

## **Standklimatisierung von Nutzfahrzeugkabinen über Kältespeicherung**

### **1. Einleitung**

In Nordamerika, Australien, Asien und Europa sind die meisten schweren LKWs mit Schlafkabinen ausgerüstet. Diese mobilen „Schlafkabinen“ tragen nicht nur zur Reduktion der Reisekosten bei, sondern erlauben vor allem dem Fahrer, auf neue spontane Speditionsaufträge zu reagieren, seinen Arbeitstag selber zu gestalten und in den Ruhepausen auf seine Ladung aufzupassen.

Um die Schlafkabine mit Wärme und Kälte zu versorgen, den Fahrzeugmotor im Winter warm zu halten, die verschiedenen Verbraucher wie Kühlschrank, Fernseher, Mikrowellenherd und Computer mit Strom zu versorgen und die Fahrzeugbatterie voll zu laden, lassen die Fahrer außerhalb Europa während der Übernachtung oder Ruhepausen den Fahrzeugmotor durchlaufen (Idling). Diese Betriebsweise ist energetisch ungünstig, belastet die Umwelt sehr stark, erhöht den Motorverschleiß, verursacht hohe Verbrauch- und Wartungskosten sowie für den ruhenden Fahrer lästige Geräusche und Vibrationen.

Es besteht daher ein sehr großer Bedarf an neuen verbrauchsarmen und umweltfreundlichen Heiz- und Kühlsystemen für Lkw-Schlafkabinen. Hierfür hat die Webasto AG ein vielversprechendes und technisch einfaches Standklimasystem entwickelt, das wenig Energie verbraucht, genug Kälteleistung zur Verfügung stellt, leise und vor allem umweltfreundlich ist.

### **2. Umweltbelastung durch Standklimatisierung mit laufendem Motor, Verschärfung der Gesetzgebung**

Zahlreiche Studien [1-4] zeigen, dass nordamerikanische Schwer-Lkw-Fahrer ihre Fahrzeugmotoren etwa 2400 Stunden/Jahr zum Zwecke der Standklimatisierung in der Nacht durchlaufen lassen. Dies führt bei einem Kraftstoffverbrauch im Leerlauf von 3,8 l/h zu einem jährlichen Mehrverbrauch und -kosten von rd. 9.000 l bzw. 3.500 € pro Lkw. Ein Kraftstoffpreis von 0,39 €/l wurde in dieser Betrachtung angenommen. Hinzu kommen zusätzliche Wartungskosten von rd. 200 €/a, verursacht durch den Betrieb des Motors im Leerlauf und einen nicht vernachlässigbaren Motorverschleiß [3].

Laut Statistiken legen rd. eine halbe Million Schwer-Lkw-Fahrer in den USA mehr als 800 km täglich zurück und müssen wegen der langen Strecke in ihren klimatisierten Schlafkabinen übernachten [4]. Wird diese Zahl von Fahrzeugen berücksichtigt, so ergibt sich insgesamt ein Kraftstoffverbrauch (Mehrverbrauch) durch Idling von rd. 4,5 Milliarden Liter/a bzw. 28 Millionen Barrel/a (Erdölverbrauch Deutschland: 2,8 Mio. Barrel/Tag).

Das motorabhängige Klimatisieren im Stand verursacht nicht nur einen unnötigen Energieverbrauch, sondern belastet auch die Umwelt sehr stark. Jeder Schwer-Lkw, der in der Nacht mit laufendem Fahrzeugmotor klimatisiert, emittiert jährlich rd. 21 Tonnen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), 0,3 Tonnen Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>), 0,2 Tonnen Kohlen-

stoffmonoxid (CO) sowie Schadstoffe wie Rußpartikel, polyzyklische Aromate (PAH) oder Benzol.

Anti-Idling-Gesetze existieren in vielen US-Staaten schon lange [Tabelle 1] , jedoch sind diese bis jetzt mangels brauchbarer Alternativen zum Idling vom Gesetzgeber nicht systematisch umgesetzt worden [5].

Diese Situation wird sich in Zukunft maßgeblich ändern. Seit 1991 arbeitet die amerikanische Umweltbehörde in Kooperation mit den Lkw-Herstellern und den verschiedenen US-Staaten sowie mit anderen Partnern an einem Konzept zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs, der Abgasemissionen und zur Aufklärung der Kommunen.

✚ Colorado	✚ Maryland	✚ New Jersey
✚ Connecticut	✚ Massachusetts	✚ New Mexico
✚ Hawaii	✚ Minnesota	✚ New York
✚ Georgia	✚ Montana	✚ Pennsylvania
✚ Kalifornien	✚ New Hampshire	✚ Texas
✚ Illinois	✚ Nevada	✚ Virginia
✚ Arizona	✚ Georgia	✚ Missouri
✚ Utah	✚ District of Columbia	

**Tabelle 1: US-Staaten mit Idling-Verbot [5]**

Parallel werden an ausgewählten Fahrzeugen „Idling“-Untersuchungen auf Abgasemissionen bei verschiedenen Randbedingungen und Standklimatisierungsversuche mit alternativen Systemen (Idle Control Technologies) durchgeführt [2]. Zusätzlich fördert die amerikanische Umweltbehörde EPA Untersuchungen von neuen „non Idling“- Standklimasystemen. An einem solchen Förderungsprojekt nimmt auch die Webasto AG mit einer Reihe von Standklimaanlagen, basierend auf der Kältespeichertechnologie, teil. Es ist eine Verschärfung der Gesetzgebung hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen und ein Idling-Verbot zu erwarten. Dies wird natürlich eine positive Wirkung auf die Entwicklung des Standklimaanlagen-Marktes haben.

### 3. Idle Control Technologies

Um Kraftstoffverbrauch und –kosten sowie Abgasemissionen zu reduzieren, werden sogenannten „Idle Control Technologies“ für die Klimatisierung von Schlafkabinen im Stand angeboten. Diese beinhalten die zentrale Versorgung von Nutzfahrzeugen mit Strom, Wärme und Kälte an Parkplätzen (Truck Stop Electrification) durch z.B. Shore Power und IdleAire sowie die fahrzeugmotorunabhängigen „Non Idling Systeme“.

#### 3.1 Truck Stop Electrification (TSE)

##### 3.1.1 Shore Power

Eine der Optionen für die Reduktion der Emissionen in den USA ist die Entwicklung der elektrischen Infrastruktur an Parkplätzen (Truck Stop Electrification, Shore Power). Die Lkws können dort mit einer Wechselspannung von 110 V zum Antrieb ihrer elektrischen Heiz- und Kühlgeräte sowie der verschiedenen Verbraucher, versorgt werden (Bild 1). Mit dem zusätzlich eingebauten Inverter/Ladegerät



**Bild 1: Shore Power Station [6]**

kann die Fahrzeugbatterie geladen und die Verbraucher mit 110 V betrieben werden. Der größte Nachteil der TSE-Parkplätze ist die Verfügbarkeit.

Die Fahrzeughersteller sind abgeneigt zusätzliche Komponenten im Fahrzeug einzubauen, solange es keine TSE- Parkplätze in großer Anzahl gibt und die TSE-Gesellschaften sind nicht bereit, die Infrastruktur zu schaffen, solange die Fahrzeughersteller ihre Fahrzeuge nicht entsprechend mit den erforderlichen Komponenten ausrüsten.

Zur Zeit werden nur von Freightliner, Volvo und International die schweren Laster mit Inverter/Ladegeräten angeboten.

### 3.1.2 IdleAire

Eine weitere Alternative zum TSE-System, die keine zusätzliche Geräte im Truck erfordert, ist vor kurzem durch IdleAire-Technologies eingeführt worden. Dieses System, genannt „IdleAire“, beliefert die verschiedenen elektrischen Verbraucher im Fahrzeug mit einer Wechselspannung von 110 V und bietet den Lkw-Fahrern individuell regelbare Heiz- und Kühleinheiten, die Fahrerhäuser über separate Luftkanäle mit warmer oder kühler Luft versorgen (Bild 2).



**Bild 2 : IdleAire [7]**

Zur Zeit gibt es nur 14 Parkplätze in Arkansas, Kalifornien, Georgia, New York, Tennessee und Texas. Weitere 16 Parkplätze sind in Planung [8].

Die Service-Kosten für die Lkw-Fahrer betragen rd. 1 €/h [9], etwa das 0,7-fache einer Standklimatisierung mit laufendem Motor (1,45 €/h).

## 4. Fahrzeugmotorunabhängige Standklimasysteme

### 4.1 Auxiliary power units: APUs

APUs sind autarke Klimatisierungssysteme, die über einen Zusatzmotor mechanisch oder elektrisch angetrieben werden (Bild 3). Diese sind in der Lage Lkws reichlich mit Wärme, Kälte und Strom zu versorgen.

Sie werden außerhalb der Fahrerkabine eingebaut.



**Bild 3:Auxiliary Power Unit [1]**

Je nach Motorleistung verbrauchen die APUs 0,4 bis 1,2 l Kraftstoff in der Stunde. Verglichen mit dem Idling bedeutet dies eine erhebliche Reduktion von 75 – 90 % an Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen. Der Verbrauch einer APU von 10 l/Nacht bleibt trotzdem relativ hoch. Die APUs werden von rd. 20 Firmen in USA und Kanada vertrieben. Die Beschaffungskosten sind sehr hoch und variieren zwischen 4.000 € und 7.000 €

#### **4.2 Antrieb der Primärklimaanlage über einen elektrischen Motor im Stand**

Die Integration eines elektrischen Motors zum Antrieb des vorhandenen mechanischen Kompressors ist schon lange bekannt und wurde kürzlich in einem Lkw realisiert [10]. Die elektrische Energie wird während der Fahrt in Zusatzbatterien gespeichert und in der Nacht zum Antrieb des elektrischen Kältekreislaufes abgerufen. Die erreichte Kälteleistung liegt bei rd. 600 W [10] und die Leistungsaufnahme bei 300 W.

Die Verwendung der vorhandenen Komponenten der Klimaanlage im Fahrzeug ist vorteilhaft, jedoch ist die Hauptkomponente Hybridverdichter bzw. kombinierter Verdichter noch nicht verfügbar. Außerdem hat das über Batterien angetriebene elektrische Klimasystem eine begrenzte Kältekapazität, da der Generator nicht beliebig groß sein kann.

#### **4.3 Verdunstungskühler**

Für die Klimatisierung von Nutzfahrzeugen im Stand werden seit einiger Zeit adiabatische [11] und isotherme [12] Verdunstungskühler auf dem Markt angeboten. Beim adiabatischen Prozess wird durch Verdunstung die Umgebungsluft abgekühlt und direkt in die Kabine geleitet.

Beim isothermen Prozeß wird die Umgebungsluft im Gegenstrom zur Prozessluft abgekühlt und in die Kabine geleitet. Damit wird die Erhöhung der Feuchte im Fahrerhaus vermieden.

In beiden Prozessführungen ist die Abkühltemperatur von der Umgebungstemperatur und Feuchte abhängig.

Da hier geringe Luftmassenströme (rd. 200 kg/h) und damit geringe Wassermengen (rd. 1l/h) beim Standklimatisieren benötigt werden, ist die elektrische Leistungsaufnahme relativ klein.

#### **4.4 Latentkältespeicher**

Viel einfacher und umweltfreundlicher sind Latentkältespeichersysteme. Diese können nicht nur genügend Kälteenergie mit hoher Energiedichte speichern, sondern die gespeicherte Kälte entsprechend dem Bedarf an Klimatisierung liefern.

Gegenüber Speichern mit ausschließlicher Nutzung sensibler Kälte haben Latentkältespeicher den Vorteil, neben der fühlbaren Kälte die „Latentkälte“ bei Phasenumwandlung fest-flüssig auszunutzen und zeigen deswegen eine höhere Energiedichte sowie minimale Speicherverluste.

Webasto hat schon lange einen Latentkältespeicher, Accusphere I, der mit Wasser/ Ethylenglykol-Gemisch (90% / 10%) als Speichermedium arbeitet und in Nutzfahrzeugen zur Klimatisierung von Schlafkabinen eingesetzt wird, entwickelt.

#### 4.4.1 Accusphere I

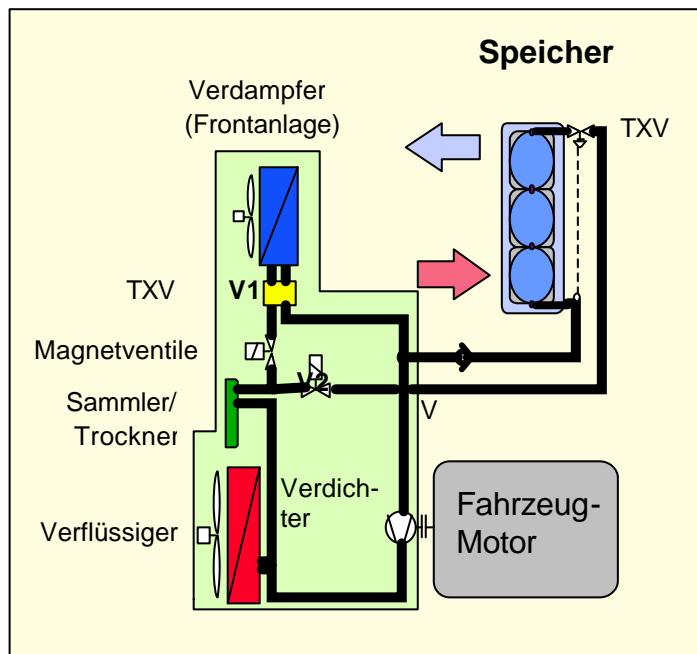
##### 4.4.1.1 Standklimasystem mit direkter Luftabkühlung

In Abb. 4 ist die Funktion des Kältespeichers Accusphere I dargestellt.

Der Speicher wird parallel zum Verdampfer der Frontanlage im Kältekreis integriert. Er besteht aus drei in Reihe geschalteten Alu-Profilen. Diese sind mit dem Speichermedium Wasser/ Äthylenglykol (90 % / 10 %) gefüllt .

Im Fahrbetrieb sind zuerst das Magnetventil V1 offen auf und das Magnetventil V2 geschlossen. Das Fahrerhaus wird klimatisiert.

Wird die eingestellte Raumtemperatur erreicht, so unterbricht der Verdichter nicht. Die Magnetventile V1 und V2 schalten um und das Kältemittel fließt dann durch den Wärmeübertrager am Speicher.



**Bild 4 : Funktion von Accusphere I**

Steigt die Innenraumtemperatur bis zum Soll-Wert, so schaltet das Thermostat wieder ein, die Magnetventile gehen in die ursprüngliche Position zurück und der Innenraum wird über den Verdampfer der Frontanlage gekühlt. Dieser Prozeß wiederholt sich bis der Speicher voll geladen ist.

Die Ladezeit ist von vielen Betriebsparametern wie Restspeicherkapazität, Umgebungsbedingungen , Betriebsweise und Leistungsfähigkeit des Verdichters abhängig und variiert bei der Accusphere I zwischen 1 und 3 Stunden [13].

Die Kältekapazität des Systems kann je nach Ladetemperatur bis zu 3,5 kWh erreichen. Bei tieferen Temperaturen wird im Wasser/Ethylenglykol-Gemisch mehr Schnee-Eis gebildet und damit erhöht sich die Speicherkapazität des Systems.

Im Stand wird Luft in die Accusphere I gesaugt, durch Luftkanäle um die Speicherprofile geleitet, gekühlt (direkte Abkühlung) und wieder in den Innenraum geblasen. Die Kühldauer beträgt mehrere Stunden. Durch die Einstellung der Luftmenge wird die Temperatur geregelt . Die abgekühlte Ausblasluft ist mit Feuchte gesättigt, so dass sich im Schlafraum nach Erwärmung auf Raumtemperatur ein behaglicher Zustand einstellt.

Das System Accusphere I, das seit 1998 im Actros von DaimlerChrysler erfolgreich eingesetzt wird, ist an der Rückwand der Fahrerkabine angeordnet und wird über ein separates Bedienelement angesteuert. Damit wurde in Europa ein einmaliges ökonomisches und ökologisches System zur Standkühlung realisiert.

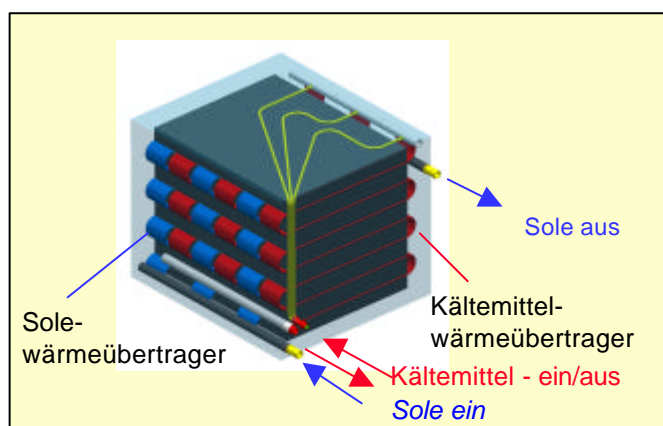
#### 4.4.2 Accusphere II

Um die spezifische Energiedichte zu erhöhen, die Dynamik des Speichers zu verbessern, die Speicherbauform flexibel variieren zu können und die Speicher-materialkosten erheblich zu reduzieren, wurde ein neuartiger Latentkältespeicher „Accusphere II“ entwickelt.

##### 4.4.2.1 Standklimasystem mit indirekter Kühlung

In dem neuen Speicher (Abb. 5) wird reines Wasser in einer Graphit-Matrix als Speichermedium verwendet. Graphit ist ein stabiles Material, das sehr viel Wasser an seiner inneren Oberfläche anlagern kann. Die maximale Beladung liegt bei 5,7 kg Wasser/kg Graphit.

Das Grundmaterial Graphit verbessert hierbei zum einen die Wärmeleitung im Speicher um mehrere Faktoren (von 0,43 auf 30 W/m K) und gewährleistet somit eine effektive Dynamik beim Laden sowie eine kontrollierte Kälteleistung beim Entladen des Speichers. Zum anderen nimmt Graphit die Volumenausdehnung des Wassers auf. Eine Deformation des Speicherbehälters tritt wegen vorhandener Hohlräume nicht auf.



**Bild 5 : Graphitspeicher**

Das Grundprinzip von Accusphere II basiert auf dem Kühlen des Speichermaterials und Einfrieren des im Graphit gelagerten Wassers. Die hiermit verbundene sensible und latente Kälteenergie wird zur Standklimatisierung genutzt.

Da die spezifischen Wärmekapazitäten der Speichermedien von Accusphere I und II vergleichbar sind ( $c_p \approx 4 \text{ kJ/kg K}$  für Wasser/Ethylenglykol und Wasser/Graphit ;  $c_p \approx 2 \text{ kJ/kg K}$  für Eis/Ethylenglykol und Eis/Graphit) und sich bei den gleichen Randbedingungen viel weniger Eis im Speicher Accusphere I bildet, ist die spezifische Energiedichte des Graphitspeichers viel höher als beim Wasser/Ethylenglykol-Gemisch.

Da die Masse von Graphit gegenüber der Masse des Wassers relativ klein ist, wird die Energiedichte in erster Linie durch die Latentkälte von Wasser bestimmt.

Im Vergleich zu Accusphere I wird die Kälte in Accusphere II nicht direkt, sondern indirekt über einen Solekreis abgeführt. Diese Prozessführung erhöht vor allem die Flexibilität des Speichers im Einbau und ermöglicht die Variation seiner Form und Größe. Der Speicher wird parallel zum Verdampfer der Frontanlage (Europa-Version) bzw. der Heakanlage (US-Version) im Kältekreis integriert (Bild. 6-7).

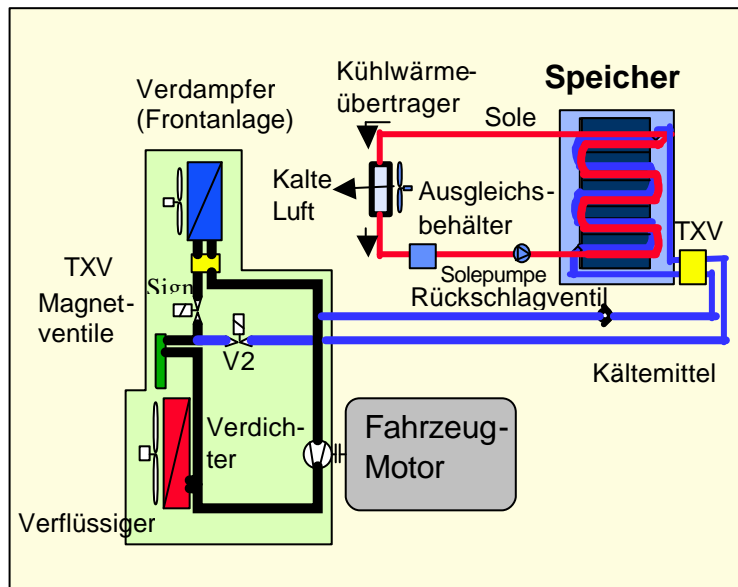
#### 4.4.2.2 Laden des Kältespeichers

Die Beladung des Speichers erfolgt während der Fahrt, wenn die Klimaanlage in Betrieb ist. Über einen im Speicher integrierten und vom Kältemittel durchströmten Kältemittelwärmeübertrager (Al-Flachprofil) wird die Kälte dem Speichermedium zugeführt.

Der Klimaverdichter wird analog zu Accusphere I angesteuert. Dieser arbeitet ununterbrochen und je nach Stellung der Magnetventile wird das Fahrerhaus klimatisiert oder der Kältespeicher geladen.

Im Ladevorgang der Europa-Version wird das Magnetventil V1 geschlossen und V2 geöffnet. Bei der USA-Version schließen die Magnetventile V1 und V2 und das Magnetventil V3 öffnet.

Erst bei voller Ladung des Speichers schalten die Magnetventile um und der Klimaverdichter beginnt wieder zu takten.



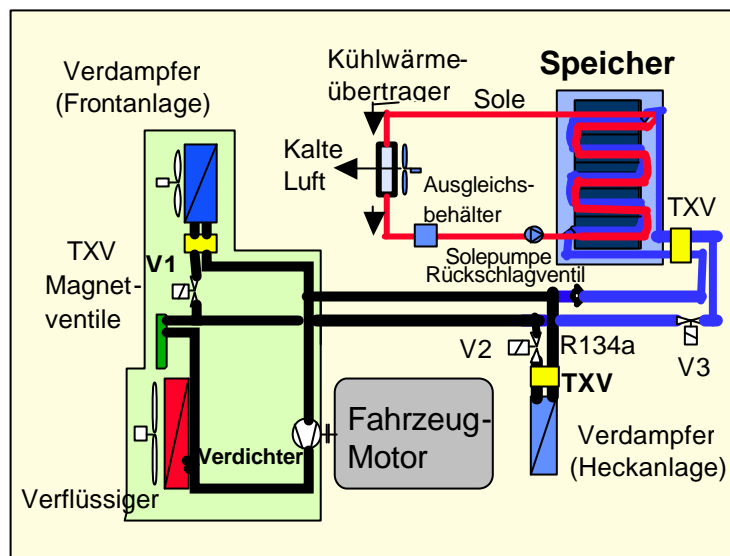
**Bild 6: Accusphere II, Version Europa**

#### 4.4.2.3 Entladen des Speichers

Im Stillstand bei abgeschaltetem Motor wird der Speicher entladen

Die Pumpe im Sekundärkreis wird eingeschaltet. Der Solestrom, ein Gemisch aus Wasser/Ethylenglykol (50% / 50%) fließt durch den Solewärmeübertrager im Kältespeicher, wo er sich stark abkühlt. Die Kälte wird über einen Kühlwärmeübertrager der Luft übertragen.

Accusphere II regelt nicht nur die Innenraumtemperatur, sondern auch die Feuchte in der Kabine. Bei Abkühlung der Umluft werden Taupunkte, die nach Erwärmung auf Kabinentemperatur im behaglichen Bereich liegen, erreicht.



**Bild 7: Accusphere II, Version USA.**

Da der Taupunkt der Umluft höher als die Temperatur der Kühlrippen des Wärmeübertragers liegt, wird daran Wasser kondensieren. Ein Sammelkasten mit Ablaufkanal für die Abfuhr des Kondensats nach außen ist aus diesem Grund vorgesehen.

Um Gerüche durch die Standklimaanlage zu vermeiden und die erforderliche Hygiene gewährleisten zu können, ist der Kühlwärmeübertrager mit geeigneter Oberflächenbeschichtung (PU-Lack) ausgestattet.

#### 4.4.2.4 Integration im Fahrzeug

Durch die Wahl des indirekten Kühlbetriebes werden die vorhandenen Einbauräume im Kraftfahrzeug nutzbar. Als Einbauplatz bietet sich der Kasten unter der Fahrerliege an. Dort wird der Kältespeicher mittels Halter am Fahrzeugboden befestigt. Durch Luftkanäle in der Kabine wird die Umluft zum Kühlwärmeübertrager geleitet und über die vorhandenen Düsen verteilt.

Für die Bedienung der Standklimaanlage ist ein einfaches separates Bediengerät mit den Grundfunktionen Laden und Entladen sowie eine Gebläseregelung vorgesehen. Weitere ergänzende Grundfunktionen wie Schnellladen und gleichzeitiges Laden und Entladen sowie Komfortfunktionen wie automatische Steuerung, Lade- und Entladezustandsanzeige, Vorkühlfunktion und andere werden angeboten.

#### 4.4.2.5 Kenngrößen des Systems

Verschiedene Kältespeicher wurden realisiert und getestet.

In Tabelle 2 sind die Kenndaten eines 5,2 kWh-Speichers mit dem System Accusphere I verglichen. Die angegebene Kältekapazität bezieht sich dabei jeweils auf eine Ladetemperatur von  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Die spezifische Energiedichte bezogen auf Gewicht und Volumen ist beim Graphitspeicher um Faktor 3 bzw. 5 höher als beim Wasser/Ethylenglykol-Speicher.

Kenngrößen der Speicher	Accusphere I (Wasser/Ethylenglykol)	Accusphere II (Graphitspeicher)
Kältekapazität [kWh]	2,2	5,2
Gewicht [kg]	88	73
Volumen [l]	220	112
Spezifische Kältekapazität [Wh/kg]	25	71
Spezifische Kältekapazität [Wh/l]	10	47
Elektr. Leistungsaufnahme [W]	90	90

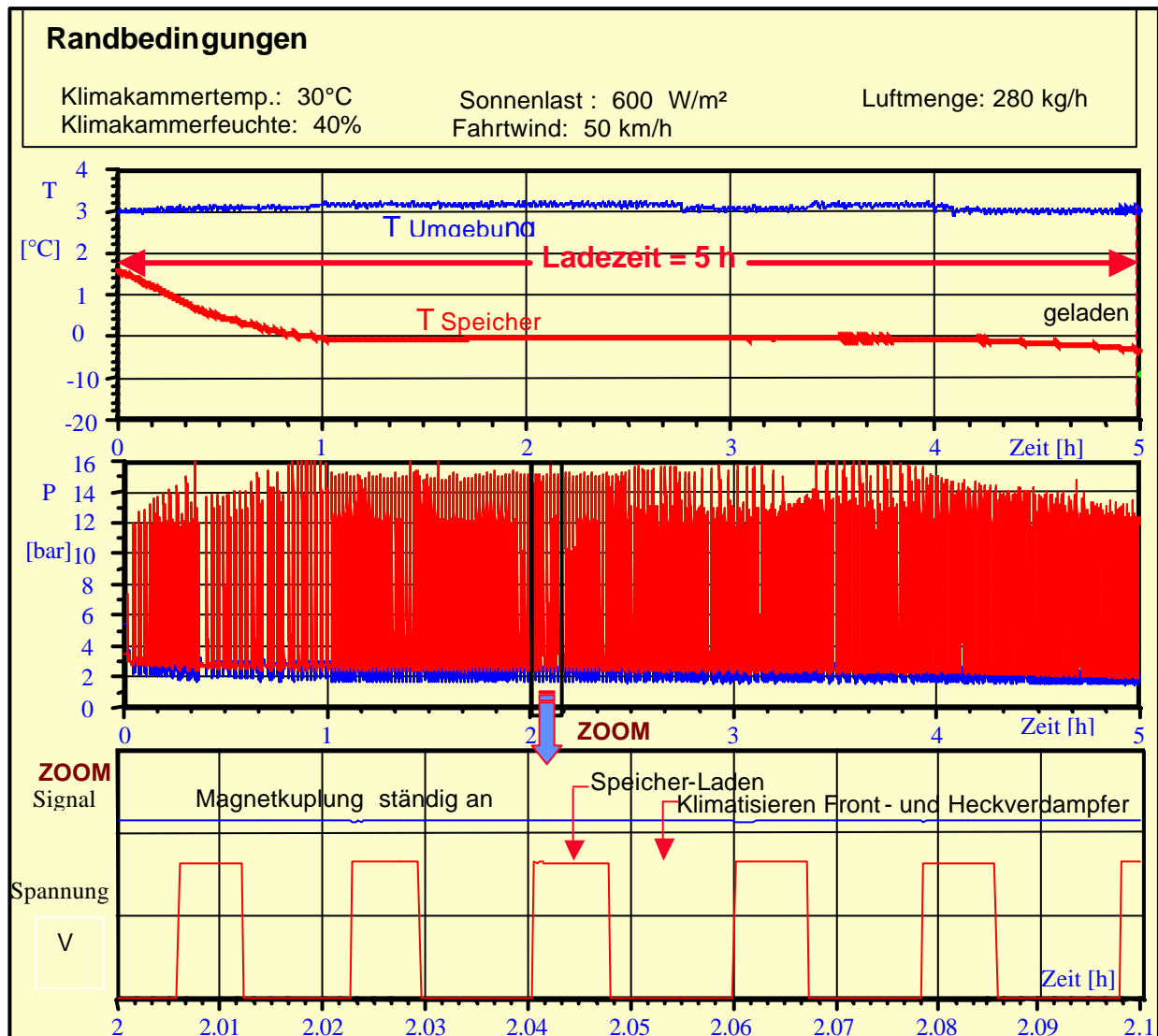
**Tabelle 2: Kenndaten der Kältespeicher**

Die elektrische Leistungsaufnahme für Gebläse und Solepumpe ist klein und liegt bei maximal 90 W.

#### 4.4.2.6 Abkühlkurven

Die Untersuchungen des 5,2 kWh-Graphitspeichers am Fahrzeug (US-Version) in der Klimakammer zeigen, dass das Laden des Speichers bei gleichzeitiger Klimatisierung

des Fahrerhauses und unter der angegebenen Randbedingungen rd. 5 Stunden dauert (Abb. 8).



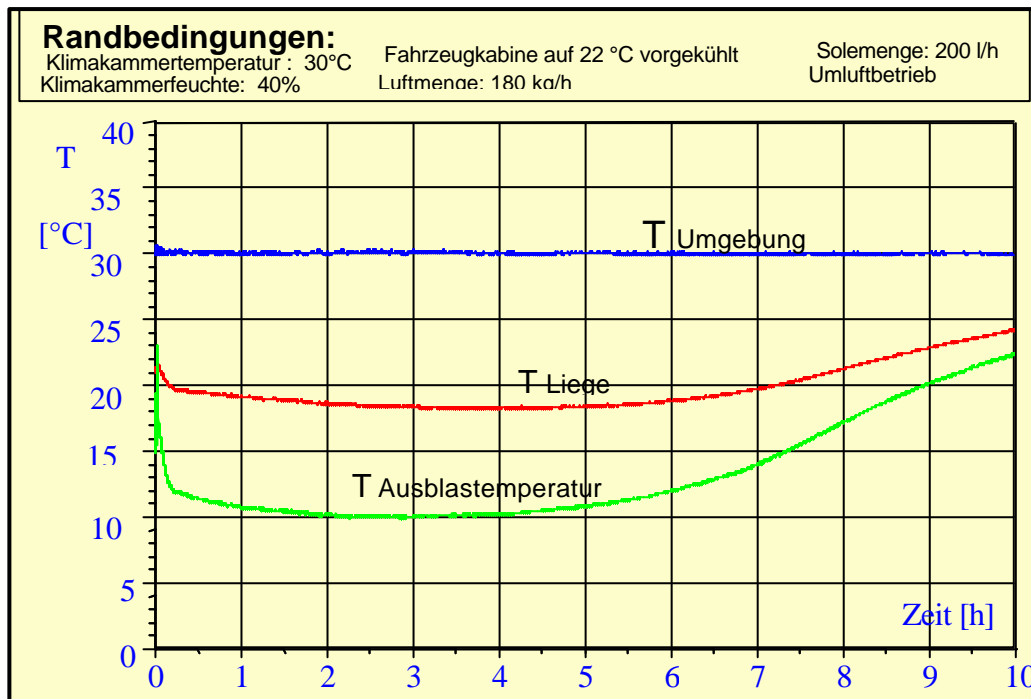
**Bild 8: Laden des 5,2 kWh-Kältespeichers**

Der Ladevorgang ist dann beendet, wenn die Temperatur im Speicher die festgelegte Abschalttemperatur von  $-4\text{ °C}$  erreicht hat (siehe Bild 5 oben).

Ohne Klimatisierung der Kabine beträgt die effektive Ladezeit des Speichers nur 2 h (Schnelladen).

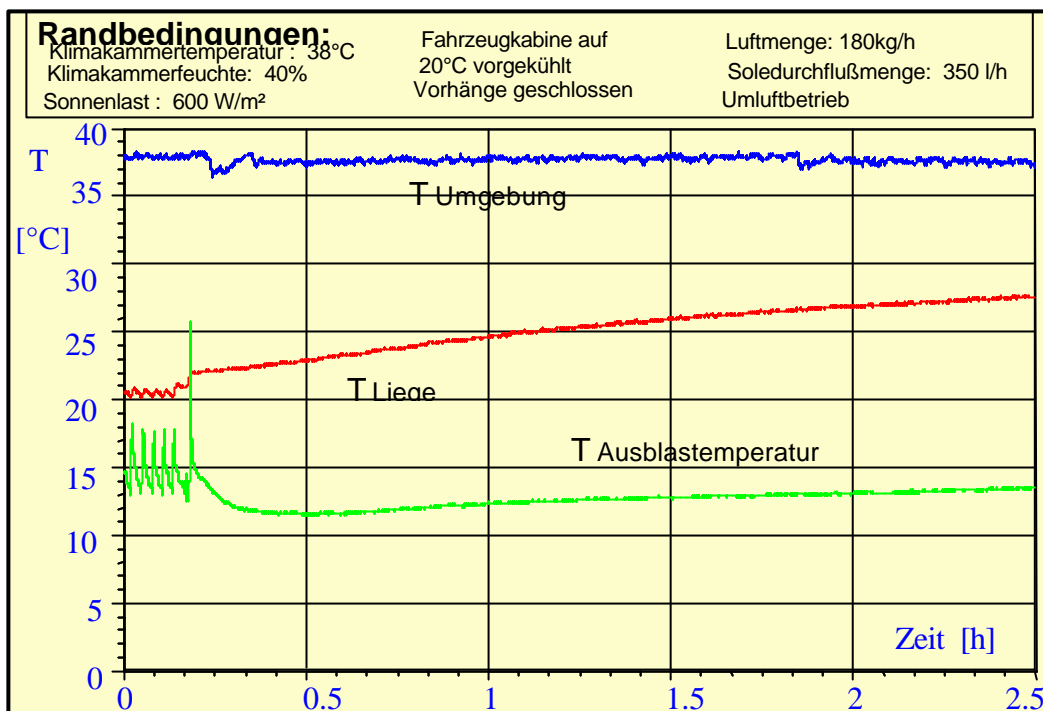
In Abb. 8 ist die Klimatisierung der Fahrerkabine im Stand bei einer Nachttemperatur von  $30\text{ °C}$  und einer relativen Feuchte von 40 % dargestellt. Die Temperatur der Ausblausluft lag bei  $10\text{ °C}$  und in der Kabine wurde eine Abkühlung von rd. 12 K erreicht.

Die Messung wurde ohne Temperaturregelung durchgeführt. Unter diesen Randbedingungen betrug die Kühldauer 10 h.



**Bild 9: Standklimatisierung mit Accusphere II in der Nacht**

Auch am Tag bei extremen Außentemperaturen und Luftfeuchten kann der Speicher zur Klimatisierung des Fahrerhauses eingesetzt werden. Abbildung 10 zeigt die mittlere Liegetemperatur von ca. 25 °C, die bei einer Außentemperatur von 38 °C und 40 % relativer Feuchte erreicht wurde. Die Ausblastemperatur lag bei 13 °C. Die Messung wurde ohne Temperaturregelung durchgeführt.



**Bild 10: Standklimatisierung mit Accusphere II am Tag**

#### 4.5.2.7 Wirkungsgrad und Kraftstoffverbrauch

In Abb. 11 ist die nutzbare Kälteleistung, die beim Entladen des Kältespeichers über Nacht (Randbedingungen siehe Bild 8) erreicht wurde, als Funktion der Betriebsdauer dargestellt.

Die Integration über die Zeit ergibt eine nutzbare Kältekapazität von 4 kWh.

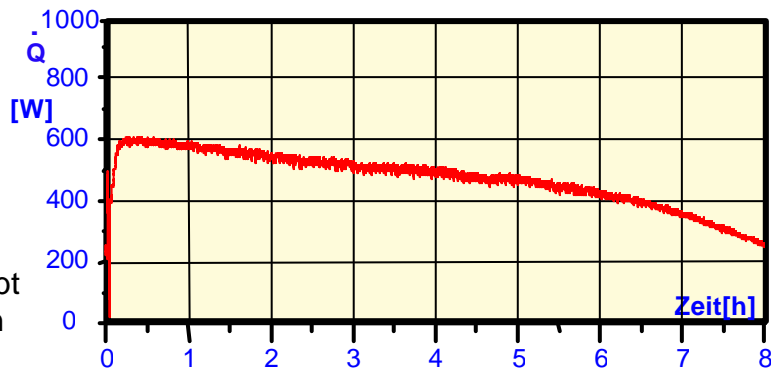


Abb. 11: Nutzbare Kälteleistung

Für die Beladung des Kältespeichers war bei einer Innenraumtemperatur von 22 °C, 50 % relativer Feuchte und einer Motordrehzahl von rd. 1500 U/min eine Kältekapazität von rd. 6 kWh nötig.

Das Verhältnis der nutzbaren zu der zugeführten Kälteenergie ergibt einen Speicherwirkungsgrad von rd. 0,7.

Der Kraftstoffmehrverbrauch zum Laden des Kältespeichers ist in der Größenordnung von 1,4 l. Dabei wurden für den COP der Klimaanlage und für den Wirkungsgrad des Kraftfahrzeugmotors die Werte 2 bzw. 0,22 angenommen.

## 5. Zusammenfassung

Mit Accusphere II hat Webasto bewiesen, dass Latentkältespeicher zur Standklimatisierung von Nutzfahrzeugen sehr gut geeignet sind. Sie haben den großen Vorteil, ohne Beeinträchtigung der konventionellen Klimaanlage während der Fahrt und bei nicht laufendem Motor im Stand, die überschüssige Kälteenergie des Kältekreislaufes mit hohem Wirkungsgrad zur Klimatisierung von Fahrerhäusern zu nutzen. Darüber hinaus benutzt diese interessante ökologische und ökonomische Alternative umweltfreundliche Speichermaterialien und verursacht relativ wenig Kraftstoffmehrverbrauch und Emissionen.

## 6. Literatur

- [1] Frank Stodolsky, Linda Gaines and Anant Vyas  
Analysis of Technology Options To Reduce the Fuel Consumption of Idling Trucks.  
Argonne National Laboratory, June 2000.
- [2] U.S. Environmental Protection Agency – [www.epa.gov](http://www.epa.gov)  
What you should know about idling reduction-Long-duration truck engine idling
- [3] Clean Air Fleets - [www.cleanairfleets.org/idling](http://www.cleanairfleets.org/idling)  
Vehicle Idling Reduction Strategies

- [4] Han Lim  
Study of exhaust emissions from idling heavy-duty diesel trucks and commercially available idle-reducing devices.  
U.S. Environmental Protection Agency – [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- [5] Truck Idling Regulations - [www.truckline.com](http://www.truckline.com)
- [6] Making trucks Earth-friendly; [www.eTrucker.com](http://www.eTrucker.com)
- [7] Truck Sto Electrification, [www.thruway.state.ny.us/commercial/truck-elec/truck-elect.html](http://www.thruway.state.ny.us/commercial/truck-elec/truck-elect.html)
- [8] IdleAire Locations- [www.IdleAire.com](http://www.IdleAire.com)
- [9] Truck Idling Reduction.  
California Environmental Protection Agency Air Resources Board - [www.arb.ca.gov](http://www.arb.ca.gov)
- [10] D. Magnetto, F. Mattiello, S. Mola, C. Malvicino, M. Costernino, S. Martini and D. Marzorati.  
The “cab-lounge” concept integrated systems for long-distance truck cabin thermal management.  
Proceedings of the VTMS 6 , p. 313 – 322, Brighton, Mai 2003
- [11] Technische Informationsblätter der Fa. Bycool.
- [12] Technische Informationsblätter der Fa. Oxycom.
- [13] Webasto´s Accusphere : introducing the cold storage battery.  
Automotive Airconditioning Reporter (AAR) 15, Jan-Feb. 1999, S. 4-6.