

badenova AG & Co. KG
Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz
Tullastr 61, 79108 Freiburg
als e-mail an:
anke.held@badenova.de

Abschlussbericht

Projektnummer:

2003-04

Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.12.2006

Projektname: **Entwicklung einer sorptionsgestützten Transportkühlanlage**

Zuwendungsempfänger:

SorTech AG, Emmy-Noether-Str. 2, 79110 Freiburg

1 Projektbeschreibung

Ziel des Projekts war ein neuartiges Kühlsystem für LKW-Transporte zu entwickeln, mit dem die kühlungsbedingten Verbrauchskosten um bis zu 40 % reduziert werden können. Derzeit verbraucht ein im regionalen Verteilverkehr eingesetzter LKW allein für das Kühlaggregat 2,5 bis 3 Liter Diesel pro Stunde – mit dem von SorTech konzipierten sorptionsgestützten Kühlsystem kann voraussichtlich der Verbrauch auf etwa 1,5 Liter abgesenkt werden, wodurch der Betreiber von Kühl-LKWs jährlich bis zu 2.000 € an Treibstoffkosten pro Fahrzeug einsparen kann.

Kern des sorptionsgestützten Transportkühlsystems ist eine in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg entwickelte Adsorptionskältemaschine (AdKM). Durch Integration der AdKM in die konventionelle Transportkälteanlage in Form einer Kaskadenschaltung kann die Kondensationstemperatur des Kompressionskältekreislaufs abgesenkt werden, so dass die Verdichterleistung und damit der Dieselverbrauch um bis zu 40 % abnimmt. Zum Betrieb der AdKM wird nahezu keine zusätzliche Energie verbraucht, da das Kühlwasser des LKW als Antrieb genutzt wird.

Geplanter Arbeitsumfang des Projekts:

- Prototypentwicklung des sorptionsgestützten Transportkühlsystems.
- Praxistest der Prototypen in Zusammenarbeit mit der Spedition karl dischinger.
- Vorstellung des Systems im September 2004 auf der IAA Nutzfahrzeuge Hannover.

2 Vorgehensweise

Mitte 2003 wurde ein Teststand aufgebaut, auf welchem ein erster Prototyp der Sorptionskältemaschine in Kopplung mit dem konventionellen Kompressionskältekreislauf aufgebaut und vermessen wurde. Die erwartete Energieeinsparung durch die Sorptionsanlage konnte experimentell nachgewiesen werden. Die Regelung und die hydraulische Verschaltung wurden an dieser Anlage getestet.

Da dieser Prototyp der AdKM noch ein zu großes Volumen und Gewicht aufwies, wurde eine verbesserte Maschine entwickelt, in der das Sorptionsmaterial nicht wie bisher in einer Schüttung vorliegt, sondern durch Beschichtung auf die Adsorberwärmeübertrager aufgebracht wird. Dadurch kann mit einem wesentlich geringeren Materialeinsatz die gleiche Kälteleistung erreicht werden.

Von dieser verbesserten Maschine wurde bis April 2005 ein Prototyp hergestellt und vermessen. Die Anlage zeigte eine bisher im Bereich Adsorptionskältemaschinen noch nicht erreichte Leistungsdichte von etwa 30 Liter/kW bei einem COP von 0,4.

Da der zeitliche Aufwand für die technische Entwicklung der Transportkühlanlagen und die Markterschließung von der SorTech AG unterschätzt wurde und zum damaligen Zeitpunkt aus verschiedenen Gründen auch weiterhin nur schwer kalkulierbar erschien, beschloss die SorTech AG, ihre Strategie zu ändern und vor der sorptionsgestützten Transportkühlanlage eine stationäre Adsorptionskältemaschine zur Marktreife zu bringen und zu vermarkten, welche die Erzeugung von Klimakälte mit niedrigen Antriebstemperaturen von 70 bis 75 °C möglich macht.

Aus diesem Grund wurde von der SorTech AG der Antrag gestellt das Projekt kostenneutral bis Ende 2006 zu verlängern und die Projektziele wie folgt zu ändern:

- Prototypentwicklung einer Adsorptionskältemaschine für die Gebäudeklimatisierung mit Fernwärme als Antriebsquelle.
- Praxistest der Prototypen an der Gewerbeakademie Freiburg in der Kühlsaison 2006.

Bis Ende 2005 wurde die bis zum Zeitpunkt der Strategieänderung entwickelte AdKM mit den beschichteten Adsorbern für den stationären Einsatz modifiziert. Der für den Praxistest entwickelte Prototyp besteht aus zwei Modulen mit einer Leistung von 4-5 kW pro Modul und erreicht bei Antriebstemperaturen von unter 70 °C einen COP um 0,5.

Zur praktischen Erprobung der Prototypanlage waren die Installation und ein Testbetrieb an der Gewerbeakademie Freiburg in der Kühlperiode 2006 vorgesehen, wo der Seminarraum „Schauinsland“ gekühlt werden soll. Die Installation des Kältekreislaufes wurde bereits im Dezember 2005 durchgeführt. Im April 2006 wurde die Adsorptionskältemaschine wie geplant an der Gewerbeakademie Freiburg installiert. Der Antrieb der Kältemaschine erfolgt durch den Fernwärmeanschluss. Zur Kälteverteilung wurde ein Kaltwassernetz mit Deckengeräten installiert, für die Rückkühlung wird ein Kühlturm eingesetzt.

Die Anlage wurde mit Messtechnik ausgestattet, um die Funktionsweise zu überwachen. Das Monitoring wurde im Auftrag der SorTech AG vom Fraunhofer ISE durchgeführt.

3 Erzielte Ergebnisse

Der Prototyp für den Test an der Gewerbeakademie Freiburg besteht aus zwei parallel verschalteten Modulen der AdKM. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Foto des Geräts:



Nennbedingungen:

Antriebstemperatur: 75/70 °C
Rückkühltemperatur: 32/27 °C
Kälteflüssigkeittemperatur: 14/18 °C
Kälteleistung: 8,0 kW
COP: 0,4
Gewicht, gefüllt: ca. 230 kg
Maße (B x L x H):
870 x 1450 x 1550 mm

Abb. 1. Foto des Prototypen für die Gewerbeakademie Freiburg

Für die Kühlung des Schulungsraum "Schauinsland" wurde eine geschätzte Kühllast von 8 - 10 kW ermittelt. Das Anlagenkonzept besteht aus folgenden Komponenten (vgl. Abb. 2):

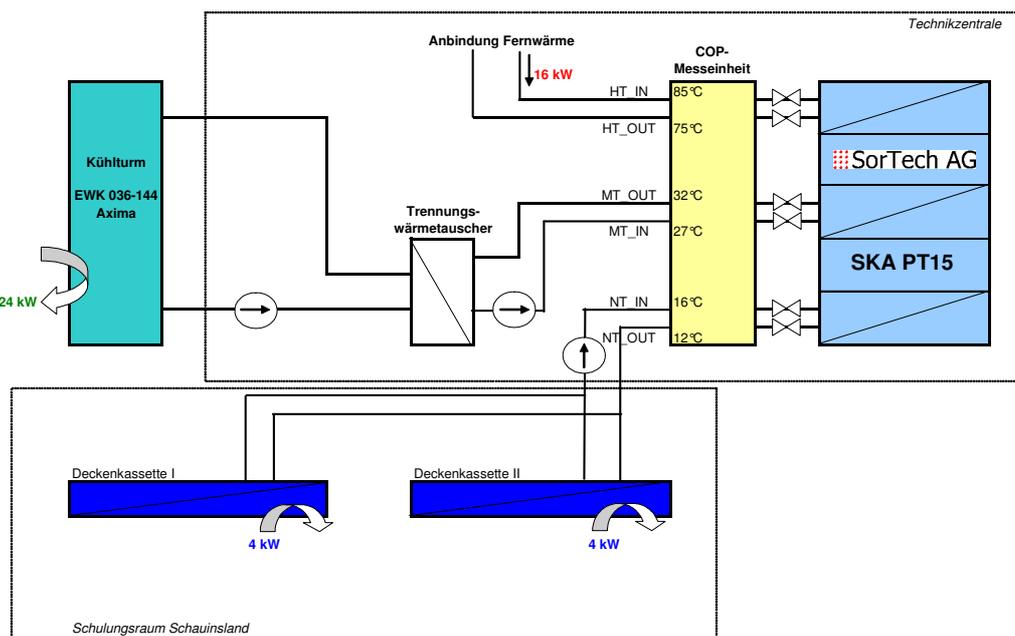


Abb. 2. Anlagenkonzept der Testanlage an der Gewerbeakademie Freiburg

- Antrieb: Nutzung des vorhandenen Fernwärmeanschlusses der Gewerbeakademie
- Rückkühlung mittels Nass-Kühlturm:
eingesetzt wurde das Model EWK 036-144 von Axima, mit automatischer Wassernachspeisung und ohne zusätzliche Wasseraufbereitung (vgl. Abb.3)



Gerätedaten:

| | |
|----------------------------|--------------|
| Rückkühlleistung: | 41,2 kW |
| Wasserumsatz: | 5,9 m³/h |
| Temperaturen VL/RL: | 25 / 31 °C |
| Eigenstromaufnahme Lüfter: | 0,1 / 0,5 kW |
| Wasserverbrauch: | 0,01 l/h |

Abb. 3. Foto des eingesetzten Rückkühlers von Axima.

- Kälteverteilung mittels Kaltwasser-Deckenkassetten
Die Kälteverteilung erfolgt über zwei Deckenkassetten AirWell K45 OG mit einer Nennkühlleistung bei VL/RL 7/12 °C = 10,2 kW (vgl. Abb.4).
Ausgelegt wurde der Kälte-trägerkreis jedoch auf VL/RL 14/18 °C, wodurch zwei Kassetten notwendig wurden um 8 kW Kälteleistung übertragen zu können.



Gerätedaten:

| | |
|--------------------|------------------------|
| Kühlleistung: | 5,1 kW/Kassette |
| Leistungsaufnahme: | 215 W |
| Luftvolumenstrom: | 1000 m³/h (Stufe 1) |

Abb. 4. Foto einer der eingesetzten Deckenkassetten.

- Installation einer Messeinheit zur Erfassung der thermischen und elektrischen Leistungen und zur Fernüberwachung des gesamten Anlagenbetriebs über DSL

Die Auslieferung und Inbetriebnahme des Gesamtsystems erfolgte am 24.04.06. Mit Hilfe der installierten Messtechnik und der Datenfernübertragung sollte eine möglichst breite Datenbasis erfasst werden, um u.a. Aussagen zu den folgenden Fragen treffen zu können:

- Wie zuverlässig und reproduzierbar arbeitet die SKA unter Einsatzbedingungen?
- Welche COPs und Leistungen sind unter Berücksichtigung von nutzertypischen Schwankungen zu gewährleisten?
- Wie sehen typischer Nutzerprofile aus?
- Wie effizient arbeitet die gesamte Anlage?

Die Messdaten wurden von der SorTech AG mittels Datenfernübertragung und in elektronischer Form an das Fraunhofer ISE zur Auswertung weitergeleitet. Insgesamt liegen aus der Betriebszeit durchgehend Messdaten vom 8.6.2006 bis zum 9.7.2006 vor, mit Ausnahme des 21. Juni 2006. Im Juli und August war die Anlage wegen eines Umbau des Fernwärmeanschlusses und der Ferienzeit nicht in Betrieb.

Auswertung der vorliegenden Messdaten

Die Auswertung basiert auf Stundenmittelwerten welche aus Rohdaten ermittelt wurden, die alle 10 Sekunden aufgenommen wurden.

Folgende Größen wurden u.a. erfasst:

- Betriebsdauer
- Vor- und Rücklauftemperaturen aller Kreisläufe (Antrieb, Rückkühlung und Kaltwasser)
- Volumenströme aller Kreisläufe zur Berechnung von Leistung und COP
- Raumtemperatur und –feuchte
- Außentemperatur und –feuchte
- Mittlere elektrische Leistung und Energieaufnahme aller Verbraucher

Um die Ergebnisse beurteilen zu können wurden Histogramme für die relevanten Größen erstellt. In diesen Histogrammen ist die Häufigkeit des Auftretens eines Wertes innerhalb eines definierten Intervalls dargestellt. Die erste und letzte Säule geben die Häufigkeit von Werten unter- bzw. oberhalb der angegebenen Grenzen an. Außerdem ist die Kurve der kumulierten Häufigkeiten in % im Diagramm eingezeichnet.

Nachfolgend wird ein Überblick über die wichtigsten Betriebsergebnisse gegeben und im Anschluss diskutiert:

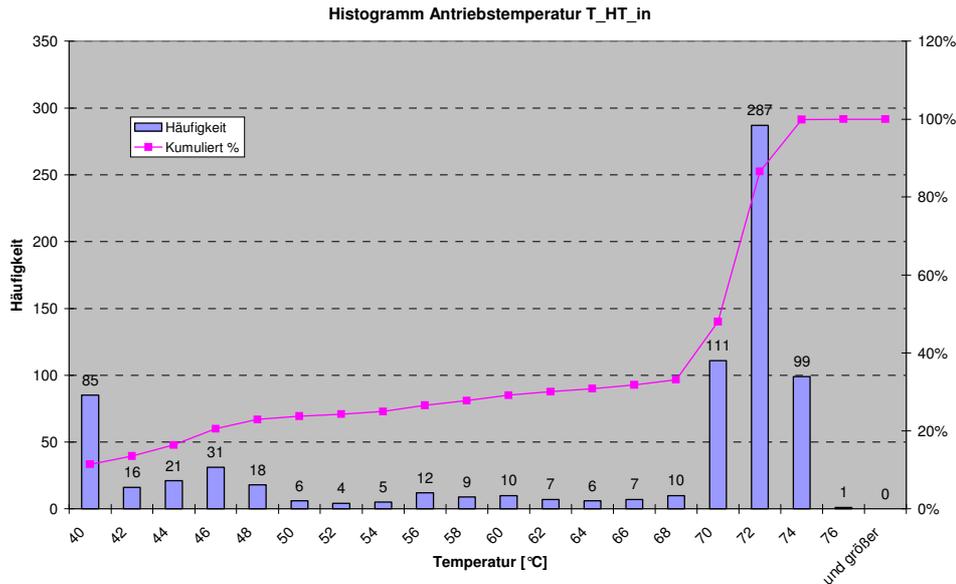


Abb. 5. Verteilung der Antriebstemperaturen der AdKM.

Die Verteilung der Antriebstemperaturen zeigt, dass in ca. 70 % der Betriebsstunden Antriebstemperaturen von 70 °C und mehr erreicht wurden. Die Maschine lief jedoch teilweise bis zu Antriebstemperaturen von 40°C, was nicht sinnvoll ist. Diese Betriebszustände müssen durch Einführung einer Mindesttemperatur als Einschaltkriterium abgefangen werden.

Durch den Kühlturm konnte zu allen Zeiten die Rückkühltemperaturen auf maximal 28 °C am Eingang der AdKM begrenzt werden.

Wichtigste Größe zur Beurteilung der Funktion der AdKM ist die Raumtemperatur.

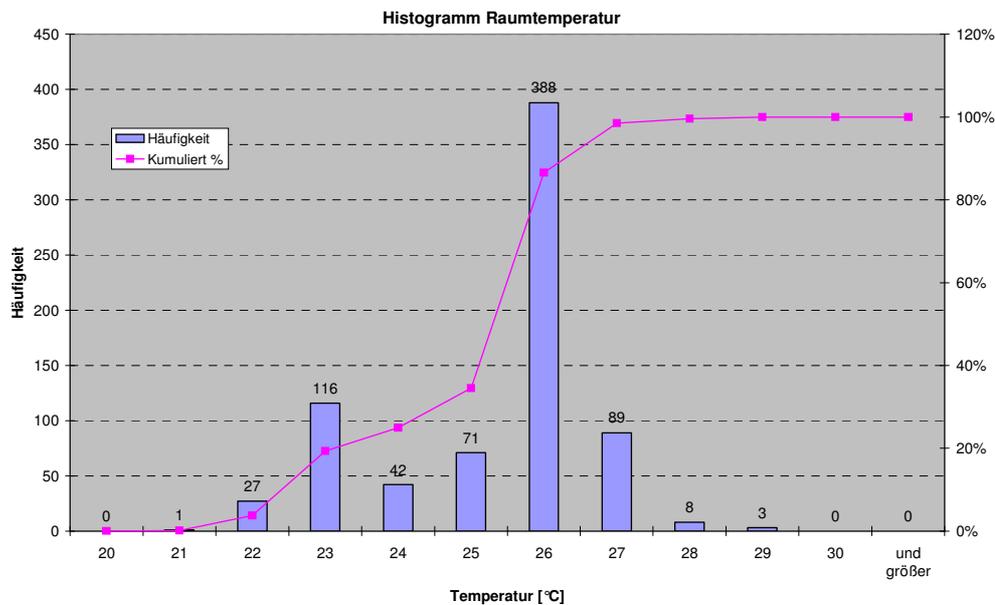


Abb. 6. Verteilung der Raumtemperaturen im Raum „Schauinsland“.

Das Histogramm zeigt, dass in ca. 90 % der Betriebsstunden die Solltemperatur von maximal 26 °C gehalten werden konnte. Trotz hoher Außentemperaturen von bis zu 36 °C konnte der Raum somit im Komfortbereich gehalten werden.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilung von Kälteleistung und COP:

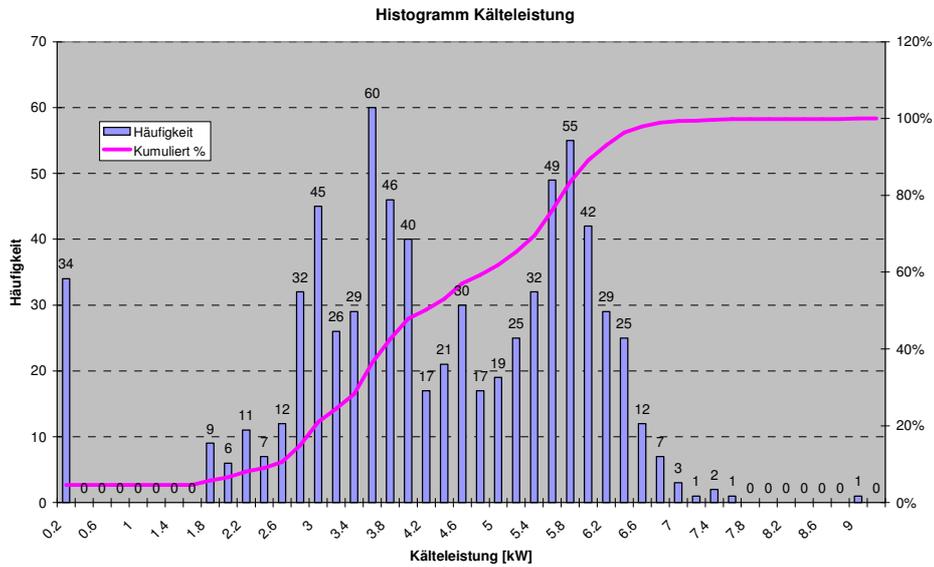


Abb. 7. Verteilung der mittleren Kälteleistung pro Stunde.

Die mittlere Kälteleistung pro Stunde wurde aus der momentanen Leistung der Maschine über die tatsächliche Betriebszeit in einer Stunde durch Mittelung berechnet. Zu erkennen sind zwei deutliche Peaks: einer bei 3.6 kW und ein zweiter bei 5.8 kW. Vermutlich sind hier zwei Lüfterstufen der Deckenkassetten zu sehen. Die geschätzte Kälteleistung von 8-10 kW wurde nie benötigt.

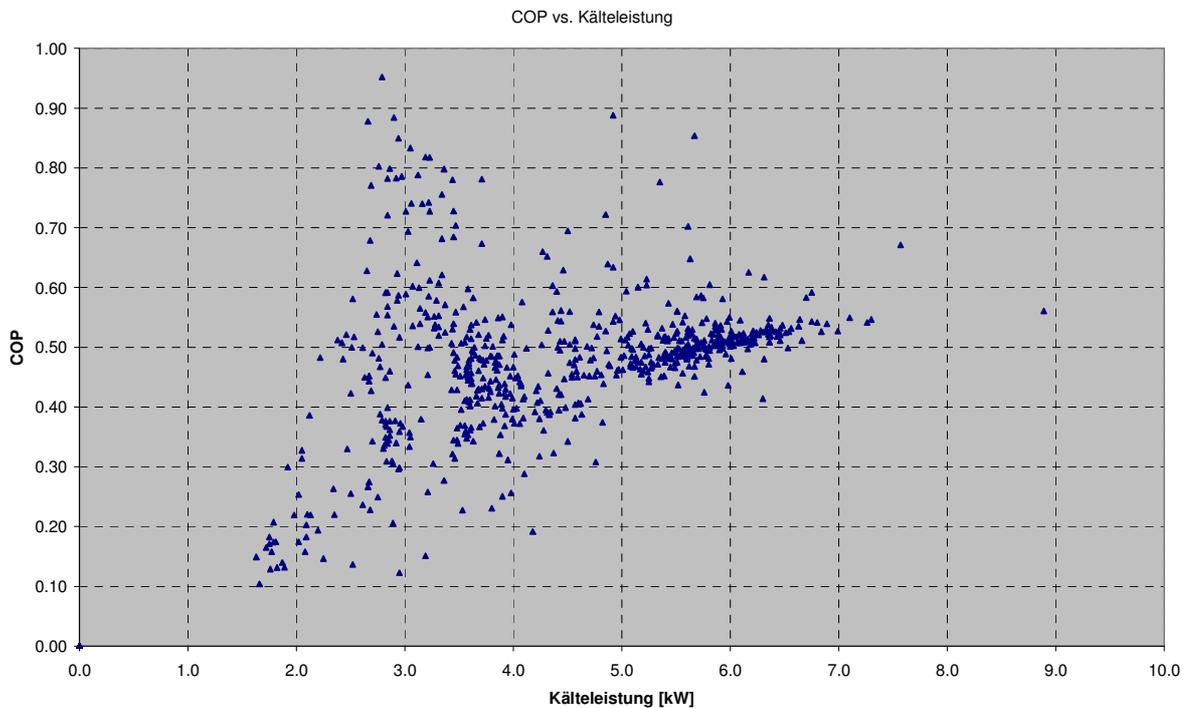


Abb. 8. COP über Kälteleistung.

Der COP wurde aus der umgesetzten Kälte und eingesetzten Wärme je Stunde berechnet.

Die Darstellung des COP über der Kälteleistung zeigt eine Häufung der Betriebszustände bei ca. 6 kW mit einem COP um 0,5. Daneben gibt es eine sehr breite Streuung von sehr niedrigen bis zu sehr hohen COPs in einem Leistungsbereich zwischen 2 und 4 kW. Der Betrieb mit den niedrigen COPs ist energetisch nicht sinnvoll und muss durch die Regelung abgefangen werden. Die Ursache für die hohen COPs ist noch nicht geklärt. Unter Umständen handelt es sich hier um Betriebszustände mit sehr niedrigen Rückkühltemperaturen.

Während die Klimatisierungsaufgabe durch die AdKM schon mit Antriebstemperaturen von 70 °C befriedigend gelöst wurde, hat sich der Stromverbrauch der Gesamtanlage, bestehend aus Adsorptionskältemaschine, Messtechnik, Pumpen aller drei Hydraulikkreise und Ventilatoren in den Deckenkassetten und im Kühlturm als deutlich zu hoch erwiesen. Im Mittel lag der stündliche Stromverbrauch in den Stunden konstanten Betriebes bei ca. 5.3 bis 5.8 kWh. Eine differenzierte Messung der Einzelverbrauchern wurde nicht durchgeführt nach einer Analyse der Installation wurde jedoch festgestellt, dass die Hauptverursache des zu hohen Stromverbrauchs in einer falschen Auslegung der Hydraulikpumpen im Nieder- und Mitteltemperaturkreis ist.

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Die Klimatisierung des Raums „Schauinsland“ durch Fernwärme ist mit der entwickelten Prototypanlage machbar.
- Trotz hoher Außentemperaturen von bis zu 36 °C konnte bei Antriebstemperaturen zwischen 70 und 74 °C aus dem Fernwärmenetz in ca. 90 % der Betriebsstunden die Raumtemperatur auf 26 °C gehalten werden.
- Es wurde eine typische Kälteleistung von ca. 6 kW mit einem COP von 0,5 gemessen. Die geschätzte Kälteleistung von 8-10 kW wurde nie benötigt.
- Der Stromverbrauch der Anlage ist jedoch deutlich zu hoch. Ursache ist vermutlich eine falsche Auslegung der Hydraulikkreisläufe. Hier ist ein unmittelbarer Verbesserungsbedarf vorhanden.

4 Ausblick

Nach Abstimmung mit der Gewerbeakademie Freiburg soll bis zur Kühlperiode 2007 durch die SorTech AG eine Optimierung der Hydraulikkreise und Austausch der Pumpen erfolgen. Danach wird das Monitoring über die Kühlperiode 2007 fortgesetzt und die Daten in analoger Weise ausgewertet. Bei Interesse werden wir diese Daten der badenova AG zur Verfügung stellen.

Generell hat der Feldtest die Funktionsfähigkeit der AdKM nachgewiesen. In der Zwischenzeit konnte von der SorTech AG der COP um 0,2 auf 0,6 verbessert werden. Derzeit wird geprüft, zusätzlich ein verbessertes Gerät an der Gewerbeakademie zu installieren. Dieses Gerät befindet sich gerade in Vorserienproduktion und soll im Jahr 2008 in eine Kleinserie von 100 Stück pro Jahr produziert werden.

Aufgrund der negativen Erfahrung mit der fremd vergebenen Planung und Installation der Hydraulikkreise wird die SorTech AG in Zukunft die Planung der Hydraulik selbst übernehmen und die AdKM im Paket mit einem angepassten Rückkühler anbieten.

Die ursprünglich geplante Produktentwicklung einer Transportkühlanlage wird nach erfolgreicher Markteinführung des entwickelten Geräts für den stationären Einsatz neu in Angriff genommen. Hier haben sich wegen des stark gestiegenen Dieselpreises die grundlegenden ökonomischen Randbedingungen seit Projektbeginn deutlich verbessert.

Unterschrift (wenn möglich):

(Projektkoordinator)

(Walter Mittelbach)