



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

**Jahresbericht 5. Januar 2010**

---

## **Hocheffiziente Isolation für Hausgeräte**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

Helbling Technik AG  
Hubstrasse 24  
CH-9500 Wil  
[www.helbling.ch](http://www.helbling.ch)

**Autoren:**

Hans Tischhauser, Helbling Technik AG, [hans.tischhauser@helbling.ch](mailto:hans.tischhauser@helbling.ch)  
Gerhard Staufert, freier Mitarbeiter Helbling Technik AG, [gs@galileo-ag.ch](mailto:gs@galileo-ag.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Dr. Michael Moser

**BFE-Programmleiter:** Roland Brüniger

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 154336 / 103290

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.



# Zusammenfassung

Im Rahmen einer am 14.09.2009 gestarteten Machbarkeitsstudie werden Ansätze für eine hocheffiziente thermische Isolation von Hausgeräten untersucht. Dies geschieht an den beiden Beispielen „Kaffeemaschine“ und „Kühlschrank“, wobei davon ausgegangen wird, dass die untersuchten Ansätze auf weitere Hausgeräte übertragbar sind. In einer Vorstudie wurden unterschiedlichste Ansätze hocheffizienter Isolationen mit dem Resultat untersucht, dass man sich im Rahmen der jetzt durchgeführten Studie auf vakuumisierte Strukturen ohne Kernmaterialien konzentriert. Da eine derartige Isolation nur thermisch wirksam ist, wenn dauerhaft Innendrücke von  $< 10^{-3}$  mbar eingehalten werden, kommen als Wandmaterialien nur Metalle, Glas oder metallbeschichtete Kunststoffe in Frage.

Bis zum Berichtsdatum wurden 2 mit Vakuumisolation ausgestattete, vollständige Funktionsmuster einer Kaffeemaschine sowie 3 Testbaugruppen mit den thermisch relevanten Teilen dieser Kaffeemaschine erstellt. Erste Messresultate bestätigen, dass die angestrebte Zielsetzung Null-Standby-Energie gekoppelt mit einem Komfortgewinn durch kürzere Aufheizzeiten technisch machbar ist. Die weiteren Arbeiten werden sich darauf konzentrieren, Möglichkeiten zur Fertigung mit marktgerechten Kosten für einen bestimmten Anwendungsfall zu erarbeiten sowie die Langzeit-Zuverlässigkeit des gewählten Ansatzes abzuschätzen.

Für den Kühlschrank werden 2 unterschiedliche Ansätze untersucht. Bei beiden Ansätzen wird davon ausgegangen, dass damit - bezogen auf einen A++ Kühlschrank - technisch eine Verlust-Energiereduktion von ca. 80% realisiert werden kann.

Beim ersten Ansatz werden 2 konzentrisch umeinander rotierbare doppelwandige zylindrische Teile untersucht, welche so gestaltet sind, dass sie sich in einem relativ breiten Winkelbereich überlagern und bei entsprechender Rotationslage einen Zugang zum Innern freigeben. Ein derartiges Funktionsmuster wurde strukturmechanisch mittels FEM ausgelegt sowie durchkonstruiert und befindet sich momentan in Fertigung. Erste Messungen mit diesem Funktionsmuster werden voraussichtlich im Januar 2010 stattfinden.

Beim zweiten Ansatz wird versucht eine potenziell kostengünstige Lösung zu finden, bei welcher die übliche kubische Form eines Kühlschranks beibehalten wird. Dies verlangt für die Realisierung eines Vakuumspalts ohne Kernmaterial vor allem eine Lösung der beiden Problemstellungen „Distanzhalter zur Beibehaltung eines minimalen Vakuumspaltes“ und „Randbereich mit minimiertem Wärmetransport“. Bezuglich beider Problemstellungen wurden Ansätze erarbeitet, die aber bisher noch nicht zur Konstruktion des zu bauenden Versuchsmusters geführt haben.

# Projektziele

## Prinzipielle Zielsetzungen

- Erarbeiten und Machbarkeitsprüfung der Technologie für eine **hocheffiziente thermische Isolation von Hausgeräten** und Aufzeigen der resultierenden **Energiesparpotentiale**.
- Aufzeigen der Möglichkeiten und Chancen dieser neuen Technologie für die Kunden.
- Erarbeiten von Grundlagen für umweltfreundliche und energieeffiziente **Techniken im Bereich Hausgeräte**.
- Prüfung der technischen **Machbarkeit zweier Anwendungen** (Kaffeemaschine, Kühlschrank) bis hin zu den Funktionsmustern.

Die durchgeführte Machbarkeitsstudie befasst sich mit den beiden Anwendungen "Hocheffizientisierte Kaffeemaschine" und "Hocheffizient isolierter Kühlschrank".

## **Hocheffizient isolierte Kaffeemaschine**

### 1. Zielsetzungen:

- **Komfortgewinn** durch kurze Wartezeit bis zur Bereitschaft, d.h. durch eine kurze Aufheizzeit nach einer längeren Abkühlperiode.
- Drastische **Reduktion** der benötigten **Standby-Energie**.
- Namhafte **Reduktion der mittleren Energie** pro Tasse Kaffee

### 2. Erwartete Ergebnisse:

- Reduktion der Aufheizzeit von bisher 22 Sekunden auf ca. 5 Sekunden nach einer Abkühlperiode von 2 Stunden.
- Reduktion der Standby-Energie auf Null durch eine automatische vollständige Abschaltung der Kaffeemaschine nach dem Bezug eines Kaffees.
- Beispielsweise eine Reduktion des im Mittel notwendigen Energieaufwandes für 0.1 Liter Kaffee bis zu 50 %.

### 3. Zeitplan:

#### 3.1. Bis 30.11.2009

- Aufbau einer Gruppe von identischen Testaufbauten, die möglichst nahe bei der angestrebten Lösung, der Isolation mittels Vakuumspalt, liegen.
- Durchführung erster Messungen zur Ermittlung des Abkühlverhaltens .

#### 3.2. Bis 31.01.2010

- Durchführung von Mess-Serien zur Ermittlung des Abkühlverhaltens und des "Langzeit"-Verhaltens des Vakuums.
- Überprüfung und allfällige Anpassung der heute vorliegenden thermischen Simulationsrechnungen.
- Grobkonzeption möglicher Produkte
- Review und Festlegen des weiteren Vorgehens.

#### 3.3. Bis 31.05.2010

- Allfällige Anpassungen.

## **Hocheffizient isolierter Kühlschrank**

### 1. Zielsetzungen:

- Kundennutzen durch **vergrösserten Nutzinhalt** bei gleichen Außenabmessungen.
- Herstellernutzen durch **Senkung der Herstellkosten pro Liter Nutzinhalt**.
- **Reduzierter spezifischer Energieverbrauch** von 80% und mehr.

## 2. Erwartete Ergebnisse:

- Beispielsweise 350 Liter Nutzinhalt statt 255 Liter eines entsprechenden A++ Kühlschranks, d.h. eine Erhöhung des Nutzinhaltes um ein Drittel.
- Beispielsweise 85% bis 100% der Herstellkosten pro Liter Nutzinhalt verglichen zu einem entsprechenden A++ Kühlschrank.
- Beispielsweise 0.015 kWh/(d,100L) statt 0.17 eines entsprechenden A++ Kühlschranks, d.h. eine Reduktion des spezifischen Energieverlustes um ca. 90%.

## 3. Zeitplan:

### 3.1. Bis 30.11.2009

- Strukturmechanische Berechnung für ein Funktionsmuster eines zylindrischen Kühlschrankaufbaus, d.h. eines Aufbaus bei welchem zwei doppelwandige zylindrische Bauteile mit Vakuumspalt konzentrisch umeinander drehen und bei entsprechender Lage einen Eingang ins Innere freigeben.
- Konstruktion eines zylindrischen Funktionsmusters.
- Fertigungsauftrag für das zylindrische Funktionsmuster erteilt.
- Strukturmechanische Berechnung für ein kubisches Funktionsmuster, d.h. eines Kühlschranks mit doppelwandiger Vakuumspalt-Hülle mit der üblichen äusseren Form.
- Konzepte zur Lösung der Rand- und Distanzhalterproblematik beim kubischen Funktionsmuster.

### 3.2. Bis 30.01.2010

- Fertigstellung des zylindrischen Funktionsmusters.
- Fertigstellung der Konstruktion des kubischen Funktionsmusters
- Fertigungsauftrag für ein kubisches Funktionsmuster erteilt.
- Überprüfung und allfällige Anpassung der heute vorliegenden Simulationsrechnungen.

### 3.3. Bis 31.05.2010 (Ende der Studie)

- Fertigstellung des kubischen Funktionsmusters.
- Durchführung von Mess-Serien zur Ermittlung des Energieverlustes und des "Langzeit"-Verhaltens des Vakuums am zylindrischen und am kubischen Funktionsmuster.
- Überprüfung und Anpassung der heute vorliegenden Simulationsrechnungen.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

In einer Vorstudie wurden unterschiedlichste Ansätze hocheffizienter Isolationen für Hausgeräte untersucht. Als Resultat hat sich ergeben, dass man sich im Rahmen der jetzt durchgeführten Studie auf Strukturen mit Vakuumspalt ohne Kernmaterial konzentriert.

Da eine derartige Isolation nur thermisch wirksam ist wenn dauerhaft Innendrücke von  $< 10^{-3}$  mbar eingehalten werden, kommen als Wandmaterialien von vornherein nur Metalle, Glas oder metallbeschichtete Kunststoffe in Frage.

Zusätzlich ist bei allen verfolgten Ansätzen zu beachten, dass Innendrücke von  $< 10^{-3}$  mbar nur dann dauerhaft aufrecht erhalten werden können, wenn während des Abpumpens dafür

gesorgt wird, dass auch die an der Oberfläche der Wände adsorbierten Gase und Wasserschichten zuverlässig abgepumpt werden. Dies ist erfahrungsgemäss nur dann möglich, wenn die Wände während des Abpumpens auf  $> 300^{\circ}\text{C}$  aufgeheizt werden. Dies stellt entsprechende Anforderungen an alle verwendeten Materialien.

### **Hocheffizient isolierte Kaffeemaschine**

Bis zum Berichtsdatum wurden 2 mit Vakuum-Isolation ausgestattete vollständige Funktionsmuster einer Kaffeemaschine (siehe Fig. 1) sowie 3 Testbaugruppen mit den thermisch relevanten Teilen dieser Kaffeemaschine erstellt.

Um rasch zu aussagefähigen Resultaten zu kommen, wurde dabei auf am Markt erhältliche Komponenten zurückgegriffen. Die thermisch relevanten Teile der Kaffeemaschine wurden in ein marktübliches Bauteil mit Vakuumspalt integriert. Dieses Bauteil weist erfahrungsgemäss eine Lebensdauer des Vakuums von mehr als 10 Jahren auf. Damit wären die für einen kommerziellen Einsatz notwendigen Anforderungen mehr als erfüllt. Allerdings ist die Länge der am Markt erhältlichen Vakuum-Bauteile zu gross. Diese unnötige Zusatzlänge musste im Funktionsmuster der Kaffeemaschine in einem Sockel untergebracht werden. (siehe Fig. 1)



Fig. 1 Funktionsmuster einer Kaffeemaschine mit Vakuumisolation

Es ist deshalb notwendig, eigene dem Heizelement der Kaffeemaschine angepasste Vakuumbauteile zu entwerfen, welche kostengünstig in grossen Mengen gefertigt werden können. Erste Ansätze hierfür wurden erarbeitet und werden, in Zusammenarbeit mit Herstellern derartiger Vakuumbauteilen, evaluiert.

Mit den hergestellten Funktionsmustern wurden erste Messungen im Sinne der Aufnahme der Aufheiz- und Abkühlkurven des Heizelementes in Funktion der Zeit durchgeführt (siehe Fig. 2).

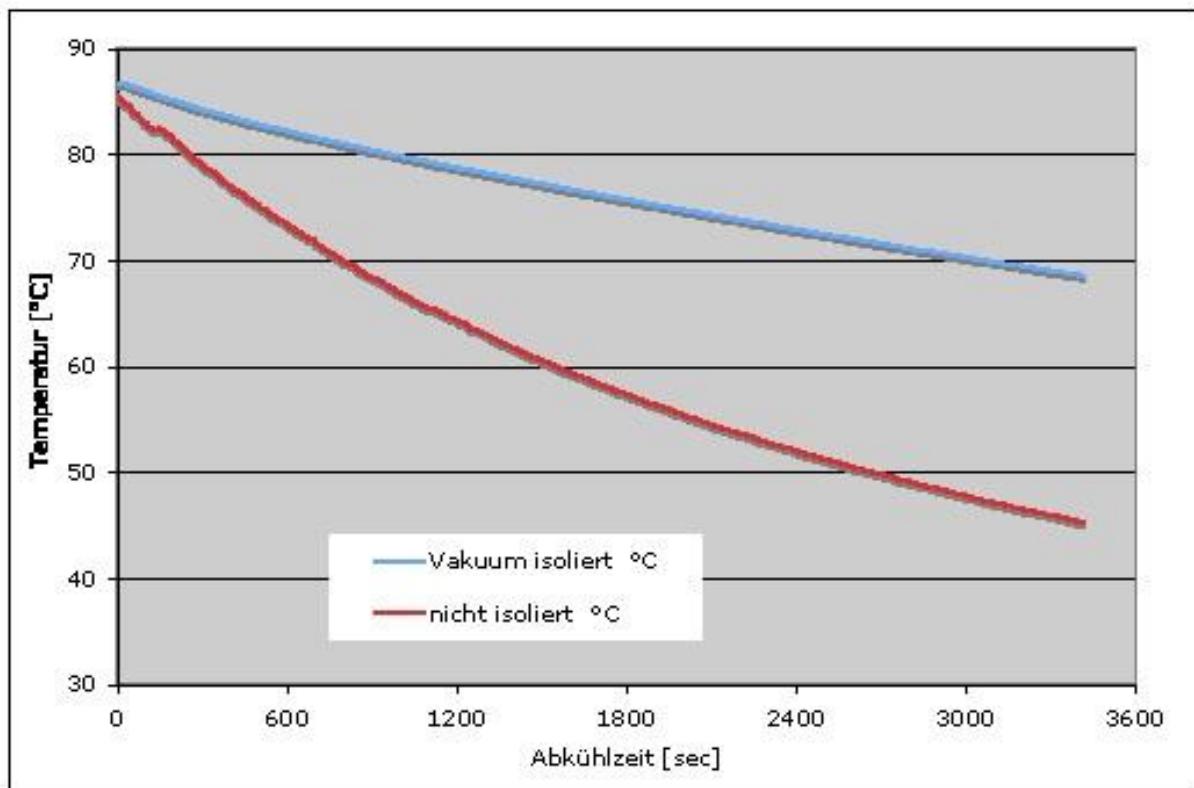


Fig. 2 gemessene Abkühlkurven der Funktionsmuster, nicht isoliert resp. vakuumisoliert

Die Messresultate zeigen eine deutliche Verbesserung des Abkühlverhaltens der thermisch relevanten Teile im Vergleich zu einer heutigen entsprechenden Kaffeemaschine. Damit ist klar, dass das angestrebte Ziel einer Strategie "Null-Standby-Energie" technisch machbar ist. Die Messungen zeigen aber auch, dass die für die Funktionsmuster gewählte Bauweise noch verbesserungsfähig ist.

Die weiteren Arbeiten werden sich darauf konzentrieren, Rechenmodelle zu formulieren, welche das thermische Verhalten der Funktionsmuster nachbilden und mit Hilfe dieser Rechenmodelle die möglichen konstruktiven Verbesserungen zu evaluieren. Weitere Arbeiten werden sich damit befassen, Möglichkeiten zur Fertigung mit marktgerechten Kosten für einen bestimmten Anwendungsfall zu erarbeiten.

### Hocheffizient isolierter Kühlschrank

Bezüglich des Kühlschranks werden 2 unterschiedliche Ansätze untersucht, nämlich ein Ansatz mit einem zylindrischen und ein anderer mit einem kubischen Aufbau des Kühlschranks.

## 1. Zylindrischer Kühlschrank

Bei diesem Ansatz werden 2 konzentrisch umeinander rotierbare doppelwandige zylindrische Teile mit Vakuumspalt untersucht, welche so gestaltet sind, dass sie sich in einem relativ breiten Winkelbereich überlagern und bei entsprechender Rotationslage einen Zugang zum Innern freigeben (siehe Fig. 3).

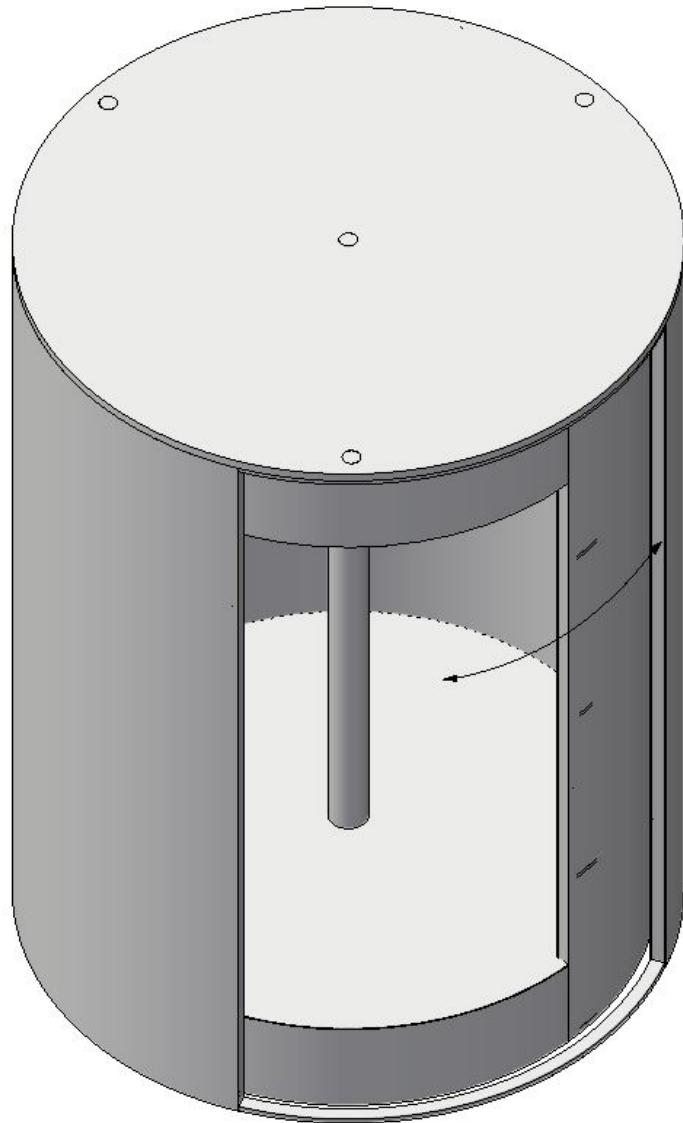


Fig. 3 Skizze eines zylindrischen, vakuumisolierten Kühlschranks

Erste Berechnungen mit einem einfachen thermischen Modell weisen darauf hin, dass mit einem solchen Ansatz gegenüber einem heutigen A++ Kühlschrank mehr als 80% der Verlustenergie durch die Kühlschrankhülle eingespart und ca. 40% an innerem Stauraum gewonnen werden können.

Ein derartiges Funktionsmuster wurde strukturmechanisch mittels FEM ausgelegt sowie durchkonstruiert und befindet sich momentan in Fertigung. Aus Gründen des Preises und der Handhabbarkeit wurde das Funktionsmuster ca. im Massstab 1:2 d.h. mit einem Durchmesser von 300 mm und einer Höhe von 400 mm ausgelegt.

Erste Messungen mit diesem Funktionsmuster werden voraussichtlich im Januar 2010 stattfinden.

## 2. Kubischer Kühlschrank

Bei diesem Ansatz wird versucht eine potenziell kostengünstige Lösung zu finden, bei welcher die übliche kubische Form eines Kühlschranks beibehalten wird.

Bei einem plattenartigen Element mit Vakuumspalt ohne Kernmaterial treten starke Durchbiegungen der aus Gewichtsgründen möglichst dünnen Wände auf. Mit Hilfe von Distanzhaltern zwischen den Wänden muss ein minimaler Vakuumspalt beibehalten werden (siehe Fig. 4). Thermische Berechnungen haben ergeben, dass der Wärmefluss über die Summe dieser Distanzhalter nicht grösser werden darf als ca.  $0.01 \text{ W/m}^2 \text{K}$ , damit die anvisierten 80% Energieeinsparung realisiert werden können. Wenn die Distanzhalter in Form von Druckstäben ausgelegt werden, führt dies beispielsweise in je 120 mm Abstand zu Stäben aus  $\text{ZrO}_2$  ( $\lambda=2.5 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ ) von ca. 1 mm Durchmesser. Strukturmechanische und thermische Berechnungen mit Distanzhaltern, welche so aufgebaut sind, dass die Druck- in Zugkräfte umgewandelt werden, haben ergeben, dass ein solcher Ansatz sehr vielversprechend ist. Entsprechende Elemente werden ausgelegt.

Bei plattenartigen Elementen mit Vakuumspalt ohne Kernmaterial ist darauf zu achten, dass der Wärmefluss über den Plattenrand klein bleibt. Thermische Berechnungen haben ergeben, dass dieser Wärmefluss nicht grösser werden darf als ca.  $0.015 \text{ W/(Laufmeter,}^\circ\text{K)}$ .

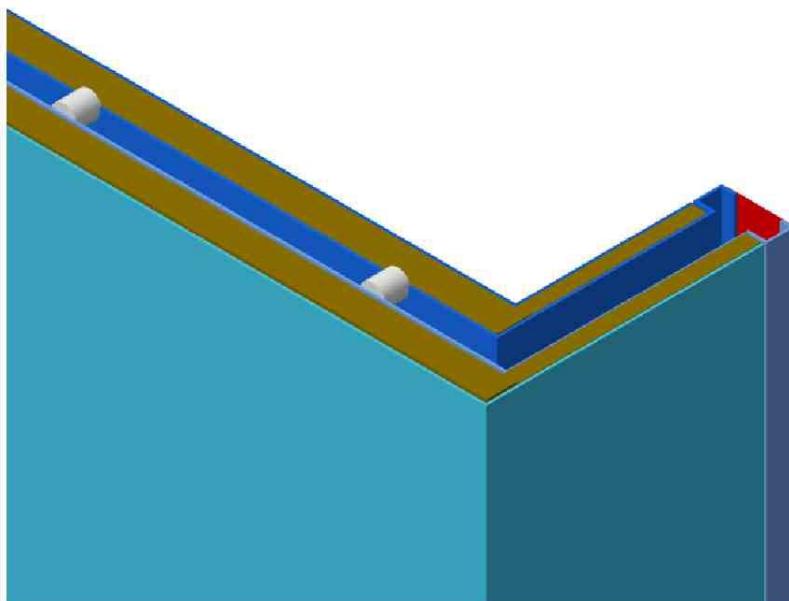


Fig. 4 Möglicher Aufbau einer Vakuum-Kühlschranktür mit Distanzhaltern und dünnem Randband

Ein erster Ansatz für einen diese Forderungen erfüllenden Randverbund führt über die Verwendung beispielsweise  $20 \mu\text{m}$  dünner Stahlbänder (siehe Fig. 4). Da es sehr schwierig bis unmöglich ist, solche Bänder zu verschweissen oder hartzulöten und da während des Abpumpens Temperaturen von mehr als  $300^\circ\text{C}$  herrschen und deshalb auch Weichlöten entfällt, müssen für eine allfällige kostengünstige Fertigung andere Verbindungsverfahren für diese extrem dünnen Bänder gefunden werden.

Vielversprechend in dieser Hinsicht scheint die Verwendung von bestimmten Hochtemperatur-Klebstoffen. Eine entsprechende Versuchsreihe ist konzipiert und wird voraussichtlich im Januar 2010 durchgeführt werden.

Ein zweiter Ansatz bei dem im Randbereich - dank einer grossen Verlängerung des thermischen Weges über den Rand - ein mit üblichen Methoden schweissbarer Stahl von 100 bis  $200 \mu\text{m}$  Dicke verwendet werden kann, ist erdacht sowie strukturmechanisch und thermisch berechnet und wird in einem, vermutlich im Februar 2010 zu bauenden Versuchsaufbau eingesetzt werden.

# Bewertung 2009 und Ausblick 2010

Die im Verlauf der knapp 3 ersten Monate dieser Machbarkeitsstudie durchgeführten Arbeiten können im Wesentlichen als **Erfolg** gebucht werden:

## Kaffeemaschine

- Funktionsmuster für eine vakuumisierte Kaffeemaschine konnten aufgebaut werden.
- Erste Messungen mit diesen Funktionsmustern bestätigen, dass die thermischen Zielsetzungen – und damit die Ziele bezüglich Energieeinsparung - auch bei einer allfälligen Grossserien-Fertigung erreichbar sind.
- Weitere Verbesserungen des thermischen Verhaltens scheinen kostengünstig möglich zu sein und sollen konstruktiv umgesetzt werden.
- Es muss bestätigt werden, dass die notwendigen Isolationselemente so gestaltet werden können, dass sie den Anforderungen der Designer von Kaffeemaschinen genügen. Entsprechende Arbeiten sind ab Dezember 2009 und für 2010 geplant.
- Es muss bestätigt werden, dass die notwendigen Isolationselemente so kostengünstig hergestellt und verbaut werden können, dass sie den Endpreis einer Kaffeemaschine nicht wesentlich beeinflussen. Entsprechende Arbeiten sind ab Dezember 2009 und für 2010 geplant.

## Zylindrischer Kühlschrank

- Ein verkleinertes Funktionsmuster für einen vakuumisierten, zylindrischen Kühlschrank konnten berechnet, konstruiert und in die Fertigung gegeben werden.
- Die aufgrund von thermischen Berechnungen erwarteten hohen Energieeinsparungen müssen mittels Messungen an diesem Funktionsmuster bestätigt werden. Die entsprechenden Messungen sind ab Januar oder Februar 2010 geplant.
- Es muss bestätigt werden, dass ein zylindrischer Kühlschrank in Originalgrösse, d.h. mit 60 cm Durchmesser und 80 bis 200 cm Höhe, strukturmechanisch so ausgelegt werden kann, dass er nicht zu schwer wird. Entsprechende Berechnungen sind ab Dezember 2009 und für 2010 vorgesehen.

## Kubischer Kühlschrank

- Die Arbeiten an den notwendigen Distanzhaltern und dem Randverbund der plattenartigen Elemente eines kubischen Kühlschranks erfordern relativ viel Aufwand. Es wurden aber für beide Problemstellungen vielversprechende neuartige Ansätze gefunden.
- Auf der Basis neuer Lösungen für Distanzhalter und Randverbund müssen die strukturmechanischen Berechnungen und die Konstruktion für das zu erstellende plattenartige Funktionsmuster durchgeführt und 2 derartige Funktionsmuster gebaut werden. Die entsprechenden Berechnungen beginnen im Dezember 2009, der Bau der Funktionsmuster ist für Februar 2010 vorgesehen. Die entsprechenden thermischen Messungen sind für Ende März 2010 geplant.