast

Indikator	Kühllast			Wichtung (optional)
	hoch	mittel	niedrig	
innere Belastung	Glühlampen, hohe Belegungsdichte, hoher Ausstattungsgrad mit Arbeitshilfen, Maschinen	Nieder- und Hochdruckdampfleuchten, mittlere Belegungsdichte, mittlerer Ausstattungsgrad (nach DIN V 18599-10)	LED, Tageslichtsteuerung, geringe Belegungsdichte, geringer Ausstattungsgrad	30%
Äußere Belastung	Einfach- oder Isolierverglasung, keine Verschattung, (Südost-/Südwestorientierung)	Wärmeschutzverglasung, innere Verschattung	Sonnenschutzverglasung, äußere Verschattung, (Nordorientierung)	30%
Speicherfähigkeit *)	geringe Bauschwere (Raumtyp XL, L) oder raumseitige Abtrennungen (Akustikpaneel, Doppelboden, Abhangdecken)	mittlere Bauschwere (Raumtyp M)	hohe Bauschwere (Raumtyp S, XS) ohne raumseitige Abtrennungen (Akustikpaneel, Doppelboden, Abhangdecken)	15%
Sollwert Raumlufttemperatur	≤ 24°C	25...27°C	≥ 28°C, Sommerkompensation bei T <sub>Lu</sub> > 32°C	25%

\*) Hinweise zur Klassifizierung des Raumtyps gibt Tabelle 45.

## 4. Schnittstellen zur nationalen und europäischen Normung

### 4.1 Allgemeines

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeiteten Inhalte sollen und sind bereits unmittelbar in die aktuellen Normungsarbeiten insbesondere in die DIN SPEC 15240 [1] integriert worden. Die Ergebnisse wurden im Rahmen der weiteren Arbeiten am Forschungsvorhaben zudem so aufbereitet, dass die Inhalte in das europäische Normenwerk der EPBD übernommen werden können.

### 4.2 Stand der Normung

Die EnEV gibt derzeit keinen klaren Bezug mit welchen Richtlinien eine Energetische Inspektion durchzuführen ist. Derzeit kommen prinzipiell die folgenden Normen und Richtlinien als Hilfsmittel in Frage:

#### Europäische Normen:

- DIN EN 15239 Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 15239:2007 [37]
- DIN EN 15240 Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlageanlagen; Deutsche Fassung EN 15240:2007 [38]
- DIN EN 12599 Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumlufttechnischer Anlagen; Deutsche Fassung EN 12599:2012 [24]
- DIN EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007[21]
- Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007 [33]

### Nationale Normen und Richtlinien:

- DIN V 18599 Teile 3 und 7 [22] [23]
- VDMA 24176 Inspektion von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden [39]
- VDMA 24197-1 Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen - Teil 1: Klima- und Lüftungstechnische Geräte und Anlagen [40]
- VDMA 24197-3 Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen - Teil 3: Kältetechnische Geräte und Anlagen zu Kühl- und Heizzwecke [41]
- VDI 2078 Berechnung der Kühllast [35]

Keine dieser Richtlinien beschreibt die durchzuführenden Tätigkeiten vollständig und umfänglich.

Die EN 15239 und 15240 wurden von CEN und der EU-Kommission im Rahmen des ersten Mandates M/343 zur Umsetzung der EPBD entwickelt. Jedoch sind diese Normen so gestaltet, dass keine klare Vorgehensweise spezifiziert ist und zusätzlich auch Tätigkeiten beschrieben werden, die nichts mit der Energetischen Inspektion zu tun haben (z.B. Wartungstätigkeiten und Anforderungen an die Hygiene).

Die EN 12599 beschreibt Prüf- und Messverfahren, die für einzelne Aspekte der Energetischen Inspektion verwendet werden können.

- Messung des Luftvolumenstromes
- Messung der Luftparameter (Temperatur und Feuchte)
- Messung der elektrischen Ventilatorleistung
- Messung der Druckdifferenz

Die EN 13779 enthält hilfreiche Angaben zur notwendigen Filtertechnik, definiert Kennzahlen für die Luftförderung, gibt Hinweise für die Bedarfsgeregelte Lüftung und ist damit eine wichtige Basis für die Definition der Lüftungsaufgabe und der notwendigen Anlagentechnik.

Die EN 15251 definiert einzuhaltenden Parameter für das Raumklima und die Luftqualität und ist damit ein wesentliches Hilfsmittel zur Bestimmung der Anforderungen an das Raumklima und die Definition des Soll- und Ist-Klimas nach EnEV.

DIN V 18599 ist das Berechnungsverfahren zur Bestimmung der energetischen Anlagenkennwerte und Aufwandszahlen in der EnEV für gekühlte Gebäude und liefert Kenndaten für die Anlagenbewertung sowie Berechnungsgleichungen für Teilkennwerte der Prozessbereiche Lüftung und Klimakälte sowie der Kaltwasserverteilung. Diese Norm kann jedoch nicht unmittelbar für die Energetische Inspektion verwendet werden, da das Verfahren ganzheitlich für Gebäude beschreiben ist. Die Bewertungsverfahren sind jedoch auch für die Inspektion geeignet.

Die VDMA 24176 liefert Hilfsmittel (Checklisten) für die Inspektion gebäudetechnischer Anlagen. Die dort behandelten Arbeiten sind die Grundlage für die Instandhaltungstätigkeiten. Sie sind nicht speziell für die Energetische Inspektion nach §12 erstellt und dienen zur Sicherstellung des Funktionserhalts und damit zur Umsetzung von §11 EnEV. Aus diesen umfangreichen Checklisten wurde die VDMA 24197 entwickelt. Die dort enthaltenen Checklisten behandeln die wichtigsten Tätigkeiten der Energetischen Inspektion und dienen zur Datenerhebung. Eine weitergehende Bewertung der Daten erfolgt jedoch nicht. Diese Richtlinien wurden in enger Kooperation mit der DIN SPEC 15240 (siehe folgende Abschnitte) entwickelt, die aufbauend auf den erhobenen Daten eine Bewertung definiert.

### **4.3 Überführung der Forschungsergebnisse in die DIN SPEC 15240**

Die Normungsgremien im NHRS haben sich dazu entschlossen, die bisher verwendeten Hilfsmittel (insbesondere die FGK STATUS-Reporte 5, 6 und 17) in einem nationalen Ergänzungsblatt zur DIN EN 15240 zusammenzufassen und mit den in diesem Forschungsbericht erarbeiteten neuen Aspekten zu einer Norm zusammenzuführen, die die Tätigkeiten zur Umsetzung der Energetischen Inspektion umfassend beschreibt. Mit Ausgabedatum Dezember 2012 liegt eine Entwurfsfassung vor, in der bisher folgende Aspekte aus den Forschungsarbeiten eingeflossen sind:

- Definition des Inspektionsumfanges Abschnitt 2.1.3
- Anforderungen und Inhalte Abschnitt 2.1.5
- Verwendung von Produktkennwerten EER Abschnitt 3.2.4
- Kurzverfahren für die Kühllastrechnung Abschnitt 0

Im Einspruchsverfahren sollen weitere Aspekte diskutiert werden, die für eine Umsetzung der Energetischen Inspektion nach §12 sinnvoll und richtig erscheinen. Dies gilt sowohl für die Erkenntnisse aus diesem Forschungsvorhaben, Anforderungen aus dem Verordnungsrecht (Neufassung der EnEV) als auch aus der Fachöffentlichkeit. Das Einspruchsverfahren endet im März 2013 und bis Herbst kann dann eine verabschiedete Fassung rechtzeitig zur Einführung der novellierten EnEV vorliegen.

#### 4.4 Europäische normative Rahmenbedingungen

Nach der Verkündung der ersten Fassung der EPBD Richtlinie 2002 [19] wurden im Mandat 343 erste Normen als Hilfsmittel zur Umsetzung der Richtlinie erarbeitet. Die Praxis zeigt jedoch, dass die verabschiedeten Normen nur unzureichend zur vollständigen Umsetzung tauglich sind. Es wurden sehr viele nationale Ergänzungen und Erweiterungen geschaffen mit der Folge, dass Nachweisverfahren und Ergebnisse vollkommen unterschiedlich und fast nicht vergleichbar sind.

Eine wesentliche Anforderung der überarbeiteten der EPBD 2010 [17] besteht darin, die Zielerreichung vergleichbar zu machen. Deshalb wurde mit dem Mandat 480 ein neues Projekt gestartet, mit dem die vorhandenen Normen so ergänzt werden können, dass ein nutzbares europäisches Verfahren vorliegt. Dieses Mandat gliedert sich in 2 Phasen (Abbildung 72):

- Phase 1: Festlegung der Rahmenbedingungen, Schnittstellen, Normungsinhalte sowie der Erarbeitung eines "Overarching Documents" in dem die Bilanzgleichungen fachübergreifend definiert werden.
- Phase 2: In dieser Phase sollen die Normen überarbeitet und teilweise neu erstellt werden. Der Zeitraum bis zum Formal Vote beträgt zwei Jahre.

Für die Energetische Inspektion sind die Arbeiten in TC 156 (Abbildung 72) und folgende Arbeitspakete relevant (Abbildung 75):

- Modul 4-11 für die Inspektion von Klimaanlage (Abbildung 76)
- Modul 5-11 für die Inspektion von Lüftungsanlagen (Abbildung 77)

Entgegen der ursprünglichen Zeitplanung haben die Arbeiten in Phase 2 nicht im Herbst 2012 begonnen. Aktuell läuft eine Ausschreibung bis zum April 2013. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Arbeiten erst im Frühsommer 2013 begonnen werden können.

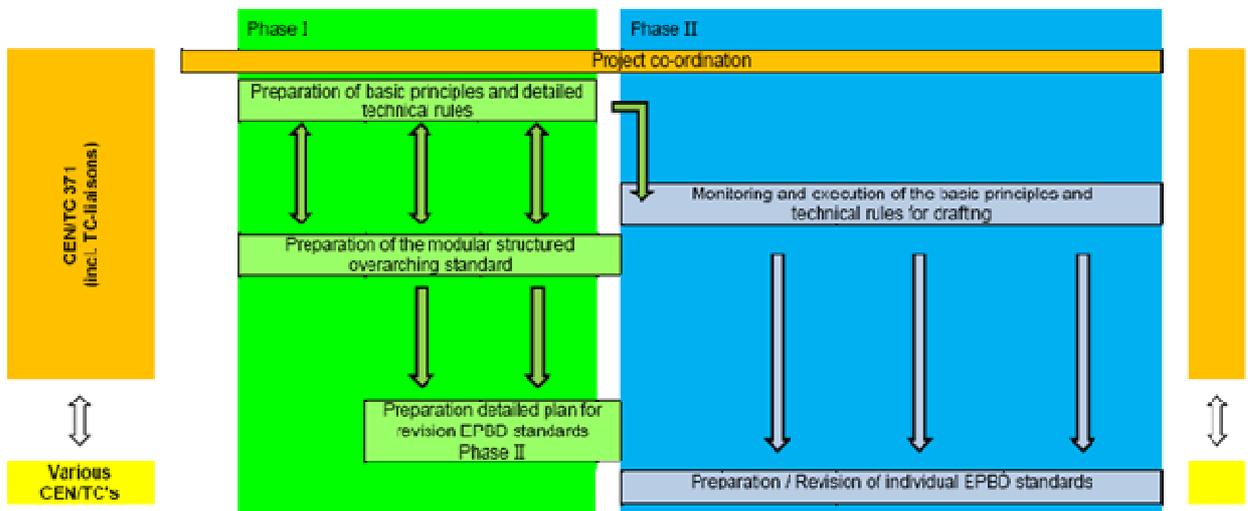


Abbildung 72: Projektphasen des Mandates M/480 [43]

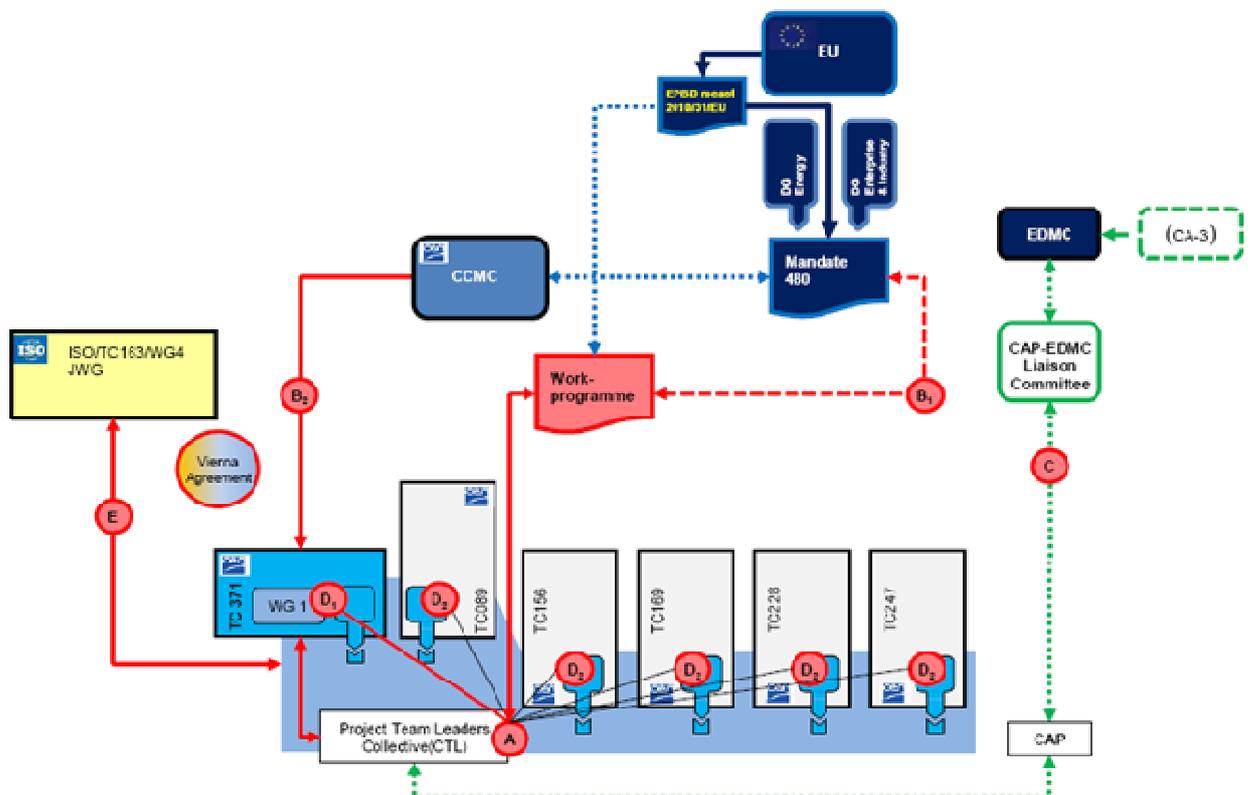


Abbildung 73: Organisationsstruktur zur Überarbeitung der EPBD Normen [43]

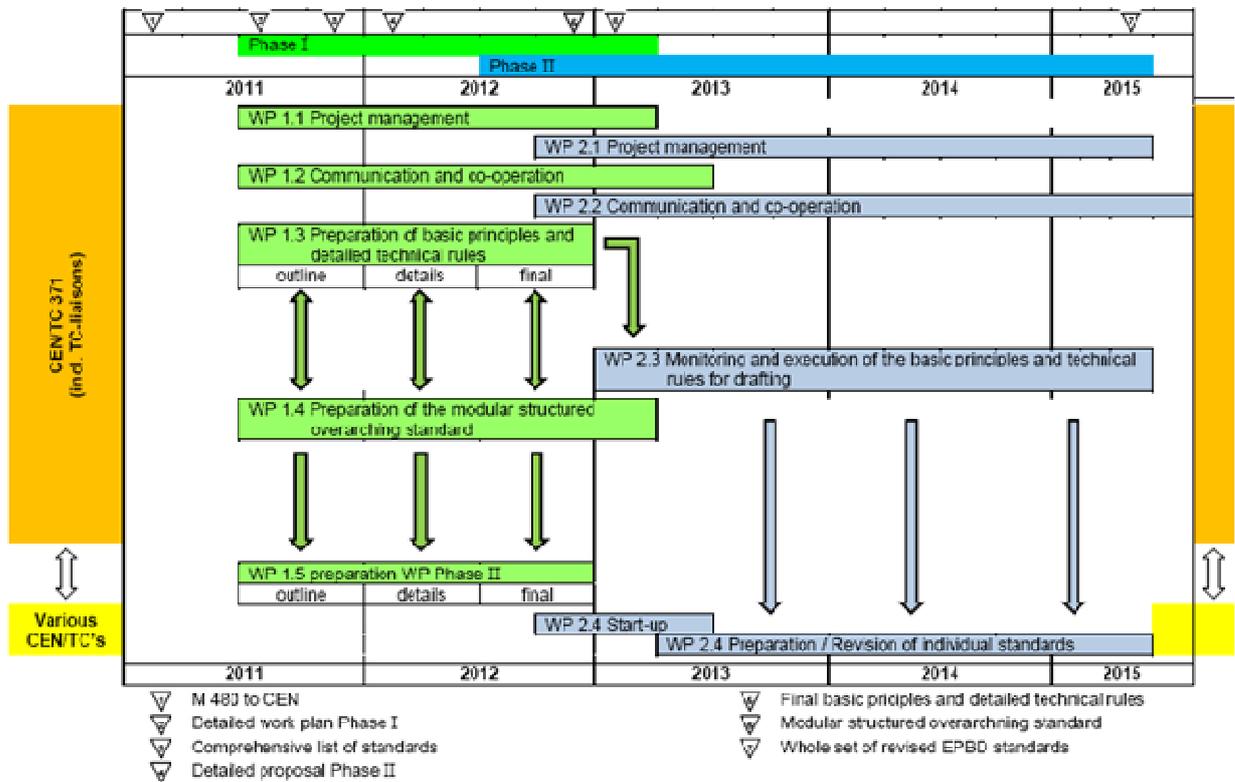


Abbildung 74: Zeitplanung des Mandates M/480 [43]

ec-submodule	OVERARCHING	BUILDING (as such)	TECHNICAL BUILDING SYSTEMS											ec-submodule
			under EPBD								not under EPBD			
			HEATING	COOLING	VENTILATION	HUMIDIFICATION	DEHUMIDIFICATION	DOMESTIC HOT WATER	LIGHTING	BUILDING AUTOMATION & CONTROL	BUILDING SITE ELECTRIC PRCO (PV, WIND...)	TRANSPORT SYSTEMS (elevators, escalators)	OTHER BUILDING RELATED AFFLIANCES	
M3 H	M4 C	M5 V	M6 HU	M7 DU	M8 W	M9 L	M10	M11	M12	M13				
1	General	General	General								General		1	
2	Common terms and definitions; symbols, units and subscripts	Building Energy Needs	Needs								void	void	2	
3	Applications	(Free) Indoor Conditions without Systems	Maximum Load and Power								void	void	3	
4	Ways to Express Energy Performance	Ways to Express Energy Performance	Ways to Express Energy Performance								Ways to Express Energy Performance		4	
5	Building Functions and Building Boundaries	Heat Transfer by Transmission	Emission & Control								void		5	
6	Building Occupancy and Operating Conditions	Heat Transfer by Infiltration and Ventilation	Distribution & Control		void	void	void	void			Distribution & Control	6		
7	Aggregation of Energy Services and Energy Carriers	Internal Heat Gains	Storage & Control								Storage & Control		7	
8	Building Partitioning	Solar Heat Gains	Generation & Control								Generation & Control		8	
9	Calculated Energy Performance	Building Dynamics (thermal mass)	Load dispatching and Operating conditions		void	void	void	void			Load dispatching and Operating conditions	9		
10	Measured Energy Performance	Measured Energy Performance	Measured Energy Performance								Measured Energy Performance		10	
11	Inspection	Inspection	Inspection								Inspection		11	
12	Ways to Express Indoor Comfort									Building Management Systems		12		
13	External Environment Conditions													
14	Economic Calculations													

Abbildung 75: Übersicht modulare Struktur der EPBD Normen im Mandat M/480

Work type <sup>1)</sup>	TC	Number	Title	Module 4														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
1a	TC 156 TC 371	EN	15251	Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics		M4-2												
2	TC 156 TC 089	EN	15243-xa	- cooling load calculation (in cooperation with TC 089)		M4-2												
2	TC 156 TC 228	EN	15243-xc	- distribution (where water based in cooperation with TC 228)							M4-6							
a)	TC 228 TC 156	EN	15243-xg	Water-based Cooling emission systems (in cooperation with TC 156)						M4-5								
a)	TC 228 TC 156	EN	15243-xh	Water-based Cooling distribution systems (in cooperation with TC 156)							M4-6							
2	TC 228 TC 156	EN	(new 228-08)	Water-based Cooling storage systems (in cooperation with TC 156)								M4-7						
1b	TC 156	EN	15243	Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems			M4-3		M4-5	M4-6			M4-8					
2	TC 156	EN	15243-xb	- emission (where water based in cooperation with TC 228)					M4-5									
2	TC 156	EN	15243-xf	- generation									M4-8					
1a	TC 156	EN	15240	Ventilation for buildings – Energy performance of buildings - Guidelines for inspection of air-conditioning systems														M4-11
2	TC 156	EN	(new 156-03)	Cooling systems – General	M4-1													
2	TC 156	EN	(new 156-04)	Cooling system – Energy performance expression				M4-4										
2	TC 156	EN	(new 156-05)	Cooling system – Storage systems								M4-7						

Abbildung 76: Auszug Normenmodule Kühlung [43]

Work type <sup>1)</sup>	TC	Number	Title	Module 5														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
1a	TC 156 TC 371	EN	15251	Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics		M5-2												
1a	TC 156	EN	13779	Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems	M5-1	M5-2				M5-6		M5-8						
1b	TC 156	EN	15241	Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration					M5-5	M5-6		M5-8						
2	TC 156	EN	15242	Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration	M5-1													
2	TC 156	EN	(new 156-01)	Ventilation systems - Energy performance expression				M5-4										
2	TC 156	EN	(new 156-02)	Ventilation systems - Measured energy performance													M5-10	
1b	TC 156	EN	15239	Ventilation for buildings – Energy performance of buildings - Guidelines for inspection of ventilation systems														M5-11
1a	TC 247	EN	15232	Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management						M5-10								
1a	TC 247	EN	15500	Control for heating, ventilating and air-conditioning applications –Electronic individual zone control equipment						M5-5								

Abbildung 77: Auszug Normenmodule Lüftung [43]

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens (Forschungsbericht und DIN SPEC 15240) werden die Grundlage für eine deutsche Beteiligung. Folgende Arbeitspakete sind in diesem Zusammenhang geplant:

- Die Arbeiten könnten in TC 156 WG 8 durchgeführt werden. Sekretariat und Obmannschaft wären dann unter deutscher Führung. Allerdings ist auch die Gründung einer neuen WG möglich.
- Ob es wie bisher 2 getrennte Normen gibt oder die Arbeiten zu einer Norm zusammengefasst werden ist offen. Von Seiten der Projektgruppe wird eine Zusammenlegung bevorzugt, da sich Lüftungsfunktion und Klimafunktion nur schwer trennen lassen.
- Es sollte eine modulare Struktur unterschiedlicher Detailtiefe definiert werden, aus der die Mitgliedsländer eine bevorzugte Detailtiefe auswählen können.
- Es sollten einheitliche Kennzahlen für eine energetische Bewertung erarbeitet werden.
- Exakte Tätigkeitsmerkmale können vermutlich nur in nationalen Anhängen definiert werden, da es in Europa Vorbehalte gegen zu klare Festlegungen gibt ("Beschreibende Norm").

Es gibt in Europa Überlegungen die Normen EN 15239, EN 15240 zusammen mit der EN 13779 unter einer gemeinsamen Führung zu überarbeiten. Auch dieser Weg erscheint sinnvoll, unabhängig davon welche WG hiermit beauftragt wird.

#### **4.5 Handlungsempfehlungen für die Überarbeitung der Inspektionsnormen EN 15239 und EN 15240 im CEN TC 156**

Grundsätzlich müssen die europäischen Normen offener gestaltet werden, als dies üblicherweise in DIN Normen üblich ist. Unterschiedliche Arbeitsumfänge und Detailtiefen müssen allgemein beschrieben werden und können meist nur in den nationalen Anhängen detailliert werden. Grundsätzlich verpflichtende Handlungen und Tätigkeiten können nur mit einem breiten Konsens definiert werden.

Im speziellen Fall werden die Anforderungen an die Energetische Inspektion von den nationalen oder sogar regionalen Verordnungsgebern definiert und deshalb kann die Norm dann nur einen Rahmen bilden, aus dem Tätigkeitsmerkmale dann national individuell zusammengestellt werden können.

Dies ist schon insoweit notwendig, da die Definition einer Klimaanlage im europäischen Umfeld unterschiedlich ausfallen kann. Während man in Mitteleuropa die Gesamtheit Lüftungsanlage, Kälteerzeugung, Raumkonditioniersysteme und Verteilsysteme als Klimaanlage definiert, wird im angelsächsischen und südeuropäischen Raum eher die Kälteerzeugung, -verteilung und -übergabe darunter verstanden. Deshalb kann der notwendige Inspektionsumfang durchaus unterschiedlich gesehen werden.

In Tabelle 55 werden Empfehlungen gegeben, welche Inhalte der DIN SPEC 15240 und der Forschungsergebnisse in die europäischen Arbeiten einfließen können.

In der Tabelle 56 sind die möglichen Tätigkeitsmerkmale gegenüberstellend diskutiert. Diese Übersicht kann als erster Entwurf für ein Pflichtenheft der deutschen Vertreter in den Normungsgremien verstanden werden, um möglichst viele Aspekte, die für Deutschland wichtig sind, in die CEN Normung einfließen zu lassen.

Tabelle 55: Anwendbarkeit der Forschungsergebnisse im europäischen Umfeld,

Ab-schnitt	Thema	Empfehlungen im Hinblick auf die CEN Normung
2.1	Maßnahmenkataloge für unabhängige Kontrollsysteme (Zertifizierungssysteme)	Randbedingungen müssen auch aus Gründen der europäischen Vergleichbarkeit definiert werden
2.1.2	Typen von Klimaanlageanlagen	Eine klare Definition der zu berücksichtigenden Anlagentechniken ist zu geben.
2.1.3	Inhalte der Energetischen Inspektion von Klimaanlageanlagen	Definitionen müssen auch europäisch gegeben werden. Die Tätigkeitsmerkmale sollten offener gestaltet werden. Festlegungen können in einem <b><u>verpflichtenden nationalen Anhang</u></b> getroffen werden.
2.1.4	Fachkunde der zur Energetischen Inspektion berechtigten Personen	Europäisch können hierzu in der Norm vermutlich keine Festlegungen gemacht werden
2.1.5	Anforderungen und Inhalte der Qualifizierung für die Energetische Inspektion	Europäisch können hierzu in der Norm vermutlich keine Festlegungen gemacht werden
2.1.6	Listen qualifizierter Personen	Europäisch können hierzu in der Norm vermutlich keine Festlegungen gemacht werden
2.1.7	Vollzug und Überprüfung der Energetischen Inspektion	Für eine mögliche Überprüfung auch ist ein Mengengerüst notwendig (siehe auch Abschnitt 5)
3.1	Standortbasierte Bewertung von RLT- und Kältesystemen	Die ist im europäischen Umfeld grundsätzlich notwendig. Die in dieser Studie gemachten Aussagen reichen für Europa nicht aus. Es gibt zwei Alternativen:
0	Energetische Bewertung von RLT- und Kältesystemen anhand von Produktkennwerten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von Benchmarks mit Korrekturdaten (wie hier im Bericht)</li> <li>• Direkte Berechnung der Kennzahlen unter Berücksichtigung der lokalen Wetterdaten</li> </ul> <p>Wegen der großen Unterschiede in Europa kommt vermutlich im Rahmen der Berechnungen die Alternative 2 in Frage.</p>
0	Kurzverfahren zur Prüfung der Anlagendimensionierung	Das Verfahren ist grundsätzlich auch im europäischen Umfeld anwendbar.

Tabelle 56: Mögliche Verwendung der Inhalte der DIN SPEC 15240 in den CEN Normen EN 15239 und 15240

DIN SPEC 15240	DIN EN 15239	DIN EN 15240
Abschnitt 4.2 und 4.3. Definition einer Klima- und Lüftungsanlage	<p>Klare Definition notwendig          Könnte auch in der EN 13779 gemacht werden.          Wohnungslüftungsanlagen sind grundsätzlich in den europäischen Dokumenten enthalten.          Schnittstelle zur DIN 1946-6 beachten</p>	
Abschnitt 4.4.: Inhalte der Energetischen Inspektion	Definition der Tätigkeitsmerkmale. Kann eigentlich nicht zwischen Klimaanlage und Lüftungsanlagen getrennt werden. Sonst zu viele Doppelungen notwendig	
Abschnitt 4.5: Inspektionsbericht	Anforderungen an den Inspektionsbericht sollten auch gemeinsam für beide Normen definiert werden	
Abschnitt 5 bis 5.4.:Gebäude-/Zonenparameter	Parameter sollten gemeinsam definiert werden.	
Abschnitt 5.5: Nutzungsparameter	Siehe Gebäude- und Zonenparameter	
Abschnitt 5.6. Kühllasten	Im Hinblick auf freie Kühlung (Außenluft) ergänzen	Ergänzen
Abschnitt 6: Klima und Behaglichkeitsparameter	<p>Parameter sollten gemeinsam definiert werden. Bezug kann zur EN 15251 hergestellt werden, aber klar definiert werden was anzusetzen ist, oder ggf. die EN 15251 für die Anwendung im Sinne der Energetischen Inspektion ertüchtigen.          Ggf. kann zwischen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermischer Behaglichkeit (Klimaanlage)             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Raumlufttemperatur</li> <li>○ Raumluftfeuchtigkeit</li> </ul> </li> <li>• Raumluftqualität (Lüftungsanlage)             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Außenluftvolumenstrom</li> <li>○ Luftqualitätsparameter (Filter etc.)</li> </ul> </li> </ul> <p>getrennt werden.</p>	

DIN SPEC 15240	DIN EN 15239	DIN EN 15240
Abschnitt 7: Betriebszeiten und Regelung	Ergänzungen und Klarstellungen notwendig	Ergänzungen und Klarstellungen notwendig
Abschnitt 8: Inspektion RLT-Gerät	Es erscheint zielführend, eine sinngemäße Übernahme vorzuschlagen. Das Verfahren zur Berechnung des Kennwertes muss allgemein anwendbar sein (Klimazonen). Möglicherweise können Kennzahlen aus Ecodesign Lot 6 berücksichtigt werden	Nicht im Anwendungsbereich
Abschnitt 9: Kanalnetz	Die Anforderungen sind möglicherweise in der EN Norm weitergehend formuliert. Es ist zu beachten, dass die notwendigen Feststellungen während der Inspektion sachdienlich sind und nicht zu weit gehen (Luftdichtigkeitsmessungen).	Ergänzungen im Hinblick auf eine sachdienliche Feststellung der Wärmedämmung notwendig.
Abschnitt 10: Kälteerzeuger und Rückkühler	Nicht im Anwendungsbereich	Es erscheint zielführend, eine sinngemäße Übernahme vorzuschlagen. Das Verfahren zur Berechnung des Kennwertes muss allgemein anwendbar sein (Klimazonen). Möglicherweise können Kennzahlen aus Ecodesign Lot 6 berücksichtigt werden
Abschnitt 11. Kühl- und Kaltwasserverteilung	Nicht im Anwendungsbereich	Bisher nur rudimentär behandelt. Ergänzungen sind sinnvoll. Auch in den allgemeinen CEN Berechnungsnormen zur EPBD nur rudimentär behandelt
Abschnitt 12: Effizienzkennwert Kälteerzeugung	Nicht im Anwendungsbereich	Siehe Abschnitt 10.
Abschnitt 13: Endgeräte	Die Anforderungen sind teilweise weitergehend als in der DIN SPEC 15240. Es ist kritisch zu hinterfragen ob eine Überprüfung der Dimensionierung grundsätzlich zielführend ist. Der Aufwand hierfür kann sehr hoch werden.	Nur rudimentär behandelt. Ergänzungen erscheinen sinnvoll

<b>DIN SPEC 15240</b>	<b>DIN EN 15239</b>	<b>DIN EN 15240</b>
Abschnitt 14: Beurteilung Klimakonzept	Nur rudimentär behandelt. Ergänzungen erscheinen sinnvoll.	Nur rudimentär behandelt. Ergänzungen erscheinen sinnvoll.
Abschnitt 15: Vergleichskennwerte	Diese sollten auf nationaler Ebene definiert werden. Ggf. verpflichtenden nationalen Anhang definieren. In enger Anlehnung an die Kennzahlen Abschnitt 8.	Diese sollten auf nationaler Ebene definiert werden. Ggf. verpflichtenden nationalen Anhang definieren. In enger Anlehnung an die Kennzahlen Abschnitt 11 und 12.
Abschnitt 16: Beurteilung des Gesamtsystems	Anforderungen können vermutlich nur national gestellt werden. Ein Vorschlag im Sinne eines informativen Anhangs erscheint sinnvoll.	
Abschnitt 17: Inspektionsbericht	Definitionen im nationalen Anhang wären zielführend.	
Anhang A Kriterien für das Innenraumklima	Die vorgeschlagenen Checklisten können wechselseitig ergänzt werden. Die VDMA 24197 könnte ergänzend zur Verwendung in CEN vorgeschlagen werden.	
Anhang B Beispiele für Ergebnisdarstellung		
Anhang C Checklisten		
Anhang D Abschätzverfahren Kühllast	Nicht im Anwendungsbereich	Möglicherweise ergänzen in Anhängigkeit der Überarbeitung die DIN EN 15243 wo ebenfalls Verfahren zur Kühllastrechnung erarbeitet werden sollen.

## Literaturverzeichnis

- [1] DIN SPEC 15240: Energetische Inspektion von Klimaanlage, unveröffentlichtes Arbeitsexemplar, Stand 09/2012
- [2] Statistisches Bundesamt: Bauen und Wohnen; Wiesbaden 2010
- [3] Kohler, Niklaus; Hassler, Uta; Paschen, Herbert (Hrsg.): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages“. Berlin/Heidelberg/New York 1999
- [4] BMVBS (Hrsg.): Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS-Online-Publikation 16/2011
- [5] Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Projektnummer 45/05. Abschlussbericht an das BMWi; Karlsruhe 2009
- [6] Jones Lang Lasalle: on.point Büromarktüberblick, 2012
- [7] Kaup, C.: Potenzial der Wärmerückgewinnung, TGA-Fachplaner, Heft 12/2009
- [8] Kaup, C.: Erweiterung der Studie zur Energieeffizienz von raumluftechnischen Geräten, HLH, Heft 1 2012
- [9] Beck, E.: Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen, Dissertation, Universität und Gesamthochschule Kassel, 2000
- [10] Franzke, U., Schiller, H.: Untersuchungen zum Energieeinsparpotential der Raumluftechnik in Deutschland, ILK-B-31-11-3667, 07.10.2011
- [11] Statusbericht des DKV Nr. 22: Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte in der Bundesrepublik Deutschland, 2002
- [12] VDMA-Branchenbericht: Deutscher Markt für Kältetechnik 2009 - Bestandsanalyse an Kältesystemen in Deutschland nach Einsatzgebieten, Marktvolumen für kältetechnische Anlagen
- [13] CCI-Zeitung: Analyse der Fachzeitschrift Jarn zum Europamarkt für Wasserkühlsätze, RLT-Geräte und Ventilator-konvektoren 2006-2011, Februarausgaben 2008 - 2013
- [14] FGK-Statusreport 5: Energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlage, Arbeitshilfe für die energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlage, 2012, A4, 30 S., Hrsg. FGK e.V.
- [15] FGK-Statusreport 6: Energetische Inspektion von Kälteanlagen zur Klimatisierung, Methodik zur energetischen Inspektion von Kälteanlagen zur Klimatisierung, Datenerhebung zur Nutzung im Energiepass und für die Berechnung nach DIN V 18599, 4. Auflage 2012, 36 S., Hrsg. FGK e.V.

- [16] VDI 2067-1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung, Ausgabe 09/2012, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [17] Wiedenhoff, R.; Schiller, H.: Evaluierung und Weiterentwicklung der anlagentechnischen Einzelanforderungen in der Energieeinsparverordnung (§§13 – 15 EnEV 2007), BBR-Endbericht, März 2009
- [18] Richtlinie 2010/31EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union (Ausgabe L 153/13)
- [19] Richtlinie 2002/91EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.2001 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Union (16.12.2002)
- [20] DIN SPEC 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme - Nationaler Anhang zu DIN EN 13779 (09/2007), Ausgabe 12/2009, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [21] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme; Ausgabe 09/2007, Beuth-Verlag GmbH Berlin
- [22] DIN V 18599-3: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung, Ausgabe 12/2011, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [23] DIN V 18599-7: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau, Ausgabe 12/2011, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [24] DIN EN 12599: Lüftung von Gebäuden - Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen; Ausgabe 01/2013, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [25] Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e.V.: RLT-Richtlinie 01: Allgemeine Anforderungen an RLT-Geräte, Ausgabe 01/2009
- [26] DIN EN 13053: Lüftung von Gebäuden - Zentrale raumluftechnische Geräte - Leistungsdaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten; Ausgabe 02/2012, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [27] Verordnung (EU) Nr. 327/2011 der Kommission vom 30. März 2011 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Ventilatoren, die durch Motoren mit einer elektrischen Eingangsleistung zwischen 125 W und 500 kW angetrieben werden

- [28] DIN EN 14511: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und Kühlung - Teil 2: Prüfbedingungen, Ausgabe 01/2012, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [29] ANSI/AHRI Standard 550/590: Performance Rating Of Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the Vapor Compression Cycle,
- [30] EECAC, 2004, Energy efficiency and certification of central air conditioners. Final Report. ARMINES for DG-TREN, the European Commission.
- [31] DIN EN 14825: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung - Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der saisonalen Arbeitszahl, Ausgabe 06/2012, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [32] DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten, Ausgabe 12/2011, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [33] DIN EN 15251: Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, Ausgabe 03/2012, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [34] VDI 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln), Ausgabe 07/1996, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [35] Entwurf VDI 2078: Berechnung der Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden (VDI-Kühllastregeln), Ausgabe 03/2012, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [36] DIN V 18599-2: DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen, Ausgabe 12/2011, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [37] DIN EN 15239 Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 15239:2007
- [38] DIN EN 15240 Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlageanlagen; Deutsche Fassung EN 15240:2007
- [39] VDMA 24176 Inspektion von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden  
Ausgabedatum: 2007-01
- [40] VDMA 24197-1 Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen - Teil 1: Klima- und Lüftungstechnische Geräte und Anlagen
- [41] VDMA 24197-3 Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen - Teil 3: Kältetechnische Geräte und Anlagen zu Kühl- und Heizzwecke  
Ausgabedatum: 2012-07

- [42] CEN TC 371 Energy performance of buildings — Overarching standard EPBD Überarbeitungsstand 10/2012 EN 15603:2008 NA 005-56-20 GA N 2229
- [43] Mandate M480 Setup of standards for a methodology calculating the integrated energy performance of buildings Interim Report Phase 1 NA 005-56-20 GA N 2228
- [44] CEN/TC 371 Request for tender EPBD (M/480) Phase 2 Request for tender regarding the execution of Project Phase 2 of the work called for in the grant agreement for the mandate (M/480) for CEN standards to support the recast EPBD (2010/31/EU) NA 005-56-20 GA N 2242
- [45] Neue Testreferenzjahre (TRY) seit April 2011, Informationen (unveröffentlicht) auf [www.DWD.de](http://www.DWD.de)

## Anhang 0: Hochrechnung der Kältemaschinenanzahl anhand der Baufertigstellungen

Quelle	Jahr	[Stk./a]	Baufertigst. West [m <sup>2</sup> ]	Baufertigst. Ost [m <sup>2</sup> ]	Baufertigst. ges [m <sup>2</sup> ]	[Stk/1000m <sup>2</sup> ]	KWS [Stk/a]
	1982		26 683 000	1 000 000	27 683 000	0.24	6 751
	1983		24 912 000	1 000 000	25 912 000	0.24	6 319
	1984		25 586 000	1 000 000	26 586 000	0.24	6 483
	1985		20 965 000	1 000 000	21 965 000	0.24	5 356
	1986		20 244 000	1 000 000	21 244 000	0.24	5 180
	1987		20 766 000	1 000 000	21 766 000	0.24	5 308
	1988		23 761 000	1 000 000	24 761 000	0.24	6 038
	1989		24 537 000	1 000 000	25 537 000	0.24	6 227
	1990		25 495 000	1 000 000	26 495 000	0.24	6 461
	1991		27 472 000	2 000 000	29 472 000	0.24	7 187
	1992		28 756 000	4 000 000	32 756 000	0.24	7 988
	1993		29 111 000	7 257 000	36 368 000	0.24	8 869
	1994		26 409 000	10 212 000	36 621 000	0.24	8 930
	1995		26 121 000	11 430 000	37 551 000	0.24	9 157
	1996		24 381 000	10 133 000	34 514 000	0.24	8 416
	1997		26 107 000	9 919 000	36 026 000	0.24	8 785
	1998		26 055 000	8 033 000	34 088 000	0.24	8 313
	1999		28 186 000	6 651 000	34 837 000	0.24	8 495
	2000		28 506 000	5 866 000	34 372 000	0.24	8 382
	2001		28 314 000	5 019 000	33 333 000	0.24	8 128
	2002		27 321 000	4 664 000	31 985 000	0.24	7 800
	2003		24 027 000	3 522 000	27 549 000	0.24	6 718
	2004		22 519 000	4 302 000	26 821 000	0.24	6 540
	2005		20 079 000	3 794 000	23 873 000	0.24	5 822
CCI / JARN	2006	7 000	22 854 000	3 366 000	26 220 000	0.27	7 000
CCI / JARN	2007	6 800	22 381 000	3 863 000	26 244 000	0.23	6 800
CCI / JARN	2008	7 000	25 113 000	4 001 000	29 114 000	0.25	7 000
CCI / JARN	2009	5 800	23 882 000	4 058 000	27 940 000	0.23	5 800
CCI / JARN	2010	6 200	22 255 000	3 219 000	25 474 000	0.24	6 200
CCI / JARN	2011	6 400	22 478 000	3 522 000	26 000 000	0.25	6 400
<b>Mittelwert</b>	<b>Stk/a</b>	<b>6 533</b>				<b>0.24</b>	<b>7 095</b>
mittlere Nutzungsdauer		a					20
Marktzahl insgesamt		Stk ges					146 773
<b>Marktzahl §12</b>		<b>Stk ges</b>				-15% Prozesskälte	<b>124 757</b>
mittlere Nutzungsdauer		a					25
Marktzahl insgesamt		Stk ges					180 653
<b>Marktzahl §12</b>		<b>Stk ges</b>				-15% Prozesskälte	<b>153 555</b>

## Anhang 1: Formular zur Markterhebung Inspektionstätigkeit

Folgende Energetischen Inspektionen von Klimaanlage nach §12 der EnEV wurden von mir / meinem Unternehmen durchgeführt

lfd. Nr.	Nutzungsart / Branche (Büro, Krankenhaus, etc.)	Anzahl Klimaanlage [Stk.]	Gesamtluftvolumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Gesamtkälteleistung [kW]
1	Testgebäude	Testanlage	100.000	580
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Welche Normen, Verfahren und Hilfsmittel verwenden Sie bei der Energetischen Inspektion (bitte zutreffendes auswählen)?

- |   |  |   |   |                                      |
|---|--|---|---|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> DIN EN 15239                       | <input type="checkbox"/> DIN EN 15240                      | <input type="checkbox"/> DIN EN 13779                       | <input checked="" type="checkbox"/> DIN EN 15251          | <input type="checkbox"/> DIN V 19599 |
| <input checked="" type="checkbox"/> FGK-Statusreport Nr. 5  | <input checked="" type="checkbox"/> FGK-Statusreport Nr. 6 | <input checked="" type="checkbox"/> FGK-Statusreport Nr. 17 | <input type="checkbox"/> VDMA 24186                       | <input type="checkbox"/> VDMA 24197  |
| <input type="checkbox"/> Kühllastberechnung (z.B. VDI 2078) | <input type="checkbox"/> Anlagensimulation                 | <input checked="" type="checkbox"/> eigene Tools            | <input checked="" type="checkbox"/> sonstiges: Testkoffer |                                      |

### freiwillige Angaben

Herr/Frau: Tester  
 Firma: Test GmbH  
 Tel.: 0123-456789  
 e-mail: tester@test.de

Bitte schicken Sie das ausgefüllte Formular an [inspektion@ilkdresden.de](mailto:inspektion@ilkdresden.de) oder verwenden Sie den Button "Formular senden". Vielen Dank für Ihre Unterstützung des Forschungsprojektes.

## Anhang 2: Formular zur Markterhebung Inspektionsergebnisse

### Markterhebung Inspektionsergebnisse Zusammenfassung - ungewichtete Mittelwerte

System	Außenluftanlage		53%		
	Mischluftanlage		35%		
	Umluftanlage		8%		
Anzahl Teilnehmer		119			
Gesamt-Volumenstrom		2.280.061	m <sup>3</sup> /h		
Gesamt-Kälteleistung		15.232	kW		
mittleres Baujahr		1987			
Gerät:	Kombigerät		63%		
	ZUL und ABL räumlich getrennt		37%		
Ausstattung	WRG	Platte	4%		
		Rotor	13%		
		KVS	11%		
		Umluft	42%		
		keine	30%		
	Befeuchter	Wasser	12%		
		Dampf	28%		
	Kälte	fremd geliefert	65%	Kaltwasser	91%
		separate Maschine	31%	Direktverdampfer	9%
		Integrierte Maschine	5%		
Ventilatoren	Radial	vorwärts gekrümmt	12%		
		rückwärts gekrümmt	88%		
	Axial	keine	48%		
		FU	50%		
	Drehzahlregelung	Dralldrossel	2%		
		Schaufelverst.	1%		
		Keilriemen	94%		
		Flachriemen	1%		
		direkt	5%		
		keine	48%		
Antrieb	Keilriemen	94%			
	Flachriemen	1%			
	direkt	5%			
	keine	48%			
Prüfungsergebnis	Rückwärmzahl		55%		
	Umluftanteil		77%		
	Zuluventilator	SFP-Wert	2,00	kWs/m <sup>3</sup>	
		Systemwirkungsgrad	0,38		
		Gesamtdruckerhöhung	717	Pa	
	Abluftventilator	SFP-Wert	1,32	kWs/m <sup>3</sup>	
		Systemwirkungsgrad	0,34		
		Gesamtdruckerhöhung	459	Pa	
	Überdimensionierung hinsichtlich Außenluftbedarf		53%		
	Überdimensionierung hinsichtlich Kühllast		23%		
Empfehlungen	Volumenstromreduzierung bis 20 %		9%		
	Volumenstromreduzierung > 20 %		25%		
	Reduzierung der Betriebszeit		10%		
	zus. Klappen, Volumenstromregler für Zonierung		12%		
	bedarfsgerechte Volumenstromregelung		45%		
	Absenkbetrieb		8%		
	Sollwerte optimieren Temperatur		25%		
	Sollwerte optimieren Feuchte		22%		
	Optimierte Regelstrategie		48%		
	Nachlüftung		2%		
	natürliche Lüftung		1%		
	freie Kühlung vorsehen		3%		
	Ventilator austausch		50%		
	WRG nachrüsten		24%		
	WRG verbessern		11%		
	MSR verbessern		39%		
	Wartungsmängel beseitigen		19%		
	Luftdichtheit Kanalnetz		8%		
grundsätzliche Systemänderung		34%			
Rückbau / Alternativlösung		8%			

**Markterhebung Inspektionsergebnisse**  
**Zusammenfassung - volumenstromgewichtete Mittelwerte**

System	Außenluftanlage	51%		
	Mischluftanlage	39%		
	Umluftanlage	10%		
Anzahl Teilnehmer	119			
Gesamt-Volumenstrom	2.280.061	m³/h		
Gesamt-Kälteleistung	15.232	kW		
mittleres Baujahr	1985			
Gerät	Kombigerät	54%		
	ZUL und ABL räumlich getrennt	46%		
Ausstattung	WRG	Platte	2%	
		Rotor	17%	
		KVS	14%	
		Umluft	48%	
		keine	19%	
	Befeuchter	Wasser	21%	
		Dampf	29%	
	Kälte	fremd geliefert	67%	Kaltwasser 96% Direktverdampfer 4%
		separate Maschine	31%	
		integrierte Maschine	2%	
Ventilatoren	Radial	vorwärts gekrümmt	12%	
		rückwärts gekrümmt	84%	
	Äxial		4%	
	Drehzahlregelung	keine	45%	
		FU	47%	
		Dralldrossel	7%	
	Antrieb	Schaufelverst.	1%	
		Keilriemen	96%	
		Flachriemen	1%	
		direkt	2%	
Prüfungsergebnis	Rückwärmzahl	56%		
	Umluftanteil	69%		
Zuluftventilator	SFP-Wert	1,99	kWs/m³	
	Systemwirkungsgrad	0,38		
	Gesamtdruckerhöhung	813	Pa	
Abluftventilator	SFP-Wert	1,32	kWs/m²	
	Systemwirkungsgrad	0,32		
	Gesamtdruckerhöhung	543	Pa	
Überdimensionierung	hinsichtlich Außenluftbedarf	67%		
	hinsichtlich Kühllast	25%		
Empfehlungen	Volumenstromreduzierung bis 20 %	10%		
	Volumenstromreduzierung > 20 %	27%		
	Reduzierung der Betriebszeit	16%		
	zus. Klappen, Volumenstromregler für Zonierung	15%		
	bedarfsgerechte Volumenstromregelung	53%		
	Absenkbetrieb	15%		
	Sollwerte optimieren Temperatur	19%		
	Sollwerte optimieren Feuchte	23%		
	Optimierte Regelstrategie	55%		
	Nachtlüftung	0%		
	natürliche Lüftung	0%		
	freie Kühlung vorsehen	2%		
	Ventilator austausch	53%		
	WRG nachrüsten	14%		
	WRG verbessern	17%		
	MSR verbessern	37%		
	Wartungsmängel beseitigen	22%		
	Luftdichtheit Kanalnetz	10%		
	grundsätzliche Systemänderung	37%		
	Rückbau / Alternativlösung	8%		

**Kälteversorgung (Mittelwerte und proz. Anteile)**

mittlere Baujahr	1991			
mittlere Nennkälteleistung	235.5 kW			
mittl. Nennleistungszahl EER (COP)	3.13			
Kältemittel	R22 und R22-Gemische:	24%		
	andere:	55%	keine Angabe: 21%	
Freie Kühlung	vorhanden:	3%	nicht vorhanden: 70%	
			keine Angabe: 27%	
Nachweis Dichtheitsprüfung	liegt vor:	48%	liegt nicht vor: 44%	
			keine Angabe: 8%	
aktuelles Wartungsprotokoll	liegt vor:	72%	liegt nicht vor: 24%	
			keine Angabe: 4%	
Rückkühlung	wassergekühlt:	30%		
	luftgekühlt:	70%		
	andere:	0%		
Verdichterart	Kolben:	33%		
	Scroll:	27%		
	Schraube:	30%		
	Turbo:	3%		
	Absorber:	3%	keine Angabe: 4%	
Leistungsregelung	Taktbetrieb einstufig:	9%		
	Taktbetrieb mehrstufig:	64%		
	Heißgasbypass:	18%		
	Inverter-/Drehzahlregelung:	0%		
	Steuerschieber (Schraube):	6%		
	Einlassdrossel (Turbo):	3%	keine Angabe: 0%	
Temperaturen (Mittelwerte)	Verdampfungstemperatur:	2.5°C		
	Verflüssigungstemperatur:	39.5°C		
	alternativ: Kaltwasseraustritt:	6.8°C		
	alternativ: Kühlwasseraustritt:	31.2°C		
Rückkühler	Trockenrückkühler:	56%		
	Verdunstungsrückkühler	offen:	28%	
		geschlossen:	17%	
Kühlwasserregelung	Kühlwassereintritt	konstant:	87%	
		variabel:	13%	
mittlerer Teilkennwert E <sub>KK</sub>	3.43			
Empfehlungen	Sollwerte optimieren (Kaltwassertemperatur):	21%	Wurde die Maßnahme Ihres Wissens nach realisiert? 0%	
	Sollwerte optimieren (Kühlwassertemperatur):	9%	0%	
	Reduzierung der Betriebszeit Kältemaschine:	9%	0%	
	freie Kühlung mit Rückkühler vorsehen:	21%	14%	
	Kältemittelumstellung (R22)	27%	11%	
	Rückbau / Alternativlösung:	45%	20%	
	sonstiges	20%	0%	

**Kaltwasserhydraulik (nur wenn vorhanden)**

Pumpenleistung	< 20W je kW Kälteleistung:	27%	
	> 20W je kW Kälteleistung:	33%	keine Angabe: 40%
Leistungsregelung	vorhanden:	15%	
	nicht vorhanden:	61%	keine Angabe: 24%
Einschätzung Betriebszeit	bedarfsgeregt:	27%	
	intermittierend:	15%	
	saisonal:	36%	keine Angabe: 22%
Empfehlungen	Hydraulischer Abgleich:	24%	Wurde die Maßnahme Ihres Wissens nach realisiert? 13%
	Reduzierung der Pumpenbetriebszeit:	15%	0%
	Aufspaltung Hydraulik:	12%	0%
	sonstiges	13%	0%

### Anhang 3: Investitionskosten Sanierung Luftfördersystem

Sanierungsmaßnahme:		Ersatz Keilriemen durch Flachriemen			
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestandsmotor EFF3 (2-stufig) und Ventilatorlaufrad werden weiterverwendet</li> <li>- Anpassung des IST-Volumenstromes an Bedarf (2-stufig) in Grenzen möglich</li> <li>- evtl. ist die Nachrüstung eines Spannschlittens erforderlich</li> <li>- Hinweis: Maßnahme nur bei korrekter Ventilatorauslegung sinnvoll</li> </ul>			
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Wirkungsgrad- verbesserung geschätzt [%]	
1	Flachriemen, 2 Stk. Riemenscheibe (Motor, Laufrad)	5 000	140 €	3	Maßnahme nicht förderfähig
		15 000	370 €	3	
		30 000	740 €	3	
2	Demontage Keilriemen und Riemenscheibe, Montage 2 Stk. Riemenscheiben, Montage und Justierung Flachriemen	5 000	800 €		
		15 000	1 000 €		
		30 000	1 200 €		
3	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung	5 000	500 €		
		15 000	500 €		
		30 000	500 €		
4	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	- €		
		15 000	- €		
		30 000	- €		
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>1 580 €</b>		
		15 000	<b>2 240 €</b>		
		30 000	<b>3 180 €</b>		
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt. (mit max. Bafa-Förderung)</b>	5 000	<b>1 580 €</b>		
		15 000	<b>2 240 €</b>		
		30 000	<b>3 180 €</b>		

Sanierungsmaßnahme:		Motortausch mit AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen (analog Bestand)			
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilatorlaufrad wird weiterverwendet, Bestandsmotor EFF3 (2-stufig) demontiert</li> <li>- Zielgröße Motoreffizienz: IE3 (ggf. IE2 möglich)</li> <li>- Anpassung des IST-Volumenstromes an Bedarf (2-stufig) in Grenzen möglich</li> <li>- Hinweis: Maßnahme nur bei korrekter Laufradauslegung sinnvoll</li> <li>- Hinweis: häufige Sanierungslösung im Industriebereich zur thermischen Lastabfuhr</li> </ul>			
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Wirkungsgrad Motor [%]	Wirkungsgrad Riemen [%]
1	AC-Motor, Effizienzklasse IE3 (ggf. IE2), 2-stufig, polumschaltbar, auf schwingungsentkoppeltem Montagerahmen, Motorschutzeinrichtung, 2 Stk. Riemenscheiben, Flachriemen	5 000	990 €	87.0	+3%
		15 000	1 620 €	90.5	+3%
		30 000	2 520 €	91.5	+3%
2	Demontage Motor, Keilriemen und Riemenscheibe, Montage Riemenscheiben, Montage und Justierung Motor einschl. Flachriemen	5 000	2 800 €		
		15 000	3 400 €		
		30 000	4 100 €		
3	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung	5 000	1 500 €		
		15 000	1 500 €		
		30 000	1 500 €		
4	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	500 €		
		15 000	500 €		
		30 000	500 €		
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>6 780 €</b>		
		15 000	<b>8 640 €</b>		
		30 000	<b>11 140 €</b>		
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt. (mit max. Bafa-Förderung)</b>	5 000	<b>6 008 €</b>		
		15 000	<b>7 376 €</b>		
		30 000	<b>9 174 €</b>		

Sanierungsmaßnahme:		Gehäuseventilator mit AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen (analog Bestand)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilatorlaufrad und Bestandsmotor EFF3 (2-stufig) werden demontiert</li> <li>- Zielgröße Ventilatoreffizienz: Stufe 2 nach Öko-Design (ab 2015)</li> <li>- Anpassung des IST-Volumenstromes an Bedarf (2-stufig) in Grenzen möglich</li> <li>- Hinweis: häufige Sanierungslösung im Industriebereich zur thermischen Lastabfuhr</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Wirkungsgrad Ventilator [%]	Wirkungsgrad Motor [%]	Wirkungsgrad Riemen [%]
1	Gehäuseventilator mit AC-Motor, Effizienzklasse IE3 (ggf. IE2), 2-stufig polumschaltbar, auf schwingungsentkoppeltem Montagerahmen, Motorschutzeinrichtung, 2 Stk. Riemenscheiben, Flachriemen	5 000	1 260 €	79.9	87.0	97.0
		15 000	2 610 €	79.9	90.5	97.0
		30 000	4 320 €	79.9	91.5	97.0
2	Demontage Ventilatorsystem, Montage und Justierung Gehäuseventilator einschl. Motor und Flachriemen	5 000	3 800 €			
		15 000	4 400 €			
		30 000	5 100 €			
3	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung	5 000	1 500 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	1 500 €			
4	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	500 €			
		15 000	500 €			
		30 000	500 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt. (ohne BAFA-Förderung)	5 000	8 320 €			
		15 000	11 620 €			
		30 000	15 740 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt. (mit max. Bafa-Förderung)	5 000	7 337 €			
		15 000	9 584 €			
		30 000	12 370 €			

Sanierungsmaßnahme:		Motortausch mit AC-Motor stetig mit Frequenzumrichter und Flachriemen				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilatorlaufrad wird weiterverwendet, Bestandsmotor EFF3 (2-stufig) demontiert</li> <li>- Zielgröße Motoreffizienz: IE3</li> <li>- Anpassung des IST-Volumenstromes an Bedarf (stetig) möglich</li> <li>- Hinweis: Maßnahme nur bei korrekter Laufradauslegung sinnvoll</li> <li>- Hinweis: häufige Sanierungslösung bei variablen Lasten (thermisch, hygrisch, hygienisch)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Wirkungsgrad Motor [%]	Wirkungsgrad Riemen [%]	Wirkungsgrad FU [%]
1	AC-Motor, Effizienzklasse IE3, stetig regelbar, auf schwingungsentkoppeltem Montagerahmen, Motorschutzeinrichtung, Druckmeßumformer, Frequenzumrichter, 2 Stk. Riemenscheiben, Flachriemen	5 000	2 916 €	87.0	+3%	95.0
		15 000	4 293 €	90.5	+3%	95.5
		30 000	8 586 €	91.5	+3%	96.0
2	Demontage Motor, Keilriemen und Riemenscheibe, Montage Riemenscheiben, Montage und Justierung Motor einschl. Flachriemen	5 000	2 800 €			
		15 000	3 400 €			
		30 000	4 100 €			
3	Einbau Regelgrößen-Messwertaufnehmer (z.B. Druck-, Luftqualitäts-, Temperatur- oder Feuchtesensor), Reglerbaustein, Parametrierung Frequenzumformer, Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung	5 000	2 500 €			
		15 000	2 500 €			
		30 000	2 500 €			
4	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	500 €			
		15 000	500 €			
		30 000	500 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt.	5 000	11 632 €			
		15 000	14 986 €			
		30 000	24 272 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt. (mit max. Bafa-Förderung)	5 000	9 358 €			
		15 000	11 637 €			
		30 000	17 575 €			

Sanierungsmaßnahme:		Gehäuseventilator mit EC-Motor und Kommutiereinheit				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilatorlaufrad und Bestandsmotor EFF3 (2-stufig) werden demontiert</li> <li>- Zielgröße Ventilatoreffizienz: Stufe 2 nach Öko-Design (ab 2015)</li> <li>- Anpassung des IST-Volumenstromes an Bedarf (stetig) möglich</li> <li>- Hinweis: häufige Sanierungslösung bei variablen Lasten (thermisch, hygrisch, hygienisch)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Wirkungsgrad Ventilator [%]	Wirkungsgrad Motor [%]	Wirkungsgrad Kommutiereinheit [%]
1	Gehäuseventilator mit EC-Motor, Effizienzklasse ErP Stufe 2, mit Kommutiereinheit, auf schwingungsentkoppeltem Montagerahmen	5 000	3 240 €	79.9	95.0	98.0
		15 000	4 770 €	79.9	95.0	98.0
		30 000	9 540 €	79.9	95.0	98.0
2	Demontage Ventilatorsystem, Umbau Gerätegehäusewand druckseitig, Montage und Justierung Gehäuseventilator	5 000	3 800 €			
		15 000	4 400 €			
		30 000	5 100 €			
3	Einbau Regelgrößen-Messwertaufnehmer (z.B. Druck-, Luftqualitäts-, Temperatur- oder Feuchtesensor), Reglerbaustein, Programmierung Kommutiereinheit, Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung	5 000	3 500 €			
		15 000	3 500 €			
		30 000	3 500 €			
4	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	500 €			
		15 000	500 €			
		30 000	500 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt.	5 000	14 280 €			
		15 000	17 940 €			
		30 000	28 180 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt. (mit max. Bafa-Förderung)	5 000	11 753 €			
		15 000	14 219 €			
		30 000	20 739 €			

Sanierungsmaßnahme:		Freilaufendes Rad als Radialventilator mit EC-Motor und Kommutiereinheit				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilatorlaufrad und Bestandsmotor EFF3 (2-stufig) werden demontiert</li> <li>- Zielgröße Ventilatoreffizienz: Stufe 2 nach Öko-Design (ab 2015)</li> <li>- Anpassung des IST-Volumenstromes an Bedarf (stetig) möglich</li> <li>- Hinweis: häufige Sanierungslösung bei variablen Lasten (thermisch, hygrisch, hygienisch)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Wirkungsgrad Ventilator [%]	Wirkungsgrad Motor [%]	Wirkungsgrad Kommutiereinheit [%]
1	Freilaufendes Rad als Radialventilator mit EC-Motor, Effizienzklasse ErP Stufe 2, mit Kommutiereinheit, auf schwingungsentkoppeltem Montagerahmen	5 000	1 890 €	79.0	95.0	98.0
		15 000	5 670 €	79.0	95.0	98.0
		30 000	11 340 €	79.0	95.0	98.0
2	Demontage Bestandsventilatorsystem, Umbau Gerätegehäusewand druck- und saugseitig, Montage und Justierung Ventilatorsystem mit Freilaufendem Rad	5 000	4 100 €			
		15 000	4 800 €			
		30 000	5 600 €			
3	Einbau Regelgrößen-Messwertaufnehmer (z.B. Druck-, Luftqualitäts-, Temperatur- oder Feuchtesensor), Reglerbaustein, Programmierung Kommutiereinheit, Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung	5 000	3 500 €			
		15 000	3 500 €			
		30 000	3 500 €			
4	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	500 €			
		15 000	500 €			
		30 000	500 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt.	5 000	11 880 €			
		15 000	20 140 €			
		30 000	32 280 €			
Σ	Summe incl. 19% MwSt. (mit max. Bafa-Förderung)	5 000	10 406 €			
		15 000	15 717 €			
		30 000	23 435 €			

Sanierungsmaßnahme		Ersatz Keilriemen durch Flachriemen Basis Systemwirkungsgrad 35%											
Ist-Zustand Bestands- anlage	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
	Wirkungsgrad Motor [%]	68%	68%	68%	68%	70%	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	P_SFP [W/m³/s]	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	2 778	1 833	2 778	1 833	8 333	5 500	8 333	5 500	16 667	11 000	16 667	11 000
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	481	324	-	-	1 442	973	-	-	2 885	1 946
Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	
nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
	Wirkungsgrad Motor [%]	68%	68%	68%	68%	70%	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%
	<b>Wirkungsgrad Riemen [%]</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	37%	35%	37%	35%	37%	35%	37%	35%	37%	35%	37%	35%
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	2 688	1 774	2 688	1 774	8 065	5 323	8 065	5 323	16 129	10 645	16 129	10 645
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	460	310	-	-	1 379	929	-	-	2 757	1 858
Wirkleistungsdifferenz [W]	-90	-59	-55	-37	-269	-177	-166	-111	-538	-355	-332	-221	
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-40 €		-25 €		-120 €		-75 €		-241 €		-149 €	
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-84 €		-52 €		-251 €		-156 €		-502 €		-311 €	
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-195 €		-121 €		-586 €		-364 €		-1 173 €		-728 €		
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>1 580 €</b>				<b>2 240 €</b>				<b>3 180 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.08											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>158 €</b>				<b>224 €</b>				<b>318 €</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	rechn. Nutzungsdauer geschätzt	3											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.350											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	45.5		73.3		21.5		34.6		15.2		24.6	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>28.9</b>		<b>46.6</b>		<b>13.7</b>		<b>22.0</b>		<b>9.7</b>		<b>15.6</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	21.8		35.2		10.3		16.6		7.3		11.8	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>13.9</b>		<b>22.4</b>		<b>6.6</b>		<b>10.6</b>		<b>4.7</b>		<b>7.5</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	9.3		15.1		4.4		7.1		3.1		5.1	
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>5.9</b>		<b>9.6</b>		<b>2.8</b>		<b>4.5</b>		<b>2.0</b>		<b>3.2</b>		
BAFA-Förderung	Maßnahme kein Fördergegenstand												

Sanierungsmaßnahme		Ersatz Keilriemen durch Flachriemen (analog Bestand) <b>Basis Systemwirkungsgrad 50%</b>											
Ist-Zustand Bestands- anlage	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%
	Wirkungsgrad Motor [%]	78%	78%	78%	78%	80%	80%	80%	80%	82%	82%	82%	82%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
	P_SFP [W/m³/s]	1 416	927	1 416	927	1 415	926	1 415	926	1 414	926	1 414	926
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 967	1 288	1 967	1 288	5 897	3 860	5 897	3 860	11 785	7 713	11 785	7 713
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	306	203	-	-	917	608	-	-	1 833	1 214
	Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%
nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%
	Wirkungsgrad Motor [%]	78%	78%	78%	78%	80%	80%	80%	80%	82%	82%	82%	82%
	<b>Wirkungsgrad Riemen [%]</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	52%	50%	52%	50%	52%	50%	52%	50%	53%	50%	53%	50%
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 906	1 248	1 906	1 248	5 716	3 742	5 716	3 742	11 424	7 477	11 424	7 477
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	294	195	-	-	883	584	-	-	1 764	1 167
Wirkleistungsdifferenz [W]	-60	-39	-36	-24	-181	-118	-108	-71	-361	-236	-215	-141	
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-27 €		-16 €		-81 €		-48 €		-161 €		-96 €	
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-56 €		-33 €		-168 €		-100 €		-336 €		-200 €	
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-131 €		-78 €		-392 €		-234 €		-784 €		-468 €		
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>1 580 €</b>				<b>2 240 €</b>				<b>3 180 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.08											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>158 €</b>				<b>224 €</b>				<b>318 €</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	rechn. Nutzungsdauer geschätzt	3											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.350											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	67.9	113.7	32.1	53.8	22.8	38.2						
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>43.2</b>	<b>72.3</b>	<b>20.4</b>	<b>34.2</b>	<b>14.5</b>	<b>24.3</b>						
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	32.6	54.6	15.4	25.8	10.9	18.3						
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>20.7</b>	<b>34.7</b>	<b>9.8</b>	<b>16.4</b>	<b>7.0</b>	<b>11.7</b>						
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	13.9	23.4	6.6	11.0	4.7	7.8						
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>8.9</b>	<b>14.9</b>	<b>4.2</b>	<b>7.0</b>	<b>3.0</b>	<b>5.0</b>							
BAFA-Förderung	Maßnahme kein Fördergegenstand												

Sanierungsmaßnahme		Motortausch mit AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen (analog Bestand) Basis Systemwirkungsgrad 35%											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
Ist-Zustand Bestands-anlage	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
	Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	68%	68%	68%	68%	70%	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	P_SFP [W/m³/s]	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	2 778	1 833	2 778	1 833	8 333	5 500	8 333	5 500	16 667	11 000	16 667	11 000
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	481	324	-	-	1 442	973	-	-	2 885	1 946
	Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%
	nach Sanierungsmaßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%
Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]		87%	87%	87%	87%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%
Wirkungsgrad Riemen [%]		93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%
Wirkungsgrad Regler [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
Wirkungsgrad System [%]		48%	45%	48%	45%	48%	46%	48%	46%	47%	45%	47%	45%
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]		2 101	1 387	2 101	1 387	6 238	4 117	6 238	4 117	12 692	8 377	12 692	8 377
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]		-	-	332	223	-	-	984	659	-	-	2 012	1 348
Wirkleistungsdifferenz [W]		-677	-447	-412	-274	-2096	-1383	-1277	-848	-3975	-2623	-2424	-1611
verbrauchsgebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-303 €		-185 €		-939 €		-574 €		-1 782 €		-1 089 €	
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-632 €		-386 €		-1 957 €		-1 195 €		-3 712 €		-2 269 €	
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-1 476 €		-902 €		-4 571 €		-2 792 €		-8 670 €		-5 301 €		
betriebsgebundene Kosten	Investition gesamt (ohne Förderung)	6 780 €				8 640 €				11 140 €			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
	Instandhaltung gesamt	678 €				864 €				1 114 €			
Amortisationsdauer T <sub>A</sub> ohne BAFA-Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	18											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,070											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	30,8		50,5		12,7		20,8		8,6		14,1	
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	19,6		32,1		8,1		13,2		5,5		9,0	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	14,8		24,2		6,1		10,0		4,1		6,8	
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	9,4		15,4		3,9		6,3		2,6		4,3	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	6,3		10,4		2,6		4,3		1,8		2,9	
T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	4,0		6,6		1,7		2,7		1,1		1,8		
Amortisationsdauer T <sub>A</sub> mit BAFA-Förderung	Investition gesamt (mit Förderung)	6 008 €				7 376 €				9 174 €			
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	27,6		45,2		11,0		18,0		7,2		11,8	
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	17,7		29,0		7,1		11,6		4,7		7,6	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	13,3		21,7		5,3		8,6		3,5		5,7	
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	8,5		13,9		3,4		5,5		2,2		3,7	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	5,7		9,3		2,3		3,7		1,5		2,4	
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	3,6		6,0		1,5		2,4		1,0		1,6	

Sanierungsmaßnahme		Motortausch mit AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen (analog Bestand) Basis Systemwirkungsgrad 50%												
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000				
		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
Ist-Zustand Bestands- anlage	Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%	
	Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	78%	78%	78%	78%	80%	80%	80%	80%	82%	82%	82%	82%	
	Wirkungsgrad Riemen [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
	Wirkungsgrad System [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	
	P_SFP [W/m³/s]	1 416	927	1 416	927	1 415	926	1 415	926	1 414	926	1 414	926	
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 967	1 288	1 967	1 288	5 897	3 860	5 897	3 860	11 785	7 713	11 785	7 713	
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113	
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	306	203	-	-	917	608	-	-	1 833	1 214	
	Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%	
	nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%
		Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]	87%	87%	87%	87%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%
Wirkungsgrad Riemen [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
Wirkungsgrad Regler [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
Wirkungsgrad System [%]		59%	56%	59%	56%	59%	57%	59%	57%	59%	56%	59%	56%	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]		1 709	1 119	1 709	1 119	5 053	3 308	5 053	3 308	10 238	6 701	10 238	6 701	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]		-	-	258	170	-	-	760	502	-	-	1 543	1 020	
Wirkleistungsdifferenz [W]		-257	-169	-153	-100	-844	-552	-501	-329	-1547	-1012	-919	-603	
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-115 €		-68 €		-377 €		-224 €		-691 €		-411 €		
	Betriebsstunden [h/a]	3 750												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-240 €		-142 €		-785 €		-467 €		-1 440 €		-856 €		
	Betriebsstunden [h/a]	8 760												
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-560 €		-333 €		-1 834 €		-1 090 €		-3 363 €		-2 000 €			
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>6 780 €</b>				<b>8 640 €</b>				<b>11 140 €</b>				
	Aufwand Instandsetzung	0,02												
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08												
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>678 €</b>				<b>864 €</b>				<b>1 114 €</b>				
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	18												
	Zinssatz	2,5%												
	Annuitätsfaktor	0,070												
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	81.3		136.8		31.6		53.2		22.2		37.4		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>51.8</b>		<b>87.0</b>		<b>20.1</b>		<b>33.9</b>		<b>14.2</b>		<b>23.8</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	39.0		65.6		15.2		25.5		10.7		18.0		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>24.8</b>		<b>41.8</b>		<b>9.7</b>		<b>16.3</b>		<b>6.8</b>		<b>11.4</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	16.7		28.1		6.5		10.9		4.6		7.7		
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>10.6</b>		<b>17.9</b>		<b>4.1</b>		<b>7.0</b>		<b>2.9</b>		<b>4.9</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	<b>Investition gesamt (mit Förderung)</b>	<b>6 008 €</b>				<b>7 376 €</b>				<b>9 174 €</b>				
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	72.9		122.6		27.4		46.1		18.7		31.4		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>46.7</b>		<b>78.5</b>		<b>17.6</b>		<b>29.6</b>		<b>12.0</b>		<b>20.2</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	35.0		58.8		13.2		22.1		9.0		15.1		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>22.4</b>		<b>37.7</b>		<b>8.4</b>		<b>14.2</b>		<b>5.8</b>		<b>9.7</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	15.0		25.2		5.6		9.5		3.8		6.5		
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>9.6</b>		<b>16.1</b>		<b>3.6</b>		<b>6.1</b>		<b>2.5</b>		<b>4.2</b>			

Sanierungsmaßnahme		Gehäuseventilator mit AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen (analog Bestand) <b>Basis Systemwirkungsgrad 35%</b>											
Ist-Zustand Bestands- anlage	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
	Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	68%	68%	68%	68%	70%	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	P_SFP [W/m³/s]	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	2 778	1 833	2 778	1 833	8 333	5 500	8 333	5 500	16 667	11 000	16 667	11 000
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	481	324	-	-	1 442	973	-	-	2 885	1 946
	Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%
nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
	Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]	87%	87%	87%	87%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	59%	59%	59%	59%	62%	62%	62%	62%	63%	63%	63%	63%
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 682	1 051	1 682	1 051	4 850	3 031	4 850	3 031	9 593	5 996	9 593	5 996
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	253	158	-	-	723	452	-	-	1 427	892
Wirkleistungsdifferenz [W]	-1096	-782	-662	-474	-3484	-2469	-2101	-1495	-7074	-5004	-4265	-3029	
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-507 €		-307 €		-1 607 €		-971 €		-3 261 €		-1 969 €	
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-1 057 €		-639 €		-3 348 €		-2 023 €		-6 794 €		-4 103 €	
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-2 468 €		-1 493 €		-7 822 €		-4 726 €		-15 870 €		-9 585 €		
betriebs- gebundene Kosten	Investition gesamt (ohne Förderung)	8 320 €				11 620 €				15 740 €			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.08											
	Instandhaltung gesamt	832 €				1 162 €				1 574 €			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	18											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.070											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	22.6	37.4	10.0	16.5	6.7	11.0						
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	14.4	23.8	6.3	10.5	4.2	7.0						
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	10.9	18.0	4.8	7.9	3.2	5.3						
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	6.9	11.4	3.0	5.0	2.0	3.4						
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	4.6	7.7	2.0	3.4	1.4	2.3						
T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	3.0	4.9	1.3	2.2	0.9	1.4							
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	Investition gesamt (mit Förderung)	7 337 €				9 584 €				12 370 €			
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	20.2	33.4	8.4	13.9	5.4	8.9						
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	12.9	21.4	5.4	8.9	3.5	5.7						
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	9.7	16.0	4.0	6.7	2.6	4.3						
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	6.2	10.3	2.6	4.3	1.7	2.7						
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	4.2	6.9	1.7	2.9	1.1	1.8						
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	2.7	4.4	1.1	1.8	0.7	1.2						

Sanierungsmaßnahme		Gehäuseventilator mit AC-Motor 2-stufig mit Flachriemen (analog Bestand) <b>Basis Systemwirkungsgrad 50%</b>												
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000				
		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		
Ist-Zustand Bestands- anlage	Ventilator	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
		Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%
		Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	78%	78%	78%	78%	80%	80%	80%	80%	82%	82%	82%	82%
		Wirkungsgrad Riemen [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
		Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
		Wirkungsgrad System [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
		P_SFP [W/m³/s]	1 416	927	1 416	927	1 415	926	1 415	926	1 414	926	1 414	926
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
		elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 967	1 288	1 967	1 288	5 897	3 860	5 897	3 860	11 785	7 713	11 785	7 713
		Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
		elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	306	203	-	-	917	608	-	-	1 833	1 214
		Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%
	nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]		87%	87%	87%	87%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%	
Wirkungsgrad Riemen [%]		97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	
Wirkungsgrad Regler [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
Wirkungsgrad System [%]		62%	62%	62%	62%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]		1 612	1 008	1 612	1 008	4 650	2 906	4 650	2 906	9 198	5 748	9 198	5 748	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]		-	-	240	150	-	-	688	430	-	-	1 358	849	
Wirkleistungsdifferenz [W]	-354	-280	-210	-166	-1247	-954	-738	-566	-2588	-1965	-1531	-1165		
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-171 €		-102 €		-594 €		-352 €		-1 229 €		-728 €		
	Betriebsstunden [h/a]	3 750												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-357 €		-212 €		-1 238 €		-734 €		-2 561 €		-1 517 €		
	Betriebsstunden [h/a]	8 760												
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-834 €		-494 €		-2 892 €		-1 714 €		-5 982 €		-3 543 €			
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>8 320 €</b>				<b>11 620 €</b>				<b>15 740 €</b>				
	Aufwand Instandsetzung	0,02												
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08												
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>832 €</b>				<b>1 162 €</b>				<b>1 574 €</b>				
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	18												
	Zinssatz	2,5%												
	Annuitätsfaktor	0,070												
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	67,0		113,0		27,0		45,5		17,7		29,8		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>42,6</b>		<b>71,9</b>		<b>17,2</b>		<b>29,0</b>		<b>11,2</b>		<b>19,0</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	32,2		54,2		12,9		21,8		8,5		14,3		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>20,5</b>		<b>34,5</b>		<b>8,2</b>		<b>13,9</b>		<b>5,4</b>		<b>9,1</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	13,8		23,2		5,5		9,4		3,6		6,1		
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>8,8</b>		<b>14,8</b>		<b>3,5</b>		<b>6,0</b>		<b>2,3</b>		<b>3,9</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	<b>Investition gesamt (mit Förderung)</b>	<b>7 337 €</b>				<b>9 584 €</b>				<b>12 370 €</b>				
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	59,8		100,8		22,7		38,3		14,2		24,0		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>38,3</b>		<b>64,6</b>		<b>14,6</b>		<b>24,6</b>		<b>9,2</b>		<b>15,5</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	28,7		48,4		10,9		18,4		6,8		11,5		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>18,4</b>		<b>31,0</b>		<b>7,0</b>		<b>11,8</b>		<b>4,4</b>		<b>7,4</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	12,3		20,7		4,7		7,9		2,9		4,9		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>7,9</b>		<b>13,3</b>		<b>3,0</b>		<b>5,1</b>		<b>1,9</b>		<b>3,2</b>		

0		Motortausch mit AC-Motor stetig mit Frequenzumrichter und Flachriemen <b>Basis Systemwirkungsgrad 35%</b>											
		5 000				15 000				30 000			
Ventilator		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
Zuluft / Abluft		Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
Ist-Zustand Bestands- anlage	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
	Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	68%	68%	68%	68%	70%	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	P_SFP [W/m³/s]	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	2 778	1 833	2 778	1 833	8 333	5 500	8 333	5 500	16 667	11 000	16 667	11 000
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	481	324	-	-	1 442	973	-	-	2 885	1 946
	Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%
nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
	Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]	87%	87%	87%	87%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%
	Wirkungsgrad Regler [%]	95%	95%	95%	95%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
	Wirkungsgrad System [%]	46%	44%	46%	44%	47%	44%	47%	44%	46%	44%	46%	44%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	920	607	920	607	2 718	1 794	2 718	1 794	5 501	3 631	5 501	3 631
Wirkleistungsdifferenz [W]	-1857	-1226	-709	-471	-5615	-3706	-2170	-1443	-11165	-7369	-4274	-2842	
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800				3 750				8 760			
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-833 €		-319 €		-2 517 €		-975 €		-5 004 €		-1 921 €	
	Betriebsstunden [h/a]	1 800				3 750				8 760			
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-1 734 €		-664 €		-5 243 €		-2 032 €		-10 426 €		-4 003 €	
	Betriebsstunden [h/a]	1 800				3 750				8 760			
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-4 052 €		-1 551 €		-12 249 €		-4 747 €		-24 354 €		-9 351 €		
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>11 632 €</b>				<b>14 986 €</b>				<b>24 272 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02				0.02				0.02			
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.08				0.08				0.08			
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>1 163 €</b>				<b>1 499 €</b>				<b>2 427 €</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	18				18				18			
	Zinssatz	2.5%				2.5%				2.5%			
	Annuitätsfaktor	0.070				0.070				0.070			
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	19.3	50.3	8.2	21.2	6.7	17.4	12.3	32.0	5.2	13.5	4.3	11.1
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>12.3</b>	<b>32.0</b>	<b>5.2</b>	<b>13.5</b>	<b>4.3</b>	<b>11.1</b>	<b>9.3</b>	<b>24.2</b>	<b>3.9</b>	<b>10.2</b>	<b>3.2</b>	<b>8.4</b>
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	9.3	24.2	3.9	10.2	3.2	8.4	5.9	15.4	2.5	6.5	2.0	5.3
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>5.9</b>	<b>15.4</b>	<b>2.5</b>	<b>6.5</b>	<b>2.0</b>	<b>5.3</b>	<b>4.0</b>	<b>10.3</b>	<b>1.7</b>	<b>4.4</b>	<b>1.4</b>	<b>3.6</b>
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	4.0	10.3	1.7	4.4	1.4	3.6	2.5	6.6	1.1	2.8	0.9	2.3
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>2.5</b>	<b>6.6</b>	<b>1.1</b>	<b>2.8</b>	<b>0.9</b>	<b>2.3</b>	<b>15.8</b>	<b>41.4</b>	<b>6.5</b>	<b>16.9</b>	<b>5.0</b>	<b>13.1</b>	
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	<b>Investition gesamt (mit Förderung)</b>	<b>9 358 €</b>				<b>11 637 €</b>				<b>17 575 €</b>			
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	15.8	41.4	6.5	16.9	5.0	13.1	10.2	26.7	4.2	10.9	3.3	8.5
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>10.2</b>	<b>26.7</b>	<b>4.2</b>	<b>10.9</b>	<b>3.3</b>	<b>8.5</b>	7.6	19.9	3.1	8.1	2.4	6.3
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	7.6	19.9	3.1	8.1	2.4	6.3	<b>4.9</b>	<b>12.8</b>	<b>2.0</b>	<b>5.2</b>	<b>1.6</b>	<b>4.1</b>
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>4.9</b>	<b>12.8</b>	<b>2.0</b>	<b>5.2</b>	<b>1.6</b>	<b>4.1</b>	3.3	8.5	1.3	3.5	1.0	2.7
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	3.3	8.5	1.3	3.5	1.0	2.7	<b>2.1</b>	<b>5.5</b>	<b>0.9</b>	<b>2.2</b>	<b>0.7</b>	<b>1.7</b>
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>2.1</b>	<b>5.5</b>	<b>0.9</b>	<b>2.2</b>	<b>0.7</b>	<b>1.7</b>							

0		Motortausch mit AC-Motor stetig mit Frequenzumrichter und Flachriemen <b>Basis Systemwirkungsgrad 50%</b>											
		5 000				15 000				30 000			
Ventilator		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
Zuluft / Abluft		Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
Ist-Zustand Bestands- anlage	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%
	Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	78%	78%	78%	78%	80%	80%	80%	80%	82%	82%	82%	82%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
	P_SFP [W/m³/s]	1 416	927	1 416	927	1 415	926	1 415	926	1 414	926	1 414	926
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 967	1 288	1 967	1 288	5 897	3 860	5 897	3 860	11 785	7 713	11 785	7 713
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	306	203	-	-	917	608	-	-	1 833	1 214
	Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%
	nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%
Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]		87%	87%	87%	87%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%
Wirkungsgrad Riemen [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
Wirkungsgrad Regler [%]		95%	95%	95%	95%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Wirkungsgrad System [%]		57%	54%	57%	54%	58%	55%	58%	55%	57%	55%	57%	55%
Druckverhältnis-Zahl fp		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]		749	490	749	490	2 202	1 441	2 202	1 441	4 438	2 905	4 438	2 905
Wirkleistungsdifferenz [W]		-1218	-797	-388	-255	-3695	-2419	-1205	-793	-7347	-4809	-2371	-1559
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]					1 800							
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-544 €		-174 €		-1 651 €		-539 €		-3 282 €		-1 061 €	
	Betriebsstunden [h/a]					3 750							
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-1 134 €		-361 €		-3 439 €		-1 124 €		-6 838 €		-2 211 €	
	Betriebsstunden [h/a]					8 760							
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-2 648 €		-844 €		-8 033 €		-2 625 €		-15 973 €		-5 165 €		
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>11 632 €</b>				<b>14 986 €</b>				<b>24 272 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung					0.02							
	Aufwand Wartung/Inspektion					0.08							
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>1 163 €</b>				<b>1 499 €</b>				<b>2 427 €</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]					18							
	Zinssatz					2.5%							
	Annuitätsfaktor					0.070							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	29.5		92.5		12.5		38.3		10.2		31.6	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>18.8</b>		<b>58.8</b>		<b>8.0</b>		<b>24.4</b>		<b>6.5</b>		<b>20.1</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	14.2		44.4		6.0		18.4		4.9		15.1	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>9.0</b>		<b>28.2</b>		<b>3.8</b>		<b>11.7</b>		<b>3.1</b>		<b>9.6</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	6.1		19.0		2.6		7.9		2.1		6.5	
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>3.9</b>		<b>12.1</b>		<b>1.6</b>		<b>5.0</b>		<b>1.3</b>		<b>4.1</b>		
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	<b>Investition gesamt (mit Förderung)</b>	<b>9 358 €</b>				<b>11 637 €</b>				<b>17 575 €</b>			
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	24.2		76.0		10.0		30.5		7.6		23.6	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>15.6</b>		<b>49.0</b>		<b>6.4</b>		<b>19.7</b>		<b>5.0</b>		<b>15.3</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	11.6		36.5		4.8		14.7		3.7		11.3	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>7.5</b>		<b>23.5</b>		<b>3.1</b>		<b>9.5</b>		<b>2.4</b>		<b>7.4</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	5.0		15.6		2.1		6.3		1.6		4.9	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>3.2</b>		<b>10.1</b>		<b>1.3</b>		<b>4.1</b>		<b>1.0</b>		<b>3.1</b>	

Sanierungsmaßnahme		Gehäuseventilator mit EC-Motor und Kommutiereinheit Basis Systemwirkungsgrad 35%												
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000				
		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		
Ist-Zustand Bestands-anlage	Ventilator	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
		Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
		Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	68%	68%	68%	68%	70%	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%
		Wirkungsgrad Riemen [%]	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
		Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
		Wirkungsgrad System [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
		P_SFP [W/m³/s]	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
		elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	2 778	1 833	2 778	1 833	8 333	5 500	8 333	5 500	16 667	11 000	16 667	11 000
		Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
		elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	481	324	-	-	1 442	973	-	-	2 885	1 946
		Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%
	nach Sanierungsmaßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
		Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Wirkungsgrad Übertragung [%]		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Wirkungsgrad Regler [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
Wirkungsgrad System [%]		70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	
Druckverhältnis-Zahl fp		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]		608	380	608	380	1 824	1 140	1 824	1 140	3 649	2 280	3 649	2 280	
Wirkleistungsdifferenz [W]	-2170	-1453	-1021	-699	-6509	-4360	-3064	-2096	-13018	-8720	-6127	-4192		
verbrauchsgebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-978 €		-464 €		-2 935 €		-1 393 €		-5 869 €		-2 786 €		
	Betriebsstunden [h/a]	3 750												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-2 038 €		-967 €		-6 114 €		-2 902 €		-12 227 €		-5 805 €		
	Betriebsstunden [h/a]	8 760												
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-4 761 €		-2 260 €		-14 282 €		-6 780 €		-28 563 €		-13 560 €			
betriebsgebundene Kosten	Investition gesamt (ohne Förderung)	14 280 €				17 940 €				28 180 €				
	Aufwand Instandsetzung	0.01												
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.03												
	Instandhaltung gesamt	571 €				718 €				1 127 €				
Amortisationsdauer T <sub>A</sub> ohne BAFA-Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	12												
	Zinssatz	2.5%												
	Annuitätsfaktor	0.097												
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	17.8	37.4	7.4	15.7	5.8	12.3							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	10.9	23.0	4.6	9.6	3.6	7.6							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	8.5	18.0	3.6	7.5	2.8	5.9							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	5.2	11.1	2.2	4.6	1.7	3.6							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	3.6	7.7	1.5	3.2	1.2	2.5							
T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	2.2	4.7	0.9	2.0	0.7	1.6								
Amortisationsdauer T <sub>A</sub> mit BAFA-Förderung	Investition gesamt (mit Förderung)	11 753 €				14 219 €				20 739 €				
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	14.7	31.0	6.0	12.5	4.4	9.2							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	9.1	19.2	3.7	7.8	2.7	5.7							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	7.1	14.9	2.9	6.0	2.1	4.4							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	4.4	9.2	1.8	3.7	1.3	2.7							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	3.0	6.4	1.2	2.6	0.9	1.9							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	1.9	3.9	0.8	1.6	0.6	1.2							

Sanierungsmaßnahme		Gehäuseventilator mit EC-Motor und Kommutiereinheit Basis Systemwirkungsgrad 50%												
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000				
		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		
Ist-Zustand Bestands- anlage	Ventilator	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
		Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%
		Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	78%	78%	78%	78%	80%	80%	80%	80%	82%	82%	82%	82%
		Wirkungsgrad Riemen [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
		Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
		Wirkungsgrad System [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
		P_SFP [W/m³/s]	1 416	927	1 416	927	1 415	926	1 415	926	1 414	926	1 414	926
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
		elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 967	1 288	1 967	1 288	5 897	3 860	5 897	3 860	11 785	7 713	11 785	7 713
		Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
		elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	306	203	-	-	917	608	-	-	1 833	1 214
		Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%
	nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
		Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Wirkungsgrad Übertragung [%]		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Wirkungsgrad Regler [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
Wirkungsgrad System [%]		70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	
Druckverhältnis-Zahl fp		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]		608	380	608	380	1 824	1 140	1 824	1 140	3 649	2 280	3 649	2 280	
Wirkleistungsdifferenz [W]	-1358	-908	-528	-365	-4072	-2720	-1583	-1094	-8136	-5433	-3160	-2183		
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-612 €		-241 €		-1 834 €		-723 €		-3 664 €		-1 443 €		
	Betriebsstunden [h/a]	3 750												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-1 275 €		-502 €		-3 821 €		-1 505 €		-7 633 €		-3 006 €		
	Betriebsstunden [h/a]	8 760												
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-2 978 €		-1 174 €		-8 925 €		-3 517 €		-17 830 €		-7 022 €			
betriebs- gebundene Kosten	Investition gesamt (ohne Förderung)	14 280 €				17 940 €				28 180 €				
	Aufwand Instandsetzung	0.01												
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.03												
	Instandhaltung gesamt	571 €				718 €				1 127 €				
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	12												
	Zinssatz	2.5%												
	Annuitätsfaktor	0.097												
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	28.4	72.0	11.9	30.2	9.4	23.8							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	17.5	44.3	7.3	18.6	5.8	14.6							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	13.6	34.6	5.7	14.5	4.5	11.4							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	8.4	21.3	3.5	8.9	2.8	7.0							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	5.8	14.8	2.4	6.2	1.9	4.9							
T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	3.6	9.1	1.5	3.8	1.2	3.0								
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	Investition gesamt (mit Förderung)	11 753 €				14 219 €				20 739 €				
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	23.6	59.8	9.5	24.2	7.0	17.7							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]	14.6	37.0	5.9	15.0	4.3	11.0							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	11.3	28.7	4.6	11.6	3.4	8.5							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]	7.0	17.7	2.8	7.2	2.1	5.3							
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	4.8	12.3	2.0	5.0	1.4	3.6							
	T <sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]	3.0	7.6	1.2	3.1	0.9	2.3							

Sanierungsmaßnahme		Freilaufendes Rad als Radialventilator mit EC-Motor und Kommutiereinheit <b>Basis Systemwirkungsgrad 35%</b>											
Ist-Zustand Bestands- anlage	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	Wirkungsgrad Ventilator [%]	60%	57%	60%	57%	58%	55%	58%	55%	57%	54%	57%	54%
	Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	68%	68%	68%	68%	70%	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%
	Wirkungsgrad Riemen [%]	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	P_SFP [W/m³/s]	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320	2 000	1 320
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	2 778	1 833	2 778	1 833	8 333	5 500	8 333	5 500	16 667	11 000	16 667	11 000
	Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%	36%	34%
	stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	481	324	-	-	1 442	973	-	-	2 885	1 946
Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	-	-	26%	24%	
nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%
	Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Wirkungsgrad Übertragung [%]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	Wirkungsgrad System [%]	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	616	385	616	385	1 849	1 156	1 849	1 156	3 698	2 311	3 698	2 311
Wirkleistungsdifferenz [W]	-2161	-1448	-1013	-694	-6484	-4344	-3039	-2081	-12969	-8689	-6078	-4162	
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-975 €		-461 €		-2 924 €		-1 382 €		-5 848 €		-2 765 €	
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-2 030 €		-960 €		-6 091 €		-2 880 €		-12 182 €		-5 760 €	
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-4 743 €		-2 242 €		-14 229 €		-6 727 €		-28 458 €		-13 455 €		
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>11 880 €</b>				<b>20 140 €</b>				<b>32 280 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.01											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.03											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>475 €</b>				<b>806 €</b>				<b>1 291 €</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	12											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.097											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	14.8		31.4		8.4		17.7		6.7		14.2	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>9.1</b>		<b>19.3</b>		<b>5.2</b>		<b>10.9</b>		<b>4.1</b>		<b>8.7</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	7.1		15.1		4.0		8.5		3.2		6.8	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>4.4</b>		<b>9.3</b>		<b>2.5</b>		<b>5.2</b>		<b>2.0</b>		<b>4.2</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	3.0		6.4		1.7		3.6		1.4		2.9	
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>1.9</b>		<b>4.0</b>		<b>1.1</b>		<b>2.2</b>		<b>0.8</b>		<b>1.8</b>		
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	<b>Investition gesamt (mit Förderung)</b>	<b>10 406 €</b>				<b>15 717 €</b>				<b>23 435 €</b>			
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	13.1		27.6		6.6		14.0		4.9		10.5	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>8.1</b>		<b>17.1</b>		<b>4.1</b>		<b>8.7</b>		<b>3.1</b>		<b>6.5</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	6.3		13.3		3.2		6.7		2.4		5.0	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>3.9</b>		<b>8.2</b>		<b>2.0</b>		<b>4.2</b>		<b>1.5</b>		<b>3.1</b>	
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	2.7		5.7		1.4		2.9		1.0		2.1	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>1.7</b>		<b>3.5</b>		<b>0.8</b>		<b>1.8</b>		<b>0.6</b>		<b>1.3</b>	

Sanierungsmaßnahme		Freilaufendes Rad als Radialventilator mit EC-Motor und Kommutiereinheit <b>Basis Systemwirkungsgrad 50%</b>												
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000				
		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		
Ist-Zustand Bestands- anlage	Ventilator	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
		Wirkungsgrad Ventilator [%]	70%	67%	70%	67%	68%	65%	68%	65%	67%	64%	67%	64%
		Wirkungsgrad Motor EFF3 [%]	78%	78%	78%	78%	80%	80%	80%	80%	82%	82%	82%	82%
		Wirkungsgrad Riemen [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
		Wirkungsgrad Regler [%]	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
		Wirkungsgrad System [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
		P_SFP [W/m³/s]	1 416	927	1 416	927	1 415	926	1 415	926	1 414	926	1 414	926
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 1 [Pa]	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450	720	450
		elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	1 967	1 288	1 967	1 288	5 897	3 860	5 897	3 860	11 785	7 713	11 785	7 713
		Systemwirkungsgrad Stufe 1 [%]	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%	51%	49%
		stat. Druckerhöhung Δp Stufe 2 [Pa]	-	-	180	113	-	-	180	113	-	-	180	113
		elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	306	203	-	-	917	608	-	-	1 833	1 214
		Systemwirkungsgrad Stufe 2 [%]	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%	-	-	41%	39%
	nach Sanierungs- maßnahme	Wirkungsgrad Ventilator [%]	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%
		Wirkungsgrad Motor ≥IE3 [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Wirkungsgrad Übertragung [%]		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Wirkungsgrad Regler [%]		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
Wirkungsgrad System [%]		69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	
Druckverhältnis-Zahl fp		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]		616	385	616	385	1 849	1 156	1 849	1 156	3 698	2 311	3 698	2 311	
Wirkleistungsdifferenz [W]	-1350	-902	-520	-360	-4048	-2705	-1558	-1078	-8087	-5402	-3111	-2152		
verbrauchs- gebundene Kosten	Betriebsstunden [h/a]	1 800												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 1800h)	-608 €		-238 €		-1 823 €		-712 €		-3 642 €		-1 421 €		
	Betriebsstunden [h/a]	3 750												
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 3750h)	-1 267 €		-495 €		-3 798 €		-1 483 €		-7 588 €		-2 961 €		
	Betriebsstunden [h/a]	8 760												
Stromkostendifferenz (15 ct/kWh, 8760 h)	-2 960 €		-1 156 €		-8 872 €		-3 464 €		-17 725 €		-6 916 €			
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>11 880 €</b>				<b>20 140 €</b>				<b>32 280 €</b>				
	Aufwand Instandsetzung	0.01												
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.03												
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>475 €</b>				<b>806 €</b>				<b>1 291 €</b>				
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	12												
	Zinssatz	2.5%												
	Annuitätsfaktor	0.097												
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	23.8		60.8		13.4		34.4		10.8		27.6		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>14.6</b>		<b>37.4</b>		<b>8.3</b>		<b>21.2</b>		<b>6.6</b>		<b>17.0</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	11.4		29.2		6.5		16.5		5.2		13.3		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>7.0</b>		<b>18.0</b>		<b>4.0</b>		<b>10.2</b>		<b>3.2</b>		<b>8.2</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	4.9		12.5		2.8		7.1		2.2		5.7		
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>3.0</b>		<b>7.7</b>		<b>1.7</b>		<b>4.4</b>		<b>1.4</b>		<b>3.5</b>			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub> mit BAFA- Förderung	<b>Investition gesamt (mit Förderung)</b>	<b>10 406 €</b>				<b>15 717 €</b>				<b>23 435 €</b>				
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 1800h [a]	20.9		53.6		10.6		27.2		7.9		20.4		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 1800h [a]</b>	<b>12.9</b>		<b>33.1</b>		<b>6.6</b>		<b>16.8</b>		<b>4.9</b>		<b>12.6</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 3750h [a]	10.0		25.7		5.1		13.0		3.8		9.8		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 3750h [a]</b>	<b>6.2</b>		<b>15.9</b>		<b>3.2</b>		<b>8.1</b>		<b>2.4</b>		<b>6.1</b>		
	T <sub>A</sub> Restwert 100% 8760h [a]	4.3		11.0		2.2		5.6		1.6		4.2		
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% 8760h [a]</b>	<b>2.7</b>		<b>6.8</b>		<b>1.3</b>		<b>3.5</b>		<b>1.0</b>		<b>2.6</b>		

### Anhang 4: Investitionskosten Nachrüstung Wärmerückgewinnung

Sanierungsmaßnahme:		Kreislauf-Verbund-System extern Standard (WRG-Klasse H4)				
<b>Randbedingungen:</b>		- Montage außerhalb RLT-Gerät im Luftkanalnetz, kein Umbau RLT-Bestandsgerät - Montage Außen- und Fortluftseitig mit Außenluft-Vorfilter (dadurch Entfall 1. Filterstufe im RLT-Gerät) - Durchtrittsgeschwindigkeit Wärmeübertrager frei wählbar - erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden - für Reinigungszwecke Ausführung als Gerätekommer mit Revisionstür				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrückgewinnungsgrad $\eta_k$ [%]	Druckverlust $\Delta P_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]
1	Standard-WRG-Heizregister (außenluftseitig) in Gerätegehäusekammer, WRG-Klasse H4 ( $\eta_k \geq 45\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02), Außenluftvorfilter F5	5 000	4 230 €	53	90	
		15 000	8 280 €	53	90	
		30 000	13 950 €	53	90	
2	Standard-WRG-Kühlregister (fortluftseitig) in Gerätegehäusekammer mit Edelstahlwanne mit Kondensatananschluss, (evtl. zus. mit Trofenabscheider)	5 000	4 050 €	53	90	
		15 000	8 100 €	53	90	
		30 000	12 600 €	53	90	
3	WRG-Regelkreis einschl. Rohrleitungen, mit Regelventil, Umwälzpumpe, Absperr- und Entleerungsarmaturen, Befüllung mit Glykol-	5 000	4 500 €			40
		15 000	6 300 €			130
		30 000	9 900 €			350
4	MSR-Aufwendungen zur regelungstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	3 000 €			
		15 000	3 000 €			
		30 000	3 000 €			
5	Umbau Kanalnetz, anteilige Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse, lufttechnischer Anschluss WRG-Kammergehäuse, anteilige Isolierung	5 000	6 500 €			
		15 000	8 000 €			
		30 000	11 000 €			
6	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
7	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>25 280 €</b>			
		15 000	<b>37 180 €</b>			
		30 000	<b>54 450 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Kreislauf-Verbund-System extern Hochleistung (WRG-Klasse H2)				
<b>Randbedingungen:</b>		- Montage außerhalb RLT-Gerät im Luftkanalnetz, kein Umbau RLT-Bestandsgerät - Montage Außen- und Fortluftseitig mit Außenluft-Vorfilter (dadurch Entfall 1. Filterstufe im RLT-Gerät) - Durchtrittsgeschwindigkeit Wärmeübertrager frei wählbar - erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden - für Reinigungszwecke Ausführung als Gerätekommer mit Revisionstür				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrückgewinnungsgrad $\eta_k$ [%]	Druckverlust $\Delta P_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]
1	Hochleistungs-WRG-Heizregister (außenluftseitig) in Gerätegehäusekammer, WRG-Klasse H2 ( $\eta_k \geq 64\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02), Außenluftvorfilter F5	5 000	5 040 €	65	125	
		15 000	13 500 €	65	130	
		30 000	17 100 €	65	130	
2	Hochleistung-WRG-Kühlregister (fortluftseitig) in Gerätegehäusekammer mit Edelstahlwanne mit Kondensatananschluss, (evtl. zus. mit Trofenabscheider)	5 000	5 040 €	65	132	
		15 000	13 050 €	65	140	
		30 000	16 200 €	65	140	
3	WRG-Regelkreis einschl. Rohrleitungen, mit Regelventil, Umwälzpumpe, Absperr- und Entleerungsarmaturen, Befüllung mit Glykol-	5 000	19 800 €			70
		15 000	22 950 €			170
		30 000	29 160 €			470
4	MSR-Aufwendungen zur regelungstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	4 000 €			
		15 000	4 000 €			
		30 000	4 000 €			
5	Umbau Kanalnetz, anteilige Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse, lufttechnischer Anschluss WRG-Kammergehäuse, anteilige Isolierung	5 000	6 500 €			
		15 000	8 000 €			
		30 000	11 000 €			
6	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
7	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>43 380 €</b>			
		15 000	<b>65 000 €</b>			
		30 000	<b>81 460 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Kreislauf-Verbund-System intern Standard (WRG-Klasse H4)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage innerhalb RLT-Bestandsgerät außen- und fortluftseitig (Weiterverwendung 1. Filterstufe)</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Bestandsgerät 3m/s</li> <li>- erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden</li> <li>- für Reinigungszwecke Ausführung als Gerätekommer mit Revisionstür</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad $\eta_k$ [%]	Druckverlust $\Delta p_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el, aux}$ [W]
1	Standard-WRG-Heizregister (außenluftseitig) in Gerätegehäusekammer, WRG-Klasse H4 ( $\eta_k \geq 45\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02)	5 000	1 980 €	48	250	
		15 000	4 140 €	48	250	
		30 000	7 020 €	48	250	
2	Standard-WRG-Kühlregister (fortluftseitig) in Gerätegehäusekammer mit Edelstahlwanne mit Kondensatanschluss, (evtl. zus. mit Trofenabscheider)	5 000	2 160 €	48	270	
		15 000	3 960 €	48	270	
		30 000	5 940 €	48	270	
3	WRG-Regelkreis einschl. Rohrleitungen, mit Regelventil, Umwälzpumpe, Absperr- und Entleerungsarmaturen, Befüllung mit Glykol-	5 000	5 400 €			85
		15 000	7 200 €			160
		30 000	10 800 €			470
4	MSR-Aufwendungen zur regelstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	3 000 €			
		15 000	3 000 €			
		30 000	3 000 €			
5	Umbau RLT-Bestandsgerät, Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse, Wiedermontage, Isolierung Fortluftkanal	5 000	4 500 €			
		15 000	5 000 €			
		30 000	8 000 €			
6	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
7	Sonstiges ...	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	3 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>20 040 €</b>			
		15 000	<b>26 800 €</b>			
		30 000	<b>39 760 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Kreislauf-Verbund-System intern Hochleistung (WRG-Klasse H2)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage innerhalb RLT-Bestandsgerät außen- und fortluftseitig (Weiterverwendung 1. Filterstufe)</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Bestandsgerät 3m/s</li> <li>- erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden</li> <li>- für Reinigungszwecke Ausführung als Gerätekommer mit Revisionstür</li> <li>- WRG-Klasse H2 u.U. nicht erreichbar (Angaben für beste verfügbare Technologie z.B. H3)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad $\eta_k$ [%]	Druckverlust $\Delta p_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el, aux}$ [W]
1	Hochleistungs-WRG-Heizregister (außenluftseitig) in Gerätegehäusekammer, WRG-Klasse H2 ( $\eta_k \geq 64\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02)	5 000	2 520 €	58	270	
		15 000	6 570 €	58	270	
		30 000	8 190 €	58	270	
2	Hochleistung-WRG-Kühlregister (fortluftseitig) in Gerätegehäusekammer mit Edelstahlwanne mit Kondensatanschluss, (evtl. zus. mit Trofenabscheider)	5 000	2 520 €	58	300	
		15 000	6 390 €	58	300	
		30 000	9 450 €	58	300	
3	WRG-Regelkreis einschl. Rohrleitungen, mit Regelventil, Umwälzpumpe, Absperr- und Entleerungsarmaturen, Befüllung mit Glykol-	5 000	19 800 €			100
		15 000	22 950 €			210
		30 000	29 160 €			530
4	MSR-Aufwendungen zur regelstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	4 000 €			
		15 000	4 000 €			
		30 000	4 000 €			
5	Umbau RLT-Bestandsgerät, Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse, Wiedermontage, Isolierung Fortluftkanal	5 000	4 200 €			
		15 000	5 800 €			
		30 000	9 000 €			
6	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
7	Sonstiges ...	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>36 040 €</b>			
		15 000	<b>49 210 €</b>			
		30 000	<b>63 800 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Plattenwärmeübertrager Kreuzstrom (WRG-Klasse H4)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage außerhalb RLT-Gerät im Luftkanalnetz, kein Umbau RLT-Bestandsgerät</li> <li>- Montage Außen- und Fortluftseitig mit Außenluft-Vorfilter (dadurch Entfall 1. Filterstufe im RLT-Gerät)</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Wärmeübertrager frei wählbar</li> <li>- erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden</li> <li>- Ausführung als Gerätekammer mit Revisionstür</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad $\eta_t$ [%]	Druckverlust $\Delta p_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el, aux}$ [W]
1	Kreuzstrom-Plattenwärmeübertrager in Gerätegehäuse-kammer, WRG-Klasse H4 ( $\eta_t \geq 45\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02), Frostschutzregelung	5 000	3 330 €	52	120	X
		15 000	8 190 €	56	120	
		30 000	13 050 €	56	180	
2	Außenluftfilter F5 in Gerätegehäusekammer, Leerkammer forluftseitig (oberhalb oder unterhalb Außenluftfilter)	5 000	1 890 €	X	X	X
		15 000	3 060 €			
		30 000	4 950 €			
3	MSR-Aufwendungen zur regelungstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	3 000 €	X	X	X
		15 000	3 000 €			
		30 000	3 000 €			
4	Umbau Kanalnetz, anteilige Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse, lufttechnischer Anschluss WRG-Kammergehäuse, anteilige Isolierung	5 000	6 500 €	X	X	X
		15 000	8 000 €			
		30 000	11 000 €			
5	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €	X	X	X
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
6	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €	X	X	X
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>17 720 €</b>	X	X	X
		15 000	<b>25 750 €</b>			
		30 000	<b>36 000 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Plattenwärmeübertrager Kreuzgegenstrom (WRG-Klasse H2)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage außerhalb RLT-Gerät im Luftkanalnetz, kein Umbau RLT-Bestandsgerät</li> <li>- Montage Außen- und Fortluftseitig mit Außenluft-Vorfilter (dadurch Entfall 1. Filterstufe im RLT-Gerät)</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Wärmeübertrager frei wählbar</li> <li>- erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden</li> <li>- Ausführung als Gerätekammer mit Revisionstür</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad $\eta_t$ [%]	Druckverlust $\Delta p_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el, aux}$ [W]
1	Kreuzgegenstrom-Plattenwärmeübertrager in Gerätegehäusekammer, WRG-Klasse H2 ( $\eta_t \geq 64\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02), Frostschutzregelung mit	5 000	7 380 €	69	160	X
		15 000	16 200 €	70	210	
		30 000	29 700 €	69	210	
2	Außenluftfilter F5 in Gerätegehäusekammer, Leerkammer forluftseitig (oberhalb oder unterhalb Außenluftfilter)	5 000	1 890 €	X	X	X
		15 000	3 060 €			
		30 000	4 950 €			
3	MSR-Aufwendungen zur regelungstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	3 000 €	X	X	X
		15 000	3 000 €			
		30 000	3 000 €			
4	Umbau Kanalnetz, anteilige Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse, lufttechnischer Anschluss WRG-Kammergehäuse, anteilige Isolierung	5 000	6 500 €	X	X	X
		15 000	8 000 €			
		30 000	11 000 €			
5	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €	X	X	X
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
6	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €	X	X	X
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>21 770 €</b>	X	X	X
		15 000	<b>33 760 €</b>			
		30 000	<b>52 650 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Rotationswärmeübertrager (WRG-Klasse H2)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage außerhalb RLT-Gerät im Luftkanalnetz, kein Umbau RLT-Bestandsgerät</li> <li>- Montage Außen- und Fortluftseitig mit Außenluft-Vorfilter (dadurch Entfall 1. Filterstufe im RLT-Gerät)</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit im Rotor frei wählbar</li> <li>- erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden</li> <li>- für Reinigungszwecke Ausführung als Gerätekammer mit Revisionstür</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad $\eta_t$ [%]	Druckverlust $\Delta P_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el, aux}$ [W]
1	Rotationswärmeübertrager als Wärmeregulator (Kondensationsrotor) in Gerätegehäusekammer, WRG-Klasse H2 ( $\eta_t \geq 64\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02)	5 000	8 190 €	71	110	180
		15 000	11 700 €	69	130	370
		30 000	21 600 €	69	130	370
2	Außenluftfilter F5 in Gerätegehäusekammer, Leerkammer forluftseitig (oberhalb oder unterhalb Außenluftfilter)	5 000	1 890 €			
		15 000	3 060 €			
		30 000	4 950 €			
3	MSR-Aufwendungen zur regelungstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	3 000 €			
		15 000	3 000 €			
		30 000	3 000 €			
4	Umbau Kanalnetz, anteilige Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse einschl. Rotor, lufttechnischer Anschluss WRG-Kammergehäuse, anteilige Isolierung	5 000	6 500 €			
		15 000	8 000 €			
		30 000	11 000 €			
5	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
6	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>22 580 €</b>			
		15 000	<b>29 260 €</b>			
		30 000	<b>44 550 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Rotationswärmeübertrager (WRG-Klasse H1)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage außerhalb RLT-Gerät im Luftkanalnetz, kein Umbau RLT-Bestandsgerät</li> <li>- Montage Außen- und Fortluftseitig mit Außenluft-Vorfilter (dadurch Entfall 1. Filterstufe im RLT-Gerät)</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit im Rotor frei wählbar</li> <li>- erforderliche Druckreserve bei Zu- und Abluftventilator vorhanden</li> <li>- für Reinigungszwecke Ausführung als Gerätekammer mit Revisionstür</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad $\eta_t$ [%]	Druckverlust $\Delta P_{WRG}$ [Pa]	Hilfsenergie $P_{el, aux}$ [W]
1	Rotationswärmeübertrager als Wärmeregulator (Kondensationsrotor) in Gerätegehäusekammer, WRG-Klasse H1 ( $\eta_t \geq 71\%$ ) nach DIN EN 13053 (2012-02)	5 000	10 800 €	85	205	180
		15 000	14 400 €	85	205	370
		30 000	26 100 €	85	205	370
2	Außenluftfilter F5 in Gerätegehäusekammer, Leerkammer forluftseitig (oberhalb oder unterhalb Außenluftfilter)	5 000	1 890 €			
		15 000	3 060 €			
		30 000	4 950 €			
3	MSR-Aufwendungen zur regelungstechnischen Einbindung der WRG in den Temperaturregelkreis	5 000	3 000 €			
		15 000	3 000 €			
		30 000	3 000 €			
4	Umbau Kanalnetz, anteilige Demontage, Montage WRG-Kammergehäuse einschl. Rotor, lufttechnischer Anschluss WRG-Kammergehäuse, anteilige Isolierung	5 000	6 500 €			
		15 000	8 000 €			
		30 000	11 000 €			
5	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Einregulierung, ggf. Luftmengenanpassung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
6	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>25 190 €</b>			
		15 000	<b>31 960 €</b>			
		30 000	<b>49 050 €</b>			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt. (mit max. Bafa-Förderung)</b>	5 000	<b>20 978 €</b>			
		15 000	<b>26 344 €</b>			
		30 000	<b>38 871 €</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Kreislaufverbund-System extern											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig			2-stufig (50%/100%)			1-stufig			2-stufig (50%/100%)		
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1			0,75			1			0,75		
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447	
<b>Variante A</b>		<b>KVS extern WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	180				180				180			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	500	500	375	375	1500	1500	1125	1125	3000	3000	2250	2250
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	40	40	30	30	130	130	97,5	97,5	350	350	262,5	262,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	972	972	729	729	2934	2934	2201	2201	6030	6030	4523	4523
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	53,0%				53,0%				53,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	51,6%				51,6%				51,6%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 532				1 532				1 532			
	Wärmebedarf [kWh]	7 661	7 661	5 746	5 746	22 984	22 984	17 238	17 238	45 969	45 969	34 477	34 477
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-1 777 €	-1 083 €	-1 333 €	-812 €	-5 330 €	-3 248 €	-3 998 €	-2 436 €	-10 660 €	-6 496 €	-7 995 €	-4 872 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	146 €	146 €	109 €	109 €	440 €	440 €	330 €	330 €	905 €	905 €	678 €	678 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-1 631 €</b>	<b>-937 €</b>	<b>-1 223 €</b>	<b>-703 €</b>	<b>-4 890 €</b>	<b>-2 808 €</b>	<b>-3 668 €</b>	<b>-2 106 €</b>	<b>-9 756 €</b>	<b>-5 592 €</b>	<b>-7 317 €</b>	<b>-4 194 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 280 €</b>				<b>37 180 €</b>				<b>54 450 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,15											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>4 298 €</b>				<b>6 321 €</b>				<b>9 257 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>22.0</b>	<b>38.2</b>	<b>29.3</b>	<b>51.0</b>	<b>10.8</b>	<b>18.8</b>	<b>14.4</b>	<b>25.0</b>	<b>7.9</b>	<b>13.8</b>	<b>10.5</b>	<b>18.4</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
	<b>Variante B</b>		<b>KVS extern WRG-Klasse H2</b>										
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	257				270				270			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	714	714	535	535	2250	2250	1688	1688	4500	4500	3375	3375
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	70	70	52,5	52,5	170	170	127,5	127,5	470	470	352,5	352,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	1411	1411	1058	1058	4356	4356	3267	3267	8946	8946	6710	6710
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	65,0%				65,0%				65,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	63,0%				63,0%				62,9%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	844				844				844			
	Wärmebedarf [kWh]	4 219	4 219	3 164	3 164	12 657	12 657	9 493	9 493	25 314	25 314	18 985	18 985
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 112 €	-1 418 €	-1 584 €	-1 064 €	-6 337 €	-4 255 €	-4 753 €	-3 191 €	-12 674 €	-8 510 €	-9 506 €	-6 383 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	212 €	212 €	159 €	159 €	653 €	653 €	490 €	490 €	1 342 €	1 342 €	1 006 €	1 006 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-1 901 €</b>	<b>-1 207 €</b>	<b>-1 426 €</b>	<b>-905 €</b>	<b>-5 684 €</b>	<b>-3 602 €</b>	<b>-4 263 €</b>	<b>-2 701 €</b>	<b>-11 332 €</b>	<b>-7 168 €</b>	<b>-8 499 €</b>	<b>-5 376 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>43 380 €</b>				<b>65 000 €</b>				<b>81 460 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,15											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>7 375 €</b>				<b>11 050 €</b>				<b>13 848 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>32.4</b>	<b>51.0</b>	<b>43.1</b>	<b>67.9</b>	<b>16.2</b>	<b>25.6</b>	<b>21.6</b>	<b>34.1</b>	<b>10.2</b>	<b>16.1</b>	<b>13.6</b>	<b>21.5</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Kreislaufverbund-System extern											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0,75		1		0,75		1		0,75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451	
<b>Variante A</b>		<b>KVS extern WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	180				180				180			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	500	500	375	375	1500	1500	1125	1125	3000	3000	2250	2250
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	40	40	30	30	130	130	97,5	97,5	350	350	262,5	262,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	2025	2025	1519	1519	6113	6113	4584	4584	12563	12563	9422	9422
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	53,0%				53,0%				53,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	51,6%				51,6%				51,6%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	3 256				3 256				3 256			
	Wärmebedarf [kWh]	16 281	16 281	12 210	12 210	48 842	48 842	36 631	36 631	97 684	97 684	73 263	73 263
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-3 776 €	-2 301 €	-2 832 €	-1 726 €	-11 327 €	-6 902 €	-8 495 €	-5 177 €	-22 653 €	-13 804 €	-16 990 €	-10 353 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	304 €	304 €	228 €	228 €	917 €	917 €	688 €	688 €	1 884 €	1 884 €	1 413 €	1 413 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 472 €</b>	<b>-1 997 €</b>	<b>-2 604 €</b>	<b>-1 498 €</b>	<b>-10 410 €</b>	<b>-5 985 €</b>	<b>-7 807 €</b>	<b>-4 489 €</b>	<b>-20 769 €</b>	<b>-11 920 €</b>	<b>-15 577 €</b>	<b>-8 940 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 280 €</b>				<b>37 180 €</b>				<b>54 450 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>4 298 €</b>				<b>6 321 €</b>				<b>9 257 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>10,3</b>	<b>17,9</b>	<b>13,8</b>	<b>23,9</b>	<b>5,1</b>	<b>8,8</b>	<b>6,8</b>	<b>11,7</b>	<b>3,7</b>	<b>6,5</b>	<b>5,0</b>	<b>8,6</b>	
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
<b>Variante B</b>		<b>KVS extern WRG-Klasse H2</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	257				270				270			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	714	714	535	535	2250	2250	1688	1688	4500	4500	3375	3375
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	70	70	52,5	52,5	170	170	127,5	127,5	470	470	352,5	352,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	2940	2940	2205	2205	9075	9075	6806	6806	18638	18638	13978	13978
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	65,0%				65,0%				65,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	63,0%				63,0%				62,9%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 793				1 793				1 793			
	Wärmebedarf [kWh]	8 965	8 965	6 724	6 724	26 896	26 896	20 172	20 172	53 792	53 792	40 344	40 344
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 489 €	-3 014 €	-3 367 €	-2 260 €	-13 466 €	-9 042 €	-10 100 €	-6 781 €	-26 933 €	-18 084 €	-20 200 €	-13 563 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	441 €	441 €	331 €	331 €	1 361 €	1 361 €	1 021 €	1 021 €	2 796 €	2 796 €	2 097 €	2 097 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-4 048 €</b>	<b>-2 573 €</b>	<b>-3 036 €</b>	<b>-1 930 €</b>	<b>-12 105 €</b>	<b>-7 681 €</b>	<b>-9 079 €</b>	<b>-5 761 €</b>	<b>-24 137 €</b>	<b>-15 288 €</b>	<b>-18 103 €</b>	<b>-11 466 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>43 380 €</b>				<b>65 000 €</b>				<b>81 460 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>7 375 €</b>				<b>11 050 €</b>				<b>13 848 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>15,2</b>	<b>23,9</b>	<b>20,3</b>	<b>31,9</b>	<b>7,6</b>	<b>12,0</b>	<b>10,1</b>	<b>16,0</b>	<b>4,8</b>	<b>7,6</b>	<b>6,4</b>	<b>10,1</b>	
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Kreislaufverbund-System extern											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0.75		1		0.75		1		0.75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	
Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636	
<b>Variante A</b>		<b>KVS extern WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	180				180				180			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	500	500	375	375	1500	1500	1125	1125	3000	3000	2250	2250
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	40	40	30	30	130	130	97.5	97.5	350	350	262.5	262.5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	4730	4730	3548	3548	14279	14279	10709	10709	29346	29346	22010	22010
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	53.0%				53.0%				53.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	51.6%				51.6%				51.6%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	7 905				7 905				7 905			
	Wärmebedarf [kWh]	39 523	39 523	29 642	29 642	118 569	118 569	88 927	88 927	237 138	237 138	177 853	177 853
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-9 166 €	-5 585 €	-6 874 €	-4 189 €	-27 497 €	-16 756 €	-20 622 €	-12 567 €	-54 993 €	-33 512 €	-41 245 €	-25 134 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	710 €	710 €	532 €	532 €	2 142 €	2 142 €	1 606 €	1 606 €	4 402 €	4 402 €	3 301 €	3 301 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-8 456 €</b>	<b>-4 876 €</b>	<b>-6 342 €</b>	<b>-3 657 €</b>	<b>-25 355 €</b>	<b>-14 614 €</b>	<b>-19 016 €</b>	<b>-10 961 €</b>	<b>-50 591 €</b>	<b>-29 110 €</b>	<b>-37 943 €</b>	<b>-21 832 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 280 €</b>				<b>37 180 €</b>				<b>54 450 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>4 298 €</b>				<b>6 321 €</b>				<b>9 257 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.081											
<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>4.2</b>	<b>7.3</b>	<b>5.7</b>	<b>9.8</b>	<b>2.1</b>	<b>3.6</b>	<b>2.8</b>	<b>4.8</b>	<b>1.5</b>	<b>2.7</b>	<b>2.0</b>	<b>3.5</b>	
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
<b>Variante B</b>		<b>KVS extern WRG-Klasse H2</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	257				270				270			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	714	714	535	535	2250	2250	1688	1688	4500	4500	3375	3375
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	70	70	52.5	52.5	170	170	127.5	127.5	470	470	352.5	352.5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	6867	6867	5150	5150	21199	21199	15899	15899	43537	43537	32653	32653
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	65.0%				65.0%				65.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	63.0%				63.0%				62.9%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	4 353				4 353				4 353			
	Wärmebedarf [kWh]	21 764	21 764	16 323	16 323	65 292	65 292	48 969	48 969	130 585	130 585	97 939	97 939
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-10 897 €	-7 317 €	-8 173 €	-5 488 €	-32 691 €	-21 950 €	-24 518 €	-16 463 €	-65 382 €	-43 901 €	-49 036 €	-32 925 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	1 030 €	1 030 €	773 €	773 €	3 180 €	3 180 €	2 385 €	2 385 €	6 531 €	6 531 €	4 898 €	4 898 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-9 867 €</b>	<b>-6 287 €</b>	<b>-7 400 €</b>	<b>-4 715 €</b>	<b>-29 511 €</b>	<b>-18 770 €</b>	<b>-22 133 €</b>	<b>-14 078 €</b>	<b>-58 851 €</b>	<b>-37 370 €</b>	<b>-44 139 €</b>	<b>-28 028 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>43 380 €</b>				<b>65 000 €</b>				<b>81 460 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>7 375 €</b>				<b>11 050 €</b>				<b>13 848 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.081											
<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>6.2</b>	<b>9.8</b>	<b>8.3</b>	<b>13.0</b>	<b>3.1</b>	<b>4.9</b>	<b>4.2</b>	<b>6.5</b>	<b>2.0</b>	<b>3.1</b>	<b>2.6</b>	<b>4.1</b>	
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Kreislaufverbund-System intern											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0.75		1		0.75		1		0.75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	
Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447	
<b>Variante A</b>		<b>KVS intern WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	520				520				520			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1444	1444	1083	1083	4333	4333	3250	3250	8667	8667	6500	6500
	Hilfsenergie $P_{el,BUH}$ [W]	85	85	63.75	63.75	160	160	120	120	470	470	352.5	352.5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	2753	2753	2065	2065	8088	8088	6066	6066	16446	16446	12335	12335
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	48.0%				48.0%				48.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	44.2%				44.3%				44.2%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 852				1 852				1 852			
	Wärmebedarf [kWh]	9 259	9 259	6 944	6 944	27 778	27 778	20 833	20 833	55 555	55 555	41 667	41 667
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-1 621 €	-927 €	-1 216 €	-695 €	-4 863 €	-2 781 €	-3 647 €	-2 086 €	-9 726 €	-5 562 €	-7 294 €	-4 171 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	413 €	413 €	310 €	310 €	1 213 €	1 213 €	910 €	910 €	2 467 €	2 467 €	1 850 €	1 850 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-1 208 €</b>	<b>-514 €</b>	<b>-906 €</b>	<b>-385 €</b>	<b>-3 650 €</b>	<b>-1 568 €</b>	<b>-2 737 €</b>	<b>-1 176 €</b>	<b>-7 259 €</b>	<b>-3 095 €</b>	<b>-5 444 €</b>	<b>-2 321 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>20 040 €</b>				<b>26 800 €</b>				<b>39 760 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.15											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>3 407 €</b>				<b>4 556 €</b>				<b>6 759 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0.081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>23.5</b>	<b>55.3</b>	<b>31.4</b>	<b>73.7</b>	<b>10.4</b>	<b>24.2</b>	<b>13.9</b>	<b>32.3</b>	<b>7.8</b>	<b>18.2</b>	<b>10.4</b>	<b>24.3</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
<b>Variante B</b>		<b>KVS intern WRG-Klasse H3</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	570				570				570			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1583	1583	1188	1188	4750	4750	3563	3563	9500	9500	7125	7125
	Hilfsenergie $P_{el,BUH}$ [W]	100	100	75	75	210	210	157.5	157.5	530	530	397.5	397.5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	3030	3030	2273	2273	8928	8928	6696	6696	18054	18054	13541	13541
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	58.0%				58.0%				58.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	53.8%				53.9%				53.8%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 230				1 230				1 230			
	Wärmebedarf [kWh]	6 152	6 152	4 614	4 614	18 456	18 456	13 842	13 842	36 913	36 913	27 685	27 685
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-1 924 €	-1 230 €	-1 443 €	-922 €	-5 772 €	-3 690 €	-4 329 €	-2 767 €	-11 543 €	-7 379 €	-8 657 €	-5 534 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	455 €	455 €	341 €	341 €	1 339 €	1 339 €	1 004 €	1 004 €	2 708 €	2 708 €	2 031 €	2 031 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-1 469 €</b>	<b>-775 €</b>	<b>-1 102 €</b>	<b>-582 €</b>	<b>-4 432 €</b>	<b>-2 350 €</b>	<b>-3 324 €</b>	<b>-1 763 €</b>	<b>-8 835 €</b>	<b>-4 671 €</b>	<b>-6 626 €</b>	<b>-3 503 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>36 040 €</b>				<b>49 210 €</b>				<b>63 800 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.15											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 127 €</b>				<b>8 366 €</b>				<b>10 846 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0.081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>34.8</b>	<b>65.9</b>	<b>46.4</b>	<b>87.8</b>	<b>15.7</b>	<b>29.7</b>	<b>21.0</b>	<b>39.6</b>	<b>10.2</b>	<b>19.4</b>	<b>13.6</b>	<b>25.8</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Kreislaufverbund-System extern											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig			2-stufig (50%/100%)			1-stufig			2-stufig (50%/100%)		
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1			0,75			1			0,75		
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451	
<b>Variante A</b>		<b>KVS WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	520				520				520			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1444	1444	1083	1083	4333	4333	3250	3250	8667	8667	6500	6500
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	85	85	63,75	63,75	160	160	120	120	470	470	352,5	352,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	5735	5735	4302	4302	16850	16850	12638	12638	34263	34263	25697	25697
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	48,0%				48,0%				48,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	44,2%				44,3%				44,2%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	3 935				3 935				3 935			
	Wärmebedarf [kWh]	19 676	19 676	14 757	14 757	59 028	59 028	44 271	44 271	118 055	118 055	88 541	88 541
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-3 444 €	-1 970 €	-2 583 €	-1 477 €	-10 333 €	-5 909 €	-7 750 €	-4 432 €	-20 667 €	-11 818 €	-15 500 €	-8 864 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	860 €	860 €	645 €	645 €	2 528 €	2 528 €	1 896 €	1 896 €	5 139 €	5 139 €	3 855 €	3 855 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-2 584 €</b>	<b>-1 109 €</b>	<b>-1 938 €</b>	<b>-832 €</b>	<b>-7 806 €</b>	<b>-3 382 €</b>	<b>-5 854 €</b>	<b>-2 536 €</b>	<b>-15 528 €</b>	<b>-6 679 €</b>	<b>-11 646 €</b>	<b>-5 009 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>20 040 €</b>				<b>26 800 €</b>				<b>39 760 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>3 407 €</b>				<b>4 556 €</b>				<b>6 759 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>11,0</b>	<b>25,6</b>	<b>14,7</b>	<b>34,1</b>	<b>4,9</b>	<b>11,2</b>	<b>6,5</b>	<b>15,0</b>	<b>3,6</b>	<b>8,4</b>	<b>4,8</b>	<b>11,3</b>
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
<b>Variante B</b>		<b>KVS WRG-Klasse H2 H3</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	570				570				570			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1583	1583	1188	1188	4750	4750	3563	3563	9500	9500	7125	7125
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	100	100	75	75	210	210	157,5	157,5	530	530	397,5	397,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	6313	6313	4734	4734	18600	18600	13950	13950	37613	37613	28209	28209
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	58,0%				58,0%				58,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	53,8%				53,9%				53,8%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	2 615				2 615				2 615			
	Wärmebedarf [kWh]	13 073	13 073	9 805	9 805	39 220	39 220	29 415	29 415	78 440	78 440	58 830	58 830
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 088 €	-2 613 €	-3 066 €	-1 960 €	-12 265 €	-7 840 €	-9 199 €	-5 880 €	-24 529 €	-15 681 €	-18 397 €	-11 761 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	947 €	947 €	710 €	710 €	2 790 €	2 790 €	2 093 €	2 093 €	5 642 €	5 642 €	4 231 €	4 231 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 141 €</b>	<b>-1 667 €</b>	<b>-2 356 €</b>	<b>-1 250 €</b>	<b>-9 475 €</b>	<b>-5 050 €</b>	<b>-7 106 €</b>	<b>-3 788 €</b>	<b>-18 888 €</b>	<b>-10 039 €</b>	<b>-14 166 €</b>	<b>-7 529 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>36 040 €</b>				<b>49 210 €</b>				<b>63 800 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 127 €</b>				<b>8 366 €</b>				<b>10 846 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>16,3</b>	<b>30,7</b>	<b>21,7</b>	<b>40,9</b>	<b>7,4</b>	<b>13,8</b>	<b>9,8</b>	<b>18,4</b>	<b>4,8</b>	<b>9,0</b>	<b>6,4</b>	<b>12,0</b>
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Kreislaufverbund-System extern											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0.75		1		0.75		1		0.75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	1	0.725	
Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636	
<b>Variante A</b>		<b>KVS WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	520				520				520			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1444	1444	1083	1083	4333	4333	3250	3250	8667	8667	6500	6500
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	85	85	63.75	63.75	160	160	120	120	470	470	352.5	352.5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	13398	13398	10048	10048	39362	39362	29521	29521	80037	80037	60028	60028
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	48.0%				48.0%				48.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	44.2%				44.3%				44.2%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	9 553				9 553				9 553			
	Wärmebedarf [kWh]	47 765	47 765	35 824	35 824	143 296	143 296	107 472	107 472	286 592	286 592	214 944	214 944
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-8 362 €	-4 782 €	-6 271 €	-3 586 €	-25 086 €	-14 345 €	-18 814 €	-10 759 €	-50 171 €	-28 690 €	-37 628 €	-21 517 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	2 010 €	2 010 €	1 507 €	1 507 €	5 904 €	5 904 €	4 428 €	4 428 €	12 006 €	12 006 €	9 004 €	9 004 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-6 352 €</b>	<b>-2 772 €</b>	<b>-4 764 €</b>	<b>-2 079 €</b>	<b>-19 181 €</b>	<b>-8 441 €</b>	<b>-14 386 €</b>	<b>-6 331 €</b>	<b>-38 166 €</b>	<b>-16 684 €</b>	<b>-28 624 €</b>	<b>-12 513 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>20 040 €</b>				<b>26 800 €</b>				<b>39 760 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>3 407 €</b>				<b>4 556 €</b>				<b>6 759 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.081											
<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>4.5</b>	<b>10.2</b>	<b>6.0</b>	<b>13.7</b>	<b>2.0</b>	<b>4.5</b>	<b>2.6</b>	<b>6.0</b>	<b>1.5</b>	<b>3.4</b>	<b>2.0</b>	<b>4.5</b>	
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
<b>Variante B</b>		<b>KVS WRG-Klasse H2 H3</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	570				570				570			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1583	1583	1188	1188	4750	4750	3563	3563	9500	9500	7125	7125
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	100	100	75	75	210	210	157.5	157.5	530	530	397.5	397.5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	14746	14746	11060	11060	43450	43450	32587	32587	87863	87863	65897	65897
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	58.0%				58.0%				58.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	53.8%				53.9%				53.8%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	6 347				6 347				6 347			
	Wärmebedarf [kWh]	31 737	31 737	23 803	23 803	95 211	95 211	71 408	71 408	190 421	190 421	142 816	142 816
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-9 925 €	-6 344 €	-7 443 €	-4 758 €	-29 774 €	-19 033 €	-22 330 €	-14 275 €	-59 548 €	-38 067 €	-44 661 €	-28 550 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	2 212 €	2 212 €	1 659 €	1 659 €	6 517 €	6 517 €	4 888 €	4 888 €	13 179 €	13 179 €	9 885 €	9 885 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-7 713 €</b>	<b>-4 133 €</b>	<b>-5 785 €</b>	<b>-3 099 €</b>	<b>-23 257 €</b>	<b>-12 516 €</b>	<b>-17 442 €</b>	<b>-9 387 €</b>	<b>-46 368 €</b>	<b>-24 887 €</b>	<b>-34 776 €</b>	<b>-18 665 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>36 040 €</b>				<b>49 210 €</b>				<b>63 800 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.15											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 127 €</b>				<b>8 366 €</b>				<b>10 846 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
	Annuitätsfaktor	0.081											
<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>6.6</b>	<b>12.4</b>	<b>8.8</b>	<b>16.5</b>	<b>3.0</b>	<b>5.6</b>	<b>4.0</b>	<b>7.4</b>	<b>2.0</b>	<b>3.6</b>	<b>2.6</b>	<b>4.8</b>	
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Plattenwärmeübertrager											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0,75		1		0,75		1		0,75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447	
<b>Variante A</b>		<b>Plattenwärmeübertrager Kreuzstrom WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungsmaßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	240				240				360			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	667	667	500	500	2000	2000	1500	1500	6000	6000	4500	4500
	Hilfsenergie $P_{el,BUW}$ [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	1200	1200	900	900	3600	3600	2700	2700	10800	10800	8100	8100
	Rückwärmszahl $\eta_{t,1:1}$ [%]	52.0%				56.0%				56.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	50.3%				54.3%				53.5%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 595				1 349				1 349			
	Wärmebedarf [kWh]	7 974	7 974	5 981	5 981	20 233	20 233	15 174	15 174	40 465	40 465	30 349	30 349
verbrauchsgebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-1 746 €	-1 052 €	-1 310 €	-789 €	-5 598 €	-3 516 €	-4 199 €	-2 637 €	-11 197 €	-7 033 €	-8 398 €	-5 275 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	180 €	180 €	135 €	135 €	540 €	540 €	405 €	405 €	1 620 €	1 620 €	1 215 €	1 215 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-1 566 €</b>	<b>-872 €</b>	<b>-1 175 €</b>	<b>-654 €</b>	<b>-5 058 €</b>	<b>-2 976 €</b>	<b>-3 794 €</b>	<b>-2 232 €</b>	<b>-9 577 €</b>	<b>-5 413 €</b>	<b>-7 183 €</b>	<b>-4 060 €</b>
betriebsgebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>17 720 €</b>				<b>25 750 €</b>				<b>36 000 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.10											
Amortisationsdauer ohne BAFA-Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 126 €</b>				<b>3 090 €</b>				<b>4 320 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0.081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>15.4</b>	<b>27.6</b>	<b>20.5</b>	<b>36.8</b>	<b>6.9</b>	<b>11.7</b>	<b>9.2</b>	<b>15.7</b>	<b>5.1</b>	<b>9.0</b>	<b>6.8</b>	<b>12.0</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{t,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
<b>Variante B</b>		<b>Plattenwärmeübertrager Kreuzgegenstrom WRG-Klasse H2</b>											
nach Sanierungsmaßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	320				420				420			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	889	889	667	667	3500	3500	2625	2625	7000	7000	5250	5250
	Hilfsenergie $P_{el,BUW}$ [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	1600	1600	1200	1200	6300	6300	4725	4725	12600	12600	9450	9450
	Rückwärmszahl $\eta_{t,1:1}$ [%]	69.0%				70.0%				69.0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	66.8%				67.1%				66.1%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	645				598				645			
	Wärmebedarf [kWh]	3 224	3 224	2 418	2 418	8 967	8 967	6 725	6 725	19 343	19 343	14 507	14 507
verbrauchsgebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7.5 ct/kWh)	-2 209 €	-1 515 €	-1 657 €	-1 137 €	-6 697 €	-4 615 €	-5 023 €	-3 461 €	-13 256 €	-9 092 €	-9 942 €	-6 819 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	240 €	240 €	180 €	180 €	945 €	945 €	709 €	709 €	1 890 €	1 890 €	1 418 €	1 418 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-1 969 €</b>	<b>-1 275 €</b>	<b>-1 477 €</b>	<b>-957 €</b>	<b>-5 752 €</b>	<b>-3 670 €</b>	<b>-4 314 €</b>	<b>-2 752 €</b>	<b>-11 366 €</b>	<b>-7 202 €</b>	<b>-8 525 €</b>	<b>-5 402 €</b>
betriebsgebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>21 770 €</b>				<b>33 760 €</b>				<b>52 650 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0.02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0.10											
Amortisationsdauer ohne BAFA-Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 612 €</b>				<b>4 051 €</b>				<b>6 318 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2.5%											
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0.081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% ohne Förderung [a]</b>	<b>15.0</b>	<b>23.2</b>	<b>20.0</b>	<b>30.9</b>	<b>8.0</b>	<b>12.5</b>	<b>10.6</b>	<b>16.6</b>	<b>6.3</b>	<b>9.9</b>	<b>8.4</b>	<b>13.2</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{t,1:1} \geq 0.71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2.5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Plattenwärmeübertrager											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0,75		1		0,75		1		0,75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451	
<b>Variante A</b>		<b>Plattenwärmeübertrager Kreuzstrom WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	240				240				360			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	667	667	500	500	2000	2000	1500	1500	6000	6000	4500	4500
	Hilfsenergie $P_{el,BUW}$ [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	2500	2500	1875	1875	7500	7500	5625	5625	22500	22500	16875	16875
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	52,0%				56,0%				56,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	50,3%				54,3%				53,5%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	3 389				2 866				2 866			
	Wärmebedarf [kWh]	16 946	16 946	12 709	12 709	42 994	42 994	32 246	32 246	85 989	85 989	64 492	64 492
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-3 711 €	-2 236 €	-2 783 €	-1 677 €	-11 897 €	-7 472 €	-8 923 €	-5 604 €	-23 793 €	-14 945 €	-17 845 €	-11 209 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	375 €	375 €	281 €	281 €	1 125 €	1 125 €	844 €	844 €	3 375 €	3 375 €	2 531 €	2 531 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 336 €</b>	<b>-1 861 €</b>	<b>-2 502 €</b>	<b>-1 396 €</b>	<b>-10 772 €</b>	<b>-6 347 €</b>	<b>-8 079 €</b>	<b>-4 761 €</b>	<b>-20 418 €</b>	<b>-11 570 €</b>	<b>-15 314 €</b>	<b>-8 677 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>17 720 €</b>				<b>25 750 €</b>				<b>36 000 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 126 €</b>				<b>3 090 €</b>				<b>4 320 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>7,2</b>	<b>12,9</b>	<b>9,6</b>	<b>17,2</b>	<b>3,2</b>	<b>5,5</b>	<b>4,3</b>	<b>7,3</b>	<b>2,4</b>	<b>4,2</b>	<b>3,2</b>	<b>5,6</b>
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
<b>Variante B</b>		<b>Plattenwärmeübertrager Kreuzgegenstrom WRG-Klasse H2</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	320				420				420			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	889	889	667	667	3500	3500	2625	2625	7000	7000	5250	5250
	Hilfsenergie $P_{el,BUW}$ [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	3333	3333	2500	2500	13125	13125	9844	9844	26250	26250	19688	19688
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	69,0%				70,0%				69,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	66,8%				67,1%				66,1%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 370				1 270				1 370			
	Wärmebedarf [kWh]	6 851	6 851	5 138	5 138	19 054	19 054	14 290	14 290	41 104	41 104	30 828	30 828
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 695 €	-3 220 €	-3 521 €	-2 415 €	-14 231 €	-9 807 €	-10 673 €	-7 355 €	-28 170 €	-19 321 €	-21 127 €	-14 491 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	500 €	500 €	375 €	375 €	1 969 €	1 969 €	1 477 €	1 477 €	3 938 €	3 938 €	2 953 €	2 953 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-4 195 €</b>	<b>-2 720 €</b>	<b>-3 146 €</b>	<b>-2 040 €</b>	<b>-12 262 €</b>	<b>-7 838 €</b>	<b>-9 197 €</b>	<b>-5 878 €</b>	<b>-24 232 €</b>	<b>-15 383 €</b>	<b>-18 174 €</b>	<b>-11 538 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>21 770 €</b>				<b>33 760 €</b>				<b>52 650 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 612 €</b>				<b>4 051 €</b>				<b>6 318 €</b>			
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>7,0</b>	<b>10,9</b>	<b>9,4</b>	<b>14,5</b>	<b>3,7</b>	<b>5,8</b>	<b>5,0</b>	<b>7,8</b>	<b>2,9</b>	<b>4,6</b>	<b>3,9</b>	<b>6,2</b>
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Plattenwärmeübertrager											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0,75		1		0,75		1		0,75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636	
<b>Variante A</b>		<b>Plattenwärmeübertrager Kreuzstrom WRG-Klasse H4</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	240				240				360			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	667	667	500	500	2000	2000	1500	1500	6000	6000	4500	4500
	Hilfsenergie $P_{el,Blub}$ [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	5840	5840	4380	4380	17520	17520	13140	13140	52560	52560	39420	39420
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	52,0%				56,0%				56,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	50,3%				54,3%				53,5%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	8 228				6 958				6 958			
	Wärmebedarf [kWh]	41 138	41 138	30 853	30 853	104 373	104 373	78 280	78 280	208 747	208 747	156 560	156 560
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-9 008 €	-5 428 €	-6 756 €	-4 071 €	-28 881 €	-18 140 €	-21 660 €	-13 605 €	-57 761 €	-36 280 €	-43 321 €	-27 210 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	876 €	876 €	657 €	657 €	2 628 €	2 628 €	1 971 €	1 971 €	7 884 €	7 884 €	5 913 €	5 913 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-8 132 €</b>	<b>-4 552 €</b>	<b>-6 099 €</b>	<b>-3 414 €</b>	<b>-26 253 €</b>	<b>-15 512 €</b>	<b>-19 689 €</b>	<b>-11 634 €</b>	<b>-49 877 €</b>	<b>-28 396 €</b>	<b>-37 408 €</b>	<b>-21 297 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>17 720 €</b>				<b>25 750 €</b>				<b>36 000 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 126 €</b>				<b>3 090 €</b>				<b>4 320 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>3,0</b>	<b>5,3</b>	<b>3,9</b>	<b>7,0</b>	<b>1,3</b>	<b>2,3</b>	<b>1,8</b>	<b>3,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,7</b>	<b>1,3</b>	<b>2,3</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
	<b>Variante B</b>		<b>Plattenwärmeübertrager Kreuzgegenstrom WRG-Klasse H2</b>										
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	320				420				420			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	889	889	667	667	3500	3500	2625	2625	7000	7000	5250	5250
	Hilfsenergie $P_{el,Blub}$ [W]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	7787	7787	5840	5840	30660	30660	22995	22995	61320	61320	45990	45990
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	69,0%				70,0%				69,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	66,8%				67,1%				66,1%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	3 326				3 084				3 326			
	Wärmebedarf [kWh]	16 631	16 631	12 473	12 473	46 255	46 255	34 691	34 691	99 784	99 784	74 838	74 838
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-11 398 €	-7 817 €	-8 548 €	-5 863 €	-34 547 €	-23 806 €	-25 910 €	-17 855 €	-68 385 €	-46 904 €	-51 289 €	-35 178 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	1 168 €	1 168 €	876 €	876 €	4 599 €	4 599 €	3 449 €	3 449 €	9 198 €	9 198 €	6 899 €	6 899 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-10 230 €</b>	<b>-6 649 €</b>	<b>-7 672 €</b>	<b>-4 987 €</b>	<b>-29 948 €</b>	<b>-19 207 €</b>	<b>-22 461 €</b>	<b>-14 406 €</b>	<b>-59 187 €</b>	<b>-37 706 €</b>	<b>-44 390 €</b>	<b>-28 279 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>21 770 €</b>				<b>33 760 €</b>				<b>52 650 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,02											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 612 €</b>				<b>4 051 €</b>				<b>6 318 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>2,9</b>	<b>4,4</b>	<b>3,9</b>	<b>5,9</b>	<b>1,5</b>	<b>2,4</b>	<b>2,0</b>	<b>3,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	<b>2,5</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Rotationswärmeübertrager											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1		0,75		1		0,75		1		0,75	
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447	
<b>Variante A</b>		<b>Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H2</b>											
nach Sanierungsmaßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	220				260				260			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	611	611	458	458	2167	2167	1625	1625	4333	4333	3250	3250
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	180	180	135	135	370	370	277,5	277,5	370	370	277,5	277,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	1424	1424	1068	1068	4566	4566	3425	3425	8466	8466	6350	6350
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	71,0%				69,0%				69,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	69,2%				66,8%				67,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	552				645				645			
	Wärmebedarf [kWh]	2 760	2 760	2 070	2 070	9 672	9 672	7 254	7 254	19 343	19 343	14 507	14 507
verbrauchsgebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 255 €	-1 561 €	-1 691 €	-1 170 €	-6 628 €	-4 546 €	-4 971 €	-3 410 €	-13 256 €	-9 092 €	-9 942 €	-6 819 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	214 €	214 €	160 €	160 €	685 €	685 €	514 €	514 €	1 270 €	1 270 €	952 €	952 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-2 041 €</b>	<b>-1 347 €</b>	<b>-1 531 €</b>	<b>-1 010 €</b>	<b>-5 943 €</b>	<b>-3 861 €</b>	<b>-4 457 €</b>	<b>-2 896 €</b>	<b>-11 986 €</b>	<b>-7 822 €</b>	<b>-8 990 €</b>	<b>-5 867 €</b>
betriebsgebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>22 580 €</b>				<b>29 260 €</b>				<b>44 550 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
Amortisationsdauer ohne BAFA-Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 935 €</b>				<b>3 804 €</b>				<b>5 792 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>15,1</b>	<b>22,9</b>	<b>20,2</b>	<b>30,6</b>	<b>6,7</b>	<b>10,4</b>	<b>9,0</b>	<b>13,8</b>	<b>5,1</b>	<b>7,8</b>	<b>6,8</b>	<b>10,4</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{r,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 190 €</b>				<b>31 960 €</b>				<b>49 050 €</b>			
nach Sanierungsmaßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	410				410				410			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1139	1139	854	854	3417	3417	2563	2563	6833	6833	5125	5125
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	180	180	135	135	370	370	277,5	277,5	370	370	277,5	277,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	2374	2374	1781	1781	6816	6816	5112	5112	12966	12966	9725	9725
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	85,0%				85,0%				85,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	81,6%				81,8%				82,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	46				46				46			
	Wärmebedarf [kWh]	229	229	172	172	688	688	516	516	1 376	1 376	1 032	1 032
verbrauchsgebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 501 €	-1 807 €	-1 876 €	-1 355 €	-7 504 €	-5 422 €	-5 628 €	-4 066 €	-15 008 €	-10 844 €	-11 256 €	-8 133 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	356 €	356 €	267 €	267 €	1 022 €	1 022 €	767 €	767 €	1 945 €	1 945 €	1 459 €	1 459 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-2 145 €</b>	<b>-1 451 €</b>	<b>-1 609 €</b>	<b>-1 088 €</b>	<b>-6 482 €</b>	<b>-4 400 €</b>	<b>-4 861 €</b>	<b>-3 300 €</b>	<b>-13 063 €</b>	<b>-8 899 €</b>	<b>-9 797 €</b>	<b>-6 674 €</b>
betriebsgebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 190 €</b>				<b>31 960 €</b>				<b>49 050 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
Amortisationsdauer ohne BAFA-Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>3 275 €</b>				<b>4 155 €</b>				<b>6 377 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>16,1</b>	<b>23,8</b>	<b>21,4</b>	<b>31,7</b>	<b>6,8</b>	<b>9,9</b>	<b>9,0</b>	<b>13,3</b>	<b>5,1</b>	<b>7,5</b>	<b>6,9</b>	<b>10,1</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{r,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>13,7</b>	<b>20,2</b>	<b>18,3</b>	<b>27,0</b>	<b>5,7</b>	<b>8,4</b>	<b>7,6</b>	<b>11,2</b>	<b>4,2</b>	<b>6,2</b>	<b>5,6</b>	<b>8,2</b>

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Rotationswärmeübertrager																	
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine																	
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a																	
	Betriebsstunden [h/a]	3 750																	
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001																	
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000						15 000						30 000					
	Ventilator	1-stufig			2-stufig (50%/100%)			1-stufig			2-stufig (50%/100%)			1-stufig			2-stufig (50%/100%)		
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%		
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1			0,75			1			0,75			1			0,75		
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725			
Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451							
<b>Variante A</b>		<b>Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H2</b>																	
nach Sanierungsmaßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	220				260				260									
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	611	611	458	458	2167	2167	1625	1625	4333	4333	3250	3250						
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	180	180	135	135	370	370	277,5	277,5	370	370	277,5	277,5						
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	2967	2967	2225	2225	9513	9513	7134	7134	17638	17638	13228	13228						
	Rückwärmszahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	71,0%				69,0%				69,0%									
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	69,2%				66,8%				67,0%									
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 173				1 370				1 370									
	Wärmebedarf [kWh]	5 864	5 864	4 398	4 398	20 552	20 552	15 414	15 414	41 104	41 104	30 828	30 828						
verbrauchsgebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 791 €	-3 316 €	-3 593 €	-2 487 €	-14 085 €	-9 660 €	-10 564 €	-7 245 €	-28 170 €	-19 321 €	-21 127 €	-14 491 €						
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	445 €	445 €	334 €	334 €	1 427 €	1 427 €	1 070 €	1 070 €	2 646 €	2 646 €	1 984 €	1 984 €						
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-4 346 €</b>	<b>-2 871 €</b>	<b>-3 260 €</b>	<b>-2 154 €</b>	<b>-12 658 €</b>	<b>-8 234 €</b>	<b>-9 493 €</b>	<b>-6 175 €</b>	<b>-25 524 €</b>	<b>-16 675 €</b>	<b>-19 143 €</b>	<b>-12 506 €</b>						
betriebsgebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>22 580 €</b>				<b>29 260 €</b>				<b>44 550 €</b>									
	Aufwand Instandsetzung	0,03																	
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10																	
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 935 €</b>				<b>3 804 €</b>				<b>5 792 €</b>									
Amortisationsdauer ohne BAFA-Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15																	
	Zinssatz	2,5%																	
	Annuitätsfaktor	0,081																	
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>7,1</b>	<b>10,8</b>	<b>9,5</b>	<b>14,4</b>	<b>3,2</b>	<b>4,9</b>	<b>4,2</b>	<b>6,5</b>	<b>2,4</b>	<b>3,7</b>	<b>3,2</b>	<b>4,9</b>						
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{r,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt									
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt									
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>									
<b>Variante B</b>		<b>Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H1</b>																	
nach Sanierungsmaßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	410				410				410									
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1139	1139	854	854	3417	3417	2563	2563	6833	6833	5125	5125						
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	180	180	135	135	370	370	277,5	277,5	370	370	277,5	277,5						
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	4946	4946	3709	3709	14200	14200	10650	10650	27013	27013	20259	20259						
	Rückwärmszahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	85,0%				85,0%				85,0%									
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	81,6%				81,8%				82,0%									
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	98				98				98									
	Wärmebedarf [kWh]	488	488	366	366	1 463	1 463	1 097	1 097	2 925	2 925	2 194	2 194						
verbrauchsgebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-5 315 €	-3 841 €	-3 987 €	-2 880 €	-15 946 €	-11 522 €	-11 960 €	-8 641 €	-31 892 €	-23 043 €	-23 919 €	-17 283 €						
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	742 €	742 €	556 €	556 €	2 130 €	2 130 €	1 598 €	1 598 €	4 052 €	4 052 €	3 039 €	3 039 €						
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-4 573 €</b>	<b>-3 099 €</b>	<b>-3 430 €</b>	<b>-2 324 €</b>	<b>-13 816 €</b>	<b>-9 392 €</b>	<b>-10 362 €</b>	<b>-7 044 €</b>	<b>-27 840 €</b>	<b>-18 992 €</b>	<b>-20 880 €</b>	<b>-14 244 €</b>						
betriebsgebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 190 €</b>				<b>31 960 €</b>				<b>49 050 €</b>									
	Aufwand Instandsetzung	0,03																	
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10																	
	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>3 275 €</b>				<b>4 155 €</b>				<b>6 377 €</b>									
Amortisationsdauer ohne BAFA-Förderung	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15																	
	Zinssatz	2,5%																	
	Annuitätsfaktor	0,081																	
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>7,5</b>	<b>11,1</b>	<b>10,1</b>	<b>14,8</b>	<b>3,2</b>	<b>4,7</b>	<b>4,2</b>	<b>6,2</b>	<b>2,4</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>	<b>4,7</b>						
Amortisationsdauer mit max. BAFA-Förderung	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{r,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt									
	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt									
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>6,4</b>	<b>9,5</b>	<b>8,6</b>	<b>12,6</b>	<b>2,7</b>	<b>3,9</b>	<b>3,6</b>	<b>5,2</b>	<b>2,0</b>	<b>2,9</b>	<b>2,6</b>	<b>3,8</b>						

Sanierungsmaßnahme		Nachrüstung Rotationswärmeübertrager											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig			2-stufig (50%/100%)			1-stufig			2-stufig (50%/100%)		
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1			0,75			1			0,75		
f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636	
<b>Variante A</b>		<b>Rotationswärmeübertrager WRG-Klasse H2</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	220				260				260			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	611	611	458	458	2167	2167	1625	1625	4333	4333	3250	3250
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	180	180	135	135	370	370	277,5	277,5	370	370	277,5	277,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	6930	6930	5198	5198	22221	22221	16666	16666	41201	41201	30901	30901
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	71,0%				69,0%				69,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	69,2%				66,8%				67,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	2 847				3 326				3 326			
	Wärmebedarf [kWh]	14 236	14 236	10 677	10 677	49 892	49 892	37 419	37 419	99 784	99 784	74 838	74 838
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-11 631 €	-8 051 €	-8 723 €	-6 038 €	-34 193 €	-23 452 €	-25 644 €	-17 589 €	-68 385 €	-46 904 €	-51 289 €	-35 178 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	1 040 €	1 040 €	780 €	780 €	3 333 €	3 333 €	2 500 €	2 500 €	6 180 €	6 180 €	4 635 €	4 635 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-10 591 €</b>	<b>-7 011 €</b>	<b>-7 944 €</b>	<b>-5 258 €</b>	<b>-30 859 €</b>	<b>-20 119 €</b>	<b>-23 144 €</b>	<b>-15 089 €</b>	<b>-62 205 €</b>	<b>-40 723 €</b>	<b>-46 654 €</b>	<b>-30 543 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>22 580 €</b>				<b>29 260 €</b>				<b>44 550 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>2 935 €</b>				<b>3 804 €</b>				<b>5 792 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>2,9</b>	<b>4,4</b>	<b>3,9</b>	<b>5,9</b>	<b>1,3</b>	<b>2,0</b>	<b>1,7</b>	<b>2,7</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>2,0</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt				Förderbedingung nicht erfüllt			
Variante B	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>				<b>keine Förderung</b>			
	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 190 €</b>				<b>31 960 €</b>				<b>49 050 €</b>			
nach Sanierungs- maßnahme	Druckverlust $\Delta P_{WRG,ZUL+ABL}$ [Pa]	410				410				410			
	Förderleistung $P_{el,WRG}$ [W]	1139	1139	854	854	3417	3417	2563	2563	6833	6833	5125	5125
	Hilfsenergie $P_{el,aux}$ [W]	180	180	135	135	370	370	277,5	277,5	370	370	277,5	277,5
	Strombedarf $Q_{el}$ [kWh]	11553	11553	8665	8665	33171	33171	24878	24878	63101	63101	47326	47326
	Rückwärmzahl $\eta_{r,1:1}$ [%]	85,0%				85,0%				85,0%			
	Energieeffizienzgrad $\eta_e$ [%]	81,6%				81,8%				82,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	237				237				237			
	Wärmebedarf [kWh]	1 183	1 183	888	888	3 550	3 550	2 663	2 663	7 101	7 101	5 326	5 326
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-12 904 €	-9 323 €	-9 678 €	-6 993 €	-38 711 €	-27 970 €	-29 033 €	-20 978 €	-77 422 €	-55 940 €	-58 066 €	-41 955 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	1 733 €	1 733 €	1 300 €	1 300 €	4 976 €	4 976 €	3 732 €	3 732 €	9 465 €	9 465 €	7 099 €	7 099 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-11 171 €</b>	<b>-7 590 €</b>	<b>-8 378 €</b>	<b>-5 693 €</b>	<b>-33 735 €</b>	<b>-22 994 €</b>	<b>-25 301 €</b>	<b>-17 246 €</b>	<b>-67 956 €</b>	<b>-46 475 €</b>	<b>-50 967 €</b>	<b>-34 856 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt (ohne Förderung)</b>	<b>25 190 €</b>				<b>31 960 €</b>				<b>49 050 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,10											
Amortisations- dauer ohne BAFA- Förderung	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>3 275 €</b>				<b>4 155 €</b>				<b>6 377 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
Amortisations- dauer mit max. BAFA-Förderung	Annuitätsfaktor	0,081											
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% ohne Förderung [a]</b>	<b>3,1</b>	<b>4,5</b>	<b>4,1</b>	<b>6,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,9</b>	<b>1,7</b>	<b>2,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,9</b>
	WRG-Klasse H1 ( $\eta_{e,1:1} \geq 0,71$ )	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
Variante C	Volumenstrom $\geq 2.000$ m³/h	Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt				Förderbedingung erfüllt			
	<b>T<sub>A</sub> Zins 2,5% mit 30% Förderung [a]</b>	<b>2,6</b>	<b>3,9</b>	<b>3,5</b>	<b>5,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>2,1</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>

## Anhang 5: Investitionskosten Erneuerung RLT-Gerät

Sanierungsmaßnahme:		Grundvariante 1: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)				
<b>Randbedingungen:</b>		- Bestandsgerät Heizen, Kühlen, Umluft, Ventilator 2-stufig - Strömungsgeschwindigkeit Bestandsgerät 3m/s, ZUL SFP 5, ABL SFP 4 <b>- Strömungsgeschwindigkeit Neugerät 3m/s (Geräteabmessung wie Bestand)</b> - externer Druckverlust Zuluft 600 Pa, externer Druckverlust Abluft 550 Pa - Auslegungstemperaturen Winter: AUL -15°C/90% ZUL 26°C; Sommer: AUL 32°C/ 40% ZUL 18°C				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrückgewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilatorleistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilatorleistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizter 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	5 000	21 600 €	56	2 730	1 770
		15 000	34 400 €	58	2 270	1 670
		30 000	59 200 €	56	2 320	1 700
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	5 000	20 000 €			
		15 000	25 000 €			
		30 000	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationssebene, evtl. GLT Aufschaltung	5 000	13 000 €			
		15 000	15 000 €			
		30 000	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>57 600 €</b>			
		15 000	<b>77 900 €</b>			
		30 000	<b>111 200 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Variante 1a: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 90%)				
<b>Randbedingungen:</b>		- Randbedingungen wie Grundvariante 1 - Luftmengenreduzierung um 10% möglich - Strömungsgeschwindigkeit Neugerät < 3m/s (Geräteabmessung wie Bestand)				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrückgewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilatorleistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilatorleistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizter 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	4 500	19 872 €	58	2 480	1 610
		13 500	31 648 €	60	2 060	1 520
		27 000	54 464 €	58	2 110	1 550
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	4 500	20 000 €			
		13 500	25 000 €			
		27 000	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationssebene, evtl. GLT Aufschaltung	4 500	13 000 €			
		13 500	15 000 €			
		27 000	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	4 500	2 000 €			
		13 500	2 000 €			
		27 000	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	4 500	1 000 €			
		13 500	1 500 €			
		27 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	4 500	<b>55 872 €</b>			
		13 500	<b>75 148 €</b>			
		27 000	<b>106 464 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Variante 1b: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 75%)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Randbedingungen wie Grundvariante 1</li> <li>- Luftmengenreduzierung um 25% möglich</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Neugerät &lt; 3m/s (Geräteabmessung wie Bestand)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilator- leistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilator- leistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizer 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	3 750	17 280 €	62	2 080	1 350
		11 250	27 520 €	63	1 760	1 270
		22 500	47 360 €	62	1 760	1 400
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	3 750	20 000 €			
		11 250	25 000 €			
		22 500	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationsebene, evtl. GLT Aufschaltung	3 750	13 000 €			
		11 250	15 000 €			
		22 500	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	3 750	2 000 €			
		11 250	2 000 €			
		22 500	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	3 750	1 000 €			
		11 250	1 500 €			
		22 500	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	3 750	<b>53 280 €</b>			
		11 250	<b>71 020 €</b>			
		22 500	<b>99 360 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Variante 1c: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 60%)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Randbedingungen wie Grundvariante 1</li> <li>- Luftmengenreduzierung um 40% möglich</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Neugerät &lt; 3m/s (Geräteabmessung wie Bestand)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilator- leistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilator- leistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizer 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	3 000	15 120 €	64	1800	1170
		9 000	24 080 €	65	1500	1100
		18 000	41 440 €	64	1540	1220
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	3 000	20 000 €			
		9 000	25 000 €			
		18 000	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationsebene, evtl. GLT Aufschaltung	3 000	13 000 €			
		9 000	15 000 €			
		18 000	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	3 000	2 000 €			
		9 000	2 000 €			
		18 000	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	3 000	1 000 €			
		9 000	1 500 €			
		18 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	3 000	<b>51 120 €</b>			
		9 000	<b>67 580 €</b>			
		18 000	<b>93 440 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Grundvariante 2: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen veränderbar, Volumenstrom 100%)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestandsgerät Heizen, Kühlen, Umluft, Ventilator 2-stufig</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Bestandsgerät 3m/s, ZUL SFP 5, ABL SFP 4</li> <li>- <b>Strömungsgeschwindigkeit Neugerät 2m/s (Geräteabmessungen veränderbar)</b></li> <li>- externer Druckverlust Zuluft 600 Pa, externer Druckverlust Abluft 550 Pa</li> <li>- Auslegungstemperaturen Winter: AUL -15°C/90% ZUL 26°C; Sommer: AUL 32°C/ 40% ZUL 18°C</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrückgewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilatorleistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilatorleistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizter 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	5 000	25 600 €	63	1620	1270
		15 000	40 000 €	62	1840	1410
		30 000	62 400 €	62	1740	1350
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	5 000	20 000 €			
		15 000	25 000 €			
		30 000	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationsebene, evtl. GLT Aufschaltung	5 000	13 000 €			
		15 000	15 000 €			
		30 000	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	5 000	2 000 €			
		15 000	2 000 €			
		30 000	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	5 000	1 000 €			
		15 000	1 500 €			
		30 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	5 000	<b>61 600 €</b>			
		15 000	<b>83 500 €</b>			
		30 000	<b>114 400 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Variante 2a: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen veränderbar, Volumenstrom 90%)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Randbedingungen wie Grundvariante 2</li> <li>- Luftmengenreduzierung um 10% möglich</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Neugerät &lt; 2m/s (Geräteabmessung wie Grundvariante 2)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrückgewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilatorleistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilatorleistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizter 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	4 500	23 552 €	65	1470	1160
		13 500	36 800 €	64	1670	1280
		27 000	57 408 €	64	1580	1230
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	4 500	20 000 €			
		13 500	25 000 €			
		27 000	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationsebene, evtl. GLT Aufschaltung	4 500	13 000 €			
		13 500	15 000 €			
		27 000	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	4 500	2 000 €			
		13 500	2 000 €			
		27 000	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	4 500	1 000 €			
		13 500	1 500 €			
		27 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	4 500	<b>59 552 €</b>			
		13 500	<b>80 300 €</b>			
		27 000	<b>109 408 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Variante 2b: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen veränderbar, Volumenstrom 75%)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Randbedingungen wie Grundvariante 2</li> <li>- Luftmengenreduzierung um 25% möglich</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Neugerät &lt; 2m/s (Geräteabmessung wie Grundvariante 2)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilator- leistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilator- leistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizer 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	3 750	20 480 €	67	1250	980
		11 250	32 000 €	66	1420	1090
		22 500	49 920 €	66	1340	1040
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	3 750	20 000 €			
		11 250	25 000 €			
		22 500	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationsebene, evtl. GLT Aufschaltung	3 750	13 000 €			
		11 250	15 000 €			
		22 500	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	3 750	2 000 €			
		11 250	2 000 €			
		22 500	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	3 750	1 000 €			
		11 250	1 500 €			
		22 500	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	3 750	<b>56 480 €</b>			
		11 250	<b>75 500 €</b>			
		22 500	<b>101 920 €</b>			

Sanierungsmaßnahme:		Variante 2c: Komplettaustausch RLT-Gerät (Abmessungen veränderbar, Volumenstrom 60%)				
<b>Randbedingungen:</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Randbedingungen wie Grundvariante 2</li> <li>- Luftmengenreduzierung um 40% möglich</li> <li>- Strömungsgeschwindigkeit Neugerät &lt; 2m/s (Geräteabmessung wie Grundvariante 2)</li> </ul>				
Pos.	Leistungsbeschreibung	Luftvolumenstrom [m³/h]	Einheitspreis EP [€]	Temperaturrück- gewinnungsgrad WRG $\eta_t$ [%]	spez. Ventilator- leistung Zuluft SFP <sub>ZUL</sub> [W/(m³/s)]	spez. Ventilator- leistung Abluft SFP <sub>ABL</sub> [W/(m³/s)]
1	RLT-Zentralgerät, KV-System WRG-Klasse ≤ H3, Nachheizer 60/40°C, Kühler 10/15°C, Radialventilator als Freilaufendes Rad mit EC-Motor (ggf. Doppelausführung, alternativ AC-Motor mit FU) SFP ≤ 4, Geräteschalldämpfer ca. 15dB(A) bei 250 Hz, ZUL-	3 000	17 920 €	68	1070	840
		9 000	28 000 €	67	1210	930
		18 000	43 680 €	67	1150	890
2	Demontage und Entsorgung RLT-Bestandsgerät, Einbringung und Montage RLT-Zentralgerät, Wiederherstellen der lufttechnischen Kanalanschlüsse	3 000	20 000 €			
		9 000	25 000 €			
		18 000	30 000 €			
3	MSR-Aufwendungen zur funktionsgerechten Einbindung des RLT-Gerätes in den Gebäudebetrieb, Maßnahmen in Feld- und Automationsebene, evtl. GLT Aufschaltung	3 000	13 000 €			
		9 000	15 000 €			
		18 000	18 000 €			
4	Wiederinbetriebnahme RLT-Gerät, Probetrieb, Einregulierung, Optimierung	3 000	2 000 €			
		9 000	2 000 €			
		18 000	2 000 €			
5	Sonstiges (Planung, etc.)	3 000	1 000 €			
		9 000	1 500 €			
		18 000	2 000 €			
<b>Σ</b>	<b>Summe incl. 19% MwSt.</b>	3 750	<b>53 920 €</b>			
		11 250	<b>71 500 €</b>			
		22 500	<b>95 680 €</b>			

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Grundvariante 1</b>		<b>Volumenstrom 100%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000	5 000	5 000	5 000	15 000	15 000	15 000	15 000	30 000	30 000	30 000	30 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 730	1 770	2 730	1 770	2 270	1 670	2 270	1 670	2 320	1 700	2 320	1 700
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 638	1 062	1 638	1 062	1 362	1 002	1 362	1 002	1 392	1 020	1 392	1 020
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	1 610	1 044	1 610	1 044	4 016	2 955	4 016	2 955	8 209	6 015	8 209	6 015
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-1 862	-1 456	-433	-427	-6 401	-4 545	-2 113	-1 458	-12 624	-8 985	-4 049	-2 811
	Rückwärzahl η <sub>t,11</sub> [%]	56,0%				58,0%				56,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 377				1 264				1 377			
Wärmebedarf [kWh]	6 883				18 954				41 299				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-1 853 €	-1 159 €	-1 222 €	-701 €	-5 723 €	-3 641 €	-3 830 €	-2 269 €	-11 116 €	-6 952 €	-7 330 €	-4 207 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-896 €	-896 €	-232 €	-232 €	-2 955 €	-2 955 €	-964 €	-964 €	-5 834 €	-5 834 €	-1 852 €	-1 852 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-2 749 €</b>	<b>-2 055 €</b>	<b>-1 454 €</b>	<b>-933 €</b>	<b>-8 679 €</b>	<b>-6 597 €</b>	<b>-4 795 €</b>	<b>-3 233 €</b>	<b>-16 950 €</b>	<b>-12 786 €</b>	<b>-9 182 €</b>	<b>-6 059 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>57 600 €</b>				<b>77 900 €</b>				<b>111 200 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 336 €</b>				<b>8 569 €</b>				<b>12 232 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	28,2	37,7	53,3	83,0	12,1	15,9	21,8	32,4	8,8	11,7	16,3	24,7
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>18,0</b>	<b>24,1</b>	<b>34,1</b>	<b>53,1</b>	<b>7,7</b>	<b>10,2</b>	<b>14,0</b>	<b>20,7</b>	<b>5,6</b>	<b>7,5</b>	<b>10,4</b>	<b>15,8</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 1a</b>		<b>Volumenstrom 90%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	4 500	4 500	4 500	4 500	13 500	13 500	13 500	13 500	27 000	27 000	27 000	27 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 480	1 610	2 480	1 610	2 060	1 520	2 060	1 520	2 110	1 550	2 110	1 550
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 488	966	1 488	966	1 236	912	1 236	912	1 266	930	1 266	930
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	1 316	855	1 316	855	3 280	2 420	3 280	2 420	6 719	4 936	6 719	4 936
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 156	-1 645	-727	-616	-7 137	-5 080	-2 849	-1 993	-14 114	-10 064	-5 539	-3 890
	Rückwärzahl η <sub>t,11</sub> [%]	58,0%				60,0%				58,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 264				1 152				1 264			
Wärmebedarf [kWh]	5 686				15 554				34 117				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-1 969 €	-1 275 €	-1 338 €	-818 €	-6 055 €	-3 973 €	-4 162 €	-2 600 €	-11 816 €	-7 652 €	-8 030 €	-4 907 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 026 €	-1 026 €	-363 €	-363 €	-3 298 €	-3 298 €	-1 307 €	-1 307 €	-6 528 €	-6 528 €	-2 546 €	-2 546 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-2 996 €</b>	<b>-2 302 €</b>	<b>-1 701 €</b>	<b>-1 181 €</b>	<b>-9 353 €</b>	<b>-7 271 €</b>	<b>-5 469 €</b>	<b>-3 908 €</b>	<b>-18 344 €</b>	<b>-14 180 €</b>	<b>-10 576 €</b>	<b>-7 453 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>55 872 €</b>				<b>75 148 €</b>				<b>106 464 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 146 €</b>				<b>8 266 €</b>				<b>11 711 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	25,1	32,6	44,2	63,6	10,8	13,9	18,5	25,9	7,8	10,1	13,5	19,2
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>16,0</b>	<b>20,9</b>	<b>28,3</b>	<b>40,7</b>	<b>6,9</b>	<b>8,9</b>	<b>11,8</b>	<b>16,5</b>	<b>5,0</b>	<b>6,5</b>	<b>8,7</b>	<b>12,3</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³/s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Variante 1b</b>		<b>Volumenstrom 75%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 750	3 750	3 750	3 750	11 250	11 250	11 250	11 250	22 500	22 500	22 500	22 500
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³/s]	2 080	1 350	2 080	1 350	1 760	1 270	1 760	1 270	1 760	1 400	1 760	1 400
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 248	810	1 248	810	1 056	762	1 056	762	1 056	840	1 056	840
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	920	597	920	597	2 335	1 685	2 335	1 685	4 671	3 715	4 671	3 715
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 552	-1 903	-1 123	-874	-8 081	-5 815	-3 794	-2 728	-16 163	-11 285	-7 587	-5 110
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	62,0%				63,0%				62,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 042				988				1 042			
Wärmebedarf [kWh]	3 908				11 113				23 450				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 143 €	-1 449 €	-1 512 €	-991 €	-6 488 €	-4 406 €	-4 595 €	-3 033 €	-12 856 €	-8 692 €	-9 070 €	-5 947 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 203 €	-1 203 €	-539 €	-539 €	-3 752 €	-3 752 €	-1 761 €	-1 761 €	-7 411 €	-7 411 €	-3 428 €	-3 428 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 346 €</b>	<b>-2 652 €</b>	<b>-2 051 €</b>	<b>-1 530 €</b>	<b>-10 240 €</b>	<b>-8 157 €</b>	<b>-6 356 €</b>	<b>-4 794 €</b>	<b>-20 267 €</b>	<b>-16 103 €</b>	<b>-12 499 €</b>	<b>-9 376 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>53 280 €</b>				<b>71 020 €</b>				<b>99 360 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>5 861 €</b>				<b>7 812 €</b>				<b>10 930 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	21,4	27,0	34,9	46,8	9,3	11,7	15,0	19,9	6,6	8,3	10,7	14,3
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>13,7</b>	<b>17,3</b>	<b>22,3</b>	<b>29,9</b>	<b>6,0</b>	<b>7,5</b>	<b>9,6</b>	<b>12,7</b>	<b>4,2</b>	<b>5,3</b>	<b>6,8</b>	<b>9,1</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 1c</b>		<b>Volumenstrom 60%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 000	3 000	3 000	3 000	9 000	9 000	9 000	9 000	18 000	18 000	18 000	18 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³/s]	2 080	1 350	2 080	1 350	1 760	1 270	1 760	1 270	1 760	1 400	1 760	1 400
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 248	810	1 248	810	1 056	762	1 056	762	1 056	840	1 056	840
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	736	478	736	478	1 868	1 348	1 868	1 348	3 737	2 972	3 737	2 972
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 736	-2 022	-1 307	-993	-8 548	-6 152	-4 261	-3 065	-17 097	-12 028	-8 522	-5 854
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	64,0%				65,0%				65,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	934				880				880			
Wärmebedarf [kWh]	2 802				7 923				15 845				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 251 €	-1 557 €	-1 620 €	-1 099 €	-6 799 €	-4 717 €	-4 906 €	-3 344 €	-13 597 €	-9 433 €	-9 812 €	-6 689 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 285 €	-1 285 €	-621 €	-621 €	-3 969 €	-3 969 €	-1 978 €	-1 978 €	-7 864 €	-7 864 €	-3 881 €	-3 881 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 535 €</b>	<b>-2 841 €</b>	<b>-2 241 €</b>	<b>-1 720 €</b>	<b>-10 768 €</b>	<b>-8 686 €</b>	<b>-6 884 €</b>	<b>-5 322 €</b>	<b>-21 461 €</b>	<b>-17 297 €</b>	<b>-13 693 €</b>	<b>-10 570 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>51 120 €</b>				<b>67 580 €</b>				<b>93 440 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>5 623 €</b>				<b>7 434 €</b>				<b>10 278 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	19,4	24,2	30,7	40,0	8,4	10,5	13,2	17,1	5,9	7,3	9,2	11,9
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>12,4</b>	<b>15,5</b>	<b>19,6</b>	<b>25,6</b>	<b>5,4</b>	<b>6,7</b>	<b>8,4</b>	<b>10,9</b>	<b>3,7</b>	<b>4,6</b>	<b>5,9</b>	<b>7,6</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Grundvariante 1</b>		<b>Volumenstrom 100%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000	5 000	5 000	5 000	15 000	15 000	15 000	15 000	30 000	30 000	30 000	30 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 730	1 770	2 730	1 770	2 270	1 670	2 270	1 670	2 320	1 700	2 320	1 700
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 638	1 062	1 638	1 062	1 362	1 002	1 362	1 002	1 392	1 020	1 392	1 020
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	1 610	1 044	1 610	1 044	4 016	2 955	4 016	2 955	8 209	6 015	8 209	6 015
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-1 862	-1 456	-433	-427	-6 401	-4 545	-2 113	-1 458	-12 624	-8 985	-4 049	-2 811
	Rückwärmzahl η <sub>t,11</sub> [%]	56,0%				58,0%				56,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	2 925				2 685				2 925			
Wärmebedarf [kWh]	14 627				40 277				87 759				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-3 937 €	-2 462 €	-2 596 €	-1 490 €	-12 162 €	-7 737 €	-8 140 €	-4 821 €	-23 621 €	-14 772 €	-15 576 €	-8 940 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 867 €	-1 867 €	-484 €	-484 €	-6 157 €	-6 157 €	-2 009 €	-2 009 €	-12 155 €	-12 155 €	-3 858 €	-3 858 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-5 803 €</b>	<b>-4 329 €</b>	<b>-3 080 €</b>	<b>-1 974 €</b>	<b>-18 319 €</b>	<b>-13 894 €</b>	<b>-10 148 €</b>	<b>-6 830 €</b>	<b>-35 776 €</b>	<b>-26 927 €</b>	<b>-19 435 €</b>	<b>-12 798 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	57 600 €				77 900 €				111 200 €			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	6 336 €				8 569 €				12 232 €			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 60% [a]	13,3	17,9	25,1	39,2	5,7	7,5	10,3	15,3	4,2	5,6	7,7	11,7
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>8,5</b>	<b>11,4</b>	<b>16,1</b>	<b>25,1</b>	<b>3,7</b>	<b>4,8</b>	<b>6,6</b>	<b>9,8</b>	<b>2,7</b>	<b>3,6</b>	<b>4,9</b>	<b>7,5</b>	
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 1a</b>		<b>Volumenstrom 90%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	4 500	4 500	4 500	4 500	13 500	13 500	13 500	13 500	27 000	27 000	27 000	27 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 480	1 610	2 480	1 610	2 060	1 520	2 060	1 520	2 110	1 550	2 110	1 550
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 488	966	1 488	966	1 236	912	1 236	912	1 266	930	1 266	930
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	1 316	855	1 316	855	3 280	2 420	3 280	2 420	6 719	4 936	6 719	4 936
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 156	-1 645	-727	-616	-7 137	-5 080	-2 849	-1 993	-14 114	-10 064	-5 539	-3 890
	Rückwärmzahl η <sub>t,11</sub> [%]	58,0%				60,0%				58,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	2 685				2 448				2 685			
Wärmebedarf [kWh]	12 083				33 051				72 498				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 185 €	-2 710 €	-2 844 €	-1 738 €	-12 866 €	-8 442 €	-8 844 €	-5 526 €	-25 109 €	-16 260 €	-17 064 €	-10 428 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-2 138 €	-2 138 €	-756 €	-756 €	-6 872 €	-6 872 €	-2 723 €	-2 723 €	-13 600 €	-13 600 €	-5 303 €	-5 303 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-6 323 €</b>	<b>-4 848 €</b>	<b>-3 600 €</b>	<b>-2 494 €</b>	<b>-19 738 €</b>	<b>-15 313 €</b>	<b>-11 567 €</b>	<b>-8 249 €</b>	<b>-38 709 €</b>	<b>-29 860 €</b>	<b>-22 368 €</b>	<b>-15 731 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	55 872 €				75 148 €				106 464 €			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	6 146 €				8 266 €				11 711 €			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	11,9	15,5	20,9	30,1	5,1	6,6	8,7	12,3	3,7	4,8	6,4	9,1
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>7,6</b>	<b>9,9</b>	<b>13,4</b>	<b>19,3</b>	<b>3,3</b>	<b>4,2</b>	<b>5,6</b>	<b>7,8</b>	<b>2,4</b>	<b>3,1</b>	<b>4,1</b>	<b>5,8</b>	
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)												
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine												
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a												
	Betriebsstunden [h/a]	3 750												
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001												
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000				
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	
	f Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	
	f MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	
	Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451	
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
	P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
	elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
	elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826		
Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 750	3 750	3 750	3 750	11 250	11 250	11 250	11 250	22 500	22 500	22 500	22 500		
Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft		
P_SFP [W/m³s]	2 080	1 350	2 080	1 350	1 760	1 270	1 760	1 270	1 760	1 400	1 760	1 400		
stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 248	810	1 248	810	1 056	762	1 056	762	1 056	840	1 056	840		
Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%		
Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	920	597	920	597	2 335	1 685	2 335	1 685	4 671	3 715	4 671	3 715		
Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 552	-1 903	-1 123	-874	-8 081	-5 815	-3 794	-2 728	-16 163	-11 285	-7 587	-5 110		
Rückwärzahl η <sub>t,11</sub> [%]	62,0%				63,0%				62,0%					
spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	2 215				2 099				2 215					
Wärmebedarf [kWh]	8 905				23 616				49 831					
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 553 €	-3 078 €	-3 212 €	-2 106 €	-13 786 €	-9 362 €	-9 764 €	-6 446 €	-27 319 €	-18 470 €	-19 275 €	-12 638 €	
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-2 506 €	-2 506 €	-1 123 €	-1 123 €	-7 817 €	-7 817 €	-3 668 €	-3 668 €	-15 439 €	-15 439 €	-7 143 €	-7 143 €	
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-7 059 €</b>	<b>-5 584 €</b>	<b>-4 336 €</b>	<b>-3 230 €</b>	<b>-21 603 €</b>	<b>-17 178 €</b>	<b>-13 432 €</b>	<b>-10 114 €</b>	<b>-42 758 €</b>	<b>-33 909 €</b>	<b>-26 417 €</b>	<b>-19 781 €</b>	
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>53 280 €</b>				<b>71 020 €</b>				<b>99 360 €</b>				
	Aufwand Instandsetzung	0,03												
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08												
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>5 861 €</b>				<b>7 812 €</b>				<b>10 930 €</b>				
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15												
	Zinssatz	2,5%												
Annuitätsfaktor	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	10,1	12,8	16,5	22,2	4,4	5,6	7,1	9,4	3,1	3,9	5,1	6,8	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>6,5</b>	<b>8,2</b>	<b>10,6</b>	<b>14,2</b>	<b>2,8</b>	<b>3,6</b>	<b>4,5</b>	<b>6,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>3,2</b>	<b>4,3</b>	
	BAFA-Förderung	Maßnahme kein Fördergegenstand												
<b>Variante 1c</b>		<b>Volumenstrom 60%</b>												
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 000	3 000	3 000	3 000	9 000	9 000	9 000	9 000	18 000	18 000	18 000	18 000	
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
	P_SFP [W/m³s]	2 080	1 350	2 080	1 350	1 760	1 270	1 760	1 270	1 760	1 400	1 760	1 400	
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 248	810	1 248	810	1 056	762	1 056	762	1 056	840	1 056	840	
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	736	478	736	478	1 868	1 348	1 868	1 348	3 737	2 972	3 737	2 972	
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 736	-2 022	-1 307	-993	-8 548	-6 152	-4 261	-3 065	-17 097	-12 028	-8 522	-5 854	
	Rückwärzahl η <sub>t,11</sub> [%]	64,0%				65,0%				65,0%				
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 984				1 871				1 871				
	Wärmebedarf [kWh]	5 953				16 835				33 671				
	verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 782 €	-3 308 €	-3 442 €	-2 336 €	-14 447 €	-10 023 €	-10 425 €	-7 107 €	-28 894 €	-20 046 €	-20 850 €	-14 214 €
		Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-2 677 €	-2 677 €	-1 294 €	-1 294 €	-8 269 €	-8 269 €	-4 121 €	-4 121 €	-16 383 €	-16 383 €	-8 086 €	-8 086 €
		<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-7 459 €</b>	<b>-5 984 €</b>	<b>-4 736 €</b>	<b>-3 630 €</b>	<b>-22 716 €</b>	<b>-18 292 €</b>	<b>-14 546 €</b>	<b>-11 227 €</b>	<b>-45 277 €</b>	<b>-36 428 €</b>	<b>-28 936 €</b>	<b>-22 300 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>51 120 €</b>				<b>67 580 €</b>				<b>93 440 €</b>				
	Aufwand Instandsetzung	0,03												
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08												
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>5 623 €</b>				<b>7 434 €</b>				<b>10 278 €</b>				
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15												
	Zinssatz	2,5%												
Annuitätsfaktor	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	9,2	11,5	14,5	18,9	4,0	5,0	6,2	8,1	2,8	3,4	4,3	5,6	
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>5,9</b>	<b>7,3</b>	<b>9,3</b>	<b>12,1</b>	<b>2,6</b>	<b>3,2</b>	<b>4,0</b>	<b>5,2</b>	<b>1,8</b>	<b>2,2</b>	<b>2,8</b>	<b>3,6</b>	
	BAFA-Förderung	Maßnahme kein Fördergegenstand												

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636
Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Grundvariante 1</b>	<b>Volumenstrom 100%</b>												
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000	5 000	5 000	5 000	15 000	15 000	15 000	15 000	30 000	30 000	30 000	30 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 730	1 770	2 730	1 770	2 270	1 670	2 270	1 670	2 320	1 700	2 320	1 700
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 638	1 062	1 638	1 062	1 362	1 002	1 362	1 002	1 392	1 020	1 392	1 020
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	1 610	1 044	1 610	1 044	4 016	2 955	4 016	2 955	8 209	6 015	8 209	6 015
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-1 862	-1 456	-433	-427	-6 401	-4 545	-2 113	-1 458	-12 624	-8 985	-4 049	-2 811
	Rückwärmzahl η <sub>t,11</sub> [%]	56,0%				58,0%				56,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	7 102				6 518				7 102			
Wärmebedarf [kWh]	35 508				97 776				213 046				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-9 557 €	-5 977 €	-6 302 €	-3 617 €	-29 524 €	-18 783 €	-19 760 €	-11 704 €	-57 342 €	-35 861 €	-37 814 €	-21 703 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-4 360 €	-4 360 €	-1 130 €	-1 130 €	-14 383 €	-14 383 €	-4 693 €	-4 693 €	-28 394 €	-28 394 €	-9 013 €	-9 013 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-13 917 €</b>	<b>-10 337 €</b>	<b>-7 433 €</b>	<b>-4 747 €</b>	<b>-43 907 €</b>	<b>-33 166 €</b>	<b>-24 452 €</b>	<b>-16 397 €</b>	<b>-85 736 €</b>	<b>-64 255 €</b>	<b>-46 827 €</b>	<b>-30 716 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>57 600 €</b>				<b>77 900 €</b>				<b>111 200 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 336 €</b>				<b>8 569 €</b>				<b>12 232 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	5,6	7,5	10,4	16,3	2,4	3,2	4,3	6,4	1,7	2,3	3,2	4,9
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>3,6</b>	<b>4,8</b>	<b>6,7</b>	<b>10,4</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>2,7</b>	<b>4,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>3,1</b>
BAFA-Förderung	Maßnahme kein Fördergegenstand												
<b>Variante 1a</b>	<b>Volumenstrom 90%</b>												
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	4 500	4 500	4 500	4 500	13 500	13 500	13 500	13 500	27 000	27 000	27 000	27 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 480	1 610	2 480	1 610	2 060	1 520	2 060	1 520	2 110	1 550	2 110	1 550
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 488	966	1 488	966	1 236	912	1 236	912	1 266	930	1 266	930
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	1 316	855	1 316	855	3 280	2 420	3 280	2 420	6 719	4 936	6 719	4 936
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 156	-1 645	-727	-616	-7 137	-5 080	-2 849	-1 993	-14 114	-10 064	-5 539	-3 890
	Rückwärmzahl η <sub>t,11</sub> [%]	58,0%				60,0%				58,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	6 518				5 943				6 518			
Wärmebedarf [kWh]	29 333				80 235				175 997				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-10 159 €	-6 579 €	-6 904 €	-4 219 €	-31 234 €	-20 493 €	-21 470 €	-13 414 €	-60 954 €	-39 473 €	-41 426 €	-25 315 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-4 995 €	-4 995 €	-1 765 €	-1 765 €	-16 052 €	-16 052 €	-6 362 €	-6 362 €	-31 770 €	-31 770 €	-12 389 €	-12 389 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-15 154 €</b>	<b>-11 574 €</b>	<b>-8 669 €</b>	<b>-5 984 €</b>	<b>-47 286 €</b>	<b>-36 546 €</b>	<b>-27 832 €</b>	<b>-19 776 €</b>	<b>-92 724 €</b>	<b>-71 243 €</b>	<b>-53 815 €</b>	<b>-37 704 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>55 872 €</b>				<b>75 148 €</b>				<b>106 464 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 146 €</b>				<b>8 266 €</b>				<b>11 711 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	5,0	6,5	8,7	12,6	2,1	2,8	3,6	5,1	1,5	2,0	2,7	3,8
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>3,2</b>	<b>4,2</b>	<b>5,5</b>	<b>8,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,3</b>	<b>3,3</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>	<b>2,4</b>
BAFA-Förderung	Maßnahme kein Fördergegenstand												

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	0,75		0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Variante 1b</b>		<b>Volumenstrom 75%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 750	3 750	3 750	3 750	11 250	11 250	11 250	11 250	22 500	22 500	22 500	22 500
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 080	1 350	2 080	1 350	1 760	1 270	1 760	1 270	1 760	1 400	1 760	1 400
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 248	810	1 248	810	1 056	762	1 056	762	1 056	840	1 056	840
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	920	597	920	597	2 335	1 685	2 335	1 685	4 671	3 715	4 671	3 715
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 552	-1 903	-1 123	-874	-8 081	-5 815	-3 794	-2 728	-16 163	-11 285	-7 587	-5 110
	Rückwärmzahl η <sub>r,11</sub> [%]	62,0%				63,0%				62,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 376				5 096				5 376			
Wärmebedarf [kWh]	20 162				57 329				120 969				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-11 053 €	-7 473 €	-7 799 €	-5 113 €	-33 467 €	-22 727 €	-23 703 €	-15 648 €	-66 320 €	-44 838 €	-46 791 €	-30 680 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-5 854 €	-5 854 €	-2 624 €	-2 624 €	-18 260 €	-18 260 €	-8 569 €	-8 569 €	-36 066 €	-36 066 €	-16 685 €	-16 685 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-16 907 €</b>	<b>-13 327 €</b>	<b>-10 422 €</b>	<b>-7 737 €</b>	<b>-51 727 €</b>	<b>-40 986 €</b>	<b>-32 272 €</b>	<b>-24 217 €</b>	<b>-102 385 €</b>	<b>-80 904 €</b>	<b>-63 476 €</b>	<b>-47 365 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	53 280 €				71 020 €				99 360 €			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
<b>Instandhaltung gesamt</b>		5 861 €				7 812 €				10 930 €			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	4,2	5,4	6,9	9,3	1,8	2,3	3,0	3,9	1,3	1,7	2,1	2,8
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>2,7</b>	<b>3,4</b>	<b>4,4</b>	<b>5,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,9</b>	<b>2,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,8</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 1c</b>		<b>Volumenstrom 60%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 000	3 000	3 000	3 000	9 000	9 000	9 000	9 000	18 000	18 000	18 000	18 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	2 080	1 350	2 080	1 350	1 760	1 270	1 760	1 270	1 760	1 400	1 760	1 400
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 248	810	1 248	810	1 056	762	1 056	762	1 056	840	1 056	840
	Systemwirkungsgrad [%]	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	736	478	736	478	1 868	1 348	1 868	1 348	3 737	2 972	3 737	2 972
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 736	-2 022	-1 307	-993	-8 548	-6 152	-4 261	-3 065	-17 097	-12 028	-8 522	-5 854
	Rückwärmzahl η <sub>r,11</sub> [%]	64,0%				65,0%				65,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	4 818				4 541				4 541			
Wärmebedarf [kWh]	14 453				40 870				81 739				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-11 610 €	-8 030 €	-8 355 €	-5 670 €	-35 072 €	-24 332 €	-25 308 €	-17 252 €	-70 144 €	-48 663 €	-50 616 €	-34 505 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-6 253 €	-6 253 €	-3 023 €	-3 023 €	-19 316 €	-19 316 €	-9 626 €	-9 626 €	-38 270 €	-38 270 €	-18 889 €	-18 889 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-17 863 €</b>	<b>-14 282 €</b>	<b>-11 378 €</b>	<b>-8 693 €</b>	<b>-54 388 €</b>	<b>-43 648 €</b>	<b>-34 934 €</b>	<b>-26 878 €</b>	<b>-108 414 €</b>	<b>-86 933 €</b>	<b>-69 505 €</b>	<b>-53 394 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	51 120 €				67 580 €				93 440 €			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
<b>Instandhaltung gesamt</b>		5 623 €				7 434 €				10 278 €			
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	3,8	4,8	6,0	7,9	1,7	2,1	2,6	3,4	1,2	1,4	1,8	2,4
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>2,5</b>	<b>3,1</b>	<b>3,9</b>	<b>5,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen veränderbar)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Grundvariante 2</b>		<b>Volumenstrom 100%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000	5 000	5 000	5 000	15 000	15 000	15 000	15 000	30 000	30 000	30 000	30 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 620	1 270	1 620	1 270	1 840	1 410	1 840	1 410	1 740	1 350	1 740	1 350
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 053	826	1 053	826	1 196	917	1 196	917	1 131	878	1 131	878
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	955	749	955	749	3 255	2 495	3 255	2 495	6 157	4 777	6 157	4 777
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 517	-1 751	-1 088	-722	-7 161	-5 005	-2 874	-1 918	-14 676	-10 223	-6 101	-4 049
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	63,0%				62,0%				62,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	988				1 042				1 042			
	Wärmebedarf [kWh]	4 939				15 633				31 266			
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 042 €	-1 348 €	-1 411 €	-891 €	-6 047 €	-3 965 €	-4 154 €	-2 593 €	-12 094 €	-7 930 €	-8 308 €	-5 185 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 152 €	-1 152 €	-489 €	-489 €	-3 285 €	-3 285 €	-1 294 €	-1 294 €	-6 723 €	-6 723 €	-2 741 €	-2 741 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 194 €</b>	<b>-2 500 €</b>	<b>-1 900 €</b>	<b>-1 379 €</b>	<b>-9 332 €</b>	<b>-7 250 €</b>	<b>-5 448 €</b>	<b>-3 886 €</b>	<b>-18 817 €</b>	<b>-14 653 €</b>	<b>-11 049 €</b>	<b>-7 926 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>61 600 €</b>				<b>83 500 €</b>				<b>114 400 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 776 €</b>				<b>9 185 €</b>				<b>12 584 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	25,9	33,1	43,6	60,1	12,0	15,5	20,6	28,9	8,2	10,5	13,9	19,4
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>16,6</b>	<b>21,2</b>	<b>27,9</b>	<b>38,4</b>	<b>7,7</b>	<b>9,9</b>	<b>13,2</b>	<b>18,5</b>	<b>5,2</b>	<b>6,7</b>	<b>8,9</b>	<b>12,4</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 2a</b>		<b>Volumenstrom 90%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	4 500	4 500	4 500	4 500	13 500	13 500	13 500	13 500	27 000	27 000	27 000	27 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 470	1 160	1 470	1 160	1 670	1 280	1 670	1 280	1 580	1 230	1 580	1 230
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	956	754	956	754	1 086	832	1 086	832	1 027	800	1 027	800
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	780	616	780	616	2 659	2 038	2 659	2 038	5 032	3 917	5 032	3 917
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 692	-1 884	-1 263	-855	-7 758	-5 462	-3 470	-2 375	-15 802	-11 083	-7 226	-4 909
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	65,0%				64,0%				64,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	880				934				934			
	Wärmebedarf [kWh]	3 961				12 607				25 214			
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 137 €	-1 443 €	-1 507 €	-986 €	-6 342 €	-4 260 €	-4 449 €	-2 888 €	-12 684 €	-8 520 €	-8 898 €	-5 775 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 236 €	-1 236 €	-572 €	-572 €	-3 569 €	-3 569 €	-1 578 €	-1 578 €	-7 259 €	-7 259 €	-3 277 €	-3 277 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 373 €</b>	<b>-2 679 €</b>	<b>-2 078 €</b>	<b>-1 558 €</b>	<b>-9 911 €</b>	<b>-7 829 €</b>	<b>-6 027 €</b>	<b>-4 466 €</b>	<b>-19 943 €</b>	<b>-15 779 €</b>	<b>-12 175 €</b>	<b>-9 052 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>59 552 €</b>				<b>80 300 €</b>				<b>109 408 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 551 €</b>				<b>8 833 €</b>				<b>12 035 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	23,7	29,9	38,5	51,4	10,9	13,8	17,9	24,2	7,4	9,3	12,1	16,3
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>15,2</b>	<b>19,1</b>	<b>24,6</b>	<b>32,9</b>	<b>7,0</b>	<b>8,8</b>	<b>11,5</b>	<b>15,5</b>	<b>4,7</b>	<b>6,0</b>	<b>7,7</b>	<b>10,4</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen veränderbar)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	1 800											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 177											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	25 884	18 766	19 413	14 075	77 653	56 298	58 240	42 224	155 305	112 596	116 479	84 447
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³/s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Variante 2b</b>		<b>Volumenstrom 75%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 750	3 750	3 750	3 750	11 250	11 250	11 250	11 250	22 500	22 500	22 500	22 500
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³/s]	1 250	980	1 250	980	1 420	1 090	1 420	1 090	1 340	1 040	1 340	1 040
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	813	637	813	637	923	709	923	709	871	676	871	676
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	553	433	553	433	1 884	1 446	1 884	1 446	3 556	2 760	3 556	2 760
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 919	-2 067	-1 490	-1 038	-8 532	-6 054	-4 245	-2 967	-17 277	-12 240	-8 702	-6 066
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	67,0%				66,0%				66,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	774				827				827			
Wärmebedarf [kWh]	2 904				9 305				18 610				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 241 €	-1 547 €	-1 610 €	-1 089 €	-6 664 €	-4 582 €	-4 771 €	-3 210 €	-13 328 €	-9 164 €	-9 542 €	-6 419 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 346 €	-1 346 €	-682 €	-682 €	-3 938 €	-3 938 €	-1 947 €	-1 947 €	-7 970 €	-7 970 €	-3 987 €	-3 987 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 587 €</b>	<b>-2 893 €</b>	<b>-2 292 €</b>	<b>-1 772 €</b>	<b>-10 602 €</b>	<b>-8 520 €</b>	<b>-6 718 €</b>	<b>-5 157 €</b>	<b>-21 298 €</b>	<b>-17 133 €</b>	<b>-13 530 €</b>	<b>-10 407 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>56 480 €</b>				<b>75 500 €</b>				<b>101 920 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 213 €</b>				<b>8 305 €</b>				<b>11 211 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	21,2	26,3	33,1	42,9	9,6	11,9	15,1	19,7	6,4	8,0	10,1	13,2
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>13,5</b>	<b>16,8</b>	<b>21,2</b>	<b>27,4</b>	<b>6,1</b>	<b>7,6</b>	<b>9,7</b>	<b>12,6</b>	<b>4,1</b>	<b>5,1</b>	<b>6,5</b>	<b>8,4</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 2c</b>		<b>Volumenstrom 60%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 000	3 000	3 000	3 000	9 000	9 000	9 000	9 000	18 000	18 000	18 000	18 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³/s]	1 070	840	1 070	840	1 210	930	1 210	930	1 150	890	1 150	890
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	696	546	696	546	787	605	787	605	748	579	748	579
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	379	297	379	297	1 284	987	1 284	987	2 442	1 890	2 442	1 890
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-3 094	-2 203	-1 664	-1 174	-9 132	-6 513	-4 845	-3 426	-18 392	-13 110	-9 817	-6 936
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	68,0%				67,0%				67,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	722				774				774			
Wärmebedarf [kWh]	2 166				6 969				13 937				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-2 313 €	-1 619 €	-1 682 €	-1 161 €	-6 892 €	-4 810 €	-4 999 €	-3 437 €	-13 783 €	-9 619 €	-9 998 €	-6 875 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-1 430 €	-1 430 €	-766 €	-766 €	-4 224 €	-4 224 €	-2 233 €	-2 233 €	-8 506 €	-8 506 €	-4 523 €	-4 523 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-3 743 €</b>	<b>-3 049 €</b>	<b>-2 448 €</b>	<b>-1 927 €</b>	<b>-11 116 €</b>	<b>-9 034 €</b>	<b>-7 232 €</b>	<b>-5 670 €</b>	<b>-22 289 €</b>	<b>-18 125 €</b>	<b>-14 521 €</b>	<b>-11 398 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>53 920 €</b>				<b>71 500 €</b>				<b>95 680 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>5 931 €</b>				<b>7 865 €</b>				<b>10 525 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	19,4	23,8	29,6	37,6	8,6	10,6	13,3	17,0	5,8	7,1	8,9	11,3
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>12,4</b>	<b>15,2</b>	<b>18,9</b>	<b>24,1</b>	<b>5,5</b>	<b>6,8</b>	<b>8,5</b>	<b>10,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,5</b>	<b>5,7</b>	<b>7,2</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Grundvariante 2</b>		<b>Volumenstrom 100%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000	5 000	5 000	5 000	15 000	15 000	15 000	15 000	30 000	30 000	30 000	30 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 620	1 270	1 620	1 270	1 840	1 410	1 840	1 410	1 740	1 350	1 740	1 350
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 053	826	1 053	826	1 196	917	1 196	917	1 131	878	1 131	878
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	955	749	955	749	3 255	2 495	3 255	2 495	6 157	4 777	6 157	4 777
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 517	-1 751	-1 088	-722	-7 161	-5 005	-2 874	-1 918	-14 676	-10 223	-6 101	-4 049
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	63,0%				62,0%				62,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	2 099				2 215				2 215			
Wärmebedarf [kWh]	10 496				33 220				66 441				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 340 €	-2 865 €	-2 999 €	-1 893 €	-12 850 €	-8 425 €	-8 828 €	-5 509 €	-25 699 €	-16 851 €	-17 655 €	-11 018 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-2 401 €	-2 401 €	-1 018 €	-1 018 €	-6 844 €	-6 844 €	-2 696 €	-2 696 €	-14 006 €	-14 006 €	-5 710 €	-5 710 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-6 740 €</b>	<b>-5 265 €</b>	<b>-4 017 €</b>	<b>-2 911 €</b>	<b>-19 693 €</b>	<b>-15 269 €</b>	<b>-11 523 €</b>	<b>-8 205 €</b>	<b>-39 705 €</b>	<b>-30 857 €</b>	<b>-23 365 €</b>	<b>-16 728 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>61 600 €</b>				<b>83 500 €</b>				<b>114 400 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 776 €</b>				<b>9 185 €</b>				<b>12 584 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	12,3	15,7	20,6	28,5	5,7	7,4	9,7	13,7	3,9	5,0	6,6	9,2
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>7,9</b>	<b>10,1</b>	<b>13,2</b>	<b>18,2</b>	<b>3,6</b>	<b>4,7</b>	<b>6,2</b>	<b>8,8</b>	<b>2,5</b>	<b>3,2</b>	<b>4,2</b>	<b>5,9</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 2a</b>		<b>Volumenstrom 90%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	4 500	4 500	4 500	4 500	13 500	13 500	13 500	13 500	27 000	27 000	27 000	27 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 470	1 160	1 470	1 160	1 670	1 280	1 670	1 280	1 580	1 230	1 580	1 230
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	956	754	956	754	1 086	832	1 086	832	1 027	800	1 027	800
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	780	616	780	616	2 659	2 038	2 659	2 038	5 032	3 917	5 032	3 917
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 692	-1 884	-1 263	-855	-7 758	-5 462	-3 470	-2 375	-15 802	-11 083	-7 226	-4 909
	Rückwärmszahl η <sub>t,11</sub> [%]	65,0%				64,0%				64,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 871				1 984				1 984			
Wärmebedarf [kWh]	8 418				26 790				53 581				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 542 €	-3 067 €	-3 201 €	-2 095 €	-13 477 €	-9 052 €	-9 454 €	-6 136 €	-26 953 €	-18 104 €	-18 909 €	-12 272 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-2 574 €	-2 574 €	-1 191 €	-1 191 €	-7 436 €	-7 436 €	-3 288 €	-3 288 €	-15 123 €	-15 123 €	-6 826 €	-6 826 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-7 116 €</b>	<b>-5 642 €</b>	<b>-4 393 €</b>	<b>-3 287 €</b>	<b>-20 913 €</b>	<b>-16 488 €</b>	<b>-12 742 €</b>	<b>-9 424 €</b>	<b>-42 076 €</b>	<b>-33 227 €</b>	<b>-25 735 €</b>	<b>-19 098 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>59 552 €</b>				<b>80 300 €</b>				<b>109 408 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 551 €</b>				<b>8 833 €</b>				<b>12 035 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	11,3	14,2	18,2	24,4	5,2	6,5	8,5	11,5	3,5	4,4	5,7	7,7
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>7,2</b>	<b>9,1</b>	<b>11,7</b>	<b>15,6</b>	<b>3,3</b>	<b>4,2</b>	<b>5,4</b>	<b>7,3</b>	<b>2,2</b>	<b>2,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,9</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

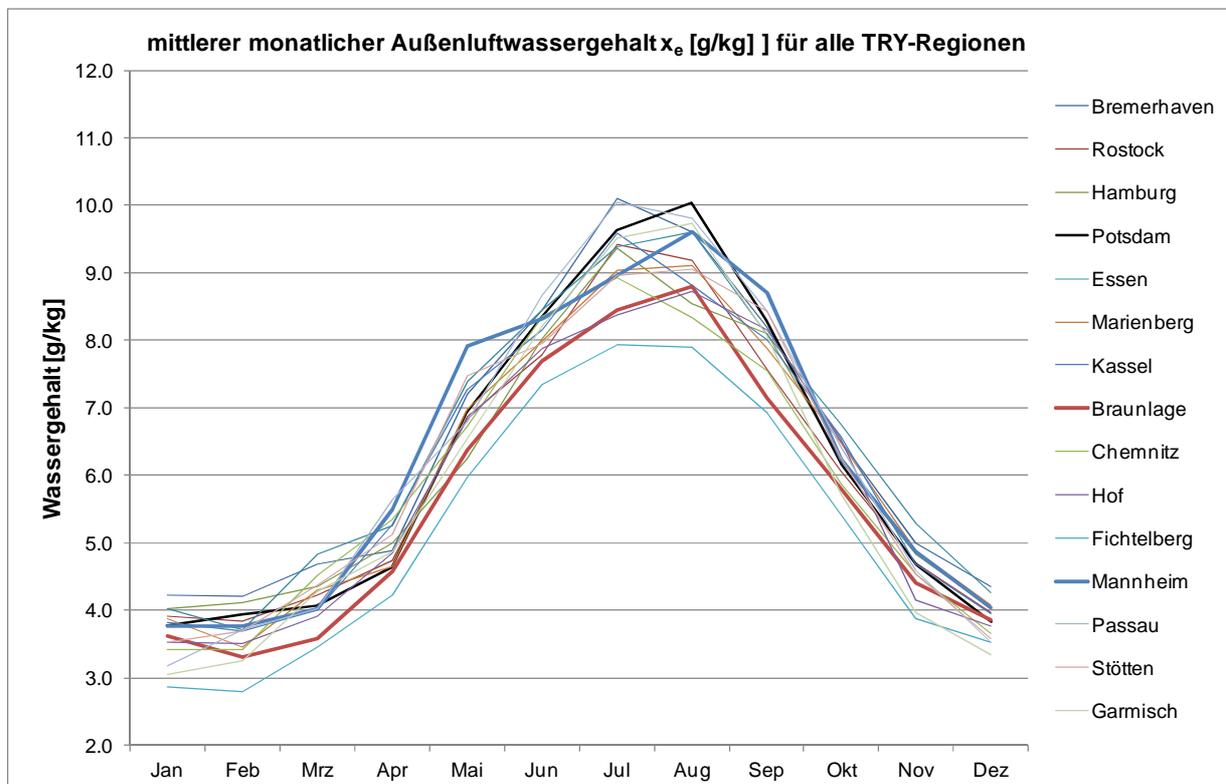
Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	3 750											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	11 001											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	55 004	39 878	41 253	29 908	165 012	119 634	123 759	89 725	330 024	239 268	247 518	179 451
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³/s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Variante 2b</b>		<b>Volumenstrom 75%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 750	3 750	3 750	3 750	11 250	11 250	11 250	11 250	22 500	22 500	22 500	22 500
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³/s]	1 250	980	1 250	980	1 420	1 090	1 420	1 090	1 340	1 040	1 340	1 040
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	813	637	813	637	923	709	923	709	871	676	871	676
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	553	433	553	433	1 884	1 446	1 884	1 446	3 556	2 760	3 556	2 760
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 919	-2 067	-1 490	-1 038	-8 532	-6 054	-4 245	-2 967	-17 277	-12 240	-8 702	-6 066
	Rückwärmzahl η <sub>r,11</sub> [%]	67,0%				66,0%				66,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 645				1 758				1 758			
Wärmebedarf [kWh]	6 170				19 773				39 545				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 761 €	-3 287 €	-3 421 €	-2 314 €	-14 161 €	-9 736 €	-10 139 €	-6 820 €	-28 322 €	-19 473 €	-20 277 €	-13 641 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-2 805 €	-2 805 €	-1 422 €	-1 422 €	-8 205 €	-8 205 €	-4 056 €	-4 056 €	-16 603 €	-16 603 €	-8 307 €	-8 307 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-7 566 €</b>	<b>-6 091 €</b>	<b>-4 842 €</b>	<b>-3 736 €</b>	<b>-22 366 €</b>	<b>-17 941 €</b>	<b>-14 195 €</b>	<b>-10 877 €</b>	<b>-44 925 €</b>	<b>-36 076 €</b>	<b>-28 584 €</b>	<b>-21 948 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>56 480 €</b>				<b>75 500 €</b>				<b>101 920 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 213 €</b>				<b>8 305 €</b>				<b>11 211 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 60% [a]	10,0	12,5	15,7	20,3	4,5	5,7	7,2	9,3	3,1	3,8	4,8	6,2
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>6,4</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>13,0</b>	<b>2,9</b>	<b>3,6</b>	<b>4,6</b>	<b>6,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>	<b>3,1</b>	<b>4,0</b>	
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 2c</b>		<b>Volumenstrom 60%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 000	3 000	3 000	3 000	9 000	9 000	9 000	9 000	18 000	18 000	18 000	18 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³/s]	1 070	840	1 070	840	1 210	930	1 210	930	1 150	890	1 150	890
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	696	546	696	546	787	605	787	605	748	579	748	579
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	379	297	379	297	1 284	987	1 284	987	2 442	1 890	2 442	1 890
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-3 094	-2 203	-1 664	-1 174	-9 132	-6 513	-4 845	-3 426	-18 392	-13 110	-9 817	-6 936
	Rückwärmzahl η <sub>r,11</sub> [%]	68,0%				67,0%				67,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	1 534				1 645				1 645			
Wärmebedarf [kWh]	4 602				14 808				29 617				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-4 914 €	-3 439 €	-3 573 €	-2 467 €	-14 645 €	-10 220 €	-10 623 €	-7 304 €	-29 290 €	-20 441 €	-21 245 €	-14 609 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-2 979 €	-2 979 €	-1 596 €	-1 596 €	-8 800 €	-8 800 €	-4 652 €	-4 652 €	-17 720 €	-17 720 €	-9 424 €	-9 424 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-7 893 €</b>	<b>-6 419 €</b>	<b>-5 170 €</b>	<b>-4 064 €</b>	<b>-23 445 €</b>	<b>-19 021 €</b>	<b>-15 275 €</b>	<b>-11 956 €</b>	<b>-47 010 €</b>	<b>-38 161 €</b>	<b>-30 669 €</b>	<b>-24 032 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>53 920 €</b>				<b>71 500 €</b>				<b>95 680 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>5 931 €</b>				<b>7 865 €</b>				<b>10 525 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	9,2	11,3	14,0	17,8	4,1	5,1	6,3	8,0	2,7	3,4	4,2	5,4
<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>5,9</b>	<b>7,2</b>	<b>9,0</b>	<b>11,4</b>	<b>2,6</b>	<b>3,2</b>	<b>4,0</b>	<b>5,1</b>	<b>1,8</b>	<b>2,2</b>	<b>2,7</b>	<b>3,4</b>	
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636
Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Grundvariante 2</b>		<b>Volumenstrom 100%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000	5 000	5 000	5 000	15 000	15 000	15 000	15 000	30 000	30 000	30 000	30 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 620	1 270	1 620	1 270	1 840	1 410	1 840	1 410	1 740	1 350	1 740	1 350
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	1 053	826	1 053	826	1 196	917	1 196	917	1 131	878	1 131	878
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	955	749	955	749	3 255	2 495	3 255	2 495	6 157	4 777	6 157	4 777
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 517	-1 751	-1 088	-722	-7 161	-5 005	-2 874	-1 918	-14 676	-10 223	-6 101	-4 049
	Rückwärmzahl η <sub>r,11</sub> [%]	63,0%				62,0%				62,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	5 096				5 376				5 376			
Wärmebedarf [kWh]	25 480				80 646				161 292				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-10 535 €	-6 955 €	-7 280 €	-4 595 €	-31 194 €	-20 453 €	-21 430 €	-13 374 €	-62 388 €	-40 907 €	-42 860 €	-26 749 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-5 608 €	-5 608 €	-2 378 €	-2 378 €	-15 987 €	-15 987 €	-6 297 €	-6 297 €	-32 718 €	-32 718 €	-13 337 €	-13 337 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-16 143 €</b>	<b>-12 563 €</b>	<b>-9 658 €</b>	<b>-6 973 €</b>	<b>-47 181 €</b>	<b>-36 440 €</b>	<b>-27 727 €</b>	<b>-19 671 €</b>	<b>-95 106 €</b>	<b>-73 625 €</b>	<b>-56 197 €</b>	<b>-40 086 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>61 600 €</b>				<b>83 500 €</b>				<b>114 400 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 776 €</b>				<b>9 185 €</b>				<b>12 584 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 60% [a]	3,3	4,2	5,5	7,6	1,5	2,0	2,6	3,7	1,0	1,3	1,8	2,5
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 2a</b>		<b>Volumenstrom 90%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	4 500	4 500	4 500	4 500	13 500	13 500	13 500	13 500	27 000	27 000	27 000	27 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 470	1 160	1 470	1 160	1 670	1 280	1 670	1 280	1 580	1 230	1 580	1 230
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	956	754	956	754	1 086	832	1 086	832	1 027	800	1 027	800
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl fp	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	780	616	780	616	2 659	2 038	2 659	2 038	5 032	3 917	5 032	3 917
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 692	-1 884	-1 263	-855	-7 758	-5 462	-3 470	-2 375	-15 802	-11 083	-7 226	-4 909
	Rückwärmzahl η <sub>r,11</sub> [%]	65,0%				64,0%				64,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	4 541				4 818				4 818			
Wärmebedarf [kWh]	20 435				65 036				130 073				
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-11 027 €	-7 446 €	-7 772 €	-5 087 €	-32 716 €	-21 975 €	-22 952 €	-14 896 €	-65 432 €	-43 951 €	-45 903 €	-29 792 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-6 013 €	-6 013 €	-2 783 €	-2 783 €	-17 370 €	-17 370 €	-7 680 €	-7 680 €	-35 326 €	-35 326 €	-15 946 €	-15 946 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-17 040 €</b>	<b>-13 460 €</b>	<b>-10 555 €</b>	<b>-7 870 €</b>	<b>-50 086 €</b>	<b>-39 346 €</b>	<b>-30 632 €</b>	<b>-22 576 €</b>	<b>-100 758 €</b>	<b>-79 277 €</b>	<b>-61 849 €</b>	<b>-45 738 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>59 552 €</b>				<b>80 300 €</b>				<b>109 408 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 551 €</b>				<b>8 833 €</b>				<b>12 035 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 60% [a]	3,0	3,8	4,9	6,5	1,4	1,8	2,3	3,1	0,9	1,2	1,5	2,1
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

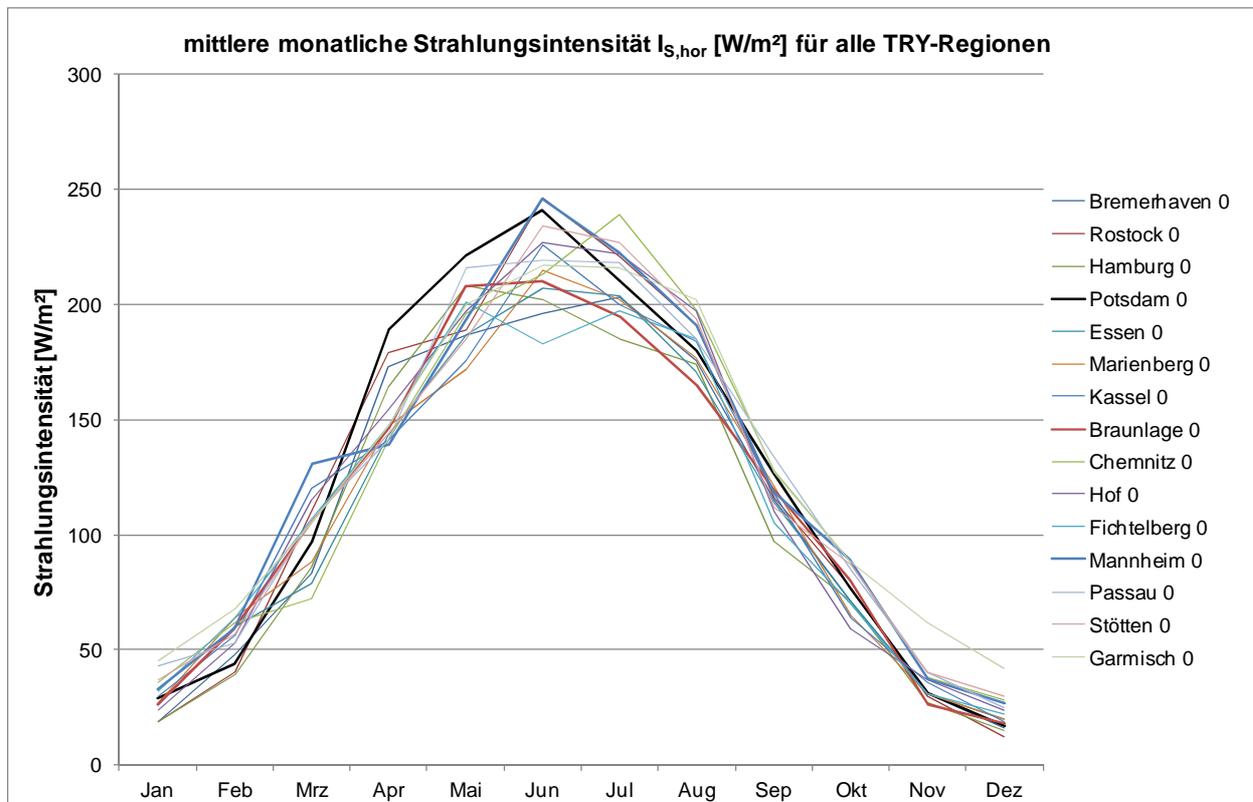
Sanierungsmaßnahme		Kompletttausch RLT-Gerät (Abmessungen wie Bestand, Volumenstrom 100%)											
Ist-Zustand Bestandsanlage	WRG	keine											
	Betriebszeit	12h/d, 150d/a											
	Betriebsstunden [h/a]	8 760											
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	26 706											
	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	5 000				15 000				30 000			
	Ventilator	1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)		1-stufig		2-stufig (50%/100%)	
	Umluft-Mischkammer T-geregelt (12C)	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%	keine UML	Mind. AUL 30%
	f_Vent (V_mittel/V_nenn)	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
	f_MK (nach DIN SPEC 15240)	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725	1	0,725
	Wärmebedarf [kWh]	133 528	96 808	100 146	72 606	400 585	290 424	300 438	217 818	801 169	580 848	600 877	435 636
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
P_SFP [W/m³s]	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	2 500	1 800	
elektr. Wirkleistung Stufe 1 [W]	3 472	2 500	3 472	2 500	10 417	7 500	10 417	7 500	20 833	15 000	20 833	15 000	
elektr. Wirkleistung Stufe 2 [W]	-	-	614	442	-	-	1 841	1 326	-	-	3 683	2 652	
mittl. elektr. Wirkleistung [W]	3 472	2 500	2 043	1 471	10 417	7 500	6 129	4 413	20 833	15 000	12 258	8 826	
<b>Variante 2b</b>		<b>Volumenstrom 75%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 750	3 750	3 750	3 750	11 250	11 250	11 250	11 250	22 500	22 500	22 500	22 500
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 250	980	1 250	980	1 420	1 090	1 420	1 090	1 340	1 040	1 340	1 040
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	813	637	813	637	923	709	923	709	871	676	871	676
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	553	433	553	433	1 884	1 446	1 884	1 446	3 556	2 760	3 556	2 760
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-2 919	-2 067	-1 490	-1 038	-8 532	-6 054	-4 245	-2 967	-17 277	-12 240	-8 702	-6 066
	Rückwärzahl η <sub>t,11</sub> [%]	67,0%				66,0%				66,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	3 994				4 267				4 267			
	Wärmebedarf [kWh]	14 979				48 000				96 000			
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-11 559 €	-7 978 €	-8 304 €	-5 619 €	-34 377 €	-23 636 €	-24 613 €	-16 557 €	-68 754 €	-47 273 €	-49 225 €	-33 114 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-6 551 €	-6 551 €	-3 321 €	-3 321 €	-19 166 €	-19 166 €	-9 476 €	-9 476 €	-38 786 €	-38 786 €	-19 405 €	-19 405 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-18 110 €</b>	<b>-14 530 €</b>	<b>-11 625 €</b>	<b>-8 940 €</b>	<b>-53 543 €</b>	<b>-42 802 €</b>	<b>-34 089 €</b>	<b>-26 033 €</b>	<b>-107 540 €</b>	<b>-86 058 €</b>	<b>-68 630 €</b>	<b>-52 519 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>56 480 €</b>				<b>75 500 €</b>				<b>101 920 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>6 213 €</b>				<b>8 305 €</b>				<b>11 211 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	4,2	5,2	6,5	8,5	1,9	2,4	3,0	3,9	1,3	1,6	2,0	2,6
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>2,7</b>	<b>3,3</b>	<b>4,2</b>	<b>5,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,9</b>	<b>2,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											
<b>Variante 2c</b>		<b>Volumenstrom 60%</b>											
nach Sanierungs- maßnahme	Nennluftvolumenstrom [m³/h]	3 000	3 000	3 000	3 000	9 000	9 000	9 000	9 000	18 000	18 000	18 000	18 000
	Zuluft / Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
	P_SFP [W/m³s]	1 070	840	1 070	840	1 210	930	1 210	930	1 150	890	1 150	890
	stat. Druckerhöhung Δp [Pa]	696	546	696	546	787	605	787	605	748	579	748	579
	Systemwirkungsgrad [%]	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
	Druckverhältnis-Zahl Ip	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	elektr. Wirkleistung VVS (Vmin 50%) [W]	379	297	379	297	1 284	987	1 284	987	2 442	1 890	2 442	1 890
	Wirkleistungsdifferenz [W]	-3 094	-2 203	-1 664	-1 174	-9 132	-6 513	-4 845	-3 426	-18 392	-13 110	-9 817	-6 936
	Rückwärzahl η <sub>t,11</sub> [%]	68,0%				67,0%				67,0%			
	spez. Wärmebedarf [Wh/(m³h)]	3 724				3 994				3 994			
	Wärmebedarf [kWh]	11 172				35 949				71 897			
verbrauchs- gebundene Kosten	Wärmekostendifferenz (7,5 ct/kWh)	-11 930 €	-8 350 €	-8 675 €	-5 990 €	-35 552 €	-24 811 €	-25 788 €	-17 732 €	-71 104 €	-49 623 €	-51 576 €	-35 465 €
	Stromkostendifferenz (15 ct/kWh)	-6 959 €	-6 959 €	-3 729 €	-3 729 €	-20 558 €	-20 558 €	-10 867 €	-10 867 €	-41 394 €	-41 394 €	-22 013 €	-22 013 €
	<b>Gesamtkostendifferenz</b>	<b>-18 889 €</b>	<b>-15 309 €</b>	<b>-12 404 €</b>	<b>-9 719 €</b>	<b>-56 110 €</b>	<b>-45 369 €</b>	<b>-36 655 €</b>	<b>-28 599 €</b>	<b>-112 498 €</b>	<b>-91 017 €</b>	<b>-73 589 €</b>	<b>-57 478 €</b>
betriebs- gebundene Kosten	<b>Investition gesamt</b>	<b>53 920 €</b>				<b>71 500 €</b>				<b>95 680 €</b>			
	Aufwand Instandsetzung	0,03											
	Aufwand Wartung/Inspektion	0,08											
Amortisations- dauer T <sub>A</sub>	<b>Instandhaltung gesamt</b>	<b>5 931 €</b>				<b>7 865 €</b>				<b>10 525 €</b>			
	Nutzungsdauer nach VDI 2067-1 [a]	15											
	Zinssatz	2,5%											
	Annuitätsfaktor	0,081											
	T <sub>A</sub> Restwert 100% [a]	3,8	4,7	5,8	7,5	1,7	2,1	2,6	3,4	1,1	1,4	1,7	2,2
	<b>T<sub>A</sub> Restwert 60% [a]</b>	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>	<b>3,7</b>	<b>4,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>
BAFA-Förderung		Maßnahme kein Fördergegenstand											

## Anhang 6: Außenluftwassergehalt und Strahlungsintensität für alle TRY-Regionen

Region	Referenzort	Mittlerer monatlicher Außenluftwassergehalt $x_e$ [g/kg]												Jahreswert [g/kg] Jan bis Dez
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1	Bremerhaven	4.2	4.2	4.7	4.9	7.2	8.4	10.1	9.6	8.2	6.5	5.0	4.3	6.5
2	Rostock	3.9	3.8	4.2	4.7	6.9	7.8	9.4	9.2	7.6	6.1	4.7	4.0	6.0
3	Hamburg	4.0	4.1	4.3	5.0	6.2	8.0	9.4	8.5	8.1	6.2	4.8	4.0	6.1
<b>4</b>	<b>Potsdam</b>	<b>3.8</b>	<b>3.9</b>	<b>4.1</b>	<b>4.6</b>	<b>6.9</b>	<b>8.4</b>	<b>9.6</b>	<b>10.0</b>	<b>8.3</b>	<b>6.2</b>	<b>4.7</b>	<b>3.8</b>	<b>6.2</b>
5	Essen	4.0	3.7	4.8	5.2	7.4	8.4	9.4	9.6	8.1	6.8	5.3	4.3	6.4
6	Marienberg	3.9	3.4	4.3	4.7	7.0	8.0	9.0	9.1	7.9	6.5	4.9	4.1	6.1
7	Kassel	3.8	3.7	4.0	5.3	7.3	8.2	9.6	8.8	8.0	6.6	4.7	3.9	6.2
8	Braunlage	3.6	3.3	3.6	4.6	6.4	7.7	8.4	8.8	7.1	5.8	4.4	3.9	5.6
9	Chemnitz	3.4	3.4	4.5	5.3	6.7	8.4	8.9	8.3	7.6	5.9	4.5	3.6	5.9
10	Hof	3.5	3.5	3.9	4.8	6.8	7.9	8.4	8.7	8.1	6.5	4.1	3.8	5.9
11	Fichtelberg	2.9	2.8	3.4	4.2	6.0	7.4	7.9	7.9	6.9	5.4	3.9	3.5	5.2
12	Mannheim	3.8	3.8	4.0	5.5	7.9	8.3	9.0	9.6	8.7	6.2	4.9	4.0	6.3
13	Passau	3.2	3.7	4.0	5.6	6.8	8.7	10.1	9.8	8.4	6.4	4.6	3.5	6.2
14	Stötten	3.5	3.7	4.4	5.1	7.5	8.0	9.0	9.1	8.4	6.3	4.5	3.6	6.1
15	Garmisch	3.0	3.3	4.3	4.9	6.5	8.2	9.5	9.7	8.1	5.7	4.0	3.3	5.9

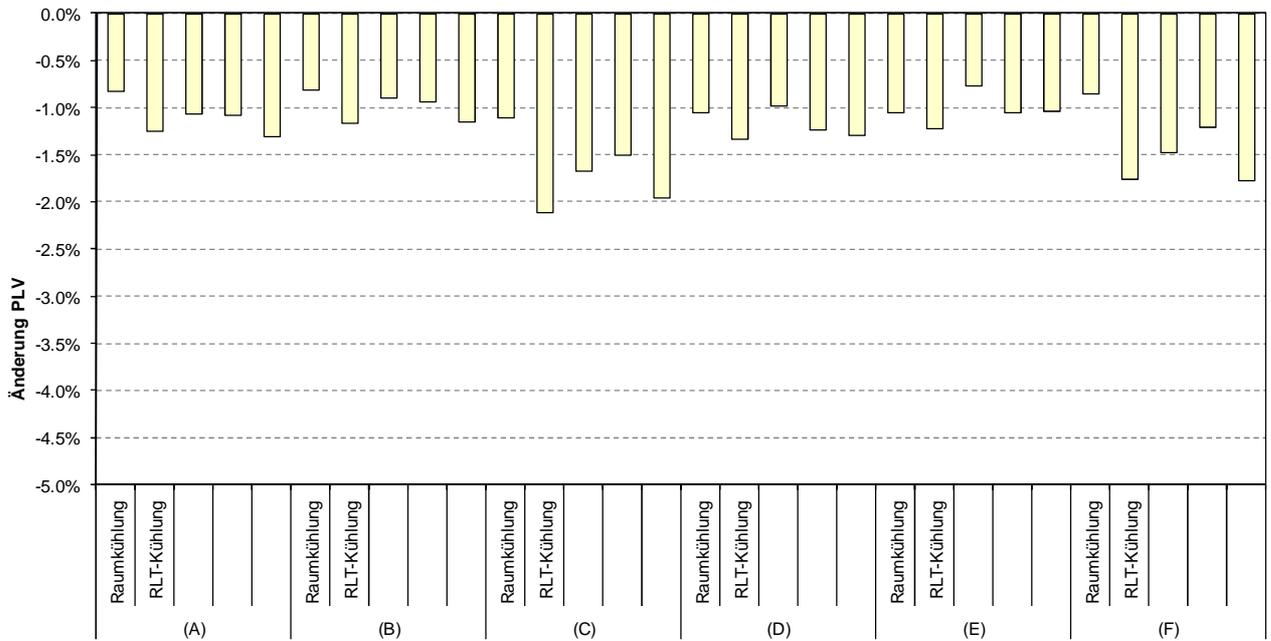


Referenzort	Neigung	Mittlere monatliche Strahlungsintensität $I_s$ [W/m <sup>2</sup> ] horizontal												Jahreswert [W/m <sup>2</sup> ] Jan bis Dez
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Bremerhaven	0°	19	48	83	173	187	196	203	176	115	71	31	16	964
Rostock	0°	19	40	110	179	189	246	221	191	116	77	30	12	1 048
Hamburg	0°	19	39	86	164	208	202	185	174	97	71	27	15	943
<b>Potsdam</b>	<b>0°</b>	<b>29</b>	<b>44</b>	<b>97</b>	<b>189</b>	<b>221</b>	<b>241</b>	<b>210</b>	<b>180</b>	<b>127</b>	<b>77</b>	<b>31</b>	<b>17</b>	<b>1 072</b>
Essen	0°	26	60	79	143	187	207	204	171	114	71	31	20	960
Marienberg	0°	27	64	88	147	172	215	202	177	121	65	31	20	973
Kassel	0°	30	56	120	141	176	226	200	184	118	64	36	19	1 004
Braunlage	0°	26	59	106	146	208	210	195	165	120	80	26	18	994
Chemnitz	0°	36	62	72	141	196	213	239	198	128	88	38	28	1 055
Hof	0°	24	53	115	154	197	227	222	197	110	59	37	24	1 039
Fichtelberg	0°	32	64	107	147	201	183	197	185	105	70	31	22	983
Mannheim	0°	33	59	131	139	193	246	222	191	119	89	37	27	1 089
Passau	0°	43	53	107	141	216	219	218	185	134	85	40	25	1 074
Stötten	0°	37	57	106	144	185	234	227	194	112	87	40	30	1 064
Garmisch	0°	45	68	105	147	200	217	216	202	127	88	62	42	1 112

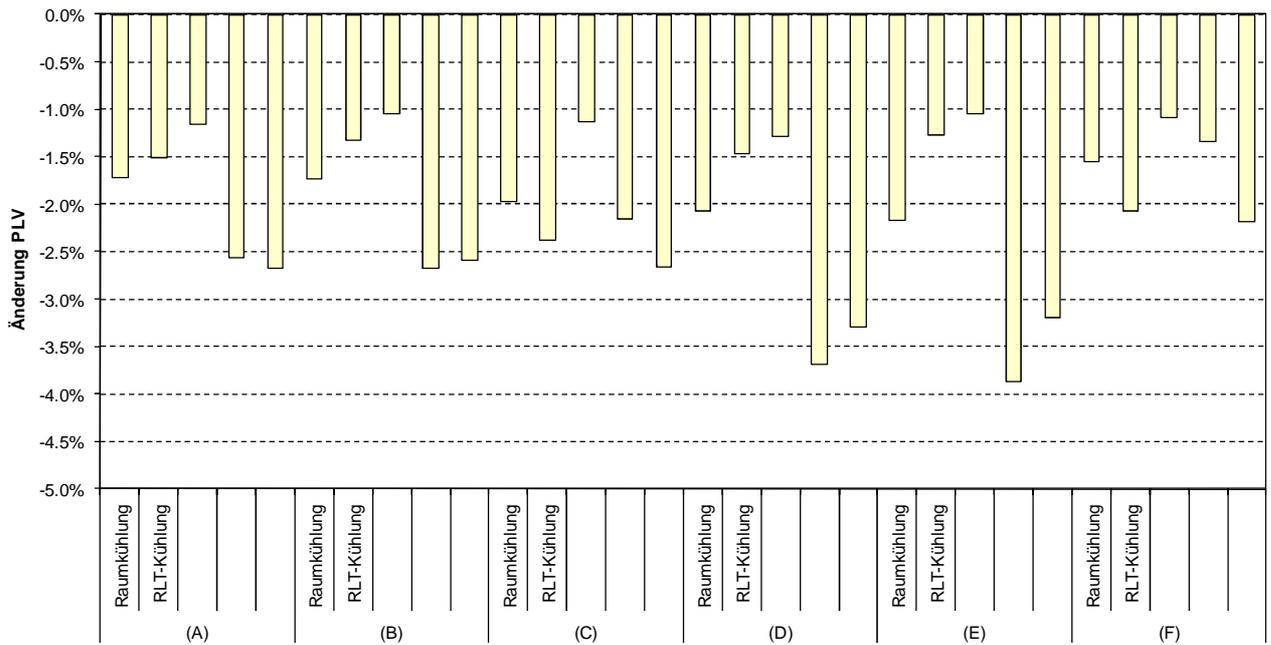


**Anhang 7: Simulationsergebnisse „Stadteffekt“ (TRY12S) und Höheneffekt (TRY08H)**

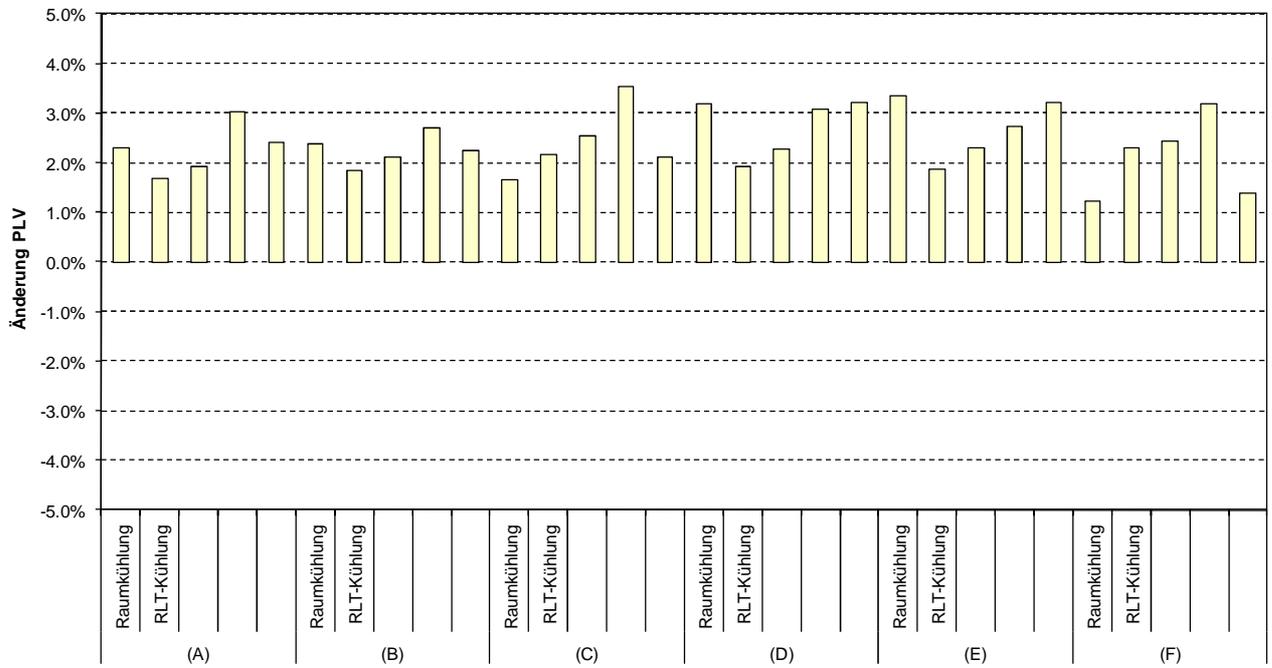
**Änderung PLV-Wert (TRY12 → TRY 12S)  
luftgekühlte Kältemaschinen, Büro**



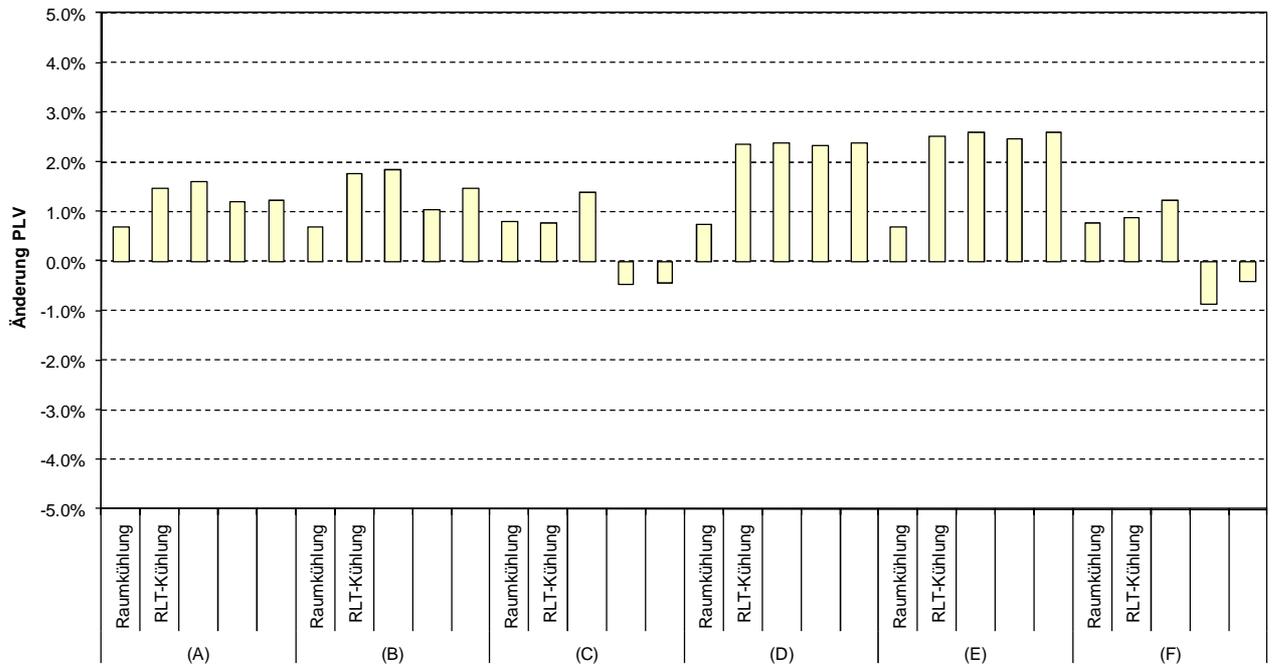
**Änderung PLV-Wert (TRY12 → TRY 12S)  
luftgekühlte Kältemaschinen, Serverraum**



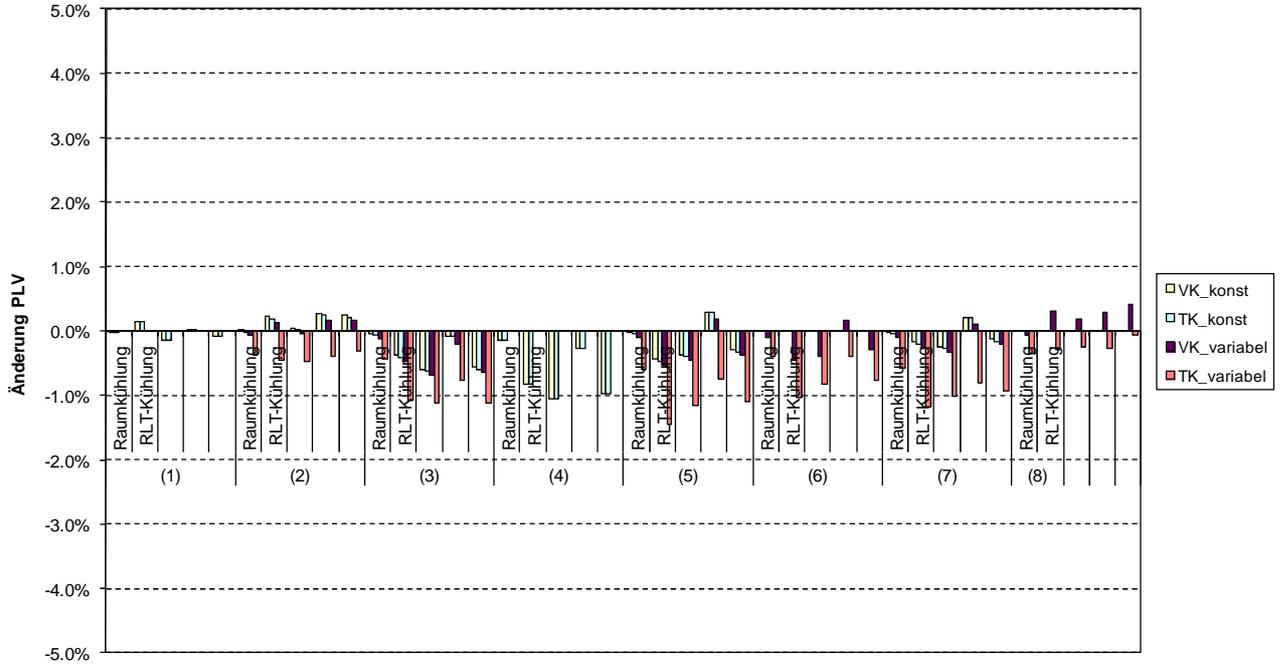
**Änderung PLV-Wert (TRY08 -> TRY 08H)  
luftgekühlte Kältemaschinen, Büro**



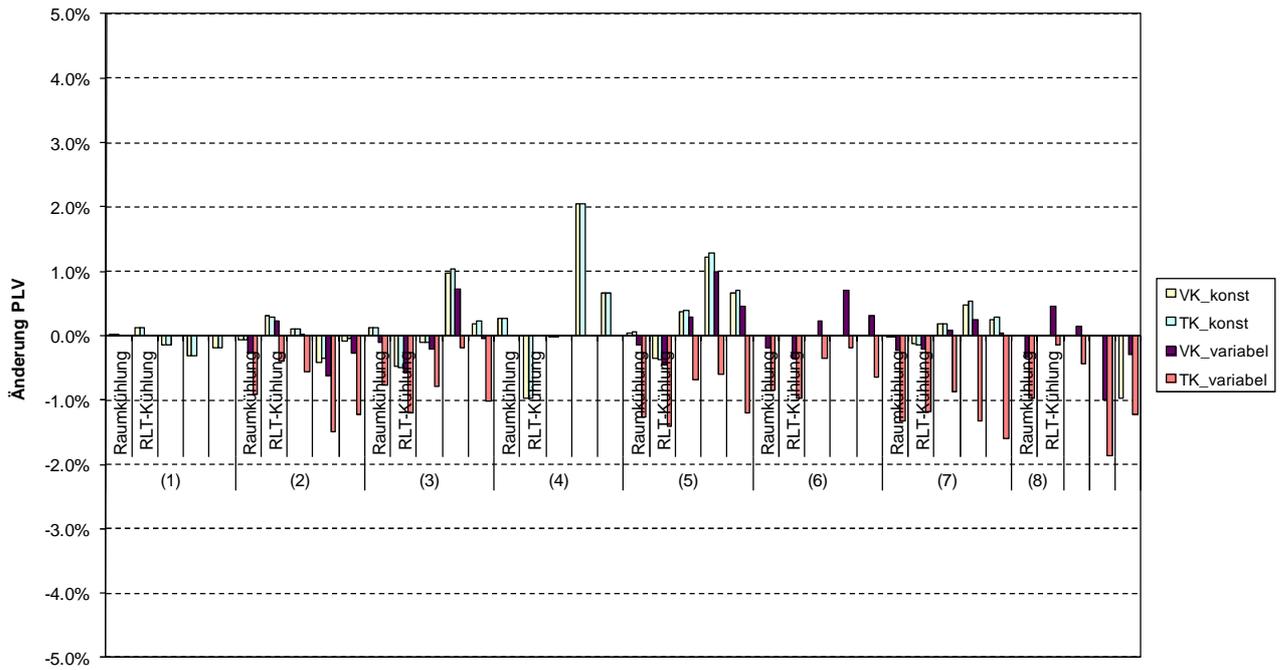
**Änderung PLV-Wert (TRY08 -> TRY 08H)  
luftgekühlte Kältemaschinen, Serverraum**



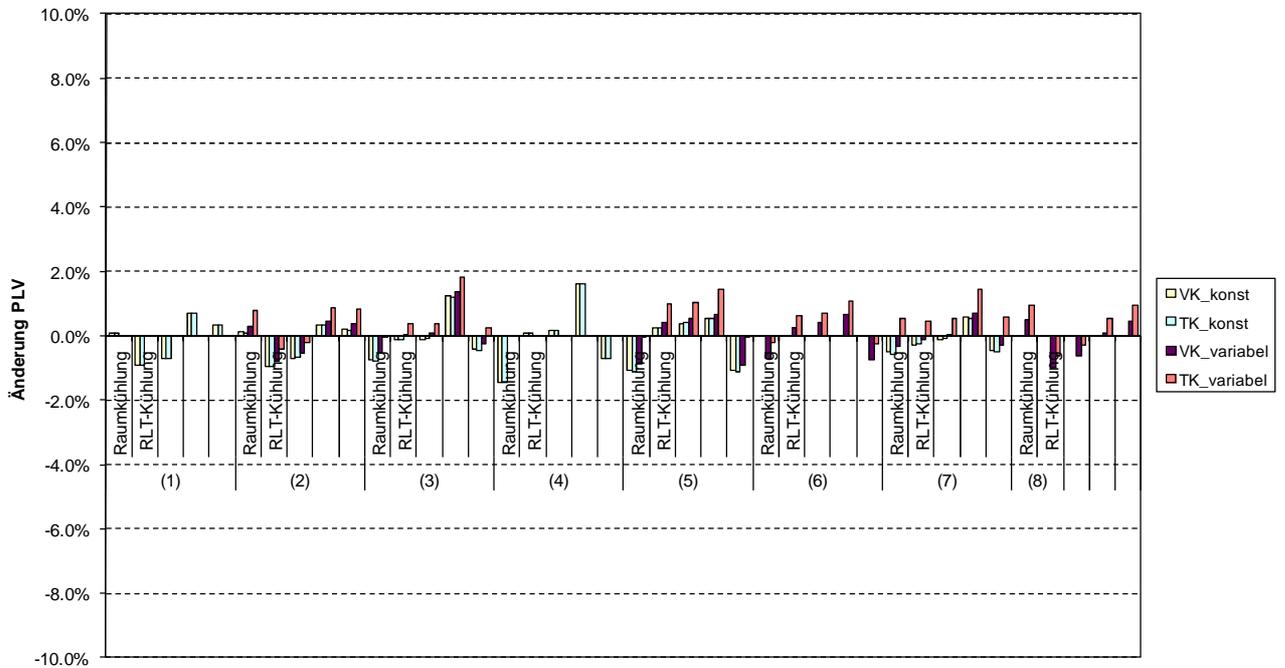
**Änderung PLV-Wert (TRY12 -> TRY 12S)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Büro**



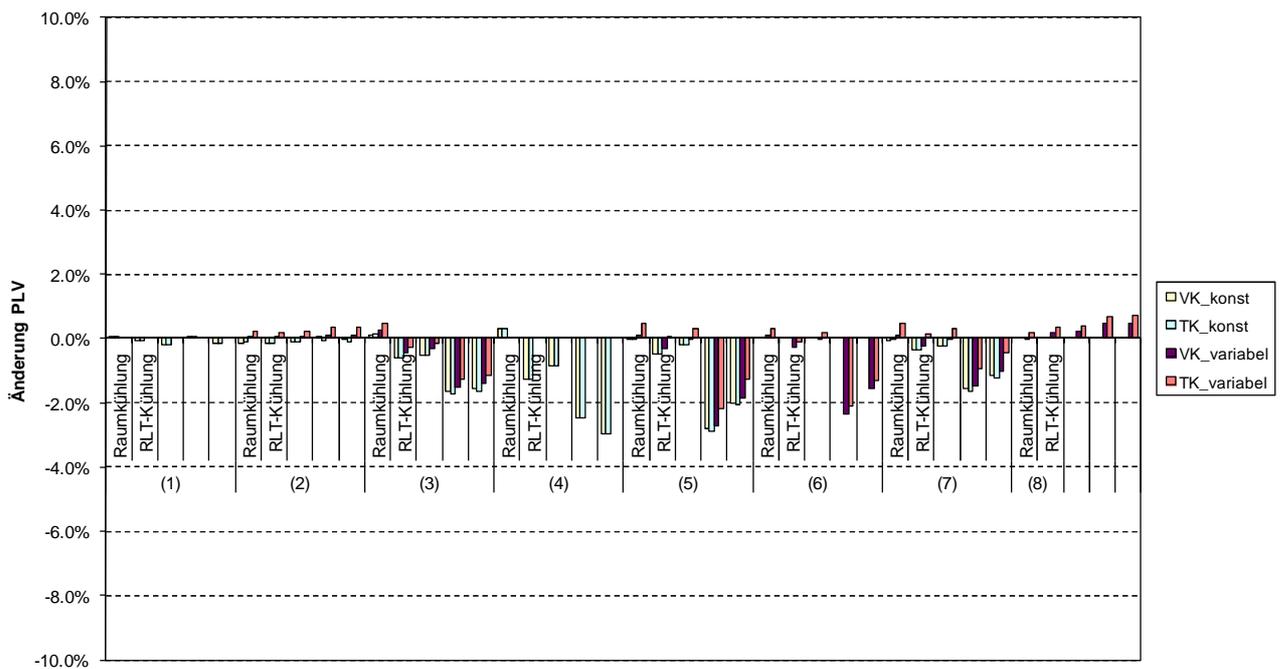
**Änderung PLV-Wert (TRY12 -> TRY 12S)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Serverraum**



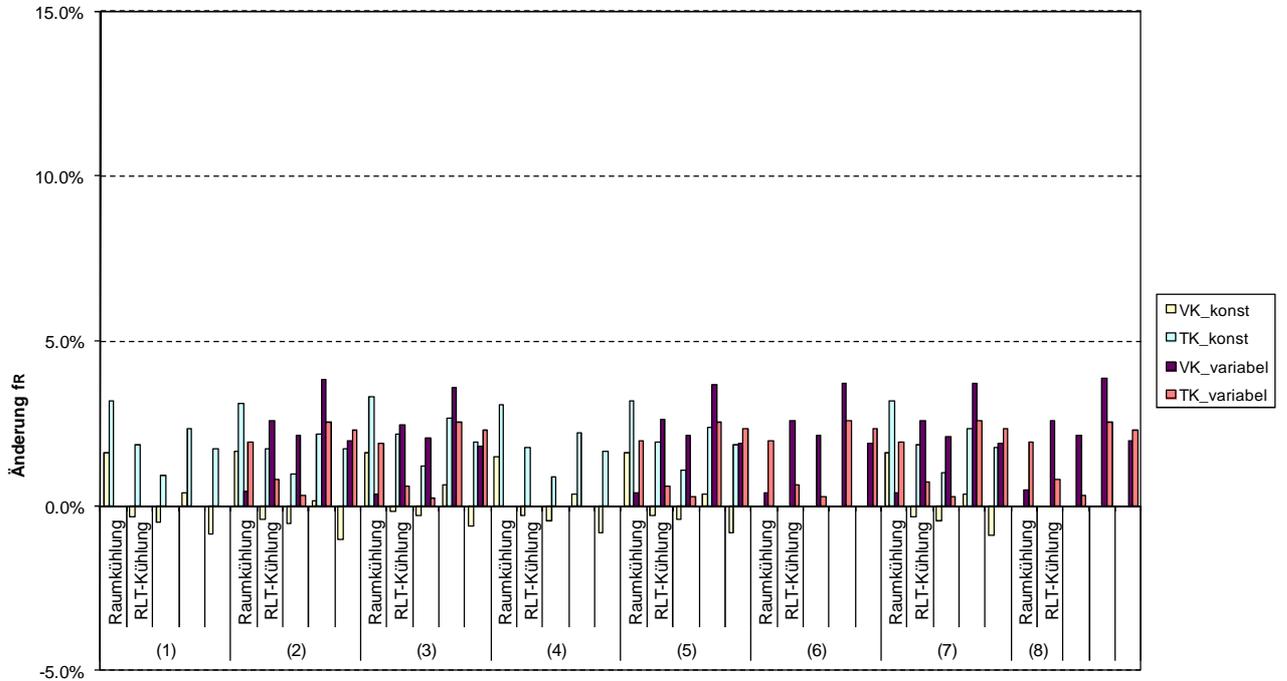
**Änderung PLV-Wert (TRY08 → TRY 08H)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Büro**



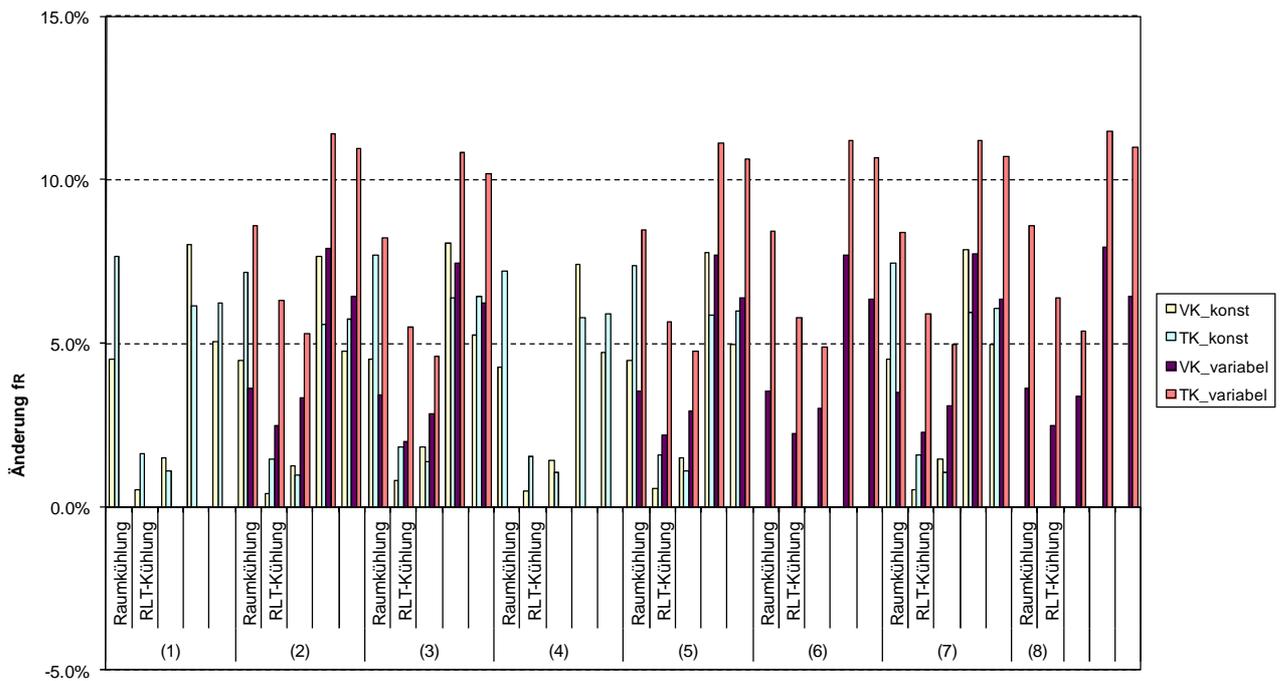
**Änderung PLV-Wert (TRY08 → TRY 08H)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Serverraum**



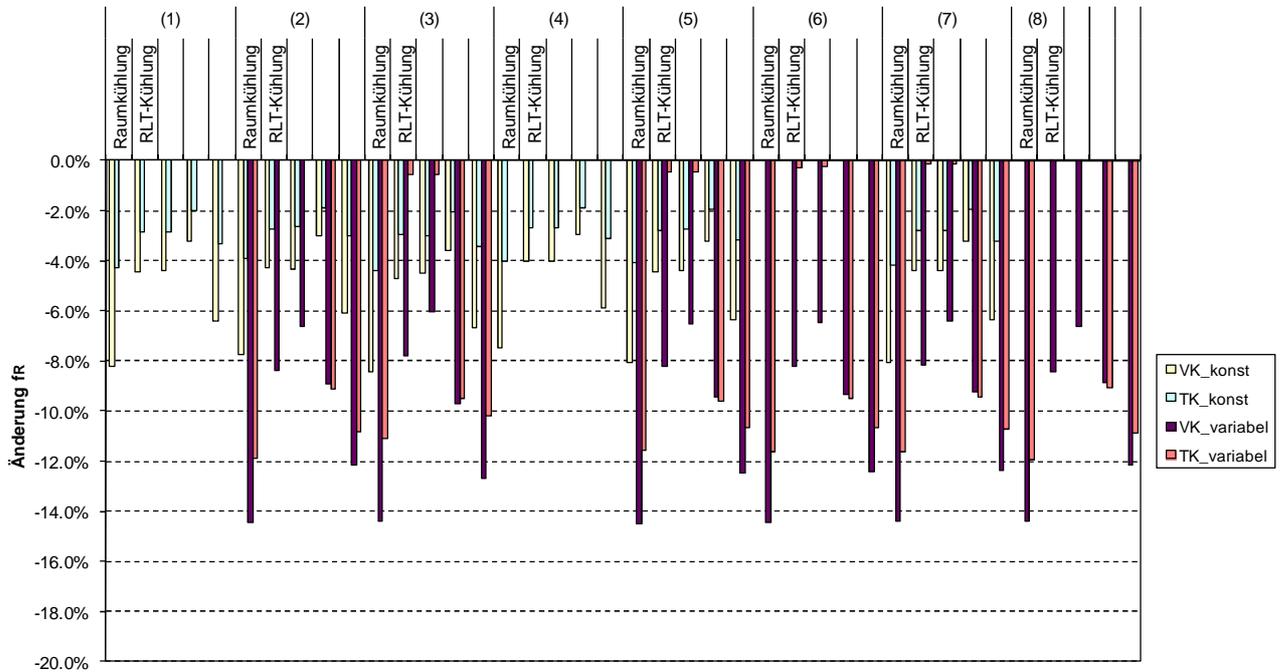
**Änderung Nutzungsgrad Rückkühler fR (TRY12 → TRY 12S)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Büro**



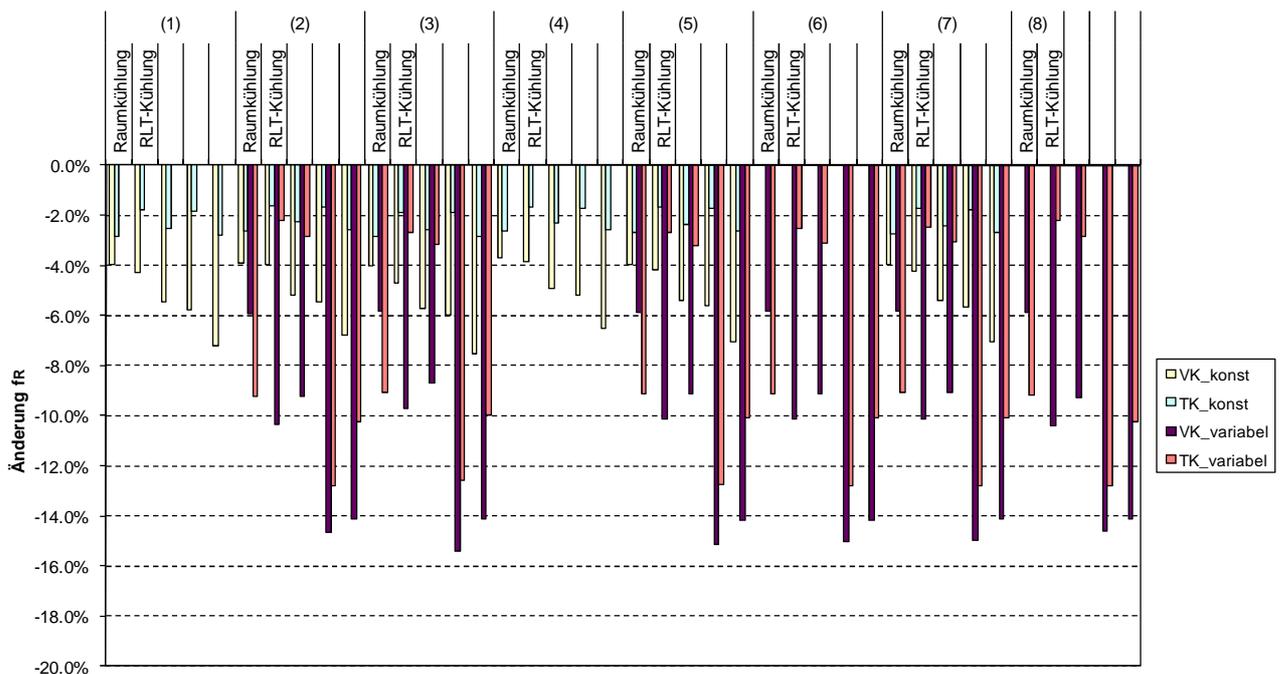
**Änderung Nutzungsgrad Rückkühler fR (TRY12 → TRY 12S)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Serverraum**



**Änderung Nutzungsgrad Rückkühler fR (TRY08 → TRY 08H)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Büro**



**Änderung Nutzungsgrad Rückkühler fR (TRY08 → TRY 08H)  
wassergekühlte Kältemaschinen, Serverraum**



### Anhang 8: Schichtaufbauten und Bauteildaten zur Raumtypklassifizierung

Bezeichnung	Typ	$\rho_{\text{Schicht1}}$	$d_{\text{Schicht1}}$	$\rho_{\text{Schicht2}}$	$d_{\text{Schicht2}}$	$\rho_{\text{Schicht3}}$	$d_{\text{Schicht3}}$	$\rho_{\text{Schicht4}}$	$d_{\text{Schicht4}}$	$\sum \rho_i \times d_i$	$\rho_{\text{mittel}}$
Ziegel 12,5	IW1	1700	0,01	1800	0,125	1700	0,01			225	1552
Ziegel 25	IW2	1700	0,01	1800	0,25	1700	0,01			450	1667
GK 10	IW3	900	0,025	100	0,05	900	0,025			45	450
Ziegel 37,5	AW1	1700	0,01	1800	0,375	1700	0,01			675	1709
Beton 15	AW2	1700	0,01	2300	0,15	1700	0,01			345	2029
KS 17,5	AW3	1700	0,01	1800	0,175	1700	0,01			315	1615
Porenbeton 24	AW4	1300	0,01	500	0,24	1300	0,01			120	462
Sandstein 30	AW5	1700	0,01	2600	0,30	1700	0,01			780	2438
Holzbalken 25	FB/DE1	700	0,02	500	0,05	1,2	0,2	400	0,03	51	170
Beton 12,5	FB/DE2	2000	0,05	2300	0,125	1700	0,01			387,5	2095
Hohldiele 20	FB/DE3	2000	0,05	1500	0,2	1700	0,01			400	1538

Hinweis: Wärmedämmschichten werden nach VDI2078 nur in der Bauteildicke, jedoch nicht in der Bauteilmasse berücksichtigt, da  $\rho_{\text{Schicht}} < 200 \text{ kg/m}^3$ .

Bezeichnung	alle leicht	nur DE massiv	nur FB massiv	2 IW massiv	3 IW massiv	FB/DE massiv	FB/DE + 1IW massiv	FB/DE + 2IW massiv	alle massiv 1	alle massiv 2	Sandstein
Decke	FB/DE1	FB/DE3	FB/DE1	FB/DE1	FB/DE1	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3
Wand 1	IW3	IW3	IW3	IW1	IW1	IW3	IW1	IW1	IW1	IW2	AW5
Wand 2	IW3	IW3	IW3	IW1	IW1	IW3	IW3	IW1	IW1	IW2	AW5
Wand 3	AW4	AW4	AW4	AW4	AW4	AW4	AW4	AW4	AW3	AW1	AW1
Wand 4	IW3	IW3	IW3	IW3	IW1	IW3	IW3	IW3	IW2	IW2	AW5
Boden	FB/DE1	FB/DE1	FB/DE2	FB/DE1	FB/DE1	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3	FB/DE3
<b>Raumtyp</b>	<b>XL</b>	<b>L-M</b>	<b>L-M</b>	<b>L-M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>M-S</b>	<b>S</b>	<b>S-XS</b>	<b>XS</b>

rot: Veränderung zur vorherigen Grundvariante (Raumtyp XL)

**Anhang 9: Gesamtenergiedurchlassgrad  $g_{tot}$  nach VDI 2078 Anhang B3**

Bauart der Fassade	Lage des Sonnenschutzes	Art des Sonnenschutzes	Durchlüftung Sonnenschutz / Fassade	Gesamtenergiedurchlassgrad $g_{tot}$					
				Einfachverglasung	2-fach Isolierverglasung	2-fach Wärmeschutzverglasung	2-fach Sonnenschutzverglasung	2-fach Sonnenschutzverglasung verspiegelt	3-fach Wärmeschutzverglasung
einschalig	ohne	-	-	0,90	0,78	0,64	0,40	0,31	0,48
einschalig	außen	Store sauber	-	0,21	0,18	0,13	0,09	0,08	0,09
einschalig	außen	Store schmutzig	-	0,19	0,14	0,09	0,07	0,06	0,06
einschalig	außen	Screen hell	ja	0,23	0,20	0,16	0,10	0,09	0,11
einschalig	außen	Screen hell	nein	0,25	0,22	0,17	0,12	0,11	0,12
einschalig	außen	Screen dunkel	ja	0,17	0,13	0,09	0,07	0,06	0,06
einschalig	außen	Screen dunkel	nein	0,21	0,16	0,11	0,09	0,08	0,07
einschalig	zwischen Scheiben	Store sauber	-	-	0,34	0,22	0,23	0,20	0,23
einschalig	zwischen Scheiben	Screen hell	-	-	0,34	0,24	0,23	0,19	0,24
einschalig	zwischen Scheiben	Screen dunkel	-	-	0,37	0,23	0,27	0,21	0,26
einschalig	innen	Store sauber	-	0,53	0,53	0,51	0,30	0,25	0,40
einschalig	innen	Store schmutzig	-	0,66	0,66	0,59	0,36	0,29	0,45
einschalig	innen	Screen hell	ja	0,50	0,50	0,48	0,28	0,24	0,38
einschalig	innen	Screen hell	nein	0,46	0,47	0,45	0,27	0,23	0,37
einschalig	innen	Screen dunkel	ja	0,61	0,61	0,55	0,33	0,27	0,43
einschalig	innen	Screen dunkel	nein	0,55	0,56	0,52	0,32	0,25	0,41
zweischalig	Luftzwischenraum	Store sauber	ja	-	-	0,12	0,08	-	0,08
zweischalig	Luftzwischenraum	Store schmutzig	ja	-	-	0,09	0,06	-	0,06
zweischalig	Luftzwischenraum	Screen hell	ja	-	-	0,14	0,09	-	0,10
zweischalig	Luftzwischenraum	Screen dunkel	ja	-	-	0,08	0,06	-	0,06
zweischalig	Luftzwischenraum	Store sauber	nein	-	-	0,20	0,17	-	0,13
zweischalig	Luftzwischenraum	Store schmutzig	nein	-	-	0,20	0,18	-	0,13
zweischalig	Luftzwischenraum	Screen hell	nein	-	-	0,22	0,18	-	0,15
zweischalig	Luftzwischenraum	Screen dunkel	nein	-	-	0,20	0,18	-	0,13

### Anhang 10: Ergebnisse der Validierungsberechnung für das gekürzte Abschätzverfahren nach VDI 2078

Klimazone 2, $\Delta\vartheta=3K$		Raumtyp XL		Raumtyp L		Raumtyp M		Raumtyp S		Raumtyp XS	
		nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.
Transmissionswärmequellen- und senken [W]	$Q_T =$	25	27	25	28	25	28	25	28	41	28
Solare Wärmeeinträge über opake Bauteile [W]	$Q_{S,op} =$	42	42	44	44	44	44	41	43	83	46
Lüftungswärmequellen und -senken [W]	$Q_V =$	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
Solare Wärmeeinträge über transparente Bauteile [W]	$Q_{S,tr} =$	319	372	319	372	319	372	319	372	319	372
Interne Wärmequellen und -senken [W]	$Q_i =$	346	339	346	339	346	339	346	339	346	339
Zeitkonstante [h]	$\tau =$	24.1	22.9	70.8	67.9	140.9	135.0	289.8	272.9	396.7	577.2
Summe der Belastungen [W]	$\Sigma(Q_{source} - Q_{sink}) =$	735	784	737	786	738	786	735	785	793	788
<b>maximale Kühllast [W]</b>	<b><math>Q_{C,max} =</math></b>	<b>-817</b>	<b>-873</b>	<b>-752</b>	<b>-806</b>	<b>-682</b>	<b>-733</b>	<b>-592</b>	<b>-642</b>	<b>-534</b>	<b>-524</b>
rel. Abweichung [%]	$Q_{C,Vereinf} / Q_{C,VDI} =$	6.9%		7.1%		7.5%		8.4%		-1.9%	
Klimazone 4, $\Delta\vartheta=3K$		Raumtyp XL		Raumtyp L		Raumtyp M		Raumtyp S		Raumtyp XS	
		nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.
Transmissionswärmequellen- und senken [W]	$Q_T =$	111	123	114	125	114	125	111	124	186	127
Solare Wärmeeinträge über opake Bauteile [W]	$Q_{S,op} =$	42	42	44	44	44	44	41	43	83	46
Lüftungswärmequellen und -senken [W]	$Q_V =$	18	13	18	13	18	13	18	13	18	13
Solare Wärmeeinträge über transparente Bauteile [W]	$Q_{S,tr} =$	319	372	319	372	319	372	319	372	319	372
Interne Wärmequellen und -senken [W]	$Q_i =$	386	380	386	380	386	380	386	380	386	380
Zeitkonstante [h]	$\tau =$	24.1	22.9	70.8	67.9	140.9	135.0	289.8	272.9	396.5	577.2
Summe der Belastungen [W]	$\Sigma(Q_{source} - Q_{sink}) =$	876	930	880	933	881	934	875	932	991	938
<b>maximale Kühllast [W]</b>	<b><math>Q_{C,max} =</math></b>	<b>-976</b>	<b>-1040</b>	<b>-908</b>	<b>-968</b>	<b>-836</b>	<b>-892</b>	<b>-747</b>	<b>-804</b>	<b>-770</b>	<b>-714</b>
rel. Abweichung [%]	$Q_{C,Vereinf} / Q_{C,VDI} =$	6.5%		6.5%		6.8%		7.6%		-7.3%	
Klimazone 2, $\Delta\vartheta=5K$		Raumtyp XL		Raumtyp L		Raumtyp M		Raumtyp S		Raumtyp XS	
		nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.	nach VDI	m. Vereinf.
Transmissionswärmequellen- und senken [W]	$Q_T =$	9	10	9	10	10	10	9	10	15	11
Solare Wärmeeinträge über opake Bauteile [W]	$Q_{S,op} =$	42	42	44	44	44	44	41	43	83	46
Lüftungswärmequellen und -senken [W]	$Q_V =$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Solare Wärmeeinträge über transparente Bauteile [W]	$Q_{S,tr} =$	319	372	319	372	319	372	319	372	319	372
Interne Wärmequellen und -senken [W]	$Q_i =$	346	339	346	339	346	339	346	339	346	339
Zeitkonstante [h]	$\tau =$	24.1	22.9	70.8	67.9	140.9	135.0	289.8	272.9	396.7	577.2
Summe der Belastungen [W]	$\Sigma(Q_{source} - Q_{sink}) =$	717	765	719	767	719	767	717	766	764	769
<b>maximale Kühllast [W]</b>	<b><math>Q_{C,max} =</math></b>	<b>-782</b>	<b>-838</b>	<b>-690</b>	<b>-743</b>	<b>-578</b>	<b>-628</b>	<b>-403</b>	<b>-451</b>	<b>-133</b>	<b>-131</b>
rel. Abweichung [%]	$Q_{C,Vereinf} / Q_{C,VDI} =$	7.1%		7.6%		8.7%		12.1%		-1.4%	

## Anhang 11: Parameter im gekürzten Kühllast-Abschätzverfahren nach VDI 2078

Parameter	Standardwerte									
<b>Auslegungsbedingungen</b>										
Klimazone	1	2	3	4						
Monat	Juli	Sept								
Großstadt	ja	nein								
Raumtyp	XL	L	M	S	XS					
Raumsolltemperatur	Eingabe									
zugelassene Schwankung der Innentemperatur	3	4	5	6						
tägliche Betriebsdauer der Raumkühlung	Eingabe									
<b>Gebäudedaten</b>										
Gebäudedichtheit	dicht	undicht	offensichtliche Undichtheiten							
Gebäudedämmstandard	normal	gering	hoch							
Bauart Innenwände	massiv	leicht								
<b>Bauteile (Angaben je Bauteil)</b>										
Fläche	Eingabe									
Typ	AW	NR	ER	DA	AF					
Orientierung	Horizontal	Süd	Süd-Ost	Süd-West	Ost	West	Nord-West	Nord-Ost	Nord	
Temperatur Nebenraum	außen	20	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Fenster (Angaben je Fenster)</b>										
Fläche	Eingabe									
Orientierung	Horizontal	Süd	Süd-Ost	Süd-West	Ost	West	Nord-West	Nord-Ost	Nord	
Art der Verglasung	Einfachverglasung	2-fach Isolierverglasung	2-fach Wärmeschutzverglasung	2-fach Sonnenschutzverglasung	2-fach Sonnenschutzverglasung verspiegelt					
Sonnenschutz vorhanden	ja	nein								
Lage des Sonnenschutzes	außen	innen	zwischen den Scheiben							
Bauart der Fassade	einschalig	zweischalig								
Durchlüftung der Fassade	ja	nein								
<b>Innere Lasten</b>										
Anzahl Personen	Eingabe									
tägl. Anwesenheitsdauer [h]	Eingabe									
mittlerer Aktivitätsgrad	I	II	III	IV						
Raumzweck / Art der Tätigkeit	Lagerräume (Suchen), Verkehrswege, Treppen, Flure, Wohnräume, Theater	Lagerräume (Lesen), Kantinen, Empfang, Speiseräume, einfache Montage	Einzelbüro (Fenster), Bibliotheken, Unterricht, Sitzung, Besprechung, Verkauf, Schalterhalle	Gruppenbüro, EDV-Räume, spez. Unterricht, Hörsaal (Fenster), Küche, Labor, Kaufhaus, Ausstellung, Messe	Großraumbüro, Zeichenraum, Supermarkt, Hörsaal	Großraumbüro (Sonderfall), Feinmontage				
Art der Beleuchtung	Glühlampen	Hoch- und Niederdruckentladungslampen								
tägliche Nutzungsdauer	Eingabe									
Art der Arbeitshilfen	PC-Arbeitsplatz (PC, Monitor, Drucker)	Notebook, Arbeitsplatz, Kopierer	Bürokopierer (Abteilung)	Bürodrucker (Abteilung)	sonstige					
Anzahl Arbeitshilfen	Eingabe									
tägliche Nutzungsdauer	Eingabe									
Art der sonstige Quellen, Senken	Maschinen	Sonstiges								
tägliche Nutzungsdauer	Eingabe									
Wärmemenge [W]	Eingabe									