

## Kühlgeräte mit Zeolith und Wasser

Abb. 1



- ▶ **Neue Tiefkühlboxen halten Temperatur bis zu 30 Stunden**
- ▶ **Energie für den Kühlprozess läßt sich verlustfrei lagern**
- ▶ **Lautlose Kleinkühlschränke werden entwickelt**
- ▶ **Die geräuschlose Adsorptionstechnik benötigt ausschließlich umweltfreundliche Kältemedien**

*Die neuartigen Kleinkühlschränke und Transportboxen benötigen weniger Energie als konventionelle Geräte.*

**W**issenschaftler der Zeo-Tech GmbH in Unterschleißheim haben Gefrierboxen und Kleinkühlgeräte für den mobilen und den stationären Einsatz entwickelt, die in den jeweiligen Einsatzgebieten effizienter arbeiten sollen als die bisher eingesetzte Technik. Der auf Adsorption basierende Kälteprozess benötigt Wärme als Antriebsenergie und kann daher unterschiedliche Energiequellen nutzen.

Gefrierboxen für den mobilen Einsatz werden bereits in der Praxis erprobt. Einmal an der Steckdose aufgeladen, lassen sie sich bis zu ihrem Einsatz verlustfrei lagern, um dann „auf Knopfdruck“ den Kühlprozess zu starten. Sie erreichen nach kurzer Abkühlzeit Tiefkühltemperaturen und halten diese über 24 Stunden. Die aktive Kühlung ermöglicht längere Kühlzeiten als herkömmliche Boxen mit Eispacks oder PCM-Materialien. Gegenüber der Peltiertechnik, die einen kontinuierlichen Kühlbetrieb erlaubt, liegt der Vorteil in einer höheren Energieeffizienz und in der Unabhängigkeit von einer Stromquelle

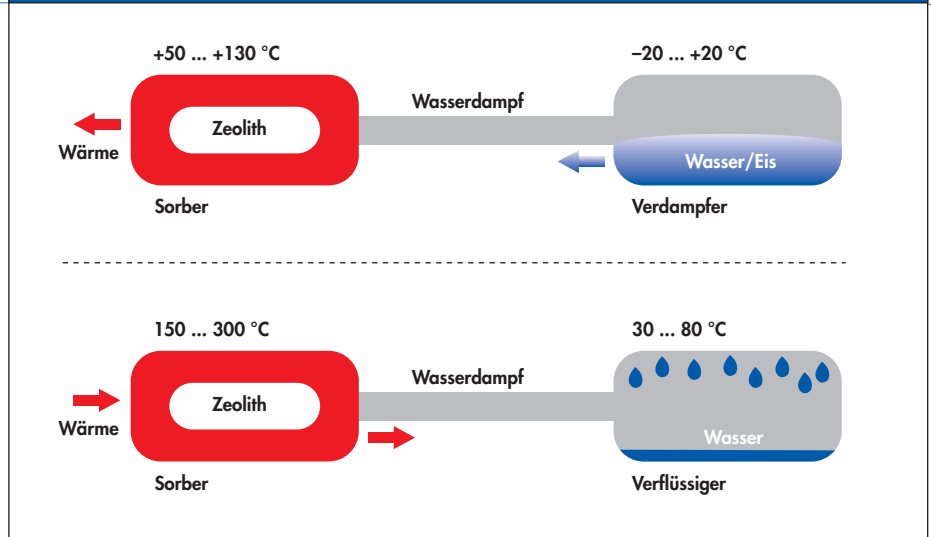
während der Kühlphase. Darüber hinaus erreichen Peltierelemente nur eine geringe Temperaturabsenkung, die für viele Einsatzzwecke insbesondere im Sommer nicht ausreicht.

Aufbauend auf den Ergebnissen mit diesen transportablen Behältern, erweiterten die Forscher das Konzept auf den kontinuierlichen Betrieb für stationäre Kleinkühlgeräte. Vorteile sehen sie vor allem, wenn ein lautloser Betrieb erforderlich ist oder wenn nur Wärme als Antriebsenergie zur Verfügung steht. Bisher werden in solchen Fällen überwiegend Absorptionskältemaschinen mit geringer Energieeffizienz eingesetzt, die zudem mit gesundheitsschädlichem Ammoniak und Dichromat arbeiten. Die in dem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Forschungsprojekt entwickelten neuen Geräte arbeiten hingegen mit den umweltfreundlichen und natürlich vorkommenden Arbeitsstoffen Zeolith und Wasser. Gegenüber der Ammoniaktechnik wird zudem eine Effizienzsteigerung von mehr als 35% erreicht.

## ► Funktionsprinzip

Der Kühlprozess nutzt die Verdunstungskälte von Wasser, kombiniert mit der Fähigkeit von Zeolithen, große Mengen von Wasserdampf durch Adsorption aufzunehmen. Das Wasser befindet sich in einem evakuierten Behälter, dem Verdampfer. Über ein Ventil ist ein zweiter Behälter verbunden, der Zeolith enthält. Sobald das Ventil geöffnet wird, sorgt die Adsorption des Wasserdampfes im Zeolith dafür, dass ständig weiteres Wasser verdunstet. Die Verdunstungskälte kühlt dabei das restliche Wasser bis weit unter den Gefrierpunkt ab. Wenn die Aufnahmefähigkeit des Zeoliths erschöpft ist, kommt der Prozess zum Erliegen. Zur Regeneration wird das Zeolith erhitzt. Das adsorbierte Wasser wird dadurch ausgetrieben und kondensiert im Verdampfer.

Abb. 2: Kühlprozess und Regeneration



## ► Transportbox für Kühl- und Gefriergut

Die Forscher setzten das Funktionsprinzip zunächst in einer Transportbox mit 50 Litern Nutzvolumen um, die sie inzwischen zur Serienreife weiterentwickelt haben. Gedämmt von 80 mm Polyurethanschaum werden fünf Wände des „Mobile Freezers“ aktiv gekühlt. Sie sind als Innenwandverdampfer ausgelegt und mit einem Liter Wasser befüllt. Ein integrierter Kühler enthält 13,5 kg Zeolith für den Sorptionsprozess. Etwa eine halbe Stunde nach Kühlbeginn erreicht die Innentemperatur der Box  $-18\text{ °C}$ . Diese kann bei einer Außentemperatur von  $30\text{ °C}$  etwa 24 Stunden aufrecht erhalten werden (Abb. 4). Für die anschließende Regeneration, die etwa zwei Stunden dauert, sorgt ein Heizstab mit einer elektrischen Leistung von 1.350 W. Anschließend wird das Ventil zwischen Kühler und Verdampfer geschlossen. Das Zeolith muss jetzt noch rund 5 Stunden auskühlen. Danach ist die Kühlbox wieder einsatzbereit und kann nach beliebig langer Lagerzeit durch Öffnen des Ventils heruntergekühlt werden.

Die Box im Praxistest

Mehrere identische und auf die jeweilige Anwendung optimierte Systeme werden von ausgewählten Nutzern in der Praxis getestet. Unter verschiedenen Umgebungsbedingungen sollen sie ihre Praxistauglichkeit im Vergleich zu marktverfügbaren Systemen beweisen. Ziel ist es, schon während der Entwicklungsphase die wirtschaftlich und ökonomisch interessantesten Produkte zu identifizieren. Diese Varianten werden bevorzugt bis zur Serienreife weiterentwickelt. Erfahrungsgemäß werden hierzu

Abb. 3: Prototyp einer 50 l Transportbox



Dutzende von Geräteaufbauten notwendig. Die Anzahl, Größe und Bauart der Geräte hängt von dem Entwicklungsergebnis ab.

Abb. 4: Kühlverhalten bei  $30\text{ °C}$  Außentemperatur

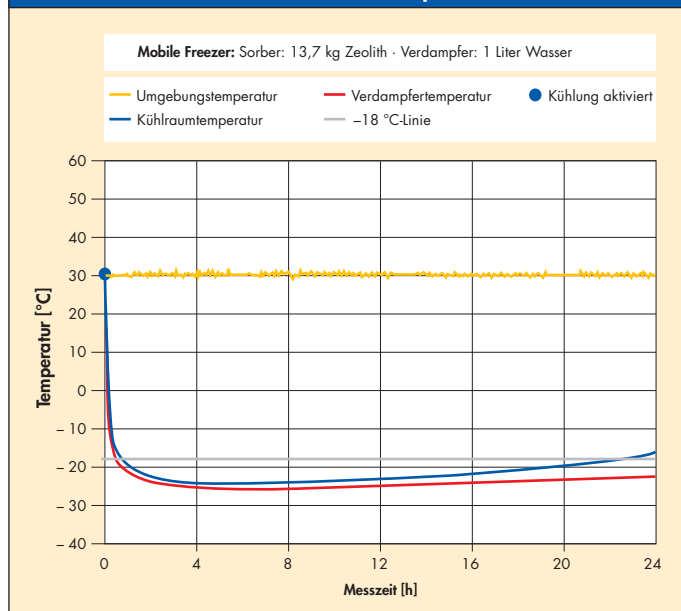


Abb. 5: Zeolithkühlsysteme für den Praxistest



## Konventionelle Kühlboxen und Kleinkühlschränke

Für Kühlboxen und Kleinkühlschränke werden derzeit drei verschiedene Kühltechniken eingesetzt, die spezifische Vor- und Nachteile aufweisen:

**Die Kompressortechnik**, wie sie sich im Hausgeräte-segment etabliert hat, hat den geringsten Energieverbrauch. Sie ist aber für Kleingeräte vergleichsweise teuer und nicht geräuschlos. Für den mobilen Einsatz eignet sie sich nur bedingt, da Erschütterungen zu Störungen führen können. Außerdem muss zusätzlich ein Akku für die Stromversorgung vorhanden sein.

**Thermoelektrische Peltierelemente** sind hingegen sehr robust. Aufgrund der geringen Kosten werden sie jährlich zu mehreren Millionen Einheiten hergestellt und finden sich überwiegend in einfachen Kühlboxen. Allerdings liegt die Energieeffizienz der Technik deutlich unter 10% und der Temperaturhub beträgt maximal 25 K. Zwar erfolgt die Kälteerzeugung lautlos, jedoch werden meist Ventilatoren zur Wärmeabfuhr benötigt. Aufwendige Lösungen mit außen liegenden heat-pipe-Systemen steigern die Kosten bei oftmals erhöhtem Energiebedarf.

**Absorbergeräte auf Ammoniakbasis** sind sowohl lautlos, als auch für den mobilen Einsatz geeignet. Seit über 80 Jahren werden die strom- oder wärmegetriebenen Systeme ohne grundlegende Änderungen verkauft und beispielsweise in Wohnmobilen oder als Minikühlschränke in Hotelzimmern eingesetzt. Die Energieeffizienz ist begrenzt: Kühlschränke mit 40 l Inhalt verbrauchen ca. 0,9 kWh/24 h bei 25 °C Umgebungstemperatur. Die Arbeitsstoffe Ammoniak und Ammoniumdichromat dürfen nicht in die Umwelt geraten, da sie giftig und krebserzeugend sind.

## ► Lautlose Klein-Kühlschränke

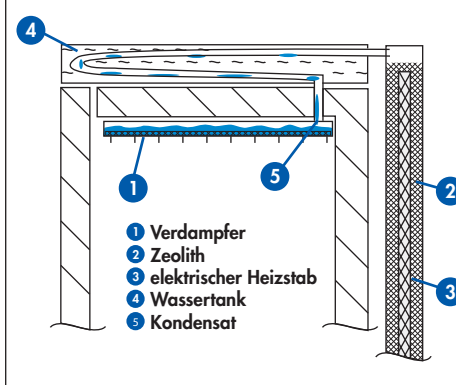
Nach erfolgreichen Tests mit den Kühlboxen wurde das Funktionsprinzip für einen kontinuierlichen Kühlbetrieb modifiziert (Abb. 6): Wie bei der Kühlbox trocknet in der Desorptionsphase ein Heizstab den Zeolith-Sorber. Der ausgetriebene Wasserdampf überträgt die Kondensationswärme zunächst an einen Wassertank, der die Wärme während der folgenden Sorption langsam an die Umgebung abgibt. Das Kondensat kann in den Verdampfer abfließen. Dort wird es großflächig verteilt, um eine optimale Nutzung der Verdampferoberflächen während der Kühlphase sicherzustellen. Um die Kühlraum-Innentemperaturen während der Desorption niedrig zu halten, ist der Verdampfer im oberen Bereich des Innenraums angeordnet. Die warme Luft um den Verdampfer bleibt oben. Erst in der Kühlphase wird die Luft kalt und sinkt nach unten in den Kühlraum.

Am Ende der Desorption liegt die innere Zeolithtemperatur im optimalen Temperaturbereich von über 200 °C. Die Außentemperatur beträgt lediglich 100 °C bis 120 °C. Dadurch werden die Wärmeverluste auch ohne aufwendige Isolation auf ca. 10–15% der eingesetzten Antriebsenergie begrenzt. Die Abgabe der Adsorptionswärme erfolgt automatisch und ohne weiteren Steuerungsaufwand direkt nach der Desorption. Auf eine aktive Belüftung, z. B. mit verstellbaren Lüftungsschlitzen oder Außenventilator, kann verzichtet werden.

### Dimensionierung

Ein gut isolierter mobiler Kühlschrank mit 40 l Inhalt benötigt eine kontinuierliche Kühlleistung von ca. 8–9 W, um Innenraumtemperaturen von 5–8 °C bei 25 °C Umgebungstemperatur zu gewährleisten.

Abb. 6: Aufbau eines Zeolith-Kleinkühlgerätes



Legt man den Kühlschrank auf eine 24-stündige Zykluszeit aus, so muss pro Zyklus eine Kältemenge von ca. 690 kJ erzeugt werden. Dies entspricht dem Verdampfen von ca. 300 g Wasser und erfordert einer Zeolithmenge von etwa 2 kg für die Wasseradsorption.

Einmal in 24 Stunden wird die Sorberfüllung ausgeheizt. Inclusive der thermischen Verluste werden hierfür ca. 600 Wh benötigt. Ein gleichgroßer Ammoniak-Kühlschrank verbraucht im günstigsten Fall 800 Wh/24h, also mindestens 32% mehr. Bei höheren Umgebungstemperaturen oder ungünstiger Be- und Entlüftungssituation am Aufstellungsort verschiebt sich das Verhältnis sehr deutlich weiter zugunsten des Zeolithsystems, dessen Energieaufnahme sehr viel weniger ansteigt.

Die Kondensationswärme beträgt ca. 700 kJ. Sie kann z. B. durch einen mit Wasser gefüllten Wärmepuffer aufgenommen werden, dessen Aufbau während des Projektes optimiert wurde. Bei einem Volumen von 9 l Wärmepuffer erwärmt sich das Wasser durch die Kondensation um ca. 19 K. Das

Wasservolumen kann deutlich kleiner ausfallen, wenn geeignete PCM-Materialien eingesetzt werden, die beim Schmelzen große Wärmemengen aufnehmen und beim Erstarren wieder abgeben. Um das Gewicht der mobilen Systeme weiter zu minimieren, wurden innerhalb des Projektes Geräte mit optimiertem Luftwärmetauscher entwickelt. Diese führen die Kondensationswärme mittels Konvektion an die Umgebung ab. Die Werte in den Vergleichstests wurden mit diesen Geräten ermittelt.

Durch den Umbau von handelsüblichen Kühlboxen für den Normalkühlbereich konnten sowohl elektrisch- als auch gasbetriebene Systeme mit den am weitesten verbreiteten Gerätetypen, den Absorber-Kühlaggregaten verglichen werden (Abb. 7). Die Energieverbräuche im Strom- und im Gasbetrieb lagen um bis zu 50% niedriger. Gleichzeitig verbesserte sich die Kühlperformance bei Umgebungstemperaturen über 25 °C.

Abb. 7: Kühlbox mit 33 Litern Fassungsvermögen: Temperaturen und Energieverbrauch

Außentemperatur	Zeolith-Kühlgerät			Ammoniak-Absorber Kühlgerät	
	elektrisch (230 V)	gasbetrieben	gasbetrieben kombiniert mit 12 V-Lüfter	elektrisch (230 V)	gasbetrieben
	Innentemperatur [°C], Energieverbrauch [kWh/24h]	Innentemperatur, Energieverbrauch [kWh/24h] / [g Gas/24h]	Innentemperatur, Energieverbrauch [kWh/24h] / [g Gas/24h]	Innentemperatur, Energieverbrauch [kWh/24h]	Innentemperatur, Energieverbrauch [kWh/24h] / [g Gas/24h]
25 °C	5 °C 0,75	5 °C 1,11 / 86	5 °C 1,05 / 81,4	5 °C 1,5	7 °C 2,36 / 178
32 °C	6 °C 1,34	6 °C 1,77 / 140	6 °C 1,46 / 112,4	7 °C 1,8	8 °C 2,6 / 206
38 °C	12 °C 1,3	10 °C 2,41 / 187	7 °C 2,8 / 201	13 °C 1,9	17 °C 2,6 / 206

## ► Ausblick

Alle Einsatzbereiche, die bisher mit dem problematischen Absorptionsstoffpaar Ammoniak-Wasser realisiert wurden, können jetzt durch die umweltfreundliche und energiesparende Stoffpaarung Zeolith und Wasser abgedeckt werden. Der Betrieb der Zeolith-Kühlaggregate ist sowohl mit Elektrizität als auch mit jeder Form von Wärme möglich. Die Energieeinsparereffekte gegenüber den alten Systemen liegen zwischen 25 und 50%. Diesen Energieeinsparungen stehen bei der Vermarktung höhere Materialpreise gegenüber. Hinzu kommen beim Fertigungsbetrieb erhebliche Neuinvestitionen, die zunächst keine neuen Umsätze generieren, sondern nur die am Markt befindlichen Geräte substituieren. Zur Umsetzung der Forschungsergebnisse in kommerzielle Produkte arbeiten die Forscher an verschiedenen Entwicklungslinien.

Für Wohnmobile, Wohnwagen und Boote sind elektrisch- bzw. gasbetriebene Gefrier-Kühlkombinationen in der Entwicklung weit fortgeschritten. Es ist inzwischen möglich, Kühlschränke mit zwei Temperaturbereichen, einem Tiefkühl- und einem Normalkältefach zu bauen. Durch geeignete Geometrien ist es möglich das rückkondensierte Wasser in den vereisten Verdampfer zurückzuleiten. Neuentwickelte Vakuumventile erlauben den kontinuierlichen Betrieb mit nur einem Zeolithadsorber.

Im stationären Betrieb eignet sich die Technik beispielsweise für effiziente und geräuschlose Hotelkühlschränke. Die gezielte Verwendung von kostengünstigem Nachtstrom könnte hier die laufenden Betriebskosten zusätzlich reduzieren. Geeignete PCM (phase-change material) im Kondensator und Verdampfer sollen dabei sowohl Aggregatskosten reduzieren als auch für günstige Betriebsbedingungen während der Adsorption und Desorption sorgen.

Der Transport von Pharma- und Biotechnologieprodukten erfordert meist eine hohe Temperaturstabilität. Ein neuer Thermostat-Regler soll den Einsatz der Zeolith-Kühltechnik auch für temperatursensibles Kühlgut ermöglichen.

Erfolgreich laufen zur Zeit auch Versuche mit solarthermisch betriebenen Gefrierstationen für Kühlakkus. Konventionelle, mit Wasser gefüllte Akkus werden außerhalb des Vakuumsystems vereist und für Kühltransporte bereitgestellt. Die stationäre Anlage eignet sich insbesondere für südliche Klimazonen und kann auch in großen Einheiten gebaut und betrieben werden.

Für eine Reihe von Anwendungsgebieten sind inzwischen mit namhaften Firmen Kooperationsvereinbarungen geschlossen worden, mit dem Ziel, die umweltfreundliche Technik in Serienprodukten einzusetzen.

### ► PROJEKTADRESSEN

- Zeo-Tech GmbH  
Dr. Peter Maier-Laxhuber  
Ohmstraße 3  
85716 Unterschleißheim

### ► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Internet

- [www.zeo-tech.de](http://www.zeo-tech.de)

#### Literatur

- Maier-Laxhuber, P.; Wörz, R.; Schmidt, R.: Energieeffiziente und geräuschlose Kühlgeräte mit Zeolith-Adsorptionstechnik für den mobilen und/oder stationären Einsatz. Abschlussbericht. Zeo-Tech GmbH, Unterschleißheim (Hrsg.) Juli 2010. 57 S., FKZ 0327434A

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1-6: Zeo-Tech GmbH

#### Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter [www.bine.info](http://www.bine.info) im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.

## PROJEKTORGANISATION

■ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Claus Börner  
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen  
0327434A

## IMPRESSUM

■ ISSN  
0937 – 8367

■ Version in Englisch  
Das Dokument finden Sie unter [www.bine.info](http://www.bine.info).

■ Herausgeber  
FIZ Karlsruhe  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Urheberrecht  
Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

■ Autor  
Dr. Franz Meyer

## BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet zu Energieeffizienztechnologien und Erneuerbaren Energien.

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt die BINE-Redaktion, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

#### Kontakt

Haben Sie Fragen zu diesem **projektinfo**?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**Tel. 0228 92379-44**



FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
Kaiserstraße 185 – 197  
53113 Bonn

[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages