



SophienHofAbende
Energieeffizienz
Energie - Gebäude - Mobilität

Hocheffiziente Lüftungs-, Heiz- und Kühltechniken für Gebäude

24. September 2019

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Pfeiffenberger
Ingenieurgesellschaft Pfeiffenberger mbH
Frankfurter Straße 227 | 63263 Neu-Isenburg
06102 7122-33 | pfeiffenberger@igp-ni.de

1. Auswertung der Wetterdaten Sommer 2019 in Frankfurt und Auswirkungen auf die Lüftungs- und Kühltechnik
2. Be- und Entlüftung von Gebäuden – Sicherstellung des Luftbedarfs der Gebäudenutzer
3. Heizen und Kühlen von Gebäuden
4. Gesetzliche Anforderungen an die Gebäude und die Gebäudetechnik
 - EU-Gesetzgebung
 - EnEV / GEG
5. Hocheffiziente Komponenten der Lüftungs-, Heiz- und Kühltechnik
 - Primärenergieeinsatz von Energieträgern
 - Heizwärmeerzeuger / Wärmepumpen
 - Kälteerzeuger / Rückkühlwerke / Freie Kühlung / Verdunstungskühlung
6. Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
7. Schlussbemerkungen

Zum Begriff Effizienz

Kennzahlen
für die Effizienz
bei der
Energieumwandlung:

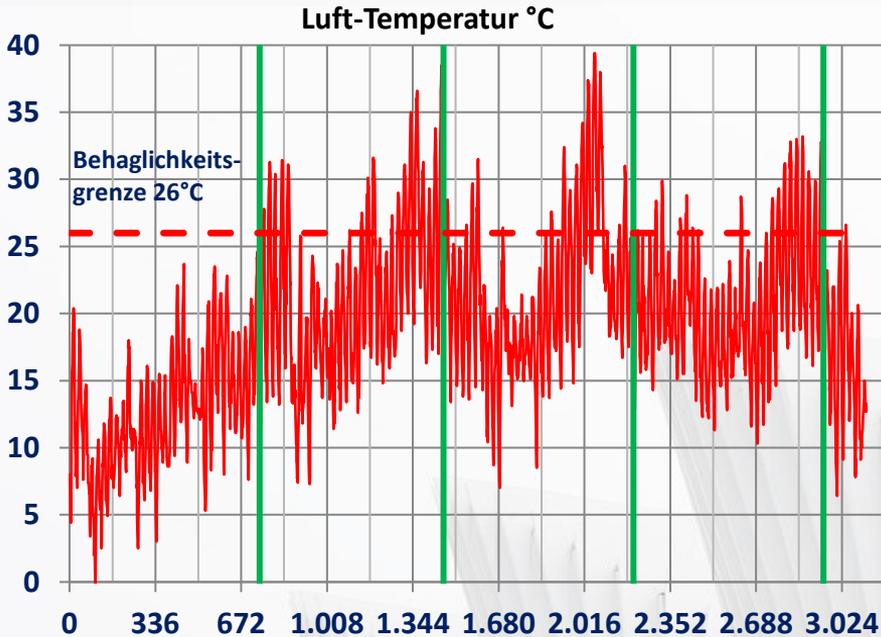
$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (\text{Aufwand} - \text{Nutzen} = \text{Verlust})$$

$$\text{COP} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (\text{Coefficient Of Performance})$$

Effizienz-Maßnahmen
für Gebäude und
Technische Ausrüstung:

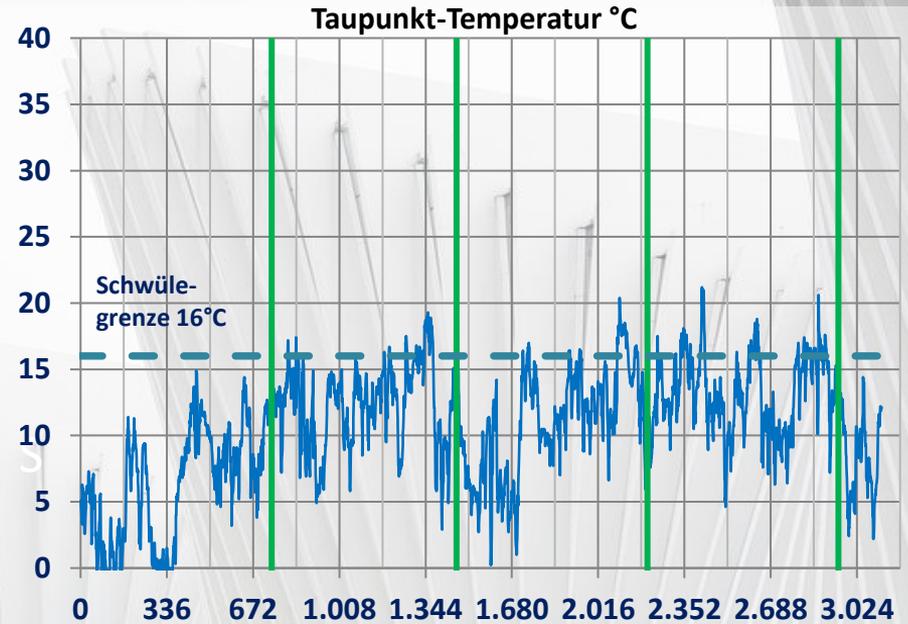
- Reduktion des Bedarfs, z. B. durch Dämmung und Sonnenschutz
- Begrenzung des Luftaustauschs zwischen Gebäude und Umgebung
- Einsatz von Primärenergieträgern mit geringem CO₂-Ausstoß
- Einsatz hocheffizienter Umwandlungssysteme

DWD-Temperaturmesswerte für Frankfurt 1.5. bis 7.9.2019



Stunden ab 1. Mai 2019 (gesamter Zeitraum 3120 Stunden bzw. 130 Tage)

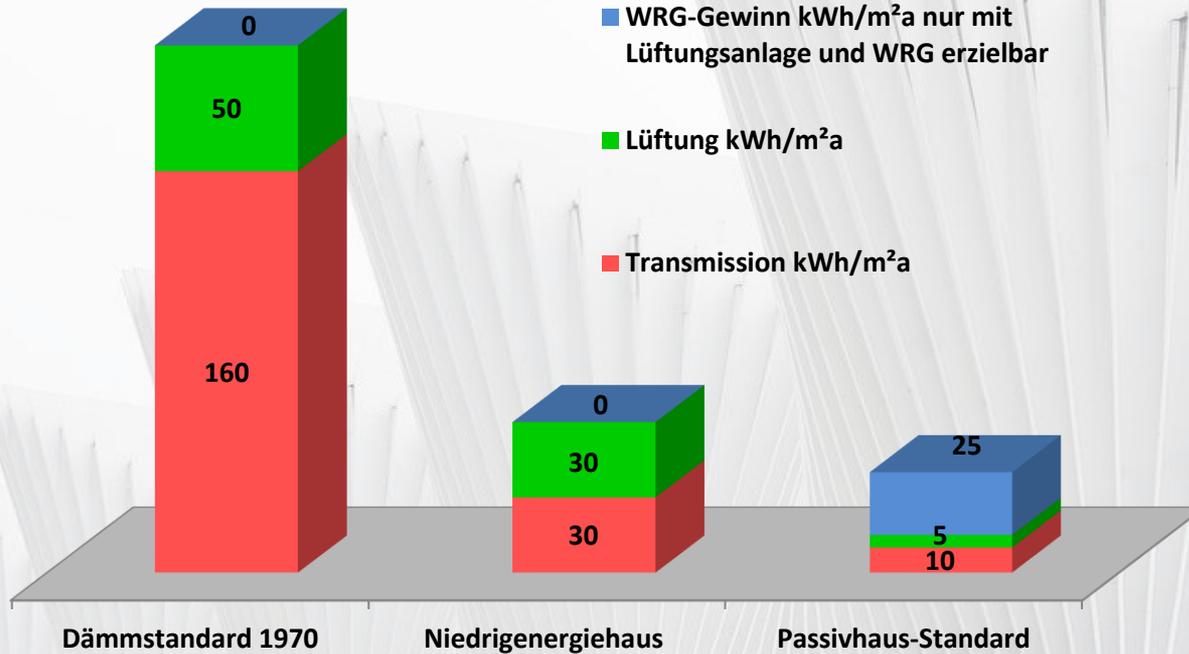
446 Stunden mit Luft-Temperaturen größer 26°C.
Dies sind 14,3% des gesamten Zeitraumes.
Da die hohen Temperaturen tagsüber auftreten, ist die Aussage berechtigt, dass es an 30% der Tage zu heiß war.



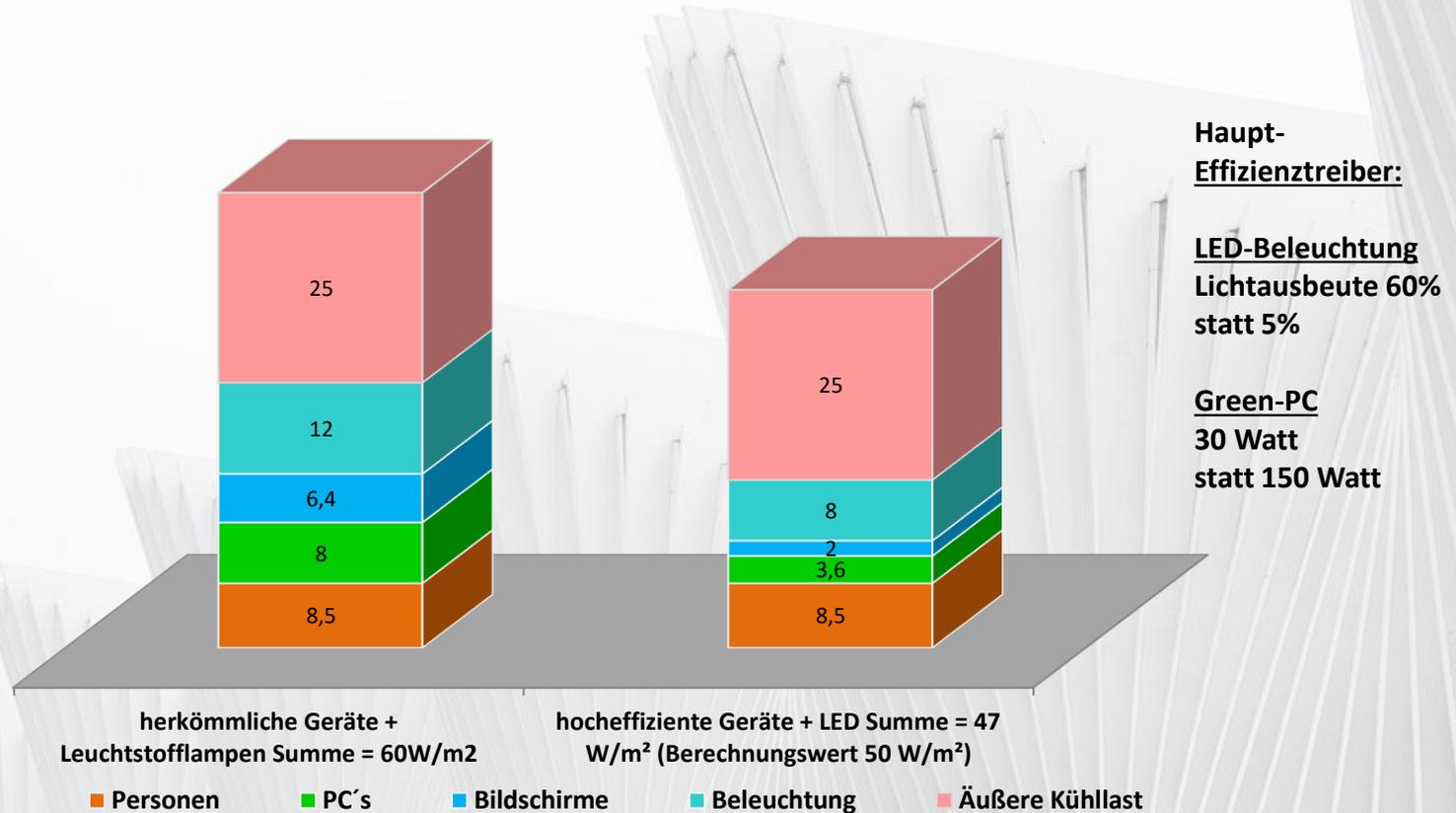
306 Stunden mit Taupunkt-Temperaturen größer 16°C.
Dies sind 9,8% des gesamten Zeitraumes.

Es war somit an 10% der Tage zu schwül.

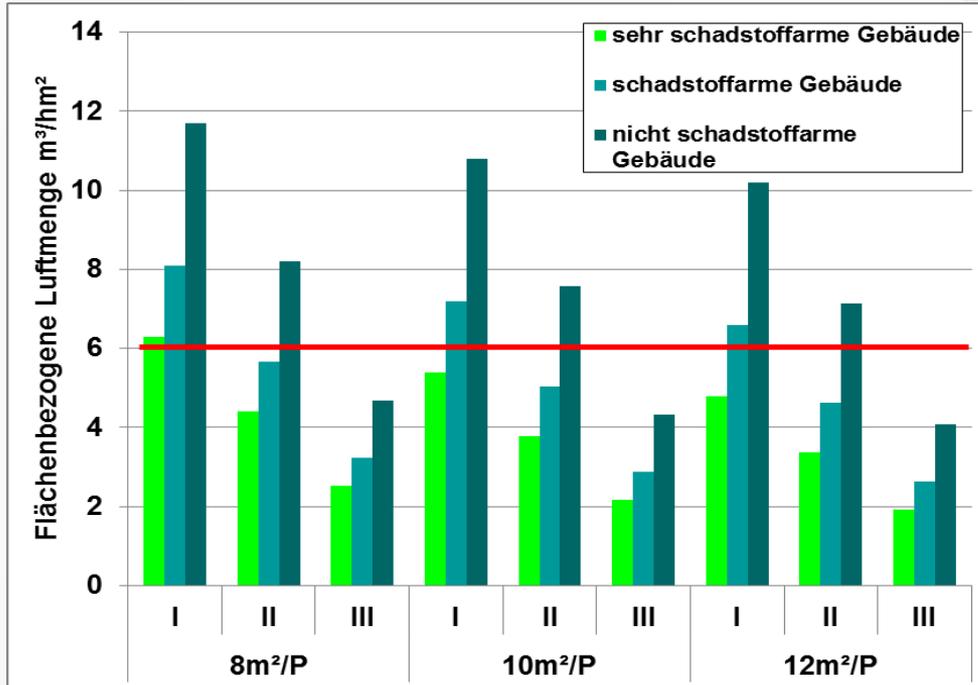
Entwicklung des Transmissions- und Lüftungswärmebedarfs



Entwicklung der Kühllasten in Büroflächen



Berechnung der erforderlichen Luftmengen für 10 m²/Person gem. prEN 16798-1 (2019)

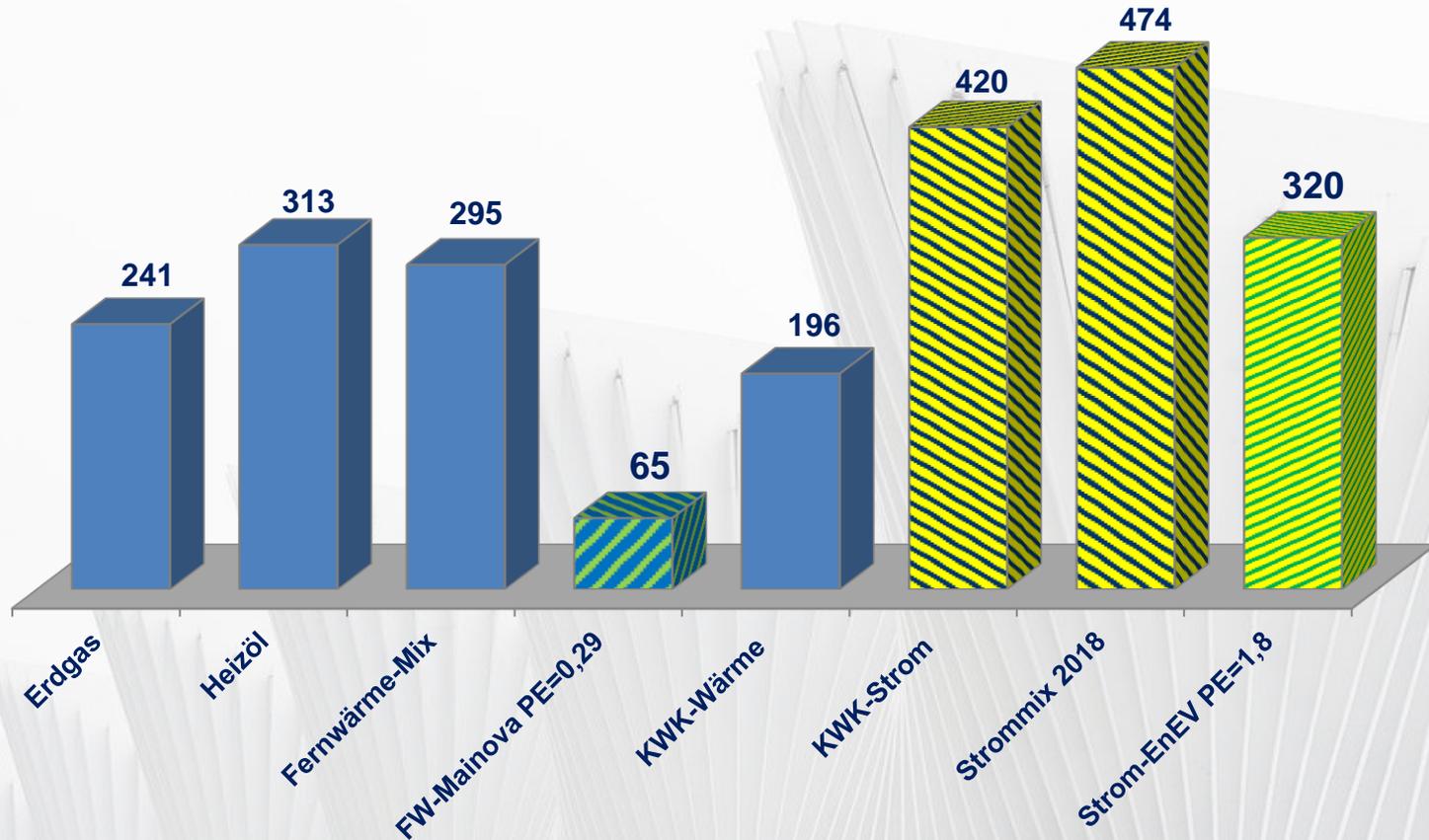


Personenbezogene Luftmenge	Luftmenge für Gebäude-Emissionen	Summe der Luftmengen je 10 m ²	flächenbezogene Luftmenge	Erwartete % Unzufriedener
m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /hm ²	%
36,0	36,0	72,0	7,2	15
25,0	25,2	50,4	5,04	20
14,0	14,4	28,8	2,88	30



Die Werte entstammen Tabelle B2.5 prEN 16798-1. Sie sind identisch mit der bisher gültigen EN 15251.

CO₂-Äquivalent der Energieversorgungssysteme gCO₂/kWh_{End} (Beispiel Frankfurt)



Mögliche Einsparungen durch Ecodesign-Maßnahmen in der EU

Gebäudeflächen	Mio m ²
Wohngebäude (EFH +MFH)	3307
davon mit Kühlung (= 2%)	66
Nichtwohngebäude:	2430
davon mit Kühlung (= 33%)	808

Produktsegment	Endenergie TWh	Primärenergie TWh
Wohnungslüftung		
(Wärme, Strom gegenbilanziert)	222	244
Lufttechnik		
Raumluftechnik – Wärme	150	165
Raumluftechnik –Strom	16	40
Raumluftechnik – Kälte	8	8
Ventilatoren – alle Anwendungen	34	82
Summe Prognose für 2020		539
Bedarf EU 27		~20.000
Einsparpotenzial		2-3%

Anmerkung: PE-Bedarf der Bundesrepublik ca. 3.800 TWh

ErP 1253/2014 – Anforderungen an Unidirektionale Geräte und Lüftungsventilatoren

ErP Energy related Products / Ecodesign Richtlinie EU 1253 / 2014 und 1254 / 2014

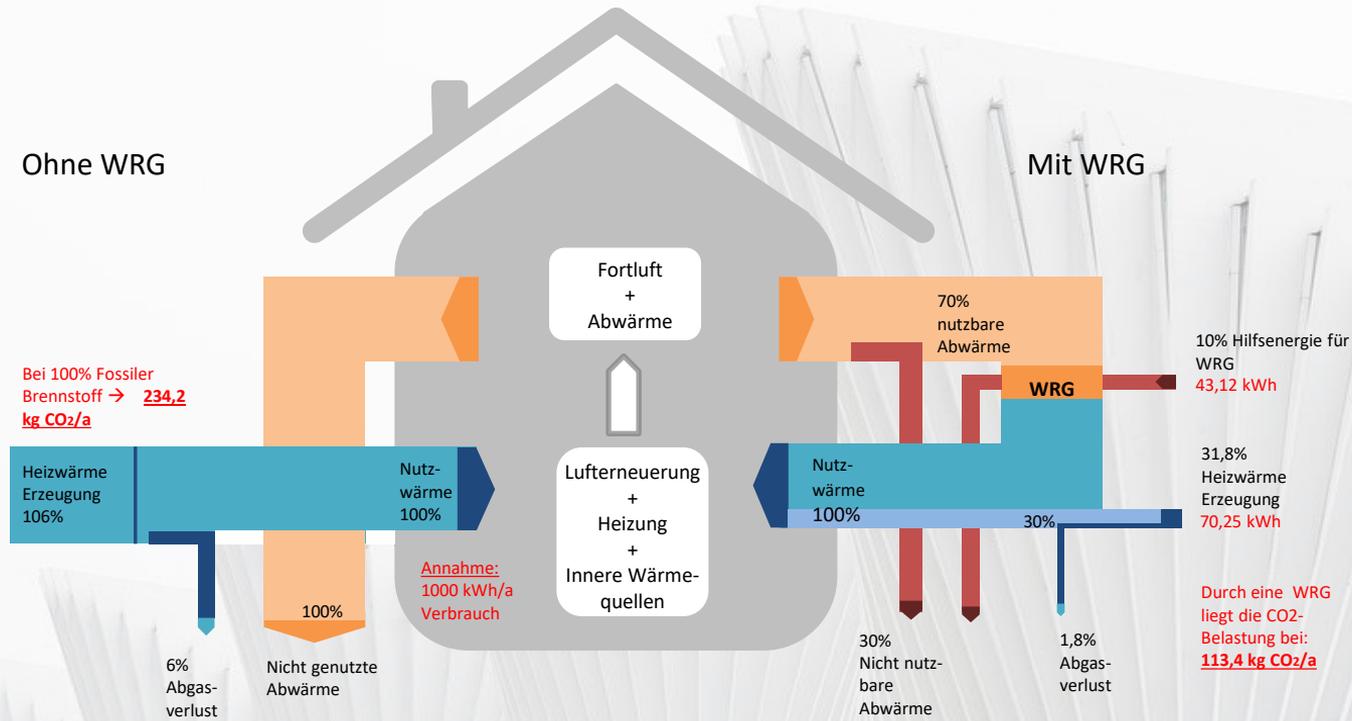


Ventilatoren	Lüftungszentralgeräte
<ul style="list-style-type: none">• Mehrstufige oder stufenlose Drehzahlveränderung• Begrenzung der erforderlichen Ventilator-Antriebsenergie SFP_{int}• Mindest-Effizienz des Ventilators	<ul style="list-style-type: none">• Mehrstufige oder stufenlose Drehzahlveränderung• Begrenzung der erforderlichen Ventilator-Antriebsenergie SFP_{int}• Mindest-Effizienz der Wärmerückgewinnung

Neben dem Einsatz hocheffizienter Komponenten (Motoren, Ventilatoren, Nebenantriebe) ist die Vergrößerung der Gerätequerschnitte erforderlich. Der Platzbedarf für die Lüftungstechnik wird größer.

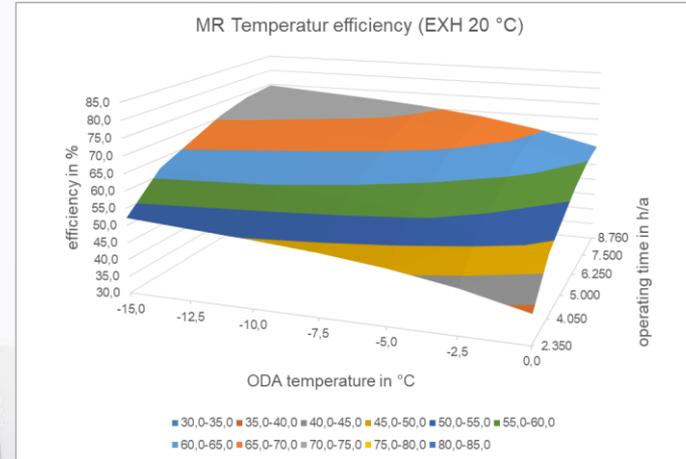
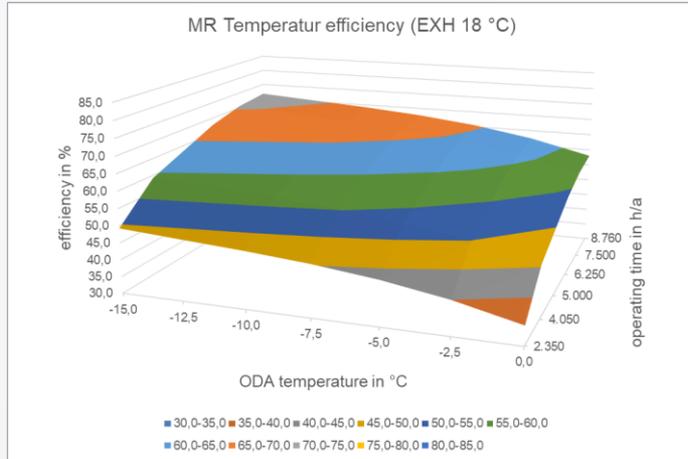


Vorteile der Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen

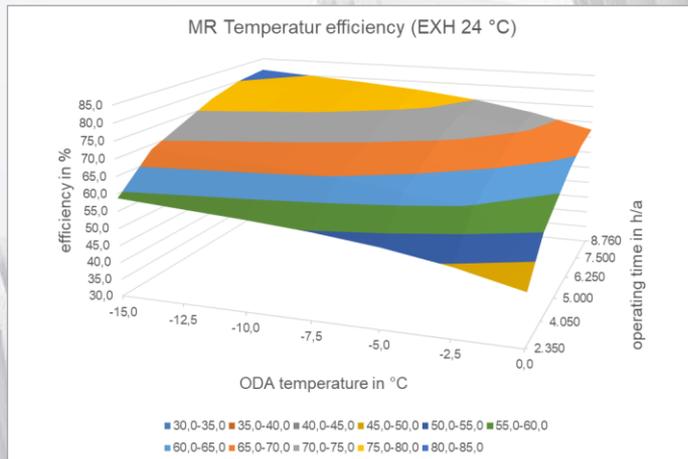


Primär Energieeinsatz	106%	53%	Reduktion durch WRG 50%
CO ₂ – Erzeugung	100%	48%	Reduktion durch WRG 52%

Wärmerückgewinnung

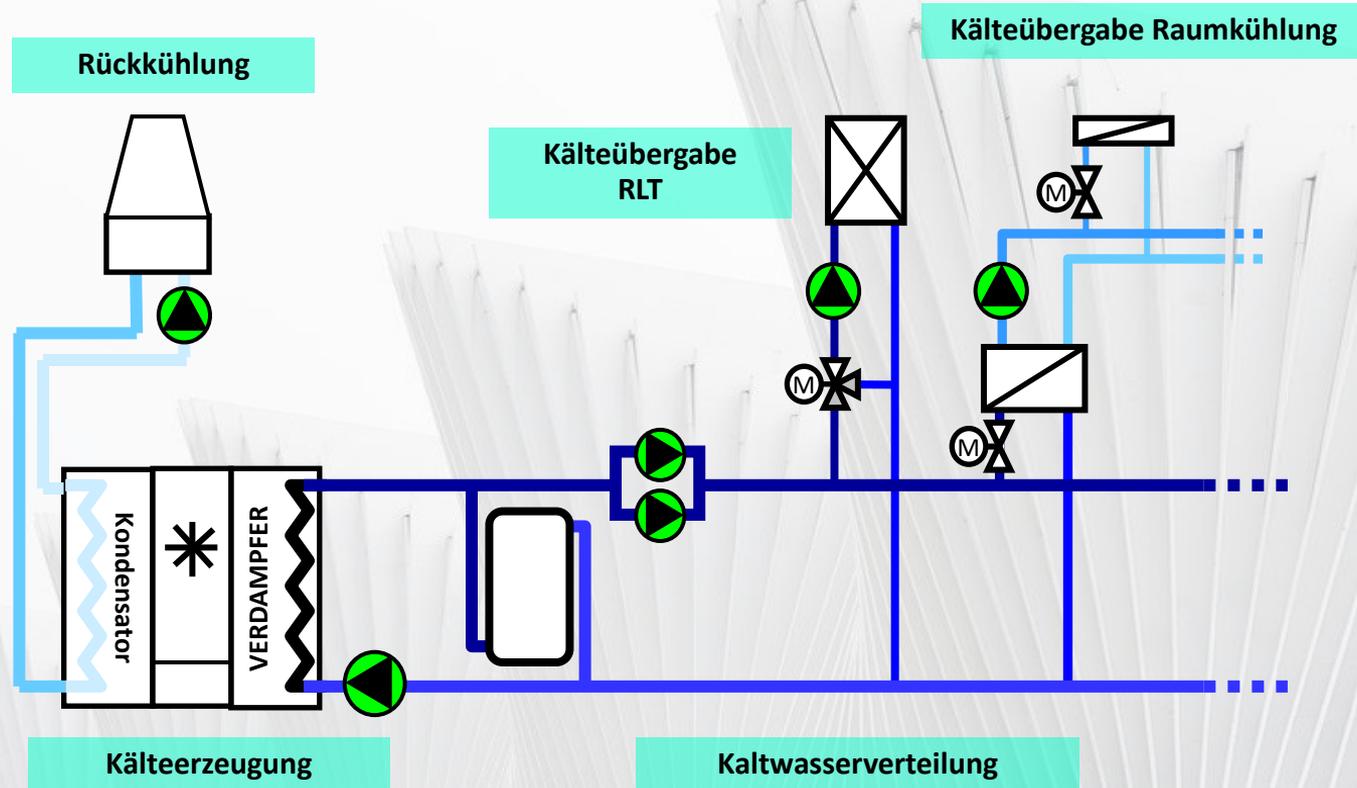


Quelle: Kaup 2019



Temperaturübertragungsgrad
3D optimiert

Typischer Aufbau eines Kaltwasser-Versorgungssystem für Nichtwohnungsgebäude



Quelle: C. Händel

Liste der einsetzbaren Kältemittel und deren Bewertung

Kältemittel		GWP	Brennbarkeit
R32	Difluormethan		
R1234ze	Gemisch		
R170	Ethan		
R290	Propan		
R717	NH3		
R600a	Isobutan		
R1270	Propen		
R718	H2O		
R744	CO2		
R717	Ammoniak		

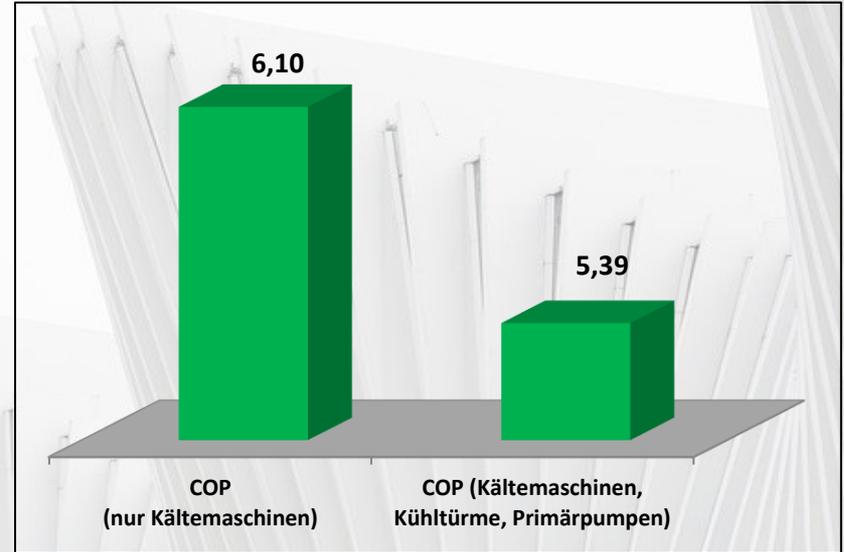
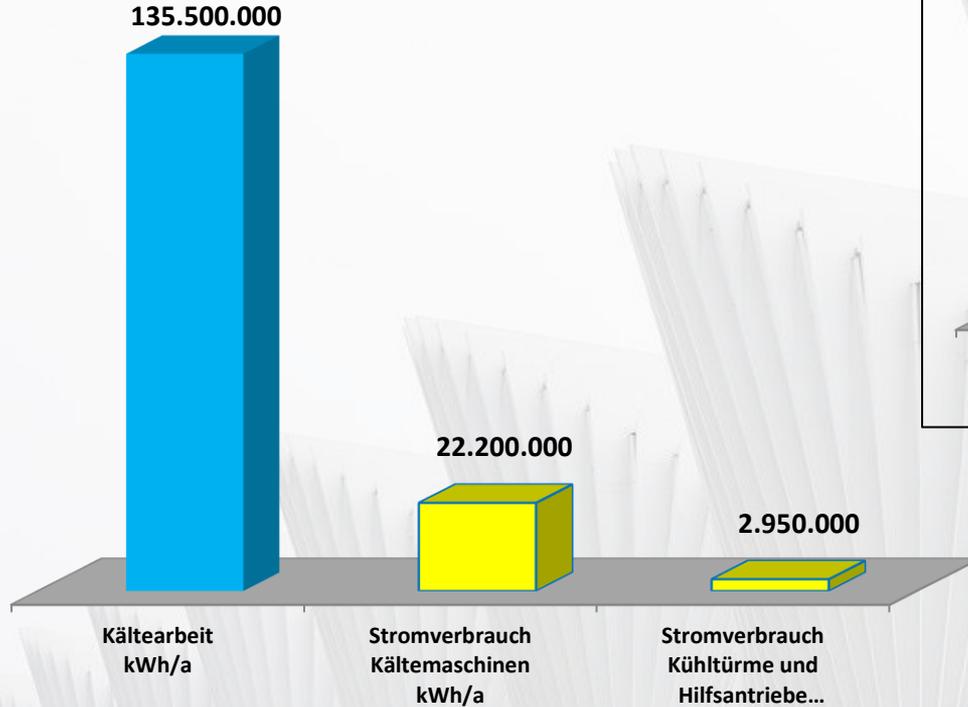
Preiserhöhungen bei Kältemitteln

Im Rahmen des Kyoto- und des Montreal-Protokolls wurde eine Minderung der Emissionen von fluorierten Treibhausgasen (F-Gase) beschlossen. Ziel hierbei ist es den weltweiten Temperaturanstieg bis 2050 auf max. 2°C zu begrenzen. Die Europäische Union hat für die Umsetzung der Protokolle Klimaschutzziele definiert (F-Gase-Verordnung) und verschiedene Maßnahmen festgelegt. Maßnahmen sind neben Verwendungs- und Vermarktungsbeschränkungen auch die Reduktion der am Markt verfügbaren F-Gase durch eine Quotierung. Die Quotierung der EU sieht eine stufenweise Reduktion der verfügbaren F-Gase angefangen vom 01.10.2015 mit 100% bis zum 01.01.2030 mit dann nur noch 21% vor. Diese Quotierung führt zusammen mit den anderen Maßnahmen und der Marktpolitik der Hersteller zu einer Verknappung und bereits jetzt zu teils drastischen Preissteigerungen bei den fluorierten Kältemitteln.

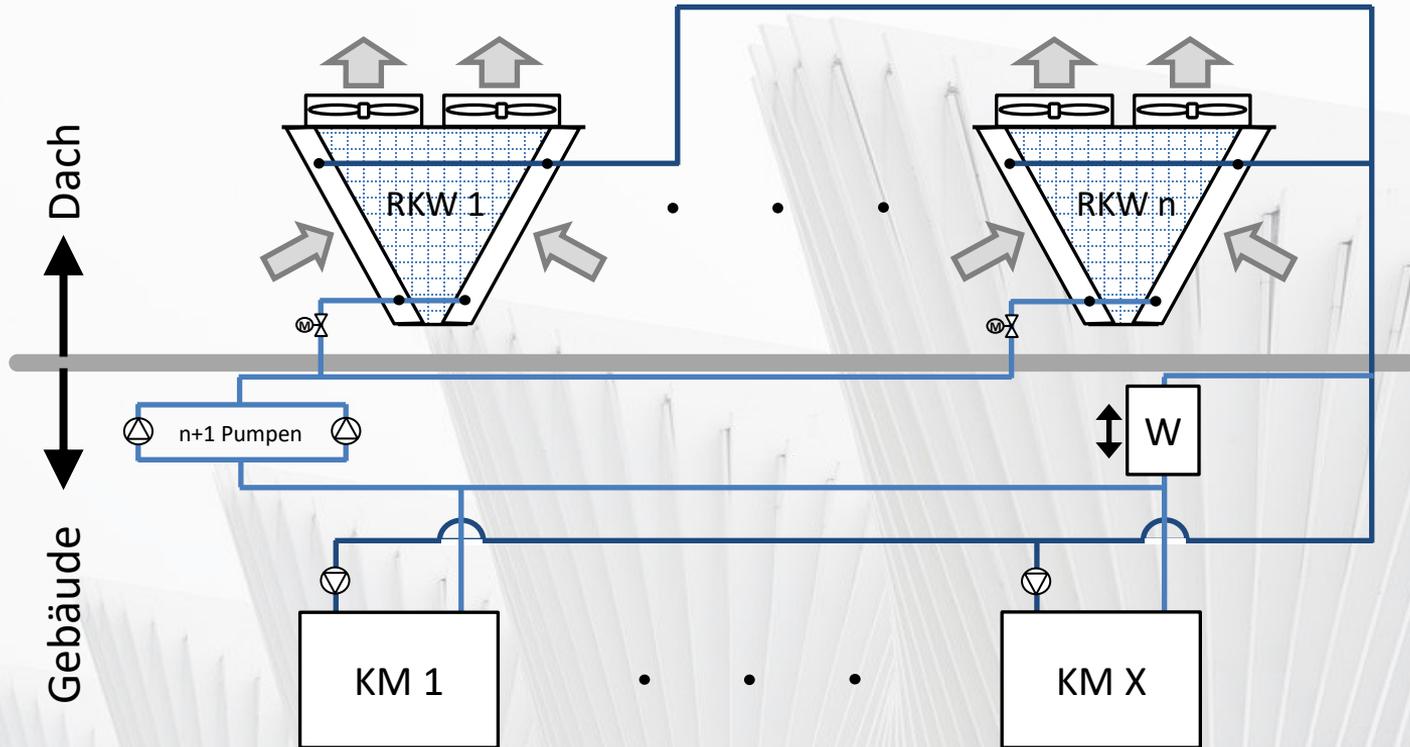
Vergleich Absorptions-Kompressionskältemaschine

Bezeichnung	Absorptions- kältemaschine	Kompressions- kältemaschine
COP / Leistungszahl	0,65 bis 0,70	5,0 bis 7,0
Vergleich der Leistungsdaten am Beispiel einer 1000kW- Kältemaschine:		
Kälteleistung kW	1.000	1.000
Heizwärme kW	1.430 bis 1.540	-
Elektr. Leistung kW	-	145 bis 250
Kühlturm-Leistung kW	2.430 bis 2.540	1.145 bis 1.250
CO₂-Betrachtung:		
CO ₂ -Äquivalent KWK-Strom	-	196 gCO ₂ /kWh
CO ₂ -Äquivalent KWK-Wärme	420 gCO ₂ /kWh	-
Volllaststunden/Jahr (Annahme)	2.000 h/a	2.000h/a
CO ₂ -Produktion	1.200 bis 1.300 to/a	60 bis 100 to/a
<i>Anmerkung: Die Wertung der Antriebsleistungen für die Kühlturmanlage und den Wasserverbrauch verschlechtert die Bilanz der Absorptionskältemaschine zusätzlich</i>		

Energie-Messwerte einer Großkälteanlage



Hydraulik-Schema einer Hybrid-RKW-Anlage



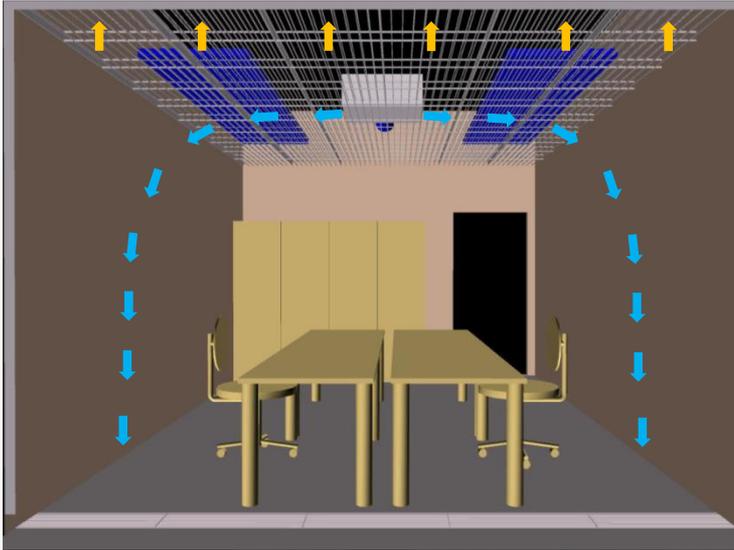
Bei effizienten Rückkühlanlagen ist die freie Kühlung sowie der Parallelbetrieb der Anlagen vorzusehen Betriebsarten des Hybrid-RKW: freie Kühlung/Trockenbetrieb/Sprühbetrieb

Entwicklung der Effizienzkennzahlen

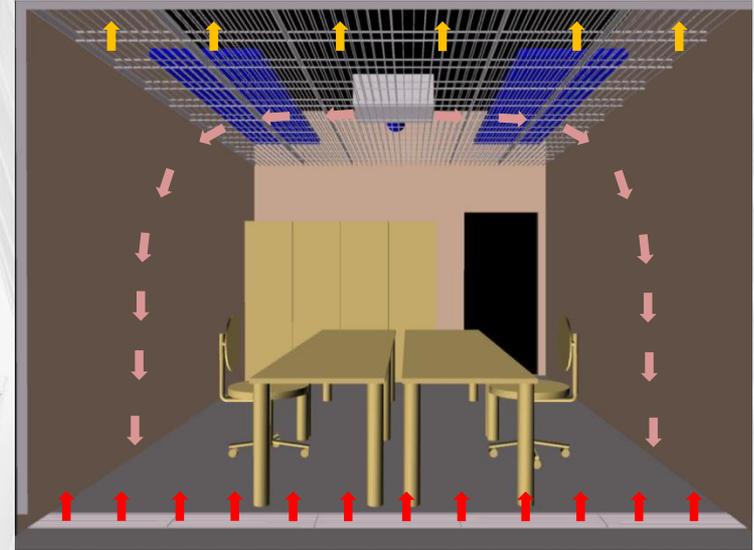
Heizkessel-Wirkungsgrad	1980 ca. 85%	ab 2000 ca. 105% (Brennwerttechnik)
Ventilator-Gesamtwirkungsgrad	bis 2010 ca. 60 - 65%	ab 2015 bis zu 75 - 80% (IE4-Motoren, Direktantrieb, optimierte Strömung)
Temperatur-Übertragungsgrad Wärmerückgewinnung bei RLT- Geräten	bis 2010 ca. 45%, danach kontinuierliche Zunahme	ab 2015 bis 85%
COP Luft-Wasser-Wärmepumpe	unverändert ca. 2,5 - 3,0	
COP Wasser-Wasser- Wärmepumpe	unverändert ca. 4,5 bis 6 je nach Temperaturdifferenz Wärmequelle/Wärmesenke	
COP Kältemaschine luftgekühlt	bis 2015 ca. 3.0	ab 2015 ca. 3,5
COP Kältemaschine wassergekühlt	bis 2015 ca. 4,5	ab 2015 im Bereich 5,0 bis 7,0

Anmerkung: Die Werte geben lediglich Größenordnungen wieder, sie sind in erheblichem Maße von den projektspezifischen Randbedingungen abhängig.

Effizienz der Raumströmung in Klimatisierten Räumen



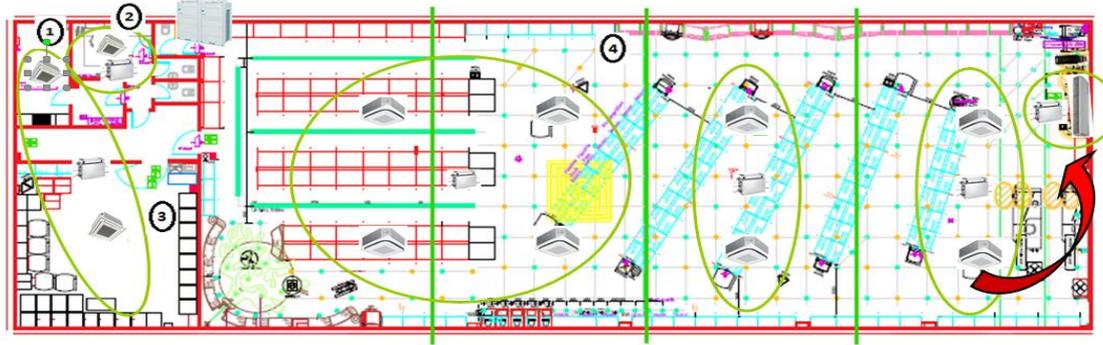
Kühlfall



Heizfall

Anmerkung: Die Konzeption der Raumströmung in klimatisierten Räumen stellt einen Beitrag zur Energieeffizienz dar. Die entsprechende Kennzahl ist die Lüftungseffektivität

Einsatz von Wärmepumpen - Wärmeverschiebung und Heizen/Kühlen mit 3-Leiter-System

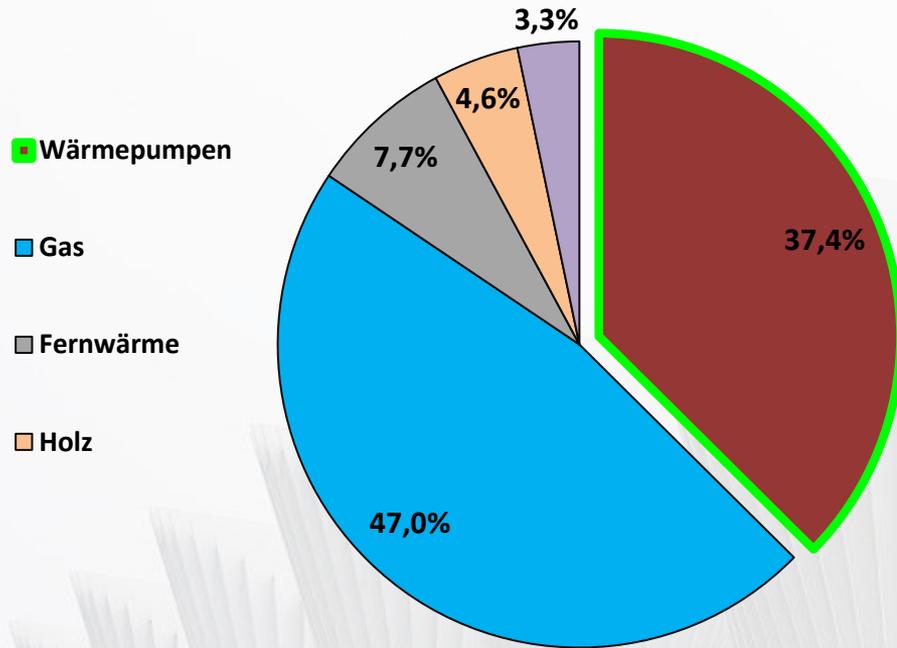


- | | | | |
|---|---|----------|-----------------|
| 1) Teeküche | 2) Aktenraum + Technischschrank | 3) Lager | 4) Verkaufsraum |
|  | 6 Stck. Wärmerückgewinnungszonen (3x VK Raum, 1x TLS, 1x Lager /Pers. 1x Akten) | | |
|  | Umschaltboxen (H x B x T ca. 207x388x326mm) | | |
|  | Selbstreinigende Zwischendeckenkassetten Typ FXFQ (H x B 950x950mm) | | |
|  | Eurorasterkassette (620x620) | | |
|  | Torluftschleier (Breite 2,5m bei 2m Standardtürbreite) | | |
|  | Außeneinheit Wärmepumpensystem (H x B x T ca. 1680x2500x765mm) | | |
|  | Raumfühler (H x B 50x60mm) ☒ je Temperaturzone ein Fühler | | |

Das Konzept basiert auf der energetischen Analyse der Märkte einer großen Drogeriemarktkette. Durch das System wurde mit einer Jahresarbeitszahl von 5,35 eine jährliche Energieeinsparung von 33% erreicht.

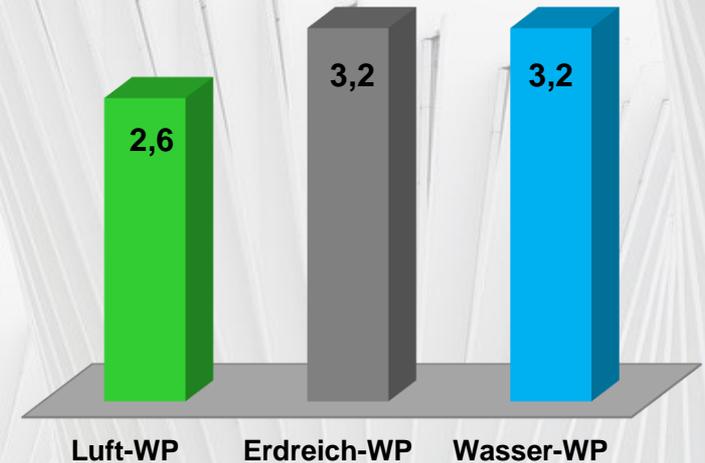
Aufteilung der Energieträger bei Neubauten 2016

Heizwärmeerzeugung und Wärmepumpen



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe, Analyse des WP-Marktes 2016

Jahres-Arbeitszahl von Wärmepumpen (Wärmepumpe + Wärmequelle)



Die Jahres-Arbeitszahl bezieht sich auf den Stromeinsatz für den Antrieb der Wärmepumpe und der Ventilatoren/ Pumpen der Wärmequelle

Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Energie-effizienz elektrisch angetriebener Wärmepumpen, Praxisergebnisse aus dem Monitoring

Ergebnisse des IBP-Monitorings Wärmepumpe

Gem. IBP liegen folgende Haupt-Ursachen für die niedrigen Jahres-Arbeitszahlen vor:

1. Heizungsrelevante Anlagenteile waren oft ganzjährig in Betrieb und verursachten dadurch erhöhte Stand-by-Verluste.
2. Gegenüber der normgerechten Auslegung waren um bis zu 3 K höhere Innenraum-temperaturen und ein erhöhter Trinkwarmwasserbedarf festzustellen. Daraus resultierten höhere Systemtemperaturen.
3. Fehlende Optimierung in den Regelstrategien beeinflussten die JAZ.
4. Geforderte erhöhte Systemtemperaturen im Mehrfamilienhausbereich zur Vermeidung von Legionellenbildung in der Trinkwarmwasserbereitung führten zu einer geringen JAZ.
5. Der Anteil des Energieaufwands für die Bereitstellung der Wärme zur Trinkwarmwasser-erzeugung erhöht sich mit besser werdendem Wärmeschutz der Gebäude. Dies wirkt sich negativ auf die Jahresarbeitszahl aus. In Gebäuden mit KfW40-Standard sind daher tendenziell schlechtere JAZ vorzufinden als in KfW55-Gebäuden.
6. Eine detaillierte Ausführungsplanung und die Dokumentation des hydraulischen Abgleichs lagen nicht durchgängig vor. Überdimensionierung und unzureichend einregulierte Netzhydraulik können das energetische Verhalten der Wärmepumpenanlage negativ beeinflussen.

Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Energieeffizienz elektrisch angetriebener Wärmepumpen, Praxisergebnisse aus dem Monitoring

Energiemanagement durch Gebäudeautomation

Komponenten und Systeme der Gebäudeautomation reduzieren den thermischen und elektrischen Energieverbrauch* bis zu

- ❑ 26% in Bildungseinrichtungen und Krankenhäusern
- ❑ 27% in Wohngebäuden
- ❑ 41% in Hotels und Restaurants
- ❑ 49% in Großhandels- und Geschäftshäusern
- ❑ 52% in Büros und Hörsälen

* Hohe Energieeffizienz (Klasse A) verglichen mit der Standard-Ausrüstung (Referenzklasse C) EN 15232
– Auswirkungen der BACS und TBM auf die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

Einsatz der MSR-Technik

Ist-Zustand:

- „Smarte“ und hocheffiziente Einzelprodukte

Zukünftige Anforderungen:

- Optimierung des Energieverbrauchs durch kontinuierliche Anpassung des Betriebs an die tatsächlichen Erfordernisse
- Anpassung des Betriebsverhaltens an die Bedürfnisse des Anwenders
- Aufrechterhalten eines gesunden Raumklimas in den Gebäuden

Erforderliche Maßnahmen:

- Kontinuierliche Überwachung und Analyse des Energieverbrauchs im laufenden Betrieb
- Kommunikation und Interoperabilität der Systeme der verschiedenen Geräte und Hersteller

Übergeordnete Aufgabe:

- Intelligente Vernetzung von Systemen der Elektrischen und Thermischen Energiebereitstellung
- Forschungsprojekt 5G Energy Hub
(BMW-Leuchtturm-Forschungsprojekt RWTH Aachen / TU Dresden)

Schlussbemerkungen

- ❑ Mit den heute verfügbaren hocheffizienten Gebäudetechniken lassen sich signifikante Energie-Einsparungen erzielen
- ❑ Die Anforderungen der Gebäudenutzer an die ausreichende Zufuhr von entsprechend aufbereiteter Frischluft sind zu beachten („Lebensmittel Luft“)
- ❑ Zunehmende Komfortansprüche sind energetisch kontraproduktiv
- ❑ Die zunehmenden Temperaturen und Luftfeuchten im Sommer sowie die Trockenheit im Winter sind ebenfalls energetisch kontraproduktiv
- ❑ Die Verwendung effizienter Komponenten führt nicht zwangsläufig zu den erwarteten Einsparungen. Nötig sind eine sorgfältige Planung, Ausführung, Einregulierung und ein kontinuierliches Energiemonitoring mit der erforderlichen Nachjustierung der Systemeinstellungen. Der verstärkte Einsatz der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik ist hierzu erforderlich

Gut gemeint ist noch nicht gut gemacht.