



Kühlen und Klimatisieren mit Erdgas

Effiziente Klimatisierung im Gewerbe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Grundlagen der Kälteversorgung im Gewerbe	4
2.1 Anforderungen entsprechend der gewerblichen Nutzung	4
2.2 Energierechtliche Anforderungen an Nichtwohngebäude	6
2.3 Energetische Bewertung: Berechnungsverfahren nach DIN V 18599	9
2.4 Kühllastberechnung nach VDI 2078: 2015	10
2.5 Planungsvorbereitung	10
3. Kälteerzeugung	11
3.1 Systematisierung	11
3.2 Kompressions-Kältemaschine / Gasmotor-Wärmepumpe	13
3.2.1 Kälteprozess: Kompressions-Kaltdampfprozess	13
3.2.2 Geräte: Gasmotor-Wärmepumpen	14
3.3 Gas-Absorptions-Wärmepumpe / Absorptions-Kältemaschine	15
3.3.1 Kälteprozess: Absorptions-Kälteprozess	15
3.3.2 Geräte: Gas-Absorptions-Wärmepumpen / Gas-Absorptions-Kühler	16
3.4 Wärmequellen für Gasmotor- und Absorptions-Wärmepumpen	17
3.5 Betriebsarten	17
3.6 Effizienz der Kälteerzeugung	18
4. Kälteverteil- und -übergabesysteme	19
4.1 Systematisierung	19
4.2 Zentrale Lüftungsanlage (RLT-Anlage)	19
4.3 Flächenkühlung	21
4.4 Klimakonvektoren	21
4.5 Dezentrale Inneneinheiten	22
5. Beispiele	23
5.1 Systeme mit Gasmotor-Wärmepumpen	23
5.2 Einsatzbereiche und Praxisbeispiele	25
6. Vorteile des Energieträgers Erdgas bei der Kälteerzeugung	27
7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	28
7.1 Berechnungsgrundlagen	28
7.2 Förderungen	29
Anhang 1 Normen, Vorschriften, Regeln und Richtlinien (Auswahl)	30
Anhang 2 Hersteller und Anbieter (Auswahl)	31
Anhang 3 Literaturverzeichnis	32
Anhang 4 Bildnachweis	34

1. Einleitung

Der Anstieg des Klimatisierungs- und damit des Kältebedarfes im industriellen wie auch gewerblichen Bereich erfordert die Anwendung umweltverträglicher Kälteerzeugungsverfahren.

Eine Kühlung im Gewerbe kann je nach Anwendungsfall ganzjährig oder saisonal erforderlich sein, wesentliche Anwendungsbereiche sind:

- » Wärme- und Kälteversorgung in Labor, Forschung und Büroräumen, z. B. Kühlung von Serverräumen
- » Sommerkühlung von Industrie und Gewerbe
- » Temperierung bei thermischen Produktionsprozessen, z. B. Gießereien oder Öfen
- » Lagerung von temperaturempfindlichen Gütern, z. B. Lebensmitteln, Obstgütern
- » Lagerung von Gefahrstoffen oder pharmazeutischen Produkten

Nutz-, End- und Primärenergiebedarf für die Gebäudeklimatisierung sind in Abbildung 1 dem jeweiligen Energiebedarf für Industriekälte und Nahrungsmittelherstellung gegenübergestellt. Erdgasbetriebene Kälte- und Wärmepumpenanlagen sind gegenüber strombetriebenen Kältemaschinen eine umweltverträgliche Alternative.

Im vorliegenden Handbuch wird die Kälteerzeugung mit Erdgas als Energieträger für die Anwendung im Gewerbe näher beschrieben.

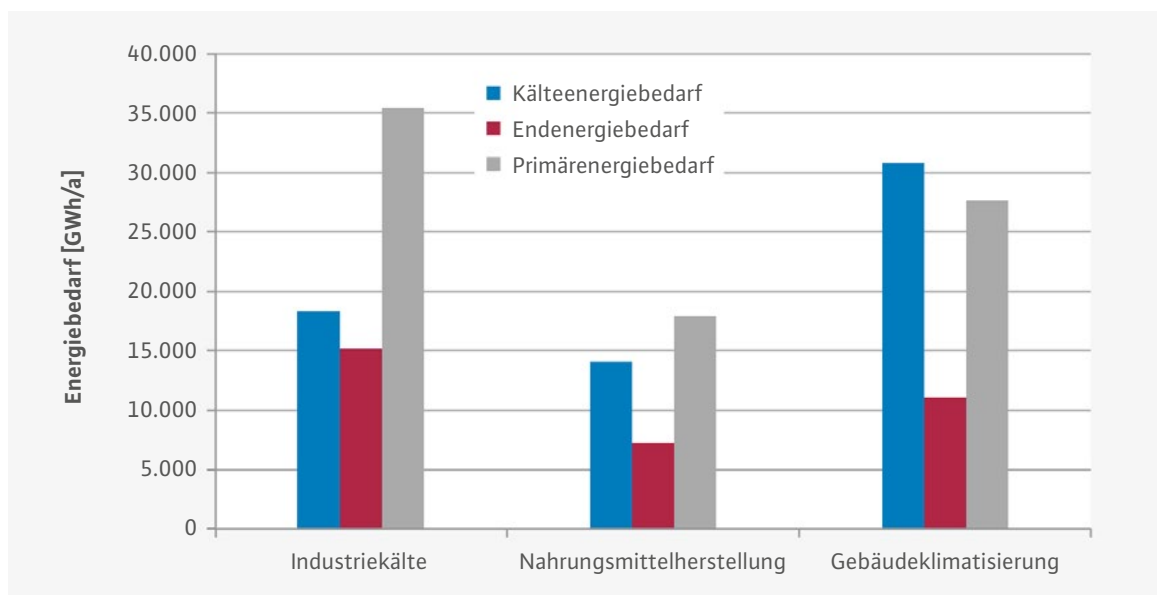


Abbildung 1: Kälteenergiebedarf, Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf nach Sektoren nach [1]

2. Grundlagen der Kälteversorgung im Gewerbe

2.1 Anforderungen entsprechend der gewerblichen Nutzung

Die thermische Behaglichkeit eines Menschen hängt im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht des Körpers im Ganzen ab. Das menschliche Wärmeempfinden wird im Wesentlichen durch die körperliche Tätigkeit und Bekleidung sowie durch die Parameter des Umgebungsklimas beeinflusst:

- » Lufttemperatur
- » mittlere Strahlungstemperatur
- » Luftgeschwindigkeit
- » Luftfeuchte

Aber auch Alter, Konstitution und Geschlecht können eine Rolle spielen. Liegen Aussagen zu diesen Faktoren vor, kann das Wärmeempfinden für den Menschen vorausgesagt werden, indem das mittlere Votum (predicted mean vote, PMV) berechnet wird. Ebenso kann ein Prozentsatz an Unzufriedenen (predicted percentage of dissatisfied, PPD) ermittelt werden, die ein bestimmtes Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden. Der PPD lässt sich aus dem PMV berechnen.

Bei der Bewertung und Konstruktion von Gebäuden und Anlagen muss das Anpassungsvermögen des Menschen entsprechend berücksichtigt werden. Für die Bewertung eines gemäßigten Umgebungsklimas dient parallel zur ASHRAE-Norm DIN EN ISO 7730:2006-05 [4].

Entsprechend den Technischen Regeln für Arbeitsstätten [5] sind sowohl Mindest- als auch Höchstwerte für die Raumtemperatur einzuhalten. In Arbeitsräumen sowie in Pausen-, Bereitschafts-, Sanitär-, Kantinen- und Erste-Hilfe-Räumen soll die Lufttemperatur +26 °C nicht überschreiten. Bei Raumlufttemperaturen über +26 °C sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Unter Berücksichtigung der minimal und maximal als behaglich empfundenen Temperaturen sowie der Grenzwerte für die relative Luftfeuchte ergibt sich ein Komfortbereich. Dieser wird zusätzlich von der sogenannten Schwülekurve begrenzt, welche sich bei einem Wert für die absolute Luftfeuchte von 11,0 g/kg ergibt, vgl. Abbildung 2.

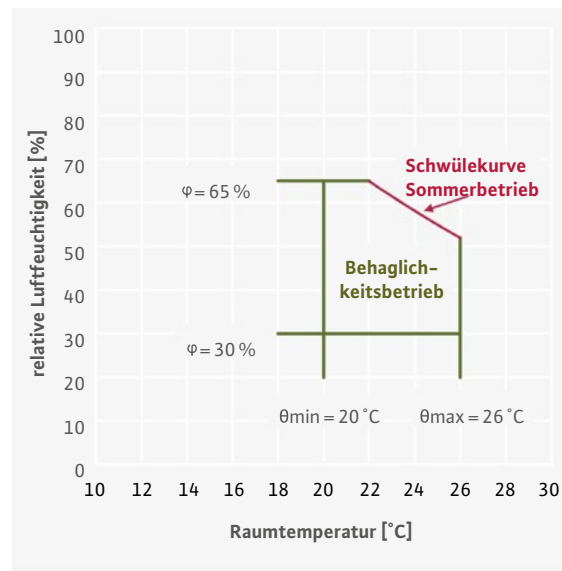


Abbildung 2: Behaglichkeitsfeld

In Gebäuden mit einer gewerblichen Nutzung ist die körperliche Aktivität der Nutzer sehr unterschiedlich. In Abhängigkeit von der Aktivität, d. h. der Tätigkeit der Nutzer, werden die Energieumsätze nach DIN EN ISO 7730:2006-05 [4] in Tabelle 1 angegeben. Daraus ergeben sich unterschiedliche Auslegungskriterien bezüglich der operativen Temperatur und der max. mittleren Luftgeschwindigkeit für unterschiedliche Gebäude bzw. Nutzungen, vgl. Tabelle 2 [4]. Es wird entsprechend dem gewünschten Umgebungsklima in verschiedene Umgebungskategorien (definierter Höchstwert des Prozentsatzes an Unzufriedenen – PPD) unterschieden.

Aktivität	Energieumsatz [Wm ⁻²]	
Angelehnt	46	
Sitzend, entspannt	58	
Sitzende Tätigkeit (Büro, Schule, Labor)	70	
Stehende leichte Tätigkeit (Labor, leichte Industriearbeit)	93	
Stehende mittelschwere Tätigkeit (Verkauf, Reinigung, Maschinenbedienung)	116	
Gehen auf der Ebene	2 km/h	110
	3 km/h	140
	4 km/h	165
	5 km/h	200

Tabelle 1: Energieumsatz in Abhängigkeit von der Aktivität

Gebäude-/ Raumtyp	Aktivität (Energie- umsatz) [Wm^{-2}]	Umgebungs- kategorie	Operative Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]		Maximale mittlere Luftgeschwindigkeit [m/s]	
			Sommer Kühlperiode	Winter Heizperiode	Sommer Kühlperiode	Winter Heizperiode
Einzelbüro, Büroland- schaft, Konferenz- raum, Auditorium, Cafeteria/Restaurant, Klassenraum	70	A	$24,5 \pm 1,0$	$22,0 \pm 1,0$	0,12	0,10
		B	$24,5 \pm 1,5$	$22,0 \pm 2,0$	0,19	0,16
		C	$24,5 \pm 2,5$	$22,0 \pm 3,0$	0,24	0,21
Kindergarten	81	A	$23,5 \pm 1,0$	$20,0 \pm 1,0$	0,11	0,10
		B	$23,5 \pm 2,0$	$20,0 \pm 2,5$	0,18	0,15
		C	$23,5 \pm 2,5$	$22,0 \pm 3,5$	0,23	0,19
Kaufhaus	93	A	$23,0 \pm 1,0$	$19,0 \pm 1,5$	0,16	0,13
		B	$23,0 \pm 2,0$	$19,0 \pm 3,0$	0,20	0,15
		C	$23,0 \pm 3,0$	$19,0 \pm 4,0$	0,23	0,18

Tabelle 2: Beispiele für Auslegungskriterien für Gebäude mit unterschiedlicher Nutzung

2.2 Energierechtliche Anforderungen an Nichtwohngebäude

Anforderungen an die energetische Qualität und die Nutzung von Erneuerbaren Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs an Wohn- und Nichtwohngebäuden werden in der Energieeinsparverordnung und dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz formuliert. Das EEWärmeG verweist auf die technischen Regeln, die auch für den EnEV-Nachweis anzuwenden sind, d. h., die Anteile am Wärmeenergiebedarf werden mit den gleichen Normen berechnet wie der Primärenergiebedarf nach EnEV.

Energieeinsparverordnung – EnEV

Die Energieeinsparverordnung [6] ist die Umsetzung der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [7] in nationales Recht. Durch die Energieeinsparverordnung werden konkrete Anforderungen an die energetische Qualität von Wohn- und Nichtwohngebäuden formuliert, welche errichtet, erweitert oder modernisiert werden. Die aktuelle Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) trat am 01.05.2014 in Kraft. Gewerblich genutzte Gebäude fallen unter die Kategorie Nichtwohngebäude. Die Verordnung gilt nach § 1 EnEV für alle Gebäude, die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden, sowie für Anlagen für Heizung, Kühlung, Raumlufttechnik, Beleuchtung und Warmwasserbereitung. Nicht Gegenstand der Verordnung ist der Energieeinsatz in Produktionsprozessen. Weiterhin formuliert § 1 EnEV Ausnahmen von der Verordnung, wie z. B. für Traglufthallen oder Kirchen.

Die EnEV unterscheidet bei der Festlegung bestimmter Anforderungen nach dem Temperaturniveau (12 °C bis < 19 °C bzw. ≥ 19 °C) und nach der Raumhöhe (≤ 4 m bzw. > 4 m) eines konditionierten Raumes¹. Besonderheiten von Hallengebäuden werden hierdurch berücksichtigt. Alle Gebäude müssen die baulichen Mindestanforderungen nach DIN 4108-2:2013-02 [8] erfüllen.

Hauptanforderungsgrößen der EnEV sind der zulässige Primärenergiebedarf q_p sowie der bauliche Wärmeschutz. Der Primärenergiebedarfs-Anforderungswert wird auf dem Wege des Referenzgebäude-Verfahrens (§ 4 Nr. 1 EnEV 2014) individuell für das zu beurteilende Gebäude bestimmt. Bauvorhaben ab 01.01.2016 müssen den Referenzwert um mindestens 25 % unterschreiten. Für die wärmeübertragende Umfassungsfläche von Nichtwohngebäuden gelten Höchstwerte für den Mittelwert der Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}$ je Bauteilgruppe.

Weitere technische Nebenanforderungen gelten bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes, der Vermeidung von Wärmebrücken, der Gebäudedichtheit und technischer Details der Anlagentechnik sowie der Wartung von Anlagenkomponenten.

Nach § 12 EnEV besteht für **Klimaanlagen** mit einer Kälte-Nennleistung von mehr als 12 kW die **Pflicht zur regelmäßigen energetischen Inspektion**. Dafür gelten folgende Regeln:

- » Prüfung der Komponenten, die den Wirkungsgrad der Anlage beeinflussen, und der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes
- » Inspektion erstmals im zehnten Jahr nach der Inbetriebnahme oder der Erneuerung wesentlicher Bauteile wie Wärmeübertrager, Ventilator oder Kältemaschine, wiederkehrende Inspektion der Anlage mindestens alle zehn Jahre
- » Inspektion durch fachkundige Personen
- » Erstellung eines Inspektionsberichtes, welcher die Ergebnisse und Ratschläge für Maßnahmen zur kosteneffizienten Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage, für deren Austausch oder für Alternativlösungen enthält
- » Vorlage des Inspektionsberichts bei den jeweils nach Landesrecht zuständigen Behörden.

Inhalte und Mindestanforderungen an die Energetische Inspektion gemäß EnEV werden in DIN SPEC 15240:2013-10 [9] beschrieben.

¹ Konditionierter Raum: Raum oder Raumgruppe, die beheizt und/oder gekühlt und/oder be- und entlüftet und/oder befeuchtet und/oder beleuchtet und/oder mit Trinkwasser versorgt wird

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (2011)

Das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, EEWärmeG [10]) ist Teil des von der Bundesregierung beschlossenen Integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP). Es erfüllt die Anforderungen der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen [11] auf nationaler Ebene. Mit dem EEWärmeG wird die praktische Anwendung der Pflicht zum Einsatz Erneuerbarer Energien (EE) im Wärmebereich für

Heizung und Warmwasser bei der Errichtung von Gebäuden und der grundlegenden Modernisierung öffentlicher Gebäude in Deutschland geregelt. Dazu formuliert es notwendige Deckungsanteile Erneuerbarer Energien am Wärme- und Kälteenergiebedarf² der Gebäude und die Form ihrer Erfüllung.

Erfüllungsmöglichkeiten des EEWärmeG beim Neubau von Nichtwohngebäuden enthält Tabelle 3.

Erfüllung EEWärmeG zu 100 %		Einschränkungen /zusätzliche Anforderungen
Nutzung Erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfes (für Raumkühlung)		
Solare Strahlungsenergie	15 %	Zertifizierung der Kollektoren „Solar Keymark“
Feste Biomasse	50 %	Einhaltung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen und Mindestwert Kesselwirkungsgrad
Flüssige Biomasse	50 %	Erfüllung Nachhaltigkeitsverordnung und Einsatz mit Brennwertkessel
Gasförmige Biomasse	30 %	Nutzung nur in KWK-Anlagen (+ Anforderungen KWK) und Einhaltung von Nachhaltigkeitsforderungen
Geothermie und Umweltwärme	50 %	Wärmemengen- und „Stromzähler“ sowie Mindestwerte JAZ
Kälte aus Erneuerbaren Energien	entsprechend den Anteilen EE	Technisch nutzbar gemachte Kälte Deckung des Kältebedarfes für Raumkühlung Erzeugung der Kälte, Rückkühlung und Verteilung mit bester verfügbarer Technik
Ersatzmaßnahmen zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfes (für Raumkühlung)		
Anlagen zur Nutzung von Abwärme	50 %	Bei Nutzung durch Wärmepumpen: Anforderungen wie bei Geothermie und Umweltwärme Bei Nutzung mit Wärmeübertrager in zentraler Lüftungsanlage: Wärmerückgewinnungsgrad (WRG-Grad) $\geq 70\%$ und Leistungszahl ≥ 10 (Begriffsdefinition: die Leistungszahl ist das Verhältnis zwischen Abwärmenutzung [kW] und Stromeinsatz bei der WRG [kW]), sonstige Nutzung: nach Stand der Technik
KWK-Anlagen	50 %	Nutzung hocheffizienter Anlagen: Primärenergieeinsparung gegenüber getrennter Erzeugung von Wärme und Elektroenergie
Maßnahmen zur Einsparung von Energie	-15 %	bezogen auf Anforderungen der EnEV $q_P \leq 0,85 \cdot q_{P,Ref}$ und $\dot{U} \leq 0,85 \cdot \dot{U}_{max}$
	-15 % / -30 %	Öffentliche Gebäude: $q_P \leq 0,85 \cdot q_{P,Ref}$ und $\dot{U} \leq 0,70 \cdot \dot{U}_{max}$
Nah-/Fernwärme, anteilig aus Erneuerbaren Energien	Nah-/Fernwärmeerzeugung gemäß oben stehenden Maßnahmen und Anforderungen	

Tabelle 3: Erfüllungsoptionen EEWärmeG Nichtwohngebäude: Neubau [10]

2 Wärme- und Kälteenergiebedarf: Erzeugernutzwärmeabgabe (Summe aus Nutzenergie, Übergabe-, Verteil- und Speicherverlusten)

Öffentlichen Gebäuden kommt nach Vorgabe der EU-Richtlinie eine besondere Vorbildfunktion im Rahmen des Klimaschutzes und der Förderung von Technologien zur Erzeugung von Wärme und Kälte aus Erneuerbaren Energien zu. Mit dem EEWärmeG werden daher auch Anforderungen an öffentliche Gebäude bei einer grundlegenden Renovierung gestellt. Als öffentliche Gebäude gelten alle Nichtwohngebäude, welche sich im Eigentum oder Besitz³ der öffentlichen Hand (Bund, Länder und Gemeinden) befinden. Eine grundlegende Renovierung im Sinne des EEWärmeG liegt vor, wenn an

einem Gebäude in einem zeitlichen Zusammenhang von höchstens zwei Jahren

- » der Heizkessel ausgetauscht oder die Heizungsanlage auf einen anderen fossilen Energieträger umgestellt wird und
- » mehr als 20 % der Gebäudeoberfläche renoviert werden.

Optionen zur Erfüllung des EEWärmeG bei einer grundsätzlichen Renovierung öffentlicher Gebäude sind in Tabelle 4 angegeben.

Erfüllung EEWärmeG zu 100 %		Einschränkungen/zusätzliche Anforderungen
Nutzung Erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfes (für Raumkühlung)		
Solare Strahlungsenergie	15 %	Zertifizierung der Kollektoren: „Solar Keymark“ Alternativ bei öffentlichen Gebäuden: Bereitstellung der Dachfläche für Dritte, Mindestkollektorfläche 0,06 m ² je m ² Nutzfläche des versorgten Gebäudes, keine Nutzung zur Pflichterfüllung EEWärmeG durch versorgten Dritten
Feste Biomasse	15 %	Einhaltung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen und Mindestwert Kesselwirkungsgrad
Flüssige Biomasse	15 %	Erfüllung Nachhaltigkeitsverordnung und Einsatz mit Brennwertkessel
Gasförmige Biomasse mit KWK	15 %	Nutzung nur in KWK-Anlagen (+ Anforderungen KWK) und Einhaltung von Nachhaltigkeitsforderungen
Gasförmige Biomasse mit Brennwertkesseln	25 %	Nutzung in einem Heizkessel mit bester verfügbarer Technik
Geothermie und Umweltwärme	15 %	Wärmemengen- und „Stromzähler“ und Mindestwerte JAZ (um 0,2 vermindert gegenüber Neubauanforderungen)
Kälte aus Erneuerbaren Energien	entsprechend den Anteilen EE	Technisch nutzbar gemachte Kälte Deckung des Kältebedarfes für Raumkühlung Erzeugung der Kälte, Rückkühlung und Verteilung mit bester verfügbarer Technik
Ersatzmaßnahmen zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfes (für Raumkühlung)		
Anlagen zur Nutzung von Abwärme	50 %	Bei Nutzung durch Wärmepumpen: Anforderungen wie bei Geothermie und Umweltwärme, Mindestwerte JAZ (um 0,2 vermindert gegenüber Neubauanforderungen) Bei Nutzung mit Wärmeübertrager in zentraler Lüftungsanlage: Wärmerückgewinnungsgrad (WRG-Grad) $\geq 70\%$ und Leistungszahl ≥ 10 (Begriffsdefinition: die Leistungszahl ist das Verhältnis zwischen Abwärmenutzung [kW] und Stromeinsatz bei der WRG [kW]), sonstige Nutzung: nach Stand der Technik
KWK-Anlagen	50 %	Nutzung hocheffizienter Anlagen: Primärenergieeinsparung gegenüber getrennter Erzeugung von Wärme und Elektroenergie
Maßnahmen zur Einsparung von Energie	-20 %	bezogen auf Anforderungen der EnEV bei Modernisierung an die Dämmung der Gebäudehülle $\bar{U} \leq 0,80 \cdot 1,40 \cdot \bar{U}_{\max}$ Alternativ: Erfüllung der Anforderungen der EnEV an den Neubau
Nah-/Fernwärme, anteilig aus Erneuerbaren Energien	Nah-/Fernwärmeerzeugung gemäß oben stehenden Maßnahmen und Anforderungen	

Tabelle 4: Erfüllungsoptionen EEWärmeG Nichtwohngebäude: Renovierung öffentlicher Gebäude

3 Besitz: gemietete oder gepachtete Gebäude

Erneuerbare Energien und Ersatzmaßnahmen können untereinander und miteinander kombiniert werden. Dabei müssen die prozentualen Anteile der tatsächlichen Nutzung der einzelnen Erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen im Verhältnis zu der vorgesehenen Nutzung in der Summe einen Erfüllungsgrad von ≥ 1 bzw. $\geq 100\%$ ergeben.

$$\text{Erfüllungsgrad} = \sum_{\text{alle genutzten Optionen } i} \left(\frac{\text{Deckungsanteil}_{i, \text{IST}}}{\text{Deckungsanteil}_{i, 100\%}} \right)$$

Für die Einhaltung des EEWärmeG gelten je nach gewählter Option zur Erfüllung der Nutzungspflicht unterschiedliche Nachweise.

Eine Beschreibung der Anwendung von Kennwerten aus der DIN V 18599 für den speziellen Anwendungsfall der Erstellung von Nachweisen für das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) enthält DIN V 18599 Bbl.2: 2012-06 [12].

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat für 2018 die Zusammenlegung von EnEV und EEWärmeG zu einem Gebäudeenergiegesetz (GEG) angekündigt.

2.3 Energetische Bewertung:

Berechnungsverfahren nach DIN V 18599

Der Nachweis der Einhaltung energierechtlicher Anforderungen an Nichtwohngebäude erfolgt auf Basis einer Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599: 2011 [2]. Mittels Energiebedarfsberechnung erhält man die End- und Primärenergiebedarfe in kWh/a bzw. in kWh/m²a im Vergleich mit dem Referenzfall und/oder Vergleichsobjekten für Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung und Kühlung. End- und Primärenergiebedarf werden im Energieausweis ausgewiesen.

Die Vornormenreihe DIN V 18599 [2] beschreibt ein Verfahren zur energetischen Bewertung des Energiebedarfes von Gebäuden zur Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, raumlufttechnischen Konditionierung und Beleuchtung unter definierten Nutzungsbedingungen. Das Verfahren berücksichtigt die wesentlichen

- » bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes,
- » energetisch relevanten Parameter der Anlagentechnik zur Konditionierung des Gebäudes,
- » Randbedingungen der Nutzung und
- » solare und interne Gewinne.

Mit dem universellen Verfahren können Wohn- und Nichtwohngebäude jeweils als Neubauten oder auch Bestandsgebäude mit marktüblichen Konditionierungssystemen abgebildet werden.

Bei Energiebedarfsberechnungen für Nichtwohngebäude im Rahmen der Energieausweiserstellung nach EnEV muss das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 angewendet werden. Da der Nachweis der Einhaltung des EEWärmeG sich wesentlich auf Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung nach EnEV stützt, ist die DIN V 18599 auch für diesen Nachweis bei Nichtwohngebäuden in der Regel unabdingbar.

Im Rahmen des Nachweisverfahrens nach EnEV ist für eine Vergleichbarkeit der Energiebedarfswerte ein fest definiertes Referenzklima anzusetzen. Im Zuge von Energieberatungen, welche nicht zwingend an sämtliche Vorgaben der EnEV gebunden sind, können individuelle Klimadaten herangezogen werden.

Die Energiebilanzierung nach DIN V 18599 beginnt auf der Nutzenseite mit der Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung. In der weiteren Berechnung werden diesem jeweils Energieverluste durch die Anlagentechnik in den Teilbereichen Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung aufgeschlagen. Im Ergebnis erhält man den Endenergiebedarf und den Hilfsenergieaufwand des Gebäudes. Mittels Primärenergiefaktoren erfolgt die Bewertung der Bereitstellung der Energieträger bis zur Gebäudegrenze.

Für die anlagentechnische Bewertung beim **Kühlen und Klimatisieren im Gewerbe** sind die Normenteile 3: Nutzwärme- und Kälte für die Luftaufbereitung und 7: Endenergiebedarf für die Kältebereitstellung maßgeblich. Teil 7 enthält die Beschreibung der energetischen Bewertung für folgende gasbetriebene Kälteerzeuger:

- » direkt verdampfende Systeme (Kältemittelverteilung) mit variablem Kältemittelmassestrom (VRF-Systeme)
- » direkt befeuerte Absorptionskältesysteme

Der Einsatz von Gasmotor-Wärmepumpen erfolgt wahlweise zum Heizen und/oder Kühlen. Sie sind mit kältemittel-, wasser- sowie luftgeführten Systemen kombinierbar. Die Motorabwärme kann zurückgewonnen und ebenfalls genutzt werden.

Für die Abbildung von Gasmotor-Wärmepumpen zur Energiebedarfsberechnung mit 18599-Software stellen Hersteller die notwendigen Leistungszahlen bereit und geben weiterführende Unterstützung [13].

2.4 Kühllastberechnung nach VDI 2078: 2015

Für die Planung und Auslegung einer Kälteanlage bildet die Kühllast in kW der einzelnen Räume und des Gebäudes die Grundlage. Die Ermittlung der Kühllast erfolgt nach VDI 2078: 2015 [3].

Die VDI-Richtlinie 2078 [3] beschreibt ein ausführliches Verfahren zur Bestimmung der Kühllast von zu klimatisierenden Räumen. Neben der zur Einhaltung der vorgegebenen Randbedingungen minimal erforderlichen Kühllast werden die Raumtemperaturen (Raumlufttemperatur und operative Temperatur) berechnet. Es basiert auf einer Gebäudesimulation unter Berücksichtigung der installierten Anlagentechnik und unter Beachtung der Berechnungen nach VDI 6007 Blatt 1 bis 3.

Die Einflussfaktoren für Kühllast und Raumtemperatur entsprechend der VDI-Richtlinie zur Kühllastberechnung [3] sind in Abbildung 3 dargestellt.

Im Berechnungsgang werden damit alle relevanten das thermische Raumverhalten beeinflussende Parameter berücksichtigt, vgl. Tabelle 5:

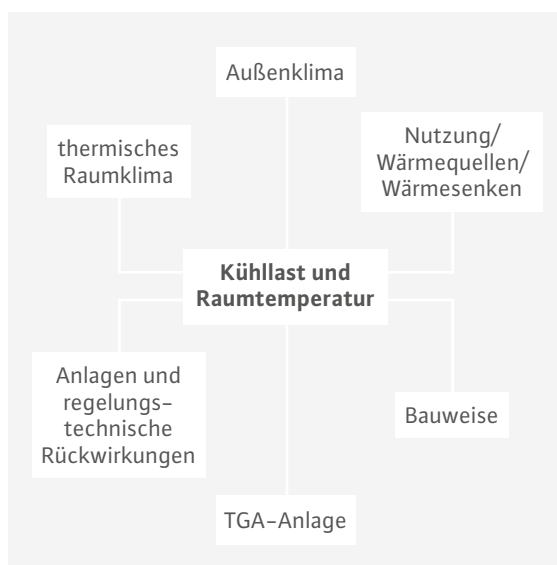


Abbildung 3: Einflussparameter für Kühllast und Raumtemperatur nach VDI 2078 [3]

Programme zur Berechnung der Kühllast auf Basis der VDI 2078: 2015 werden von vielen Softwareherstellern angeboten.

Im Anhang D der VDI 2078 wird ein Abschätzverfahren beschrieben, das verwendet werden kann, wenn in einem frühen Planungsstadium (ohne genaue Kenntnis der Bauteildaten und Lasten) eine grobe Abschätzung der Kühllast notwendig ist. Das Abschätzverfahren lehnt sich an die Vorgehensweise der DIN V 18599-2 [2] an und ersetzt nicht die Berechnung des Hauptverfahrens.

Außenklima	Kühllastzonen, TRY-Regionen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), Sommerklimaregionen
Nutzung/ Wärmequellen/ Wärmesenken	Nutzungsart und -dauer, Personen, Beleuchtung
Bauweise	U-Werte der opaken Bauteile, Kennwerte für Fenster und transparente Fassaden, Infiltration und Fensterlüftung, Bauschwere
TGA-Anlage	Raumtemperatur mit begrenzter Kühlung, Proportionalbereich bei begrenzter Kühlleistung, Komplexere Anlagen und Regelstrategien, Steuerung oder Regelung der Zusatzlüftung

Tabelle 5: Unterparameter der Einflussfaktoren für Kühllast und Raumtemperatur [3]

2.5 Planungsvorbereitung

Planungsvorbereitung: Gasmotor-Wärmepumpen

Für die Vorbereitung einer genauen Planung von Anlagen mit Gasmotor-Wärmepumpen zur Heizung und/oder Kühlung in einem Gewerbebau sind erforderlich:

- » Gebäude
 - › Neubau/Sanierung/Erweiterung
 - › Baujahr
 - › zu beheizende/zu kühlende Fläche
- » Nutzung
 - › Gewerbe: Art des Gewerbes
 - › Wohngebäude
- » Auslegungs- und Systemdaten
 - › Heizleistung/Kühlleistung
 - › ggf. Kenndaten einer RLT-Anlage
 - › Trinkwassererwärmung zentral/dezentral
 - › Anzahl der Heiz-/Kühlkreise
 - › Temperaturen Heiz-/Kühlkreise
 - › Art der Wärme-/Kälteübergabe
 - Luft/Wasser-System
 - Luft/Luft-System
 - Mischsystem
 - › Betriebsweise: monovalent/bivalent
 - › Auslegungstemperaturen Heizung/Kühlung
 - › ggf. Motor-WRG
- » Angaben zum geplanten Aufstellungsort
- » Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Gas- und Strompreis in €/kWh

Die Bemessung des Wärme-/Kälteerzeugers erfolgt auf der Grundlage der Norm-Gebäudeheizlast nach DIN EN 12831 [14] und der Kühllast des Gebäudes nach VDI 2078: 2015-06 [3], vgl. Abschnitt 1.5. Weitere Informationen zu Anlagensystemen für Heizung und Trinkwassererwärmung im Gewerbe sind in den Broschüren Heizung im Gewerbe [15] und Warmwasser im Gewerbe [16] zu finden.

3. Kälteerzeugung

3.1 Systematisierung

Für die Erzeugung von Kälte zur Kühlung bzw. Klimatisierung von Gebäuden oder Räumen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, siehe Abbildung 4.

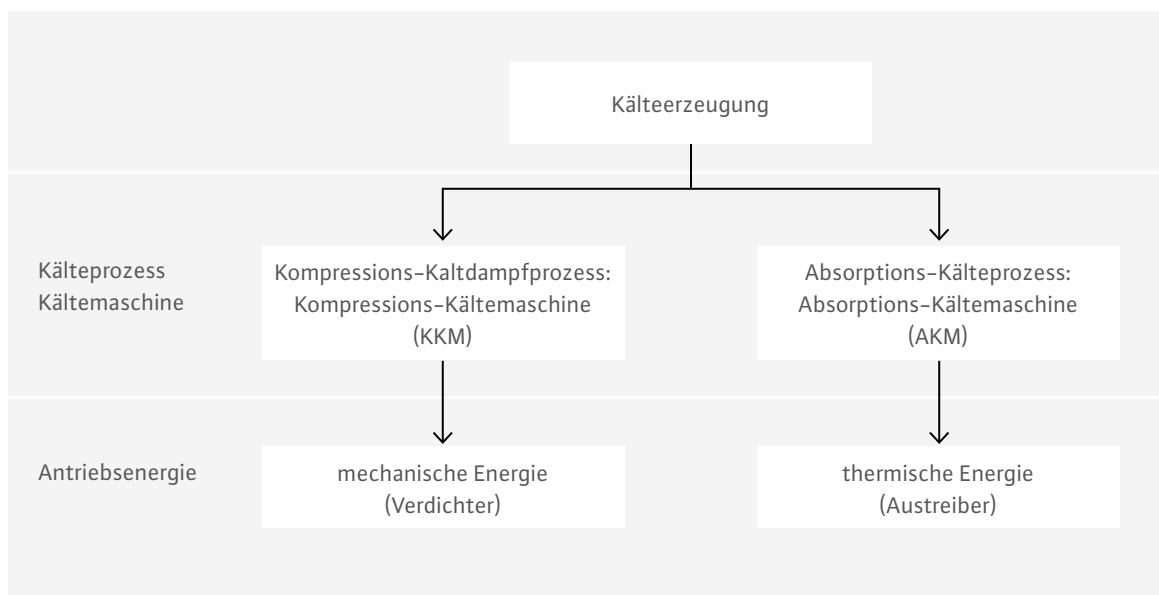


Abbildung 4: Verfahren zur Kälteerzeugung

Weitere (seltene) Verfahren sind:

- » Kompressions-Kaltluftprozess
- » Kompressions-Dampfstrahlprozess
- » Adsorptions-Kälteprozess
- » Peltier-Kälteprozess
(Thermoelektrischer Kälteprozess)

Kältemittel

Kältemittel sind die Arbeitsstoffe, die durch Verdampfen und anschließendes Verflüssigen den Wärmetransport übernehmen.

In Gasklimageräten/motorischen Wärmepumpen werden meist Kältemittel vom Typ R 407C, R410a und R 134a eingesetzt. In Absorptionsanlagen finden heute die Stoffpaare Ammoniak/Wasser und Wasser/Lithiumbromid (LiBr-H₂O) praktische Anwendung.

Entsprechend DIN EN 378 [17] sollten bei der Auswahl des Kältemittels mit Blick auf Gefährdungen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- » Auswirkungen auf die Umwelt (global)
- » Kältemittel-Füllmenge
- » Anwendung der Kälteanlage
- » Konstruktion der Kälteanlage
- » Sachkunde
- » Instandhaltung
- » Energetischer Wirkungsgrad
- » Gesundheit und Sicherheit
(Toxizität/Entflammbarkeit; lokale Umgebung)

Kältemittel werden nach DIN EN 378 entsprechend ihrer Toxizität und Brennbarkeit in Sicherheitsklassen eingeteilt, welche unterschiedliche Aufstellungsbedingungen und erforderliche Sicherheitsmaßnahmen nach sich ziehen. Die maximal zulässige Kältemittel-Füllmenge in einer Kälteanlage ist von den Kategorien des jeweiligen Aufstellungsbereiches abhängig, in den Kältemittel direkt oder ggf. durch einen Wärmeträger austreten könnte.

Bei der Bewertung der Umweltwirkung von Kältemitteln unterscheidet man den ODP-Wert für „ozone depletion potential“ (Ozonabbaupotenzial) und den GWP-Wert für „global warming potential“ (Treibhausgaspotenzial). Der ODP-Wert gibt die Wirkung des Kältemittels auf die Ozonschicht an, je kleiner der Wert, umso weniger Ozon wird abgebaut. Natürliche Kältemittel haben oft keine Wirkung auf die Ozonschicht. Der GWP-Wert gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Als Vergleichswert dient dabei Kohlendioxid. Das Umweltbundesamt gibt Treibhauspotentiale auf seiner Internetseite an [18]. Für derzeit marktgängige Kältemittel sind diese in Tabelle 6 aufgeführt.

Produkt	GWP-Wert
R 134a	1.430
R 404A	3.900
R 507	3.980
R 417A	2.340
R 422A	3.100
R 422D	2.730
R 407C	1.774
R 410A	2.088
R 407F	1.824
R 407A	2.100
R 438A	1.890

Tabelle 6: GWP-Werte für gängige Kältemittel

3.2 Kompressions-Kältemaschine/ Gasmotor-Wärmepumpe

3.2.1 Kälteprozess: Kompressions-Kaltdampfprozess

Eine Kaltdampf-Kompressions-Kälteanlage besteht aus den Komponenten Verdampfer, Verdichter, Verflüssiger und Entspannungsventil. In Abbildung 5 wird der Kompressions-Kaltdampfprozess für den **Kühlfall** erläutert.

Im umgekehrten **Heizfall** wird die Fließrichtung des Kältemittels umgeschaltet, die Wärmezufuhr im Verdampfer erfolgt aus Umgebungswärme (Wasser, Luft, Erdreich) und die Wärmeabgabe im Verflüssiger an das Gebäude, die Maschine wird als Wärmepumpe betrieben.

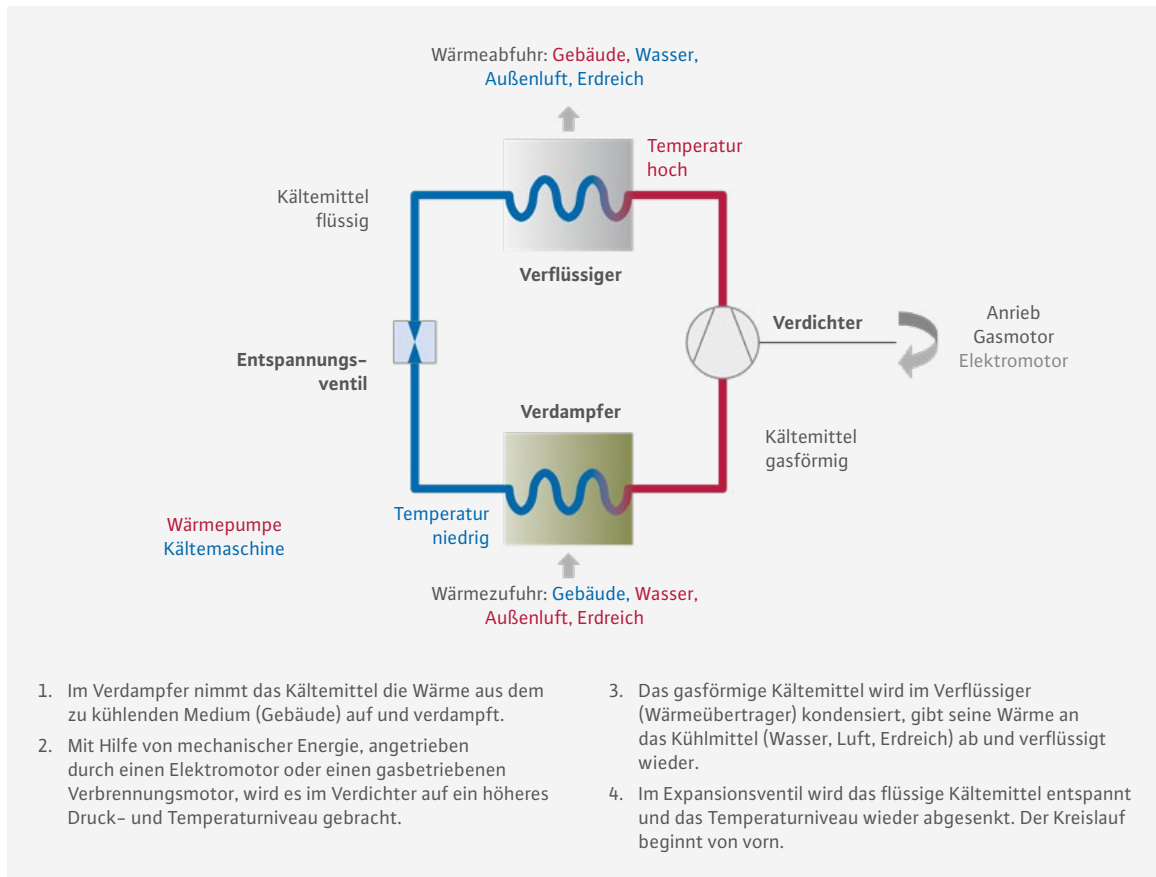


Abbildung 5: Schema Kompressions-Kaltdampfprozess

3.2.2 Geräte: Gasmotor-Wärmepumpen

Gasmotor-Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen sind in verschiedenen Leistungsstufen marktverfügbar. Einen beispielhaften Überblick an Herstellern bzw. Anbietern enthält Anhang 2 ([19], [20], [21], [22]). Die verfügbaren Geräte sind kaskadierbar, so dass auch größere Leistungsanforderungen realisiert werden können.

Gasmotor-Wärmepumpen werden außen aufgestellt (Außenluft als Wärmequelle, vgl. Abschnitt 2.4), sie sind damit platzsparend und benötigen in der Regel keine Abgasanlage. Der Betrieb kann monovalent erfolgen, d. h., es ist so keine Spitzenlastabdeckung im Heizbetrieb und damit kein weiterer Wärmeerzeuger notwendig.

Der Anwendungsbereich von Gasmotor-Wärmepumpen umfasst neben dem Heizen und Kühlen auch die Entfeuchtung und Trinkwassererwärmung. Mit einem Wärmerückgewinnungssystem kann bei wassergeführten Systemen

die Motorabwärme im Kühlbetrieb zurückgewonnen und beispielsweise zur Trinkwassererwärmung genutzt werden.

Eingesetzt werden können die Geräte sowohl im Neubau als auch im Bestand. Wesentliche Einsatzfelder sind:

- » Beheizung/Kühlung von
 - › Bürogebäuden
 - › Supermärkten
 - › Einkaufszentren
 - › Hotels
 - › Lagerhallen
 - › ...
- » Erzeugung von Prozesswärme oder -kälte

Neben der zu empfehlenden jährlichen Wartung des Gesamtsystems ist eine Motorwartung nach 10.000 Betriebsstunden durchzuführen, dies entspricht einem Zeitraum von etwa 3 bis 4 Jahren.



Abbildung 6: Gasmotor-Wärmepumpe



Abbildung 7: Gasmotor-Wärmepumpe

3.3 Gas-Absorptions-Wärmepumpe / Absorptions-Kältemaschine

3.3.1 Kälteprozess: Absorptions-Kälteprozess

Beim Absorptions-Kälteprozess erfolgt die Verdichtung des Kältemittels mit Hilfe eines thermischen Verdichters. Dabei wird der physikalische Effekt der Absorption von Kältemitteldampf in einem flüssigen Lösungsmittel ausgenutzt, welches eine hohe Affinität zu Dampf besitzt.

Im Absorptions-Kälteprozess finden zwei Kreisläufe statt:

- » **Lösungsmittelkreislauf** (thermischer Verdichter) bestehend aus Absorber, Pumpe, Austreiber und Entspannungsventil
- » **Kältemittelkreislauf** mit den Komponenten Verdampfer, thermischer Verdichter, Verflüssiger und Entspannungsventil.

In Abbildung 8 werden beide Kreisläufe des Absorptions-Kälteprozesses grundsätzlich dargestellt. Gebräuchliche Stoffpaare Kältemittel-Lösungsmittel sind Ammoniak-Wasser und Wasser-Lithiumbromid.

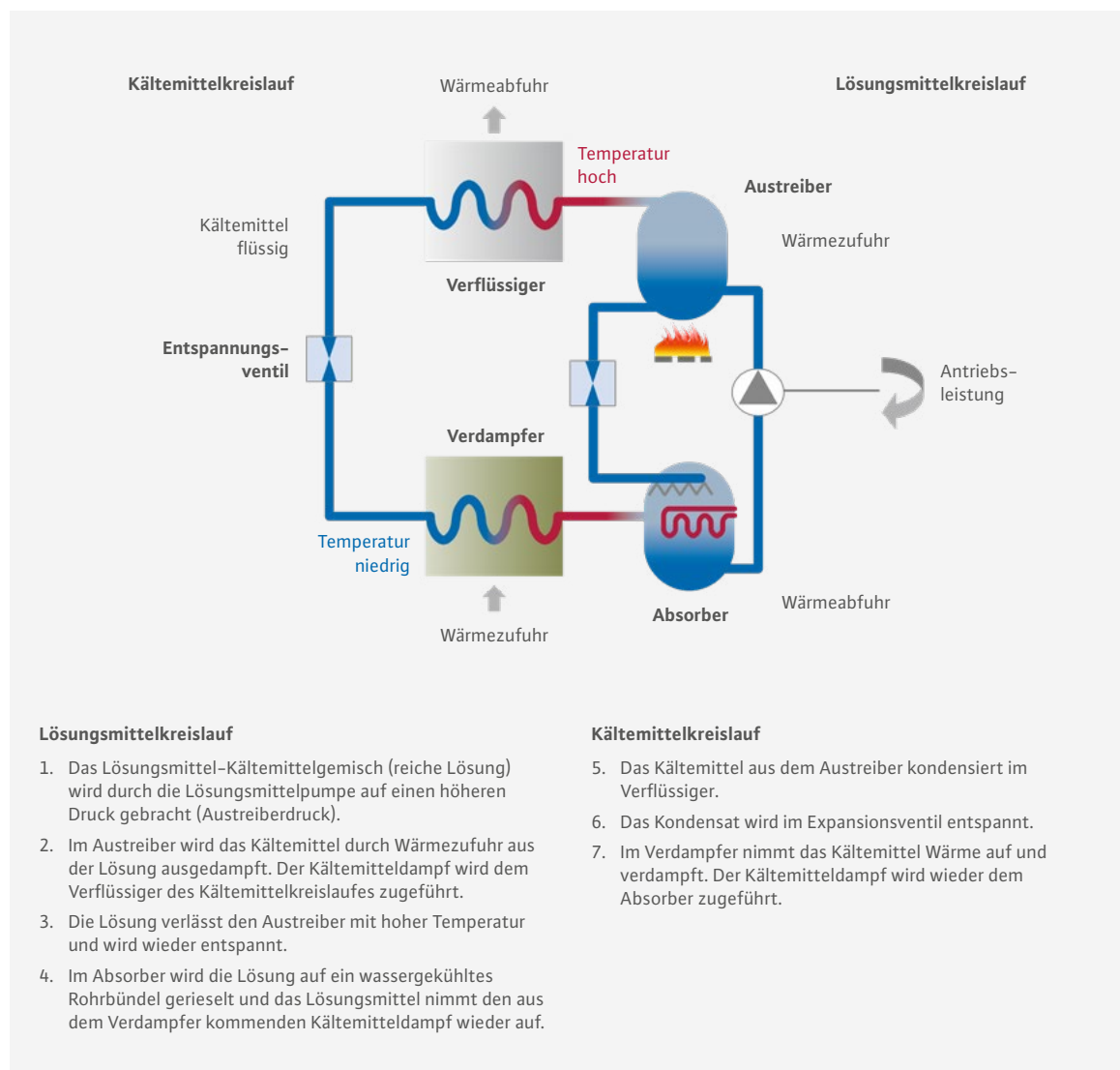


Abbildung 8: Schema Absorptions-Prozess in Kältemaschine und /oder Wärmepumpe

3.3.2 Geräte: Gas-Absorptions-Wärmepumpen/ Gas-Absorptions-Kühler

Gas-Absorptionswärmepumpen zum Heizen und Kühlen sind in verschiedenen Leistungsstufen marktfähig. Einen Überblick an Herstellern bzw. Anbietern enthält Anhang 2 ([23], [24]). Die verfügbaren Geräte sind skalierbar, so dass auch größere Leistungsanforderungen realisiert werden können.

Marktfähige Gas-Absorptions-Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen mit Luft als Wärmequelle (vgl. Abschnitt 2.4) werden außen aufgestellt. Sie sind damit platzsparend und benötigen in der Regel keine Abgasanlage.

Eingesetzt werden können die Geräte sowohl im Neubau als auch im Bestand. Wesentliche Einsatzfelder sind:

- » Beheizung/Kühlung von
 - › Bürogebäuden
 - › Supermärkten
 - › Einkaufszentren
 - › Hotels
 - › Lagerhallen
 - › ...
- » Erzeugung von Prozesswärme oder -kälte

Gasbetriebene Absorptions-Kühler (oder auch Absorptions-Kältemaschinen) finden ihre Anwendung aufgrund der großen Leistungsbreite (bis zu mehreren MW) zumeist in der Industrie oder größeren Gewerbebetrieben. Absorptions-Kühler können direkt oder indirekt durch Nutzung vorhandener Prozesswärme beheizt werden.

Die Wärmeabfuhr aus dem Verflüssiger und dem Absorber ist bei Absorptions-Kälteanlagen unerlässlich. Bei kleineren Anlagen ist die Nutzung z. B. zur Trinkwassererwärmung denkbar.

Für die Rückkühlung stehen Rückkühlwerke zur Aufstellung im Freien zur Verfügung, dabei unterscheidet man grundsätzlich folgende Typen:

- » Trockenrückkühler
- » Verdunstungsrückkühler (offener oder geschlossener Kreislauf)
- » Hybrid-Rückkühler
- » Glykolkühler



Abbildung 9: Trockenrückkühler POWER-LINE

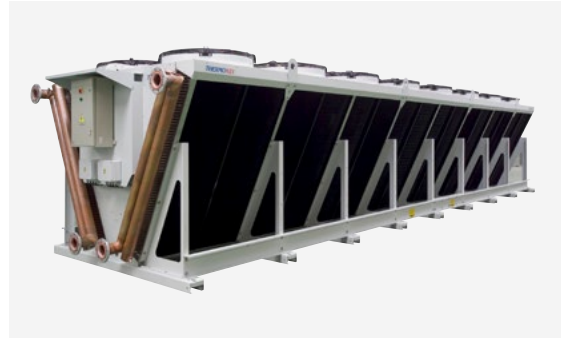


Abbildung 10: Trockenrückkühler POWER-J

In Verdunstungsrückkühlanlagen wird Wasser verrieselt oder versprüht. Mit der Fortluft können unter bestimmten Voraussetzungen legionellenhaltige Aerosole im Umkreis einer Anlage (über mehrere Kilometer) verbreitet werden. Zur Besiedlung mit Legionellen können dabei Biofilme (Nährstoffe), geeignete Temperaturen sowie ungünstige konstruktive Ausführungen beitragen. In der VDI-Richtlinie VDI 2047-2 [25] werden die Anforderungen für einen hygienisch einwandfreien Betrieb an Konstruktion, Planung und Errichtung sowie an den Betrieb und die Instandhaltung von Verdunstungsrückkühlern genannt.

Zudem schreibt der Verordnungsgeber mit der 42. BImSchV (Verdunstungskühlanlagenverordnung) [26] einen hygienisch einwandfreien Betrieb von Verdunstungskühlanlagen vor. Daraus ergeben sich an den Betreiber solcher Anlagen folgende Pflichten:

- » Anzeigepflicht für neue und bestehende Anlagen
- » Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung mit Risikoanalyse- und Bewertung hinsichtlich hygienischer Sicherheit mit den daraus abzuleitenden Maßnahmen
- » Meldepflicht bei Anstieg der Legionellenkonzentration im Rahmen der Überwachung.

3.4 Wärmequellen für Gasmotor- und Absorptions-Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen

Gas-Wärmepumpen nutzen neben dem Energiegehalt des Brennstoffes Gas Umgebungswärme als Wärmequelle bzw. Wärmesenke.

Wesentliche Wärmequellen/Wärmesenken können analog zu Elektrowärmepumpen sein:

- » Umgebungsluft (Außenluft)
- » Erdreich, z. B. mit Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren
- » Grundwasser
- » Abwärme aus industriellen Prozessen, Kühlkreisläufen, Wasser und Luft

Marktverfügbare Gasmotor-Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen nutzen Außenluft als Wärmequelle, Geräte mit Erdwärme als Wärmequelle befinden sich in der Entwicklung. Absorptions-Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen können Außenluft, Erdwärme oder Grundwasser als Wärmequelle nutzen, marktverfügbar sind derzeit Geräte mit Außenluft und Wasser als Wärmequelle.

3.5 Betriebsarten

Entsprechend den örtlichen Gegebenheiten können Wärmepumpen entweder allein oder in Verbindung mit anderen Heizungssystemen betrieben werden. Folgende Betriebsarten werden unterschieden:

- » monovalent
- » bivalent
- » multivalent

Monovalente Betriebsweise

Die Wärmepumpe deckt als alleiniger Wärme- bzw. Kälteerzeuger die gesamte Heiz- und Kühllast des Gebäudes.

Bivalente Betriebsweise

Die Auslegung der Wärmepumpe erfolgt für eine höhere Temperatur als die Auslegungstemperatur. Diese Temperatur nennt man Bivalenztemperatur (z. B. -5°C). Bei tieferen Temperaturen wird die Heizlast ganz oder anteilig von einem zweiten Wärmeerzeuger übernommen, z. B. durch Kombination einer Gas-Wärmepumpe mit einem Gas-Brennwertkessel.

Multivalente Betriebsweise

Bei einer multivalenten Betriebsweise werden mehrere Erzeuger mit einer Gas-Wärmepumpe kombiniert. Diese können sowohl konventionelle Wärmeerzeuger (Kessel) oder regenerative Energien sein. So ist beispielsweise die Einbindung von Abwärme oder Solarthermie möglich.

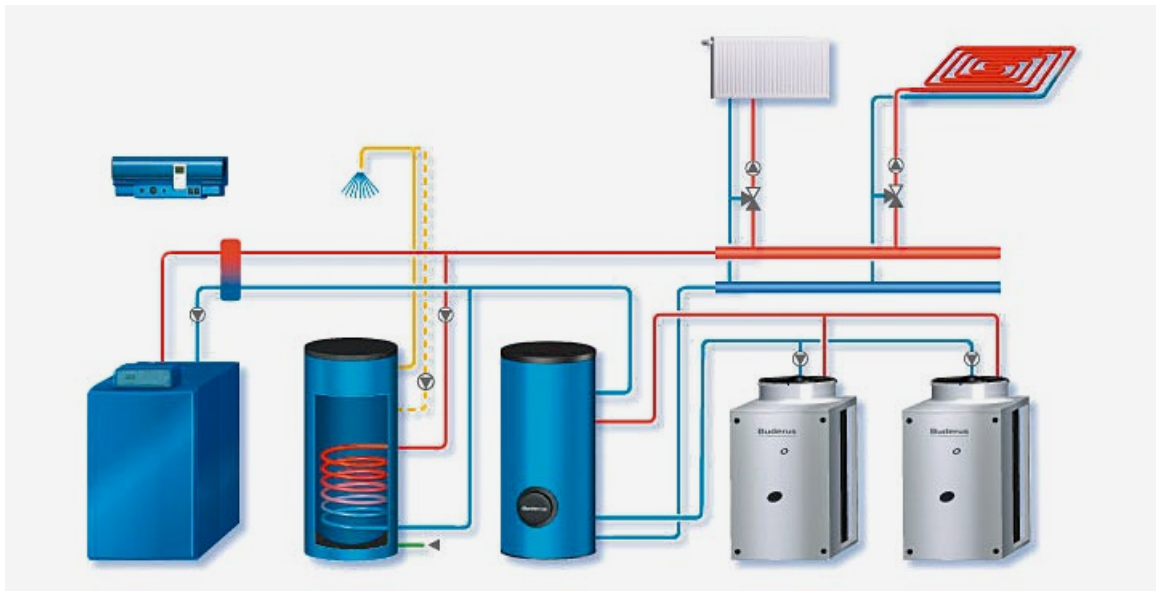


Abbildung 11: Bivalente Betriebsweise: Gas-Wärmepumpen kombiniert mit einem Gaskessel

3.6 Effizienz der Kälteerzeugung

Zur Beurteilung der Wärmepumpen- und Kälteanlagen sind verschiedene Kennzahlen zu ermitteln. Dabei ist das Verhältnis von eingesetzter zu aufgewendeter Energie maßgeblich.

Gasmotor-Wärmepumpen

Die energetische Bewertung von Gasmotor-Wärmepumpen für Heizung und Kühlung erfolgt über die Leistungszahlen:

Leistungszahl Kältemaschine:

$$EER = \frac{\text{Nennkälteleistung}}{\text{Antriebsleistung Gasmotor} + \text{elektrische Hilfsenergie}}$$

EER Nennkälteleistungszahl (energy efficiency ratio)

Leistungszahl Wärmepumpe:

$$COP = \frac{\text{Nennwärmeleistung}}{\text{Antriebsleistung Gasmotor} + \text{elektrische Hilfsenergie}}$$

COP Leistungszahl (coefficient of performance)

Zur Berechnung des jährlichen Endenergiebedarfes Kälte für direkt verdampfende Systeme (Kältemittelverteilung mit variablem Kältemittelmassenstrom) wird nach DIN V 18599 [2] analog zu elektrisch angetriebenen Wärmepumpen der EER-Wert (EER – energy efficiency ratio) in Verbindung mit dem Teillastfaktor $PLV_{av,gas}$ verwendet. Nach Norm sind für gasmotorische Kühlsysteme folgende Standardwerte zu verwenden: $EER_{gas} = 1,05 / PPV_{av,gas} = 0,95$. Alternativ können für den EER-Wert Produktkennwerte verwendet werden. Mit dem mittleren Teillastfaktor $PLV_{av,gas}$ werden realistische Betriebsbedingungen im Jahresverlauf unter Beachtung der tatsächlichen Nutzung berücksichtigt. Damit ergibt sich eine saisonale Leistungszahl:

$$SEER = EER \cdot PLV_{AV} = \frac{\text{jährliche Erzeuger-nutzkälteabgabe}}{\text{Endenergiebedarf}}$$

SEER Jahreskälteleistungszahl (seasonal energy efficiency)

PLV_{AV} mittlerer Teillastfaktor (part load value)

Die im Kühlfall aus dem Gasmotor zurückgewonnene Wärmeenergie (z. B. zur Nutzung für Trinkwassererwärmung) wird mit einem pauschalen Faktor von 0,4 berücksichtigt, sofern keine Produktkennwerte vorliegen.

Absorptions-Kühler und Absorptions-Wärmepumpen

Die energetische Effizienz von Absorptions-Kühlern und Absorptions-Wärmepumpen wird mit dem Wärmeverhältnis ζ beschrieben:

Wärmeverhältnis Kältemaschine:

$$\zeta_K = \frac{\text{Nennkälteleistung}}{\text{Wärmeleistung zur Austreiberbeheizung (Gasbrenner)}}$$

Wärmeverhältnis Wärmepumpe:

$$\zeta_W = \frac{\text{Nennwärmeleistung} + \text{Wärmeleistung Absorber}}{\text{Wärmeleistung zur Austreiberbeheizung (Gasbrenner)}} = \zeta_K + 1$$

Zur Berechnung des jährlichen Endenergiebedarfes Kälte für direkt gasbefeuerte Absorptions-Kältemaschinen werden in DIN V 18599 [2] Standardwerte für das Nenn-Wärmeverhältnis der Kältemaschine in Abhängigkeit von der Art der Lösung vorgegeben:

einstufig NH_3 /Wasser $\zeta_K = 0,6$

Wasser/LiBr double effect $\zeta_K = 1,3$

Mit dem mittleren Teillastfaktor $PLV_{av,gas}$ für Absorptions-Kältemaschinen werden wiederum realistische Betriebsbedingungen im Jahresverlauf unter Beachtung der tatsächlichen Nutzung berücksichtigt. Damit ergibt sich ein mittleres Nennwärmeverhältnis: $\zeta_{AV} = PLV_{av,gas} \cdot \zeta_K$

4. Kälteverteil- und -übergabesysteme

4.1 Systematisierung

Die Kühlung von Räumen ist dezentral oder über eine zentrale Kälteversorgung möglich. Bei zentraler Versorgung erfolgt die Verteilung der Kälte mit den Medien Kaltwas-

ser, Kaltluft oder Kältemittel. Entsprechend der Art der Kälteversorgung und dem Verteilmedium gibt es unterschiedliche Übergabesysteme. Einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten gibt Abbildung 12.

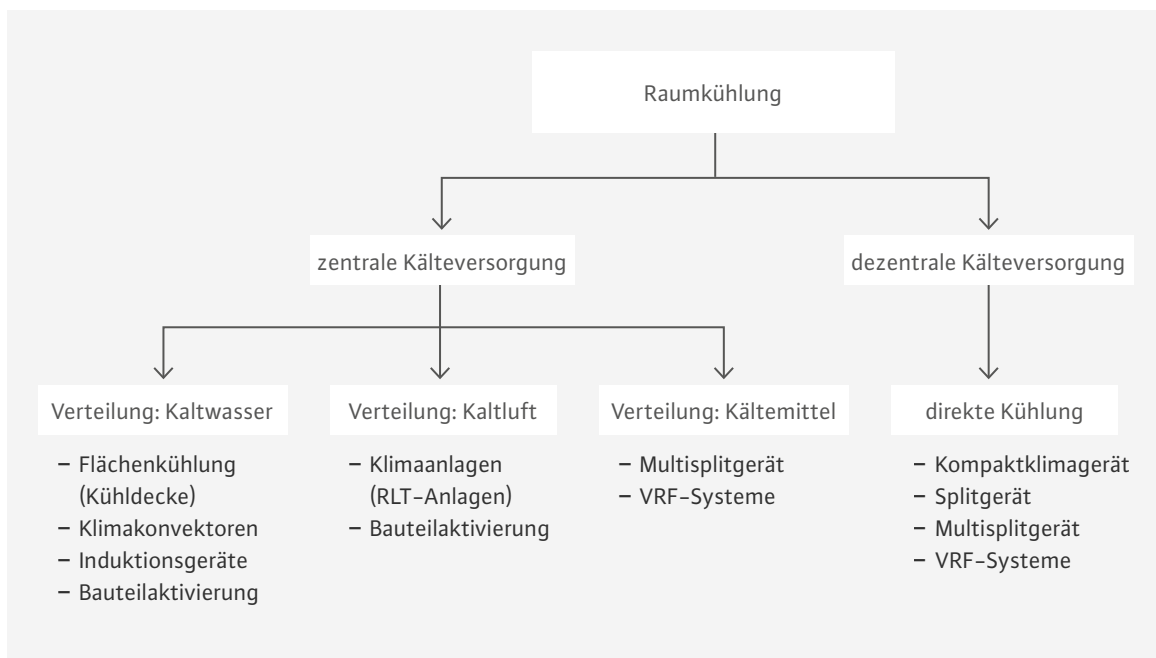


Abbildung 12: Möglichkeiten der Kälteversorgung und -verteilung

4.2 Zentrale Lüftungsanlage (RLT-Anlage)

Zentrale Raumlufthechnische Anlagen (RLT-Anlagen) realisieren den notwendigen Luftwechsel sowie die Konditionierung der Zuluft, die über Lüftungskanäle und Luftauslässe den Räumen zugeführt wird. Mit einer zentralen Lüftungsanlage werden die gewünschten Raumluftbedingungen realisiert. Dazu sind neben der reinen Lüftungsfunktion folgende thermodynamische Luftbehandlungsfunktionen möglich:

- » (H) Heizen
- » (K) Kühlen
- » (B) Befeuchten
- » (E) Entfeuchten

Klimaanlagen kommen immer dann zum Einsatz, wenn besondere Anforderungen an die Raumlufthechnische Qualität gestellt werden. Neben Heizen und Kühlen, z. B. in Bürogebäuden, kann im Gewerbe auch das Befeuchten und Entfeuchten der Zuluft notwendig sein. Beispiele für Nutzungen mit hohen Anforderungen an die Raumlufthechnische sind Museen, Schwimmbäder oder Lagerflächen für Produkte mit bestimmten Umgebungsanforderungen.

Die Klassifizierung der RLT-Anlagen erfolgt nach der Anzahl der gewährleisteten thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen in Lüftungsanlage, Teilklimaanlage und (Voll-)Klimaanlage.

zentrale Lüftungsanlage	Anzahl Behandlungsfunktionen	Thermodynamische Behandlungsfunktionen
Lüftungsanlage	keine	–
	eine	H/K
Teilklimaanlage	zwei	üblich: H+K/H+B/K+B/K+E
	drei	üblich: H+K+B/H+K+E/K+B+E
Klimaanlage	vier	H+K+B+E

Tabelle 7: Einteilung der RLT-Anlagen nach thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen

Weitere Möglichkeiten zur Systematisierung in der Lüftungs- bzw. Klimatechnik:

Einteilung		Erläuterung
Lüftungsfunktion	ohne	nur Umluft
	mit	mit Außenluft
Anordnung	zentral	Versorgung einer oder mehrerer Zonen
	dezentral	Gerät
Luftvolumenstrom	Konstant (KVS)	Konstanter Volumenstrom
	Variabel (VVS)	Variabler Volumenstrom
Bauart	Einkanal	ein Zuluftkanal: alle versorgten Räume mit gleichem Luftzustand
	Zweikanal	Luftführung getrennt in Warmluftkanal und Kaltluftkanal
	Induktion	Zentrale Aufbereitung der Primärluft: Luftauslass als Wärmeübertrager für die Sekundärluft im Raum (Induktionsgerät)
	Ventilator-Konvektor	dezentrale Wand- oder Deckengeräte
Wärmerückgewinnung	Regenerator	Rotationswärmeübertrager/Speicherplattenwärmeübertrager
	Rekuperator	Plattenwärmeübertrager (Gleichstrom, Gegenstrom, Kreuzstrom)
	Wärmerohre	Rippenrohr mit Kältemittel, welches verdampft und verflüssigt
	Wärmepumpe	Abluftwärmepumpe zum Heizen und Kühlen
Energietransport	Luft	Luft als Transportmittel
	Wasser	Wasser als Transportmittel
	Kältemittel	Kältemittel als Transportmittel
	Kombinationen	Kombinationsmöglichkeiten vorstehender Transportmittel
Druckerhältnisse	Niederdruck (ND)	kleine RLT-Anlagen: Druck: 2–10 mbar/Luftgeschwindigkeit: 2–8 m/s
	Hochdruck (HD)	große verzweigte Gebäude/RLT-Anlagen: 10–25 mbar/8–25 m/s

Tabelle 8: Weitere Möglichkeiten zur Systematisierung in der Lüftungs- und Klimatechnik

4.3 Flächenkühlung

Mit Hilfe von wasserführenden Raumflächensystemen kann die gewünschte thermische Behaglichkeit durch Kühlen umgesetzt werden. Vorteile einer Flächenkühlung sind:

- » geringe Übertemperaturen
- » hoher Strahlungsanteil
- » niedriger Geräuschpegel
- » geringe Luftgeschwindigkeiten

Vorrangig kommen Kühldecken sowie die thermische Bauteilaktivierung (TBA) zum Einsatz. Kühldecken sind gut und schnell regelbar, es können Kühlleistungen bis 120 W/m^2 (Behaglichkeitsgrenze) realisiert werden. Die thermische Bauteilaktivierung nutzt die Speichermasse von Wänden oder Decken zur Temperaturregulierung, durch die Wasser führende Rohrleitungen (ggf. auch Luftleitungen) verlaufen. Wärme bzw. Kälte wird in der Bauwerksmasse gespeichert und zeitverzögert mit sehr geringer Über- bzw. Untertemperatur an die Räume abgegeben. Es können Kühlleistungen bis 40 W/m^2 erreicht werden.

Anwendung findet eine thermische Bauteilaktivierung z. B.:

- » zur Dämpfung von Lastspitzen und/oder Pufferung von Überschüssen (z. B. bei Abwärmenutzung oder Solarthermie)
- » bei Nutzung als Kälteübergabesystem: nächtliche Passivkühlung mit Erdsonde/-kollektor o. Ä.

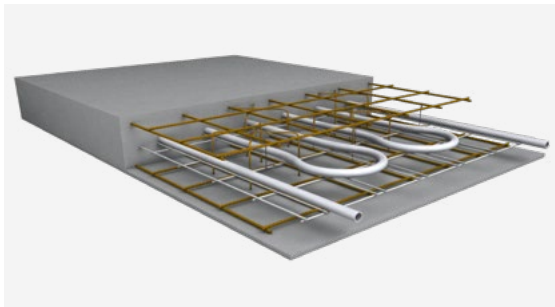


Abbildung 13: Thermische Bauteilaktivierung



Abbildung 14: Deckenstrahlungsheizung und Kühlkonvektoren zum Heizen und Kühlen

4.4 Klimakonvektoren

Klimakonvektoren oder Gebläsekonvektoren können je nach Modell die Umluft kühlen, heizen, be- und entfeuchten. Die Luft wird aus dem Raum angesaugt und über einen Ventilator wieder ausgeblasen. Die Kühlung erfolgt dabei mit Kaltwasser, es sind daher keine Kältemittelleitungen zu den dezentralen Geräten erforderlich. Klimakonvektoren können mit anderen wassergeführten Kühlsystemen (z. B. mit einer Flächenkühlung) kombiniert werden. Der Einsatz im Gewerbe erfolgt beispielsweise in Hotelzimmern, Büro- und Verwaltungsgebäuden oder Ausstellungs- und Verkaufsräumen.

Je nach Einsatzort sind Konvektoren in verschiedenen Ausführungen erhältlich:

- » mit Deckenverkleidung
- » zum Einbau in eine Zwischendecke oder Brüstung
- » frei stehende Geräte



Abbildung 15: Klimakonvektor Venkon Deckeneinbau



Abbildung 16: Klimakonvektor Venkon Standgerät

4.5 Dezentrale Inneneinheiten

In einem System von dezentralen Inneneinheiten (Multi-splitanlagen) wird Raumluft über diese angesaugt und gekühlt oder erwärmt. Der Transport der Kälte oder Wärme erfolgt durch kältemittelführende oder kälteträgerführende (wassergeführte) Rohrleitungen. Ein Vorteil ist der

geringe Querschnitt der Rohrleitungen gegenüber einer zentralen Lüftungsanlage. Weitere Vorteile sind die individuelle Regelbarkeit, eine geringe elektrische Leistung für den Antrieb der Ventilatoren in den Inneneinheiten und die große Anzahl anschließbarer Geräte auch unterschiedlicher Bauart.

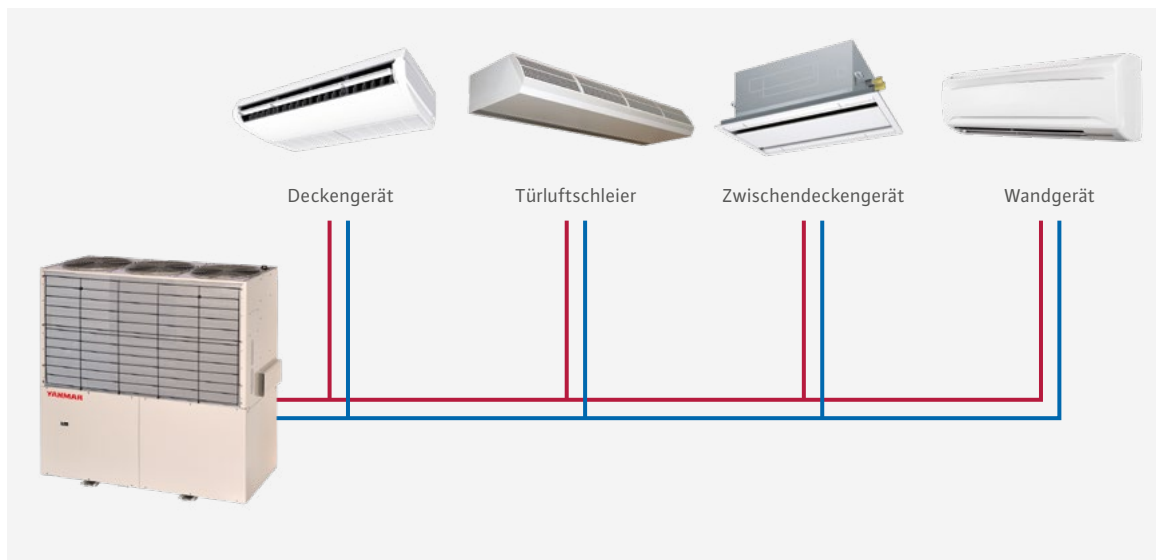


Abbildung 17: Innengeräte für direkt verdampfendes Multisplitsystem (Beispiele schematische Darstellung)

Bei kältemittelführenden Systemen (VRF- oder VRV-Systeme) wird das Kältemittel direkt zu den Innengeräten geführt. Beim Wärmeaustausch mit der Raumluft verdampft das flüssige Kältemittel und wird zurück zur Zentraleinheit geführt. Bei VRF-Systemen (variable refrigerant flow) oder auch herstellerspezifischen VRV-Systemen (variable refrigerant volume) ist der Kältemittelmassestrom bzw. der Kältemittelvolumenstrom variabel und damit an die jeweiligen Anforderungen anpassbar.

Wird an verschiedenen Inneneinheiten ein gleichzeitiges Heizen und Kühlen gefordert, kommen 3- oder 4-Leitersysteme zum Einsatz. Üblich sind 3-Leitersysteme, hier sind zwei Leitungen mit verschiedenen Vorlauftemperaturen und eine gemeinsame gemischte Rücklaufleitung vorhanden. Ein Umschaltventil realisiert die gewünschte Anforderung. 4-Leiter bestehen aus zwei Vor- und Rückläufen mit unterschiedlichen Temperaturen.

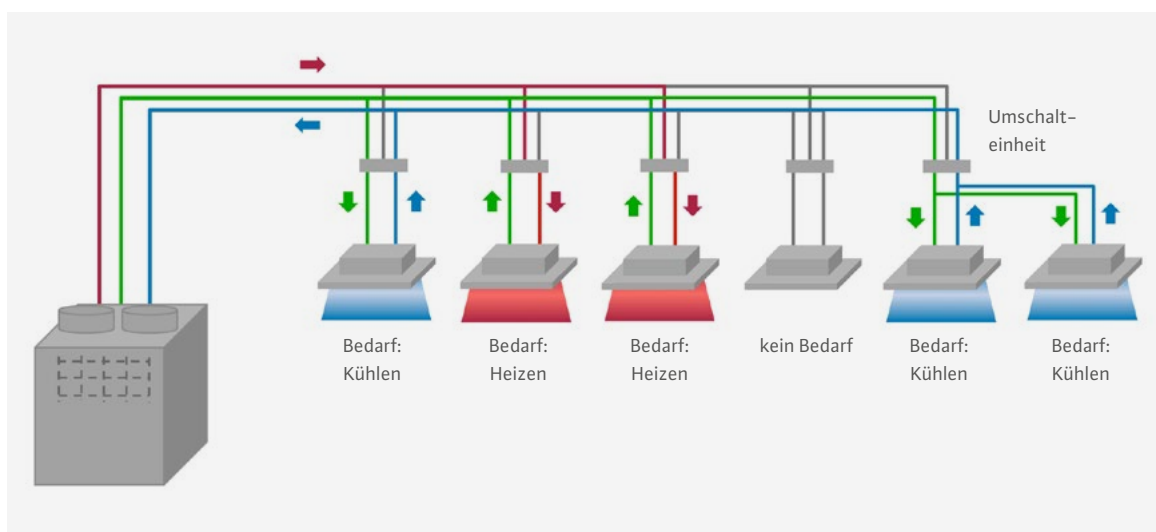


Abbildung 18: Schematische Darstellung 3-Leitersystem mit unterschiedlichen Wärme- bzw. Kälteanforderungen

5. Beispiele

5.1 Systeme mit Gasmotor-Wärmepumpen

Gasmotor-Wärmepumpe(n) mit Hydrobox oder Kompaktmaschine: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Die gasmotorische Wärmepumpe wird über einen Wärmeübertrager (Hydrobox) an wassergeführte Wärme- bzw. Kältesysteme angeschlossen. Eine Wärmerückgewinnung der Motorabwärme im Kühlbetrieb ist optional, z. B. zur Trinkwassererwärmung oder in der Übergangszeit zum

Heizen. Bei einer Gasmotor-Wärmepumpe als Kompaktgerät ist der Wärmeübertrager integriert, Wärme und Kälte werden jeweils direkt an ein wassergeführtes System übergeben. Es sind keine Kältemittelleitungen außerhalb der Wärmepumpe notwendig. Eine Wärmerückgewinnung der Motorabwärme im Kühlbetrieb ist ebenfalls optional möglich.

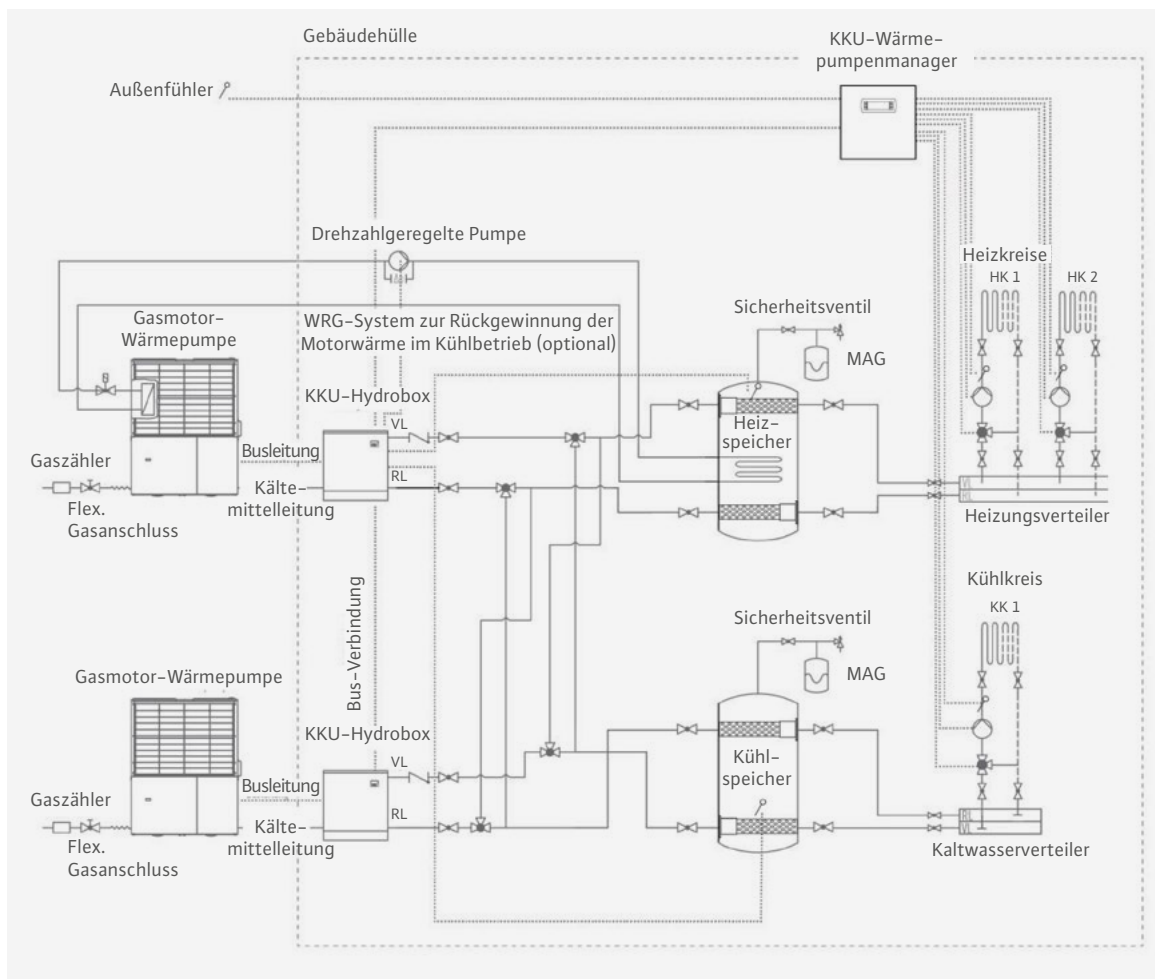


Abbildung 19: Systemschema: Gasmotor-Wärmepumpe mit Hydrobox zum Heizen und Kühlen

**Gasmotor-Wärmepumpe mit VRF-Innengeräten:
Luft-Luft-Wärmepumpe**

An die Gasmotor-Wärmepumpe werden über Kältemittelleitungen VRF-Innengeräte angeschlossen. In den Innengeräten wird die Zuluft je nach Anwendungsfall auf-

geheizt, gekühlt oder entfeuchtet. Durch einen variablen Kältemittelmassestrom erfolgt eine direkte Leistungsanpassung im Innengerät. Je nach Anforderung werden die Anlagen üblicherweise als 2- oder 3-Leiter-Systeme ausgeführt, vgl. Abschnitt 3.5.

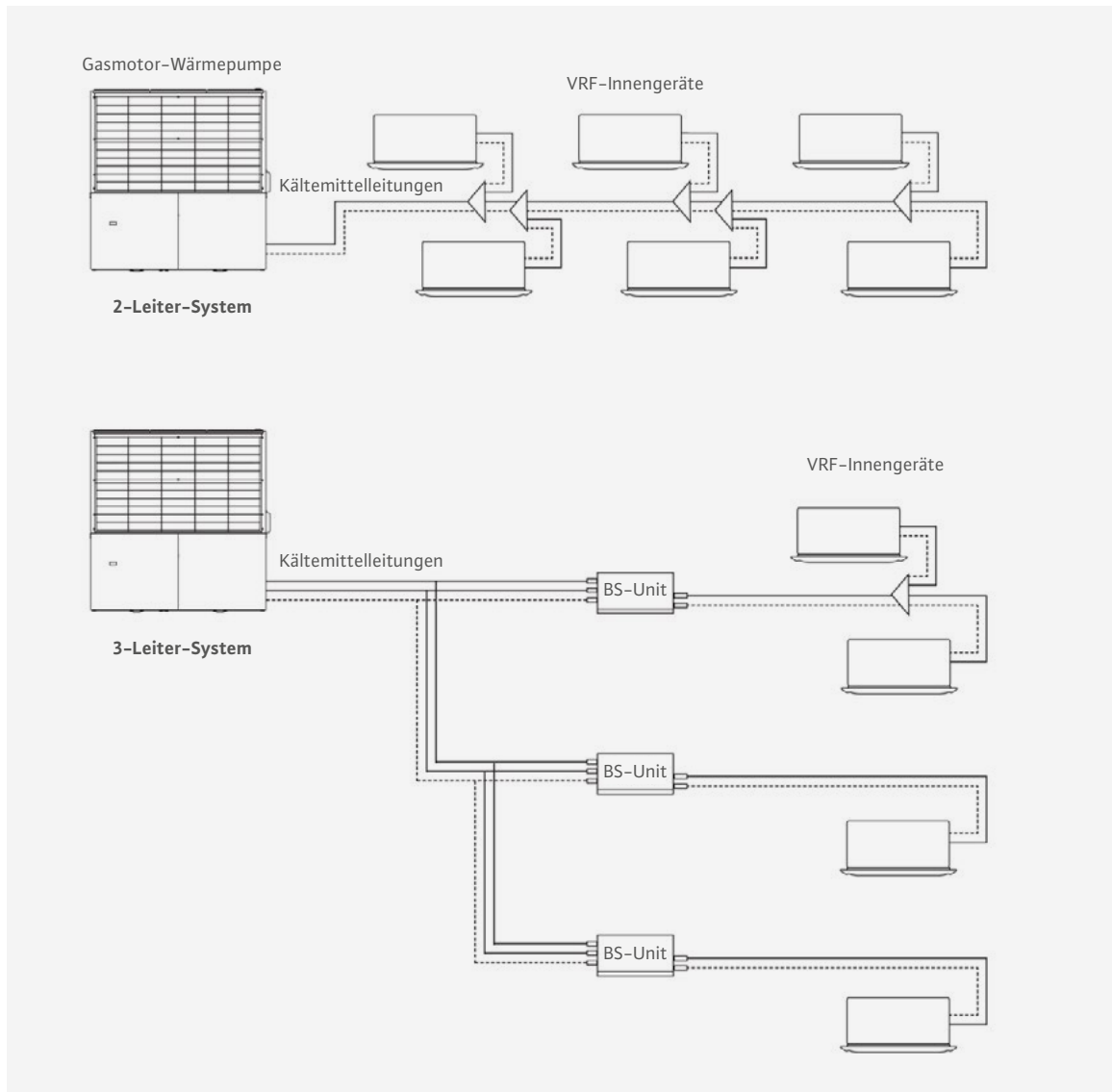


Abbildung 20: Systemschema: Gasmotor-Wärmepumpe mit VRF-Innengeräten

Gasmotor-Wärmepumpe mit Raumluftheizungsanlage: Luft-Luft-Wärmepumpe mit RLT-Kit

Die Gasmotor-Wärmepumpe stellt die Heiz- bzw. Kälteleistung bereit, Kältemittelleitungen führen zu einem RLT-Kit, womit die Gasmotor-Wärmepumpe an das Heiz- oder Kühlregister einer Lüftungsanlage angeschlossen ist.

Gasmotor-Wärmepumpe mit verschiedenen Übergabesystemen (Mischsystem)

Die Gasmotor-Wärmepumpe kann an verschiedene Verteil- und Übergabesysteme angeschlossen werden, so kann beispielsweise über ein wassergeführtes System geheizt werden. Über den Anschluss der VRF-Innengeräte mit Kältemittelleitungen ist eine Kühlung möglich.

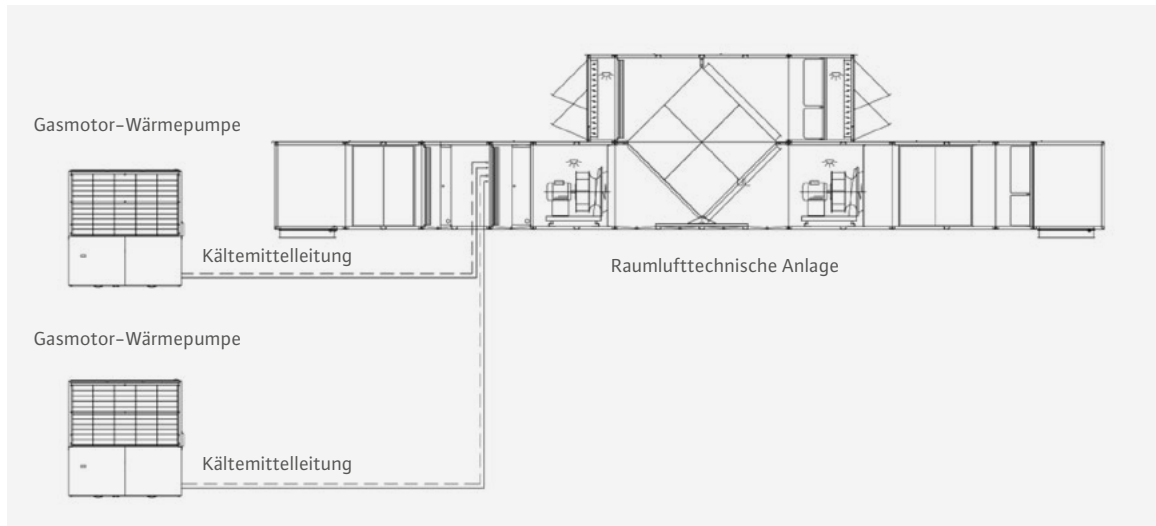


Abbildung 21: Systemschema: Gasmotor-Wärmepumpe mit RLT-Kit

5.2 Einsatzbereiche und Praxisbeispiele

Die beschriebenen Wärme-/Kälteerzeuger sind für Heizung, Kühlung und Trinkwassererwärmung in Industrie,

Gewerbe, Hotels und Dienstleistungsunternehmen geeignet. Zudem ist ein Einsatz zur Erstellung von Prozesskälte in Industrie und Gewerbe möglich.

Technologie	Einsatzmöglichkeit	Beispiele
Gasmotor-Wärmepumpe	Wärmeerzeugung Klimatisierung Prozesskühlung	Gewerbe Handel Dienstleistung Logistik
Absorptions-Wärmepumpe	Wärmeerzeugung Klimatisierung Prozesskühlung	Lebensmittelindustrie Öffentliche Einrichtungen Rechenzentren
Absorptions-Kältemaschine	Klimatisierung Prozesskühlung	Büroräume Hallen zur Lagerung von Lebensmitteln pharmazeutischen Produkten u. s. w.

Tabelle 9: Einsatzgebiete gasbetriebener Kälteerzeuger

Nachfolgend werden die Randbedingungen und technischen Parameter von ausgewählten realisierten Bauvorhaben erläutert.

Heizung und Kühlung am Beispiel einer Lager- und Kommissionierhalle (Schwank GmbH)

Für die Temperierung einer Lager- und Kommissionierhalle mit 2.000 m² auf Temperaturen von 18 °C bis 25 °C kommen zwei Gasmotor-Wärmepumpen der Firma Schwank zum Einsatz. Die Verteilung erfolgt über Kältemittelleitungen zu 10 VRF-Innengeräten. Die Heizlast der Halle beträgt 160 kW, die Kühllast 124 kW.



Abbildung 22: Lagerhalle mit Gasmotor-Wärmepumpen

Prozesskühlung am Beispiel eines Obstgutes (KKU Concept GmbH mit TFH Bochum):

Für die Kühlung von vier Obstkühlräumen kommen zwei Gasmotor-Wärmepumpen der Firma Yanmar (Gerät: 2 x ENCP 850 J) zum Einsatz. Der Kühlbetrieb erfolgt ganzjährig, die erforderliche Kühlleistung beträgt 120 kW. Die Temperaturregelung erfolgt über eine individuell entwickelte DDC-Regelung.⁴ Die anfallende Motorabwärme beim Betrieb der gasmotorischen Kühlaggregate mit einer Leistung von 60 kW und einem Temperaturniveau von 65 °C wird für die Abtauung der Verdampfer und die Trinkwassererwärmung genutzt.



Abbildung 23: Kühlung Obstgut

⁴ DDC-Regler (direct digital control): digitale, mikroprozessorgestützte Regelung

6. Vorteile des Energieträgers Erdgas bei der Kälteerzeugung

Konventionelle Kompressionskältemaschinen mit Strom als Energieträger sind weit verbreitet. Beim Einsatz von Gas als Energieträger kann Primärenergie eingespart und damit ein Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden. Neben Erdgas ist bei thermischen Kälteanlagen auch die Einbindung von industrieller Abwärme, Wärme aus Heizkraftwerken, KWK-Anlagen oder Solarthermie möglich.

Energieträgerspezifische Faktoren für Treibhausgasemissionen und ausgewählte Luftschadstoffe sind in Tabelle 10 angegeben. Die Treibhausgas- und Luftschadstofffaktoren sind Standarddaten aus Gemis 4.94 und beinhalten vorgelagerte Stufen der Prozesskette. Sie spiegeln mittlere Verhältnisse für Deutschland wider und berücksichtigen globale Emissionen für Erdgas. Neben dem Treibhausgas CO₂ sind CO₂-Äquivalente ein Maß für die Klimawirkung, in den CO₂-Äquivalenten sind weitere für den Treibhausgaseffekt verantwortliche Gase eingerechnet.

Energieträger ^a	spezifische Emissionen [g/kWh _{th}]				
	CO ₂ -Äquivalent	CO ₂	SO ₂	NO _x	Staub
Erdgas	250	228	0,01	0,19	0,01
Fernwärme-Mix	298	275	0,13	0,40	0,02
Strom – allgemeiner Strommix	565	538	0,31	0,52	0,04

a Die angegebenen Kennwerte für Brennstoffe und Fernwärme basieren auf Verhältnissen des Jahres 2010 und werden üblicherweise auch für aktuelle Betrachtungen herangezogen, da in den zugrundeliegenden Prozessen/Prozessketten innerhalb dieses Zeitraums keine maßgebliche Änderung der Emissionsbilanz bewirkt wurde. Für den lokalen Strommix werden abweichend davon aktuellere Werte (2015) angegeben, da die Emissionsbilanz der Stromproduktion – u. a. durch den steigenden Anteil Erneuerbarer Energien – einer dynamischeren Entwicklung unterliegt.

Tabelle 10: Treibhausgas- und Luftschadstofffaktoren verschiedener Energieträger nach Gemis [25]

Aufgrund der ab dem Frühjahr bis in den Herbst geringeren Wärmeabnahme sowie des steigenden Kälteenergiebedarfes in den Sommermonaten sorgen gasbetriebene

Kälteanlagen bzw. direkt und indirekt beheizte Absorptionskühler für eine gleichmäßigere Auslastung der Versorgungsnetze.

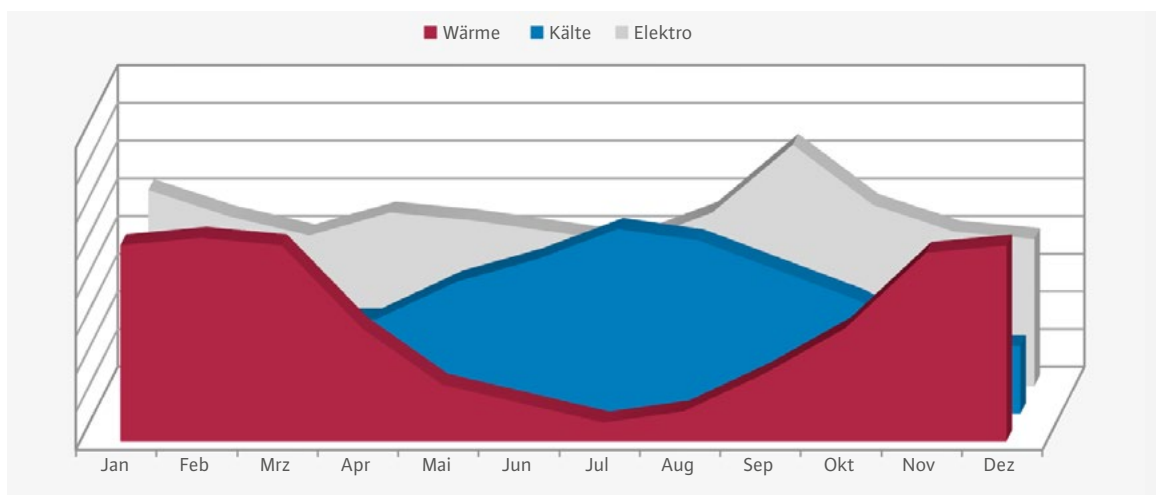


Abbildung 24: Jahresgang Energieverbrauch (schematische Darstellung)

7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

7.1 Berechnungsgrundlagen

Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen erfolgen üblicherweise nach VDI 2067 [26]. In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind verschiedene Kostenarten einzubeziehen:

- » Bedarfsgebundene (oder auch verbrauchsgebundene) Kosten
- » Kapitalgebundene Kosten
- » Betriebsgebundene Kosten
- » Sonstige Kosten

Die Bestandteile der Kostenarten sind beispielhaft in Tabelle 11 angegeben, sie können je nach Anlagenart variieren.

Kostenarten nach VDI 2067 [9]	
Bedarfsgebundene Kosten	· Energiekosten (Grundpreis und Arbeitspreis) · Kosten für Hilfsenergie · Kosten für Betriebsstoffe (Schmiermittel, ...)
Kapitalgebundene Kosten	In jährliche Kosten umgerechnete Investitionskosten, bestehend aus: · Kosten für die Anlagentechnik: Kälteerzeuger, Verteilnetz und Übergabesysteme, Ventilatoren, ... · Kosten für bauliche Anlagen: Technikzentrale, · Kosten für Maßnahmen zum Schallschutz und Wärmedämmung der Leitungen · Anschlusskosten
Betriebsgebundene Kosten	· Bedienen · Inspizieren · Reinigen und Warten · Inspizieren · Instandsetzen
Sonstige Kosten	· Planungskosten · Versicherung, Steuern · allgemeine Abgaben, anteilige Verwaltungskosten · Gewinn und Verlust · Abbruch- und Entsorgungskosten

Tabelle 11: Beispiele für Bestandteile der Kostenarten nach VDI 2067 [26]

Die **bedarfsgebundenen Kosten** basieren auf dem Jahresenergiebedarf eines Gebäudes mit seiner gebäudetechnischen Anlage. Die Berechnung des Jahresenergiebedarfes für Kälte, Wärme und ggf. Warmwasserbereitung sowie für den notwendigen Hilfsenergieaufwand erfolgt meist nach DIN V 18599, vgl. Abschnitt 1.4. Wenn für Bestandsgebäude eine derartige Berechnung nicht möglich oder zu aufwändig ist, lässt sich der Bedarfswert aus dem (gemessenen) Verbrauchswert abschätzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Verbrauchswert Verluste der Anlage für die Wärmeübergabe, Wärmeverteilung und Wärmeerzeugung sowie ggf. ein Wärmebedarf für Warmwasser enthalten ist, deren Anteile sich bei einer grundlegenden Sanierung der Anlage verändern. Bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kommt den anzusetzenden Energiepreisen eine besondere Bedeutung zu.

Die **kapitalgebundenen Kosten** beinhalten die in jährliche Kosten umgerechneten Investitionen. Die Berechnung kann mit der Annuitätsmethode erfolgen. Dafür ist ein Betrachtungszeitraum festzulegen. Dieser kann z. B. die rechnerische Nutzungsdauer der Komponenten nach VDI 2067-1 sein.

Für die der Berechnung der einzelnen Kostenbestandteile zugrundeliegende notwendige rechnerische Nutzungsdauer sowie für die Aufwände für Wartung, Instandsetzung und Bedienung werden in VDI 2067-1 Werte angegeben, vgl. Tabelle 12. Alternativ können auch konkrete Daten, zum Beispiel für den Wartungsaufwand aus Angeboten, angesetzt werden.

Anlagenkomponente		rechnerische Nutzungs- dauer Jahre	Aufwand für Instand- setzung %	Aufwand für Wartung und Inspektion %	Aufwand für Bedienen h/a
2	Raumluftechnik, Raumkühltechnik				
2.1	Nutzenübergabe				
2.1.3	Kälte				
2.1.3.1	Kühldecke				
	Kassetten bzw. Langfeldplatten mit Wasserrohren	20	1	1	0
	Verdampfer (Roll-Bond-Elemente) mit integrierten Wasserkanälen	30	0	0	0
	Kühlsegel	20	1	1	1
2.1.8	Luftführung/Luftkanäle	30	0	1	0
2.2	Verteilung				
2.2.2	Verteilung Kaltwasser				
	Rohrleitungen	40	1	0	0
	Dämmung	20	1	0	0
2.3	Erzeugung				
2.3.2	Kälte				
2.3.2.1	Kältemaschine, indirekt				
2.3.2.1.1	Kompressions-Kälteanlagen	15	2	1	1
2.3.2.1.2	Absorptions-Kälteanlagen	18	1,5	1	0
2.3.2.2	Direktverdampfer Einzelgeräte	12	2	2	0

Tabelle 12: Rechnerische Nutzungsdauer, Aufwand für Instandsetzung, Wartung/Inspektion und Bedienen nach VDI 2067-1 (Auszug) [26]

7.2 Förderungen

Einfluss auf die jährlichen Kapitalkosten und damit auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage haben **Investitionsförderungen**. Zur Steigerung der Energieeffizienz von Klima- und Lüftungsanlagen stellt die Bundesregierung Unternehmen und Kommunen verschiedene Förderangebote zur Verfügung. Entsprechend der Veröffentlichung vom BMWi (Mai 2017): „Die Luft ist rein – Effiziente Klima- und Lüftungsanlagen helfen Energie sparen“ [27] gibt es derzeit folgende Zuschüsse und zinsverbilligte Kredite:

Zuschuss zur Beratung

Im Programm Energieberatung im Mittelstand und Energieberatung Kommunen werden Zuschüsse zu den Beratungskosten zur Identifizierung von Energiesparpotenzialen vergeben.

Zuschuss zur Finanzierung

Bezuschusst wird im Programm „Querschnittstechnologien“ zum Beispiel die Finanzierung des Kaufs von Ventilatoren, Anlagen zur Wärmerückgewinnung und die Optimierung technischer Systeme.

Das Förderprogramm „Kälte-Klima-Richtlinie“ bezuschusst Klimaschutzmaßnahmen, z. B. die Errichtung oder Sanierung von Kälte- oder Klimaanlage.

Zinsvergünstigte Kredite

Die KfW bietet mit BMWi-Mitteln vergünstigte Kredite mit Tilgungszuschüssen für die Sanierung von Nichtwohngebäuden oder für Einzelmaßnahmen in Unternehmen, z. B. an Klima- und Lüftungsanlagen oder für Gebäudeautomation.

Zuschuss zu innovativen Energiedienstleistungen

Das Pilotprojekt Einsparzähler fördert ausgewählte „smarte“, IT-gestützte Projekte, um Energiesparlösungen zu erproben und marktfähig zu machen – auch für Klima- und Lüftungsanlagen.

Die Höhe der Förderungen beziehungsweise die zu erbringenden technischen Anforderungen unterliegen einer regelmäßigen Anpassung durch den Ordnungsgeber. Eine aktuelle Übersicht von Fördermöglichkeiten sowie weitere Informationen sind unter www.deutschland-machts-effizient.de zu finden.

Die angegebenen Fördermöglichkeiten (Stand 02/2018) erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Anhang 1 **Normen, Vorschriften, Regeln und Richtlinien (Auswahl)****Vorschriften**

EnEV 2014	Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 16. Oktober 2013 (Energieeinsparverordnung – EnEV 2014) mit den Anforderungen an Bauvorhaben ab 01.01.2016
EEWärmeG 2011	Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), 2011
42. BImSchV	Verordnung über Verdunstungskühlanlagen, Kühltürme und Nassabscheider vom 12. Juli 2017 (BGBl., S. 2379; 2018, S. 202)

DIN-Normen

DIN V 18599	Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (elf Normenteile)
-------------	--

Richtlinien

DVGW-TRGI G 600	Technische Regel für Gasinstallationen
VDI 2067	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung
VDI 2078	Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)
VDI 2047 Teil 2	Rückkühlwerke Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen (VDI-Kühlturmregeln)

Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5: Raumtemperatur, Juni 2010

Anhang 2 Hersteller und Anbieter Gasmotor-Wärmepumpe (Auswahl)

		Bauart	Nennleistung kW		Geräte oder Hersteller
			Kühlen	Heizen	
BERNDT ENERSYS GmbH & Co. KG Industriegebiet Otto-Hahn-Straße 6 53501 Gelsdorf	T: 02225 9132-0 F: 02225 9132-39 info@berndt-enersys.de www.berndt-enersys.de	Luft-Wasser- Wärmepumpe, Luft-Luft- Wärmepumpe	45 – 85	53 – 95	YANMAR
		Sole-Wasser- Wärmepumpe in Entwicklung	20 – 72	20 – 75	
GoGas Goch GmbH & Co. KG Zum Ihnedieck 18 44265 Dortmund	T: 0231 46505-0 F: 0231 46505-88 info@gogas.com www.gogas.com				Aisin
Alfred Kaut GmbH & Co. Elektrizitätsgesellschaft Windhukstraße 88 42277 Wuppertal	T: 0202 2682-0 F: 0202 2682-100 info@kaut.de www.kaut.de	Luft- Wärmepumpe	45 – 85	50 – 95	Panasonic
KKU CONCEPT GmbH Elbestraße 4 45768 Marl	T: 02365 92490-44 F: 02365 92490-59 info@kku-concept.de www.kku-concept.de	Luft-Wasser- Wärmepumpe Luft-Luft- Wärmepumpe	45 – 85	53 – 95	YANMAR
		Sole-Wasser- Wärmepumpe in Entwicklung	20 – 72	20 – 75	
Schwank GmbH Bremerhavener Straße 43 50735 Köln	T: 0221 71 76-0 F: 0221 71 76-288 info@schwank.de www.schwank.de	Luft- Wärmepumpe	45 – 85	50 – 95	Panasonic
GASKLIMA GmbH Bahnhofstraße 6a 63526 Erlensee	T: 6183 91946-15 F: 6183 91946-45 info@gasklima.de www.gasklima.de		bis 5.274	bis 3.634	World Energy
			bis 352	bis 286	Yazaki
ROBUR S.p.A. Via Parigi 4/6 24040 Verdellino (Bg) Italien	T: +39035 888-512		16,9	41,3	Hersteller
Trane Klima- und Kältetechnisches Büro GmbH Pionierstraße 3 82152 Krailling	T: 089 895146-0 F: 089 895146-81 zentrale@ trane-roggenkamp.de www.trane-roggenkamp.de		165 – 5.700		Trane

Anhang 3 Literaturverzeichnis

- [1] CLIMATE CHANGE 25/2014: Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungskennzahl 3710 41 115 UBA-FB 001939
- [2] DIN V 18599:2011–12. Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (11 Normenteile)
- [3] VDI 2078: 2015–06: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)
- [4] DIN EN ISO 7730: 2006–05: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit
- [5] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5: Raumtemperatur, Juni 2010
- [6] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 16. Oktober 2013 (Energieeinsparverordnung – EnEV 2014)
- [7] Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&qid=1450192636370&from=DE>. Last access: 03
- [8] DIN 4108–2:2013–02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [9] DIN SPEC 15240:2013–10: Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Energetische Inspektion von Klimaanlageanlagen
- [10] EEWärmeG 2011: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), 2011
- [11] EE-RL 2009: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.04.2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, DE, 05.06.2009
- [12] DIN V 18599 Bbl.2: 2012–06: Beschreibung der Anwendung von Kennwerten aus der DIN V 18599 bei Nachweisen des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG)
- [13] ITG Dresden GmbH: Erarbeitung einer EnEV-Bewertung für Gasmotorische Wärmepumpen der Firma YANMAR, Im Auftrag der KKKU CONCEPT GmbH
- [14] DIN EN 12831: 2003. Heizungsanlagen in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast

Anhang 4 Literaturverzeichnis (Fortsetzung)

- [15] BDEW: Heizung im Gewerbe – Handbuch zur Anlagentechnik, Stand Oktober 2016
- [16] BDEW: Warmwasser im Gewerbe – Handbuch zu Warmwasserbereitungssystemen, Stand November 2016
- [17] DIN EN 378: 2017-03: Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
- [18] <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/treibhauspotentiale-global-warming-potential-gwp>
- [19] KKK CONCEPT GmbH: Gasmotor-Wärmepumpe der Systemlöser, Broschüre, Stand Oktober 2015
- [20] Schwank GmbH: Gaswärmepumpen – Heizen & Kühlen mit nur einem System
- [21] Alfred Kaut GmbH & Co.: Panasonic VRF-Systeme
- [22] GoGaS Goch GmbH & Co. KG: GWP E – Gasmotor-Wärmepumpe
- [23] <https://www.roburshk.de/produktunterlagen>, Stand 2018
- [24] GASKLIMA GmbH: Produktinformationen World Energy
- [25] VDI 2047 Teil 2: 2015-01 Rückkühlwerke Sicherstellung des hygiene-gerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen (VDI-Kühlturmregeln)
- [26] 42. BImSchV: Verordnung über Verdunstungskühlanlagen, Kühltürme und Nassabscheider vom 12. Juli 2017 (BGBl., S. 2379; 2018, S. 202)
- [27] IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 4.94.
- [28] VDI 2067 Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung, September 2012
- [29] Die Luft ist rein – Effiziente Klima- und Lüftungsanlagen helfen Energie sparen, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Mai 2017
- [30] Recknagel/Sprenger/Albers: Taschenbuch für Heizung + Klima-Technik: 77. Auflage 2015/2016
- [31] ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.: Marktübersicht Gaswärmepumpen 2017/18

Anhang 5 **Bildnachweis**

Titel:	BDEW
Abbildung 1:	ITG Dresden GmbH
Abbildung 2:	ITG Dresden GmbH
Abbildung 3:	ITG Dresden nach VDI 2078 [3]
Abbildung 4:	ITG Dresden GmbH
Abbildung 5:	ITG Dresden auf Basis ASUE e.V.
Abbildung 6:	KKU Concept GmbH
Abbildung 7:	Schwank GmbH
Abbildung 8:	ITG Dresden GmbH auf Basis ASUE e.V.
Abbildung 9:	ThermoKey Deutschland Gesellschaft für Kälte- und Klimatechnik mbH
Abbildung 10:	ThermoKey Deutschland Gesellschaft für Kälte- und Klimatechnik mbH
Abbildung 11:	Bosch Thermotechnik GmbH, Buderus Deutschland
Abbildung 12:	ITG Dresden GmbH
Abbildung 13:	© Uponor GmbH
Abbildung 14:	FRENGER SYSTEMEN BV Heiz- & Kühltechnik GmbH
Abbildung 15:	Kampmann GmbH
Abbildung 16:	Kampmann GmbH
Abbildung 17:	ITG Dresden GmbH, Produktbilder: KKU CONCEPT GmbH
Abbildung 18:	ITG Dresden GmbH
Abbildung 19:	KKU CONCEPT GmbH
Abbildung 20:	KKU CONCEPT GmbH
Abbildung 21:	KKU CONCEPT GmbH
Abbildung 22:	Schwank GmbH
Abbildung 23:	KKU CONCEPT GmbH
Abbildung 24:	ITG Dresden GmbH

Herausgeber

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
Reinhardtstraße 32
10117 Berlin

Telefon +49 30 300199-0
Telefax +49 30 300199-3900
E-Mail info@bdew.de
www.bdew.de

Ansprechpartner BDEW

Geschäftsbereich Vertrieb, Handel und gasspezifische Fragen
Livia Beier
E-Mail livia.beier@bdew.de

Redaktion

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Bayreuther Straße 29
01187 Dresden

Dipl.-Ing. Bettina Mailach
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz

Layout und Satz

EKS – DIE AGENTUR
Energie Kommunikation Services GmbH
www.eks-agentur.de

Stand: August 2018

**Haftungsausschluss**

Die vorliegende Broschüre wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Sie dient zur Information, erhebt jedoch nicht den Anspruch, fehlerfrei zu sein. Daher sind Haftungs- und Regressansprüche – soweit gesetzlich zulässig – ausgeschlossen.

Auch kann eine Vollständigkeit der angegebenen Kontaktadressen und Internet-Links nicht gewährt werden.

Bei Anmerkungen oder erforderlichen Änderungen nehmen Sie bitte Kontakt zu uns auf.

