

Entwicklung eines solarbetriebenen, vakuumgedämmten Kühlschranks für medizinische Anwendungen

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt
Gefördert unter dem AZ 20559 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Joachim Kuhn, Prof. Peter Adelman,
Matthias Schneider, Dr. Roland Caps

Würzburg
April 2006

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Zusammenfassung	3
1. Einleitung.....	4
2. Hauptteil	5
2.1 Das Grundkonzept der Solarbox	7
2.2 Situation 1: reines Temperaturhalten im passiven Modus	11
2.3 Situation 2: aktives Abkühlen und Halten der Temperatur	12
3. Die Outdoorbox	16
4. Fazit	17

Anhang

- A1: Beschreibung Solarbox
- A2: Beschreibung Outdoorbox
- A3: Bestimmung des K-Wertes der Solarbox
- A4: Broschüre Solar assisted Cold Chain Management
- A5: Broschüre DBU: Solar – Kühlbox für die Medizin

Verzeichnis von Bildern und Graphiken

Abb.1: Solarbox und Solarsystem	11
Abb.2.: Halten der Temperatur im passiven Modus	12
Abb.3.: Abkühlen der Solarbox im aktiven Modus	13
Abb.4.: Abkühlen der Solarbox ohne Temperaturlimit	13
Abb.5: Kühlen mit der Solarbox bei sehr hohen Außentemperaturen von +40°C	14
Abb.6: Kühlen bei +35 °C	15
Abb 7: Regelverhalten der Box bei verschiedenen Außentemperaturen	15
Abb.8: Die Outdoorbox mit Tasche und Kühlakkus	16

0. Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde ein Container für den thermostabilen Transport und die Lagerung von Medikamenten vorzugsweise bei 2 bis 8 °C entwickelt.

Die umfangreichen Überlegungen und Befragungen zeigten, dass für die Praxis nur eine komplette Lösung von der Krankenstation bis hin zum Patienten im Camp sinnvoll ist. Dabei muss in vielen Fällen permanent der Temperaturbereich von 2 bis 8 °C eingehalten werden.

Die notwendigen Komponenten für die komplette Systemlösung wurden entwickelt. Dabei konnte für die Lagerhaltung (z.B. in der Missions- oder Krankenstation) auf eine sehr energieeffiziente Kühltruhe aus dem Programm der Phocos AG zurückgegriffen werden. Die Tragebox, die ebenfalls Vakuumisulationspaneele enthält und rein passiv wirkt, soll als Transportsystem „auf dem Feld“, also z.B. im Lager zur Verteilung von Impfstoffen, verwendet werden. Die gewünschte Funktionsweise konnte erreicht werden.

Die Solarbox als Herzstück des Systems und Hauptgegenstand der hier beschriebenen Entwicklung kann einerseits zum Zwischenlagern der Medikamente verwendet werden, andererseits als Transporteinheit auf einem Fahrzeug. Die Solarbox funktioniert in aufgeladenem Zustand ca. 1 bis 2 Tage bei 2 bis 8 °C ohne weitere externe Energiezufuhr. Die Energiezufuhr kann über eine Solaranlage erfolgen oder über eine andere elektrische Energieversorgung, z.B. die Autobatterie. Dabei wird die Energie dem Versorgungssystem nur dann entzogen, wenn die Energiezufuhr ausreichend gegeben ist. Ansonsten vertraut die Solarbox auf Ihre passiven Qualitäten.

Es zeigte sich dass die entwickelte Solarbox sehr gut funktioniert und dass der gewünschte Temperaturbereich selbst bei hohen Außentemperaturen von über 30 °C gewährleistet werden kann. Die erforderliche mechanische Robustheit ist gegeben. Ebenso konnte die Funktion der passiven Tragebox für ca. 24 Stunden gezeigt werden.

Das System hat also seine volle Machbarkeit gezeigt. Die Untersuchungen in den Feldtests in Tansania und bei anderen Einsätzen sind noch nicht abgeschlossen. Die Solarbox kann mit den verwendeten Systemen und Materialien problemlos hergestellt werden. Sollte sich ein größerer Bedarf einstellen, so ist das generelle Design der Box zu überdenken. Es könnten dann eventuell Formen beschafft werden

Das Projekt wurden von den Partnern Phocos AG und va-Q-tec AG gemeinsam konzipiert und durchgeführt. Es wurde von der DBU unter dem Aktenzeichen 20559 gefördert.

1. Einleitung

In Entwicklungsländern stellt die elektrische Kühlung neben dem Wunsch nach Beleuchtung, Radio und Fernsehen die am meisten gefragte Dienstleistung aus solar erzeugtem, umweltfreundlichen Strom dar. Oft kann dem Wunsch aber nicht entsprochen werden, weil die verfügbaren Kühlgeräte zu teuer in der Anschaffung sind oder einen zu hohen Energieverbrauch im Betrieb aufweisen.

Einen Pioniermarkt insbesondere in der Dritten Welt stellt die Medikamentenkühlung dar. Ziel des beschriebenen Projektes war es, ein in Betrieb und Anschaffung kostengünstiges, sowie robustes und umweltgerechtes Kühlgerät für diesen Markt zu entwickeln, das über solar erzeugtem Strom versorgt werden kann.

Bisher werden für diese Anwendung vor allem kompressorbetriebene Kühlgeräte zum Einsatz gebracht. Kompressoren haben aber verschiedene Nachteile. Diese Geräte benötigen zum Anlaufen einen sehr hohen Strom, der den Einsatz eines großen, störanfälligen Bleiakкумуляtors unumgänglich macht. Außerdem ist auch der Strom im Nennbetrieb relativ hoch, so dass eine solare Stromversorgung Probleme bereitet.

Mit konventionellen Dämmungen wie z.B. Polyurethanschäumen wäre die gewünschte geringe Kühlleistung ebenfalls nicht erreichbar. Es soll daher für das zu entwickelnde Produkt zum einen eine hoch effiziente Vakuumdämmung zum Einsatz kommen, so dass nur eine geringe Kälteleistung zur Verfügung gestellt werden muss. Zum anderen soll das Gerät mit einem sehr effizienten und robusten Peltierelement betrieben werden, das aus einem photovoltaischen Solargenerator gespeist werden kann.

Ein Peltierelement eignet sich sehr gut für die gestellten Anforderungen, da es in der Leistung stufenlos regelbar ist. Gerade bei kleinen Leistungen und relativ geringen Temperaturdifferenzen hat das Peltierelement einen sehr guten Wirkungsgrad. Die tagsüber gewonnene Solarenergie kann dem Kühlraum zugeführt und dort gespeichert werden. Aufgrund der hocheffizienten Dämmung und da bei einem Kühlgerät für medizinische Anwendungen nur mit einem geringen Kühlgutwechsel gerechnet werden muss, wird mit einem geringen Energieverbrauch gerechnet. Es ist ein Ziel des Projekts das Gerät, das ein Nutzvolumen von 30 Litern aufweisen soll, mit einer Nennleistung von 10 W betreiben zu können.

Aufgabe des Projekts ist es, ein Kühlgerät mit sehr geringem Energiebedarf zu entwickeln, das den nur begrenzt zur Verfügung stehenden Solarstrom z.B. aus einer Photovoltaik-Insulanlage effektiv nutzt. Je geringer der Energieeinsatz für einen Anwendungszweck ist desto geringer sind im allgemeinen auch die Umweltschäden. Bisher werden für diese Anwendung vor allem kompressorbetriebene Kühlgeräte zum Einsatz gebracht.

Kompressoren haben aber trotz ihres guten Wirkungsgrades verschiedene Nachteile. Diese Geräte benötigen zum Anlaufen einen sehr hohen Strom, der den Einsatz eines großen, störanfälligen Bleiakкумуляtors unumgänglich macht. Außerdem ist auch der Strom im Nennbetrieb relativ hoch, was zu einem Absinken der Batteriekapazität führt. Die bewegten Teile führen zu einem raschen Verschleiß und zu einer nicht unerheblichen Lärmbelästigung. Oft enthalten Kompressor-Kühlaggregate für die Umwelt schädliche Stoffe wie FCKW. Besonders in Entwicklungsländern ist der Einsatz solcher Geräte immer noch verbreitet. In vielen Fällen werden zu Kühlung auch ineffiziente Absorberkühlgeräte eingesetzt, die durch das ineffiziente Kühlprinzip hohe Emissionen freisetzen bzw. aufwendig hergestellten Solarstrom wenig effektiv nutzen.

Nicht zuletzt wird der umweltfreundlichen Photovoltaik durch immer neue wirtschaftliche Anwendungsfelder mit der Zeit zum Durchbruch verholpen.

Im vorliegenden Projekt soll weiterhin der Wirkungsgrad des Peltierelements im Gesamtsystem dadurch gesteigert werden, dass das Peltierelement die durch es erzeugte Kälteenergie in ein sehr gut thermisch isoliertes System einbringt. Die vorgenommene Energiespeicherung wird ebenfalls sehr effizient durch eine Spezialflüssigkeit vorgenommen, die ihren Phasenwechselbereich genau im interessanten $+2^{\circ}\text{C}$ bis $+8^{\circ}\text{C}$ Bereich hat.

2. Hauptteil

Nach Projektstart im Dezember 2003 wurden zunächst die ersten konkreten Schritte und Untersuchungen festgelegt. Dabei wurde zunächst ein Container bestimmt, der die dämmtechnischen Anforderungen erfüllt. Dieser wurde getestet und für die kommenden Schritte als gut befunden. Der nun gewählte Container weist einen Wärmeverlustwert von 0,42 W/K auf. Beim Deckel wurden verschiedene Konzepte zur Wärmedämmung der Durchdringung beim Peltierelement getestet. Unter anderem wurde dabei auch verschiedene Herstellungsarten von Vakuumpaneelen einbezogen.

Des Weiteren wurden verschiedene Schmelzspeichermaterialien (PCM) untersucht. Besonders vorteilhaft erscheint dabei ein Material auf Paraffinbasis, das einen Schmelzbereich zwischen +2°C und + 8°C aufweist. Dieses Material ermöglicht sowohl einen Schutz der innenliegenden Waren gegenüber Minustemperaturen aber vor allen Dingen einen Schutz gegenüber höheren Temperaturen. Gleichzeitig sind die gewählten PCM dadurch für eine Verwendung mit einem Peltier - Element vorteilhaft, dass sie bereits bei Temperaturen um die 0°C in den Festzustand überführt werden können. Dadurch wird die vom Peltierelement zu leistende Temperaturdifferenz deutlich geringer als bei herkömmlichen Wasser – Kühl- und Speicherelementen.

Eine Ansteuerelektronik für das Kühlaggregat wurde entworfen und getestet. Verschiedene Kühlaggregate mit verschiedenen Peltier - Elementen wurden ausprobiert. Das effizienteste für die Anwendung wurde ausgewählt. Mit diesem einstufigen Peltier - Element (40 mm x 40 mm) konnten bei 35 Watt Leistung eine Temperaturdifferenz von knapp 30 K erreicht werden. Die Speicherstrategien über Nacht mit verschiedenen Szenarien wurden besprochen und zum Teil durchgerechnet.

Die thermische Speicher- und Ladestrategie wurde berechnet, getestet und weiter verfeinert. Dabei wurde entschieden, verschiedene Optionen der Ladestrategie zu berücksichtigen:

- a) externe Ladung der PCM Speicher (z.B. in stationärer Gefriertruhe, falls vorhanden)
- b) Ladung / Auffrischung der PCM Speicher über die Batterie einer Solaranlage
- c) Ladung / Auffrischung der PCM Speicher über eine andere Quelle, z.B. Autobatterie

Dies soll ermöglichen, dass jeweils dann geladen bzw. aufgefrischt wird, wann immer genügend Energie zur Verfügung steht. Der Laderegler enthält dafür eine „Abfrageeinheit“, die feststellt, ob eine genügend kräftige Energiequelle oder genügend Energievorräte zur

Verfügung stehen. Vorbild dieser Ladestrategie ist das Kamel, das immer dann Wasser „bunkert“, wenn eine Quelle zur Verfügung steht.

2.1 Das Grundkonzept der Solarbox

Die Box soll zur stationären, solar versorgten oder mobilen Kühlung (auf Fahrzeugen) von Medikamenten verwendet werden. Da aufgrund der in diesen Betriebsfällen nur begrenzt zur Verfügung stehenden Energieversorgung hierbei eine möglichst effiziente Kühlung nötig ist, ist die Box von der Fa. va-Q-tec mittels Vakuum-Isolations-Panels thermisch hervorragend isoliert. Außerdem wird das Gehäuse der Box mechanisch sehr robust gestaltet, um sie vor Schäden durch rauhen Transportbetrieb auf Ladeflächen o.ä. zu schützen.

Das verwendete Peltier-Kühlaggregat wird von der Fa. Phocos AG geliefert.

Die speziell auf dieses Kühlgerät zugeschnittene Elektronik zur Regelung / Steuerung des Kühlaggregates wird ebenfalls von der Fa. Phocos geliefert.

Bei der Elektronik kam folgendes Konzept zum Einsatz:

Grundsätzliche Funktion:

Vorgekühlte Medikamente oder zu kühlendes Gut wird heruntergekühlt oder kühl gehalten, je nach Ladezustand des angeschlossenen Solarakkus / Fahrzeugakkus.

Die Elektronik unterstützt nicht den direkten Betrieb an einem Solarpaneel ohne Akku.

Hierauf wurde aufgrund der Seltenheit des Vorkommens dieser Betriebsart und der Komplexität der zusätzlichen Implementierung dieser Betriebsart in die Elektronik absichtlich verzichtet. Ein isoliert zur Verfügung stehendes Solarpaneel kommt in der Praxis auch relativ selten vor.

Zur Kühlhaltung wird die Kühlleistung des Peltierelementes stark zurückgefahren, und die Temperatur durch Latentspeichermaterial im Inneren der Box stabilisiert.

Falls über längere Zeiträume keine elektrische Energie zur Verfügung steht, kann ein Deckel ohne Kühlaggregat (Passive Kühlung) auf die Box gesetzt werden, um maximal mögliche thermische Isolation zu gewährleisten.

Die Elektronik erkennt automatisch, ob der Kühlschrank an ein 12 Volt bzw. 24 Volt System angeschlossen ist. (Im Folgenden gelten die in Klammern angegebenen Werte jeweils für das 24V System)

Die Elektronik misst die Betriebsspannung und erkennt so den Tag / Nacht Zustand des Systems, bzw. den Leistungs- oder Ladezustand des Systems.

Steigt die Spannung auf über 13,5V (27,0V), so schaltet das System auf starkes Kühlen mit einer Zieltemperatur von etwa 3°C.

Sinkt die Spannung auf unter 12,5V (25,0V), so wird auf „Erhaltungskühlung mit einer Zieltemperatur von etwa 6-8°C zurückgeschaltet, so daß sich das Kühlaggregat im Wesentlichen selbst isoliert und nur noch schwach kühlt, so daß das eingesetzte Latentspeichermaterial gerade noch nicht „auftaut“ oder nur sehr langsam. So wird erreicht, daß die Temperatur im Innern der Box nicht zu sehr ansteigt, und daß während kein Ladestrom (Kältestrom) in den die Box versorgenden Akku fließt, dieser nicht zu stark auftaut.

Als maßgebliches Steuer- und Regelement kommt ein spezieller Mikrocontroller zum Einsatz.

Als Stellglied zur Ansteuerung des Peltierelementes wird ein hocheffizienter Abwärtswandler mit Synchrongleichrichtung verwendet.

Die Kühlbox besitzt einen Innen- und einen Außentemperaturfühler.

Die Elektronik stellt dem Peltierelement in Abhängigkeit vom Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außentemperatur, und in Abhängigkeit von der Differenz zwischen Soll- und Ist- Temperatur im Innenraum, mehr oder weniger viel Leistung zur Verfügung.

Zusätzlich zu diesen Hauptaufgaben sind noch folgende Sicherheitsaufgaben implementiert worden:

- Unterspannungsabschaltung:

Falls die Versorgungsspannung der Schaltung 10,4 V (20,8V) unterschreitet, wird der DC-DC Wandler ganz abgeschaltet. Die Box wird dann thermisch sich selbst überlassen und auf deren passive Qualitäten wird vertraut.

Bei Übersteigen von 11,7V (23,4V) wird er wieder aktiviert.

- Strombegrenzung:

Unabhängig von den obigen, im Mikrocontroller verwirklichten Steuer- bzw.

Regelaufgaben begrenzt der Analogteil der Elektronik den Peltierstrom auf einen maximal zulässigen Wert, um das Peltierelement beim Anschluß des Kühlgerätes an eine 24V-Anlage vor hier ansonsten prinzipiell möglicher Überlastung zu schützen, da die maximale Betriebsspannung des eingesetzten Peltierelementes keinesfalls überschritten werden darf.

Die Spannungsschwelle der Unterspannungsabschaltung muß so gestaltet sein, dass keine Gefahr besteht, daß beim Langzeitbetrieb der Box an einem Starterakku eines Fahrzeuges, bei nicht laufendem Motor, der Starterakku zu weit entladen wird.

Konzept des hochisolierenden Containers:

Der Container selbst ist durch die hervorragenden Wärmedämmung so ausgelegt, dass bei Vollladung und wenigen Öffnungen der Box sowieso bereits 2 bis 4 Tage die Temperatur von 2 bis 8°C gehalten werden kann. Es ist dann davon auszugehen, dass innerhalb dieser Zeit immer eine Gelegenheit zur Ladung / Auffrischung gefunden werden kann.

Zur Wahl dieser Strategie, die der Praxis in Entwicklungsländern entspricht, hat wesentlich dazu beigetragen, dass wir das Missionsärztliche Institut Würzburg zu einer Praxisberatung gewinnen konnten. Es wurden ebenfalls Feldtests in Afrika mit den ersten Prototypen Box vereinbart.

Die technischen Spezifikationen wurden in eine Prototypen – Box umgesetzt. Diese Box wurde mehreren thermischen Tests unterzogen, um die Performance der Box unter verschiedenen Bedingungen auszuloten. Es zeigten sich durchweg positive Ergebnisse, so z.B. bei 2-8 Grad C innen eine Haltezeit der Box bei 30 Grad C außen von etwa 3 Tagen. Für das Peltierelement wurde eine Logik Schaltung entwickelt, welche die Ladung von den äußeren Bedingungen abhängig regelt. Die Ladelogik wurde den realen Bedingungen im Einsatz angepasst. Bei der Fertigung des Prototypen wurden weitere „Kinderkrankheiten“ eliminiert.

Die möglichen Einsatzbedingungen wurden bei verschiedenen potentiellen Nutzern erfragt. Es zeigt sich dabei, dass die Anforderungen und realen Szenarien wohl recht verschieden sein können. So ist beispielsweise die entwickelte Box für Transport und Lagerung mittlerer Mengen von Medikamenten geeignet. Lösungen in der Kühlkette fehlten noch für die stationäre Kühlung von größeren Mengen, sowie für die Feindistribution von kleineren Mengen, wie zum Beispiel der Impfung in Dörfern. Um diese beiden Probleme zu lösen, wird für das Gesamtsystem aus dem Produktportfolio der Phocos AG ein solar zu betreibendes Kühlgerät (Kompressortechnik) angeboten werden. Die va-Q-tec AG hat im Rahmen des Projektes eine kleinere Outdoor – Box entwickelt, mit deren Hilfe kleinere Medikamentenmengen verteilt werden können. So mit kann nicht nur eine einzige Box, sondern ein komplettes System „solare Kühlkette“ angeboten werden. Dies ist nach den recherchierten Gegebenheiten und Wünschen ein sehr sinnvoller Ansatz.

Es konnte gezeigt werden, dass das ursprünglich angedachte Konzept technisch weitgehend gemäß Planung umgesetzt werden kann. Durch die parallel aufgenommenen praxisrelevanten Situationsstudien hat sich gezeigt, dass die komplexe Kühlkette in

Drittweltstaaten nicht durch eine einzige Box abgebildet werden kann. Dementsprechend wurden mit dem vorhandenen Know-How der Projektpartner vor- und nachgeschaltete Lösungen angeboten, welchen die Kühlkette sinnvoll und notwendigerweise ergänzen

Als Ergebnis der durchgeführten Studien konnte folgende, zwei Boxen hergestellt werden:

Die Solarbox ist zur stationären, solar versorgten oder mobilen Kühlung (auf Fahrzeugen) von Medikamenten zu verwenden. Medikamente, z.B. Impfstoffe, müssen in vielen Fällen genau im Temperaturbereich zwischen $+2^{\circ}\text{C}$ und $+8^{\circ}\text{C}$ gehalten werden, da sie ansonsten ihre Wirkung vollkommen verlieren. Gerade diese Anforderungen sind unter den oft extremen klimatischen Bedingungen in Entwicklungsländern schwer einzuhalten. Da aufgrund der unter solchen Voraussetzungen nur begrenzt zur Verfügung stehenden Energieversorgung hierbei eine möglichst effiziente Kühlung nötig ist, ist die Box mit einem ausgefeilten Energiemanagement ausgestattet. Dazu gehören im Wesentlichen 3 Komponenten:

- Hervorragende thermische Isolierung mittels Vakuum-Isolationspaneelen
- Sehr effiziente Kältespeicherung durch Spezial Kühlakkus
- Ausgefeilte und sparsame Energiezufuhr mittels eines Spezial-Peltier-Elements gesteuert über eine speziell dafür entwickelte Energie Management Elektronik.

Das Gehäuse der Box ist mechanisch sehr robust und mit glatten Außenflächen und Alu – Stoßkanten gestaltet, um sie vor Schäden durch rauhen Transportbetrieb auf Ladeflächen o.ä. zu schützen (Abb.1). Die Box wird von außen bewusst nicht direkt durch ein Solarpaneel versorgt, sondern über eine dazwischengeschaltete Pufferbatterie, was praktisch an allen Solaranlagen gegeben ist. Dies ermöglicht zugleich den Betrieb z.B. im Fahrzeug oder wann immer eine 12V oder 24V Versorgung gegeben ist.



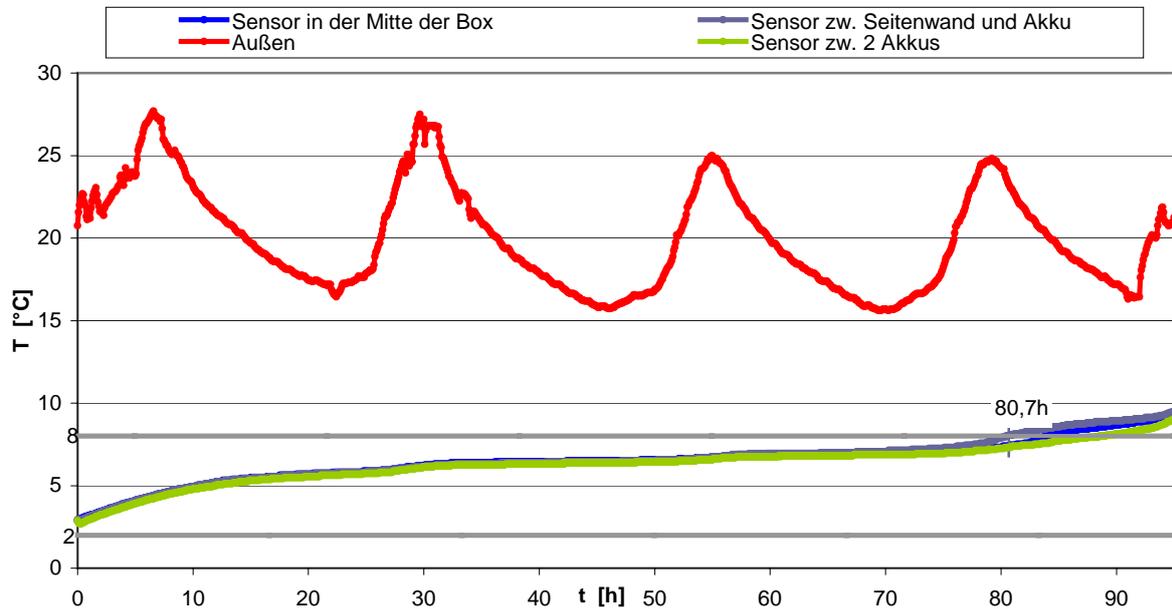
Abb. 1: die robuste solare Kühlbox angeschlossen an ein Solarsystem bestehend aus Solarpaneel, Laderegler und Batterie.

Die Box hat mehrere thermische Lade- und Haltezustände, die von der Logikschaltung selbst erkannt und entsprechend gemanagt werden. Diese Situationen sind beispielsweise:

2.2 Situation 1: reine Halten der Temperatur im passiven Modus

Die Medikamente und Kühlakkus sind vorgekühlt, die Box muss nur die Temperatur halten – es genügt eine äußerst geringe Leistung von 5 bis 10 Watt, um den Wärmeeintrag in die Box zu kompensieren; Steht selbst diese Minimalleistung nicht zur Verfügung, so hält die Box dennoch 2 bis 4 Tage lang (je nach Außentemperatur) stabile $+2^{\circ}\text{C}$ bis $+8^{\circ}\text{C}$ innen. Dies ist in Abb 2. dargestellt. Man erkennt, dass selbst starke äußere Temperaturschwankungen die Innentemperatur der Box nicht beeinflussen.

Abb.2: Solarbox: Haltezustand ohne Energiezufuhr
 Inhalt: 6 x 10L+04G Akkus (an den Seitenflächen);
 Mittelwert der Außentemperatur: 22,0°C;
 Normaler Case-Deckel



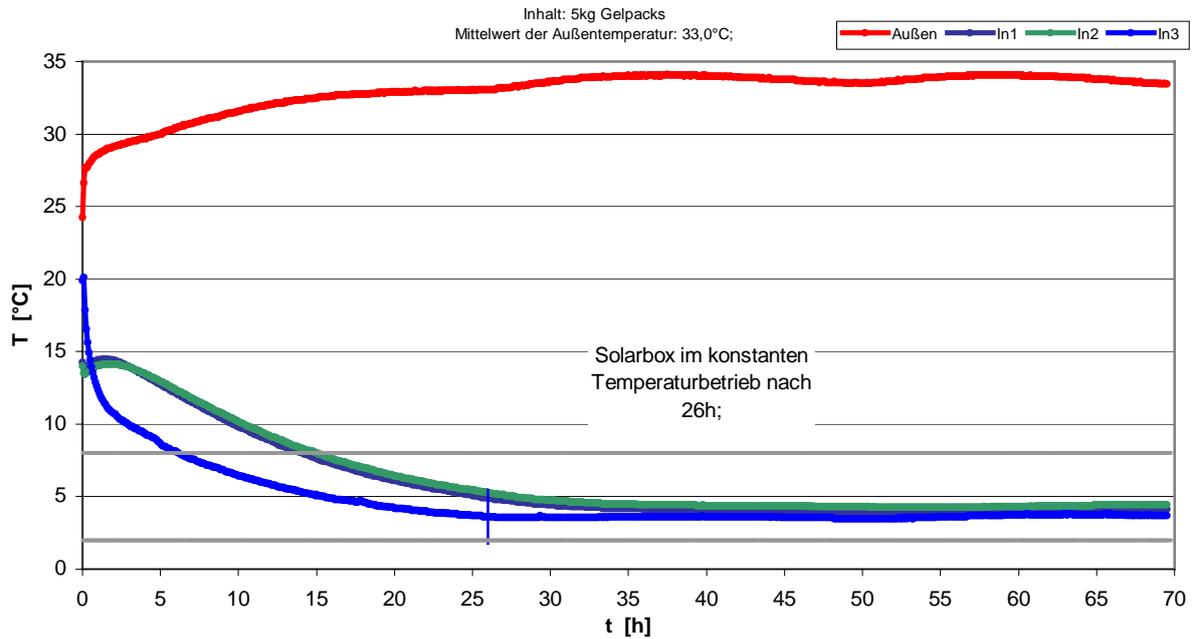
Dieses Szenario spielt nicht nur im Notfall, also bei einer nicht ausreichend zur Verfügung stehenden elektrischen Energieversorgung einer Rolle, sondern kann auch bewusst für eine gute energetische Anfangsausstattung der Box genutzt werden. Die Box kann auch grundsätzlich so alleine betrieben werden, allerdings wäre es dann sinnvoll den Deckel mit Peltierelement durch einen gut gedämmten Deckel zu ersetzen..

2.3 Situation 2: aktives Abkühlen und Temperaturhalten

Gut und Kühlakkus sind nicht vorgekühlt, es steht elektrische Energie zur Verfügung – Das Energiemanagement – System erkennt dies selbstständig und ruft die maximale Kühlleistung (etwa 50 W) ab, insofern diese zur Verfügung steht. Medikamente und Kühlakkus sind innerhalb von wenigen Minuten von einer Temperatur unter +8°C umgeben; die vollständige Durchkühlung der Medikamente ist innerhalb von Stunden, die der Kühlakkus innerhalb von Tagen erreicht.

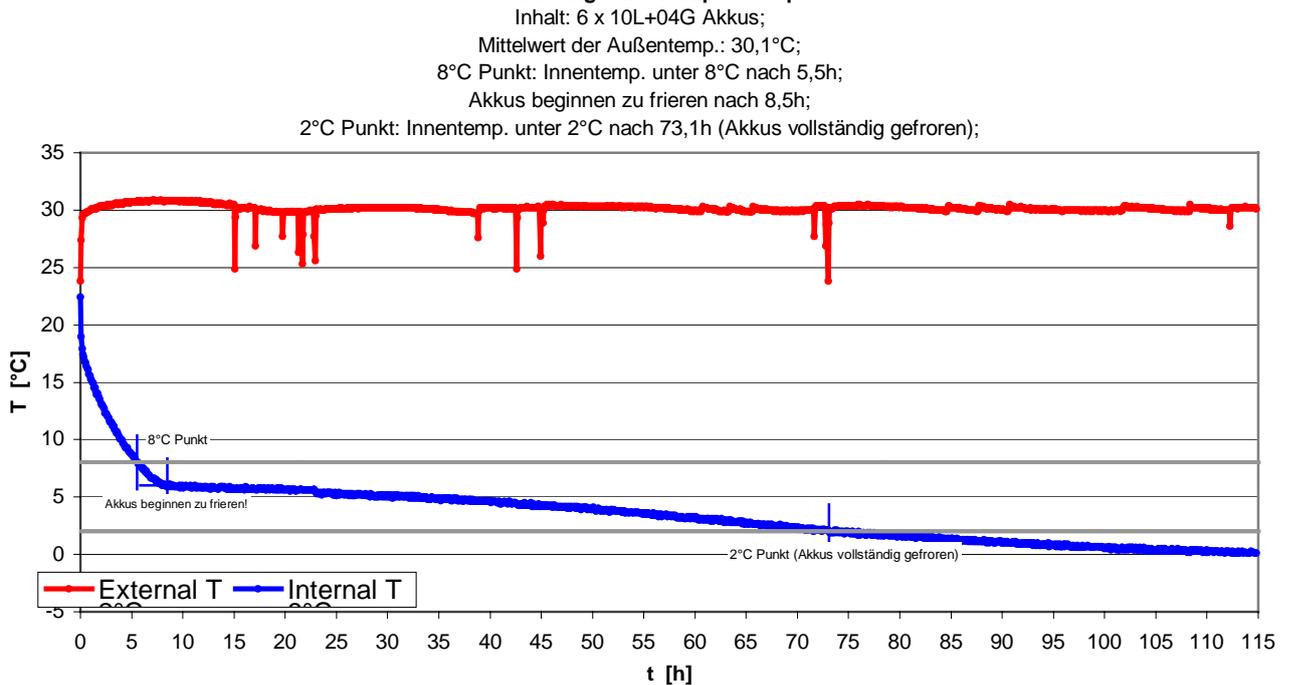
Wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, kühlt die Box selbst bei Außentemperaturen über +30 °C das Gut (in diesem Fall 5 kg wasserhaltige Dummyware) innerhalb einiger Stunden in den gewünschten Bereich von +2°C bis +8 °C. Die untere Temperaturschwelle von +2°C wird dabei nie unterschritten, sondern mit einem „Sicherheitsabstand“ von 1K gut eingehalten.

Abb. 3: Abkühlverhalten der Solarbox



Um die Wirkungsweise der Regelschaltung und die Möglichkeiten des Peltierelements zu zeigen, wird in folgender Messung mit 5 kg Gut und 4 Liter Spezialkühlakkus die „+2°C Barriere“ entfernt und das Peltierelement auf maximale Kühlleistung gefahren. Man erkennt deutlich, dass die Kühlelemente nun zunächst komplett durchgekühlt werden und dass Temperaturen unter +2 °C erreicht werden können. Das maximale δT , dass sich einstellt, kann durch das hier verwendete einstufige Peltierelement etwa 30 K betragen.

Abb.4: Kühlung ohne Temperatursperre



Um die maximale Performance der Solarbox bei hohen Außentemperaturen zu zeigen, wurde eine Messung der Box bei einer Außentemperatur von +40°C durchgeführt.

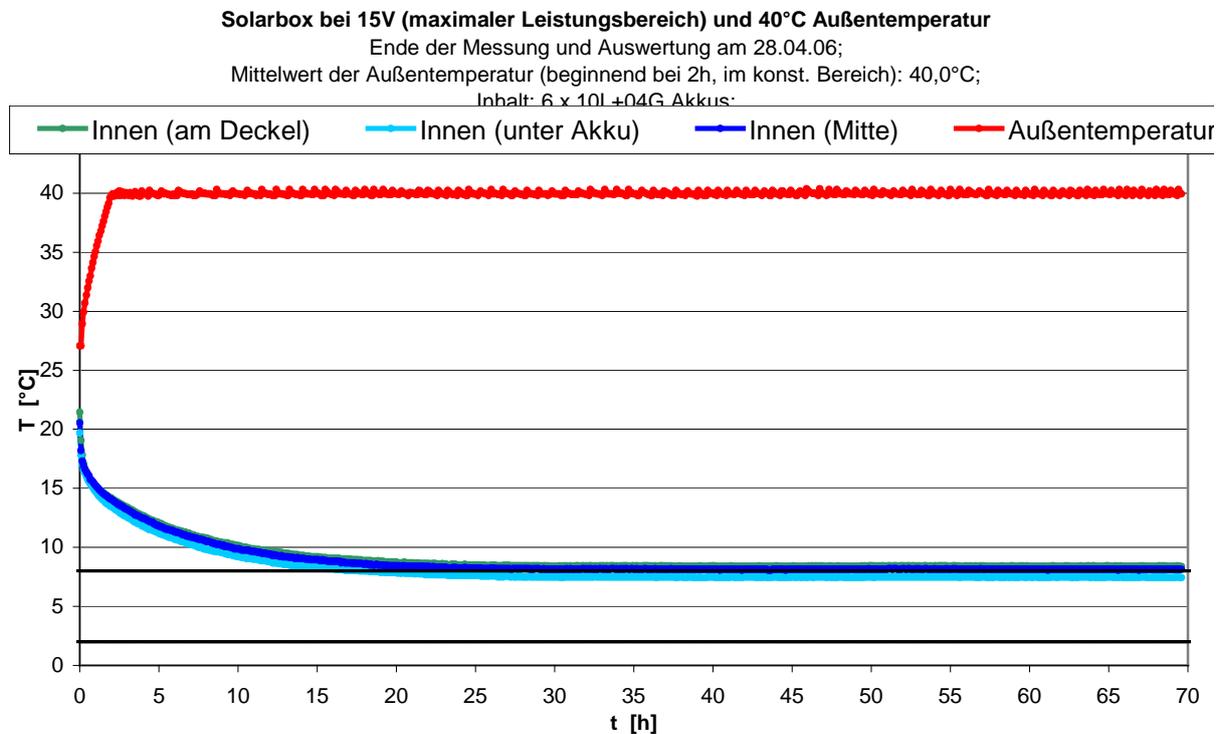


Abb.5 Kühlen der Solarbox bei maximaler Beanspruchung und +40°C Außentemperatur

Es zeigt sich, dass trotz dieser sehr hohen Beanspruchung sich die Solarbox zumindest auf die Temperatur von +8 °C einregeln kann. Dies ermöglicht zwar keine Ladung der Kühlakkus mehr, aber zumindest werden bereits vorgekühlte Akkus von einer Entladung weitgehend abgehalten. Dies ist natürlich ein großer Vorteil, der die Haltezeit und Betriebsdauer der Solarbox deutlich verlängern kann.

Es empfiehlt sich in diesem Fall, wenn extrem hohe Außentemperaturen über +40 °C zu erwarten sind, die Akkus und das Gut bereits vorzukühlen und dann dadurch die Vorteile der Solarbox zu nutzen.

Des Weiteren wurde anhand der folgenden Messung gezeigt, dass sich das Regelverhalten der Box bei einer Außentemperatur von +35°C wie gewünscht einstellt. Dazu wurde die Box mit etwa 5kg Gut bestückt.

Solarbox bei 15V (maximaler Leistungsbereich) und 35°C Außentemperatur

Ende der Messung und Auswertung am 02.05.06;
 Mittelwert der Außentemperatur: 35,5°C;
 Inhalt: 6 x 10L+04GAkkus;

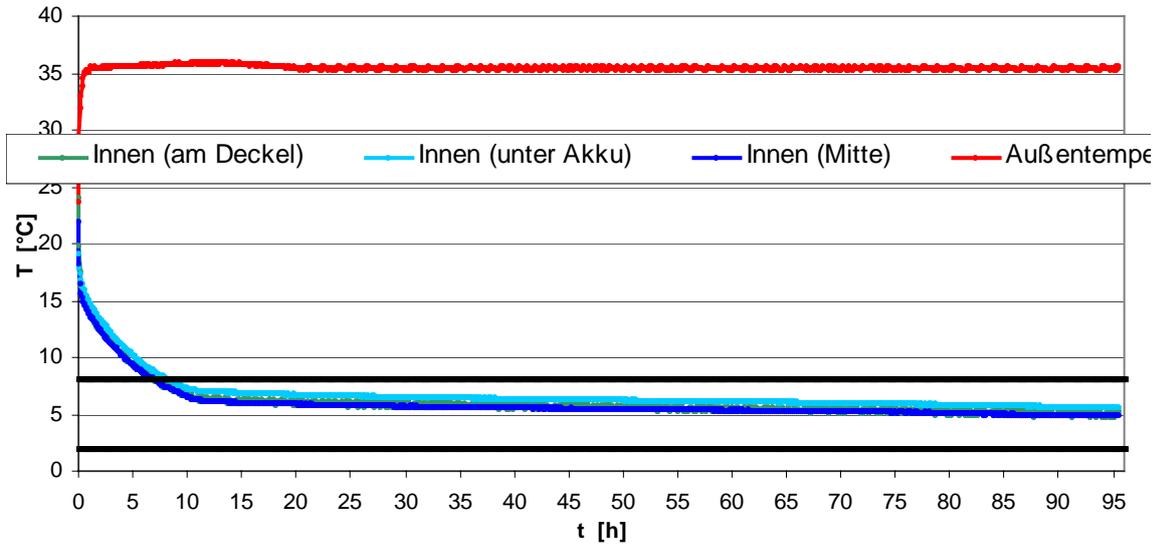


Abb. 6: Kühlen der Solarbox mit 5kg Gut bei einer Außentemperatur von +35 °C

Schließlich wurde die Solarbox bei verschiedenen Außentemperaturen unterhalb von 35 °C auf ihr Regelverhalten hin überprüft. Wie man in Abb.8 erkennen kann, wird der Bereich von +2°C bis +8°C in allen Fällen sehr gut eingehalten. Damit konnte nun für praktisch alle vorkommenden Fälle die Einsatzbereitschaft der Box demonstriert werden.

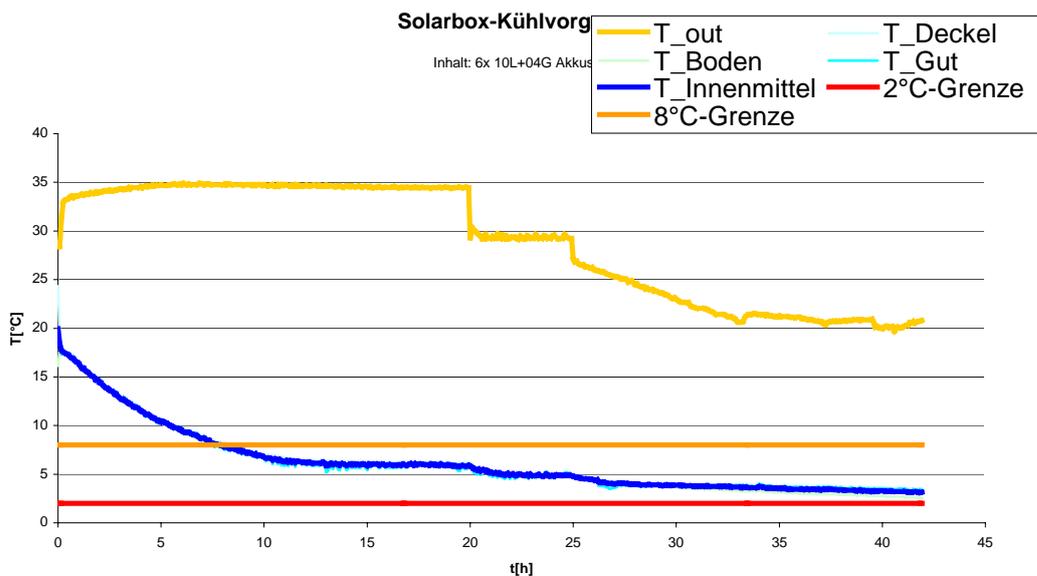


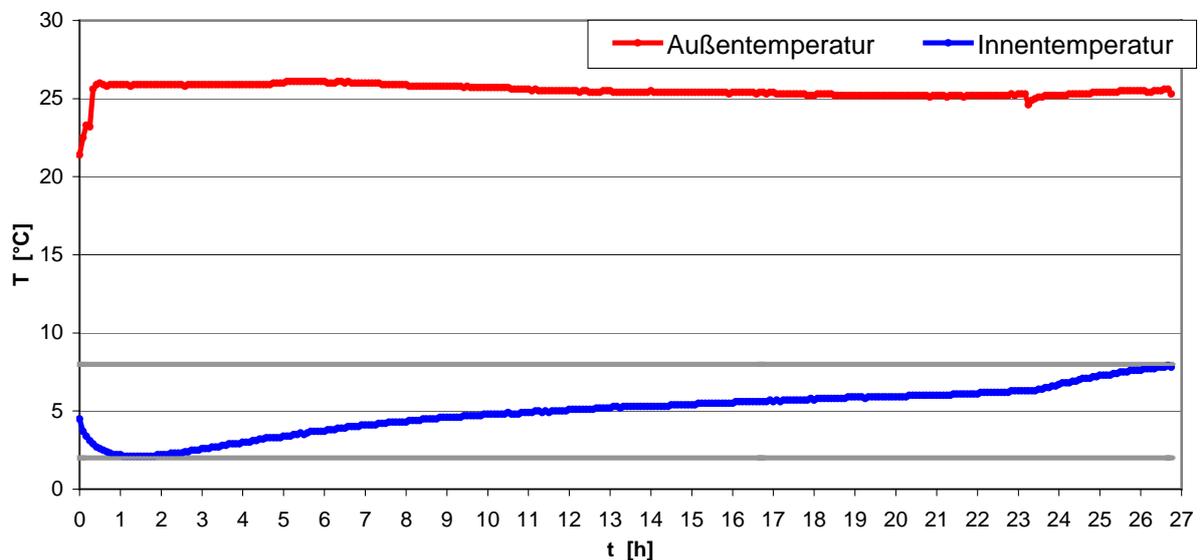
Abb. 7:

Die Solarbox bei sich ändernder Außentemperatur zur Demonstration des Regelverhaltens.

3. Die Outdoorbox

Die Praxis in den Entwicklungsländern zeigt, dass für die Verteilung von Medikamenten vor Ort in vielen Fällen auch ein stabiler Transport kleiner Mengen ohne jegliche Energiezufuhr notwendig sein muss. Um auch diese sog. Feindistribution zu ermöglichen wurde eine praktische und robuste Umhängetasche entwickelt, die ebenfalls mit Vakuumisolation hervorragend isoliert ist und mittels kleiner Kühlakkus selbst bei einer Außentemperatur von über $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ eine Innentemperatur von $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 12 Stunden lang halten kann. Bei moderat hohen Außentemperaturen ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) sind sogar 24 Stunden Haltezeit im gewünschten Temperaturintervall möglich (siehe Abb.3).

Abb.8: Outdoorbox
 Inhalt: 4 x 02L+04G-Akkus,
 680g Medikamente
 Mittelwert der Außentemperatur: $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;



Die Solarbox und die Umhängetasche (siehe Abb.4) ergänzen sich somit hervorragend und ermöglichen einen sicheren und temperaturkontrollierten Transport von Medikamenten selbst unter extremsten Bedingungen.



Abb. 8: Outdoorbox

4. Fazit:

Die in diesem Projekt gewonnenen Ergebnisse belegen eindeutig die Funktionsfähigkeit des vorgestellten Konzeptes. Durch die verwendeten High-Tech Materialien wird ein einfaches und robust funktionierendes System aufgebaut, das den Risiken und Gegebenheiten des realen Einsatzes in sehr heißen Ländern Rechnung trägt. Mit dem hier entwickelten Konzept und den Komponenten kann eine komplette Kühlkette bei +2°C bis +8 °C auch unter tropischen Bedingungen eingehalten werden. Konzept und Komponenten können und müssen in weiteren Feldtests noch verfeinert werden.

Die Solarbox als Herzstück der hier dargestellten Entwicklung löst in den allermeisten der real auftretenden Situationen die Probleme der Temperaturanforderung außerordentlich gut. Schwächen zeigt die Solarbox nur dann, wenn man die Box ohne Vorkühlung in einer Situation verwendet, bei der von vorneherein sehr hohe Außentemperaturen und keine irgendwie geartete elektrische Versorgung gewährleistet ist. Diese Szenario kann aber durch die Menschen, die die Solarbox betreiben, durch deren vielfältige Möglichkeiten sehr gut umgangen werden.

Anhänge:

- A1: Technische Beschreibung Solarbox
- A2: Technische Beschreibung Outdoorbox
- A3: Bestimmung des K-Wertes der Solarbox
- A4: Broschüre: Solar Assisted Cold Chain Management
- A5: Broschüre DBU:Solar – Kühlbox für die Medizin

Danksagung:

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die gewährte Projektunterstützung und die gebotenen Möglichkeiten der öffentlichen Projektdarstellung.