

# Wirksamkeit von mobilen Klimageräten

K. Fitzner, U. Finke, O. Zeidler

**Forschung  
Projekt F 2073**

**Forschung  
Projekt F 2073**

K. Fitzner  
U. Finke  
O. Zeidler

# **Wirksamkeit von mobilen Klimageräten**

Dortmund/Berlin/Dresden 2007

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Untersuchung der Wirksamkeit von mobilen Klimageräten aus der Sicht des Einsatzes in Arbeitsstätten durch vergleichende Messungen unter definierten klimatischen Bedingungen“ - Projekt F 2073 - im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Klaus Fitzner  
Dr.-Ing. Ulrich Finke  
Dr.-Ing. Olaf Zeidler

Klimakonzept  
Olympische Str. 3 a, 14052 Berlin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund  
Telefon: 0231 9071-0  
Telefax: 0231 9071-2454  
E-Mail: [poststelle@buaa.bund.de](mailto:poststelle@buaa.bund.de)  
Internet: [www.buaa.de](http://www.buaa.de)

Berlin:  
Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin  
Telefon: 030 51548-0  
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:  
Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden  
Telefon: 0351 5639-50  
Telefax: 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

ISBN 978-3-88261-055-0

# Inhaltsverzeichnis

|  | Seite     |
|--|-----------|
| Kurzreferat.....   | 6         |
| Abstract .....   | 7         |
| Résumé .....   | 8         |
| <b>1 Ziele des Forschungsvorhabens .....</b>               | <b>9</b>  |
| <b>2 Ergebnisse der Marktanalyse .....</b>                 | <b>10</b> |
| 2.1 Einteilung in verschiedene Gerätetypen .....           | 10        |
| 2.2 Geräteauswahl.....                                     | 11        |
| <b>3 Funktionsprinzipien der untersuchten Geräte .....</b> | <b>13</b> |
| 3.1 Schlauchgeräte.....                                    | 13        |
| 3.2 Splitgeräte.....                                       | 14        |
| <b>4 Grundlagen zur Bewertung .....</b>                    | <b>16</b> |
| 4.1 Leistung und Leistungszahl .....                       | 16        |
| 4.2 Raumklima und thermische Behaglichkeit .....           | 18        |
| 4.2.1 Temperaturen .....                                   | 18        |
| 4.2.2 Luftgeschwindigkeit.....                             | 19        |
| 4.2.3 Luftfeuchte .....                                    | 20        |
| 4.2.4 Raumklima und Leistungsfähigkeit .....               | 22        |
| 4.3 Hygiene.....   | 23        |
| 4.4 Akustische Anforderungen.....                          | 23        |
| 4.5 Handhabung der Geräte, Bewertungsmaßstab .....         | 24        |
| <b>5 Untersuchungen.....</b>                               | <b>25</b> |
| 5.1 Geräte.....  | 25        |
| 5.2 Versuchsaufbau .....                                   | 26        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.2.1    | Kühlleistung .....  | 26        |
| 5.2.2    | Entfeuchtungsleistung.....  | 28        |
| 5.2.3    | Energieverbrauch, Bestimmung der Leistungszahl $LG_{sen}$ .....     | 28        |
| 5.2.4    | Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich .....                   | 28        |
| 5.2.5    | Hygieneuntersuchungen .....   | 29        |
| 5.2.6    | Akustische Messungen .....  | 29        |
| 5.2.7    | Handhabung der Geräte .....   | 30        |
| 5.3      | Durchführung der Untersuchungen.....                                | 31        |
| 5.3.1    | Bestimmung der Leistungszahl .....                                  | 31        |
| 5.3.2    | Bestimmung des Schalleistungspegels.....                            | 34        |
| <b>6</b> | <b>Ergebnisse .....</b>   | <b>35</b> |
| 6.1      | Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen .....                 | 35        |
| 6.1.1    | Energieverbrauch und Leistungszahl.....                             | 35        |
| 6.1.2    | Kühlleistung, Entfeuchtungsleistung .....                           | 40        |
| 6.1.3    | Regelung durch Ein- und Ausschalten.....                            | 43        |
| 6.1.4    | Luftgeschwindigkeiten, Lufttemperaturen im Aufenthaltsbereich ..... | 44        |
| 6.1.5    | Akustische Messung .....  | 50        |
| 6.2      | Hygieneuntersuchung .....   | 55        |
| 6.3      | Handhabung der Geräte .....   | 56        |
| <b>7</b> | <b>Auswertung .....</b>   | <b>60</b> |
| 7.1      | Überschlägige Kühllastberechnung .....                              | 60        |
| 7.1.1    | Geräteleistung der untersuchten Geräte.....                         | 60        |
| 7.1.2    | Abschätzung der erforderlichen Geräteleistung .....                 | 60        |
| 7.2      | Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Geräte .....                 | 64        |
| <b>8</b> | <b>Entscheidungshilfe .....</b>                                     | <b>66</b> |
| 8.1      | Ausgangsbedingung .....   | 66        |
| 8.2      | Erforderliche Geräteleistung .....                                  | 67        |
| 8.3      | Einbaumöglichkeiten.....  | 68        |
| 8.4      | Erforderliche Mobilität .....                                       | 69        |
| 8.5      | Wartungsaufwand .....   | 69        |
| 8.6      | Gewünschte Wirtschaftlichkeit .....                                 | 69        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>9</b>  | <b>Einkaufshilfe</b> .....                | <b>70</b> |
| 9.1       | Bestimmung der Kühlleistung .....         | 70        |
| 9.2       | Bestimmung der Geräteart.....             | 70        |
| 9.3       | Zusätzliche Hinweise .....                | 72        |
| <b>10</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b> ..... | <b>73</b> |
|           | Literaturverzeichnis .....                | 75        |
|           | Einheitenverzeichnis.....                 | 77        |
|           | Indexverzeichnis.....                     | 78        |
|           | Begriffe .....                            | 79        |
|           | Bezeichnungen.....                        | 79        |

# Wirksamkeit von mobilen Klimageräten

## Kurzreferat

Im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin wurden verschiedene Arten mobiler Klimageräte untersucht, um Aussagen zur richtigen Auswahl und ihrer Handhabung machen zu können. Dazu wurden die Kühlleistung, die elektrische Leistungsaufnahme, die Schallerzeugung, die Keimkonzentration und Geschwindigkeit und Temperatur im Zuluftstrahl unter Sommerbedingungen gemessen. Es wurden typische Schlauch- und Splittergeräte im mittleren Leistungsbereich ausgewählt.

Nur die sensible Kühlleistung ist wichtig. Sie ist um den Faktor 1,5 bis 2,5 kleiner als die vom Hersteller angegebene maximale Leistung. Bei den untersuchten Schlauchgeräten lag sie im Bereich 1,0 bis 1,2 kW und bei den Splittergeräten mit gleichen Abmessungen bei 1,4 bis 2,0 kW. Die Leistungszahlen als das Verhältnis der erzielten sensiblen Kühlleistung zur aufgewendeten elektrischen Leistung liegen bei großer Drehzahlstufe bei 1,1 bis 1,4. Bei kleinerer Drehzahl und Leistung werden die Leistungszahlen größer, bis 1,7 bei Schlauchgeräten und bis 2,2 bei Splittergeräten. Bei den Schlauchgeräten wurde ein Gerät mit befeuchtetem (nassem) Verflüssiger untersucht. Es erreichte die größte Leistungszahl: 2,3.

Als Maß für den abgegebenen Schall wurde die A-bewertete Schalleistung ermittelt. Bei der großen Drehzahl liegen die Ergebnisse bei den Schlauchgeräten zwischen 61 und 65 dB(A), bei den Splittergeräten zwischen 51 und 55 dB(A).

Luftgeschwindigkeit und Untertemperatur sind direkt im Luftstrahl vor dem Gerät unbehaglich groß. Außerhalb des Strahles in größerer Entfernung vom Gerät liegen sie im Behaglichkeitsbereich.

Die Keimemission ist bei richtiger Wartung des Gerätes nicht problematisch.

Für die richtige Geräteauswahl werden zwei einfache Schätzverfahren für die Leistung angegeben.

Für die richtige Auswahl ist die gewünschte Mobilität ein Kriterium. Am mobilsten sind die Schlauchgeräte, sie haben dafür die geringste Leistung und Leistungszahl, mit Ausnahme des Gerätes mit nassem Verflüssiger. Die besten Werte für die Kühlung werden erreicht, wenn die Geräte an entsprechende Öffnungen in der Außenwand angeschlossen werden und die Fenster geschlossen bleiben können. Dann muss die Lüftung aus dem Gebäude erfolgen, was nur in wenigen Fällen möglich ist. Bei Verlegung der Schläuche im Fensterspalt sind bei den Zweischlauchgeräten mit den mitgelieferten Düsen brauchbare Werte zu erzielen, solange der Fensterspalt klein ist.

Die Bezeichnung „mobiles Klimagerät“ ist aus der Sicht der Klimatechnik nicht richtig. Es ist nur ein mobiles Kühlgerät; denn es kann nur kühlen und entfeuchten.

## Schlagwörter:

Mobile Klimageräte, Schlauchgerät, Splittergerät, Leistung, Leistungszahl, Behaglichkeit, Schallpegel, Hygiene, Handhabung

# Performance of mobile air-conditioners

## Abstract

As an order of the "Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin" different types of mobile air-conditioners were investigated to get information how to correctly select and handle them. The cooling capacity, consumption of electrical energy, coefficient of performance, noise production, concentration of micro organism, temperatures and velocities in the supply jet were measured under summer conditions. Typical tube and split units in the middle range of capacities were chosen.

Only the sensible cooling capacity is relevant. It is by a factor of 1,5 to 2,5 smaller than the maximum capacity given by the manufacturers. The sensible cooling capacity of the investigated tube units was in the range of 1,0 to 1,2 kW and 1,4 to 2,0 kW for the split units with the same dimensions of the units. The coefficients of performance (COP) showing the relation of the sensible cooling capacity to the consumed electrical power are in the range of 1,1 to 1,4 for all units for a high number of revolution. For lower number of revolution the COP reaches 1,7 for tube units and 2,2 for split units. A one tube unit with a wet condenser reached the best COP of 2,3.

The A weighted noise power was assessed as a measure of the produced noise. The results for the high number of revolution are: tube units 61 to 65 dB(A), split units 51 to 55 dB(A).

There are uncomfortable draught and temperature in the air jet in front of the unit. Outside the jet in a larger distance temperature and velocity are comfortable.

The emission of micro organism is not problematic if good maintenance can be presumed.

Two methods to estimate the required sensible cooling capacity are suggested.

The required mobility is another aspect for the choice of the unit. Tube units have the best mobility but the smallest capacity and COP, except a one tube unit with a wet condenser. Highest capacities can be realized when the tubes are connected to fitting wall openings and the windows remain closed. The ventilation is then performed by air from inside the building, which is seldom possible. Positioning the tubes of a two tube unit in a slot of the window by using the delivered special nozzles enable agreeable capacities as long as the slot is small.

The name "mobile air conditioning unit" is not correct from the view point of air-conditioning definitions. The unit is only a chilling unit, because it is only able to cool and to dehumidify the air.

## Key words:

Mobile air-conditioning units, tube units, split units, cooling capacity, coefficient of performance, thermal comfort, noise, hygiene, handling



# L'efficacité des équipements mobiles d'air conditionné

## Résumé

A la demande de la Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin plusieurs types d'équipements mobiles d'air conditionné ont été testés pour définir le bon choix et la bonne utilisation des appareils. Ainsi, nous avons mesuré les performances en termes de refroidissement, de consommation électrique, de nuisance sonore, de concentration de micro-organismes, ainsi que la vitesse et la température du jet d'air en condition été. Des appareils à tube et appareils « split » ont été testés dans une gamme de fonctionnement nominal.

Seule la performance de refroidissement sensible est importante. Celle-ci est 1,5 à 2,5 fois plus faible à la puissance maximale annoncée par le constructeur. Elle se situe dans une fourchette de 1.0 à 1.2 kW pour les appareils à tubes, et de 1.4 à 2.0 kW pour les appareils « split » avec les mêmes dimensions. Les coefficients de performance (COP) qui indiquent la relation entre la capacité de refroidissement significatif et la puissance électrique consommée sont, pour un nombre élevé de tours, dans la gamme de 1.1 à 1.4 pour tous les appareils. Dans le cas d'une vitesse de rotation plus faible le COP atteint pour les appareils à tube 1.7, et pour les appareils split 2.2. Une unité à tube avec condensateur humide atteint les meilleures performances avec 2.3.

La référence pour le bruit produit est a été défini en decibel A (dB(A)). A grande vitesse de rotation les appareils à tube produisent entre 61 et 65 dB(A), les appareils « split » entre 51 et 55 dB(A).

La vitesse de l'air et la faible température dans le jet d'air devant l'appareil sont désagréables.

Elles deviennent agréables en-dehors du jet à plus grande distance. L'émission de micro-organismes ne pose pas de problèmes en cas d'entretien correct des appareils.

Deux méthodes d'estimation des performances de refroidissent sont donnés pour le bon choix d'un appareil.

La mobilité souhaitée est un critère choix. Les appareils à tube sont les plus mobiles, mais aussi les moins performants avec des COP plus faibles, à l'exception de l'appareil avec condensateur humide. Les meilleures valeurs de refroidissement sont atteintes lorsque les appareils sont connectés à des ouvertures dans les murs extérieurs, les fenêtres étant fermées. Dans ce cas l'aération doit s'effectuer par le bâtiment ce qui n'est que rarement possible. Lorsque les tubes sont passés dans l'ouverture de la fenêtre on peut obtenir des valeurs correctes avec les appareils à deux tubes en utilisant les embouts fournis à condition que l'ouverture reste petite.

La dénomination « équipements mobiles d'air conditionnés » n'est pas correcte d'un point de vue de technicien. Il s'agit uniquement d'un équipement de refroidissement car il ne peut que refroidir, et déshumidifier de manière non réglable.

## Mots clés:

Appareils de climatisation, appareils à tube, appareils « split », performance, coefficients de performance (COP), confort, bruit, hygiène, utilisation

# 1 Ziele des Forschungsvorhabens

Die Untersuchung soll für verschiedene Arten mobiler Klimageräte Aussagen zur richtigen Auswahl, Handhabung, Leistungszahl sowie zu ihrer Auswirkung auf Behaglichkeit und Hygiene machen. Für die erreichbare thermische Behaglichkeit und Zugluftfreiheit ist neben der Dimensionierung und Aufstellung auch die Regelung ein wichtiges Untersuchungskriterium.

Dabei wird an den praxisgerechten Einsatz mobiler Klimageräte gedacht. Der Einsatz der Geräte soll mit den Ergebnissen der Untersuchungen optimiert werden. Dazu werden mobile Klimageräte mit unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien verglichen, bewertet und die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme beschrieben. Es wird auch versucht, eine Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen zu machen, soweit sich das aus den Konstruktionsprinzipien ergibt.

Die folgenden Punkte werden als Einzelziele des Forschungsvorhabens bearbeitet:

- Messung der Leistungszahl zur Beurteilung der Effektivität der unterschiedlichen Systeme zur Kühlung,
- Untersuchung der Eignung der mobilen Klimageräte bei unterschiedlichen Raumgrößen und unterschiedlichen Personenbelegungen der Räume,
- Untersuchung der Wirksamkeit der Geräte bei verschiedenen Außenlufttemperaturen,
- Ermittlung des Einflusses des Außenluftwechsels und damit der Gebäudedichtigkeit auf die Kühlleistung,
- Aufstellen einer Entscheidungshilfe zur einfachen Auswahl der geeigneten Klimatisierungssysteme für einen Raumtyp bzw. Arbeitsplatz,
- Beurteilung des Wartungsaufwandes der mobilen Klimageräte im praktischen Gebrauch,
- Beurteilung möglicher Risiken beim Einsatz mobiler Klimageräte hinsichtlich Keimemission, abhängig von Betrieb und Wartung der Geräte,
- Ermittlung der Geräuschbelastung durch mobile Klimageräte und Bewertung im Hinblick auf Beeinträchtigungen am Arbeitsplatz,
- Aufzeigen von möglichen Gefährdungen beim Einsatz von mobilen Klimageräten,
- Vorschläge für Bewertungsmaßstäbe für den Einsatz marktüblicher mobiler Klimageräte,
- Vergleich verschiedener Geräte anhand der Bewertungsmaßstäbe.

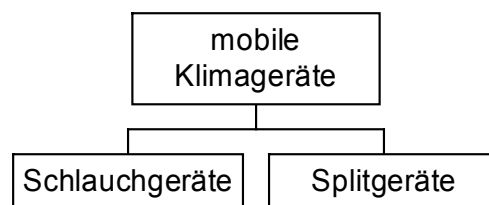
## 2 Ergebnisse der Marktanalyse

In Vorbereitung der Untersuchungen wird eine Marktanalyse durchgeführt. Dabei werden Herstellerunterlagen verschiedener am Markt erhältlicher Geräte in Hinblick auf die unterschiedlichen Funktionsprinzipien untersucht. Im Ergebnis zeigt sich, dass eine Einteilung in verschiedene Typen vorgenommen werden kann. Aus der Liste der analysierten Unterlagen werden die Geräte für die Untersuchung ausgewählt.

### 2.1 Einteilung in verschiedene Gerätetypen

Mobile Klimageräte werden oft in Räumen mit geringen, saisonalen Kühllasten eingesetzt. Durch eine kompakte Bauform sind diese Geräte ortsveränderlich und können bei Nichtgebrauch wieder entfernt werden. Sie sind nicht fest im Gebäude installiert. Dabei ist der Ausdruck „Klimagerät“ nach gültigen Richtlinien für Raumluftechnische Anlagen nicht richtig, da von den thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen (Belüften, Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten) nur Kühlen und bedingt Belüften und Entfeuchten bedient werden. Normgerecht bezeichnet handelt es sich um ein „mobiles Teilklimagerät“ oder „Umluftkühlgerät“, da meistens keine Heizmöglichkeit und auch keine Befeuchtungsmöglichkeit besteht und bei den Zweischlauch- und den Splitgeräten auch keine Belüftung mit Außenluft eintritt. Bei Einschlauchgeräten sollte der Raum nur indirekt mit Außenluft belüftet werden (vgl. 3.1). Darüber hinaus erfolgt bei allen Geräten nur eine undefinierte Entfeuchtung, abhängig vom Taupunkt der Luft und der Geräteleistung. Häufig wird auch von Luftkonditionierern gesprochen. In diesem Bericht wird jedoch aus Praktikabilitätsgründen weiter der Begriff „mobile Klimageräte“ verwendet, wohl wissend, dass die Bezeichnung falsch ist. Es lässt sich eine Einteilung der zu untersuchenden Geräte nach ihren Funktionsprinzipien aufstellen. Zunächst ist zwischen den Gerätetypen „Schlauchgerät“ und „Splitgerät“ zu unterscheiden.

Wesentliche Bestandteile des Kühlkreislaufes sind Kompressor, Verflüssiger und Verdampfer. Bei Schlauchgeräten sind Verdampfer und Verflüssiger in einem Gerät untergebracht. Die Abwärme des Verflüssigers wird über einen Luftschlauch nach außen ins Freie geführt. Splitgeräte sind in zwei Geräteeinheiten aufgeteilt. Im Raum steht die Einheit mit dem Verdampfer, der Verflüssiger befindet sich in der Außen-einheit im Freien. Dabei kann der Kompressor innen oder außen stehen. Abb. 2.1 veranschaulicht die beiden Möglichkeiten.

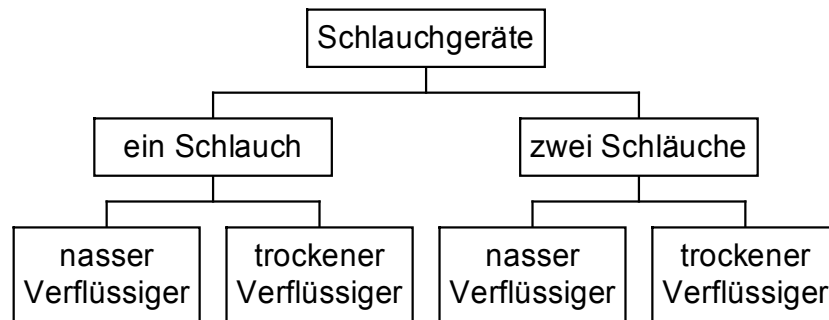


**Abb. 2.1** Typen der mobilen Klimageräte

Die Schlauch- und Splitgeräte lassen sich weiter unterteilen. Abb. 2.2 zeigt die Unterscheidungsmerkmale, die in der Gruppe Schlauchgeräte anzutreffen sind. Es gibt Geräte mit nassem und mit trockenem Verflüssiger. Bei nassem Verflüssiger wird zur Verbesserung der Leistung der Kältemaschine der Verflüssiger befeuchtet. Geräte

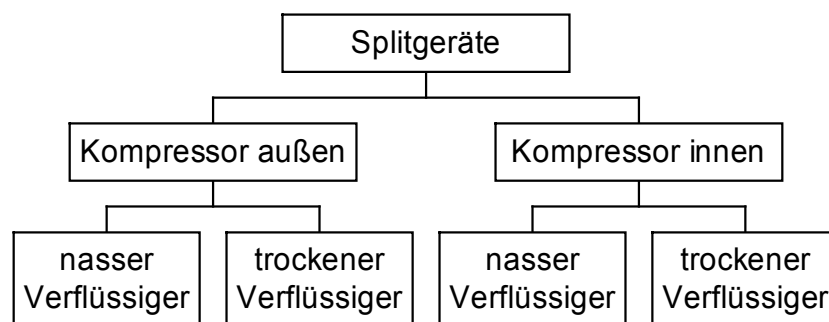
mit trockenem Verflüssiger besitzen diese Einrichtung nicht. Eine weitere Unterteilung erfolgt jeweils in Geräte mit einem Schlauch und Geräte mit zwei Schläuchen. Bei Einschlauchgeräten wird Luft zur Kühlung des Verflüssigers aus dem Raum angesaugt. Die erwärmte Luft wird dann durch einen Schlauch nach außen geführt. Entsprechend viel Außenluft muss durch Undichtigkeiten der Raumumschließung oder Fenster angesaugt werden.

Bei Zweischlauchgeräten wird Außenluft zur Kühlung des Verflüssigers durch einen zusätzlichen Schlauch angesaugt. Der zweite Schlauch fördert die erwärmte Luft wie beim Einschlauchgerät nach außen.



**Abb. 2.2** Typen der Schlauchgeräte

Abb. 2.3 zeigt die weiteren Unterscheidungsmerkmale in der Gruppe der Splitgeräte. Auch hier lässt sich, wie bei den Schlauchgeräten, zwischen nassem und trockenem Verflüssiger unterscheiden. Weiterhin sind die Geräte nach dem Installationsort des Kompressors zu unterscheiden. Der Kompressor kann in der Inneneinheit oder in der Außeneinheit montiert sein. Die Montage in der Außeneinheit bringt akustische Vorteile im Raum und ermöglicht eine bessere Abgabe der Wärmeverluste des Kompressors nach außen.



**Abb. 2.3** Typen der Splitgeräte

## 2.2 Geräteauswahl

Für die Durchführung der Untersuchungen werden sieben mobile Klimageräte so ausgewählt, dass die oben beschriebenen Funktionsprinzipien (vgl. Abschnitt 2.1) untersucht werden können. Die durchgeführte Marktstudie zeigt, dass kein Splitgerät für die Merkmale nasser Verflüssiger und außenliegender Kompressor zur Verfügung steht. Dieser Gerätetyp wird im Folgenden nicht weiter betrachtet. In Tab. 2.1 sind die ausgewählten Geräte zusammengestellt. Das Gerät SL 2 hat als zusätzliche Eigenschaft einen Durchlass, der die gekühlte Zuluft oszillierend in den Raum bläst.

Dabei ändert sich der vertikale Winkel der Ausblasrichtung permanent zwischen ca. 20° und 45°. Der Zuluftstrahl wird ständig in eine andere Richtung ausgeblasen.

**Tab 2.1** Geräteauswahl

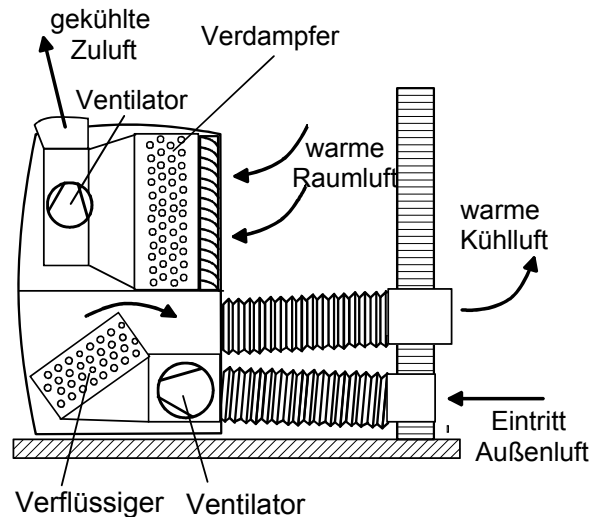
|                                | Schlauchgerät |                | Splitgerät       |                  |
|--------------------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|
|                                | Ein Schlauch  | Zwei Schläuche | Kompressor innen | Kompressor außen |
| nasser Verflüssiger            | SL 1          | SL 2           | SP 1             | -                |
| trockener Verflüssiger         | SL 3          | SL 4           | SP 2             | SP 3             |
| oszillierender Zuluftdurchlass | -             | SL 2           | -                | -                |

Die Gerätenummern sind nach dem Arbeitsprinzip (Schlauchgerät SL und Splitgerät SP) geordnet, die im gesamten Bericht beibehalten werden.

### 3 Funktionsprinzipien der untersuchten Geräte

#### 3.1 Schlauchgeräte

Zur Untersuchung werden vier verschiedene Schlauchgeräte (SL 1-SL 4) ausgewählt. Es werden Geräte mit nassem und mit trockenem Verflüssiger sowie Geräte mit einem und mit zwei Schläuchen verwendet. Die ausgewählten Schlauchgeräte arbeiten nach dem in Abb. 3.1 skizzierten Grundprinzip.



**Abb. 3.1** Funktionsprinzip Zweischlauchgerät

Im Gerät ist eine Kältemaschine installiert. Das Kältemittel durchläuft einen ersten Wärmeübertrager, den Verdampfer. Über diesen Wärmeübertrager wird mit Hilfe eines Ventilators die Raumluft geführt. Das Kältemittel nimmt dabei Wärme aus der Luft auf und verdampft. Die Luft kühlt sich ab und wird in den Raum geblasen. An diesem Verdampfer kann Kondensat aus der Raumluft entstehen. Das Kondensat tropft ab und wird in einem Sammelbehälter aufgefangen. Dieser Behälter ist in regelmäßigen Abständen zu entleeren.

Das verdampfte Kältemittel strömt vom Verdampfer zum Kompressor und wird dort verdichtet und anschließend durch einen zweiten Wärmeübertrager (Verflüssiger) geleitet. Über den Verflüssiger wird mit einem zweiten Ventilator ebenfalls Luft geleitet, die sich dabei erwärmt. Diese erwärmte Luft wird durch einen Schlauch nach außen geführt. So kann die entstandene Abwärme abgeführt werden. Die Ansaugung der Luft für den Verflüssiger kann, wie oben erläutert, auf zwei verschiedene Arten erfolgen:

1. Direkte Ansaugung von Raumluft und anschließende Ableitung der erwärmten Luft durch einen Schlauch nach außen (Einschlauchgerät).

In diesem Fall tritt eine Belüftung des Raumes ein. Allerdings lässt sich nicht sagen, woher die Luft kommt. Bei geöffnetem oder undichtem Fenster wird Außenluft angesaugt. Das ist bei hohen Außentemperaturen nicht zu empfehlen, weil fast genau so viel Wärme in den Raum strömt, wie die Kältemaschine entfernt.

Bei dichten Fenstern wird die Luft aus dem übrigen Gebäude angesaugt, aus Nachbarräumen, aus Fluren oder aus dem Treppenhaus. Wenn nur in einem einzigen oder wenigen Räumen gleichzeitig gekühlt werden soll, kann das ein vorteilhaftes Verfahren sein, bei dem die Speicherwirkung der anderen Räume genutzt wird. Bei einem Bürogebäude mit vielen gleichzeitig benutzten Räumen ist das Verfahren nicht angebracht, weil in die Nachbarräume von außen warme Außenluft gesaugt wird. Das Schlauchgerät SL 1 hat als Besonderheit einen Wassertank, aus dem Wasser auf den Verflüssiger gepumpt wird.

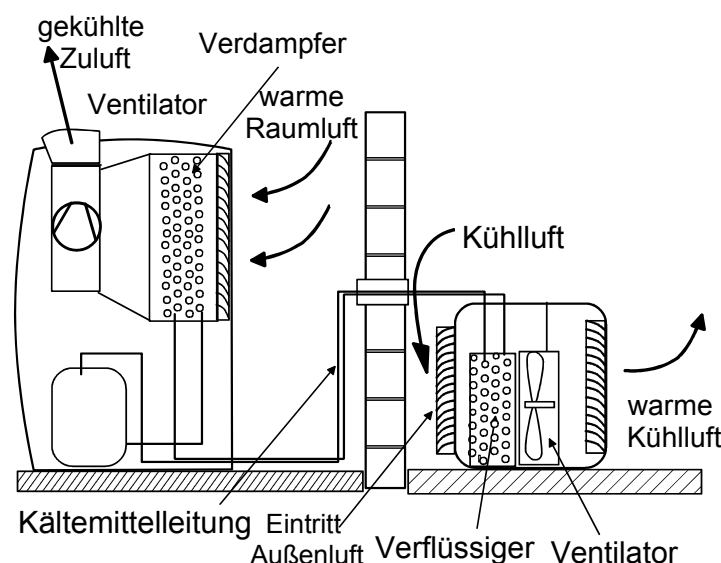
2. Ansaugung von Außenluft durch einen Schlauch und Ableitung der erwärmten Luft durch den zweiten Schlauch nach außen. (Zweischlauchgerät)

Das in Abb. 3.1 dargestellte Gerät ist ein Zweischlauchgerät (SL 4). In diesem Fall wird durch das Gerät keine Außenluft in den Raum gebracht. Es ergibt sich eine ähnliche Situation wie beim Heizen mit einer Zentralheizung im Winter. Zur Lüftung des Raumes muss entweder eine schmale Fensteröffnung (z. B. Kippstellung) permanent offen gehalten werden (Spaltlüftung) oder zeitweise das Fenster geöffnet werden, um Außenluft hereinzulassen. Das letztere Verfahren wird oft als Stoßlüftung bezeichnet. Es ist weniger zu empfehlen als eine Spaltlüftung mit richtig eingestelltem Spalt.

Durch Weglassen des Schlauches zur Ansaugung der Außenluft entsteht ein Einschlauchgerät.

### 3.2 Splitgeräte

Die Untersuchung umfasst drei verschiedene Splitgeräte (SP 1, SP 2, SP 3). Dabei werden Geräte mit nassem und trockenem Verflüssiger sowie mit Kompressor in der Inneneinheit und Kompressor in der Außeneinheit untersucht. Das Grundprinzip ist das gleiche wie bei den Schlauchgeräten (vgl. Abschnitt 3.1). Der Unterschied liegt in der Aufteilung des Gerätes in zwei Einheiten. In Abb. 3.2 ist das Funktionsprinzip dargestellt.



**Abb. 3.2** Funktionsprinzip Splitgerät mit Kompressor in der Inneneinheit

Es wird Raumluft angesaugt und über den Verdampfer geleitet. Die Luft kühlt sich dabei ab und gibt Wärme an das verdampfende Kältemittel ab. Dabei kann auch Wasser aus der Raumluft kondensieren. Durch ein Leitungspaket wird das Kältemittel und das kondensierte Wasser zur Außeneinheit geleitet. Hier gelangt das Kältemittel in den Verflüssiger, gibt Wärme an die Außenluft ab und kondensiert. Anschließend wird das Kältemittel wieder durch das Leitungspaket zum Verdampfer in die Inneneinheit geleitet. Der Kompressor zur Verdichtung des Kältemittelgases kann in der Inneneinheit oder in der Außeneinheit installiert sein. Die Installation in der Außeneinheit hat im Raum akustische und energetische Vorteile. Arbeitsgeräusche der Maschine und Abwärme werden nicht im Raum freigesetzt.

Die Ableitung des kondensierten Wassers zur Außeneinheit erfolgt bei den Geräten durch eine Pumpe. In der Außeneinheit wird anfallendes Kondensat teilweise zur Kühlung des Verflüssigers genutzt (nasser Verflüssiger). Es wird aber kein zusätzliches Wasser aus einem Wasserreservoir wie bei dem einen Einschlauchgerät verwendet.

Eine Lüftungsfunktion ist wie beim Zweischlauchgerät nicht gegeben.



## 4 Grundlagen zur Bewertung

### 4.1 Leistung und Leistungszahl

Die untersuchten Geräte arbeiten alle nach dem Kaltdampf-Kompressionskälteprinzip. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Funktionsweise und die verwendeten Begriffe gegeben werden (Recknagel-Sprenger-Schramek, 2004).

Für den Kaltdampf-Kompressionskälteprozess wird ein Kältemittel verwendet. Dabei kommen unterschiedliche Stoffe zum Einsatz. In Tab. 4.1 sind die hier verwendeten Kältemittel und Kältemittelgemische aufgeführt.

**Tab. 4.1** Verwendete Kältemittel und Kältemittelgemische (Auszug aus DIN 8960)

| Klimagerät | Kältemittelbezeichnung | Art des Kältemittels               |
|------------|------------------------|------------------------------------|
| SL 1       | R 290                  | Propan                             |
| SL 2       | R 290                  | Propan                             |
| SL 3       | R 407 C                | Mischung aus R 32 / R 125 / R 134a |
| SL 4       | R 410 A                | Mischung aus R 32 / R 125          |
| SP 1       | R 407 C                | Mischung aus R 32 / R 125 / R 134a |
| SP 2       | R 410 A                | Mischung aus R 32 / R 125          |
| SP 3       | R 407 C                | Mischung aus R 32 / R 125 / R 134a |

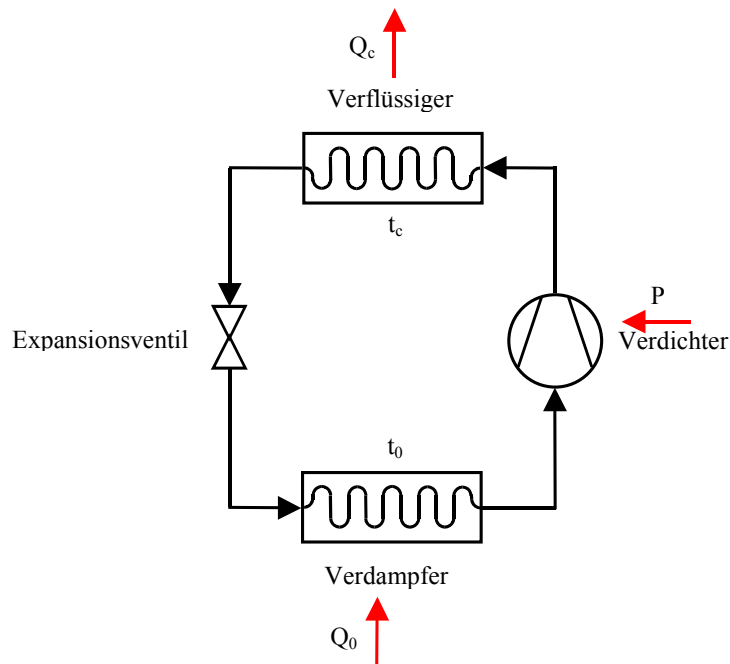
In Abb. 4.1 ist ein allgemeines Schema eines Kältemaschinenkreislaufs dargestellt. Das Kältemittel nimmt im Verdampfer bei der Arbeitstemperatur  $t_0$  die Verdampfungswärme  $Q_0$  auf. Die Luft wird dabei abgekühlt. Durch den Verdichter oder Kompressor, der das verdampfte Kältemittel komprimiert, wird dem System die Arbeit  $P$  zugeführt. Auf der warmen Seite, im Verflüssiger, der umgangssprachlich auch als Kondensator bezeichnet wird, wird bei der Arbeitstemperatur  $t_c$  Verdampfungswärme  $Q_c$  abgegeben.

Als wesentliche Bauelemente werden der Verdampfer zur Luftkühlung, der Verdichter mit Elektromotor zur Kompression des Kältemittels, der Verflüssiger zur Wärmeabgabe und eine Drosseleinrichtung zur Reduzierung des Druckes im Kreislauf verwendet. Diese Bauteile sind durch ein geschlossenes Rohrsystem verbunden (vgl. Recknagel-Sprenger-Schramek, 2004).

Wie Abb. 3.1 zeigt, befinden sich bei den Schlauchgeräten alle Komponenten des Kältekreislaufs im Gerät, das im Raum aufgestellt wird.

Beim Splitgerät befindet sich der Verflüssiger mit Ventilator in der Außeneinheit. Bei manchen Geräten befindet sich auch der Verdichter in der Außeneinheit.

Es wird immer eine Verbindung nach außen benötigt. Entweder muss warme Luft, die am Verflüssiger erwärmt wurde, durch einen Schlauch nach außen geführt werden, oder das Kältemittel fördert den Wärmestrom nach außen.



**Abb. 4.1** Schema einer Kaltdampf-Kompressionskältemaschine

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand maßgebend. Beim Kühlen ist der Nutzen die Abkühlung von Luft, also die Wärmeaufnahme am Verdampfer. Das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand ist für Kältemaschinen meist größer als eins. Es wird daher Leistungszahl  $\varepsilon_K$  des Kältekreislaufes genannt. (Weitere Hinweise: Baehr Thermodynamik, 2002)

$$\varepsilon_K = \frac{Q_0}{P} \quad (1)$$

Im Englischen wird dafür der Begriff „Coefficient of Performance, COP“ verwendet, der mit der Definition der Leistungszahl  $\varepsilon$  identisch ist.

Bei Leistungsangaben wird im SI-System die Einheit kW oder kJ/s verwendet. Bei Geräten aus dem englischsprachigen oder aus dem asiatischen Raum kann die Kälteleistung in „British Thermal Units“ pro Stunde (BTU/h) angegeben sein. Die Zahlenwerte lassen sich umrechnen. Dabei gilt: 1 kW = 3.412 BTU/h. Die Leistungszahl ist dimensionslos und deshalb unabhängig von den verwendeten Einheiten.

Für die theoretische Leistungszahl  $\varepsilon_K$  eines Kältekreislaufs werden lediglich die thermodynamischen Größen des Kältekreislaufs betrachtet. In der hier durchgeführten Untersuchung geht es aber um die Beurteilung kompletter Geräte mit Ventilatoren, eventuell mit Pumpe und Regelung. Das bedeutet für unsere Betrachtung, dass eine weiter gefasste und anders verlaufende Systemgrenze definiert wird.

Die Systemgrenze wird zweckmäßigerweise in die Oberfläche des Gerätes und der angeschlossenen Schläuche gelegt. Aus der Systemgrenze tritt gekühlte Luft aus. Sie enthält die Leistung  $Q_{Kü}$ . Die Oberfläche des Gerätes und der Schläuche ist kälter oder wärmer als die Umgebung. Dadurch fließt eine weitere Wärmeleistung  $Q_{Ob}$  durch die Oberfläche. Weiterhin wird Kondensat aus der Luft herauskondensiert. Es erfordert die Kondensationsleistung  $Q_E$  für die Entfeuchtung, die auch als latente Kühlleistung oder als Entfeuchtungsleistung bezeichnet wird. Elektrische Leistung  $P_{el}$  tritt in das System ein. Es ist für die Betrachtung unwichtig, ob damit im einzelnen der Verdichter, die Ventilatoren, die Regelung oder die Pumpen angetrieben werden.

Hier kommt es nur auf die gesamte elektrische Leistung an, die vom Gerät aufgenommen wird.

Alle thermischen Leistungen werden entweder einzeln betrachtet oder zusammengefasst und auf die elektrische Leistung bezogen. Dadurch ergeben sich die verschiedenen Leistungen und Leistungszahlen, die als Geräteleistungszahlen  $LG$  bezeichnet werden sollen.

Als Gesamtkühlleistung  $\dot{Q}_{ges}$  wird die Summe aller vom Gerät abgegebenen Kühlleistungen bezeichnet.

Analog zur Leistungszahl aus Gl. 1 wird eine Leistungszahl  $LG$  für das Gerät gebildet und für den Vergleich verwendet. Die entsprechende Leistungszahl  $LG_{ges}$  ist das Verhältnis der Kühlleistung  $\dot{Q}_{ges}$ , zur aufgenommenen elektrischen Leistung  $P_{el}$ .

$$LG_{Ges} = \frac{\dot{Q}_{Ges}}{P_{el}} \quad (2)$$

Für alle weiteren Arten der Leistung gibt es entsprechende Leistungszahlen. Die mit der abgekühlten Luft in den Raum eingebrachte Kühlleistung soll als  $Q_{Kü}$  bezeichnet werden

$$LG_{Kü} = \frac{\dot{Q}_{Kü}}{P_{el}} \quad (3)$$

Weil gleichzeitig auch Energie über das Gerätegehäuse in den Raum abgegeben wird, muss dieser Anteil mit berücksichtigt werden. Die Geräteoberfläche selbst unterstützt die Kühlung des Raumes, die Verbindungsschläuche bei den Schlauchgeräten geben Wärme an den Raum ab. Dieser gesamte Wärmestrom soll als Oberflächenleistung  $\dot{Q}_{Ob}$  bezeichnet werden. In Absatz 5.3.1 wird beschrieben, wie sie ermittelt wird. Die sensible Leistung, die diesen Anteil der Leistung einschließt, soll sensible Leistung  $\dot{Q}_{sen}$  genannt werden. Entsprechend gibt es eine Leistungszahl  $LG_{sen}$ . Wie später ausgeführt wird, ist das die Leistungszahl, die für unsere Betrachtungen am wichtigsten ist.

$$LG_{sen} = \frac{\dot{Q}_{Kü} + \dot{Q}_{Ob}}{P_{el}} \quad (4)$$

Diese Leistungszahl dient zur Beurteilung der verschiedenen Geräte. Je größer diese Leistungszahl desto besser ist die Ausnutzung der vom Gerät aufgenommenen elektrischen Leistung.

## 4.2 Raumklima und thermische Behaglichkeit

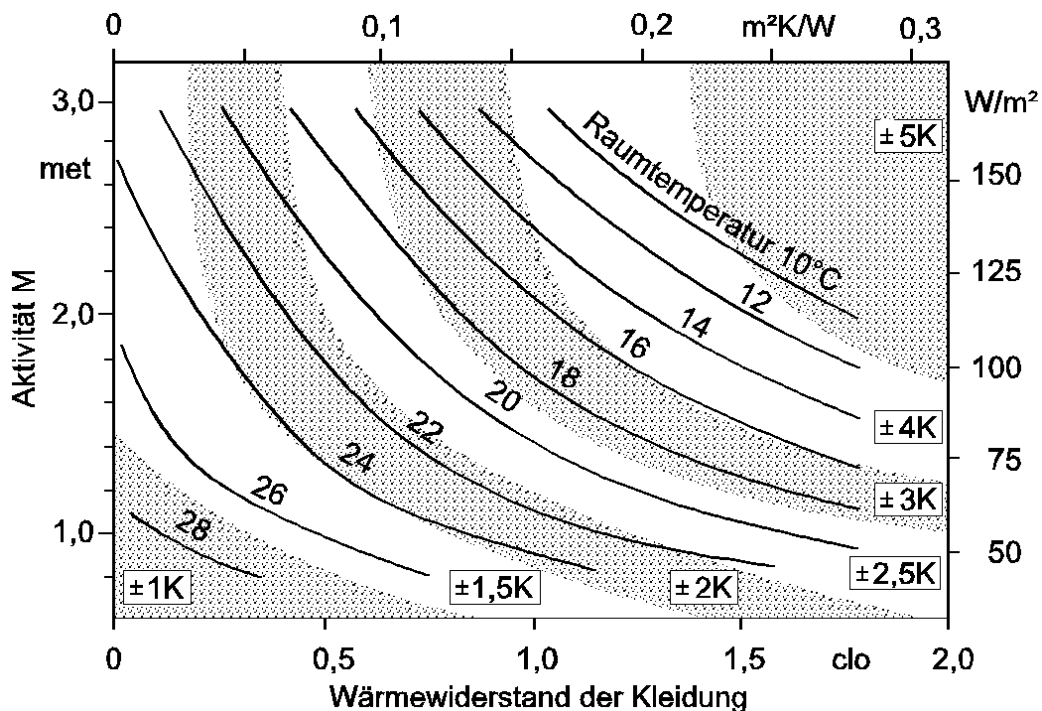
### 4.2.1 Temperaturen

Nach DIN EN 13779 ist für den Menschen thermische Behaglichkeit gegeben, wenn er mit Temperatur, Feuchte und Luftbewegung in seiner Umgebung zufrieden ist und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht. Dabei ist es weitgehend unerheblich, ob sich Personen in einem klimatisierten Raum oder in einem fensterbelüfteten Raum befinden. Das Empfinden ist in beiden Fällen ähnlich, wenn nicht die Luftbewegungen unterschiedlich sind. Daher wird für die Bewertung des Einflusses der mobilen Klimageräte auf die Behaglichkeit auf die entsprechenden Richtlinien zurückgegriffen.

Für das Temperaturempfinden des Menschen ist nicht nur die Temperatur der Raumluft maßgebend, sondern auch die Temperatur der Wände oder der Umschließungsflächen eines Raumes.

$$t_o = 0,5 \cdot (\bar{t}_s + t_L) \quad (5)$$

Solange die Temperaturunterschiede zwischen der Luft und den Wänden nicht groß sind, gilt in guter Näherung, dass etwa 50 % der Wärmeabgabe des Menschen durch Strahlung an die Raumflächen erfolgt. Deshalb wird die operative Temperatur  $t_o$  verwendet, die die Raumlufttemperatur  $t_L$  und die Strahlungstemperatur der Flächen  $t_s$ , also die Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen, mittelt. Der Bereich der nach der Norm zulässigen operativen Temperaturen für klimatisierte Räume wird in der DIN EN 13779 (Vorgängernorm: DIN 1946 Teil 2), im DIN FB 79 und in DIN EN ISO 7730 abhängig von der Aktivität und dem Wärmewiderstand der Bekleidung angegeben (Abb. 4.2). Die hinterlegten Felder kennzeichnen die Bereiche der zulässigen Temperaturabweichungen. Das Diagramm gilt für eine vorhergesagte Anzahl von Unzufriedenen (PPD) < 10 %. Die behagliche Temperatur verschiebt sich mit wärmerer Kleidung und steigender Aktivität zu tieferen Werten und die zulässige Abweichung wird größer. Für Büroarbeitsplätze gilt in guter Näherung eine Aktivität von 1 met und ein Wärmewiderstand der Kleidung von 0,8 clo. Das bedeutet eine behagliche Temperatur von  $24 \text{ °C} \pm 2 \text{ °K}$ . DIN EN 13779 schlägt  $23 \text{ °C}$  bis  $26 \text{ °C}$  vor.

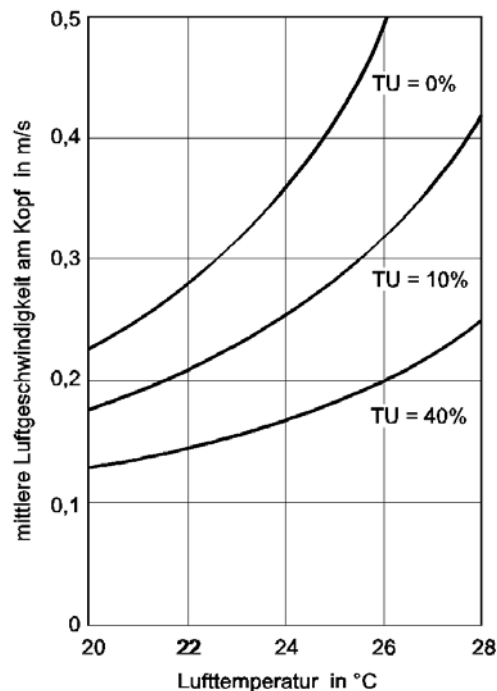


**Abb. 4.2** Zulässige Raumtemperatur in Abhängigkeit von Aktivität und Bekleidung (DIN EN ISO 7730)

#### 4.2.2 Luftgeschwindigkeit

Neben der Temperatur hängt die Behaglichkeit auch von der Luftgeschwindigkeit und dem Turbulenzgrad im Aufenthaltsbereich ab. Um Zugerscheinungen zu vermeiden,

dürfen Maximalwerte nicht überschritten werden. Als Turbulenzgrad wird dabei die Schwankungsbreite (Standardabweichung) der Luftgeschwindigkeit bezogen auf die mittlere Luftgeschwindigkeit bezeichnet. Die Geschwindigkeit ist gemittelt über 200 s. Der Verlauf der Kurven in Abb. 4.3 zeigt, dass die maximal zulässigen Luftgeschwindigkeiten stark vom Turbulenzgrad abhängig sind. Die Thermosensoren der Haut reagieren empfindlich auf eine Änderung der Hauttemperatur. Geschwindigkeitsschwankungen sind so sehr schnell gut spürbar. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass bei Betrieb der mobilen Klimageräte der Turbulenzgrad im Bereich von ca. 40 % liegt. Die maximal zulässige Luftgeschwindigkeit bei 22 °C beträgt dann 0,15 m/s. Bei 26 °C darf sie 0,20 m/s betragen.

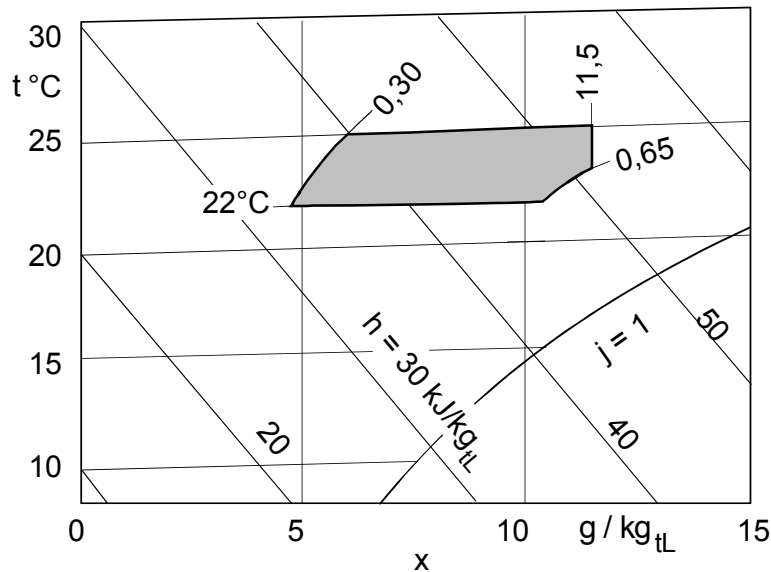


**Abb. 4.3** Zulässige Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Turbulenzgrad nach DIN EN 13779 (DR=15 %)

### 4.2.3 Luftfeuchte

Die Auswirkungen der Luftfeuchte auf die Behaglichkeit des Menschen sind sehr wenig untersucht. In den Normen und Richtlinien für die Klimatisierung von Büroräumen werden Grenzwerte für die Raumluftfeuchte angegeben. Die Werte liegen zwischen 30 % und 65 % relativer Feuchte, wobei außerdem die Obergrenze von 11,5 g Wassergehalt/kg Luft nicht überschritten werden soll. Die angegebenen Grenzen sollten allerdings nur kurzzeitig erreicht werden. Hier ist vor allem der oberen Grenze Beachtung zu schenken. Hohe Luftfeuchten können schnell als unangenehm schwül empfunden werden. Bei Verwendung der Kühlgeräte wird sich eher zu geringe Luftfeuchte im Raum einstellen. Je kleiner die Oberfläche des Verdampfers ausgebildet ist, umso geringer ist ihre Oberflächentemperatur, wenn eine bestimmte Kühlleistung abgegeben werden soll. Mit der Oberflächentemperatur wird der Taupunkt der Luft beeinflusst. Bei Verwendung von Kühlgeräten werden ähnlich niedrige relative Feuchten erreicht wie bei Fensterlüftung im Frühjahr. Nach Untersuchungen von Fanger verbessert sich mit abnehmender Feuchte der Raumluft die empfundene Luftqualität.

Der in DIN 1946 Teil 2 empfohlene Temperatur- und Feuchtebereich ist in Abb. 4.4 dargestellt. Die Angaben entsprechen weitgehend auch DIN EN 13779.



**Abb. 4.4** Empfohlener Bereich der Luftfeuchte und Temperatur nach DIN 1946 Teil 2 (ersetzt durch DIN EN 13779 Mai 2005)

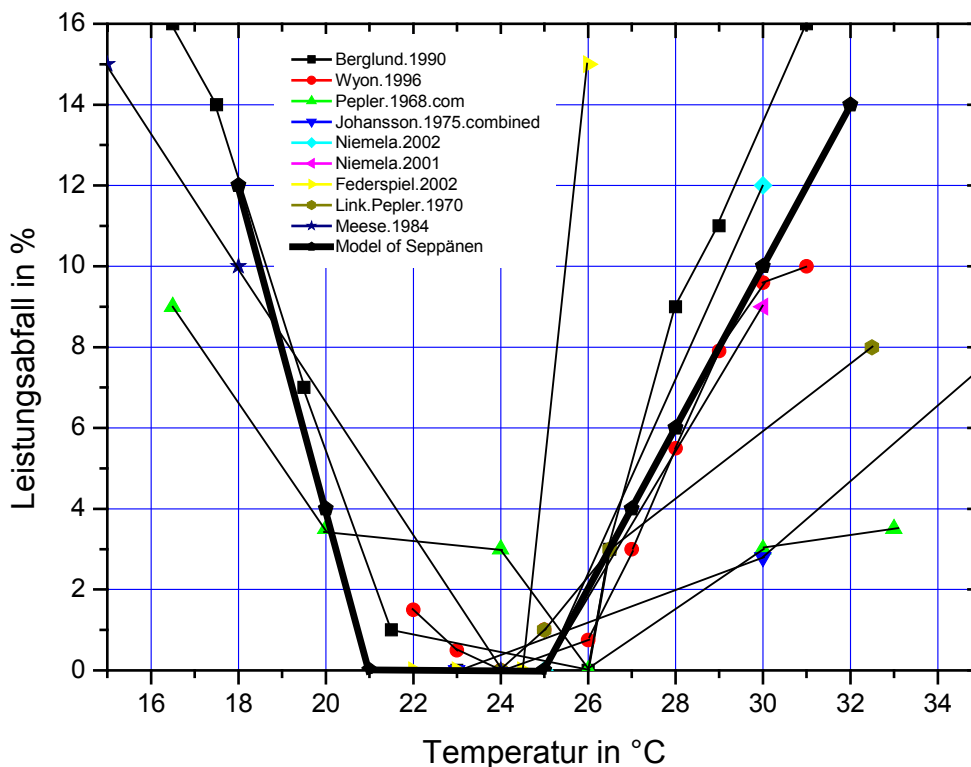
Ein bisher ungeklärtes Phänomen ist, dass trotz korrekter Einstellung der Luftfeuchte in klimatisierten Räumen teilweise Symptome wie Trockenheitsgefühl, Halskratzen oder Augenbrennen auftreten. Untersuchungen (Gores, Reske, Fitzner 2003; Kriegel, Zeidler, 1998) zeigen, dass ein Einfluss der Luftführung und der thermischen Last im Raum auf die Feuchteabgabe besteht. Für Personen würde dies bedeuten, dass sie bei Quelllüftung durch die eigene Auftriebsgrenzschicht von der Umgebung besser „abgeschirmt“ sind als bei Mischlüftung. Dadurch ist der Stoffaustausch mit der Umgebung geringer. Bei Mischströmung wird der Auftriebsvolumenstrom an der Person durch die Raumströmung überlagert. Der Stoffaustausch mit der Umgebung steigt an. Es ist anzunehmen, dass entsprechend auch die Feuchteabgabe des Menschen beeinflusst wird. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Haut und insbesondere die Schleimhäute stärker austrocknen. Bei den hier untersuchten Geräten liegt Mischungsströmung vor. Noch stärker als durch die Art der Raumströmung nimmt die Feuchteabgabe der Körperoberfläche mit der thermischen Last im Raum zu.

Die Entfeuchtungsleistung der Geräte ist von der Dimensionierung des Kältekreislaufes abhängig. Die gleiche Kühlleistung kann entweder von groß dimensionierten oder klein dimensionierten Wärmetauschern in den Raum gebracht werden. Bei größeren Wärmetauschern ist die Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Luft kleiner. Bei kleinen Wärmetauschern ist sie entsprechend größer, die Temperatur ihrer Oberfläche ist also niedriger. Die Taupunkttemperatur wird häufiger unterschritten, Kondensation tritt häufiger auf und die Luft im Raum wird trockener. Dies ist für die Behaglichkeit dann von Vorteil, wenn die Schwülegrenze ohne Entfeuchtung überschritten wäre und es im Raum ohne Entfeuchtung zu feucht wäre. Wenn aber Entfeuchtung für die Behaglichkeit nicht erforderlich ist, dann ist die Kondensation energetisch ein Nachteil, weil die dafür erforderliche Kühlleistung keinen Nutzen darstellt. Die Kondensation von Wasser aus der Luft wird deshalb nur positiv bewertet, wenn der Eintrittszustand der Luft bei einem Wassergehalt von mehr als  $11,5 \text{ g}$  Wasser je  $\text{kg}$  Luft liegt. Die Kondensation von Wasser aus der Raumluft ist diesem

Fall ein Nachteil. Das kann bei Umluft im stationären Betrieb nicht auftreten. Nur im Sonderfall „Betrieb bei geöffnetem Fenster“ und bei Einschlauchgeräten ist dieser Betriebsfall dauernd möglich, dann nämlich wenn immer neue feuchte Außenluft angesaugt wird. Auch im oben genannten Sonderfall des hohen Wassergehaltes der Luft wäre die Trocknung nur von marginaler Wirkung, weil nur lokal, direkt am Austritt der kalten Luft eine Verbesserung eintritt. Das wird später bei den Messergebnissen für den Temperatur- und Geschwindigkeitsabbau noch näher erläutert. Weil schwach dimensionierte Geräte eher in den Bereich der Kondensation kommen, muss berücksichtigt werden, bei welcher Leistung und welchem Taupunkt der Luft dieser Zustand eintritt.

#### 4.2.4 Raumklima und Leistungsfähigkeit

Die Temperatur im Raum hat einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Menschen (siehe Fitzner (2003)). Neuere Auswertungen von Seppänen, Fisk (2004) ergeben bei Temperaturen über 25 °C im Mittel einen Leistungsabfall von 2 % je K. In Abb. 4.5 sind die Ergebnisse verschiedener Forschungen und die daraus ermittelte Näherung von Seppänen, Fisk (2004) aufgetragen.



**Abb. 4.5** Experimentelle Ergebnisse zu Raumklima und Leistungsfähigkeit (nach Seppänen, Fisk, 2004)

### 4.3 Hygiene

Mobile Klimageräte arbeiten als Umluftgeräte. Raumluft wird angesaugt, grob gefiltert, abgekühlt sowie eventuell entfeuchtet und anschließend in den Raum geblasen. Ein Austausch von Außenluft findet nicht statt. Eine Ausnahme bilden die Einschlauchgeräte, weil sie so viel Luft entweder direkt von außen oder über Nachbarräume ansaugen, wie sie nach außen fördern. Während bei diesen Geräten der Außenluftanteil zu hoch ist, ist er bei den Umluftgeräten zu klein, wenn nicht zusätzlich gelüftet wird.

Für den Betrieb von Klimageräten wird gefordert, dass durch sie keine Verschlechterung der Raumluftqualität eintritt.

In VDI 6022 werden weitere Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen angegeben. Sie sind auch hier zur Bewertung heranzuziehen. Im Gerät kann Feuchtigkeit aus der Luft kondensieren. Das gilt besonders für Einschlauchgeräte. Wenn Bauteile des Gerätes längere Zeit im Bereich von relativen Feuchten über 90 % arbeiten, beginnen Mikroorganismen verstärkt zu wachsen. Stoffwechselprodukte der Keime, Endotoxine und auch die Keime selbst können durch die Geräte im Raum verteilt werden und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Personen im Raum führen.

### 4.4 Akustische Anforderungen

Ein Maß für die Stärke einer Schallquelle ist die Schalleistung, ähnlich wie man die Stärke einer Lampe durch ihre Leistung in Watt angibt. Der **Schalldruck** ist dagegen eine Größe, die sich in einer bestimmten Entfernung von der Schallquelle einstellt. Sie ist abhängig von der Entfernung und der Raumdämpfung, beim Licht vergleichbar mit der Leuchtdichte in lux. Bei gleicher Leistung einer Lampe ist die Leuchtdichte im Raum unterschiedlich je nach Entfernung von der Lampe und der Helligkeit der Raumwände. Analog verhält es sich beim Schall. Während die **Schalleistung** nur eine Eigenschaft der Schallquelle ist, stellt sich der Schalldruck je nach Entfernung von der Quelle und den Absorptionseigenschaften des Raumes unterschiedlich ein.

Wegen der großen Bandbreite der Schalleistung und des Schalldruckes werden Leistung und Druck auf genormte Bezugswerte bezogen und logarithmiert und dann als **Schalleistungspegel**, oder der **Schalldruckpegel** angegeben. Die Dämpfung von Schallquellen in üblichen Büroräumen liegt bei etwa 6 dB. Der A-Schallpegel wird außerdem bewertet nach einer A-Bewertungskurve, mit der die Frequenzabhängigkeit der Schallwahrnehmung berücksichtigt wird. Die Ergebnisse werden dann als A-Schalleistungspegel und A-Schalldruckpegel bezeichnet.

Mobile Klimageräte in Arbeitsstätten werden meist in Büroräumen oder in Räumen mit büroähnlicher Nutzung verwendet. Für diese Räume sind in DIN FB 79, vgl. DIN EN 13779 Grenzwerte für den Schalldruckpegel angegeben. In Tab. 4.2 sind Grenzwerte für einige Nutzungsarten aufgeführt. Dabei sind jeweils Werte für drei verschiedene Anforderungskategorien angegeben. Kategorie A beschreibt hohe Anforderungen, Kategorie C eher geringe Anforderungen an den zulässigen Schalldruckpegel.



**Tab. 4.2** Zulässiger A-bewerteter Schalldruckpegel, Auszug aus DIN FB 79

| Gebäude                          | Raumart            | Schalldruckpegel in dB(A)<br>Kategorie |    |    |
|----------------------------------|--------------------|--|----|----|
|                                  |                    | A                                      | B  | C  |
| Kinderfürsorge-<br>Einrichtungen | Kindergärten       | 30                                     | 40 | 45 |
| Gewerbliche Räume                | Einzelhandelsläden | 35                                     | 40 | 50 |
| Büros                            | Kleine Büros       | 30                                     | 35 | 40 |
|                                  | Bürozellen         | 35                                     | 40 | 45 |

Mobile Klimageräte stellen im Raum eine zusätzliche Schallquelle dar und müssen berücksichtigt werden. Wenn die Geräte einen hohen Schalldruckpegel im Raum verursachen, kann es zu Belästigungen kommen, die sich negativ auf das Befinden und die Leistungsfähigkeit der Personen auswirken (Sust, Lazarus, 2002). Darüber liegen allerdings keine quantitativen Daten vor.

#### 4.5 Handhabung der Geräte, Bewertungsmaßstab

Zum Betrieb und zur Wartung der Geräte sind verschiedene Handgriffe notwendig. Eine verständliche Beschreibung der notwendigen Arbeiten in der Betriebsanleitung sowie eine einfache Handhabung der Geräte führen zu einer besseren Beurteilung der Geräte. Zur abschließenden Beurteilung der Geräte wird die Handhabung unter praktischen Gesichtspunkten berücksichtigt.

Folgende Tätigkeiten werden bewertet:

- Verständlichkeit der Bedienungsanleitung,
- Richtigkeit der Darstellung, Übereinstimmung mit dem Produkt,
- Installationsaufwand,
- Transport und Mobilität,
- Betrieb mit Bedienung, Wartung/Pflege, Entleerung des Kondensats, Regelung,
- Entsorgung,
- Wartungsangaben der Hersteller.

Es erfolgt kein Vergleich der Geräte untereinander. Deshalb wird hier eine dreistufige Skala („+“-gut, „o“- ausreichend, „-“- schlecht) verwendet.

Die Beurteilung erfolgt durch sechs Personen, um subjektive Einflüsse auf das Bewertungsergebnis gering zu halten.

## 5 Untersuchungen

Es werden nur neue Geräte untersucht, die entsprechend den Herstellerangaben betrieben werden. Die Geräte haben unterschiedliche Kühlleistungen und verschiedene Arbeitsprinzipien (vgl. Abschnitt 3). Im Folgenden werden die untersuchten Geräte und die Versuchseinrichtungen genauer beschrieben.

### 5.1 Geräte

Die mobilen Klimageräte sind in Tab. 5.1 und 5.2 mit den Leistungsangaben der Hersteller zusammengefasst.

**Tab. 5.1** Schlauchgeräte, Angaben der Hersteller

| Gerät Nr.                                    | SL 1               | SL 2              | SL 3              | SL 4                                      |
|--|--------------------|-------------------|-------------------|---|
| max. Kühlleistung in kW                      | 2,9                | 2,5               | 3,2               | 2,43                                      |
| maximale elektrische Leistungsaufnahme in kW | 0,7                | 0,95              | 1,2               | 0,93                                      |
| max. Volumenstrom in m <sup>3</sup> /h       | 370                | 340               | 380               | 380                                       |
| Abmessung (HxBxT) in mm                      | 580x435x785        | 940x495x410       | 856x450x370       | 855x475x485                               |
| Gewicht in kg                                | 43,5               | 34                | 45                | 38,6                                      |
| Schalldruckpegel in dB(A)                    | 46-48              | 47-50             | 52                | 41  |
| Geeignet für Räume bis                       | 100 m <sup>3</sup> | 85 m <sup>3</sup> | 80 m <sup>3</sup> | -   |
| Inhalt Wassertank in l                       | 11                 | -                 | -                 | -   |
| Inhalt Kondensatbehälter in l                | -                  | -                 | 11                | -   |
| Regelung                                     | -                  | -                 | -                 | elektronische Abschaltung des Verdichters |
| Energieeffizienzklasse                       | -                  | A                 | C                 | A   |
| Besonderheit                                 | Luft-Wasser-System |                   |                   |   |

Die ausgesuchten Geräte unterscheiden sich in ihren Funktionsprinzipien (vgl. Abschnitt 3).

**Tab. 5.2** Splitgeräte, Angaben der Hersteller

| Gerät Nr.                            | SP 1        | SP 2  | SP 3                |
|--------------------------------------|-------------|---|---------------------|
| max. Kühlleistung in kW              | 3,7         | 3,29  | 2,93                |
| max. Leistungsaufnahme in kW         | -           | 1,17  | 1,05                |
| max. Volumenstrom Innengerät in m³/h | 240         | 380   | 250                 |
| Abmessung Innengerät (HxBxT) in m    | 790x580x245 | 855x475x360                                     | 475x450x255         |
| Gewicht Innengerät in kg             | -           | 38,6  | 10                  |
| Schalldruckpegel Innengerät in dB(A) | < 40        | 45  | 35-38               |
| Abmessung Außengerät (HxBxT) in m    | 490x525x250 | 500x580x240                                     | 570x542x280         |
| Gewicht Außengerät in kg             | -           | 12  | 30                  |
| Länge Leitungspaket in m             | 1,6         | 3,5   | 3                   |
| Geeignet für Räume bis               | 100 m³      | 30 m²   | 105 m³              |
| Regelung                             | -           | elektronische<br>Abschaltung des<br>Verdichters | -                   |
| Energieeffizienzklasse               | A           | -   | C                   |
| Besonderheit                         |             |   | Kompressor<br>außen |

## 5.2 Versuchsaufbau

Die in Abschnitt 4 vorgestellten Vorüberlegungen ergeben verschiedene Versuchsaufbauten. Es sind folgende Messungen durchzuführen.

### 5.2.1 Kühlleistung

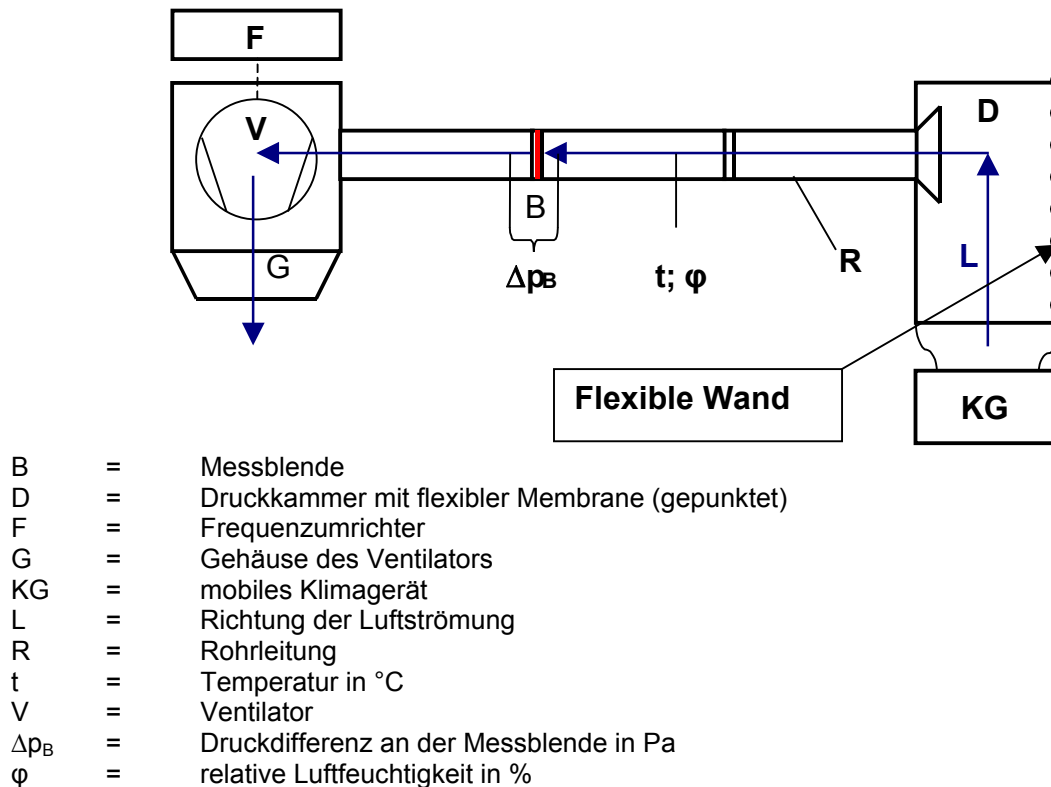
Entsprechend der folgenden Gleichung lässt sich die Kühlleistung  $\dot{Q}_{\text{Kü}}$  bestimmen.

$$\dot{Q}_{\text{Kü}} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (6)$$

Der Volumenstrom  $\dot{V}$  und die Temperaturdifferenz  $\Delta t$  zwischen angesaugter Raumluft und ausgeblasener Zuluft sind zu messen. Die Dichte  $\rho$  wird aus der Temperatur und dem barometrischen Luftdruck ermittelt. Die spezifische Wärmekapazität  $c_p$  wird aus Tabellen entnommen.

Jeder Ventilator fördert bei einer bestimmten Drehzahl unabhängig von der Dichte des Mediums den gleichen Volumenstrom. Deshalb muss er für jede Drehzahl nur einmal ermittelt werden. Die Dichte wird durch eine Temperaturmessung direkt hinter dem Ventilator und aus dem absoluten (barometrischen) Druck bestimmt. Die Feuchteänderung hat im vorliegenden Fall nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Dichte der Luft.

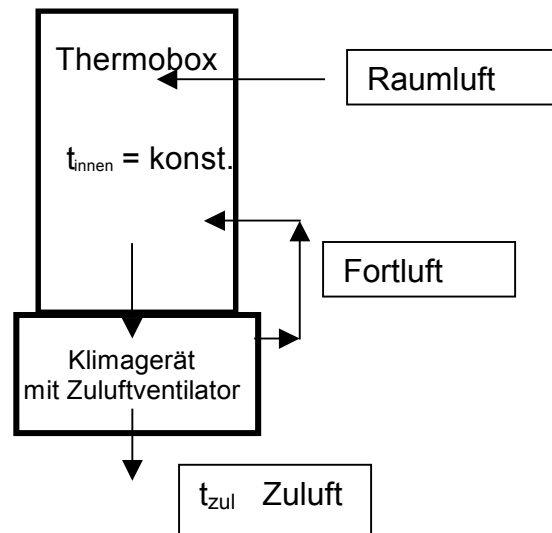
Der Volumenstrom wird nach der Nullmethode (DIN EN 12599) (siehe Abb. 5.1) mit Hilfe einer Messblende nach DIN EN ISO 5167 gemessen. Dabei saugt ein regelbarer Ventilator aus einer Messkammer genau soviel Luft ab, wie durch das Gerät hineingefördert wird. Das ist dann der Fall, wenn zwischen der Messkammer und der Umgebung der Differenzdruck „Null“ besteht. Das äußert sich dadurch, dass sich die flexiblen Teile der Kammerwände nicht bewegen. Da der Ventilator bei einer bestimmten Drehzahleinstellung immer den gleichen Volumenstrom fördert, erfolgt die Volumenstrommessung für jede Ventilatorstufe nur einmal. (Durchführung der Messung vgl. 5.3.1.)



**Abb. 5.1** Darstellung der Nullmethode (DIN EN 12599)

Die Temperatur der angesaugten Luft wird an repräsentativen Stellen der Ansaugöffnung des Gerätes gemessen. Aus den Einzelwerten wird der Mittelwert gebildet. Die Ausblastemperatur der Zuluft wird ebenfalls an zwei Stellen gemessen. Darüber hinaus wird die Temperatur an der Blende erfasst, um die Dichte berechnen zu können. Alle Temperaturen werden mit kalibrierten Nickelchrom-Nickel Thermoelementen gemessen und mit einem Messdatenerfassungsgerät gespeichert.

Zur Variation der Ansaugtemperaturen am Verdampfer wird bei Zweischlauchgeräten eine „Thermobox“ angeschlossen. Der Aufbau ist in Abb. 5.2 dargestellt. Die Temperatur in der Thermobox wird durch entsprechende Mischung von angesaugter Raumluft und zurückgeführter warmer Fortluft des Gerätes auf den gewünschten Wert eingestellt und konstant gehalten. Sie wird an drei Stellen mit Thermoelementen gemessen. Die Messwerte werden ebenfalls im Messdatenerfassungsgerät gespeichert.



**Abb. 5.2** Versuchsaufbau mit „Thermobox“ mit Rückführung der Kühlluft (Fortluft)

### 5.2.2 Entfeuchtungsleistung

Wenn die Oberflächentemperatur des Verdampfers unter der Taupunkttemperatur der angesaugten Luft liegt, kommt es an der kalten Oberfläche zu Kondensation. Die Menge des anfallenden Kondensates je Zeiteinheit wird gemessen. Zur Beurteilung wird die Oberflächentemperatur des Verdampfers gemessen. Zusätzlich wird die Feuchte der angesaugten und der ausgeblasenen Luft ermittelt. Aus der Differenz lässt sich die Entfeuchtungsleistung berechnen.

### 5.2.3 Energieverbrauch, Bestimmung der Leistungszahl $LG_{sen}$

Neben der Kühlleistung (vgl. Abschnitt 5.2.1) wird die effektive elektrische Leistungsaufnahme bestimmt. Sie wird mit einem Wattmeter Typ VOLT CRAFT M4669-M gemessen. Die Messwerte werden im Messdatenerfassungsgerät gespeichert.

Zur Beurteilung der nutzbaren Kühlleistung wird der Wärmestrom  $\dot{Q}_{Ob}$ , der über das Gehäuse an den Raum übergeht, ebenfalls berücksichtigt. Dazu werden die Oberflächentemperaturen des Gerätes und der Umschließungsflächen des Raumes erfasst. Die Wärmeabgabe an den Raum wird aus der Temperaturdifferenz überschlägig berechnet und zur Leistung  $\dot{Q}_{Kü}$  addiert.

Die Leistungszahl  $LG_{sen}$  wird dann nach Gleichung 4 berechnet.

### 5.2.4 Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich

Bei der Ermittlung der Luftgeschwindigkeiten im Raum sind zwei Bereiche zu unterscheiden. Unmittelbar vor dem Gerät bilden sich Freistrahlen aus, in denen die Geschwindigkeit mit der Entfernung vom Durchlass abnimmt. Diese Geschwindigkeitsabnahme wird gemessen.

In größerer Entfernung vom Gerät wird die Luftgeschwindigkeit von den spezifischen thermischen Lasten im Raum bestimmt. Als spezifische Last ist die thermische Last bezogen auf die Grundfläche des Raumes zu betrachten. Wenn die Lasten bekannt sind, lässt sich die Geschwindigkeit berechnen. Sie ist aber nicht abhängig von der Art des Kühlgerätes, sondern letztendlich davon, wie groß die Fläche ist, die von einem Gerät bedient wird.

### 5.2.5 Hygieneuntersuchungen

Zur Untersuchung der Hygieneeigenschaften werden Luftkeimuntersuchungen im Anschluss an einen zweiwöchigen Bürobetrieb (Montag bis Freitag 8 bis 18 h) mit Fensterlüftung durchgeführt. Dabei wird in der angesaugten Raumluft und der ausgeblasenen Zuluft gemessen. Dazu wird ein Luftkeimsammelgerät vom Typ SAS verwendet. Als Richtwert gilt, dass durch das Klimagerät keine Erhöhung der Anzahl der Koloniebildenden Einheiten (KbE) auftreten soll. Zur Messung werden Blutagar und DG-18 Agar Nährböden verwendet.

Vor dem Zuluftdurchlass der Geräte wird eine Haube installiert. In diese Haube wird das Luftkeimsammelgerät eingesetzt. Dadurch kann direkt im Zuluftvolumenstrom des Klimagerätes gemessen werden. Eine Beeinflussung durch induzierte Luft aus dem Raum hinter dem Luftdurchlass ist damit ausgeschlossen. Die Messungen beginnen nach 15 Minuten Einlaufzeit der Geräte.

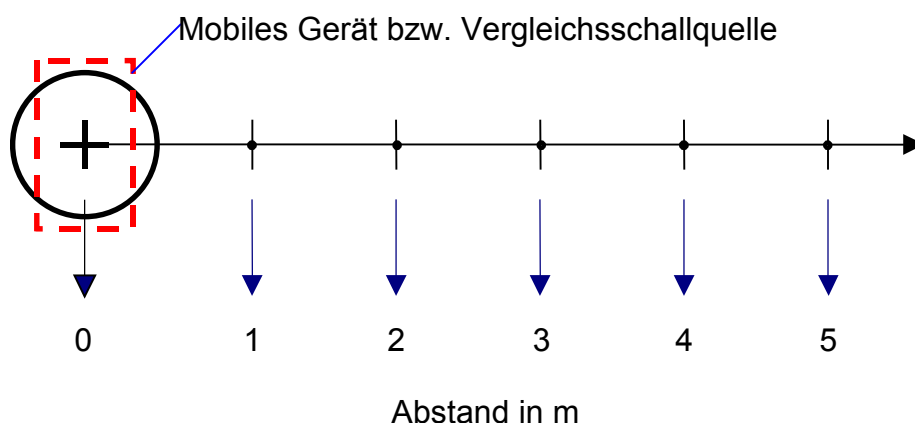
Zur Bestimmung der Luftkeimkonzentration im Raum wird in der Nähe der Ansaugöffnung der mobilen Klimageräte gemessen.

Eine Messung der Keimbelastung von Oberflächen im Klimagerät ist nicht möglich. Abklatschproben, direkt von der Oberfläche der Luftkühler, lassen sich nicht zuverlässig auswerten.

### 5.2.6 Akustische Messungen

Um eine akustische Beurteilung der mobilen Klimageräte zu ermöglichen, wird die Schalleistung gemessen. Mit Hilfe einer kalibrierten Vergleichsschallquelle wird der A-bewertete Schalleistungspegel der Geräte ermittelt. Gemessen wird mit einem Schallpegelanalysator Typ Brüel & Kjaer 2260 A. In verschiedenen Abständen vom Gerät werden abwechselnd die Oktav- und die A-bewerteten Schalldruckpegel des Gerätes und einer Normschallquelle gemessen.

In Abb. 5.3 ist der Versuchsaufbau für die akustische Messung dargestellt. Es werden gleiche Messpunkte für die Geräte und die Vergleichsschallquelle festgelegt. Die Messabstände sind 1 m; 2 m; 3 m; 4 m; 5 m. Für die Vergleichsschallquelle wird zusätzlich in einem Abstand von 0,5 m gemessen.



**Abb. 5.3** Messaufbau für die Schalldruckpegelmessung

Abb. 5.4 zeigt den Schallpegelanalysator und die Vergleichsschallquelle am Aufstellungsort.



**Abb. 5.4** Messaufbau mit Schallpegelanalysator und Vergleichsschallquelle

Die mobilen Klimageräte sind den Herstellerangaben entsprechend aufgebaut. Für die Durchführung der Schläuche und Splitleitungen nach außen wird eine Fensteröffnung verwendet, die mit einer passenden Spanplatte mit einer Stärke von 19 mm verschlossen wird. Diese ist zum Teil in Abb. 5.4 oben zu erkennen. In der Spanplatte sind passende Öffnungen für die Durchführung der Schläuche und der Splitleitungen. Bei einer Anwendung mit geöffnetem Fensterspalt tritt ein höherer Pegel ein. Der Fall wurde nicht gemessen, weil der Pegel dann auch noch durch den Umgebungslärm beeinflusst wird.

### 5.2.7 Handhabung der Geräte

Der Betrieb der Geräte erfolgt nach den Angaben in den Bedienungsanleitungen. Im Laufe der Versuche werden außerdem Erfahrungen zur Handhabung gesammelt. Zusätzlich erfolgt für jedes Gerät ein dreiwöchiger Betrieb unter Praxisbedingungen in einem Büroraum. Die hierbei gewonnenen Erfahrungen fließen ebenfalls in diese Bewertung ein.

Es wird überprüft, inwieweit sich die Geräte mit den Angaben aus den Bedienungsanleitungen sicher bedienen lassen und ob die gebotenen Funktionen ausreichend beschrieben sind.

## 5.3 Durchführung der Untersuchungen

### 5.3.1 Bestimmung der Leistungszahl

Das mobile Klimagerät wird bei der Untersuchung so aufgestellt, wie dies vom Hersteller in der Gebrauchsanweisung empfohlen wird. Dabei werden insbesondere Bögen der Schläuche und Knicke in den Leitungen vermieden. Die Schlauchlänge beträgt ungefähr 1 m.

#### Bestimmung des Volumenstromes

Für jeden Messtag wird der barometrische Luftdruck „ $p_v$ “ vom Wetterdienst abgefragt. Vor Beginn der Messungen werden die mobilen Klimageräte frei ausströmend im Raum in der größten Ventilatorstufe betrieben. Mit einem Flügelradanemometer wird an einem repräsentativen Punkt der Ansaugöffnung die Luftgeschwindigkeit gemessen. Anschließend wird das Gerät an die Druckkammer der Nullmethode angeschlossen. Wenn danach die Anzeige bei der Flügelrad-Messung gleich ist, ist keine Veränderung des Volumenstromes durch den Anschluss an die Druckkammer eingetreten.

Für den dichten Anschluss des mobilen Klimagerätes an die Messstrecke wird eine Folie verwendet, die mit Klebeband an dem Gerät und der Druckkammer befestigt wird. Die so gebildete Verbindung zum Gerät hat einen größeren Querschnitt als der Zuluftdurchlass. Die Geräte werden nach den Gebrauchsanweisungen der Hersteller eingeschaltet und auf Kühlbetrieb gestellt. Die Volumenstrommessung wird nach einer Einlaufzeit von 15 min vorgenommen.

Das Fördervolumen des Hilfsventilators  $V$  (Abb. 5.1) für die Nullmethode wird mit einem Frequenzumrichter so eingestellt, dass der Differenzdruck zwischen Druckkammer und Raum „ $\Delta p = 0$ “ ist. Eine Membran an der Seite der Druckkammer zeigt durch ihre Bewegung an, wenn ein Über- oder Unterdruck herrscht. Wenn sie frei beweglich ist, also keine Ein- oder Ausbeulung aufweist, und sich nicht bewegt, dann ist „ $\Delta p = 0$ “ erreicht. Diese Messmethode ist sehr genau, weil sie Abweichungen der Volumenströme über die Messzeit integriert.

Zur Ermittlung des Volumenstromes wird der Differenzdruck an der Messblende  $\Delta p_B$  gemessen. Während der Messung werden Temperatur und Feuchte in der Messstrecke aufgezeichnet.

Diese Messung wird für jede Ventilatorstufenzahl bei jedem Gerät gemacht.

#### Versuchsbedingungen

Die einzelnen mobilen Klimageräte haben unterschiedliche Leistungen und verschiedene Arbeitsprinzipien. In der folgenden Tab. 5.3 werden die Versuchsbedingungen genauer beschrieben.

Die in DIN EN 14511 Teil 2 und 3 vorgeschlagenen Versuchsbedingungen werden hier nicht angewendet, sondern es wurden bestimmte Daten vor Versuchsbeginn festgelegt, die dem Einsatz der Geräte besser entsprechen.

In Tab. 5.3 sind die Geräte und die Versuchsbedingungen aufgeführt. Es sind jeweils die Temperaturen  $t$  und die absoluten Feuchten  $x$  angegeben, unter denen die Versuche durchgeführt worden sind. Variiert wurde zusätzlich noch die Drehzahl des Ventilators. So wird der Einfluss unterschiedlicher Betriebsbedingungen auf die Leistungszahl ermittelt.



**Tab. 5.3** Versuchsbedingungen der einzelnen Geräte

| Versuch Nr. | Gerät | Lufttemp. Verdampfereintritt °C | Feuchte Verdampfereintritt g/kg | Lufttemperatur Verflüssiger eintritt °C | Bemerkung                                |
|-------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|---|--|
|             |       | $t_{VdA}$                       | $X_{VdA}$                       | $t_{VfA}$                               |  |
| 1, 6        | SL 1  | 24                              | 7                               | 24                                      | nasser Verflüssiger, Einschlauchgerät    |
| 2, 7        | SL 1  | 24                              | 12                              | 24                                      | nasser Verflüssiger, Einschlauchgerät    |
| 3, 4, 5, 8  | SL 1  | 24                              | 7                               | 24                                      | trockener Verflüssiger, Einschlauchgerät |
| 9, 11, 13   | SL 2* | 24                              | 7                               | 24                                      | nasser Verflüssiger*, Zweislauchgerät    |
| 10, 12, 14  | SL 2* | 24                              | 7                               | 35                                      | nasser Verflüssiger*, Zweislauchgerät    |
| 15, 17, 19  | SL 3  | 24                              | 7                               | 24                                      | trockener Verflüssiger, Einschlauchgerät |
| 16, 18, 20  | SL 3  | 24                              | 12                              | 24                                      | trockener Verflüssiger, Einschlauchgerät |
| 21, 23      | SL 4  | 24                              | 7                               | 24                                      | trockener Verflüssiger, Zweislauchgerät  |
| 22, 24      | SL 4  | 24                              | 7                               | 35                                      | trockener Verflüssiger, Zweislauchgerät  |
| 25, 27, 29  | SP 1* | 24                              | 7                               | 24                                      | nasser Verflüssiger*, Kompressor innen   |
| 26, 28, 30  | SP 1* | 24                              | 7                               | 35                                      | nasser Verflüssiger*, Kompressor innen   |
| 31, 33, 35  | SP 1* | 24                              | 14                              | 35                                      | nasser Verflüssiger*, Kompressor innen   |
| 32, 34, 36  | SP 1* | 24                              | 20                              | 40                                      | nasser Verflüssiger*, Kompressor innen   |
| 37, 39      | SP 2  | 24                              | 7                               | 24                                      | trockener Verflüssiger, Kompressor innen |
| 38, 40      | SP 2  | 24                              | 7                               | 35                                      | trockener Verflüssiger, Kompressor innen |
| 41, 43      | SP 2  | 24                              | 14                              | 35                                      | trockener Verflüssiger, Kompressor innen |
| 42, 44      | SP 2  | 24                              | 20                              | 40                                      | trockener Verflüssiger, Kompressor innen |
| 45, 47, 49  | SP 3  | 24                              | 7                               | 24                                      | trockener Verflüssiger, Kompressor außen |
| 46, 48, 50  | SP 3  | 24                              | 7                               | 35                                      | trockener Verflüssiger, Kompressor außen |

\* Das anfallende Kondensat des Gerätes wird auf den Verflüssiger geleitet und verdampft. Es ist jedoch kein separater Wassertank zum Befüllen vorhanden, um eine anhaltend hohe Befeuchtung des Verflüssigers zu erreichen.

Für die in Tab. 5.3 festgelegten Temperaturen „ $t_{VfA}$ “ und Luftfeuchten „ $X_{VdA}$ “ ist eine Abweichung von  $\pm 1$  K bzw.  $\pm 1$  g/kg zugelassen. Die Ansaugtemperaturen der Luft für den Verdampfer sollen  $t_{VdA} = 24 \text{ °C} \pm 2 \text{ K}$  betragen. Die thermischen Versuche sind fortlaufend nummeriert.

Bei Einschlauchgeräten bezieht der Verflüssiger seine Ansaugluft aus dem Raum und scheint daher auf den ersten Blick unabhängig vom Außenluftzustand zu sein. Die Ansaugtemperatur ist deshalb gleich der Raumlufttemperatur von 24 °C. Fortluft wird nach außen geführt, um die Abwärme des Verflüssigers abzuführen. Dadurch entsteht im Raum ein geringer Unterdruck und es strömt Luft über Undichtigkeiten der Gebäudehülle in das Gebäude. Deshalb ist der in den Raum nachströmende Massenstrom gleich dem abgeführten Massenstrom. Die nachströmende Luft hat dabei die absolute Feuchte der Außenluft. Die Ansaugbedingungen für den Verdampfer werden daher neben der Raumlufttemperatur von 24 °C auf eine absolute Raumluftfeuchte von 7 g/kg und 12 g/kg festgelegt.

Bei Zweischlauch- und Splitgeräten hat die Außenluft keinen Einfluss auf die Raumluft, solange nicht zusätzlich gelüftet wird. Daher sind die Eintrittsbedingungen für den Verdampfer auf 24 °C und 7 g/kg festgelegt. Die Außenlufttemperatur hat aber einen großen Einfluss auf den Wirkungsgrad. Aus diesem Grund wird die Ansaugtemperatur für den Verflüssiger in der ersten Messung auf 24 °C und für die zweite Messung auf 35 °C und 40 °C festgelegt.

### **Temperaturen und Luftfeuchte**

Die Messung der relativen Feuchte wird zusammen mit der Temperaturmessung am mobilen Klimagerät durchgeführt. Es wird eine Einlaufzeit vor der Messung von „1 h“ eingehalten. Die Mess- und Hilfsgeräte sind ebenfalls während der Einlaufphase eingeschaltet.

Die Messung mit den kalibrierten Thermoelementen und Hygrometern beginnt nach Ablauf der Einlaufzeit. Datalogger nehmen alle 30 s die Messwerte auf.

Die Messung wird für jede Lüfterstufe mit jedem Gerät durchgeführt.

### **Elektrische Leistung**

Die Messung der elektrischen Leistung verläuft immer parallel zur Messung der Temperaturen und relativen Feuchten eines jeden mobilen Klimagerätes. Daher wird die elektrische Leistungsaufnahme bei den gleichen Versuchsbedingungen ermittelt. Die Messwerte werden dabei alle 10 s automatisch aufgezeichnet.

Die Messung wird für jede Lüfterstufe mit jedem Gerät durchgeführt.

### **Raumluftzustand**

Während der Messungen für die Oberflächenleistung werden Raumlufttemperatur und relative Feuchte gemessen. Dafür wird das Multifunktionsgerät Testo 400 mit Feuchte- und Temperaturfühler verwendet

### **Bestimmung der Oberflächenleistung**

Für die Bestimmung der Oberflächenleistung muss das mobile Klimagerät eine Einlaufzeit von „1 h“ haben. Diese Messung wird daher nach den Messungen der Temperaturen, der relativen Feuchten sowie der elektrischen Leistungsaufnahme durchgeführt, um einen Beharrungszustand zu erreichen.

Die Messungen der Oberflächentemperaturen am Gehäuse der Schlauch- und Splitgeräte werden an repräsentativen Punkten durchgeführt. Dabei werden die Flächen mit gleicher Oberflächentemperatur zusammengefasst. Die Flächen werden zusammen mit den entsprechenden Oberflächentemperaturen registriert.

Es gibt bei den Schläuchen anteilig glatte und gerillte Oberflächen. Bei den glatten Oberflächen werden die Längen und die Durchmesser aufgenommen. Für die gerill-

ten Oberflächen werden zusätzlich zum Durchmesser noch die geometrischen Abmessungen einer Rille und die Anzahl der Rillen bestimmt.

Die Oberflächentemperatur der Splitleitung wird an 3 Punkten gemessen. Zusätzlich wird die Oberfläche in Länge, Höhe und Breite vermessen.

Zur Berechnung der Oberflächenleistungen werden zusätzlich die mittlere Raumlufttemperatur und die Oberflächentemperatur der von den mobilen Klimageräten abgestrahlten Umgebungsflächen registriert. Die Messungen werden für jedes mobile Klimagerät in der größten Ventilatorstufe durchgeführt.

### **5.3.2 Bestimmung des Schalleistungspegels**

Bei den Messungen wird für die Vergleichsquelle und die Klimageräte der gleiche Standort gewählt. Vor der Messung wird eine Einlaufzeit von „15 min“ abgewartet.

Die Messung wird für alle Lüfterstufen bei allen Geräten durchgeführt.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

#### 6.1.1 Energieverbrauch und Leistungszahl

Eine Zusammenfassung der berechneten Leistungszahlen „LG<sub>sen</sub>“, „LG<sub>KÜ</sub>“ und „LG<sub>ges</sub>“ befindet sich in Tab. 6.1 (Messreihen 1 bis 24) und 6.2 (Messreihen 25 bis 50), getrennt nach Schlauch- und Splitgeräten. Die Splitgeräte SP 1 und SP 2 in Tab. 6.2 wurden zusätzlich in der Klimakammer der BAuA in Dortmund unter Extrembedingungen für die Außeneinheit untersucht. Die Klimakammer ist bei Müller-Arnecke, Hold (1999) näher beschrieben. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der Spalte Bemerkung mit dem Hinweis <sup>\*</sup>) gekennzeichnet.

**Tab. 6.1** Zusammenfassung der Leistungszahlen der Schlauchgeräte

| Versuch Nr. | Gerät | Ventilatorstufe | Versuchsdingung | LG <sub>KÜ</sub> | LG <sub>sen</sub> | LG <sub>ges</sub> |
|-------------|-------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1           | SL 1  | 1               | 7 g/kg na       | 2,11             | <b>2,02</b>       | 2,63              |
| 2           |       |                 | 12 g/kg na      | 1,74             | <b>1,65</b>       | 3,10              |
| 3           |       |                 | 7 g/kg tr       | 1,40             | <b>1,33</b>       | 1,64              |
| 4           |       | 2               | 7 g/kg tr       | 1,44             | <b>1,37</b>       | 1,67              |
| 5           |       | 3               | 7 g/kg tr       | 1,50             | <b>1,43</b>       | 1,76              |
| 6           |       | 4               | 7 g/kg na       | 2,39             | <b>2,30</b>       | 2,73              |
| 7           |       |                 | 12 g/kg na      | 1,82             | <b>1,74</b>       | 3,44              |
| 8           |       |                 | 7 g/kg tr       | 1,49             | <b>1,42</b>       | 1,69              |
| 9           | SL 2  | 1               | 24 °C           | 1,72             | <b>1,58</b>       | 2,11              |
| 10          |       |                 | 35 °C           | 1,41             | <b>1,21</b>       | 1,59              |
| 11          |       | 2               | 24 °C           | 1,81             | <b>1,68</b>       | 2,14              |
| 12          |       |                 | 35 °C           | 1,46             | <b>1,26</b>       | 1,55              |
| 13          |       | 3               | 24 °C           | 1,81             | <b>1,68</b>       | 1,99              |
| 14          |       |                 | 35 °C           | 1,52             | <b>1,33</b>       | 1,65              |
| 15          | SL 3  | 1               | 7 g/kg          | 0,86             | <b>0,77</b>       | 1,19              |
| 16          |       |                 | 12 g/kg         | 0,83             | <b>0,74</b>       | 1,50              |
| 17          |       | 2               | 7 g/kg          | 1,21             | <b>1,12</b>       | 1,55              |
| 18          |       |                 | 12 g/kg         | 1,03             | <b>0,95</b>       | 1,86              |
| 19          |       | 3               | 7 g/kg          | 1,36             | <b>1,26</b>       | 1,49              |
| 20          |       |                 | 12 g/kg         | 1,05             | <b>0,97</b>       | 1,82              |
| 21          | SL 4  | 1               | 24 °C           | 1,27             | <b>1,05</b>       | 1,49              |
| 22          |       |                 | 35 °C           | 1,05             | <b>0,79</b>       | 1,29              |
| 23          |       | 2               | 24 °C           | 1,69             | <b>1,48</b>       | 1,66              |
| 24          |       |                 | 35 °C           | 1,38             | <b>1,14</b>       | 1,60              |

Tab. 6.2 Zusammenfassung der Leistungszahlen der Splitgeräte

| Ver-<br>such<br>Nr. | Gerät | Ventilator-<br>stufe | Versuchs-<br>bedingung | LG <sub>KÜ</sub> | LG <sub>sen</sub> | LG <sub>ges</sub> | Bemer-<br>kung |  |
|---------------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|--|
| 25                  | SP 1  | 1                    | 24 °C                  | 1,76             | <b>1,73</b>       | 2,49              |                |  |
| 26                  |       |                      | 35 °C                  | 1,12             | <b>1,09</b>       | 1,49              |                |  |
| 27                  |       | 2                    | 24 °C                  | 1,83             | <b>1,80</b>       | 2,57              |                |  |
| 28                  |       |                      | 35 °C                  | 1,26             | <b>1,24</b>       | 1,72              |                |  |
| 29                  |       | 3                    | 24 °C                  | 1,76             | <b>1,73</b>       | 2,40              |                |  |
| 30                  |       |                      | 35 °C                  | 1,36             | <b>1,33</b>       | 1,87              |                |  |
| 31                  |       | 1                    | 35 °C<br>14g/kg        | 1,13             | <b>1,11</b>       | 1,34              | *)             |  |
| 32                  |       |                      | 40 °C<br>20g/kg        | 1,02             | <b>1,00</b>       | 1,13              | *)             |  |
| 33                  |       | 2                    | 35 °C<br>14g/kg        | 1,21             | <b>1,19</b>       | 1,38              | *)             |  |
| 34                  |       |                      | 40 °C<br>20g/kg        | 1,05             | <b>1,03</b>       | 1,07              | *)             |  |
| 35                  |       | 3                    | 35 °C<br>14g/kg        | 1,20             | <b>1,18</b>       | 1,37              | *)             |  |
| 36                  |       |                      | 40 °C<br>20g/kg        | 1,04             | <b>1,02</b>       | 1,06              | *)             |  |
| 37                  |       | SP 2                 | 1                      | 24 °C            | 1,99              | <b>1,98</b>       | 2,72           |  |
| 38                  |       |                      |                        | 35 °C            | 1,47              | <b>1,46</b>       | 1,96           |  |
| 39                  |       |                      | 2                      | 24 °C            | 2,19              | <b>2,18</b>       | 2,94           |  |
| 40                  |       |                      |                        | 35 °C            | 1,81              | <b>1,81</b>       | 2,29           |  |
| 41                  | 1     |                      | 35 °C<br>14g/kg        | 1,43             | <b>1,42</b>       | 1,70              | *)             |  |
| 42                  |       |                      | 40 °C<br>20g/kg        | 1,32             | <b>1,31</b>       | 1,61              | *)             |  |
| 43                  | 2     |                      | 35 °C<br>14g/kg        | 1,45             | <b>1,44</b>       | 1,72              | *)             |  |
| 44                  |       |                      | 40 °C<br>20g/kg        | 1,43             | <b>1,43</b>       | 1,63              | *)             |  |
| 45                  | SP 3  |                      | 1                      | 24 °C            | 1,67              | <b>1,69</b>       | 2,43           |  |
| 46                  |       |                      |                        | 35 °C            | 1,22              | <b>1,25</b>       | 1,75           |  |
| 47                  |       | 2                    | 24 °C                  | 1,69             | <b>1,72</b>       | 2,37              |                |  |
| 48                  |       |                      | 35 °C                  | 1,43             | <b>1,46</b>       | 1,95              |                |  |
| 49                  |       | 3                    | 24 °C                  | 1,89             | <b>1,92</b>       | 2,99              |                |  |
| 50                  |       |                      | 35 °C                  | 1,41             | <b>1,43</b>       | 1,87              |                |  |

\*) Messungen in der Klimakammer der BAuA Dortmund

Die **Leistungszahl** „ $LG_{Kü}$ “ beschreibt das Verhältnis der Kühlleistung der (vom Gerät ausgeblasenen) Luft zur aufgewendeten elektrischen Leistung. Hierin sind keine Leistungen über die Gehäusewände oder für die Entfeuchtung enthalten. Die **Leistungszahl** „ $LG_{ges}$ “ ist größer als die anderen Leistungszahlen, da darin die Entfeuchtungsleistung mit enthalten ist. Die Entfeuchtung der Luft ist jedoch kein Nutzen, da eine Trocknung der Luft in unseren Breitengraden selten notwendig und vor allem bei den vorgegebenen Daten der Untersuchung unerwünscht ist. Bei einem Wassergehalt von 12 g/kg und einer Temperatur von 25 °C beträgt die relative Feuchte 60 % und liegt im Behaglichkeitsfeld. Es gibt nur knapp 100 Betriebsstunden im Jahr mit höheren Feuchtigkeiten (vgl. Entfeuchtungsgrammstunden Recknagel-Sprenger-Schramek, 2004). Für andere Räume als Büros, in denen Feuchtigkeit als Last anfällt, kann die Kennzahl „ $LG_{ges}$ “ von Bedeutung sein.

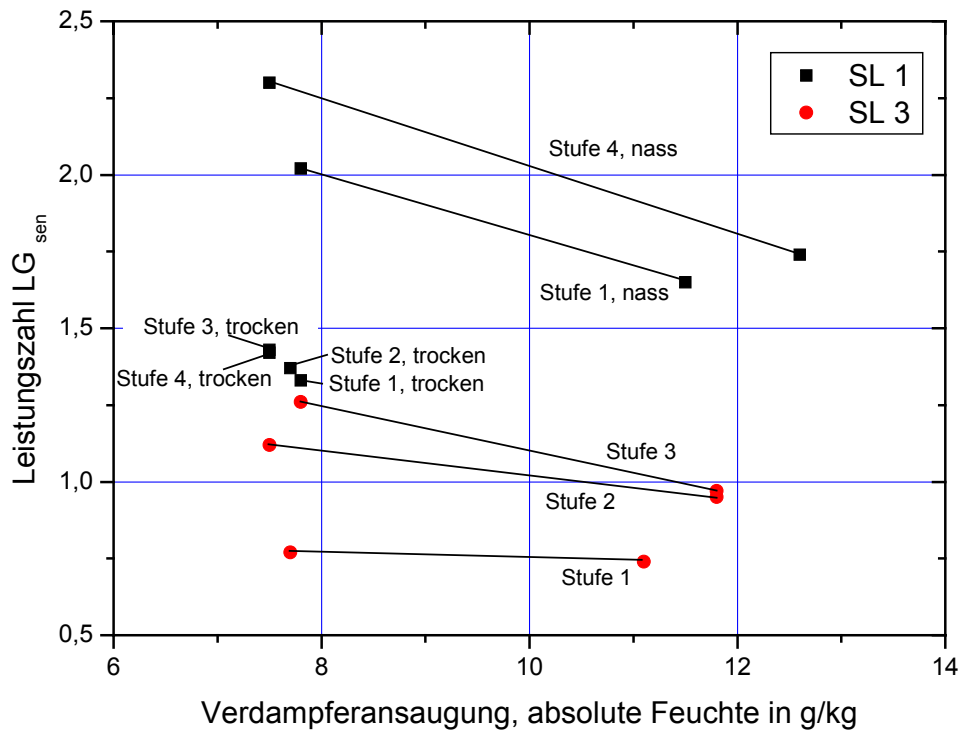
Für den Vergleich der untersuchten Geräte und der Arbeitsprinzipien untereinander ist die **Leistungszahl** „ $LG_{sen}$ “ entscheidend. Hier handelt es sich um die sensible Kühlleistung der Geräte unter Berücksichtigung von Transmission über die Oberfläche der Geräte und der Schläuche. Sie beträgt bei den Schlauchgeräten im Mittel 5 %, bei SL 4 allerdings 25 %, bei den Splitgeräten ungefähr 2 %. Die Leistungszahl „ $LG_{sen}$ “ wird in Abhängigkeit der jeweiligen Versuchsbedingungen (vgl. Abschnitt 5) in Abb. 6.1 bis 6.3 grafisch dargestellt. Für eine bessere Übersichtlichkeit sind Einschlauch-, Zweischlauch- und Splitgeräte in getrennten Abbildungen untergebracht. Die in der Klimakammer in Dortmund durchgeführten Untersuchungen sind in diesen Diagrammen nicht dargestellt, da dort nur zwei Geräte untersucht wurden.

Die dargestellten Verbindungslinien zwischen zwei Punkten stellen keine Messwerte dar. Sie zeigen den Verlauf in erster Näherung und die Zusammengehörigkeit der Punkte zu einer Ventilatorstufe an. Die Zwischenpunkte können knapp oberhalb oder unterhalb der linearen Verbindung liegen.

Die Einschlauchgeräte haben eine andere Abszisse als die Zweischlauch- und Splitgeräte. Dies hängt mit den unterschiedlichen Versuchsbedingungen zusammen. Bei den Einschlauchgeräten wird nur die absolute Feuchte variiert, weil die Luft für den Verflüssiger aus dem Raum angesaugt wird. Siehe dazu auch Tab. 5.3. Bei den Zweischlauch- und den Splitgeräten spielt nur die Temperatur am Verflüssiger eine Rolle.

Das Einschlauchgerät „SL 3“ hat auffallend geringe Leistungszahlen im Vergleich zu allen anderen Geräten. Das Einschlauchgerät „SL 1“ hat dagegen in der Betriebsweise „nass“ (Kühlung des Verflüssigers durch Luft und zusätzliche Verdampfung von aufgesprühtem Wasser) im Vergleich zu allen anderen Geräten die größten Leistungszahlen. Hier wird der prinzipielle Nachteil des Schlauchgerätes, der im wesentlichen in den höheren Strömungsverlusten in den Schläuchen besteht, durch die Verdampfung des Wassers verbessert. In der Betriebsweise „trocken“ ist das Gerät SL 1 in allen vier Drehzahlstufen besser als das Gerät SL 3, wobei die Werte dicht beieinander liegen. Die besten Werte von SL 3 in der Drehzahlstufe 3 liegen nur gering unter den Werten von Gerät SL 1.

Es fragt sich, warum die Befeuchtung des Verflüssigers nicht von mehreren Geräteherstellern genutzt wird. Die Verkalkung und die mögliche Korrosion, auf jeden Fall die erforderliche umfangreichere Wartung der Geräte, schreckt die Hersteller vermutlich ab.



**Abb. 6.1** Leistungszahlen  $LG_{sen}$  der Einschlauchgeräte

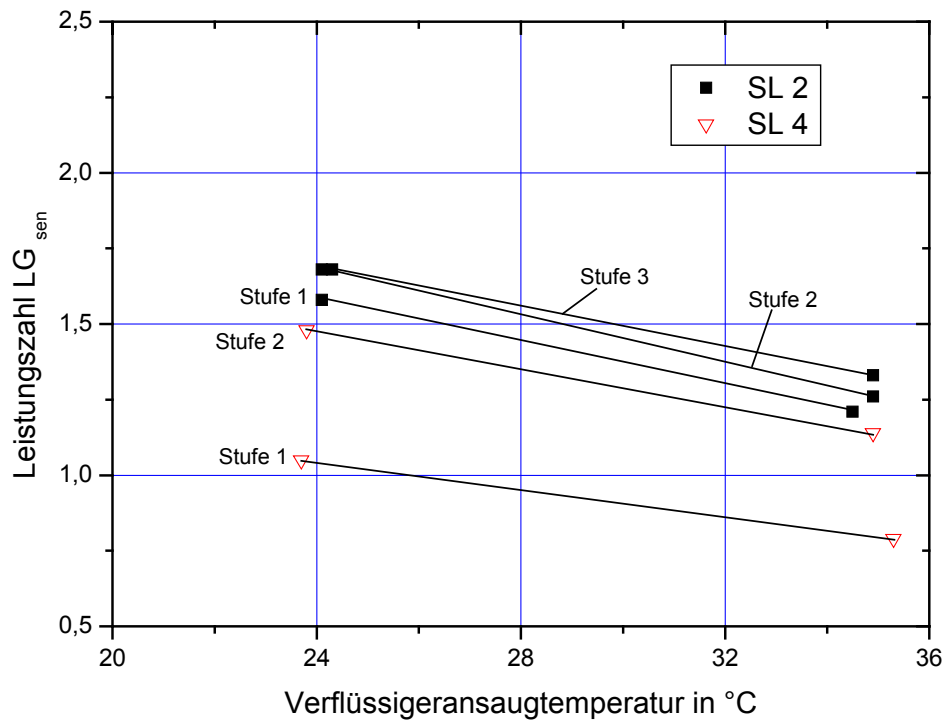
Die Leistungszahlen der Zweischlauchgeräte liegen bei den untersuchten Geräten, mit einer Ausnahme, zwischen den genannten Werten der Einschlauchgeräte. Das Zweischlauchgerät „SL 4“ hat in der kleinsten Ventilatorstufe („Stufe 1“) sehr kleine Leistungszahlen, unter 1,0! Die Kühlleistung „ $\dot{Q}_{KÜ}$ “ ist kleiner als die aufgenommene elektrische Leistung „ $P_{el}$ “.

Die Reihenfolge aller untersuchten Geräte beurteilt nach der Leistungszahl  $LG_{sen}$  sieht so aus:

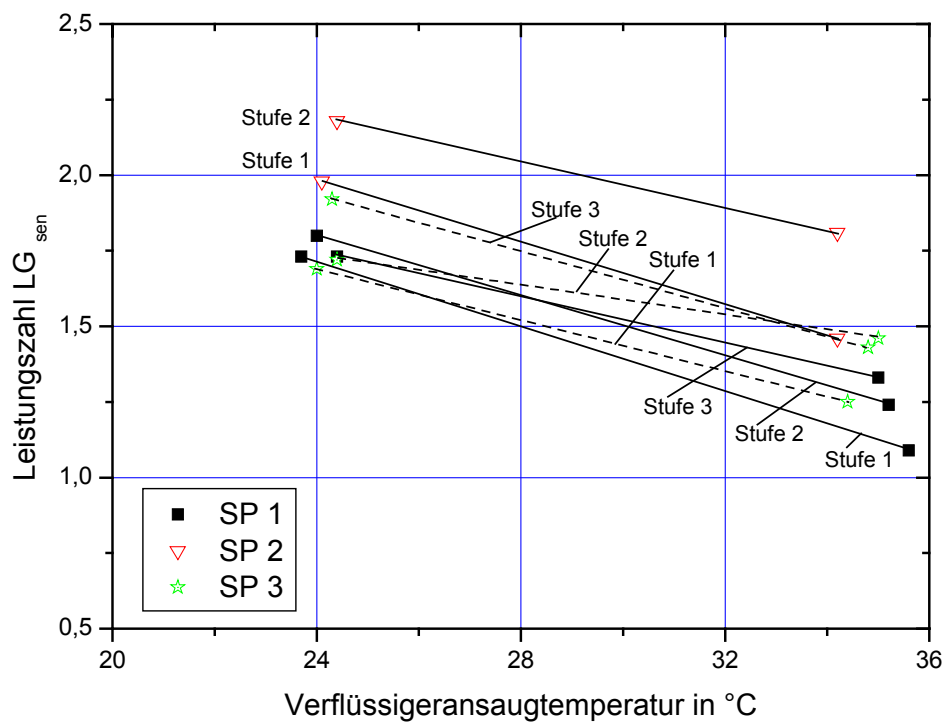
**Tab. 6.3** Reihenfolge der Geräte geordnet nach der Leistungszahl

| Platz      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Gerät      | SL 1 | SP 2 | SP 3 | SP 1 | SL 2 | SL 4 | SL 3 |
| $LG_{sen}$ | 2,3  | 2,2  | 1,9  | 1,8  | 1,7  | 1,5  | 1,3  |

Man sieht, dass die Unterschiede nicht unerheblich sind.



**Abb. 6.2** Leistungszahlen  $LG_{sen}$  der Zweischlauchgeräte



**Abb. 6.3** Leistungszahlen  $LG_{sen}$  der Splitgeräte



Die Splitgeräte haben mit einer Ausnahme die größten Leistungszahlen (Abb. 6.3). Das Splitgerät „SP2“ erreicht in der größten Ventilatorstufe mit knapp 2,2 die besten Werte.

Bei allen mobilen Klimageräten sind die Leistungszahlen in der größten Ventilatorstufe am kleinsten. Unter energetischen Gesichtspunkten ist ein mobiles Klimagerät mit zusätzlich wassergekühltem Verflüssiger am besten geeignet. Im vorliegenden Fall handelt es sich allerdings um ein Einschlauchgerät, bei dem die Vorteile je nach Anwendung wieder verloren sind, wie später erläutert wird (siehe Tab. 7.5). An zweiter Stelle folgen die Splitgeräte ohne befeuchteten Verflüssiger. Bei Splitgeräten wäre mit einer ähnlichen Verbesserung wie beim Schlauchgerät zu rechnen, wenn der Verflüssiger zusätzlich befeuchtet würde. Ein solches Gerät wurde aber nicht gefunden. Die Geräte befeuchten den Verflüssiger nur mit Kondenswasser aus der Inneneinheit. Das ist aber im Normalfall zu wenig, weil in einem Büro kaum Wasser freigesetzt wird. Nur bei Ansaugung feuchter Außenluft, z. B. beim Einschlauchgerät oder bei zu starker Fensterlüftung bei feuchter Außenluft, könnte sich diese Art der Befeuchtung etwas günstiger auswirken.

### 6.1.2 Kühlleistung, Entfeuchtungsleistung

Eine Zusammenfassung der berechneten Kühlleistungen „ $\dot{Q}_{KÜ}$ “ und Entfeuchtungsleistungen „ $\dot{Q}_E$ “ wird in Tab. 6.4 für Schlauchgeräte und Tab. 6.5 für Splitgeräte gegeben. Daneben sind die Temperaturdifferenzen „ $\Delta t_L$ “ für die Berechnung der Kühlleistung und die Feuchtedifferenz „ $\Delta x$ “ für die Berechnung der Entfeuchtungsleistung als wichtigste Einflussgrößen angegeben. Es ist eine zeilenweise Unterteilung der berechneten Größen für die verschiedenen mobilen Klimageräte, die einzelnen Ventilatorstufen und die verschiedenen Versuchsbedingungen dargestellt.

**Tab. 6.4** Zusammenfassung der Kühlleistung und der Entfeuchtungsleistung für Schlauchgeräte

| Versuch Nr. | Gerät | Ventilatorstufe | Versuchsbedingung | $\Delta t_L$ in K | $\dot{Q}_{KÜ}$ in W | $\Delta x$ in g/kg | $\dot{Q}_E$ in W |
|-------------|-------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------|
| 1           | SL 1  | 1               | 7 g/kg na         | 13,5              | 1156                | 1,4                | 289              |
| 2           |       |                 | 12 g/kg na        | 11,5              | 972                 | 3,6                | 758              |
| 3           |       |                 | 7 g/kg tr         | 12,3              | 1021                | 0,85               | 174              |
| 4           |       | 2               | 7 g/kg tr         | 11,9              | 1050                | 0,8                | 170              |
| 5           |       | 3               | 7 g/kg tr         | 11,2              | 1101                | 0,8                | 190              |
| 6           |       | 4               | 7 g/kg na         | 12,5              | 1314                | 0,9                | 234              |
| 7           |       |                 | 12 g/kg na        | 9,9               | 1023                | 3,6                | 910              |
| 8           |       |                 | 7 g/kg tr         | 10,9              | 1108                | 0,6                | 146              |
| 9           | SL 2  | 1               | 24 °C             | 13,1              | 1055                | 1,2                | 245              |
| 10          |       |                 | 35 °C             | 12,0              | 962                 | 0,6                | 127              |
| 11          |       | 2               | 24 °C             | 12,6              | 1144                | 1,0                | 213              |
| 12          |       |                 | 35 °C             | 11,2              | 1018                | 0,3                | 68               |
| 13          |       | 3               | 24 °C             | 12,0              | 1153                | 0,8                | 196              |
| 14          |       |                 | 35 °C             | 11,2              | 1069                | 0,4                | 88               |
| 15          | SL 3  | 1               | 7 g/kg            | 17,9              | 883                 | 2,8                | 345              |
| 16          |       |                 | 12 g/kg           | 16,3              | 802                 | 5,3                | 642              |
| 17          |       | 2               | 7 g/kg            | 14,5              | 1209                | 1,6                | 340              |
| 18          |       |                 | 12 g/kg           | 12,8              | 1060                | 4,2                | 848              |
| 19          |       | 3               | 7 g/kg            | 11,9              | 1277                | 0,8                | 215              |
| 20          |       |                 | 12 g/kg           | 10,6              | 1124                | 3,1                | 823              |
| 21          | SL 4  | 1               | 24 °C             | 14,0              | 969                 | 1,0                | 173              |
| 22          |       |                 | 35 °C             | 12,6              | 873                 | 1,2                | 198              |
| 23          |       | 2               | 24 °C             | 12,7              | 1333                | 0,6                | 141              |
| 24          |       |                 | 35 °C             | 11,7              | 1238                | 0,7                | 192              |

**Tab. 6.5** Zusammenfassung der Kühlleistung und der Entfeuchtungsleistung für Splitgeräte

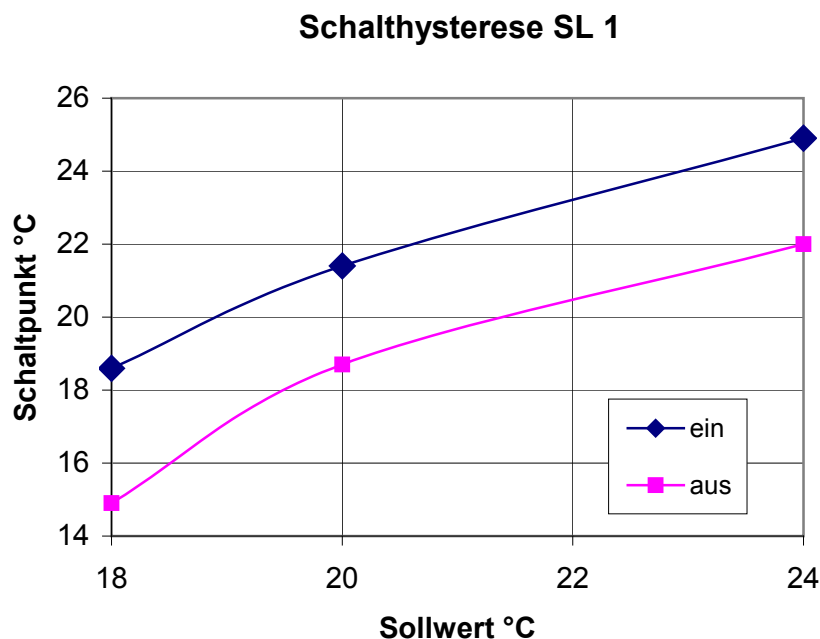
| Ver-<br>such<br>Nr. | Gerät | Ventilator-<br>stufe | Versuchs-<br>bedingung | $\Delta t_L$<br>in K | $\dot{Q}_{KÜ}$<br>in W | $\Delta x$ in<br>g/kg | $\dot{Q}_E$<br>in W |     |
|---------------------|-------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----|
| 25                  | SP 1  | 1                    | 24 °C                  | 22,7                 | 1852                   | 3,8                   | 767                 |     |
| 26                  |       |                      | 35 °C                  | 18,0                 | 1447                   | 2,5                   | 489                 |     |
| 27                  |       | 2                    | 24 °C                  | 21,7                 | 1940                   | 3,5                   | 787                 |     |
| 28                  |       |                      | 35 °C                  | 18,8                 | 1672                   | 2,8                   | 608                 |     |
| 29                  |       | 3                    | 24 °C                  | 20,2                 | 1908                   | 3,1                   | 730                 |     |
| 30                  |       |                      | 35 °C                  | 19,4                 | 1821                   | 3,0                   | 688                 |     |
| 31                  |       | 1                    | 35 °C 14 g/kg          | 18,3                 | 1469                   | 1,5                   | 307                 |     |
| 32                  |       |                      | 40 °C 20 g/kg          | 17,4                 | 1392                   | 0,8                   | 150                 |     |
| 33                  |       | 2                    | 35 °C 14 g/kg          | 18,2                 | 1606                   | 1,5                   | 333                 |     |
| 34                  |       |                      | 40 °C 20 g/kg          | 16,9                 | 1461                   | 0,4                   | 98                  |     |
| 35                  |       | 3                    | 35 °C 14 g/kg          | 17,2                 | 1601                   | 1,1                   | 259                 |     |
| 36                  |       |                      | 40 °C 20 g/kg          | 15,8                 | 1465                   | 0,1                   | 30                  |     |
| 37                  |       | SP 2                 | 1                      | 24 °C                | 17,8                   | 1966                  | 2,7                 | 730 |
| 38                  |       |                      |                        | 35 °C                | 15,3                   | 1674                  | 2,1                 | 563 |
| 39                  | 2     |                      | 24 °C                  | 17,0                 | 2213                   | 2,4                   | 762                 |     |
| 40                  |       |                      | 35 °C                  | 15,7                 | 2039                   | 1,7                   | 542                 |     |
| 41                  | 1     |                      | 35 °C 14 g/kg          | 15,8                 | 1728                   | 1,2                   | 331                 |     |
| 42                  |       |                      | 40 °C 20 g/kg          | 15,8                 | 1727                   | 1,4                   | 338                 |     |
| 43                  | 2     |                      | 35 °C 14 g/kg          | 13,4                 | 1727                   | 1,1                   | 336                 |     |
| 44                  |       |                      | 40 °C 20 g/kg          | 14,3                 | 1853                   | 0,8                   | 255                 |     |
| 45                  | SP 3  | 1                    | 24 °C                  | 22,9                 | 1162                   | 4,2                   | 531                 |     |
| 46                  |       |                      | 35 °C                  | 19,8                 | 990                    | 3,4                   | 427                 |     |
| 47                  |       | 2                    | 24 °C                  | 20,0                 | 1223                   | 3,2                   | 493                 |     |
| 48                  |       |                      | 35 °C                  | 19,2                 | 1166                   | 2,8                   | 423                 |     |
| 49                  |       | 3                    | 24 °C                  | 19,2                 | 1385                   | 4,4                   | 786                 |     |
| 50                  |       |                      | 35 °C                  | 17,1                 | 1220                   | 2,3                   | 404                 |     |

Ein Vergleich der untersuchten Split- und Schlauchgeräte zeigt, dass Schlauchgeräte im allgemeinen eine kleinere Kühlleistung als Splitgeräte haben. Dies ist auf die energetisch ungünstigere zweistufige Wärmeabgabe und die zusätzlich erforderliche Luftförderung zurückzuführen. Die Luft wird beim Splitgerät zu tieferen Temperaturen abgekühlt, damit ist bei den Splitgeräten auch die größere Entfeuchtungsleistung zu erklären, die hier keinen Nutzen hat.

### 6.1.3 Regelung durch Ein- und Ausschalten

Die Geräte arbeiten im Dauerbetrieb, wenn die Kühllast gleich groß oder größer ist, als die Geräteleistung. Häufig wird aber der Teillastfall eintreten. Es ist von Interesse, wie genau dann die Temperatur im Raum eingehalten wird.

Die Geräte werden durch Ein- und Ausschalten geregelt. An den Thermostaten der Geräte wurden drei Soll-Temperaturen von 18 °C, 20 °C und 24 °C eingestellt und die Ein- und Ausschaltpunkte ermittelt. Dabei wurde in mehreren Zyklen die Temperatur im Raum ansteigend und abfallend verändert. Der Mittelwert der Schaltpunkte ist am Beispiel des Gerätes SL 1 in Abb. 6.4 aufgetragen. Die anderen Geräte verhalten sich ähnlich. Dazu sind die Schaltpunkte, die Differenz zwischen Ein- und Ausschalten und die Standardabweichung der Ein- und Ausschaltwerte in Tab. 6.6 zusammengestellt.



**Abb. 6.4** Schaltpunkte des Gerätes SL 1

Bei der Soll-Temperatur von 18 °C reagiert nur das Gerät SL 1. Die anderen Geräte beginnen bei dieser Solltemperatur noch nicht zu kühlen. Das ist im Prinzip auch nicht erforderlich. Die Differenzen der Schaltpunkte variieren bei den verschiedenen Geräten und Temperaturen. Diese Schaltpunktdifferenzen sollten einerseits möglichst klein sein, denn sie geben im Prinzip die Bandbreite vor, in der die Lufttemperatur im Raum eingehalten wird. Sie dürfen andererseits nicht zu klein sein, damit die Schaltfrequenz des Kompressors nicht zu hoch ist.

**Tab. 6.6** Zusammenstellung der Temperaturen der Schaltpunkte

| Gerät | Soll in °C | Schaltpunkt in °C |      | Differenz in K | Standardabweichung in K |     |
|-------|------------|-------------------|------|----------------|-------------------------|-----|
|       |            | ein               | aus  |                | ein                     | aus |
| SL 1  | 18         | 18,6              | 14,9 | 3,7            | 0,2                     | 0,8 |
|       | 20         | 21,4              | 18,7 | 2,7            | 0,1                     | 0,2 |
|       | 24         | 24,9              | 22   | 2,9            | 0,1                     | 0,1 |
| SL 2  | 18         | -                 | -    | -              | -                       | -   |
|       | 20         | 20,4              | 18,7 | 1,7            | 0,9                     | 0,2 |
|       | 24         | 24,1              | 23,1 | 1              | 0,3                     | 0,5 |
| SL 3  | 18         | -                 | -    | -              | -                       | -   |
|       | 20         | 20,1              | 18,9 | 1,2            | 0,6                     | 0,4 |
|       | 24         | 25                | 22,1 | 2,9            | 0,6                     | 1,1 |
| SL 4  | 18         | -                 | -    | -              | -                       | -   |
|       | 20         | 19,9              | 17,0 | 2,9            | 0,1                     | 0,4 |
|       | 24         | 25,5              | 21,9 | 3,6            | 0,5                     | 1,7 |
| SP 1  | 18         | -                 | -    | -              | -                       | -   |
|       | 20         | 20,8              | 18,3 | 2,5            | 0,7                     | 0,8 |
|       | 24         | 25,3              | 24,2 | 1,1            | 0,4                     | 0,4 |
| SP 2  | 18         | -                 | -    | -              | -                       | -   |
|       | 20         | 20,1              | 19,0 | 1,1            | 0,5                     | 0,2 |
|       | 24         | 24,2              | 22,2 | 2              | 0,4                     | 0,5 |
| SP 3  | 18         | -                 | -    | -              | -                       | -   |
|       | 20         | 20,8              | 18,7 | 2,1            | 0,3                     | 0,3 |
|       | 24         | 24,6              | 22,5 | 2,1            | 0,4                     | 0,5 |

#### 6.1.4 Luftgeschwindigkeiten, Lufttemperaturen im Aufenthaltsbereich

Für die Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich sind Luftgeschwindigkeiten und Lufttemperaturen von großer Bedeutung. Alle Geräte haben hohe Ausblasgeschwindigkeiten und tiefe Ausblastemperaturen. Die Luftstrahlen haben eine große Eindringtiefe in den Raum. Für die Behaglichkeit ist entscheidend, wie schnell die Ausblasgeschwindigkeit und die Temperaturdifferenz zur Raumluft abgebaut wird. Für die Beurteilung der Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich sind zwei Raumbereiche zu unterscheiden:

1. Nahbereich des Gerätes,
2. Fernbereich des Gerätes.

In unmittelbarer Nähe des Gerätes werden die Luftgeschwindigkeiten und Lufttemperaturen von der Ausblasgeschwindigkeit beeinflusst. Direkt vor dem Durchlass hängen Geschwindigkeit und Temperatur von der Austrittsfläche und der Luftverteilung in dieser Fläche ab.

Es lassen sich zwei aerodynamisch verschiedene Formen der Ausströmung unterscheiden. Ein Teil der Geräte hat ein Strömungsverhalten, das mehr dem eines runden Freistrahles entspricht, die anderen Geräte haben ein Strömungsverhalten, das einem ebenen Freistrahle ähnelt. In den folgenden Darstellungen werden die Geräte nach diesem Gesichtspunkt unterteilt. Tab. 6.7 zeigt diese Einteilung.

**Tab. 6.7** Einteilung der Geräte nach dem Ausströmungsverhalten

| Gerät | Strömungsverhalten | Bemerkung                                |
|-------|--------------------|--|
| SL 1  | runder Freistrah   |  |
| SL 2  | runder Freistrah   |  |
| SL 3  | runder Freistrah   |  |
| SL 4  | ebener Freistrah   | gleiche Bauart wie Inneneinheit von SP 2 |
| SP 1  | ebener Freistrah   |  |
| SP 2  | ebener Freistrah   | gleiche Bauart der Inneneinheit wie SL 4 |
| SP 3  | ebener Freistrah   |  |

Diese Unterteilung gilt für den Nahbereich bis ca. 1 m Abstand vom Gerät. Bei größerem Abstand als 1 m haben alle Geräte das Verhalten eines runden Freistrahles. Mit Verdoppelung des Abstandes halbiert sich dann die Geschwindigkeit im Strahlverlauf.

Zusätzlich zu den Ausblasgeschwindigkeiten werden die Ausblaswinkel zur Horizontalen ermittelt. Die Werte sind in Tab. 6.8 zusammengestellt. Bei zwei Geräten kann die Ausblasrichtung durch den Nutzer beeinflusst werden. Das ist in der Spalte mit der Überschrift Bemerkung angegeben.

**Tab. 6.8** Ausblaswinkel der Zuluft

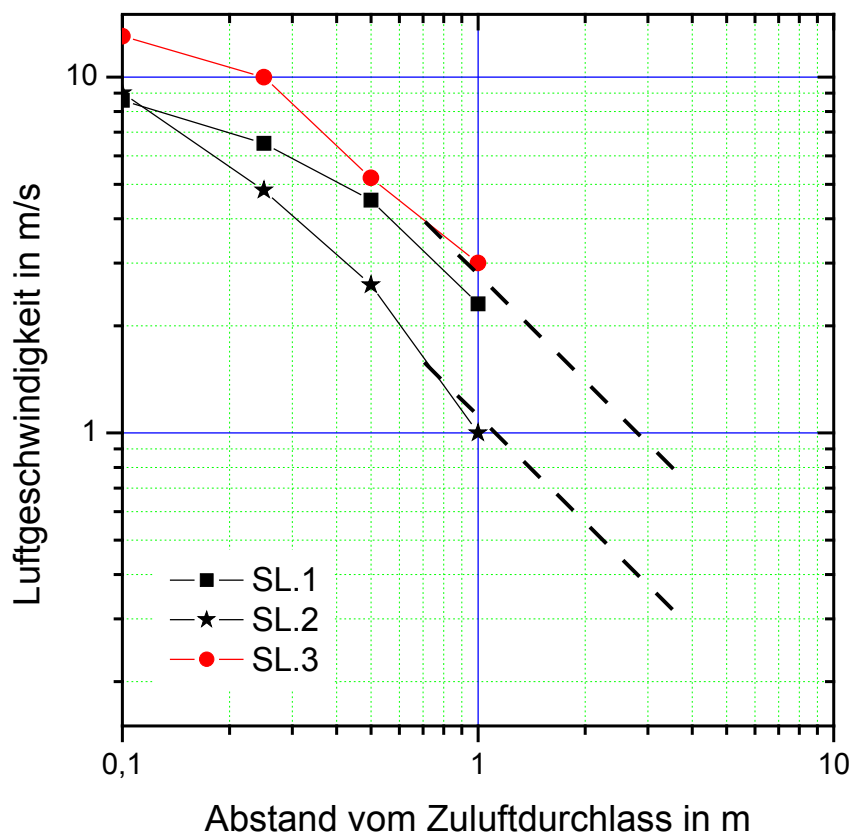
| Gerät | Ausblaswinkel in ° | Bemerkung         |
|-------|--------------------|-------------------|
| SL 1  | 68                 | fest              |
| SL 2  | 45                 | gewählt           |
| SL 3  | 72                 | fest              |
| SL 4  | 55                 | fest              |
| SP 1  | 45                 | gewählt, parallel |
| SP 2  | 58                 | fest              |
| SP 3  | 30                 | fest              |

### Luftgeschwindigkeit

In Abb. 6.5 und 6.6 sind die höchsten gemessenen Luftgeschwindigkeiten in der Strahlmitte über dem Abstand aufgetragen.

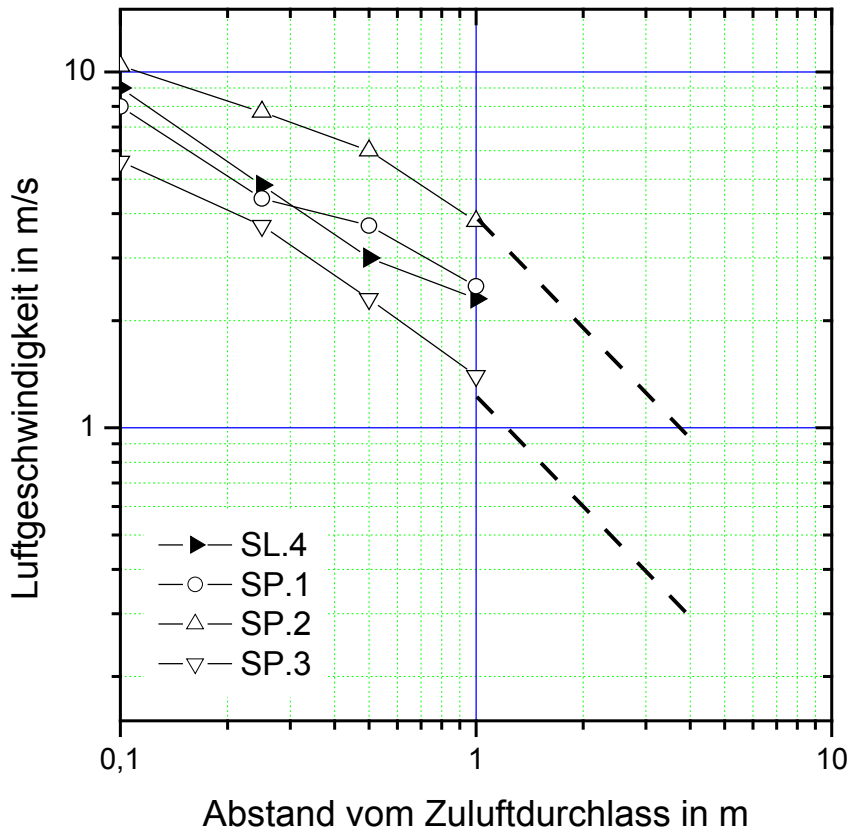
Bei Geräten mit dem Verhalten eines runden Freistrahles (Abb. 6.5) hat sich ab ca. 0,5 m Abstand ein Freistrah ausgebildet. Dabei halbiert sich die Luftgeschwindigkeit bei einer weiteren Verdoppelung des Abstandes, die Geschwindigkeit ist umgekehrt proportional zum Abstand. Dieser Verlauf ist durch die gestrichelten Linien angedeutet. Das Maximum wird durch die obere gestrichelte Linie angedeutet, das Minimum durch die untere gestrichelte Linie. Die Verläufe für die Geräte im mittleren Bereich können durch Parallelen zu den gestrichelten Geraden durch den Messpunkt bei 1 m Entfernung gefunden werden.

Geräte mit dem Verhalten eines ebenen Freistrahles (Abb. 6.6) zeigen in Gerätenähe eine etwas andere Geschwindigkeitsabnahme im Strahl. Hier halbiert sich die Geschwindigkeit bei einer Vervierfachung des Abstandes. Die maximalen und minimalen Geschwindigkeitsverläufe sind auch hier mit gestrichelten Linien angedeutet. Die Geschwindigkeiten erreichen im günstigsten Fall erst bei einem Abstand von ca. 5 m Werte von 0,18 m/s, die als behaglich anzusehen sind. Um behagliche Luftgeschwindigkeiten zu erreichen, ist es erforderlich das Gerät so zu positionieren, dass Personen nicht direkt im Zuluftstrahl sitzen. Das Gerät sollte beispielsweise gegen eine Wand oder in eine Richtung, in der sich niemand aufhält, ausblasen.



**Abb. 6.5** Luftgeschwindigkeiten im Freistrahle vor dem Zuluftdurchlass bei maximaler Ventilatorumdrehzahl (runder Freistrahle)

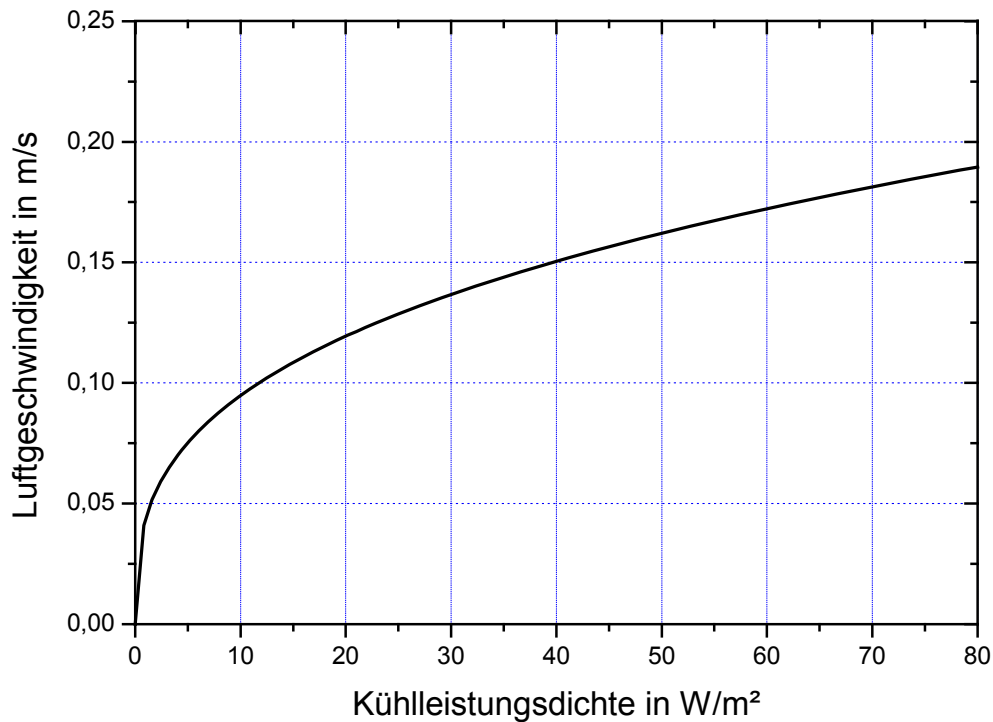
Beim oszillierenden Freistrahle des Gerätes SL 2 gilt für Geschwindigkeit und Temperatur in Gerätenähe ähnliches wie für die fest stehenden Durchlässe. Nach den bekannten Behaglichkeitskriterien sind die Geschwindigkeiten zeitweise zu hoch. Allerdings wurden die Behaglichkeitsregeln nicht für oszillierende Strahlen gemacht. Es ist denkbar, dass sich Personen in einem solchen Strahl wohl fühlen, wenn die Geräteleistung im Prinzip zu schwach ausgelegt ist und die Temperatur der Umgebung schon die Behaglichkeitsgrenze nach oben überschreitet. Für diesen Fall wurde diese Untersuchung aber nicht durchgeführt. Bei schwankender Luftgeschwindigkeit und Temperatur wird die Luft kühler empfunden als sie ist.



**Abb. 6.6** Luftgeschwindigkeiten im Freistrahlfeld vor dem Zuluftdurchlass bei maximaler Ventilatorumdrehzahl (ebener Freistrahlfeld)

Weiter entfernt von dem Gerät oder bei entsprechender Positionierung ist die Strahlwirkung bei beiden Gerätearten nicht mehr zu spüren. Die Luftgeschwindigkeit wird dort nicht mehr unmittelbar von der Ausströmgeschwindigkeit bestimmt. Es gibt dann einen Zusammenhang zwischen der Raumluftgeschwindigkeit und der spezifischen Kühlleistung, wie in Abb. 6.7 dargestellt. Die Luftgeschwindigkeit kann nicht unterschritten, sondern bei ungünstiger Anordnung nur überschritten werden. Auf der X-Achse ist die spezifische Kühlleistung in  $\text{W}/\text{m}^2$  aufgetragen. Die spezifische Kühlleistung ist die Kühlleistung bezogen auf die Grundfläche des Raumes. Auf der Y-Achse ist die dazu korrespondierende Luftgeschwindigkeit angegeben. Es ist zu erkennen, dass ab einer Leistung von ca.  $70 \text{ W}/\text{m}^2$  die Geschwindigkeitsgrenze von  $0,18 \text{ m}/\text{s}$  überschritten wird. Dann ist mit Unbehaglichkeit infolge von Zugerscheinungen zu rechnen. Diese Geschwindigkeit hängt aber nicht von der Geräteart, sondern nur von der Kühllast im Raum ab.



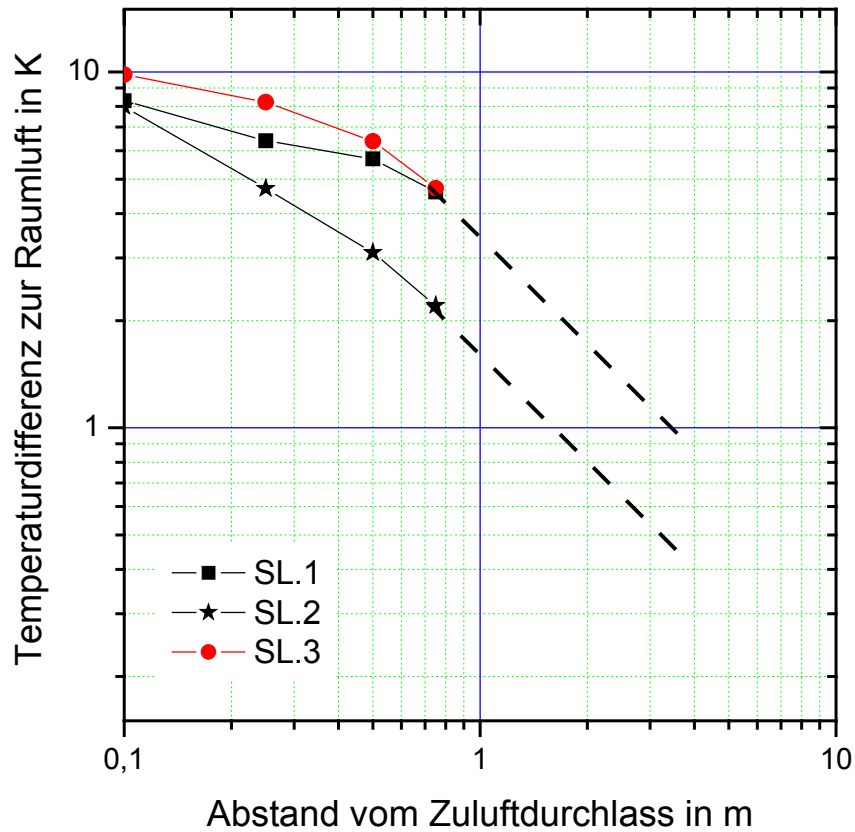


**Abb. 6.7** Luftgeschwindigkeit und spezifische Kühlleistung

### Lufttemperatur

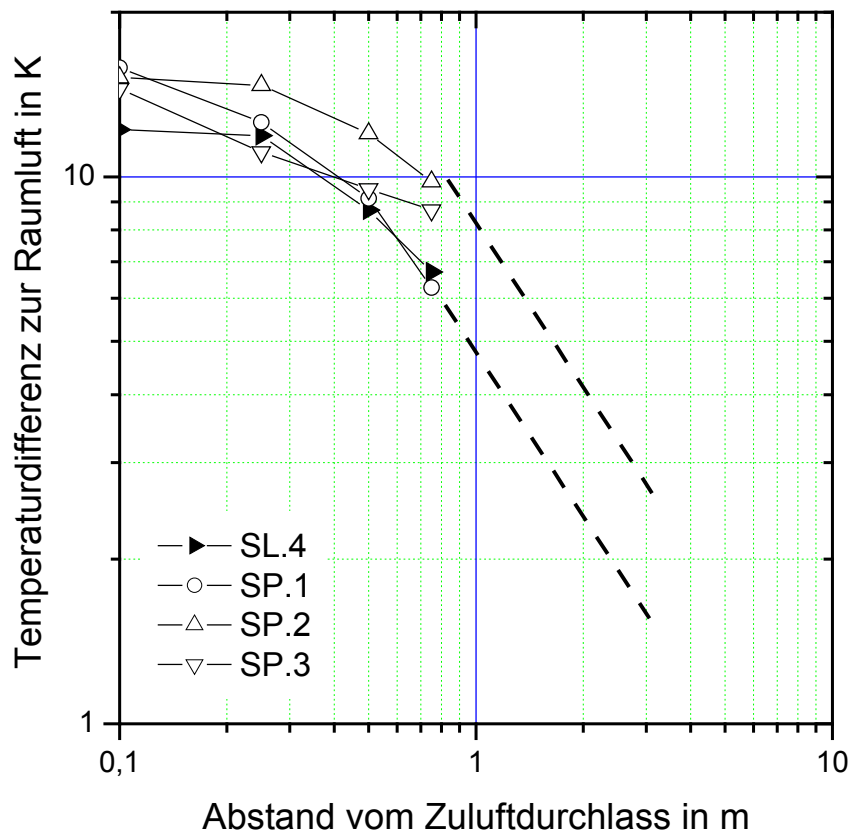
Für die Temperaturdifferenzen zwischen Strahlmitte und Raumluft sind ähnliche Verläufe wie für die Luftgeschwindigkeiten zu erwarten. Auch hier ist entweder mehr das Verhalten eines runden oder eines ebenen Freistrahles anzutreffen. In den Abb. 6.8 und 6.9 sind die Temperaturdifferenzen zwischen Strahl und Raumluft aufgetragen, in Abb. 6.8 vor den Geräten SL 1, SL 2 und SL 3, die mehr das Verhalten eines runden Freistrahles zeigen. Bei einer Raumlufttemperatur von 24 °C wurden in einem Abstand von 1 m im Strahlbereich Lufttemperaturen von 21,5 °C - 23,5 °C gemessen.

Abb. 6.9 zeigt die Temperaturdifferenzen vor den anderen Geräten, die mehr einen ebenen Freistrahler erzeugen. Hier stellen sich in einem Abstand von 1 m größere Temperaturdifferenzen ein. Dies hängt mit dem langsameren Temperaturabbau im ebenen Freistrahler zusammen. Bei einer Raumtemperatur von 24 °C sind Lufttemperaturen im Strahlbereich von 17 °C - 20 °C zu messen.



**Abb. 6.8** Temperaturdifferenz zwischen Freistrahlmittle und Umgebung vor dem Zuluftdurchlass bei maximaler Ventilator-drehzahl (runder Freistrah)

Ab einer Entfernung von mehr als einem Meter zeigen Geschwindigkeits- und Temperaturänderung aller Luftstrahlen vor den Geräten das Verhalten eines runden Freistrahles. Mit diesen allgemeingültigen Gesetzen lassen sich Temperatur und Geschwindigkeit vor den Auslässen näherungsweise bestimmen. Das ist wichtig für die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit für Personen, die direkt im Luftstrahl sitzen. Die Diagramme zeigen bereits, dass nach den klassischen Behaglichkeitskriterien ein Aufenthalt im Strahl unbehaglich sein muss. Dabei ist aber mehr die zu hohe Luftgeschwindigkeit maßgebend als die zu niedrige Temperatur.



**Abb. 6.9** Temperaturdifferenz zwischen Freistrahlmittle und Umgebung vor dem Zuluftdurchlass bei maximaler Ventilator-drehzahl (ebener Freistrah)

### 6.1.5 Akustische Messung

In Tab. 6.9 und Tab. 6.10 sind die in Abhängigkeit von der Entfernung vom Gerät und von der Vergleichsschallquelle gemessenen Werte der A-Schalldruckpegel  $L_p$  in dB(A) aufgeführt. Diese Werte würden sich in einem Büroraum ähnlich einstellen.

**Tab. 6.9** Schalldruckpegel für Vergleichsschallquelle und Schlauchgeräte

| Gerät                  | Ventilator-<br>stufe | Schalldruckpegel in dB(A) |      |      |             |             |
|------------------------|----------------------|---------------------------|------|------|-------------|-------------|
|                        |                      | 1 m                       | 2 m  | 3 m  | 4 m         | 5 m         |
| Vergleichsschallquelle |                      | 69,4                      | 67,4 | 65,1 | 63,2        | 61,4        |
| SL 1                   | 1, trocken           | 55,2                      | 53,4 | 50,9 | 48,7        | 47,4        |
|                        | 2, trocken           | 55,9                      | 53,7 | 51,4 | 49,3        | 48,0        |
|                        | 3, trocken           | 57,0                      | 54,4 | 52,1 | 50,0        | 48,8        |
|                        | 4, trocken           | 57,4                      | 55,0 | 52,6 | 50,3        | 49,1        |
|                        | 1, nass              | 53,2                      | 50,4 | 48,8 | 46,3        | <b>45,0</b> |
|                        | 4, nass              | 57,2                      | 54,5 | 52,3 | 49,9        | 48,5        |
| SL 2                   | 1                    | 53,8                      | 51,8 | 50,3 | 47,4        | 46,2        |
|                        | 2                    | 54,9                      | 53,1 | 51,6 | 48,6        | 47,0        |
|                        | 3                    | 55,1                      | 52,4 | 51,0 | 47,9        | 47,3        |
| SL 3                   | 1                    | 57,6                      | 55,1 | 53,3 | 51,2        | 49,6        |
|                        | 2                    | 59,3                      | 56,3 | 54,5 | 52,3        | 50,8        |
|                        | 3                    | 61,9                      | 59,2 | 57,3 | 55,0        | 53,7        |
| SL 4                   | 1                    | 50,5                      | 47,7 | 45,6 | <b>43,6</b> | <b>42,0</b> |
|                        | 2                    | 57,9                      | 55,2 | 53,0 | 50,9        | 49,5        |

Die Schlauchgeräte erzeugen bei einem Abstand von 5 m auch bei kleiner Drehzahl mit einer Ausnahme immer noch Pegel, die über den gewünschten Werten für Büroräume liegen. Die fett gedruckten Werte erfüllen die Anforderung 45 dB(A). Nur bei SL 1 und SL 4 werden die Werte bei kleiner Drehzahl und großem Abstand erreicht.

Die Splitgeräte sind leiser als die Schlauchgeräte und erfüllen teilweise die Anforderungen für Büros. Die fett gedruckten Werte erfüllen die Anforderung 45 dB(A). Das Gerät SP2 erzeugt allerdings bei einem Abstand von 5 m auch bei kleiner Drehzahl immer noch einen Pegel, der über den Werten für Büroräume liegt. SP1 und SP3 erfüllen die Anforderungen bei großer Drehzahl ab 4 m bzw. 3 m Abstand vom Gerät. Für Räume mit anderer Absorption als dem hier verwendeten Raum (6 dB bei 2 m Abstand) benötigt man zur Auslegung die Schalleistung.

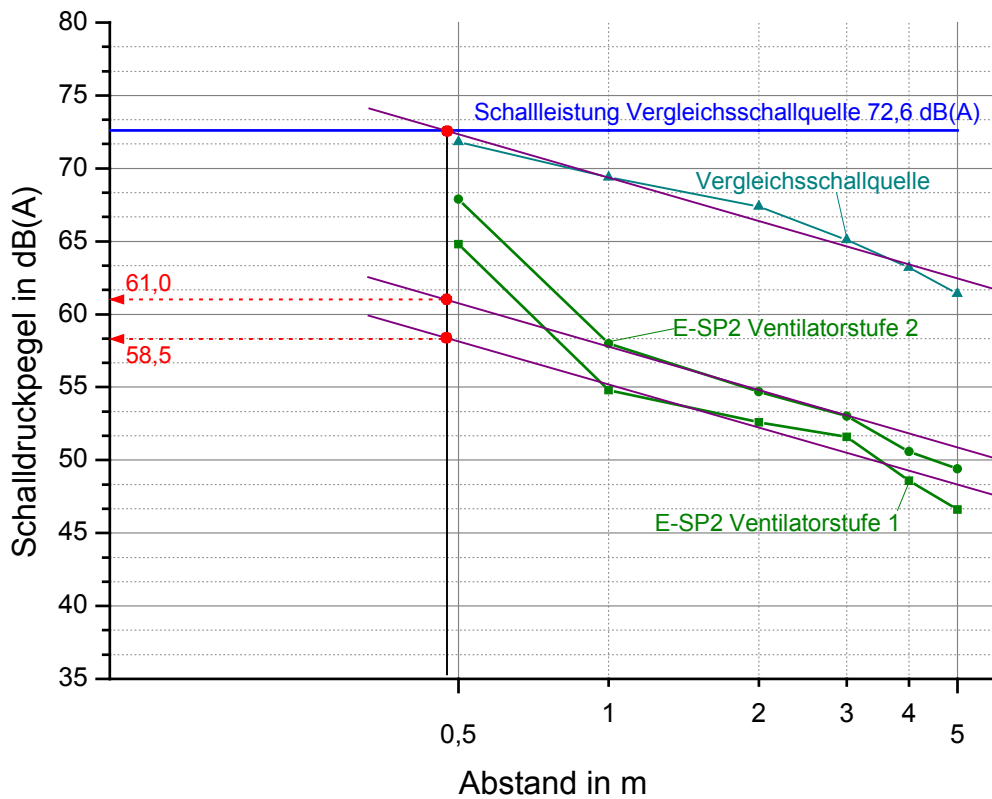
Die Bestimmung des Schalleistungspegels nach der Vergleichsschallquellenmethode wird anhand einer ausführlichen Beispielrechnung für das Splitgerät SP2 dargestellt. Das Gerät wird in der Ventilatorstufe 1 und 2 betrachtet.

**Tab. 6.10** Schalldruckpegel für Vergleichsschallquelle und Splitgeräte

| Gerät                  | Ventilator-<br>stufe | Schalldruckpegel in dB(A) |             |             |             |             |
|------------------------|----------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                        |                      | 1 m                       | 2 m         | 3 m         | 4 m         | 5 m         |
| Vergleichsschallquelle |                      | 69,4                      | 67,4        | 65,1        | 63,2        | 61,4        |
| SP 1                   | 1                    | 48,8                      | 46,5        | 45,2        | <b>41,1</b> | <b>40,2</b> |
|                        | 2                    | 50,1                      | 47,7        | 46,1        | <b>42,5</b> | <b>41,0</b> |
|                        | 3                    | 51,1                      | 48,6        | 47,2        | <b>43,6</b> | <b>42,3</b> |
| SP 2                   | 1                    | 54,8                      | 52,6        | 51,6        | 48,6        | 46,6        |
|                        | 2                    | 58,0                      | 54,7        | 53,0        | 50,6        | 49,4        |
| SP 3                   | 1                    | <b>43,8</b>               | <b>42,2</b> | <b>40,2</b> | <b>39,1</b> | <b>37,5</b> |
|                        | 2                    | 45,5                      | <b>43,7</b> | <b>41,4</b> | <b>39,8</b> | <b>38,3</b> |
|                        | 3                    | 47,2                      | 45,6        | <b>43,7</b> | <b>42,0</b> | <b>39,4</b> |

Für die kalibrierte Vergleichsschallquelle sind die Schalleistungspegel für den Hallraum mit „ $L_H = 71,9$  dB(A)“ und für den reflektionsarmen Raum mit „ $L_R = 73,2$  dB(A)“ bekannt. Aus diesen beiden Werten wird der Mittelwert  $L = 72,6$  dB(A) gebildet. Er wird als A-Schalleistungspegel unter Raumbedingungen in Büros angenommen.

In Abb. 6.10 ist die grafische Ermittlung des Schalleistungspegels dargestellt. Die einzelnen Schritte werden im Folgenden erklärt. Im Schritt 1 werden die Messwerte der Vergleichsschallquelle und des mobilen Klimagerätes eingetragen. Im Schritt 2 wird eine Gerade durch die Messpunkte gezogen, die den gemessenen Verlauf in der logarithmischen Auftragung linearisiert. Dadurch werden die etwas unterschiedlichen Auswirkungen der Raumdämpfung auf die verschiedenen Spektren gemittelt. Die drei Ausgleichsgeraden haben im Mittel konstanten Abstand. Der Pegel nimmt mit 3 dB je Abstandverdoppelung ab. Es handelt sich um das Verhalten von Linienquellen, was auf den Aufstellungsort in Brüstungsnähe und die Raumhöhe zurückzuführen ist. Der Raum hat eine Fläche von etwa  $100 \text{ m}^2$ , so dass auch in 5 m Entfernung noch eine weitere Pegelabnahme zu beobachten ist. Die Raumdämpfung ist die Differenz zwischen der bekannten Schalleistung von  $72,6$  dB(A) und dem Schalldruckpegel der Vergleichsschallquelle. Im Abstand von  $0,5$  m ist sie null und nimmt von dort mit drei dB je Abstandverdoppelung zu. Der Abstand der Messpunkte des Prüflings von denen der Vergleichsschallquelle entspricht der Pegeldifferenz zwischen beiden. Für das Gerät SP 2 bei der hohen Ventilatorzahl beträgt der Abstand  $72,6 - 61 = 11,6$  dB. Der Prüfling ist  $11,6$  dB leiser als die Vergleichsschallquelle. Oder man kann auch erkennen, dass die Schalleistung  $61$  dB(A) beträgt. Bei der in Abb. 6.10 gezeigten Darstellung kann man die Schalleistung der beiden Drehzahlstufen direkt ablesen bei der Entfernung, wo Schalleistung und gemessener Schalldruck der Vergleichsschallquelle gleich groß sind. Das ist einer Entfernung von ungefähr  $0,5$  m der Fall. Es ergeben sich  $61$  dB(A) und  $58,5$  dB(A) für die beiden Drehzahlstufen. Im Nahfeld unter  $1$  m Entfernung verhalten sich die Geräte wegen ihrer anderen Geometrie anders. Die beiden Messpunkte bei einer Entfernung von  $0,5$  m wurden deshalb nicht berücksichtigt.



**Abb. 6.10** Ermittlung der Schalleistungspegel am Beispiel SP2

Für ähnliche Räume, vor allem mit ähnlicher Höhe, kann der Schalldruckpegel als Funktion des Abstandes von der Quelle aus Abb. 6.10 entnommen werden. Bei 2 m Abstand liegt der Schalldruckpegel 6 dB unter dem Schalleistungspegel. Das ist eine Pegeldifferenz, die für Brüstungsgeräte in klimatisierten Büroräumen häufig angenommen wird. Falls das Gerät frei, mitten in einem sehr hohen Raum stehen würde, ergäbe sich ein anderes Abstandsverhalten (vgl. VDI 2081).

Es ergeben sich folgende A-Schalleistungspegel für Gerät SP 2:

Ventilatorstufe 1  $L_{W1} = 58,5 \text{ dB(A)}$   
 Ventilatorstufe 2  $L_{W2} = 61,0 \text{ dB(A)}$ .

Die ermittelten Schalleistungspegel  $L_w$  sind in Tab. 6.11 für die Schlauchgeräte und Tab. 6.12 für die Splitgeräte zusammengefasst, unterteilt nach Gerät und Ventilatorstufe.

Die verwendeten Abkürzung in den Tabellenköpfen der Tab. 6.11 und 6.12 bedeuten Folgendes

|       |   |
|-------|---|
| Stufe | Ventilatorstufenzahl                          |
| na    | Befeuchtung des Verflüssigers (nass)          |
| tr    | keine Befeuchtung des Verflüssigers (trocken) |

**Tab. 6.11** Zusammenfassung der A-Schalleistungspegel für Schlauchgeräte

| Stufe | SL 1       | SL 2 | SL 3 | SL 4 | Einheit |
|-------|------------|------|------|------|---------|
| 1     | 56,5 (na)  | 57,5 | 60,5 | 53,5 | dB(A)   |
|       | 59,0 (tr.) | -    | -    |      |         |
| 2     | 59,5 (tr.) | 58,5 | 62,0 | 61,0 |         |
| 3     | 60,0 (tr.) | 59,5 | 65,0 | -    |         |
| 4     | 60,5 (na)  | -    | -    | -    |         |
|       | 60,5 (tr.) |      |      |      |         |

**Tab. 6.12** Zusammenfassung der A-Schalleistungspegel für Splitgeräte

| Stufe | SP 1 | SP 2 | SP 3 | Einheit |
|-------|------|------|------|---------|
| 1     | 52,5 | 58,5 | 47,5 | dB(A)   |
| 2     | 53,5 | 61,0 | 49,0 |         |
| 3     | 54,5 | -    | 51,0 |         |

Die Schlauchgeräte haben einen größeren Schalleistungspegel als die Splitgeräte. Bei den Splitgeräten liegt der Verflüssiger außerhalb des Raumes. Zusätzlich ist der Kompressor bei dem Splitgerät SP 3 in der Außeneinheit untergebracht, daher hat dieses Gerät den geringsten Schalleistungspegel im Raum. Das Klimagerät SL 3 hat den höchsten Schalleistungspegel. Dies liegt zum Teil an dem im Vergleich mit den anderen Geräten kleinen Zuluftdurchlass, was zu hohen Austrittsgeschwindigkeiten und Strömungsgeräuschen führt.

In Tab. 6.13 sind vergleichend Herstellerangaben, die vermutlich als Schalldruckpegeln verstanden werden sollen, und ermittelte Schalleistungspegel dargestellt. Die Angaben der Hersteller sind Schalldruckpegel und nicht einheitlich auf gleiche Raumdämpfung bezogen. Ein richtiger Vergleich mit den ermittelten Schalleistungspegeln ist wegen der unvollständigen Angabe der Dämpfung nicht möglich. In der Spalte „Bemerkung“ stehen zusätzliche Anmerkungen der Hersteller.

**Tab. 6.13** Vergleich der Herstellerangaben mit den ermittelten Schalleistungspiegeln

| Geräte | Bemerkung            | Herstellerangaben | ermittelte L <sub>w</sub> | Einheit |
|--------|----------------------|-------------------|---------------------------|---------|
| SL 1   | von...bis            | 46 - 48           | 56,5 – 60,5               | dB(A)   |
| SL 2   | von...bis            | 47 - 50           | 57,5 - 59,5               |         |
| SL 3   | Mittelwert           | 52                | 62,5                      |         |
| SL 4   | min. Ventilatorstufe | 41                | 53,5                      |         |
| SP 1   | max. Ventilatorstufe | 40                | 54,5                      |         |
| SP 2   | Mittelwert           | 45                | 58,5                      |         |
| SP 3   | von...bis            | 35 - 38           | 47,5 – 51,0               |         |

Im Mittel weichen die gemessenen Werte um 10 dB(A) bis 14 dB(A) von den Herstellerangaben ab, das entspräche nach Abb. 6.10 einer Entfernung vom Gerät von 5 m bis 12 m. Aus den Herstellerangaben lassen sich keine genaueren Werte entnehmen.

## 6.2 Hygieneuntersuchung

Die Ergebnisse der Luftkeimuntersuchungen sind in Tab. 6.14 zusammengestellt. Für jedes Gerät sind die Werte für die Anzahl der Koloniebildenden Einheiten (KbE) aus der Raumluft (Raum I am Anfang, Raum II am Ende der Versuchsreihe) und der Zuluft aus den Geräten aufgeführt.

**Tab. 6.14** Koloniebildende Einheiten (KbE) in der Raumluft und Zuluft der mobilen Klimageräte

| Gerät   | Bakterien<br>KbE/Platte | Pilze<br>KbE/Platte | Asp <sup>1)</sup><br>KbE/Platte | Cl <sup>1)</sup><br>KbE/Platte | Pen <sup>1)</sup><br>KbE/Platte |
|---------|-------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Raum I  | 200                     | 50                  | 0                               | 0                              | 30                              |
| SL 1    | 40                      | 50                  | 0                               | 0                              | 50                              |
| SL 2    | 120                     | 30                  | 20                              | 0                              | 10                              |
| SL 3    | 40                      | 20                  | 0                               | 0                              | 20                              |
| SL 4    | 140                     | 50                  | 10                              | 0                              | 10                              |
| SP 1    | 50                      | 100                 | 0                               | 0                              | 100                             |
| SP2     | 20                      | 60                  | 10                              | 10                             | 40                              |
| SP 3    | 80                      | 30                  | 0                               | 0                              | 30                              |
| Raum II | 110                     | 50                  | 0                               | 20                             | 20                              |

<sup>1)</sup> Asp - Aspergillus spp.  
 Cl - Cladosporium spp.  
 Pen - Penicillium ssp.



Hauptquelle der Bakterien in der Innenraumluft ist der Mensch. Deshalb hat die Anzahl der Personen sowie deren Aktivität zum Zeitpunkt der Messung Einfluss auf die Bakterienkonzentration in der Luft. Diesen aktuellen Zustand zeigt die Bakterienkonzentration der Messung Raum I. Es zeigt sich, dass durch die mobilen Klimageräte die Bakterienkonzentration der Luft reduziert wird.

Der Einfluss der Schimmelpilzkonzentration der Außenluft auf die Schimmelpilzkonzentration in der Innenraumluft ist in den Wintermonaten nur sehr gering, was die Ergebnisse der Raummessungen I und II widerspiegeln. Eine geringe Belastung der Innenraumluft mit Penicilliumsporen ist zu verzeichnen. Vom Klimagerät SP1 (SP2 nur tendenziell) werden höhere Penicilliumsporenkonzentrationen abgegeben, als in der Raumluft vorhanden sind. Daraus lässt sich aber kein negatives Urteil ableiten. Die Werte sind insgesamt sehr niedrig und die Anzahl der Messungen ist dafür zu gering.

### 6.3 Handhabung der Geräte

Es erfolgt eine Bewertung mit einer dreistufigen Skala („+“, „o“, „-“). Es werden die Erfahrungen aus Handhabung und Umgang mit den Geräten während der Versuche und des Dauertestes berücksichtigt. Für Schlauchgeräte sind die Ergebnisse in Tab. 6.15 und für Splitgeräte in Tab. 6.16 zusammengefasst. Zusätzlich sind zu einzelnen Bewertungspunkten Anmerkungen als Fußnoten gegeben.

Alle untersuchten Geräte haben eine Standby-Schaltung. Ein völliges Ausschalten der Geräte ist nur durch Trennen der Netzleitung zu erreichen.

Bei allen Geräten mit fest eingebautem Wassertank ist die Kontrolle der vollständigen Entleerung und des Austrocknens nicht möglich. Bei Restwasser kann Verkeimung auftreten.

Generell gilt für alle Splitgeräte, dass die Mobilität sehr eingeschränkt ist. Es ist eine Bohrung in der Außenwand erforderlich, wenn die Verbindungsleitung nicht in einen Fensterspalt gelegt werden soll. Der Fensterspalt bedingt aber, dass das Fenster nur geschlossen werden kann, wenn die Leitung demontiert wird. Die Montage und Demontage der Splitleitungen sollte nach Angabe der meisten Hersteller nur durch vom Hersteller unterwiesenes Fachpersonal durchgeführt werden. Dadurch ist auch ein häufiger Wechsel von einem Raum zum anderen praktisch nicht möglich. Wenn das Gerät im gleichen Raum bleibt und die Verbindungsleitung im Fensterspalt verlegt wurde, kann das Fenster nachts nicht geschlossen werden. Sollten die Geräte sogar über den Winter installiert bleiben, dann ist besonders für einen Wetterschutz für die Außeneinheiten zu sorgen. Durch nicht vollständig entleertes Kondensat und durch eingedrungenen Niederschlag besteht die Gefahr von Frostschäden.

Die Schnellkupplungen der verschiedenen Fabrikate sind sehr unterschiedlich. Während etwa die Kupplung beim Gerät SP1 und SP2 aus verschiedenen Einzelverbindungen besteht, die von einem Laien nicht betätigt werden sollten, hat das Gerät SP3 eine Spezialkupplung, die leicht auch von Laien betätigt werden könnte, wenn in der Beschreibung darauf hingewiesen würde, wie das zu geschehen hat. Es ist nicht leicht zu erkennen, dass sich die Kupplung sehr leicht löst, wenn man zuvor einen Schieber an der Kupplung betätigt. Dieser Hinweis fehlt. Am Ende der Versuche waren die Dichtungen der Geräte SP 2 und SP 3 nach etwa zehnmalem Öffnen und Schließen der Verbindung defekt.

Schlauchgeräte sind generell mobiler als Splitgeräte. Hier ist jedoch zu beachten, dass bei klimatechnisch korrekter Montage für jeden Raum, in dem das Gerät be-

nutzt werden soll, ein Wand- oder Fensterdurchbruch für den Abluftschlauch und eventuell für den Außenluftschlauch (Zweischlauchgerät) vorhanden sein muss.

Mit den meisten Schlauchgeräten werden flache Luftdüsen mitgeliefert, die es gestatten, die Schläuche in einen schmalen geöffneten Fensterspalt zu legen. Das lässt darauf schließen, dass das die empfohlene Anwendung ist. Es werden auch bei einem Fabrikat Saugnäpfe und Kordeln mitgeliefert, die sehr praktisch sind, um den Fensterspalt auf ein Minimum zu reduzieren und zu fixieren.

In Tab. 7.5 wird angegeben, wie viel Luft ungefähr durch den Fensterspalt in den Raum gelangt und welche Kühlleistung das erfordert.

Alle Geräte sind mit Rollen ausgestattet, so dass das hohe Gewicht kein Hindernis für einen Positionswechsel ist. Beim Splitgerät muss eine Möglichkeit bestehen, das Außengerät sicher zu befestigen. Das ist nur einfach, wenn ein Balkon vorhanden ist.

**Tab. 6.15** Bewertung der Gerätehandhabung für Schlauchgeräte

|                            |                | SL 1              | SL 2              | SL 3           | SL 4              |
|----------------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Bedienungsanleitung        |                | 0 <sup>1,14</sup> | + <sup>4,14</sup> | + <sup>7</sup> | + <sup>10</sup>   |
| Installation/Aufwand       |                | 0 <sup>2,12</sup> | 0 <sup>2</sup>    | 0 <sup>2</sup> | 0 <sup>2,11</sup> |
| Betrieb                    | Bedienung      | + <sup>3</sup>    | 0 <sup>5</sup>    | +              | +                 |
|                            | Wartung/Pflege | 0                 | +                 | 0              | 0                 |
|                            | Entleeren      | -                 | + <sup>6</sup>    | - <sup>8</sup> | 0                 |
|                            | Regelung       | 0                 | 0                 | 0              | 0 <sup>13</sup>   |
| Mobilität                  |                | +                 | +                 | +              | +                 |
| Entsorgung                 |                | +                 | +                 | - <sup>9</sup> | +                 |
| Wartungsangaben Hersteller |                | 0                 | 0                 | +              | 0                 |

- <sup>1</sup> 7 Sprachen, einige Übersetzungsfehler bei Fachbegriffen, falsche Fernbedienung abgebildet und beschrieben.
- <sup>2</sup> Aufwendige Installation bei klimatechnisch richtiger Montage (Wanddurchbruch für Abluftschlauch), einfache Installation, wenn Fensterspalt genutzt wird.
- <sup>3</sup> Einfache Entleerung der Kondensatwanne, Wasserreservoir für die Befeuchtung der Abluft lässt sich nicht vollständig entleeren, Schlauch und Tank verkeimen.
- <sup>4</sup> 8 Sprachen
- <sup>5</sup> Bedienung nur über Fernbedienung, Fernbedienung ohne Display.
- <sup>6</sup> Gerät schaltet ab, wenn Wassertank voll ist, Entleerung über mitgelieferten Schlauch, Tank nicht reinigbar.
- <sup>7</sup> Drei Bedienungsanleitungen Deutsch, Englisch, Französisch, Stromlaufplan; Lieferumfang ist nicht beschrieben.
- <sup>8</sup> Gerät schaltet ab, wenn Wassertank voll ist, Tank entnehmbar zur Entleerung; Anschlussvorrichtung für Kondensatschlauch defekt, dadurch keine Umschaltung auf Betrieb mit internem Wassertank möglich.
- <sup>9</sup> Keine Angaben zur Entsorgung
- <sup>10</sup> Nur in Deutsch; getrennt nach Anleitung für Benutzer und für Fachmann; Stromlaufplan enthalten, unterschiedliche Garantiebedingungen private Nutzung 24 Monate, gewerbliche Nutzung 12 Monate.
- <sup>11</sup> Widersprüchliche Angaben, für Fachpersonal wird die Installation mit offenem Fenster vorgestellt, für Benutzer wird die Installation mit Wanddurchbruch vorgestellt.
- <sup>12</sup> Durchmesserangabe für Wanddurchbruch ist falsch.
- <sup>13</sup> Keine Fernbedienung
- <sup>14</sup> Nach Angabe des Herstellers ausschließlich als Haushaltsgerät konzipiert.

**Tab. 6.16** Bewertung der Gerätehandhabung für Splitgeräte

|                            |                | SP 1           | SP 2           | SP 3           |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Bedienungsanleitung        |                | 0 <sup>1</sup> | + <sup>5</sup> | + <sup>7</sup> |
| Installation/Aufwand       |                | 0 <sup>2</sup> | 0 <sup>2</sup> | 0 <sup>2</sup> |
| Betrieb                    | Bedienung      | +              | +              | 0 <sup>8</sup> |
|                            | Wartung/Pflege | 0              | 0              | 0              |
|                            | Entleeren      | 0              | -              | - <sup>9</sup> |
|                            | Regelung       | + <sup>3</sup> | 0 <sup>6</sup> | 0              |
| Mobilität                  |                | -              | -              | -              |
| Entsorgung                 |                | - <sup>4</sup> | +              | +              |
| Wartungsangaben Hersteller |                | 0              | 0              | 0              |

- <sup>1</sup> Nur in Deutsch, komplizierte Anleitung
- <sup>2</sup> Aufwendige Installation bei klimatechnisch richtiger Montage (Wanddurchbruch für Schlauchpaket), einfache Installation, wenn Fensterspalt genutzt wird, wenn Splitleitung getrennt wird, ist eingewiesener Fachmonteur erforderlich. SP 3 hat eine leicht bedienbare Universalverbindung in Form eines Mehrfachsteckers.
- <sup>3</sup> Sehr umfangreich  
Wahlmöglichkeit zwischen Raumlufttemperaturfühler am Gerät oder an der Fernbedienung;
- <sup>4</sup> Nur Angaben für Batterien der Fernbedienung.
- <sup>5</sup> Ausschließlich in Deutsch;  
getrennt nach Anleitung für Benutzer und für Fachmann;  
Stromlaufplan enthalten,  
unterschiedliche Garantiebedingungen private Nutzung 24 Monate, gewerbliche Nutzung 12 Monate.
- <sup>6</sup> Keine Fernbedienung
- <sup>7</sup> Nach Herstellerangabe ausschließlich als Haushaltsgerät konzipiert.
- <sup>8</sup> Komfortable Bedienung nur mit Fernbedienung möglich.
- <sup>9</sup> Kondensatentleerung nur manuell mit eingebauter Pumpe möglich (separater Schalter).

## 7 Auswertung

### 7.1 Überschlägige Kühllastberechnung

Zur Auswahl eines Gerätes für eine dem Raum angepasste Leistung ist es erforderlich, die Kühllast des Raumes zu ermitteln. Unter Kühllast versteht man die „Kälteleistung“, die in den Raum eingebracht werden muss, damit die gewünschte Temperatur eingehalten werden kann. Für Klimaanlage wird die Kühllast durch eine ingenieurmäßige Berechnung nach VDI 2078 durchgeführt. Dies ist für die hier ins Auge gefassten Anwendungsfälle zu aufwendig. Daher werden hier zwei überschlägige Verfahren vorgestellt, mit deren Hilfe eine ungefähre Bestimmung der erforderlichen Geräteleistung möglich ist. Es werden die untersuchten Geräte als Beispielgeräte für die verschiedenen Anwendungsfälle verwendet. Als Kühlleistung der Geräte werden die in den Versuchen ermittelten gerundeten Werte  $\dot{Q}_{\text{sen}}$  verwendet.

#### 7.1.1 Geräteleistung der untersuchten Geräte

Die gemessene trockene Kühlleistung in der höchsten Stufe ist in Tab. 7.1 dargestellt.

**Tab. 7.1** Trockene Kühlleistung

| Gerät | Leistung $\dot{Q}_{\text{sen}}$<br>in kW |
|-------|--|
| SL 1  | 1,3                                      |
| SL 2  | 1,1                                      |
| SL 3  | 1,2                                      |
| SL 4  | 1,3                                      |
| SP 1  | 1,9                                      |
| SP 2  | 2,2                                      |
| SP 3  | 1,3                                      |

#### 7.1.2 Abschätzung der erforderlichen Geräteleistung

Die für einen Raum erforderliche Leistung der Geräte lässt sich sehr grob nach der Grundfläche oder dem Raumvolumen abschätzen, wenn unterschiedliche Raumarten und Nutzungen angenommen werden. Etwas genauer, aber auch schon aufwendiger, ist die Abschätzung der verschiedenen Wärmequellen. Hier werden zwei mögliche Herangehensweisen vorgestellt.

##### Abschätzung mit der Raumfläche

Es wird eine Einteilung in unterschiedliche Raumarten nach der Nutzung vorgenommen. In Tab. 7.2 sind spezifische Kühllasten pro m<sup>2</sup> Raumfläche für die verschiedenen Raumarten angegeben. Die Grundfläche des Raumes wird mit der spezifischen Kühllast multipliziert. Das Ergebnis ist die erforderliche Leistung des Gerätes in Watt.

Es werden vier Raumarten unterschieden:

- Raumart 1: Räume mit guter Isolierung und massiven Wänden, keine Sonneneinstrahlung (außen liegender Sonnenschutz) und keine elektrischen Geräte im Raum, 1 Person auf 10 m<sup>2</sup>, Fenster geschlossen,
- Raumart 2: Mittlere Isolierung, keine direkte Sonneneinstrahlung (außen liegender Sonnenschutz) oder Nordseite, wenige elektrische Geräte, 1 Person auf 10 m<sup>2</sup>, Fenster geschlossen,
- Raumart 3: Sonneneinstrahlung, große Fenster, Ausrichtung SO, S, SW, zahlreiche elektrische Geräte, Belegung: eine Person auf 10 m<sup>2</sup>, oder dicht belegter Raum (Besprechungsraum) ohne direkte Sonneneinstrahlung, Fenster geschlossen,
- Raumart 4: EDV-Räume, Wintergärten, dicht belegte Versammlungsräume mit voller Verglasung und direkter Sonneneinstrahlung, Fensterlüftung.

**Tab. 7.2** Spezifische Kühllast je m<sup>2</sup> Raumfläche für verschiedene Raumarten

| Raumart   | Kühllast in W/m <sup>2</sup> |
|-----------|------------------------------|
| Raumart 1 | 50                           |
| Raumart 2 | 75                           |
| Raumart 3 | 100                          |
| Raumart 4 | 200                          |

Beispiel mit Raumarten:

Büro/Versuchsraum mit guter Isolierung, Fenster mit außen liegendem Sonnenschutz, Grundfläche 100 m<sup>2</sup>, Luftverbindung zum Treppenhaus, kein Luftspalt am Fenster: → Raumart 1

$$100 \text{ m}^2 * 50 \text{ W/m}^2 = 5.000 \text{ W} = 5,0 \text{ kW}$$

Hier wurde nicht der Fall berücksichtigt, dass ein Einschlauchgerät mit Schlauch in einem Fensterspalt verwendet wird. In diesem Fall wird die Kühlleistung fast vollkommen aufgebraucht durch die von außen eindringende warme Luft, denn die dafür aufzubringende Leistung beträgt ungefähr 1 kW, (vgl. Tab. 7.5). In diesem Fall kann überhaupt nur eine fühlbare Wirkung erzielt werden, wenn der Nutzer sich in den Luftstrahl setzt. Es mag sein, dass er sich außerhalb aller Behaglichkeitsanforderungen trotzdem besser fühlt als ohne Gerät. Gegenüber einem Tischventilator hat diese Anwendung einen geringen Vorteil, wenn sich der Nutzer direkt vor das Gerät setzt, weil die Luft 2 K bis 5 K kälter als die Umgebungsluft ist. Die Luft im Raum wird aber nicht abgekühlt.

**Tab. 7.3** Erforderliche Anzahl von Geräten für diesen Beispielraum

| Gerät | Leistung in kW | Erforderliche Geräteanzahl |
|-------|----------------|----------------------------|
| SL 1  | 1,3            | 4                          |
| SL 2  | 1,1            | 5                          |
| SL 3  | 1,2            | 4                          |
| SL 4  | 1,3            | 4                          |
| SP 1  | 1,9            | 3                          |
| SP 2  | 2,2            | 2                          |
| SP 3  | 1,3            | 3                          |

Bei Verdoppelung der Geräteanzahl erhöht sich die Schalleistung um 3 dB. Der Schalldruckpegel erhöht sich nicht im gleichen Maße, wenn die Geräte gleichmäßig im Raum verteilt werden.

### **Abschätzung mit Raumdaten**

Etwas genauer wird die Abschätzung der Leistung bei detaillierterer Berücksichtigung der Raumflächen und der inneren Wärmequellen. Es wird dabei die Ausrichtung der Fensterflächen und ein eventuell vorhandener Sonnenschutz berücksichtigt. Es sind die direkten Umschließungsflächen des Raumes zu wählen. Es sind die Maße der entsprechenden Flächen mit den Werten in Tab. 7.4 zu multiplizieren. Die Ergebnisse für alle Raumumschließungsflächen sind anschließend zu addieren. Das Ergebnis gibt die erforderliche überschlägig berechnete Leistung des Klimagerätes in Watt.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, wie die Schläuche verlegt sind und ob ein Fensterspalt dafür verwendet wird. In Tab. 7.5 werden geschätzte Kühllasten für die verschiedenen Fälle angegeben. Am ungünstigsten ist es, wenn ein Einschlauchgerät mit Schlauch im Fensterspalt verwendet wird. Wenn das Einschlauchgerät seinen erforderlichen Luftvolumenstrom aus dem Gebäude ansaugen kann und das über ausreichende Speicherfähigkeit verfügt, kann das Einschlauchgerät durchaus angewendet werden.

**Tab. 7.4** Geschätzte spezifische Kühllasten für verschiedene Raumumschließungsflächen

| Bauteil/Quelle                               | Spezifikation                                    | Kühllast in W | Kühllast in W/m <sup>2</sup> (bezogen auf die Fläche) |  |
|--|--|---------------|---|--|
|  |  |               | besonnt   | beschattet oder außen liegender Sonnenschutz |
| Fenster bezogen auf Fensterfläche            | Nord   | ×             | ×   | 60   |
|  | Ost, West  | ×             | 300   | 100  |
|  | Süd  | ×             | 400   | 130  |
| Außenwände bezogen auf Wandfläche            | Nord   | ×             | ×   | 10   |
|  | Süd, Ost, West                                   | ×             | 30  | 10   |
| Dach bezogen auf Dachfläche                  | gut isoliert                                     | ×             | 40  | 10   |
|  | schlecht isoliert                                | ×             | 60  | 20   |
| Decken, Böden, Wände zu nicht klimat. Räumen | Decke, Fußboden, Wand                            | ×             | 10  |  |
|  | Dachboden  | ×             | 20  |  |
| Innere Wärmequellen bezogen auf Bodenfläche  | je Person ohne Bezug auf Bodenfläche             | 100           | ×   |  |
|  | Beleuchtung                                      | ×             | 10 - 20   |  |
|  | 1 Computer, 1 Drucker ohne Bezug auf Bodenfläche | 150           | ×   |  |

**Tab. 7.5** Lasten je Gerät durch von außen einströmende Luft

| Gerät             | Außenverbindung   | Last in W  |
|-------------------|---|------------|
| Einschlauchgerät  | Kein Fensterspalt, Schlauch fest montiert an Wandöffnung, Luftansaugung aus Treppenhaus oder Flur mit ca. 24 °C | 0          |
|                   | Luftansaugung von Außenluft durch Fensterspalt ca. 300 m <sup>3</sup> /h, Temperaturdifferenz 10 K              | 1000       |
| Zweischlauchgerät | Fensterspalt 0,12 m <sup>2</sup> , kein Wind <sup>1</sup><br>schwacher Wind                                     | 140<br>500 |
|                   | Kein Fensterspalt, Schläuche fest montiert an Wandöffnungen   | 0          |
| Splitgerät        | Fensterspalt 0,05 m <sup>2</sup> , kein Wind<br>schwacher Wind  | 70<br>250  |
|                   | Verbindung durch dichte Öffnung in der Wand, keine Außenöffnung   | 0          |

<sup>1</sup> Annahmen für die Abschätzung:

Luftspalt eines Fensters 5 cm; Fensterflügel 1,2 m\*1,2 m; Öffnung 0,12 m<sup>2</sup>; Temperaturdifferenz 10 K; geschätzte Luftgeschwindigkeit: 0,1 m/s; 0,1 m/s\*0,12 m<sup>2</sup>\*3600 s/h = 43 m<sup>3</sup>/h; Kühllast: 140 W



Beispiel mit Raumdaten in Tab. 7.6:

Bürraum 25 m<sup>2</sup>; 2 Personen mit PC und Drucker; Fenster 10 m<sup>2</sup> Richtung Südwesten mit äußerem Sonnenschutz; Außenwand 5\*2,8 m<sup>2</sup>; Beleuchtung 10 W/m<sup>2</sup>

**Tab. 7.6** Beispiel mit Raumdaten

| Wärmequelle             | Berechnung                              | Keine Luft durchs Fenster | Einschlauch, Fensterspalt | Zweischlauch, Fensterspalt mit Wind |
|-------------------------|---|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|                         |   | Last W                    | Last W                    | Last W                              |
| Fenster                 | 10 m <sup>2</sup> *115 W/m <sup>2</sup> | 1150                      | 1150                      | 1150                                |
| Außenwand               | 4 m <sup>2</sup> *30 W/m <sup>2</sup>   | 120                       | 120                       | 120                                 |
| 2 Personen              | 2*100 W                                 | 200                       | 200                       | 200                                 |
| Computer, Drucker       | 2*150 W                                 | 300                       | 300                       | 300                                 |
| Beleuchtung             | 25 m <sup>2</sup> *10 W/m <sup>2</sup>  | 250                       | 250                       | 250                                 |
| Luft durch Fensterspalt | siehe Tab. 7.5                          | 0                         | 1000                      | 500                                 |
| Summe                   |   | 2020                      | 3020                      | 2520                                |
| Mögliche Lösung         |   | 1 SP 2                    | 3 SL 2                    | 2 SL 4                              |

## 7.2 Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Geräte

Die Geräteleistung kann nach zwei Kriterien beurteilt werden:

1. nach der relativen Leistung, der Leistungszahl,
2. nach der absoluten Leistung in kW.

Als Leistung kann sinnvollerweise nur die sogenannte sensible Kühlleistung, die ein Maß für die Temperaturänderung der Luft ist, herangezogen werden, da die Entfeuchtung der Luft im betrachteten Bereich eher unerwünscht ist. Die Herstellerangaben liegen höher als die ermittelten sensiblen Leistungen, weil sie vermutlich eine hohe Entfeuchtungsleistung mit einbeziehen. Die Leistungszahlen lassen sich aus den Herstellerangaben auch nicht berechnen, weil die elektrische Leistungsaufnahme nicht mit den Angaben für die Kühlleistung korrelierbar ist.

Die besten Leistungszahlen werden mit den Splitgeräten erreicht, sie sind aber am schwierigsten zu montieren und eigentlich nicht mobil. Das Schlauchgerät SL 1 mit nassem Verflüssiger bildet eine Ausnahme. Seine Leistungszahl erreicht 2,3. Leider ist es ein Einschlauchgerät. Es hat dabei eine Leistung von 1,3 kW. Wenn man die in Tab. 7.5 angegebenen Werte berücksichtigt, bleiben bei Verlegung des Schlauches im Fensterspalt nur 0,3 kW zur Raumkühlung übrig. Das Gerät wäre zu empfehlen, wenn es ein Zweischlauchgerät wäre.

Die Schlauchgeräte haben Leistungen um 1 kW, die untersuchten Splitgeräte 1 bis 2 kW. Es gibt auch größere Geräteleistungen. Die Angaben zur überschlägigen Be-

stimmung der erforderlichen Leistungen zeigen, wann man diese Geräte anwenden kann.

**Tab. 7.7** Erforderliche Anzahl von Geräten mit den Leistungen der hier untersuchten Geräte

| Raumart   | Kühllast<br>in W/m <sup>2</sup> | Zahl der Schlauchgeräte für<br>einen Raum |                   | Zahl der Splitgeräte für einen<br>Raum |                   |
|-----------|---------------------------------|---|-------------------|--|-------------------|
|           |                                 | 20 m <sup>2</sup>                         | 40 m <sup>2</sup> | 20 m <sup>2</sup>                      | 40 m <sup>2</sup> |
| Raumart 1 | 50                              | 1   | 2                 | 1                                      | 1                 |
| Raumart 2 | 75                              | 1   | 3                 | 1                                      | 2                 |
| Raumart 3 | 100                             | 2   | 4                 | 1                                      | 2                 |
| Raumart 4 | 200                             | 4   | 8                 | 2                                      | 4                 |

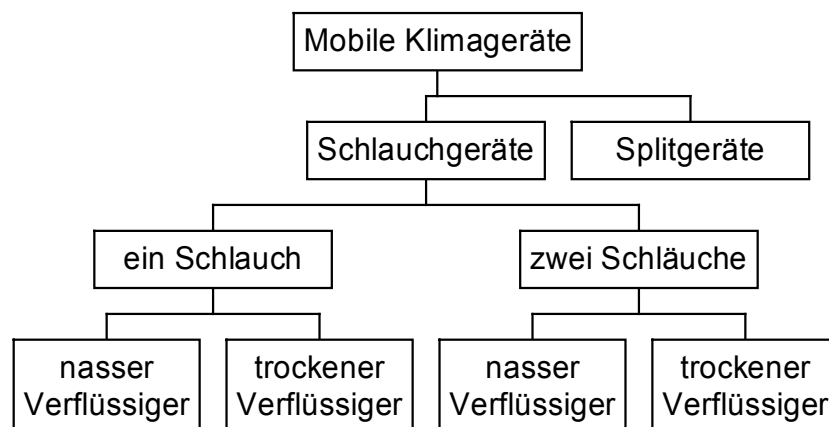
Tab. 7.7 gibt für die verschiedenen Raumarten nach Tab. 7.2 an, wie viele Geräte der hier untersuchten Größe für einen Raum mit 20 bzw. 40 m<sup>2</sup> Fläche erforderlich sind, um eine Raumlufttemperatur von 24 °C sicherzustellen. Die Hersteller geben für die Schlauchgeräte an: ein Gerät für 80 bis 100 m<sup>2</sup>; für die Splitgeräte 30 bis 105 m<sup>2</sup>, richtiger wäre ein Gerät für 20 bis 40 m<sup>2</sup> bei kleiner Last, wie die Tabelle zeigt.

## 8 Entscheidungshilfe

### 8.1 Ausgangsbedingung

Immer wenn die Temperaturen in einem Raum kurz- oder längerfristig die Behaglichkeitsgrenze überschreiten, das bedeutet bei normaler Bürokleidung für den Sommer ungefähr 27 °C, liegt der Gedanke nahe, das Problem mit einem „Mobilen Klimagerät“ zu lösen. Bevor eine Entscheidung für diese Geräte gefällt wird, sollten alle anderen möglichen Maßnahmen zur Temperaturabsenkung ausgeschöpft werden. Dazu gehört Anbringung eines außen liegenden Sonnenschutzes, Abschalten aller nicht benötigten elektrischen Geräte und Beleuchtungen, Nachtauskühlung durch Fensterlüftung nutzen, wenn die Fenster nachts nicht vollkommen geschlossen bleiben müssen.

Wenn das alles ausgeschöpft ist, gibt es verschiedene Gerätearten zur Auswahl. Die folgenden Ausführungen sollen helfen, hier die richtige Entscheidung zu fällen. Zunächst muss man wissen, dass die Klimageräte eigentlich keine Klimageräte, sondern eher nur Kühlgeräte sind. Aber wenn es zu warm im Raum wird, kann auch schon ein „Kühlgerät“ hilfreich sein.



**Abb. 8.1** Übersicht über die Gerätetypen

Der Kunde steht vor einer unübersichtlichen Zahl verschiedener Gerätearten, wie die Abb. 8.1 verdeutlicht. Das darf ihn nicht abschrecken, er muss erst einmal seinen speziellen Fall klären. Das betrifft folgende Punkte:

- erforderliche Geräteleistung,
- Einbaumöglichkeiten,
- erforderliche Mobilität,
- Wartungsaufwand,
- gewünschte Wirtschaftlichkeit.

## 8.2 Erforderliche Geräteleistung

Als Erstes muss man die erforderliche Leistung des Gerätes abschätzen. Dabei geht es um die sogenannte sensible Leistung, nicht die Gesamtleistung des Gerätes. Die Hersteller geben im Allgemeinen eine „maximale Kühlleistung“ der Geräte an. Sie wird nach den Erfahrungen dieser Messung etwa 1,9 bis 2,8 mal größer angegeben als die sensible Leistung, auf die es hier aber nur ankommt. Der Faktor lässt sich aus der Tab. 8.1 entnehmen. Man tut also gut daran, die angegebene maximale Leistung mindestens etwa durch 2 zu teilen, um ungefähr die sensible Leistung des Gerätes zu erhalten.

**Tab. 8.1** Umrechnungsfaktor maximale/sensible Leistung

| Gerät Nr.                            | SL 1 | SL 2 | SL 3 | SL 4 | SP 1 | SP 2 | SP 3 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hersteller: max. Kühlleistung in kW  | 2,9  | 2,5  | 3,2  | 2,43 | 3,7  | 3,29 | 2,93 |
| Messung: sensible Kühlleistung in kW | 1,3  | 1,2  | 1,3  | 1,3  | 1,9  | 2,2  | 1,3  |
| Faktor                               | 2,2  | 2,1  | 2,5  | 1,9  | 1,9  | 1,5  | 2,3  |

Um die erforderliche Kühlleistung zu schätzen, wird geprüft, in welcher der vier folgenden Raumarten gekühlt werden soll:

- Raumart 1: Räume mit guter Isolierung und massiven Wänden, keine Sonneneinstrahlung (außen liegender Sonnenschutz) und keine elektrischen Geräte im Raum, 1 Person auf 10 m<sup>2</sup>, Fenster geschlossen
- Raumart 2: Mittlere Isolierung, keine direkte Sonneneinstrahlung (außen liegender Sonnenschutz) oder Nordseite, wenige elektrische Geräte, 1 Person auf 10 m<sup>2</sup>, Fenster geschlossen
- Raumart 3: Sonneneinstrahlung, große Fenster, Ausrichtung SO, S, SW, zahlreiche elektrische Geräte, Belegung: eine Person auf 10 m<sup>2</sup>, oder dicht belegter Raum (Besprechungsraum) ohne direkte Sonneneinstrahlung, Fenster geschlossen
- Raumart 4: EDV-Räume, Wintergärten, dicht belegte Versammlungsräume mit voller Verglasung und direkter Sonneneinstrahlung, Fensterlüftung

**Tab. 8.2** Spezifische Kühllast verschiedener Raumarten je m<sup>2</sup> Raumfläche

| Raumart   | Kühllast in W/m <sup>2</sup> |
|-----------|------------------------------|
| Raumart 1 | 50                           |
| Raumart 2 | 75                           |
| Raumart 3 | 100                          |
| Raumart 4 | 200                          |

Die Raumart wird ausgewählt und die Fläche des Raumes mit der Kühllast in  $W/m^2$  aus der 2. Spalte der Tab. 8.2 multipliziert und dann durch die Geräteleistung dividiert. Das Ergebnis ist auf eine ganze Zahl aufzurunden.

Beispiel: Der Raum soll den Kriterien der Raumart 3 entsprechen. Er ist  $15 m^2$  groß. Erforderliche Leistung  $100 W/m^2 * 15 m^2 = 1500 W = 1,5 kW$

Der Hersteller gibt eine maximale Kühlleistung von  $3,2 kW$  an.  $3,2 kW$  geteilt durch den Erfahrungswert 2 aus der hier durchgeführten Untersuchung:  $3,2 : 2 = 1,6 kW$

Ergebnis: Das Gerät reicht für diesen Raum.

Einschränkung! Dieses Ergebnis gilt nur, wenn nicht viel warme Luft von außen in den Raum strömt. Ein größerer Fensterspalt zum Lüften darf nicht verwendet werden (siehe Tab. 7.5).

Die Abschätzung nach Raumarten ist sehr grob. Etwas genauer ist die in Abschnitt 7.1.2 angegebene Methode. Und noch genauer ist eine Kühllastberechnung nach VDI 2078, die für diese Anwendung aber im allgemeinen zu aufwendig ist.

### 8.3 Einbaumöglichkeiten

Viel hängt davon ab, welche Einbaumöglichkeiten gegeben sind. Die beste Lösung ist gegeben, wenn in der Wand oder im Fenster eine Öffnung für die Schläuche oder für die Verbindungsleitung des Splitgerätes vorhanden ist, so dass Außenluft nur durch einen sehr schmalen, möglichst einstellbaren Spalt am Fenster oder aus dem übrigen Gebäude, z. B. aus einem Flur mit möglichst niedriger Temperatur angesaugt wird. Eine solche Installation kann aber nicht als wirklich mobil bezeichnet werden. Die Öffnung müsste in allen Räumen vorgesehen sein, in denen das Gerät verwendet werden soll.

Schlecht ist es, wenn etwa beim Einschlauchgerät, der Schlauch einfach in einen Fensterspalt gelegt wird, um die Fortluft nach außen zu blasen. Tab. 7.5 zeigt, dass dann schon  $1 kW$  Kühlleistung erforderlich ist, um die von außen nachströmende Luft zu kühlen. Im oben genannten Rechenbeispiel bleiben dann nur noch  $0,3 kW$  für die Raumkühlung. Leider wird dieser Anwendungsfall am häufigsten sein, weil er keine Baumaßnahmen erforderlich macht. Das Einschlauchgerät sollte nur verwendet werden, wenn der Fortluftschlauch in einer passenden Wandöffnung verlegt werden kann, die Fenster geschlossen bleiben können und Luft aus einem Flur mit niedriger Temperatur angesaugt werden kann. Das ist denkbar bei einem Einzelbüro in einem Einfamilienhaus, das nur geringe thermische Belastung, aber gute Speicherwirkung hat.

Wenn beim Zweischlauchgerät die Luftansaugung und die Fortluftausblasung durch den Fensterspalt möglichst mit den mitgelieferten flachen Düsen erfolgt, wird weniger warme Außenluft in den Raum gelangen. Das Fenster ist dann nicht als Kippfenster, sondern als Drehflügel Fenster geöffnet, was in vielen Fällen nicht zulässig ist, etwa wegen Außenlärms oder aus Sicherheitsgründen. Die Schläuche müssen mindestens bei Beendigung der Arbeitszeit demontiert werden.

Das Gleiche gilt, wenn die Verbindungsleitungen der Splitgeräte durch die Fensteröffnung verlegt werden und das Außengerät außen befestigt wird. Dabei ist zusätzlich problematisch, dass die Verbindung nur von Fachleuten gelöst und wieder verbunden werden sollte. Die hier untersuchten Geräte waren nach etwa zehnmalem Lösen und Schließen der Verbindung defekt. Günstiger wäre eine Aufstellung der Außeneinheit auf einem Balkon. Dann muss die Außeneinheit nicht außen befestigt werden und kann einfach, ohne dass die Verbindungsleitungen gelöst werden, in den Raum geholt werden, wenn keine Kühlung mehr erforderlich ist. Bei den Verbin-

dungsleitungen der Splitgeräte gibt es unterschiedlich ausgeführte Steckverbindungen.

Zu den Schlauchgeräten werden Düsen mitgeliefert, damit der Fensterspalt nicht zu groß ist. Er kann fixiert werden mit Saugnäpfen zur Befestigung an der Fensterscheibe und einer Kordel, die an den Saugnäpfen befestigt wird. Bei Zweischlauchgeräten ergibt sich so eine passable Lösung, weil der Fensterspalt verhältnismäßig klein gehalten werden kann und die Geräte selbst keine Luft von außen in den Raum saugen. Es muss darauf geachtet werden, dass nicht die warme Fortluft des Gerätes wieder angesaugt wird. Der Fortluftschlauch muss mit größerem Abstand über und nicht unter dem Ansaugschlauch angebracht werden.

Eine bessere und relativ einfache Möglichkeit besteht darin, die Öffnungen für die Schläuche in einer Spanplatte anzubringen, die einen großen Teil des Fensterspaltes abdichtet.

#### **8.4 Erforderliche Mobilität**

Es ist abzuschätzen, wann und wie oft das Gerät seinen Ort wechseln muss. Bei einem Anschluss durch eine Öffnung in der Wand, sollte es möglichst selten bewegt werden. Es sollte möglichst während der ganzen Kühlsaison am gleichen Ort bleiben.

Wenn nur die Luftschläuche in den Fensterspalt gelegt werden, ist der Ortswechsel am leichtesten durchzuführen. Die höchste Mobilität bei guter Leistungszahl hat ein Zweischlauchgerät mit nassem Verflüssiger. Ein solches Gerät wurde bei der Marktanalyse nicht entdeckt.

#### **8.5 Wartungsaufwand**

Der Wartungsaufwand ist bei den Splitgeräten größer als bei den Schlauchgeräten, weil sich das Außengerät mit dem Verflüssiger außerhalb des Gebäudes befindet und Wind und Wetter ausgesetzt ist.

Beim Schlauchgerät mit dem nassem Verflüssiger ist der Wartungsaufwand ebenfalls sehr hoch, weil der Tank häufig gefüllt und gereinigt werden muss und der Verflüssiger stärker verschmutzt.

Alle Bauteile, die mit Kondensat in Berührung kommen, müssen regelmäßig, gründlich gereinigt werden.

#### **8.6 Gewünschte Wirtschaftlichkeit**

Die Wirtschaftlichkeit wird durch die Leistungszahl ausgedrückt. Dabei schnitt am besten das Schlauchgerät mit dem nassem Verflüssiger ab. Es ist aber, wie schon erläutert, als ein Einschlauchgerät nur bedingt zu empfehlen. Bei allen anderen Schlauchgeräten liegt die Leistungszahl niedriger als bei den Splitgeräten. Die Splitgeräte sind von der Leistungszahl her besser zu bewerten als die Schlauchgeräte.

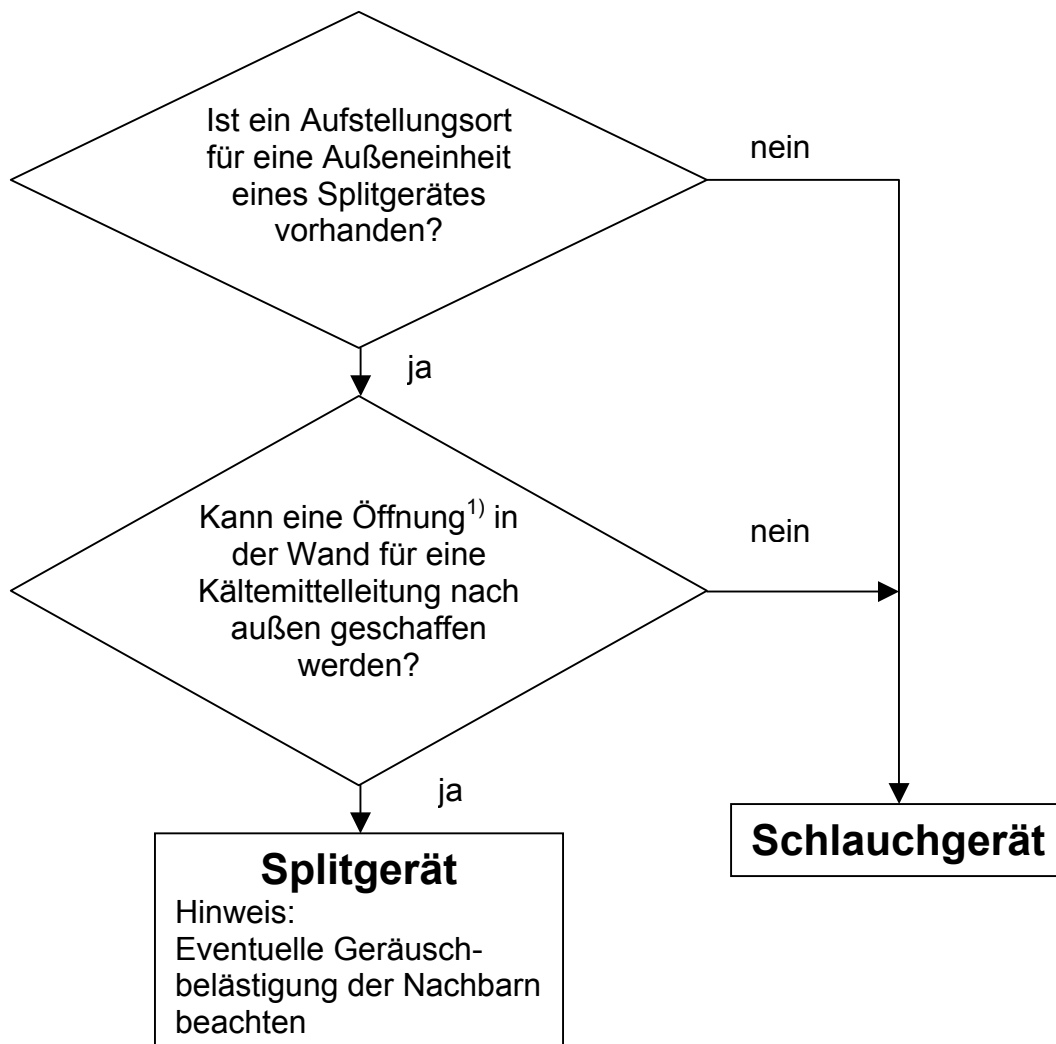
## 9 Einkaufshilfe

### 9.1 Bestimmung der Kühlleistung

Die Kühlleistung ist nach Kapitel 7, Tab. 7.4 und Tab. 7.5 zu bestimmen oder mit Tab. 7.2 abzuschätzen. Es muss ein Gerät ausgewählt werden, dessen Leistungsangabe auf dem Typenschild oder im Katalog doppelt so groß ist wie die berechnete Kühlleistung.

### 9.2 Bestimmung der Geräteart

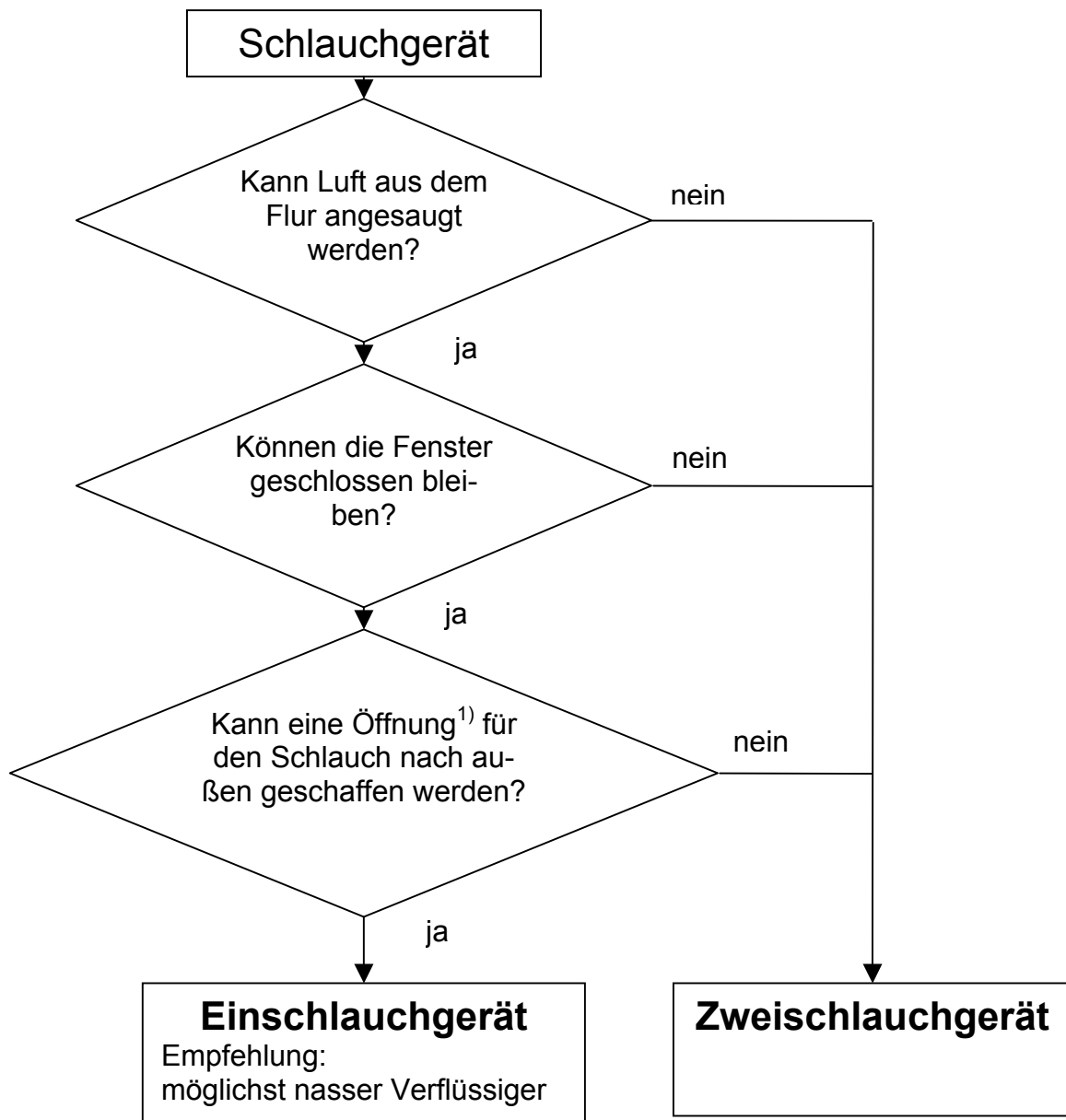
Zur Bestimmung der einzusetzenden Geräteart können die folgenden Flussdiagramme verwendet werden.



<sup>1)</sup> – kein geöffnetes Fenster, sondern z.B. Wanddurchbruch

**Abb. 9.1** Geräteauswahl

Wird nach Abb. 9.1 ein Schlauchgerät ausgewählt, muss nach Abb. 9.2 weiter vorgehen werden.



<sup>1)</sup> – kein geöffnetes Fenster, sondern z.B. Wanddurchbruch

**Abb. 9.2** Geräteauswahl

Mit Hilfe der Flussdiagramme wird versucht, eine weitgehend optimale Lösung zu erreichen. Andere Entscheidungen bezüglich der Gerätewahl sind jedoch möglich.



### **9.3 Zusätzliche Hinweise**

Bei allen Geräten muss die Handhabung und Bedienung speziell des Kondensatsammelgefäßes verglichen werden. Es muss auf eine möglichst einfache Bedienung geachtet werden. Wird der Verflüssiger befeuchtet, muss der Zusatztank für das Wasser einfach ein- bzw. auszubauen sein.

Bei Splitgeräten sollte die Handhabung der Schnellkupplungen verglichen werden.

Bei Schlauchgeräten muss darauf geachtet werden, dass Zusatzteile für die Fensteröffnung oder die Wandöffnung mitgeliefert werden.

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin wurden verschiedene Arten mobiler Klimageräte untersucht, um Aussagen zu ihrer richtigen Auswahl und ihrer Handhabung machen zu können. Dazu wurden die Kühlleistung, die elektrische Leistungsaufnahme, die Schallerzeugung, die Keimkonzentration und Geschwindigkeiten und Temperatur im Zuluftstrahl unter Sommerbedingungen gemessen. Als Geräte wurden typische Schlauch- und Splitgeräte im mittleren Leistungsbe- reich ausgewählt.

Für den Raum ist die sogenannte sensible Kühlleistung wichtig. Das ist die Leistung, die vom Gerät bei konstantem Feuchtegehalt der Luft aus dem Raum abgeführt wird, um eine angestrebte Lufttemperatur aufrecht zu erhalten. Die sensible Leistung ist um den Faktor 1,5 bis 2,5 kleiner als die vom Hersteller angegebene maximale Leistung, die auch die Kondensation von Wasserdampf aus der Luft beinhaltet. Dieser Anteil ist bei unserem gemäßigten Klima ohne Nutzen für den Verbraucher.

Die sensiblen Kühlleistungen der untersuchten Geräte lagen im Bereich 1,0 bis 1,2 kW bei den Schlauchgeräten und 1,4 bis 2,0 kW bei den Splitgeräten mit gleich großen Geräten im Raum.

Zur Beurteilung der Geräte wurde die „sensible Leistungszahl“ verwendet. Diese Leistungszahl gibt das Verhältnis der erzielten sensiblen Kühlleistung zur aufgewen- deten elektrischen Leistung an. Sie liegt bei großer Drehzahlstufe bei allen Geräten bei 1,1 bis 1,4. Bei kleinerer Drehzahl und Leistung werden die Leistungszahlen größer, bei Schlauchgeräten bis 1,7 und bei Splitgeräten bis 2,2. Man sollte deshalb die Geräte eher überdimensionieren und mit kleiner Drehzahl betreiben, wenn sie lange Betriebszeiten haben und Energiekosten reduziert werden sollen. Bei den Schlauchgeräten wurde ein spezielles Gerät mit befeuchtetem (nassem) Verflüssiger untersucht. Es erreichte die größte Leistungszahl: 2,3. Es ist aus der Sicht der Leis- tungszahl und der Mobilität das beste Gerät, leider ist es ein Einschlauchgerät, bei dem der größte Teil der Leistung für die Kühlung der von außen angesaugten Luft aufgewendet werden muss, die zur Kompensation der Fortluft angesaugt wird.

Als Maß für den abgegebenen Schall wurde die A-bewertete Schalleistung ermittelt. Bei der großen Drehzahl liegen die Ergebnisse bei den Schlauchgeräten zwischen 61 und 65 dB(A), bei den Splitgeräten zwischen 51 und 55 dB(A). Die Hersteller geben Werte für maximale A-Schallpegel an. Es handelt sich dabei vermutlich um Schalldruckpegel. Die Hersteller gehen vermutlich von einer hohen akustischen Raumdämpfung aus. Die gemessenen Schalleistungspegel liegen 10 bis 13 dB darüber. Diese Dämpfung wurde in unserem Büroversuchsraum bei 5 m Abstand vom Gerät erreicht.

Die Luftgeschwindigkeit ist unbehaglich groß, wenn man sich direkt in den Luftstrahl vor dem Gerät setzt. Das Gleiche gilt für die Untertemperatur. Außerhalb des Strah- les in größerer Entfernung vom Gerät sind Untertemperatur und Luftgeschwindigkeit im Behaglichkeitsbereich, wenn die Geräteleistung richtig ausgelegt wurde und die Kühllast im Raum nicht zu groß ist. Sie sollte nicht über 80 W/m<sup>2</sup> bezogen auf die Grundfläche des Raumes sein.

Die Keimemission ist bei richtiger Wartung des Gerätes nicht problematisch.

Für die richtige Geräteauswahl ist die erforderliche sensible Kühlleistung des Gerätes zu schätzen. Dazu werden zwei einfache Schätzverfahren angegeben. Dabei zeigt sich, dass vor allem bei großen besonnten Glasfassaden vor der Anschaffung eines

Klimagerätes möglichst erst der Sonnenschutz verbessert werden sollte, um die Kühllast zu reduzieren.

Bei den Schlauchgeräten ist zusätzlich zu beachten, wie viel warme Luft durch das Fenster in den Raum gelangen kann. Am besten für die Kühlung sind geschlossene Fenster. Dann findet aber kein Luftaustausch nach außen und keine Lüftung statt. Beim Einschlauchgerät wird zwangsweise so viel Luft angesaugt, wie das Gerät zur Kühlung des Verflüssigers nach außen fördert. Wenn diese Luft direkt durch das Fenster aus der warmen Umgebung angesaugt wird, wird der größte Teil der Kühlleistung des Gerätes zum Kühlen dieser Luft benötigt. Die Wirkung des Gerätes ist dann nicht viel besser als die eines Tischventilators, der Raum wird kaum gekühlt.

Für die richtige Auswahl ist die gewünschte Mobilität ein Kriterium. Am mobilsten sind die Schlauchgeräte, sie haben dafür die geringste Leistung und Leistungszahl, mit Ausnahme des Gerätes mit nassem Verflüssiger. Die besten Werte für die Kühlung werden erreicht, wenn die Geräte an entsprechende Öffnungen in der Außenwand angeschlossen werden und die Fenster geschlossen bleiben können. Dann muss die Lüftung aus dem Gebäude erfolgen, was nur in wenigen Fällen möglich ist. Bei Verlegung der Schläuche im Fensterspalt sind bei den Zweischlauchgeräten mit den mitgelieferten Düsen brauchbare Werte zu erzielen, solange der Fensterspalt klein ist.

Die Bezeichnung „mobiles Klimagerät“ ist im Sinne der Klimatechnik nicht richtig. Das Gerät ist kein Klimagerät, denn das Gerät kann nur kühlen und entfeuchten.

## Literaturverzeichnis

**Baehr, H. D. (2002):** Thermodynamik 2002. Grundlagen und technische Anwendungen, Springer Verlag, 11. Aufl. 2002

**Fitzner, K.(2003):** Productivity, in: Per Eric Nilsson (Herausgeber): Achieving the Desired Indoor Climate, Studentlitteratur 2003, Schweden

**Gores, I., Reske, M., Fitzner, K. (2001):** Impact of Air Flow Pattern and Thermal Load in a Room on the Heat and Mass Transfer Coefficient across a Person, especially on the Evaporation of Water from the Eyes. Clima 2000/Napoli World Congress 15.-18.09. 2001, Italien

**Kriegel, K.; Zeidler, O. (1999):** Influence of Air Flow Patterns in a Room on Evaporation and Humidity Distribution around a Heated Wet Cylinder, Indoor Air '99, Edinburgh

**Müller-Arnecke, H.W.; Hold, U. (1999):** Ergonomische Gestaltung von Kältearbeit im Bereich von 0 °C, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1999 (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschung: Fb 845)

**Recknagel-Sprenger-Schramek (2004):** Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Industieverlag München, 72. Aufl. 2004

**Seppänen, O.; W. Fisk (2004):** Effect of Ventilation on Health and other Human Responses in Office Environment. Roomvent Sept. 2004 Coimbra, Portugal

**Sust, Ch. A.; H. Lazarus (2002):** Bildschirmarbeit und Geräusche – Auswirkungen von Geräuschen mittlerer Intensität auf simulierte Bürotätigkeiten unterschiedlicher Komplexität. BAuA Forschungsbericht Fb 974 2002

**DIN 1946 Teil 2 (1994):** zurückgezogen und ersetzt durch DIN EN 13779: Gesundheitstechnische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen, 1994, Beuth Verlag Berlin

**DIN EN ISO 5167 (2004):** Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten; in volldurchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt, 2004, Beuth Verlag Berlin

**DIN 8960 (1998):** Kältemittel, Anforderungen und Kurzzeichen, 1998, Beuth Verlag Berlin

**DIN EN 12599 (2000):** Prüf- und Messverfahren für die Übergabe eingebauter raumluftechnischer Anlagen, 2000, Beuth Verlag Berlin

**DIN FB 79 (1999):** Lüftung von Gebäuden – Auslegungskriterien für Innenräume, deutsche Fassung des CEN-Berichtes CR 1752

**DIN EN 13779 (2005):** Leistungsanforderungen für raumluftechnische Anlagen, 2005/5, Beuth Verlag, Berlin

**DIN EN 14511 Teil 2 und 3 (7/2004):** Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze...., Teil 2: Prüfbedingungen 7/2004; Teil 3: Prüfverfahren 7/2004, Beuth Verlag, Berlin

**DIN EN ISO (E) 7730 (2003):** Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und der lokalen thermischen Behaglichkeit, Beuth Verlag, Berlin, 2003/10

**VDI 2081 (2001):** Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumlufotechnischen Anlagen, 7/2001

**VDI 6022/1 (2006):** Hygiene-Anforderungen an Raumlufotechnische Anlagen und Geräte, Beuth Verlag, Berlin, 2006/4

## Einheitenverzeichnis

| Größe             | Bedeutung  | Einheit           |
|-------------------|--|-------------------|
| A                 | Fläche   | m <sup>2</sup>    |
| c <sub>p</sub>    | Spezifische Wärmekapazität von Luft                                | kJ/(kg·K)         |
| Δh                | Enthalpiedifferenz   | kJ/kg             |
| L, L <sub>p</sub> | A-Schalldruckpegel   | dB(A)             |
| L <sub>R</sub>    | A-Schalleistungspegel der Normschallquelle im reflexionsarmen Raum | dB(A)             |
| L <sub>H</sub>    | A-Schalleistungspegel der Normschallquelle im Hallraum             | dB(A)             |
| L <sub>W</sub>    | A-Schalleistungspegel  | dB(A)             |
| m                 | Steigung   | –                 |
| $\dot{m}$         | Massenstrom  | kg/s              |
| P <sub>el</sub>   | elektrische Leistung   | W                 |
| p <sub>v</sub>    | barometrischer Luftdruck   | hPa               |
| p <sub>D</sub>    | Partialdruck des Wasserdampfes                                     | hPa               |
| p <sub>L</sub>    | gemessener Schalldruck   | Pa                |
| p <sub>0</sub>    | Bezugsschalldruck = 2 * 10 <sup>-5</sup>                           | Pa                |
| p <sub>s</sub>    | Sättigungsdampfdruck   | hPa               |
| Δp                | Druckdifferenz   | Pa                |
| Δp <sub>B</sub>   | Druckdifferenz an der Messblende                                   | Pa                |
| $\dot{Q}$         | thermische Leistung  | W                 |
| r                 | Spez. Verdampfungswärme des Wassers                                | J/kg              |
| t                 | Temperatur   | °C                |
| Δt                | Temperaturdifferenz  | K                 |
| t <sub>0</sub>    | operative Raumlufthtemperatur                                      | °C                |
| $\dot{V}$         | Volumenstrom   | m <sup>3</sup> /s |
| x                 | absolute Feuchte   | g/kg              |
| Δx                | Differenz der absoluten Feuchten                                   | g/kg              |
| y                 | Referenzwert   | –                 |
| φ                 | relative Luftfeuchte   | %                 |
| ρ                 | Dichte   | kg/m <sup>3</sup> |

## Indexverzeichnis

| <b>Index</b> | <b>Bedeutung</b>                                       |
|--------------|--|
| A            | A-Bewertung (Akustik)                                  |
| AU           | Außenluft  |
| E            | Entfeuchtung   |
| f            | Funktion   |
| FO           | Fortluft   |
| G            | Gehäuseteiloberfläche                                  |
| GH           | Gehäuse  |
| ges          | gesamt   |
| K            | konvektiv  |
| KÜ           | Kühlung  |
| L            | Luft   |
| n            | fortlaufender Zahlenindex                              |
| O            | Oberfläche   |
| R            | Raumluft, Hallraum                                     |
| r            | mittlere Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen |
| RL           | Rücklauf   |
| sen          | sensibel   |
| s            | strahlend  |
| SL           | Schlauch   |
| SP           | Splitleitung   |
| T            | Temperatur- und Feuchtemessung                         |
| U            | Umschließungsflächen                                   |
| u            | Unsicherheit   |
| V            | Volumenstrommessung                                    |
| Vd           | Verdampfer   |
| VdA          | Verdampferansaugung                                    |
| VdD          | Verdampferdurchlass                                    |
| VdO          | Verdampferoberflächentemperatur                        |
| Vf           | Verflüssiger   |
| VfA          | Verflüssigeransaugung                                  |
| VL           | Vorlauf  |
| W            | Wasser   |

## Begriffe

| Bezeichnung     | Bedeutung   |
|-----------------|---|
| DR              | Draft Risk aus DIN EN 13779   |
| LG              | Leistungszahl des Gerätes   |
| $LG_{ges}$      | Leistungszahl für die gesamte an den Raum abgegebene Kühlleistung des Gerätes, bezogen auf die aufgenommene effektive elektrische Leistung $P_{el}$                         |
| $LG_{Kü}$       | Leistungszahl für die Kühlleistung der Zuluft, bezogen auf die aufgenommene effektive elektrische Leistung $P_{el}$   |
| $LG_{sen}$      | Leistungszahl für die sensible Kühlleistung der Zuluft, bezogen auf die aufgenommene effektive elektrische Leistung $P_{el}$  |
| P               | Arbeit, die dem Kompressor im Kältekreislauf zugeführt wird   |
| $P_{el}$        | vom Gerät aufgenommene effektive elektrische Leistung   |
| $\dot{Q}$       | Thermische Kühlleistung: Wärmestrom, der von einem Kälteerzeuger abgeführt wird   |
| $Q_0$           | Verdampfungswärme im Kältekreislauf   |
| $\dot{Q}_{ges}$ | gesamte vom Gerät abgegebene Kühlleistung   |
| $\dot{Q}_{Kü}$  | Kühlleistung der Zuluft des Gerätes   |
| $\dot{Q}_E$     | Entfeuchtungsleistung oder latente Kühlleistung des Gerätes   |
| $\dot{Q}_{Ob}$  | Wärmestrom über die Geräte- und Schlauchoberflächen   |
| $\dot{Q}_{sen}$ | sensible Kühlleistung: Wärmestrom, der vom Gerät bei konstantem Feuchtegehalt der Luft aus dem Raum abgeführt wird, um eine angestrebte Lufttemperatur aufrecht zu erhalten |

## Bezeichnungen

| Bezeichnung | Bedeutung         |
|-------------|-------------------|
| B           | Messblende        |
| D           | Druckkammer       |
| F           | Frequenzumrichter |
| G           | Gehäuse           |
| KG          | Klimagerät        |
| L           | Luftrichtung      |
| R           | Rohrleitung       |
| V           | Ventilator        |