

# Kühlbrutschränke und Klimaprüfschränke mit Kompressor-Technologie

## Zusammenfassung

Kälte ist per Definition keine eigene Energieform, sondern ein Ungleichgewichtszustand. Dem Ort, an dem Kälte erzeugt werden soll, muss Wärme entzogen werden. Die Wärme fließt also aus dem Energieüberschuss in der warmen Umgebung in Richtung Energiedefizit im zu kühlenden Raum. Technologisch gesehen ist dieser Prozess wesentlich komplexer als die Wärmeerzeugung, die die Menschen seit vielen hundert Jahren beherrschen.

Die erste funktionierende Kältemaschine der Welt wurde 1845 von dem amerikanischen Arzt John Gorrie gebaut, um damit Krankenzimmer zu kühlen<sup>1</sup>. Sie war aber ein finanzieller Misserfolg. In den 1870er Jahren machte sich Carl von Linde das Prinzip der Kältemaschine zu Nutze. Er entwickelte Kompressionskälteanlagen für Brauereien, um die Lagerung des Bieres zu revolutionieren und zu vereinfachen. Auch im Labor ist Kälte unersetzlich. Neben Kühlschränken, Kühlbrutschränken und Klimaprüfschränken, die wie zu Lindes Zeiten durch eine Kompressionskälteanlage gekühlt werden, hielten in den vergangenen Jahren Peltier-temperierte Geräte Einzug.

Sie versprechen vor allem einen reduzierten Energieverbrauch im konstanten Teillastbetrieb. Ein Entscheidungskriterium, das in Zeiten von Klimawandel, knappen Ressourcen und steigenden Energiekosten, immer wichtiger wird. In dieser Ausarbeitung ist dargestellt, wie sich die beiden Technologien unterscheiden, welche Vor- und Nachteile sie mit sich bringen und welches Kühlgerät für welche Laboranwendung überwiegend eingesetzt wird.

## Physikalische Grundlagen

### **Thermoelektrische Effekte**

Die Thermoelektrik befasst sich mit der direkten Umwandlung von Wärme in elektrische Energie und umgekehrt. In modernen technischen Anwendungen werden Energiewandler wie thermoelektrische Elemente (TEC) zur Stromerzeugung und Peltier-Elemente zum Heizen und Kühlen verwendet. Der Seebeck-Effekt und der Peltier-Effekt beschreiben die zwei bedeutendsten thermoelektrischen Phänomene.

Der Seebeck-Effekt wurde 1821 erstmals durch den deutschen Physiker Thomas Johann Seebeck beobachtet. Sein Versuchsaufbau war quasi das erste bekannte Thermoelement – ein metallischer Leiter aus zwei unterschiedlich leitenden Materialien.<sup>2</sup>

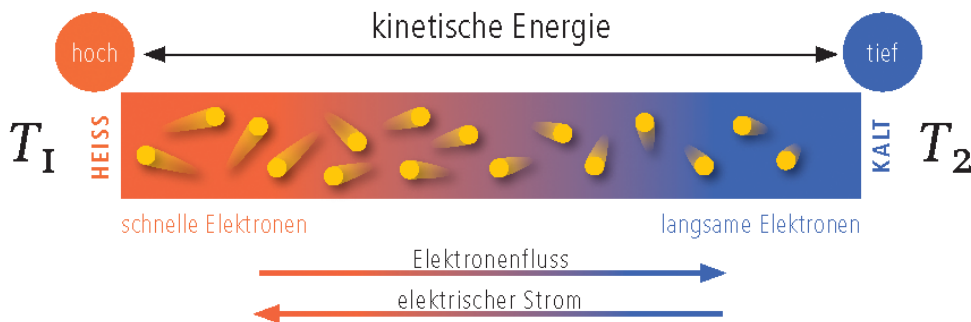
In einem offenen Stromkreis wird ein Endpunkt eines Leiters aus zwei unterschiedlich leitenden Materialien erhitzt. Die ladungstragenden Elektronen auf der heißen Seite bewegen sich schneller und diffundieren zur kalten Seite (Thermodiffusion), auf der nun ein

<sup>1</sup> Plank, Rudolf (Hrsg). Handbuch der Kältetechnik. Springer-Verlag, 1954

<sup>2</sup> Irrgang, Klaus. Altes und Neues zu thermoelektrischen Effekten. Springer-Verlag, 2020

Elektronenüberschuss mit negativer Ladung entsteht. Allein aufgrund der spezifischen Materialeigenschaften erzeugt dieses Temperaturgefälle eine Thermospannung. Wird der Stromkreis geschlossen, fließt elektrischer Strom.

### Elektronenfluss in einem Leiter aufgrund eines Temperaturgradienten (Thermoeffusion)



Keht man den Seebeck-Effekt um und führt Energie von außen zu, wird aus dem Thermoelement ein Peltier-Element. Der Peltier-Effekt wurde 1834 durch den französischen Physiker Jean Peltier entdeckt.<sup>2</sup>

In einem elektrischen Stromkreis wird an den Kontaktstellen zweier unterschiedlich leitender Materialien ein Temperaturunterschied erzeugt: eine Seite wird kalt, die andere Seite wird warm.

Seebeck und Peltier wirkten beide im 19. Jahrhundert. Kommerziell erfolgreiche, thermoelektrische Anwendungen entstanden aber erst mit der Entwicklung von Halbleitern, denn einfache metallische Leiter haben einen entscheidenden Nachteil: sie sind auch gute Wärmeleiter. Durch die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten entsteht ein unerwünschter Wärmerückstrom. Darüber hinaus steigt bei höheren Temperaturen der Ohm'sche Widerstand und ein Teil der eingebrachten Energie wird in Verlustwärme umgewandelt. Wärmerückstrom und Verlustwärme reduzieren beide die Kälteleistung. Daher liegen die erzielbaren Temperaturdifferenzen unter einem Kelvin. Halbleiter funktionieren entgegengesetzt: ihr Widerstand sinkt bei steigender Temperatur und die Leitfähigkeit steigt. In modernen Thermoelementen werden überwiegend unterschiedlich dotierte Halbleiter verwendet.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Irrgang, Klaus. Altes und Neues zu thermoelektrischen Effekten. Springer-Verlag, 2020

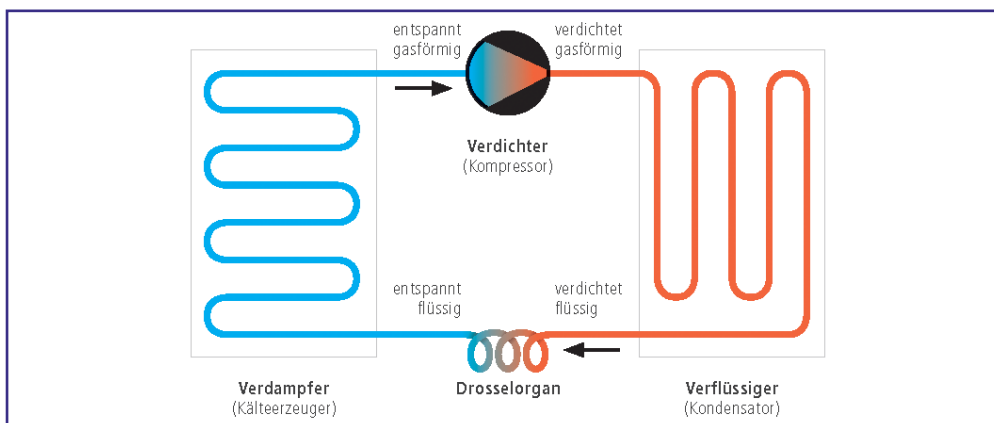
<sup>3</sup> Dr. König, Jan, et al. Thermoelektrik: Strom aus Abwärme. BINE Informationsdienst, 2016

## Kältemaschine nach Linde (Kompress-Technologie)

Labor-Kühlbrutschränke gehen wie Haushaltskühlschränke auf das Prinzip der Kompressionskältemaschine zurück. Durch das Kälteaggregat wird dem Geräteinneren Wärme entzogen und anschließend an die Umgebung abgegeben. Jedoch wird die Kältemaschine im Unterschied zu einer Peltier-Kühleinheit mechanisch, durch einen Motor, angetrieben. In den meisten Fällen handelt es sich hierbei um einen Elektromotor.

Das Kompressor-Prinzip macht sich die Tatsache zunutze, dass beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand thermische Energie benötigt wird.

### Kältekreislauf in einer Kompressionskältemaschine



Durch das Rohrsystem der Kältemaschine zirkuliert ein Kältemittel, das bei Normaldruck einen Siedepunkt weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser besitzt und auch bei niedrigen Temperaturen vom flüssigen in den gasförmigen Zustand wechseln kann. Im Verdampfer im Geräteinnenraum nimmt es die Wärme von eingebrachten Proben oder Lebensmitteln auf, woraufhin es verdampft. Der Kompressor verdichtet das Kältemittel anschließend unter hohem Druck, wodurch sich der Siedepunkt auf Zimmertemperatur erhöht, und der Kondensator an der Geräteaußenseite gibt die aufgenommene Wärme an die Umgebung ab. Das Kältemittel kühlt ab und geht in den flüssigen Zustand über. Im Drosselventil wird der Druck wieder herabgesetzt, der Siedepunkt sinkt und der Prozess beginnt von Neuem. Diese sich ständig wiederholenden Phasenübergänge zwischen flüssig und gasförmig sind es, die die Kälteerzeugung nach dem Kompressor-Prinzip so energieaufwändig machen.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Danfoss, Unternehmen. Kältetechnik-Einführung in die Grundlagen. 2007

## Technologievergleich Peltier-Kühlelement und Kompressor-Kühlung

### Wie ist der Aufbau?

Die konstruktiven Unterschiede der beiden Kühltechnologien bringen für den Anwender spezifische Vorteile mit sich. Ein Peltier-Gerät kann kompakter gebaut werden, da kein zusätzlicher Bauraum für eine Kältemaschine benötigt wird. Aufgrund einer geringen Anzahl mechanischer Bauteile, wie Pumpen, Filtern und Rohrleitungen, ist die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls geringer und die Wartung einfacher. Wartungen an Kühlkompressoren dürfen nur von Spezialisten mit spezieller Zertifizierung durchgeführt werden. Darüber hinaus arbeiten Peltier-Geräte annähernd vibrationsfrei sowie durch drehzahlgeregelten Lüfterbetrieb geräuscharm. Der Verzicht auf ein Kältemittel schlägt bei den laufenden Betriebskosten und der Klimafreundlichkeit zu Buche. Durch die Umkehr des Stromflusses werden Peltier-Elemente in vielen Geräten auch zum Heizen verwendet. Dies macht eine eigene Heizquelle im Kühlbrutschrank oder Klimaschrank überflüssig. Darüber hinaus können Temperaturzyklen mit der gleichen Heiz-Kühl-Einheit gefahren werden.

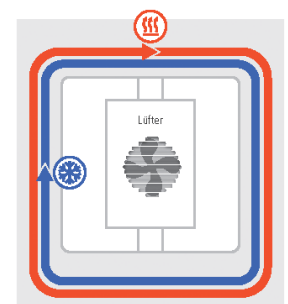
### Wie ist die Regelbarkeit?

In der Labortechnik bieten kompressorgekühlte ebenso wie Peltier-Geräte eine sehr hohe Regelgenauigkeit. Peltier-Elemente reagieren jedoch unmittelbar und ohne Kühlmedium, da alles elektrisch betrieben wird. Sie sind daher äußerst präzise regelbar.

### Kompressor-Technologie im Kühlbrutschrank und Klimaprüfschrank

In manchen Kühlbrutschränken und Klimaschränken zirkuliert temperierte Luft in einem Luftmantel um den Arbeitsraum. Gekühlt wird mit Kompressortechnologie, beheizt mit einem Ringheizkörper. Im Arbeitsraum unterstützt ein Lüfter die optimale Temperatur- (und Feuchteverteilung). Es existieren jedoch auch eine ganze Reihe anderer technischer Lösungen auf dem Markt. Andere Hersteller platzieren den Verdampfer oder das System für die Luftführung im Innenraum.

Luftmantel-Temperiersystem im Memmert Kühlbrutschrank ICP und Klimaschrank ICH



- Heizkreislauf (Ringheizkörper)
- Kühlkreislauf (Kompressortechnologie)

## Entscheidungskriterien in der Praxis

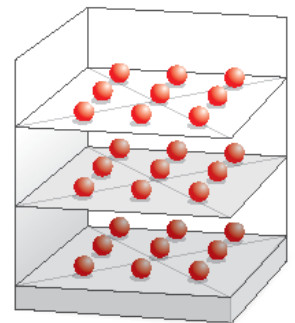
Bei der Entscheidung für und gegen die Kompressortechnologie oder Peltier-Technologie lässt sich keine allgemeingültige Aussage treffen. Es steht immer die spezifische Anwendung im Vordergrund und in der Regel sind die Geräte für definierte Prozesse ausgelegt. Herstellerangaben zu Energieverbrauch, Kälteleistung, Aufheiz- und Abkühlzeiten und anderen Messwerten sind hier hilfreich.

### Energieeffizienz

Die Energieeffizienz von Klimaschränken und Kühlbrutschränken ist von der individuellen Auslegung, der Konstruktion, der Regelung und vor allem der Anwendung abhängig. Aufgrund der großen Unterschiede der verfügbaren Peltier-Geräte empfiehlt sich, vom Hersteller die Wärmeabgabe für die spezifischen Anwendungen berechnen zu lassen. Sobald die Anwendung Beschickungsgut umfasst, das Wärme in den Arbeitsraum einbringt, wie elektronische Aufbauten oder Halogenlampen, so ist ein Kompressor-betriebener Klimaschrank oft das Gerät der Wahl, da es im Vergleich zum Peltier-gekühlten Gerät eine höhere Wärmekompensation besitzt.

### Temperaturhomogenität und -konstanz

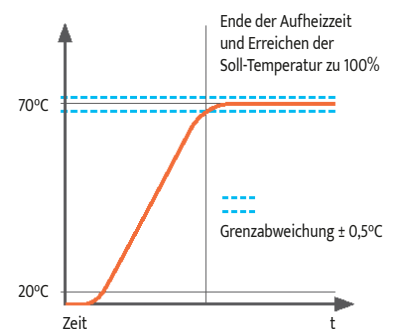
Ist die Temperatur im gesamten Arbeitsraum über die gesamte Prozessdauer gleich verteilt und wie hoch sind die Abweichungen von den Sollwerten? Diese Fragen beantworten Messungen nach DIN 12880:2007, die jeder Hersteller für seine Kühlbrutschränke und Klimaschränke zur Verfügung stellen kann. Die Temperaturkonstanz, also die zeitliche Temperaturabweichung, gibt den Ausschlag des Messpunktes mit der größten zeitlichen Temperaturschwankung wieder. Die Temperaturhomogenität, also die räumliche Temperaturabweichung, ergibt sich aus der Differenz zwischen den zeitlichen Temperatur-Mittelwerten der zwei Messstellen, deren Ergebnisse am weitesten voneinander abweichen.



Messaufbau mit 27 Mess-punkten für Geräte mit mehr als 50 Litern Arbeitsraum nach DIN 12880:2007

### Aufheiz- und Erholzeiten

Die Bedingungen in Temperiergeräten sollen konstant bleiben bzw. möglichst nicht von den eingestellten Sollbedingungen abweichen. Schnelle Aufheiz-, Abkühl- und Erholzeiten sind dann wichtig, wenn Kühlbrutschränke in der täglichen Praxis mehrmals geöffnet werden und damit die Temperatur im Innenraum steigt. Nach DIN 12880:2007 wird bis zum Erreichen von 100% der Soll-Temperatur gemessen, wobei die Ist-Temperatur ab diesem Zeitpunkt definierte Grenzabweichungen nicht überschreiten darf.



Ermittlung der Aufheizzeit eines Wärmeschrankes beispielhaft für 70°C nach DIN 12880:2007

## **Laufruhe und Geräuschpegel**

Der Schalldruckpegel, ausgedrückt in dB (A), wird nach DIN EN ISO 3743-1:2010 ermittelt. Das Dezibel ist eine logarithmische Größe. Die Schallintensität eines Geräusches an der menschlichen Schmerzschwelle von circa 130 dB(A) ist also nicht 130 Mal so hoch wie das eines Geräusches an der Hörschwelle, sondern 10 Billionen mal höher. Eine Verdopplung der Schallintensität erreicht man bereits bei einer Lautstärkensteigerung um drei Dezibel. Zur Einordnung: In Deutschland darf der Lärmpegel an einem Bildschirmarbeitsplatz nicht höher als 55 dB (A) sein. Ein Flüstern schlägt mit ungefähr 30 dB (A), ein normales Gespräch mit 50 bis 60 dB (A) und der Lärm an einer Hauptverkehrsstraße mit circa 80 dB (A) zu Buche. Peltier-gekühlte Geräte bringen sowohl beim Punkt Geräuschentwicklung als auch beim Punkt Vibrationen Vorteile mit sich. Die Erschütterungen in einem Kompressor-Kühlbrutschrank sind vor allem auf den Verdichter zurückzuführen, die Geräusche auf Magnetventile und Verflüssigerlüfter.

## **Umgebungstemperatur**

Mit der Wärme in der Umgebung steigt der Energieverbrauch eines gekühlten Brutschranks oder Klimaschranks. Ab einer bestimmten Temperatur können Geräte mit Kompressor die Abwärme aus dem Kondensator nicht mehr vollständig an die Umgebung abgeben und die Kälteleistung nimmt ab. Bei Peltier-Geräten wird in der Regel die Abwärme mit einem Lüfter forciert vom Gerät abgeführt. Je kühler die Warmseite der Peltier-Temperier-Einheit, desto kälter wird die kalte Seite. Daher funktionieren Peltier-Geräte selbst bei Ausfall der Klimaanlage und an heißen Sommertagen immer noch zuverlässig bis zu einer Temperaturdifferenz von circa 25 K. Es empfiehlt sich in jedem Fall, mit dem Hersteller Rücksprache zu halten, wenn das Gerät in extremen Umgebungstemperaturen arbeiten soll.

## **Temperaturbereiche (Minusgrade)**

Kühlbrutschränke und Klimaprüfschränke mit Peltier-Technologie sind durch die maximal erzielbare Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Arbeitsraum in der Anwendung bei tiefen Temperaturen beschränkt. Im Gegensatz dazu können Kompressorgeräte auch Temperaturen unter dem Gefrierpunkt sicher erreichen – mit der Einschränkung der zulässigen Umgebungstemperatur.

## **Kältemittel**

Die Möglichkeit, ohne Kältemittel kühlen zu können, ist sicher einer der größten Vorteile der Peltier-Technologie. Bei Kompressorgeräten sind unterschiedliche Kältemittel im Einsatz, die bei Freisetzung mehr oder weniger stark zur Erderwärmung beitragen. Als Orientierung dient der GWP-Wert (Global Warming Potential). Er setzt Kältemittel ins Verhältnis zu klimaneutralem CO<sup>2</sup>. Ein Beispiel: Das CO<sup>2</sup>-Äquivalent des Kältemittels R134a ist 1430, auf einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet. Ein Kilogramm R134a trägt also innerhalb der ersten 100 Jahre nach der Freisetzung 1.430 Mal so stark zum Treibhauseffekt bei wie ein Kilogramm CO<sup>2</sup>.

## Service und Wartung

Da ein Peltier-Klimaprüfschrank oder -Kühlbrutschrank einfacher konstruiert ist und darüber hinaus kein Umgang mit Kältemitteln erforderlich ist, sind diese Geräte im Vergleich zu ihren kompressorgekühlten Pendanten weniger aufwendig in der Wartung.

## **Anwendungen in Klimaprüfschränken und Kühlbrutschränken mit Kompressor-Technologie (Beispiele)**

### Stabilitäts- und Klimaprüfungen

Hauptvorteile Kompressor-Klimaprüfschrank:

Hohe Flexibilität bei großem Anforderungsspektrum:

- Temperaturbereiche von Minus bis Plus
- Photostabilitätsprüfungen in Kombination mit vielen Temperatur-Feuchte-Kombinationen
- schnelle Temperatur-/ Klimawechselprüfungen
- hohe Wärmekompensation

Hauptvorteile Peltier-Klimaprüfschrank:

- bei konstantem Lagerklima hohe Energieeffizienz
- geringere Ausfallwahrscheinlichkeit der Peltier-Elemente
- leiser Betrieb

## **ICH-Guidelines Q1A und Q1B**

### Stabilitätstest in Kühlbrutschränken nach ICH Guideline Q1A (R2)

Diese Richtlinie beschreibt die kontrollierten Lagerbedingungen (Temperatur und Feuchte) und die Lagerdauer für Stabilitätstests von Fertigarzneimitteln und Wirksubstanzen für die verschiedenen Klimazonen auf der Erde. Die chemisch-physikalische Stabilität nach dem Ende der Prüfungen ermöglicht Aussagen zur Haltbarkeitsdauer und zu den Lagerungsbedingungen.

### **Stabilitätstest in Kühlbrutschränken nach ICH Guideline Q1B, Option 2 (Photostabilität)**

Mit einer Beleuchtungseinheit, die Tageslichtleuchten und UV-Licht kombiniert, kann zusätzlich nach den ICH Guidelines Q1B, Option 2 (Photostabilität) geprüft werden. Die Richtlinie macht keine Vorgaben für Feuchtegehalt und Temperatur während der Prüfung. Dennoch kann man sich mit einem Klimaschrank mit regelbarer Temperatur, Feuchte und separat regelbarer Beleuchtungsstärke für Tageslicht und UV-Licht die Möglichkeit offenhalten, Photostabilität auch für definierte Luftfeuchtigkeiten zu prüfen. Neben der hohen Flexibilität bei den Prüfungen spricht für diese Geräte der geringe Wärmeeintrag durch die Beleuchtungseinheiten im Vergleich zu den Xenon-Lampen gemäß ICH Guidelines, Option 1.

### **Stabilitätsprüfungen in Nahrungsmittel- und Kosmetikindustrie**

Auch in der Lebensmittel-, der Kosmetik- und der Verpackungsindustrie sind Stabilitätsprüfungen üblich und teilweise vorgeschrieben. Mikrobiologische Prüfungen finden meist bei definierten Temperaturen im Kühlbrutschrank statt, manche Stabilitätsprüfungen werden aber auch analog der Arzneimittel in definierten Norm- oder Prüfklimata im Klimaprüfschrank durchgeführt.

### **Klimaprüfungen und Feuchtelagerungen in der Industrie**

Elektronische Bauteile sowie Komponenten aus Metall und Kunststoff werden in der Industrie einer ganzen Reihe an Korrosion-, Klima- und Temperaturprüfungen unterzogen, um Einfluss von Umwelteinflüssen auf Material und Funktionsfähigkeit zu untersuchen. Bei definierten Klimaverläufen und Wechselklimaten empfiehlt sich ein Klimaprüfschrank mit Kompressor-Technologie.

Werden die Prüflinge nur im Konstantklima gelagert, ist ein Peltier-Kühllagerschrank aufgrund seiner Energieeffizienz, seiner Ausfallsicherheit und der Wartungsfreiheit im Vorteil.

### **Schaukeltests**

Hauptvorteile Kompressor-Klimaprüfschrank:

- schnelle Aufheiz- und Abkühlzeiten
- schnelle und präzise Wechsel von Aufheiz- und Abkühlphasen
- sparsamer im Energieverbrauch
- geeignet für hohe Temperaturdifferenzen

In der Lebensmittel- und Pharmaentwicklung werden neue Rezepturen in thermischen Belastungstests oft definierten Wärme-Kälte-Zyklen ausgesetzt, um die Einflüsse auf die Stabilität zu untersuchen. Bei diesen erheblichen Temperaturdifferenzen von 40 °C und mehr empfiehlt sich der Einsatz eines Kompressor-Kühlbrutschranks.



## Kultivierung über und unter Raumtemperatur, Mikrobiologische Tests, Keimzahlbestimmung

### Hauptvorteile Peltier-Kühlbrutschrank:

- kompakte Bauform
- geräuscharm
- sparsamer im Energieverbrauch

### Hauptvorteile Kompressor-Kühlbrutschrank:

- schnelle Aufheiz- und Abkühlzeiten
- schnelle Erholzeiten

Prinzipiell sind beide Technologien gleich gut geeignet für Kultivierungsaufgaben über und unter Raumtemperatur. Daher spielen bei gängigen mikrobiologischen Anwendungen ohne Temperaturrampen andere Entscheidungskriterien eine Rolle. Werden in der täglichen Praxis die Gerätetüren mehrmals am Tag geöffnet, kann dies zu einer Temperaturerhöhung im Gerät führen. Daher sind schnelle Aufheiz-, Abkühl- und Erholzeiten wichtig. Mit der technischen Optimierung der Peltier-Kühlbrutschränke gilt auch die Aussage, dass Kompressorgeräte überlegen sind, nicht mehr universell. Messungen der Hersteller zu den einzelnen Geräten bieten hier eine gute Orientierung, da sie in der Regel nach den Vorgaben der DIN 12880:2007-05 geprüft werden und daher vergleichbar sind.

### Literaturhinweise

Memmert Whitepaper | 02/2021

Memmert GmbH + Co. KG | [www.memmert.com](http://www.memmert.com)

**Sie möchten weitere Informationen? Dann melden Sie sich gern bei uns!**

Seite 9 von 9