MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

Powered by STULZ

# Luft-Luft-Wärmepumpen
# Infobroschüre für Fachplaner

LUFT-LUFT WÄRMEPUMPE

MITSUBISHI
HEAVY INDUSTRIES, LTD.

# Vorwort

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

Luft-Luft-Wärmepumpen in verschiedenen System-ausführungen sind in der modernen Haustechnik echte Alternativen zu fossilen Heiz-Systemen wie Ölheizungen oder Gasthermen geworden. Dabei stehen die Schonung der Umwelt und die Zukunftsfähigkeit der Systeme im Vordergrund.

Europaweit sieht die Politik vor, dass der $CO_2$-Ausstoß in den nächsten Jahren erheblich reduziert wird. Diese Vorgaben beeinflussen immer mehr die Bauweise unserer Gebäude und die darin eingebauten (Heiz-)Systeme. Vor allem in Nicht-Wohngebäuden wie Bürokomplexen, Arztpraxen, Kanzleien, Hotels und Gaststätten wird sich dieser Trend noch stärker fortsetzen.

Doch nicht nur die daraus resultierende Verschärfung von Normen, Gesetzen und Richtlinien lässt uns alle in dieser Thematik umdenken. Durch die permanente Verteuerung der Energiepreise ist es bereits seit Jahren erforderlich, neben den Investitionskosten auch die Betriebskosten in unsere Gebäudeplanung einzubeziehen und zu optimieren.

Bei relativ „neuen" Lösungen wie Luft-Luft-Wärmepumpen gibt es immer noch viele Fragen, gerade was die System-auswahl und Planung betrifft. Mit dieser Infobroschüre für Planer möchte STULZ Ihnen den Einstieg in die Luft-Luft-Wärmepumpen-Technologie – ob für VRF- oder Split-Systeme – erleichtern.

Ich freue mich, dass Sie sich zukunftsorientiert mit Luft-Luft-Wärmepumpen-Systemen beschäftigen und hoffe, dass diese Broschüre Ihnen Ihre wichtigsten Fragen beantworten kann.

Mit den besten Wünschen

Markus Trautwein
Leitung Produktmanagement
Geschäftsbereich Klima- und Befeuchtungssysteme
STULZ GmbH

## Ob an Land, zu Wasser, am Himmel oder im Weltraum – Komponenten und Services von MITSUBISHI Heavy Industries sind fast immer dabei.

1870 wurde das erste MITSUBISHI Unternehmen gegründet. Die Entwicklung zum Technologieführer im Kraftwerks-, Flugzeug-, Schiff- und Anlagenbau ließ nicht lange auf sich warten. Auch im Bereich der Raumklimageräte und -systeme genießt der japanische Konzern weltweit einen hervorragenden Ruf. Und davon können Sie profitieren. Denn STULZ ist seit 1969 exklusiver Vertriebspartner von MITSUBISHI Heavy Industries in Deutschland und bietet Ihnen damit seit über 40 Jahren herausragende Lösungen für ein besseres Raumklima – Zuverlässigkeit auf höchstem Niveau.

# Inhaltsverzeichnis


**1 Der Mensch im Mittelpunkt: Lebensraum Klima . . . . . 6**

1.1 Im Mikroklima zu Hause . . . . . 6

1.2 Der Wohlfühlfaktor und das Komfortklima . . . . 6

1.3 Der Optimalzustand – das Behaglichkeitsfeld . . 7

1.4 Die Luftfeuchte . . . . . 7

1.5 Steigerung der Leistungsfähigkeit durch gutes Klima (im Sommer) . . . . . 8

1.6 Abschirmungswirkung von schädlichen Umwelteinflüssen . . . . . 8

1.7 Hohe Kühllasten durch große Glasflächen . . . . . 8

1.8 Raumaufheizung durch technologische Lasten . 9

1.9 Be- und Entlüftungsanlagen in Kombination mit Luft-Luft-Wärmepumpen. . . . . 9

1.10 Klimakomfort als Marketing- und Kundenzufriedenheitsaspekt. . . . . 9

1.11 Klimafaktor Mensch . . . . . 10

1.12 Vorteile von Klimasystemen. . . . . 10

1.13 Luftumwälzung . . . . . 11

**2 Was ist eine Wärmepumpe? . . . . . 12**

**3 Wie funktioniert eigentlich eine Luft-Luft-Wärmepumpe?. . . . . 13**

3.1 Verdampfen und Verflüssigen . . . . . 13

3.2 Komplexer als die Theorie . . . . . 13

3.3 Die wesentlichen Bauteile.... . . . . 14

3.4 Kühl- und Heizbetrieb am Beispiel einer Luft-Luft-Wärmepumpe . . . . . 14

3.5 Vollinverter-Technologie. . . . . 15

3.6 Mikroprozessor-Steuerung . . . . . 15

3.7 Temperatur und Druck im Kältekreislauf mit Kältemittel R410A . . . . . 16

3.8 Wirkungsgrad – Leistungszahlen. . . . . 16

3.9 SEER und SCOP – Kennzahlen für die Jahreseffizienz der Luft-Luft-Wärmepumpe . . 17

**4 Berechnung der Anlage . . . . . 18**

4.1 Das h,x-Diagramm nach Mollier. . . . . 18

4.1.1 Latente und sensible Leistung im h,x-Diagramm . . . 20

4.2 Kühllastberechnung des Raumes. . . . . 21

4.2.1 Innere Kühllast . . . . . 21

4.2.2 Äußere Kühllast . . . . . 21

4.3 Schnell-Kühllastberechnung in Anlehnung an VDI 2078 . . . . . 22

4.3.1 Erläuterungen zur Schnell-Kühllastberechnung . . . . 23

4.4 Tafeln zur überschlägigen Kühllast-Berechnung 24

4.4.1 Personenwärme . . . . . 24

4.4.2 Beleuchtungswärme. . . . . 24

4.4.3 Maschinen- und Gerätewärme $Q_N$ . . . . . 26

4.4.4 Wärmestrom durch Außenwände $Q_W$ . . . . . 26

4.4.5 Wärmestrom und Strahlung durch Fenster $Q_T + Q_S$ 27

4.4.6 Lüftungskühlbedarf . . . . . 27

4.4.7 Wärmestrom durch Innenwände und Decken $Q_R$ . . 27

4.5 Heizlast-Berechnung. . . . . 28

4.5.1 Erforderliche Unterlagen zur Durchführung der Heizlastberechnung . . . . . 28

4.5.2 Heizlastberechnung nach EN 12831 . . . . . 28

4.5.3 HEA-Kurzverfahren . . . . . 29

**5 Systemauswahl und Leistungsbestimmung. . . . . 30**

5.1 Kriterien für die Systemauswahl und Leistungsbestimmung. . . . . 30

5.1.1 Humanklima oder Technikraum-Kühlung . . . . . 30

5.1.2 Technische Anwendungen . . . . . 31

5.1.3 Ermittlung der notwendigen Heizleistung von Innengeräten . . . . . 32

5.2 Typenauswahl von Innengeräten. . . . . 33

5.3 System- und Außengeräteauswahl . . . . . 35

5.4 Übersicht Serien MITSUBISHI Heavy Industries. 37

5.5 Systemleistung und Ermittlung der notwendigen Außengeräteleistung . . . . . 38

5.6 Systemkonfiguration. . . . . 40

5.7 Einsatzgrenzen und Einsatzbedingungen. . . . . 41

5.8 Präzisionsklima für Präzisionsleistung . . . . . 42
5.8.1 Hohe sensible Kälteleistung = niedrige Betriebskosten . . . . . 42
5.8.2 Optimale Luftverteilung für Wärmeabfuhr und Filtrierung . . . . . 42
5.8.3 Präzise Temperaturregelung . . . . . 42
5.8.4 Präzise Feuchteregelung . . . . . 42
5.8.5 Betriebskosten-optimierte Komponentenauswahl . . 42

5.9 Wahl des Aufstellungsortes und Installationsbedingungen . . . . . 43
5.9.1 Innengeräte . . . . . 43
5.9.2 Außengeräte . . . . . 44

**6 Betriebskosten und $CO_2$-Emission . . . 45**

6.1 Allgemeines zu Betriebskosten und $CO_2$-Emission bei Luft-Luft-Wärmepumpen . . . . . 45

6.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich einer Luft-Luft-Wärmepumpe mit konventionellen Heizsystemen . . . . . 45
6.2.1 Beispiel eines Heizkosten-Vergleichs einer Luft-Luft-Wärmepumpe mit einer Gastherme . . . . . 46
6.2.2 Zusatzfunktion Kühlbetrieb (natürlich nur bei Luft-LuftWärmepumpen und nicht bei Gastherme verfügbar) . . . . . 46
6.2.3 Gesamtkosten und Amortisation . . . . . 47
6.2.4 Bedeutung der Regelungstechnik auf die Wirtschaftlichkeit . . . . . 47

6.3 $CO_2$-Emission Berechnung . . . . . 47
6.3.1 Direkte und indirekte $CO_2$-Emissionsfaktoren . . . . . 47
6.3.2 Berechnung der direkten und indirekten Emissionsfaktoren verschiedener Heizsysteme . . . . 48
6.3.3 Ermittlung des Gesamtemissionsfaktors verschiedener Heizsysteme . . . . . 48
6.3.4 Vergleich der $CO_2$-Emission von verschiedenen Heizsystemen . . . . . 48

**7 Steuerung und Regelung von Luft-Luft-Wärmepumpen . . . . . 49**

7.1 Interne Steuerung, Regelung und Bedienung . 49

7.2 Externe Steuerungen und Regelung . . . . . 50

7.3 Mit STULZ CompTrol® zentral steuern und überwachen . . . . . 51
7.3.1 Direkte Geräteanbindung . . . . . 51
7.3.2 Zentrale Bedienung und Steuerung . . . . . 52
7.3.3 Integration in Leit- und Bussysteme . . . . . 53

**8 Systemplanung . . . . . 54**

8.1 Grundlagen der Schall-Planung . . . . . 54

8.2 Schalldruckpegel und Schallleistungspegel . . . 54

8.3 Berechnung der Lärmimmission . . . . . 56
8.3.1 Die Wärmepumpe als Schallquelle . . . . . 56
8.3.2 Schallausbreitung im Freifeld . . . . . 56

8.4 Wirkung der näheren Umgebung der Schallquelle . . . . . 57

8.5 dB(A)-Bewertung von Schallpegeln . . . . . 59

8.6 Gesetzliche Richtwerte für den Schalldruckpegel . . . . . 60

8.7 Ermittlung Schalldruckpegel . . . . . 61

8.8 Schallausbreitung . . . . . 62

8.9 Ermittlung der Geräuschimmission durch Messung . . . . . 63

8.10 Aufstellung Außengerät . . . . . 64

8.11 Aufstellung Innengerät . . . . . 64

**9 Die Montage . . . . . 65**

9.1 Kältemittelrohre richtig verlegen . . . . . 65

9.2 Kondensatleitungen . . . . . 67

9.3 Elektrische Verdrahtung am Beispiel einer modernen VRF-Anlage . . . . . 68
9.2.1 Spannungsversorgung . . . . . 68
9.3.1 Signalleitungen . . . . . 69
9.3.2 Elektrischer Anschluss (Beispiel MITSUBISHI Heavy Industries) . . . . . 70
9.3.3 Verdrahtungsbeispiele (Beispiel MITSUBISHI Heavy Industries) . . . . . 71

**10 Moderne Gebäudeklimatisierung mit Luft-Luft-Wärmepumpen – Argumente und Merkmale . . . . . 72**
10.1 Einfache Planung . . . . . 72
10.2 Kostengünstige Montage . . . . . 72
10.3 Geringer Platzbedarf . . . . . 72
10.4 Betriebssicher und wartungsfreundlich . . . . . 72
10.5 Energie- und kostensparender Betrieb . . . . . 72
10.6 Höchster Komfort . . . . . 72
10.7 Bedienerfreundlich und offen für andere Systeme . 73

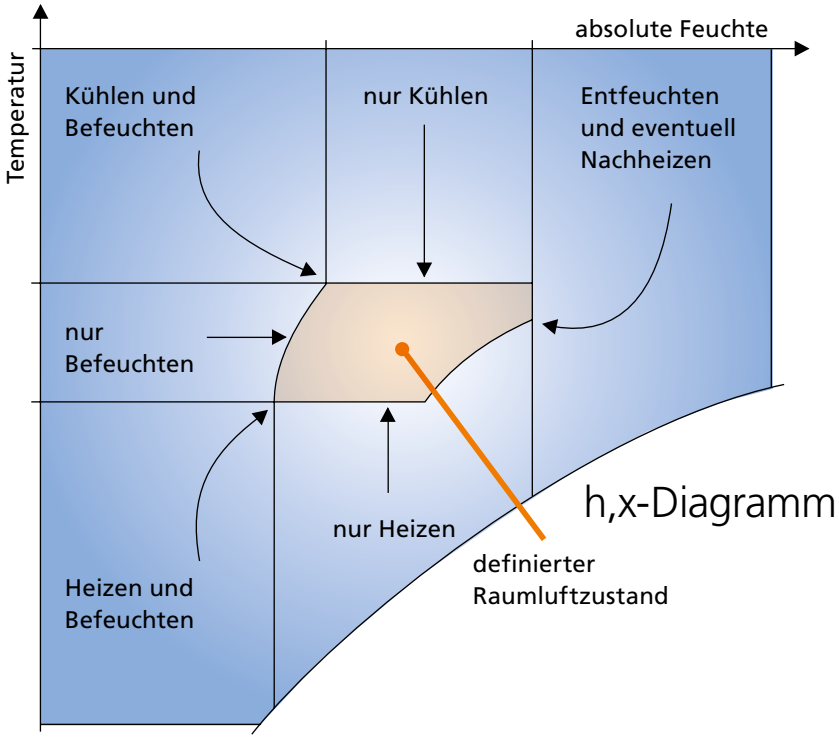
**11 Merkmale einer modernen und hochwertigen Luft-Luft-Wärmepumpe . . . .74**

**Glossar . . . . . 75**

# 1 Der Mensch im Mittelpunkt: Lebensraum Klima

Der Begriff „Klima“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet ursprünglich Krümmung/Himmelsstrich. Entstanden ist der Begriff in der Antike aus der uralten menschlichen Erfahrung, im besten Fall am Horizont das Wetter von Morgen vorhersagen zu können. Doch während das Wetter nur eine kurzzeitige und schnelllebige Erscheinung ist, handelt es sich bei einem Klima um die Summe vieler Faktoren wie Temperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit oder Luftfeuchtigkeit.

Um ein Klima zu beschreiben, muss man über einen langen Zeitraum Messergebnisse sammeln. Nie hätte man sich zur Zeit der alten Griechen jedoch träumen lassen, dass der Mensch einmal in der Lage sein würde, sein ihn unmittelbar umgebendes Klima in dem Maß zu beeinflussen, wie der moderne Mensch es heute kann. Zum Beispiel durch den Einsatz moderner Luft-Luft-Wärmepumpe.




## 1.1 Im Mikroklima zu Hause

Die moderne Wissenschaft unterscheidet drei Klimabereiche: Das Makroklima als kontinentaler und globaler Bereich, das Mesoklima, das Landstriche oder Länder bis zu mehreren hundert Kilometer Ausdehnung bestimmt sowie das Mikroklima. Es beschreibt die unmittelbare Lebensumgebung des Menschen. Und zu allererst sind mit diesem Begriff die Räumlichkeiten in Gebäuden beschrieben, in denen wir einen Großteil unseres Lebens zubringen.

## 1.2 Der Wohlfühlfaktor und das Komfortklima

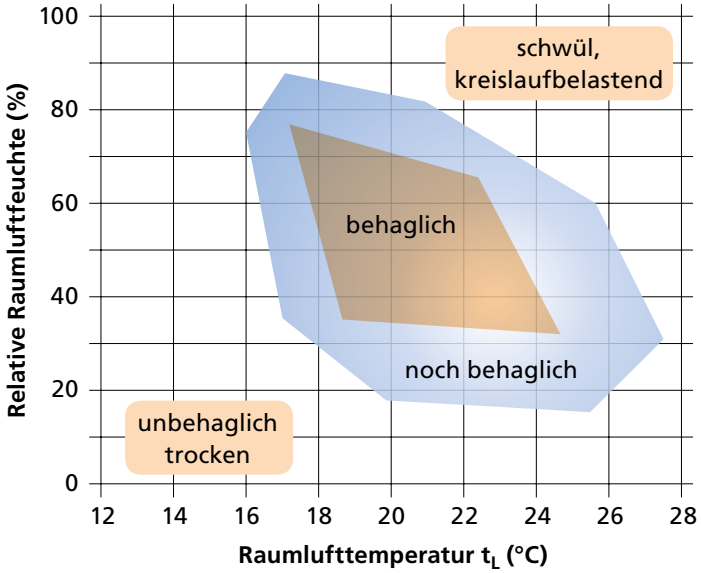
Der Wohlfühlfaktor in einem Raum setzt sich aus vielen Faktoren zusammen: Raumlufttemperatur, Temperatur von Wänden, Decken und Böden, Raumluftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Geruch, Optik und Akustik. Der Mensch ist ein sensibles Wesen, das äußerst empfindlich und oft auch unterbewusst auf Veränderungen von Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Luftdruck, Geruch, Geräusch und Zugluft reagiert. Auch sein Alter, die Bekleidung oder der Gesundheitszustand spielen eine entscheidende Rolle, wie angenehm oder unangenehm ein Mensch seine Umgebung empfindet. Im Behaglichkeitsfeld werden einige dieser Faktoren grafisch dargestellt.

# 1.3 Der Optimalzustand – das Behaglichkeitsfeld

Das ideale Wohlbefinden wird im Sommer bei einer Raumtemperatur zwischen 25 und 27 °C sowie einer relativen Luftfeuchte zwischen 40 und 50 % und im Winter bei einer Raumtemperatur zwischen 19 und 22 °C sowie einer relativen Luftfeuchte zwischen 40 und 50 % erreicht. Verändern sich diese Werte, wenn es im Winter zu kalt oder zu trocken bzw. im Sommer zu heiß oder zu schwül wird, sinken Wohlbefinden, Behaglichkeit und Leistungsfähigkeit.

Im Hochsommer kann z. B. in circa 60 Tagen im Jahr die optimale Raumtemperatur nur durch eine entsprechende Kühlung erreicht werden. Zudem ist die gefühlte Temperatur immer abhängig von der Luftfeuchte, die an mehr als 100 Tagen im Jahr nur per Entfeuchtung den für Menschen idealen Wert erreichen kann.

In den Sommermonaten kühlen und entfeuchten und im Winter heizen Luft-Luft-Wärmepumpen und sorgen so für ein behagliches Klima.




In der Norm EN ISO 7730 wird als zentraler Begriff die thermische Behaglichkeit genannt. Dieser beschreibt in Abhängigkeit von Wärme das menschliche Wohlbefinden.

Auch als Qualitätskriterium für Heizungs- bzw. Klimatisierungssysteme wird dieser Begriff definiert.

Es gelten mehrere Parameter für die Behaglichkeit, die alle unabhängig voneinander bedingt sind und verändert werden können:

- Temperaturniveau und Temperaturunterschiede
- Thermische Strömungen und thermische Spannungen
- Strahlungsintensität und Strahlungsunterschiede
- Schmelzen und Flüsse, Dampfbildungen, Sublimation

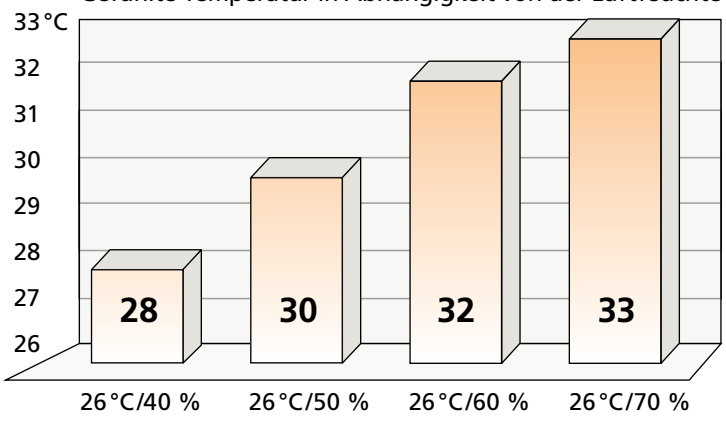
# 1.4 Die Luftfeuchte

Neben der Temperatur wirkt sich die Luftfeuchte auf unser Wohlbefinden aus. Ist diese zu niedrig, ist die Luft zu trocken, trocknen die Haut und die Schleimhäute aus und wir Menschen sind anfälliger für Krankheiten.

Ist die Luftfeuchte zu hoch (umgangssprachlich bezeichnet man diesen Zustand als „schwüle Luft“) fühlen wir uns unwohl und die Konzentrationsfähigkeit lässt nach. Deshalb ist es wichtig, nicht nur die Raumtemperatur, sondern auch die Raumfeuchtigkeit zu betrachten.

Vereinfacht kann man sagen, dass die Luftfeuchte einen direkten Einfluss auf die Raumtemperatur hat:

Gefühlte Temperatur in Abhängigkeit von der Luftfeuchte

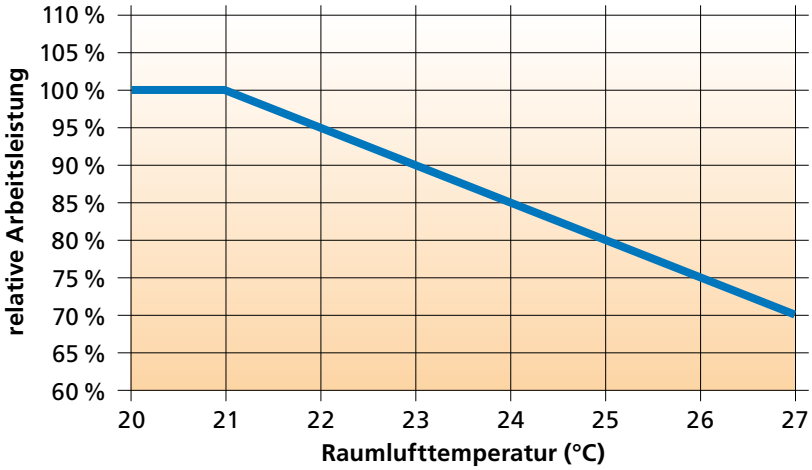


## 1.5 Steigerung der Leistungsfähigkeit durch gutes Klima (im Sommer)

Für eine optimale Leistungsfähigkeit benötigen Menschen eine Raumtemperatur in Arbeitsräumen bis etwa 21 °C (bei ca. 40–50 % relativer Feuchte). In diesem Temperaturbereich ist der Mensch bis zu 100 % leistungsfähig.

Steigt die Raumtemperatur sinkt die Leistungsfähigkeit: Bei einer Raumtemperatur von 28 °C sinkt z. B. die Leistungsfähigkeit auf 70 % und bei einer Raumtemperatur von 33 °C beträgt die Leistungsfähigkeit nur noch 50 %.

Darum sollte im Sommer an Büroarbeitsplätzen die Temperatur 26 °C nicht übersteigen.




## 1.6 Abschirmungswirkung von schädlichen Umwelteinflüssen

Bei Gebäuden ohne Klimasysteme ist – gerade im Hochsommer – aufgrund der hohen Raumtemperatur in den meisten Fällen das Öffnen der Fenster die einzige Möglichkeit, um ein einigermaßen erträgliches Raumklima zu schaffen.

Dies führt zwar zu einer Durchlüftung des Raumes, hat aber den Nachteil von schädlichen Umwelteinflüssen: Vor allem der Verkehrslärm bedeutet eine immer größere Belastung, aber auch Ruß-Partikel, Feinstaub, Pollen usw. sorgen nicht nur bei Allergikern für ein unbehagliches Raumklima.

Luft-Luft-Wärmepumpen ermöglichen eine ausreichende Schallisolierung, da Glasflächen permanent geschlossen bleiben können und so gegen Lärm abschirmen. Sie optimieren das Innenklima und sorgen für Unabhängigkeit.

Beim Einsatz von Luft-Luft-Wärmepumpen können, egal ob in Büros, Schulen, Arztpraxen, Kanzleien oder auch im Privatbereich wie in Wohn- oder Schlafzimmern, die Fensterflächen geschlossen bleiben. So kann der Kontakt mit Luft-Schadstoffen und Lärm vermieden werden.

## 1.7 Hohe Kühllasten durch große Glasflächen

Moderne Gebäudearchitektur im urbanen Milieu bedient sich immer größerer Glasflächen als Gestaltungselement. Trotz guter Wärmeschutzfaktoren und Isolierverglasungen, entsteht häufig durch die Sonneneinstrahlung ein unangenehmer Effekt, der ein Arbeiten und Wohnen ohne eine Gebäudeklimatisierung erschwert. Das Nutzen der natürlichen Lüftung, z. B. durch das Öffnen von Fenstern und Balkonen kann durch den unkontrollierten Lufteintritt zu Zugerscheinungen führen. Durch den Winddruck bei Hochhäusern, durch die Geräuschkulisse im Umfeld oder durch Geruchsemmissionen ist diese Art der Lüftung zur Entwärmung der Räume meist ungeeignet.

**Klimasysteme eigen sich daher für:**

- Einzel- und Großraumbüros
- Bildungseinrichtungen
- Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen
- Verkaufsräume und Warenhäuser
- Ausstellungshallen und Messegebäude
- Geldinstitute und Banken
- Kultureinrichtungen (z. B. Konzerthallen, Museen)
- Flughäfen und Bahnhöfe
- Verwaltungsgebäude und Behörden
- Wohngebäude mit hohem Glasanteil

## 1.8 Raumaufheizung durch technologische Lasten

In der modernen Arbeitsumgebung gibt es viele Faktoren, die zu einem unangenehmen Klima beitragen. Neben den äußeren Einflüssen ist die Wärmeabgabe von technischen Geräten und elektrischen Anlagen heute maßgeblich für eine Aufheizung unserer Lebens- und Arbeitsumgebung verantwortlich. Diese Wärmelasten sind bei der Berechnung der Gesamtkühlleistung unbedingt zu beachten. Mit der Klimatisierung dieser Räume wird nicht nur für den Menschen ein behagliches Umfeld geschaffen. Die technischen Anlagen haben oftmals auch maximal zulässige Umgebungstemperaturen, unter denen sie zuverlässig und störungsfrei funktionieren.

- Einzel- und Großraumbüros
- Telekommunikationsanlagen
- EDV- und Serverräume
- Produktionsanlagen (z. B. Druckereien, Kunststoffherstellung)
- Räume mit starker Tageslicht (z. B. Verkaufsräume, Ausstellungsräume)
- Medizinische Einrichtungen (z. B. MRT-Anlagen)
- Lebensmittelherstellung

## 1.9 Be- und Entlüftungsanlagen in Kombination mit Luft-Luft-Wärmepumpen

Räume, welche einer vorgeschriebenen mechanischen Luftwechselrate unterliegen, können in Verbindung mit Luft-Luft-Wärmepumpen wesentlich effizienter und kostengünstiger klimatisiert werden. Die Dimension der Lüftungsanlage und die Größe der Luftkanäle kann gravierend verkleinert werden, da Wärme- und Kühllasten dezentral über die Klimasysteme abgefahren werden. Zudem ist so eine individuelle Einzelraumregelung möglich. Besonders Räume mit einer hohen Personendichte und mit Geruchsverschlechterung in Verbindung mit hohen inneren und äußeren Wärmelasten erfordern grundsätzlich die Kombination einer Belüftung und Klimatisierung.

**Beispiele für vorteilhafte Kombinationen**

- Restaurants und Gaststätten
- Veranstaltungs- und Konferenzräume
- Kultureinrichtungen (z. B. Theater, Konzerthallen)
- Chemische Laboratorien
- Küchen und Bäckereien
- Fitnesscenter und Sporteinrichtungen
- Chemische Reinigungen
- Produktionsstätten mit Geruchsbelästigung (z. B. Druckereien)

## 1.10 Klimakomfort als Marketing- und Kundenzufriedenheitsaspekt

Wenn es darum geht, der Kundschaft oder den Mandanten ein anspruchsvolles und angenehmes Ambiente zu bieten, spielt der Einsatz von Klimasystemen eine immer wichtigere Rolle. In einem behaglichen Umfeld erreicht man gerade in Verkaufseinrichtungen längere Verweilzeiten und wirkt damit indirekt umsatzsteigernd.

**Einige Einsatzbeispiele:**

- Boutiquen
- Architekturbüros
- Anwaltskanzleien und Notare
- Hotelzimmer
- Restaurants
- Arztpraxen
- Optiker
- Apotheken
- Reisebüros

# 1.11 Klimafaktor Mensch

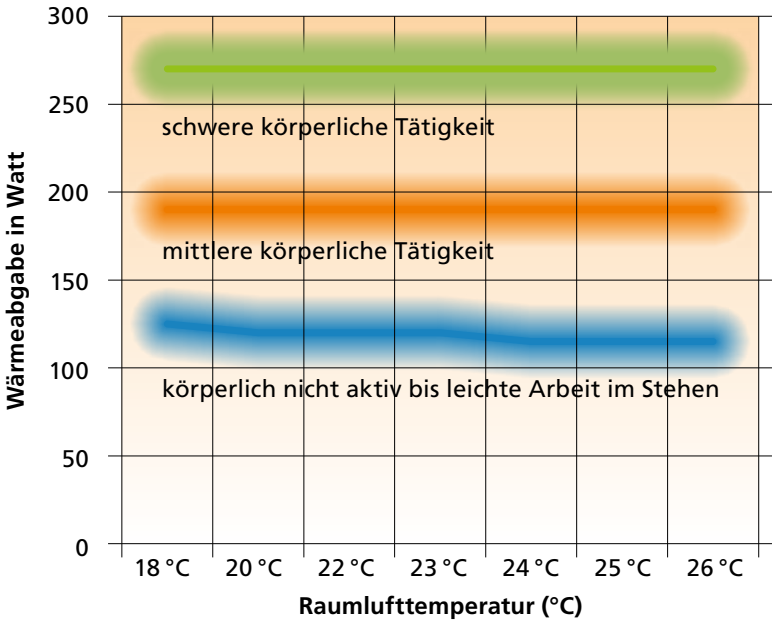
Auch der Mensch selbst beeinflusst entscheidend das Raumklima. Selbst ohne starke körperliche Aktivität geben wir Menschen ständig Wärme und Feuchtigkeit an die Raumluft ab. Bei Ruhe geben wir in einer Stunde immerhin einhundert Watt an den uns umgebenden Raum ab. Hier gilt eine einfache Faustregel:

Je höher die Raumtemperatur, desto weniger Wärme gibt der menschliche Organismus ab, aber desto mehr Wasserdampf erzeugt gleichzeitig unser Körper.

Die überschlägigen Werte sind in der VDI-Richtlinie 2078/Tabelle A1 angegeben (siehe auch Tabelle „Personenwärme“ auf Seite 24)

Die nebenstehende Grafik zeigt eine vereinfachte Darstellung dieser Werte.

Gesamtwärmeabgabe des Menschen (Personenwärme) nach VDI 2078




# 1.12 Vorteile von Klimasystemen

- **Verkaufseinrichtungen & Shops**

Fühlt sich die Kundschaft wohl, steigt der Anreiz zu konsumieren. Wer sich unwohl fühlt, strebt unbewusst danach, die Räume möglichst schnell wieder zu verlassen. Der Anreiz, sich dem Warenangebot ausführlich zu widmen, steigt mit einer ausgeglichenen Behaglichkeit durch ideale Beheizung und Kühlung.

- **Restaurant & Hotel**

Ob Geschäftskunden nach einem anstrengenden Arbeitstag oder Wochenendgäste auf der Suche nach Entspannung und Wellness. Sie alle erwarten zu Recht ein Wohlfühlklima der Extraklasse. Ob im Hotelzimmer oder im Restaurant – stets darf der Kunden von einem ausgeklügeltem und modernem Klimasystem höchsten Komfort erwarten. Damit Spontangäste zu Stammgästen werden, sollte man als Inhaber eines Hotels oder eines Restaurants stets für ein Wohlfühlklima sorgen.

- **Büro & Firma**

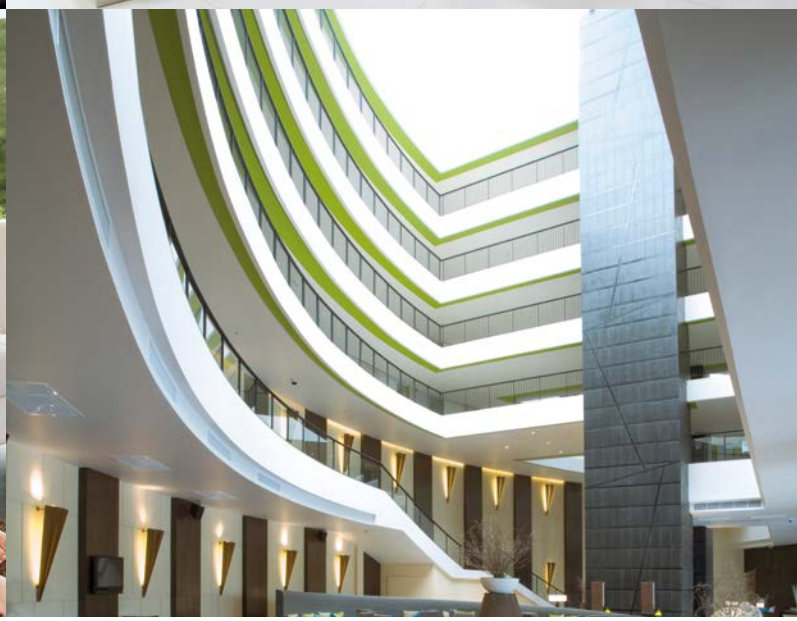
Besonders im Büro oder in der Werkstatt soll Leistung erbracht werden und nichts ist kontraproduktiver als ein schlechtes Raumklima. Wer den ganzen Tag in geschlossenen Räumen arbeitet, schätzt den Komfort zugfreier Klimatisierung. Der Zugewinn an Behaglichkeit ist direkt an die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Menschen gebunden. Moderne Klimasysteme erhöhen den Wohlfühlfaktor durch Halten einer angenehmen Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich reinigen sie die Luft von Schmutz, Feinstaub und Pollen.

- **Technikräume**

Arbeitsintensive und viel genutzte Schaltanlagen und Technikräume in Industriebetrieben, Kraftwerken, U-Bahnen, Flughäfen, Verkehrsleitsystemen, Notrufdiensten, Behörden usw. erzeugen hohe Raum- und Gerätetemperaturen, welche abgeführt werden müssen. Wird es zu heiß oder zu feucht, kommt es zu Betriebsstörungen. Luft-Luft-Wärmepumpen halten die Raumtemperatur in einem definierten Spektrum konstant. So sichern sie in Leitständen die Funktionsfähigkeit empfindlicher Elektrotechnik und sorgen für Behaglichkeit für das Bedienpersonal. Präzisionsklimageräte sind speziell für diese Anwendungsfälle konzipiert.

- **Wohnbereiche**

Der Wohnbereich ist der Platz, an dem Menschen wieder auftanken. Neben dem Arbeitsplatz sind Wohn- und Schlafzimmer die Orte, an denen wir die meiste Lebenszeit verbringen. Moderne Luft-Luft-Wärmepumpen sorgen für einen ruhigen Schlaf, harmonische Wohlfühlatmosphäre im Wohnzimmer oder ungestörtes Entspannen. Innengeräte gibt es in vielfältigen Designs als Wand-, Stand- und Deckenmodelle sowie zum unauffälligen Einbau in Lüftungskanäle und abgehängte Decken. Sie werden bequem mit Kabel- oder Infrarot-Fernbedienung geregelt. Alle Teile der Luft-Luft-Wärmepumpe werden fest installiert. Kälte-Klima-Fachbetriebe montieren sie schnell und sauber. Im Sommer verbreiten moderne Luft-Luft-Wärmepumpen echtes Wohlfühlklima in den eigenen vier Wänden.



# 1.13 Luftumwälzung

Denn um eine wirksame Luftumwälzung zu erreichen, muss die Raumluft in Bewegung gesetzt werden. Hier gilt die Faustregel: je höher die Raumtemperatur, desto weniger empfindlich reagiert der menschliche Organismus auf Luftbewegungen. Keinesfalls darf hier das Gefühl von permanenter, unangenehmer Zugluft aufkommen. So wird etwa bei einer Temperatur von 19 Grad ein Lufthauch von nur 0,2 m/s bereits als unangenehm empfunden, während der Mensch bei 26 Grad eine Luftgeschwindigkeit von 0,4 m/s (also doppelt so viel) noch als angenehm empfindet.

# 2 Was ist eine Wärmepumpe?

Eine Wärmepumpe entzieht mittels Elektro-Energie der Umwelt (Außenluft, Grundwasser oder Erdreich) Wärmeenergie und hebt diese auf ein verwertbares höheres Temperaturniveau an, um damit Gebäude oder andere Einrichtungen beheizen zu können.

Solange die Temperatur einer Energiequelle (Luft, Grundwasser, Erdreich) über dem absoluten Nullpunkt von -273,15 °C liegt, kann der Quelle mittels einer Wärmepumpe Wärme entzogen werden und in ein anderes Reservoir (Wasserspeicher, Raumluft) eingefügt werden. Die Effizienz der Wärmepumpe – ausgedrückt in der Leistungszahl – sinkt allerdings, wenn die Temperatur der Quelle geringer wird.

Natürlich kann dieser Prozess auch umgedreht werden, so dass im Sommer die Wärme aus einem Gebäude entzogen und diese dann in die Umwelt (Außenluft, Grundwasser oder Erdreich) abgegeben wird.

Da dieser Wärmepumpenprozess vom Außengerät zum Innengerät umkehrbar ist, kann eine moderne Wärmepumpe ganzjährig eingesetzt werden: Im Winter zur Heizung und im Sommer zur Kühlung eines Gebäudes.

**Die am häufigsten eingesetzten Wärmepumpen sind:**

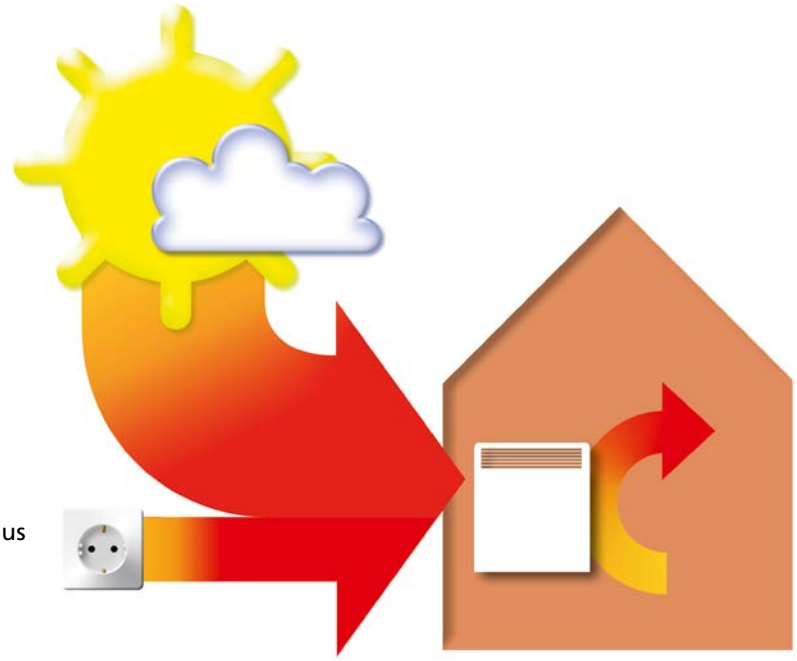
- Luft-Luft-Wärmepumpen: Luft-Luft-Wärmepumpen entziehen der Außenluft Wärme und stellen sie einem Luft-Heizungssystem (Lüftung) zur Verfügung (Heizfall) oder entziehen der Raumluft Wärme und geben sie an die Außenluft ab (Kühlfall)

- Luft-Wasser-Wärmepumpen: Luft-Wasser-Wärmepumpen entziehen der Außenluft Wärme und geben sie an einen internen Wasserspeicher ab, der dem Raum über Heizkörper (eine Fußbodenheizung o. ä.) aufheizt. Falls eine Kühldecke o.ä. angeschlossen ist, kann ein Gebäude im Sommer mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe gekühlt werden.

- Sole-Luft-Wärmepumpen: Wie Luft-Luft-Wärmepumpen – nur dass das als Energiequelle nicht die Außenluft, sondern Grundwasser (Sole) als Energiequelle verwendet wird.

- Erdwärme-Luft-Wärmepumpen: Wie Luft-Luft-Wärmepumpen – nur dass das als Energiequelle nicht die Außenluft sondern die Erdwärme (über Spiralkollektoren oder Erdwärmesonden) als Energiequelle verwendet wird.

Natürlich sind auch Kombinationen möglich, z. B. dass die Energie, die der Erdwärme entzogen wird, auf einen Wasserspeicher im Gebäude abgegeben wird.



# 3 Wie funktioniert eigentlich eine Luft-Luft-Wärmepumpe?

Es sind recht simple physikalische Erkenntnisse, denen sich der Mensch nicht nur in der Kältetechnik bereits seit Hunderten von Jahren bedient. Ob Dampfmaschine oder Kühltechnik: immer gilt es, ein flüssiges oder gasförmiges Medium mit möglichst geringem mechanischen und energetischem Aufwand von einem Aggregatzustand in den anderen zu befördern.

**Unterscheidung Kühlmittel – Kältemittel:**
Kühlmittel sind Flüssigkeiten wie Luft, Wasser oder Sole, die die Kühlung außerhalb des Kältekreislaufs übernehmen. Sie verändern dabei normalerweise nicht ihren Aggregatzustand.
Kältemittel sind Stoffe, die durch Veränderung ihres Aggregatzustandes (flüssig/gasförmig) den Wärmetransport in geschlossenen System ermöglichen.

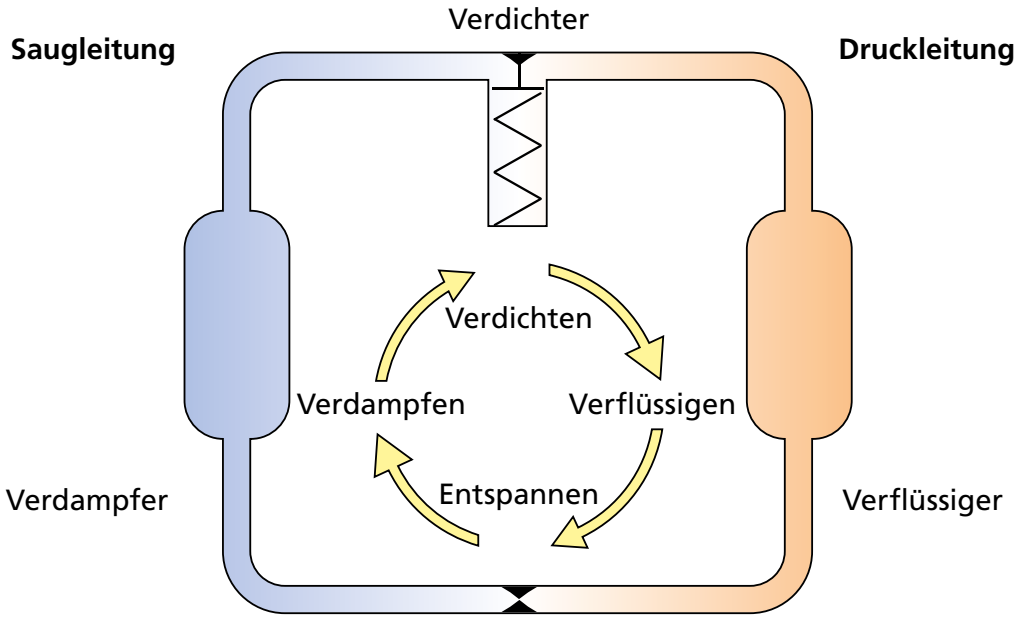
## 3.1 Verdampfen und Verflüssigen

So kann man bekanntlich durch simples Erhitzen Wasser zum Verdampfen bringen. Dann hat man in diesem Fall den Dampfdruck der Flüssigkeit erhöht. Doch es geht auch eleganter und technisch ausgereifter in geschlossenen Systemen: Man verringert mittels einer Vakuumpumpe den Umgebungsdruck über einem Flüssigkeitsreservoir bis auf die Dampfdruckgrenze des Mediums. Die Folge: Die Flüssigkeit verdampft und verringert damit die Temperatur der im Reservoir verbliebenen Flüssigkeit. Stellen wir uns jetzt statt einer Vakuumpumpe einen Verdichter vor und benennen wir die Flüssigkeit als Kältemittel: schon haben wir die primitive Grundkonstruktion eines Kühl- oder Klimasystemes vor uns.

## 3.2 Komplexer als die Theorie

Doch in Wirklichkeit ist der Aufbau eines solchen modernen Gerätes natürlich komplexer. Es handelt sich um ein geschlossenes System mit einem Nieder- und Hochdruckbereich, das mit Kältemittel befüllt ist.

Zwischen den einzelnen Komponenten Verdichter, Verflüssiger, Expansionsorgan und Verdampfer erfolgt ein permanenter Druck- und Temperaturaustausch.



# 3.3 Die wesentlichen Bauteile…

- **Verdichter (Kompressor)**
  **(Vollthermische Hub-, Roll- und Scrollverdichter)**
  Transport des Kältemittels, Ansaugen des Kältemitteldampfs, Komprimierung auf ein höheres Druck-/Temperaturniveau

- **Verflüssiger/Kondensator (Wärmetauscher Heizbetrieb)**
  Verflüssigen des heißen Kältemittels durch ein Kühlmedium (Wasser oder Luft)

- **Expansionsorgan**
  Reservoir für Druckverminderung zwischen der Nieder- und Hochdruckseite des Systems

- **Verdampfer (Wärmetauscher Kühlbetrieb)**
  Verdampfung des Kältemittels, Kühlung von Wasser oder Luft

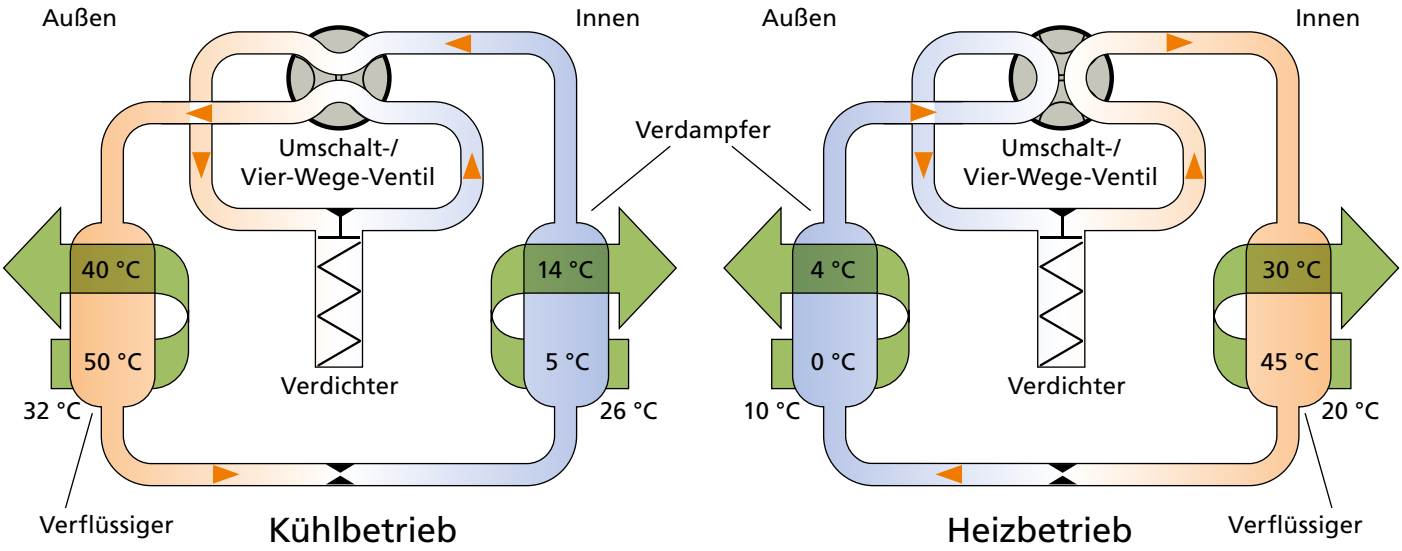
- **Leistungsregelung durch innovative Inverter-Technologie**
  Im Gegensatz zu herkömmlichen Klimasystemen, die abwechselnd mit voller Leistung kühlen und dann wieder abschalten, wird bei den Invertergeräten die Drehzahl des Kompressors stufenlos geregelt. Bei geringen Leistungsanforderungen fährt er herunter, bei höherem Bedarf steigert er die Leistung wieder. Die Raumtemperatur kann konstanter als bei herkömmlichen Anlagen gehalten werden – die Geräte verbrauchen deutlich weniger Energie und sind leiser.

## Weitere Bauteile

- **Elektrisches Expansionsventil Ventil (EEV)**
  Bei Direktverdampfern ist ein elektronisches Einspritzventil notwendig. Dieses sorgt für eine bedarfsabhängige Einspritzung von Kältemittel in den Verdampfer und regelt die Kälteleistung im Bereich 0 bis 100 %.

- **4-Wege-Ventil**
  Das 4-Wege-Ventil ist ein Umschaltventil im Außengerät. Bei reversiblen Luft-Luft-Wärmepumpen (Systeme zum Kühlen und Heizen) ermöglicht es durch die Umkehrung der Flussrichtung des Kältemittels den Wechsel zwischen Kühl- und Heizbetrieb sowie den Abtaubetrieb des Außengerätes.

# 3.4 Kühl- und Heizbetrieb am Beispiel einer Luft-Luft-Wärmepumpe




Im Kühlbetrieb wird am Verdampfer (Innengerät) die Raumluft von 26 °C auf 14 °C abgekühlt. Die Verdampfungstemperatur des Kältemittels beträgt dabei circa 5 °C. Parallel dazu wird die aufgenommene Wärmemenge am Verflüssiger des Außengerätes an die Außenluft abgegeben. Die Kondensationstemperatur des Kältemittels beträgt dabei circa 50 °C, wodurch die Außenluft von 32 °C auf 40 °C erwärmt wird.

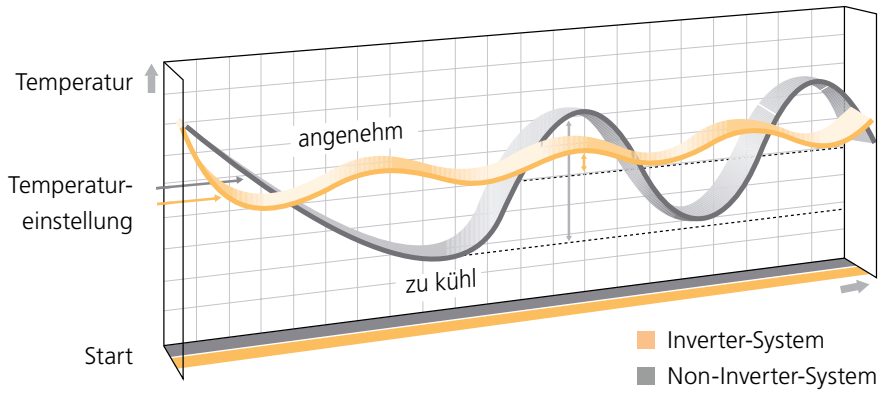
Im Heizbetrieb wird am Verflüssiger (Innengerät) die Raumluft von 20 °C auf 30 °C erwärmt. Die Kondensationstemperatur des Kältemittels beträgt dabei circa 45 °C. Die dafür notwendige Energiemenge wird der Außenluft über den Verdampfer des Außengerätes entzogen. Die Verdampfungstemperatur des Kältemittels beträgt dabei circa 0 °C, wodurch die Außenluft von 10 °C auf 4 °C abgekühlt wird.

## 3.5 Vollinverter-Technologie

Die Inverter-Technologie könnte man auch als Energiespar-Automatik bezeichnen, denn damit ist die Effizienz in das Klimagerät integriert. Im Gegensatz zu Klimageräten, die abwechselnd entweder mit voller Leistung kühlen bzw. heizen oder ausgeschaltet sind, wird bei den Invertergeräten die Drehzahl des Verdichters stufenlos geregelt.

Die Raumtemperatur bleibt konstant – die Geräte verbrauchen weniger Energie und sind deutlich leiser. Optimal sind VRF-Systeme mit Vollinverter-Technologie, die auf zwei inverter-gesteuerten Verdichtern basieren. Hier sind alle eingebauten Verdichter drehzahlgeregelt und somit besonders energiesparend.

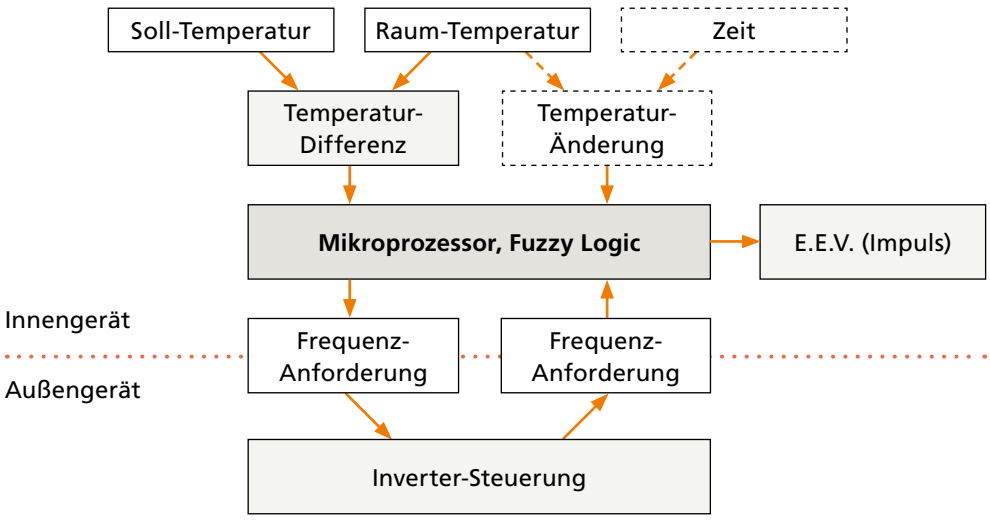
**Invertersystem vs. Non-Inverter-System (Ein/Aus)**




## 3.6 Mikroprozessor-Steuerung

Der Mikroprozessor arbeitet mit einer integrierten Fuzzy Logic. Raumtemperatur und Sollwert-Vorgabe werden durchgängig abgeglichen und bei einer Veränderung schnell und mit hoher Stabilität angeglichen.
Mit Hilfe des elektronischen Expansionsventils (E.E.V.) wird die Leistung des Innengerätes an die jeweiligen Konditionen und Anforderungen angepasst.

Für die Kommunikation mit dem Außengerät wandelt der Mikroprozessor die errechnete benötigte Leistung in eine Frequenz um und stellt diese als Anforderung an das Außengerät, welches nach Prüfung der aktuellen Konditionen wiederum eine Antwort in Form einer Frequenz an das Innengerät zurückgibt.
Folgende Grafik zeigt mögliche Kommunikationsformen des Innengerätes mit dem Außengerät.



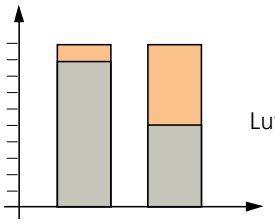
# 5.8 Präzisionsklima für Präzisionsleistung

Wichtige Argumente für den Einsatz von Präzisionsklimageräten in technischen Betriebseinrichtungen.

## 5.8.1 Hohe sensible Kälteleistung = niedrige Betriebskosten

Bei Betrachtung der Kälteleistung eines Klimageräts wird zwischen latenter Kühlung (Kühlleistung, die zur Entfeuchtung erforderlich ist) und sensibler Kühlung (der reinen Temperaturabsenkung) unterschieden. Ein Präzisionsklimagerät verwendet 95 %–100 % der aufgebrachten Leistung für die reine Kühlung und nur 5 %–0 % zur Entfeuchtung der Luft – so werden die Betriebskosten niedrig gehalten.

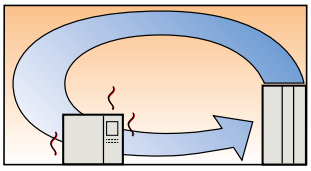
**Präzisionsklimagerät**
0–5 %
Luftentfeuchtung



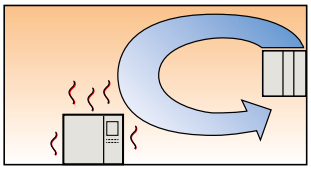
**Komfortklimagerät**
40–50 %
Luftentfeuchtung

## 5.8.2 Optimale Luftverteilung für Wärmeabfuhr und Filtrierung

Ein Präzisionsklimagerät bewegt bei gleicher Kühlleistung etwa dreimal so viel Luft wie ein Komfortklimagerät. Dadurch wird ein besonders günstiges Verhältnis zwischen sensibler und totaler Kühlleistung erreicht, punktuelle Wärmelasten werden auch in entfernten Ecken abtransportiert, Soll-Temperatur und -Feuchte werden genauer überwacht, und geregelt und die Luft wird häufiger gefiltert.



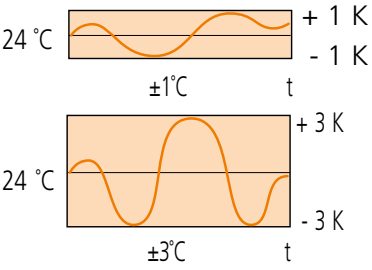
**Präzisionsklimagerät**
Luftleistung
300 m³/h pro kW



**Komfortklimagerät**
Luftleistung
100 m³/h pro kW

## 5.8.3 Präzise Temperaturregelung

Präzisionsklimageräte arbeiten in den von Herstellern von Telekommunikationseinrichtungen geforderten Toleranzen; Komfortklimageräte hingegen erreichen circa ± 3 °C.



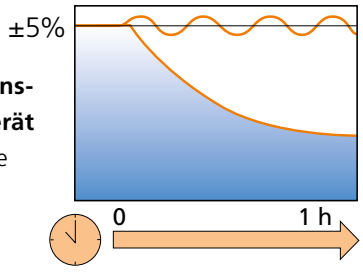

**Präzisionsklimagerät**
Präzisions-Temperaturregelung

**Komfortklimagerät**
Komfort-Temperaturregelung

## 5.8.4 Präzise Feuchteregelung

Bei einer zu hohen relativen Luftfeuchtigkeit können u. a. Kondensations- und Korrosionserscheinungen an elektronischen Bauteilen auftreten, bei zu niedriger relativer Feuchte können statische Aufladungen zur Veränderung von Daten oder Zerstörung von elektronischen Bauteilen führen. Ein STULZ Präzisionsklimagerät hält genau die eingestellte Sollfeuchte mit einer Toleranz von ± 5 %.

**Präzisionsklimagerät**
geregelte Feuchte

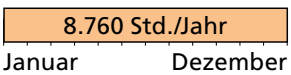



**Komfortklimagerät**
unkontrollierte Entfeuchtung

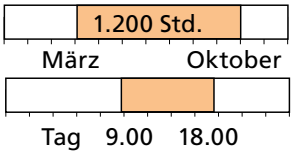
## 5.8.5 Betriebskosten-optimierte Komponentenauswahl

In Komfortklimageräten sind Standardkomponenten eingebaut, die aufgrund des Kosten-Nutzen-Verhältnisses ausgewählt wurden (Massenfertigung). Präzisionsklimageräte hingegen werden individuell angefertigt und die Komponenten im Allgemeinen zur Reduzierung des Energieverbrauchs ausgewählt. Da die Geräte zur Klimatisierung von Technikräumen in der Regel 24 Stunden am Tag und 365 Tage im Jahr im Einsatz sind, hat der Strom-Verbrauch bzw. die daraus resultierenden Betriebskosten einen erheblichen Einfluss auf die Systemauswahl.

**Präzisionsklimagerät**




**Komfortklimagerät**

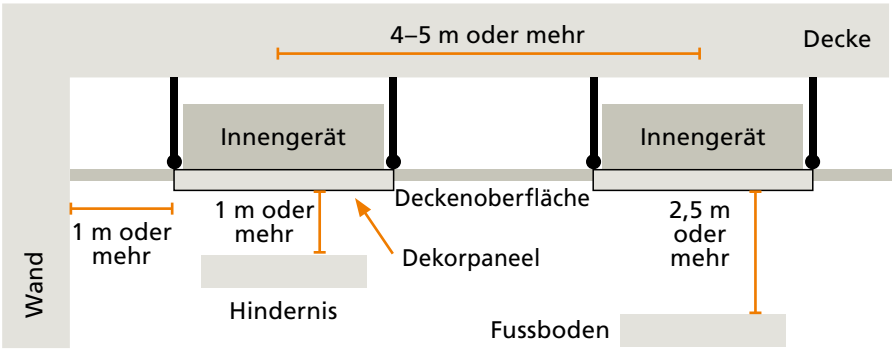


# 5.9 Wahl des Aufstellungsortes und Installationsbedingungen

## 5.9.1 Innengeräte

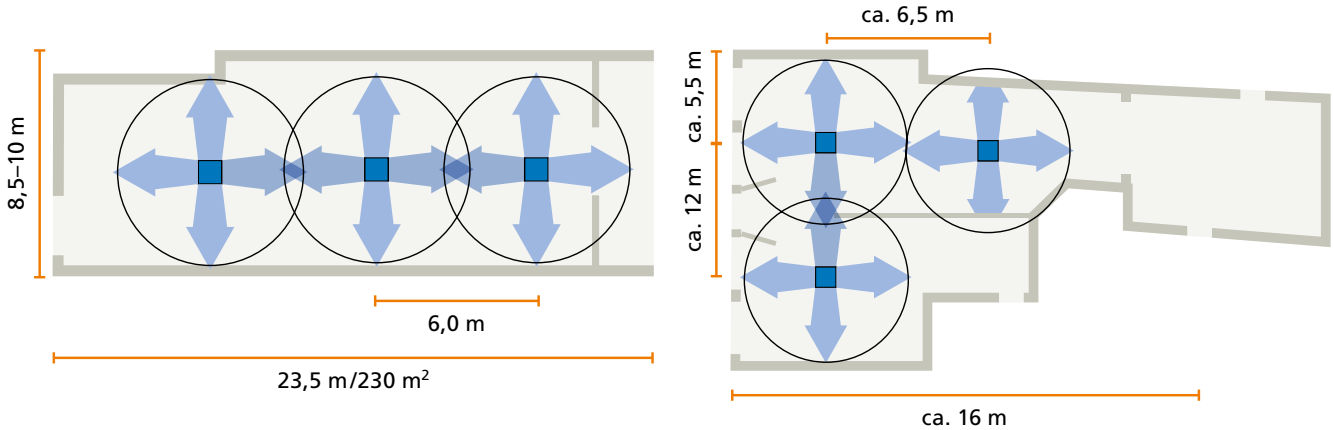
Nach erfolgter Geräteauswahl und unter Beachtung der vorgegebenen Einsatzgrenzen müssen bei der Anordnung der Geräte im Raum u. a. folgende Aspekte beachtet werden:

- Optimale Geräteanordnung bezüglich Raumgeometrie und außerhalb von direkten Personenaufenthaltsbereichen
  - Möglichst keine Anordnung von Arbeitsplätzen im direkten Ausblasbereich der Innengeräteluftauslässe, denn dies verhindert Zuglufterscheinungen, Belästigung durch Schall etc.
- Mindestabstände zu Wänden, Decken und anderen Innengeräten sind einzuhalten, um unerwünschte Luftkurzschlüsse und Luftumlenkungen zu vermeiden, welche Leistung und Funktion der Anlage beeinträchtigen können
- Minimal notwendige lichte Deckenhöhen sollte nicht unterschritten werden
- Verteilerboxen in 3-Leiter-Systemen möglichst in Verkehrswegen installieren (z. B. Flure), um Schallkomfort zu erhöhen.




▶ Vermeidung von Luftkurzschlüssen zwischen den Innengeräten
▶ Optimale Luftausbreitung und Raumluftdurchmischung (Beispiel Deckenkassetten)

- Berücksichtigung baulicher Gegebenheiten bei Anordnung von Innengeräten oder Luftauslässen
  - In größeren, teilweise geometrisch ungünstig geschnittenen Räumen sollten wenn möglich mehrere Innengeräte oder Luftauslässe eingesetzt werden, z. B. anstelle eines zentralen Innengerätes, da dies eine optimale Lastabfuhr begünstigt.
- Optimal: Raumdurchflutende Strömung mit Beachtung möglicher Strömungshindernisse wie Unterzüge, Säulen Trennwände, Möbel usw.
- Innenarchitektonische Abstimmung bezüglich Revisions- und Wartungsöffnungen für Innengeräte, Anordnung der Leuchtmittel etc.




Beispiele Anordnung von Deckenkassetten im Raum, Ziel: raumdurchflutende Strömung

# 7.2 Externe Steuerungen und Regelung

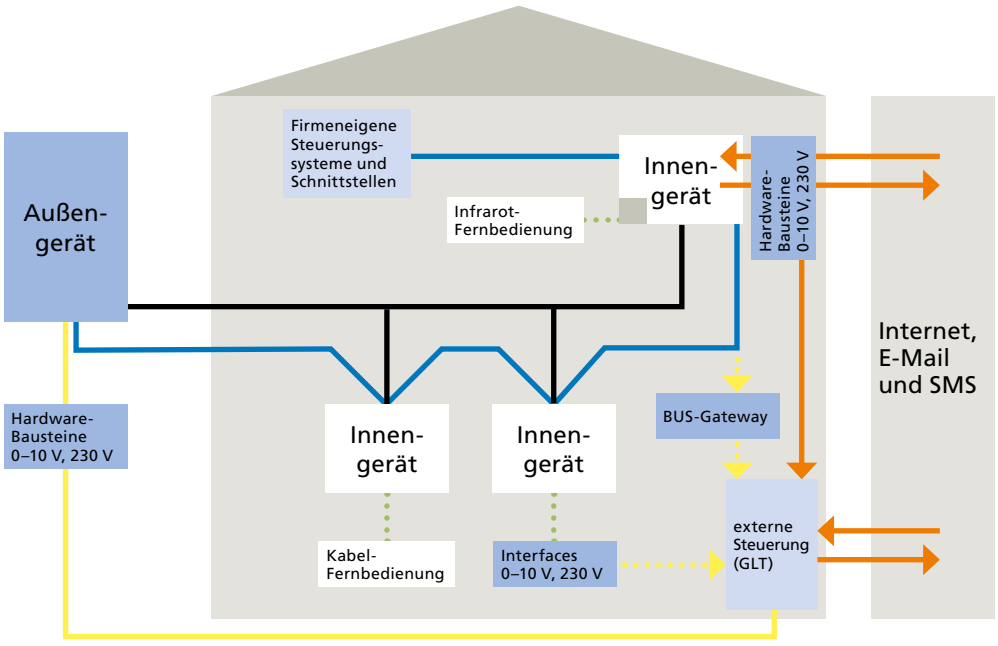
Oftmals besteht der Wunsch oder die Notwendigkeit zusätzlich zur internen Steuerung des Komfortklimasystems dieses an externe Steuerungen und Kommunikationswege zu koppeln. Gründe hierfür können sein:

- Erhöhung des Bedienkomforts durch zentrales Gebäudemanagement und dadurch Reduzierung des Betreuungs-, Kontroll- und Bedienaufwands (z. B. zentrale Verwaltung und Energiekostenmanagement, Visualisierung von Gerätefunktionen und Gebäudegrundrissen)
- Verknüpfung mit modernen Kommunikationsmitteln (z. B. Intranet, E-Mail, Internet) zur Systemüberwachung und Datenaustausch
- Betriebssicherheit (z. B. Betriebsmeldungen, Redundanzschaltungen, Störmeldungsweiterleitung)
- Sicherheitsaspekte (z. B. Störmeldungen, Not-Stopp-Schaltungen, Betriebsmeldungen, Fern-Ein-Ausschaltung)
- Energetische Optimierung und gegenseitige Abstimmung zwischen den gebäudetechnischen Systemen sowie spezielle Anforderungen an die zu klimatisierenden Räume oder Zonen (z. B. Fensterkontaktschaltungen, Verriegelung oder außentemperaturabhängige Vorgabe von Betriebsarten)

**Schnittstellen zu externen Steuerungen, Regelung und Kommunikationsmitteln**

Bei modernen Komfortklimasystemen ist es möglich Steuerungseingriffe sowie Kommunikationszugriffe direkt an den Geräten oder auch indirekt (z. B. über GLT) zu realisieren. Als Schnittstellen dienen Hardwarebausteine (0–10 V-Signal, 230 V-Signal) sowie virtuelle Anbindungen (z. B. über Intranet, Internet, Email, SMS) und Datenübergabepunkte (z. B. Gateways).

Zusätzlich zu diesen Schnittstellen gibt es die Möglichkeit, herstellerspezifische Bedien- und Managementsysteme (Software) einzusetzen, die wiederum in der Lage sind, mit anderen Software-Systemen zu kommunizieren, parallel und aufeinander abgestimmt (z. B. spezielle Hotel-Gebäudemanagement-Software).




(Erklärung: Interne Kommunikation zwischen Außengerät und Innengeräten blau, Kommunikation Innengerät zu Fernbedienung grün gepunktet, orange: Kommunikation nach extern, gelb: Kommunikation Bausteine, Interface, Gateway zur Gebäudeleittechnik)

# 7.3 Mit STULZ CompTrol® zentral steuern und überwachen

Ganz gleich, ob in einem Gebäude schon Regelungstechnik eingesetzt wird oder nicht – die individuellen Bedürfnisse und Grundvoraussetzungen stehen im Mittelpunkt, wenn es um die zentrale Steuerung und Überwachung des Klimasystems geht. STULZ CompTrol® bietet zahlreiche unterschiedliche Anbindungsmöglichkeiten.

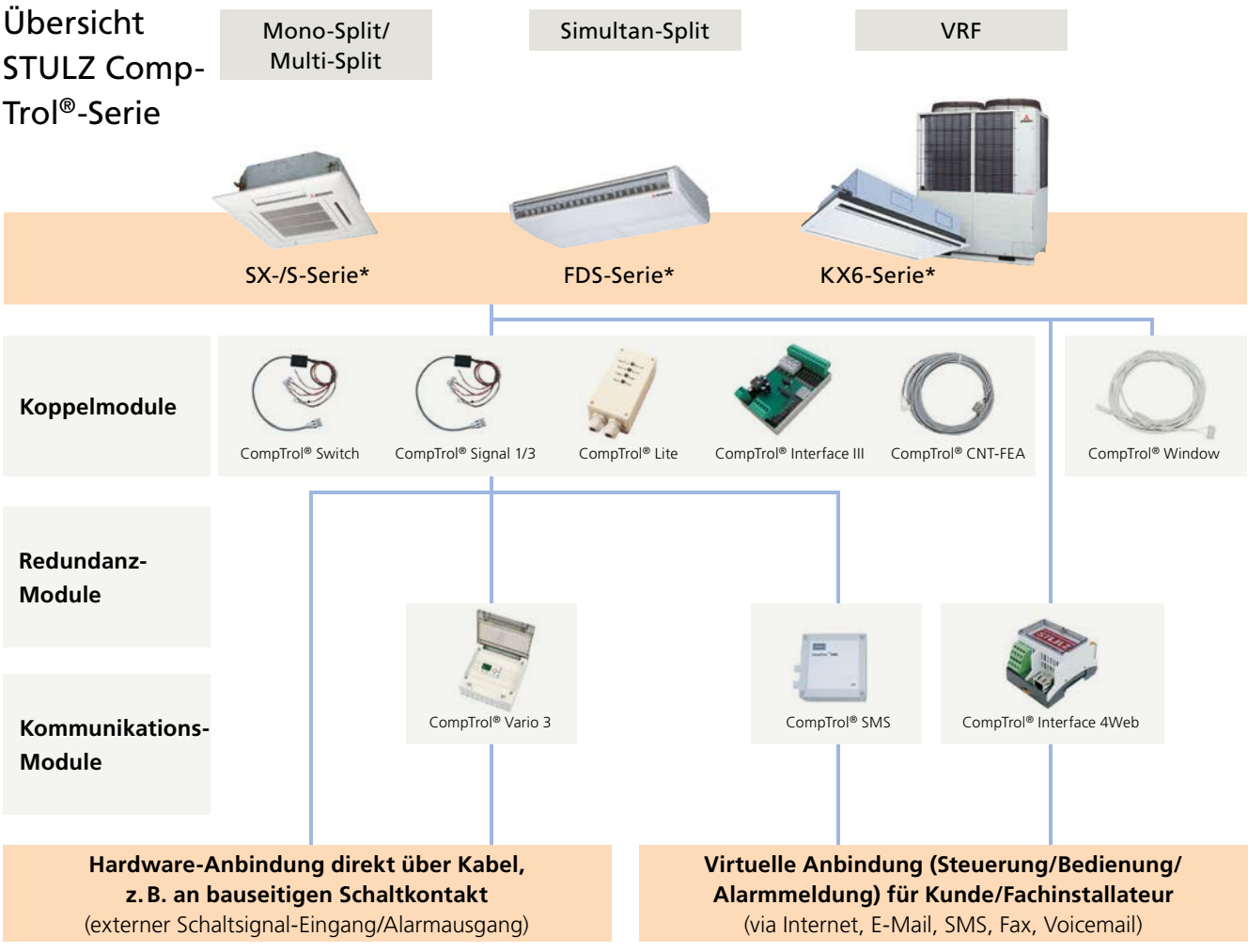
## 7.3.1 Direkte Geräteanbindung

Je nach Anforderung können mit STULZ CompTrol® einzelne Schaltkontakte direkt an die Innen- und Außengeräte des Klimasystems angeschlossen werden. Die Möglichkeiten reichen von der Alarm- bzw. Betriebsmeldung über kompakte Steuer- und Schaltbausteine, beispielsweise für den redundanten Betrieb mehrerer Klimageräte, bis hin zur (virtuellen) Fernbedienung über das Internet.

**Koppelmodule**
Elektro-Bausteine zur Kommunikation zwischen externen analogen/digitalen Schaltsignalen und den Klimageräten von MITSUBISHI Heavy Industries.

**Redundanzmodule**
Elektro-Bausteine, die mehrere Innengeräte bei Störungen (Redundanz), Temperaturüberschreitungen (Unterstützung) oder zeitlich gesteuert ein- oder ausschalten können.

**Kommunikationsmodule**
Elektro-Bausteine, die Alarm-/Betriebsmeldungen via SMS, E-Mail, Voicebox, Fax und weiteren Kanälen an verantwortliche Personen übertragen können oder eine Anbindung an das Internet ermöglichen.




* Die Gerätekombinationen sind beispielhaft dargestellt und können je nach Anforderung variiert werden.

## 7.3.2 Zentrale Bedienung und Steuerung

CompTrol® Touch und CompTrol® ZLT von STULZ ermöglichen die zentrale Steuerung und Überwachung von vielen Innengeräten über ein intuitiv bedienbares Touchpanel in deutscher Sprache oder am PC. Der Komfort steht im Mittelpunkt: Von der Betriebskostenabrechnung bis zum Versand von Störungsmeldungen per E-Mail, Fax oder SMS.

Sowohl CompTrol® Touch als auch CompTrol® ZLT funktionieren auf Basis der Bus-Technologie von MITSUBISHI Heavy Industries. Das bedeutet: Alle Innen- und Außengeräte müssen pro Bus (bis zu 80 Innengeräte) nur über ein einziges Kabel miteinander verbunden werden. Dieses Kabel wird dann an beliebiger Stelle an ein separates Gateway (Adapterbaustein) angeschlossen, welches dann mit dem CompTrol® Touch- bzw. CompTrol® ZLT-Rechner verbunden wird. Eine effektive Kommunikation – ohne unüberschaubaren Installationsaufwand.

| | | CompTrol® Touch | CompTrol® ZLT |
|---|---|---|---|
| Grundfunktionen | Projektbezogen programmiertes System | – | ● |
| | Anzahl anschließbare Innengeräte, Standardausführung (erstes Gateway inkl.) | 80 | 80 |
| | Anzahl anschließbare Innengeräte, max. | 240* | 2.560* |
| | Wandhalterungsadapter für ESA75 | ● | – |
| | Mini-PC (ohne Monitor) | – | ● |
| | Touchpanel | ● | – |
| | Tastatur/Maus inklusive | ● | ● |
| | Betriebsmodusschaltgruppen | ● | ● |
| | Gruppenbildung | ● | ● |
| | Zeitschaltprogramme mit Kalenderfunktion | ● | ● |
| | Anzahl Innengeräte mit Energiekostenabrechnung (Standard), max. | 240 | 2.560 |
| | Piktogrammübersicht | ● | ● |
| | Sonderprogramme (optimiertes Einschalten, Außentemperatur-kompensation, Temperaturanhebung/-absenkung, automatisches Einschalten nach Raumtemperatur) | ● | ● |
| | Definition von Feiertagen/Urlaubstagen | ● | ● |
| Optionen (einzeln ergänzbar) | Mehrplatzbedienung mit benutzerabhängigen Bedienrechten | – | ● |
| | Einbindung von Grundrissen/Hintergrundbildern | – | ● |
| | Anzahl Innengeräte mit Energiekostenabrechnung (M-Bus), max. | 160 | 2.480 |
| | FIAS-Schnittstelle | – | ● |
| | OPC-Schnittstelle | – | ● |
| Service | Ferndiagnose bei Netzwerkanschluss | ● | ● |
| | Inbetriebnahmeunterstützung und Anwenderschulung | ● | ● |

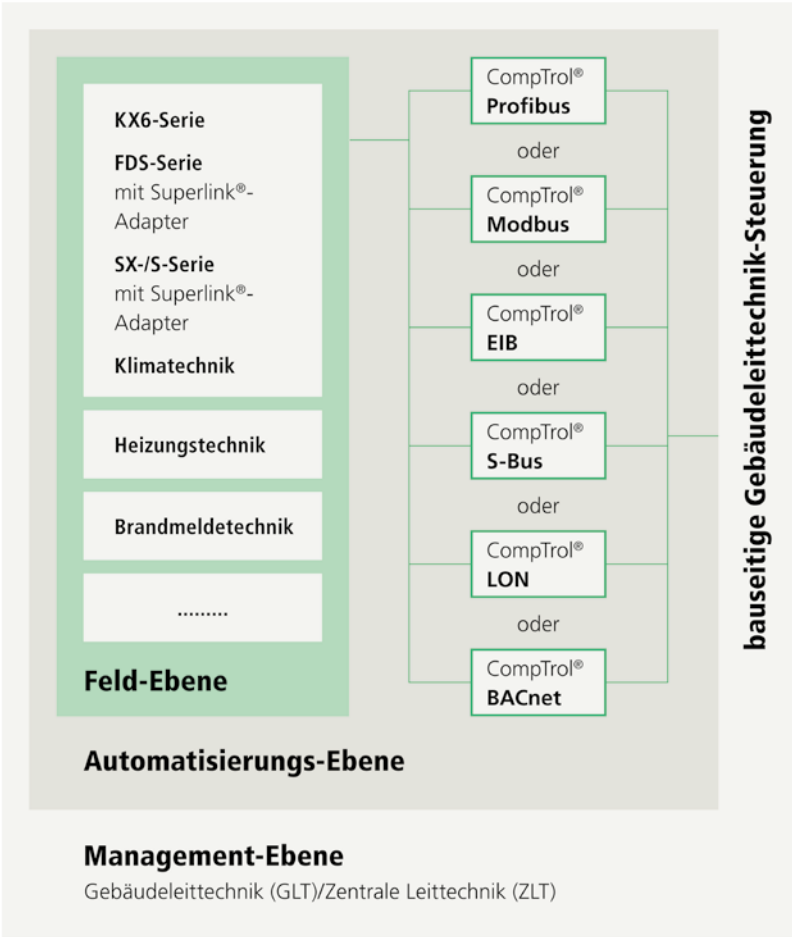
* jeweils 80 Innengeräte pro Gateway

## 7.3.3 Integration in Leit- und Bussysteme

Moderne Immobilien sind heute mit einer professionellen Gebäudeleittechnik ausgestattet, die alle technischen Funktionen regelt. Die Anschaffung einer weiteren Lösung, die sich ausschließlich um die Steuerung und Regelung des Raumklimas kümmert, ist nicht notwendig. In den meisten Fällen bietet es sich an, das Klimasystem in das vorhandene Gebäudemanagement zu integrieren. Voraussetzung: Eine offene Buskommunikation.

**STULZ CompTrol® – immer offen für die Anbindung an Standard-Leit- und Bussysteme:**

Verschiedene Schnittstellen-Gateways übersetzen den Superlink®-2-Bus von MITSUBISHI Heavy Industries auf die gängigsten Standard-Bus-Protokolle.



# 8 Systemplanung

## 8.1 Grundlagen der Schall-Planung

Dieses Kapitel thematisiert zum einen die mögliche Geräuschentwicklung bei Luft-Luft-Wärmepumpen, zum anderen soll es die physikalischen Grundlagen näherbringen. Beispiele, Diagramme und Tabellen sollen die teilweise komplexen Zusammenhänge überschaubar machen. Der beratende Ingenieur sollte die Schalldaten der Luft-Luft-Wärmepumpen berücksichtigen, um dadurch den optimalen Aufstellungsort für das Klima-Außengerät zu finden. Um diese Daten richtig zu deuten bzw. sie mit anderen Geräten vergleichen zu können, müssen verschiedene Fakten bekannt sein.

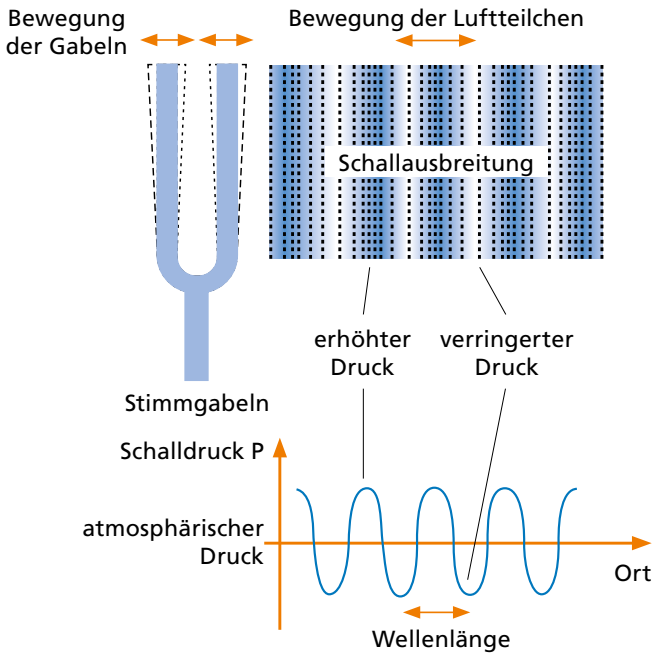
Diese sind unter anderem:

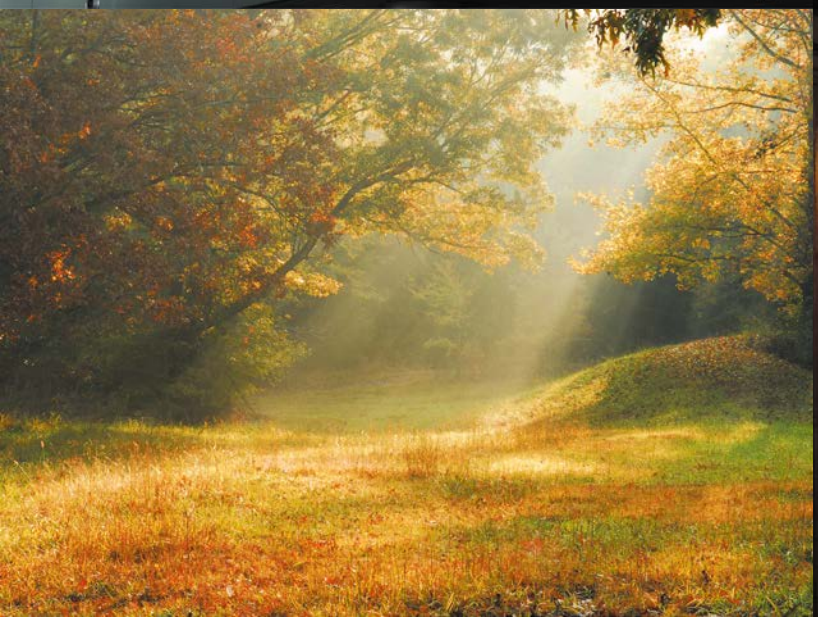
- Der wesentliche Unterschied zwischen der Schallleistung und dem Schalldruck
- Der Einfluss der Messbedingungen auf das Ergebnis z. B. Messumgebung, Messabstand zum Gerät oder Ausblasrichtung

## 8.2 Schalldruckpegel und Schallleistungspegel

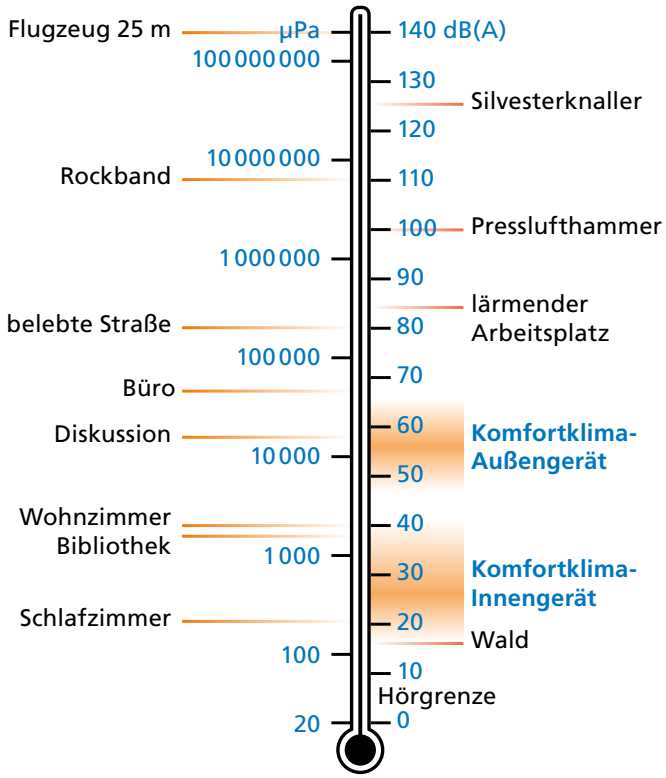
Jede Geräuschquelle emittiert einen messbaren Schallpegel. Dabei wird die Luft ausgehend von der Geräuschquelle in Schwingungen versetzt, und der Druck breitet sich wellenförmig aus. Diese Druckwelle versetzt beim Erreichen des menschlichen Ohres das Trommelfell in Schwingungen, das dann wahrnehmbare Töne erzeugt. Als Maß für den Luftschall werden die technischen Begriffe Schalldruck und Schallleistung verwendet.

Die Schallleistung ist eine schallquellentypische Größe, die nur rechnerisch aus Messungen ermittelt werden kann. Sie beschreibt die Summe der Schallenergie, die in alle Richtungen abgegeben wird.





**Erfahrungswerte Schalldruckpegel**




**Pegelzunahme bei gleich lauten Schallquellen**

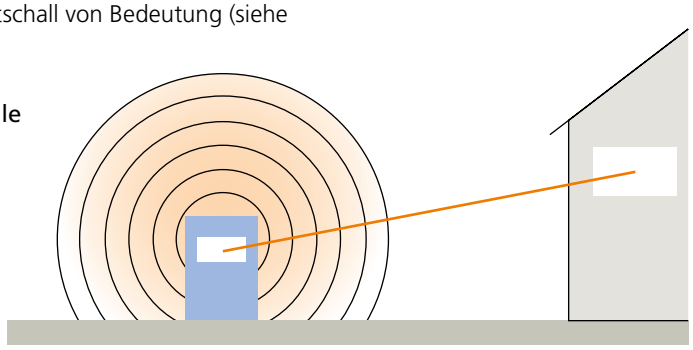
| **Pegelzunahme ΔL bei n gleich lauten Schallquellen** | |
|---|---|
| Anzahl n gleich lauter Schallquellen | Pegelzunahme ΔL in dB |
| 1 | 0,0 |
| 2 | 3,0 |
| 3 | 4,8 |
| 4 | 6,0 |
| 5 | 7,0 |
| 6 | 7,8 |
| 7 | 8,5 |
| 8 | 9,0 |
| 9 | 9,5 |
| 10 | 10,0 |
| 12 | 10,8 |

# 8.3 Berechnung der Lärmimmission

## 8.3.1 Die Wärmepumpe als Schallquelle

**Schallabstrahlung von Wärmepumpen-Außengeräten**
Wärmepumpen erzeugen auf verschiedene Weise Schall. Hauptquellen sind Verdichter, Ventilatoren und Rohrleitungen. Grundsätzlich ist bei der Abstrahlung zwischen Luft- und Körperschall zu unterscheiden.
Bei den im Freien aufgestellten Wärmepumpen ist in der Regel vor allem der abgestrahlte Luftschall von Bedeutung (siehe Abbildung unten). Da der Aufstellort im Allgemeinen vom Gebäude entkoppelt ist, spielt die Geräuschimmission durch Körperschall in diesem Zusammenhang eine geringe Rolle. Deshalb beschäftigt sich die weitere Betrachtung der Schall-Problematik ausschließlich mit dem Thema Luftschall.

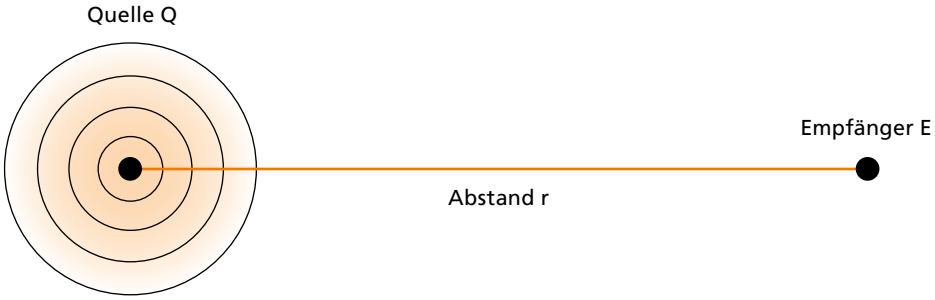
Schallpegel im Freien im Abstand x einer Punkt-Quelle mit der Schalleistung $L_w$



## 8.3.2 Schallausbreitung im Freifeld

In der unteren Abbildung ist eine typische Schallausbreitungs-Situation dargestellt, in der die Schallausbreitung hindernisfrei auf der Sichtlinie von der Wärmepumpe bis zum Immissionsort (Empfangsort) im Haus rechts erfolgen kann. Bei der Analyse derartiger Bdingungen müssen lediglich die Verluste durch die geometrische Ausbreitung des Schalles von der Quelle zum Empfänger und die Verhältnisse bei der Abstrahlung berücksichtigt werden.

Empfänger E im Abstand r der Kugel-quelle Q




Gesucht ist vorerst die Schallintensität I, also die Schalleistung die bei E senkrecht durch 1 $m^2$ strömt. Weil die von Q ausgestrahlte Schalleistung W sich auf eine Kugeloberfläche verteilt gilt:

$$I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

I = Schallintensität
W = Schalleistung der Quelle
r = Entfernung Quelle–Empfänger
$4 \cdot \pi \cdot r^2$ = Oberfläche, Kugel mit Radius x

Mit der Schallpegeldefinition ergibt sich der Pegel $L_{(x)}$ bei E wie folgt:

$$L_{(x)} = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$= 10 \cdot \log \left(\frac{W/W_0}{4 \cdot \pi \cdot r^2}\right)$$

$I_0$ = Bezugsintensität
$W_0$ = Bezugsschalleistung

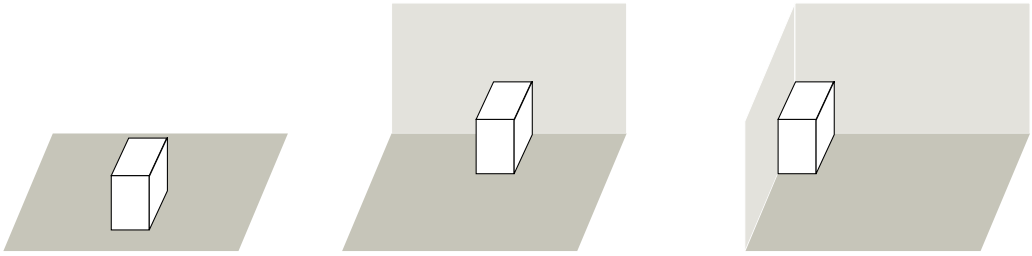
Oder

$$L_{(r)} = L_w - 20 \cdot \log_{(r)} - 11$$

# 8.4 Wirkung der näheren Umgebung der Schallquelle

Abhängig vom Aufstellungsort der Schallquelle (Außengerät) muss abschließend eine Korrektur zum oben berechneten Wert addiert werden. Es wurde angenommen, dass die Quelle ganz im Freien „schwebt". Das entspricht z. B. einer Kaminöffnung auf einem schlanken Kamin. Wenn die Quelle auf einer reflektierenden Ebene steht (Wärmepumpe im Freien), dann wird die ganze Schallenergie nur in den Halbraum ausgestrahlt.

Die empfangene Schallleistung wird damit verdoppelt, der Pegel am Immissionsort also um 3 dB erhöht (siehe Zeichnung unten).
Analoge Überlegungen gelten für die Abstrahlung in den Viertelraum (Außengerät an Hauswand) und für den Achtelraum (Außengerät im Raum-Eck).



$Q = 2$ $D_C = 3$ dB | $Q = 4$ $D_C = 6$ dB | $Q = 8$ $D_C = 9$ dB

**Richtwirkung durch Aufstellung der Wärmepumpe auf reflektierender Ebene, in Kante und in Ecke**

Der Schallpegel $L_{(x)}$ beim Empfänger E berechnet sich demnach im einfachsten Fall wie folgt:
Wenn der Schallpegel an einem näheren Punkt P in Entfernung a bekannt ist, berechnet sich der Pegel bei E wie folgt:

$$L_{(r)} = L_W + 10 \cdot \log \left( \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \right)$$

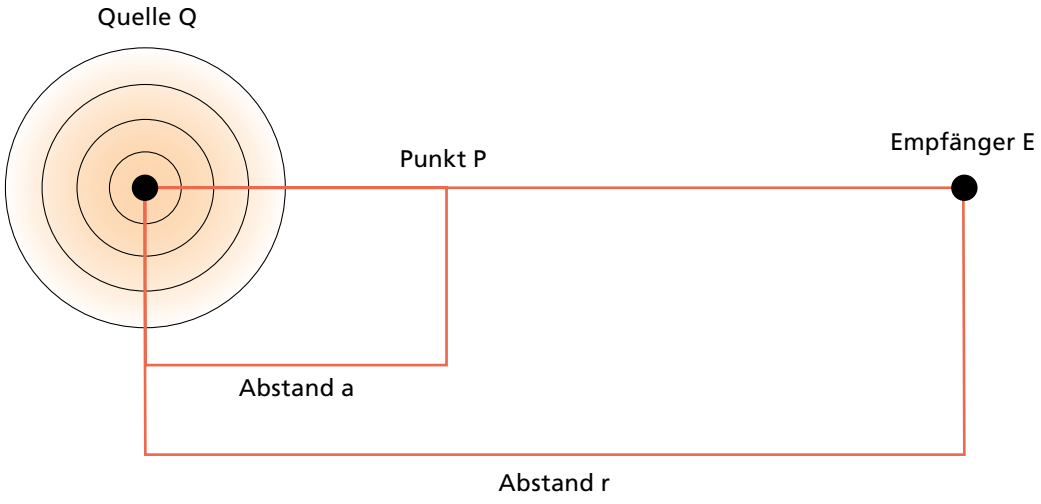
oder

$$L_{(r)} = L_w - 20 \cdot \log_{(r)} - 11 + D_C$$

Wenn der Schallpegel an einem näheren Punkt P in Entfernung a bekannt ist, berechnet sich der Pegel bei E wie folgt:

$$L_{(x)} = L_{(a)} - 20 \cdot \log \left( \frac{r}{a} \right)$$

Bei vielen Situationen mit Wärmepumpen kann man mit den oben angegebenen Formeln den für A-bewerteten Schallpegel berechnen. Wenn die Situation komplizierter ist (Hindernisse, größere Distanzen), dann müssen verschiede Effekte berücksichtigt werden und die Berechnung wird mit Vorteil in Oktavbändern durchgeführt.



Die entsprechende Formel für den Schallpegel am Immissionsort E lautet dann:

$$L = L_W - 20 \cdot \log_{(r)} - 11 + D_C - D_D - D_B - D_Z \ldots$$

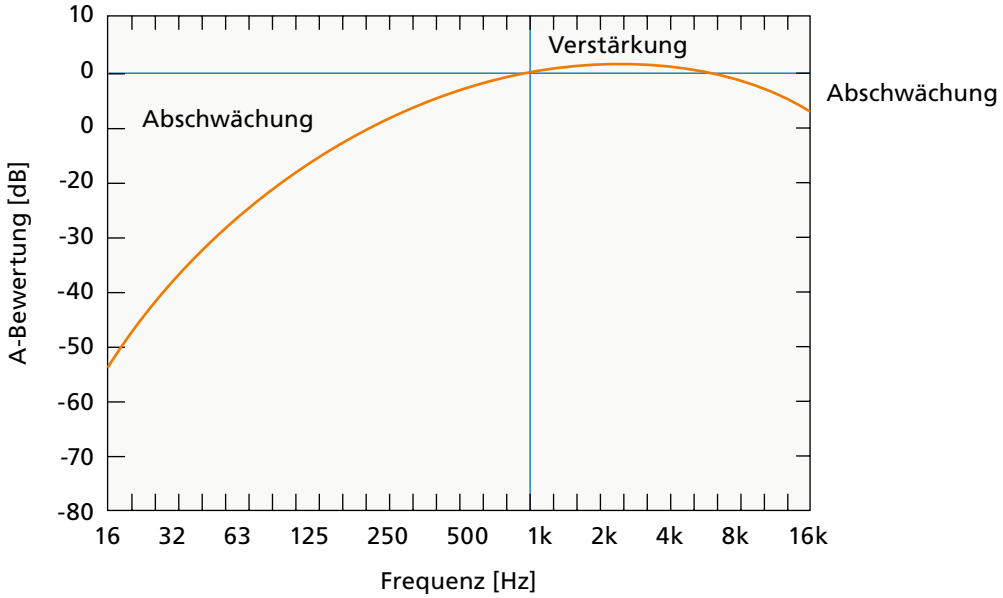
L = Schallpegel am Immissionsort [dB]
$L_W$ = Schallleistungspegel [dB]
r = Abstand [m]
$D_C$ = Richtcharakteristik-Korrektur [dB]
$D_D$ = Luftdämpfung (Dissipation) [dB]
$D_B$ = Bodeneffekt [dB]
$D_Z$ = Hinderniswirkung (Abschirmindex) [dB]

Die Berechnungsverfahren sind in der Norm ISO 9613-2:1996-12 festgelegt und können Fachbüchern entnommen werden. Das Resultat der in diesem Abschnitt beschriebenen Berechnungen ist der Pegel am Immissionsort, der die Grundlage für die Beurteilung gemäß Lärmschutzverordnung bildet.

# 8.5 dB(A)-Bewertung von Schallpegeln

Um eine bessere Beurteilung des vom menschlichen Gehör tatsächlich empfundenen Schallpegels zu erreichen, ist der Einsatz eines speziellen Filters erforderlich. Denn der lineare Verlauf des Schallpegels entspricht nicht dem subjektiv empfundenen Geräusch durch den Menschen.

Zu Grunde liegen Erfahrungen, in welchen Bereichen der Mensch abweichend vom linearen Verlauf des Schallpegels ein Geräusch lauter oder leiser empfindet. Bezeichnet werden die errechneten Werte mit dB (A).




Folgende Tabelle erleichtert die überschlägige Berechnung:

| **Richtfaktor Q** | **Abstand von der Schallquelle in m** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 |
| | **Schalldruckpegel LP bezogen auf den am Gerät/Auslass gemessenen Schallleistungspegel $L_{WAeq}$ in dB(A)** | | | | | | | | |
| **2** | –8 | –14 | –20 | –22 | –23,5 | –26 | –28 | –29,5 | –31,5 |
| **4** | –5 | –11 | –17 | –19 | –20,5 | –23 | –25 | –26,5 | –28,5 |
| **8** | –2 | –8 | –14 | –16 | –17,5 | –20 | –22 | –23,5 | –25,5 |