



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

**Jahresbericht** 27. November 2009

---

# **Modifizierter A++-Standard-Kühlschrank mit halbem Energieverbrauch**

## **Effizienzsteigerung durch Verdichtermodifikation**

---

**Auftraggeber:**

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

**Kofinanzierung:**

ewz Stromsparerfonds, CH-8050 Zürich

**Auftragnehmer:**

awtec AG für Technologie und Innovation  
Leutschenbachstrasse 48  
CH-8050 Zürich  
[www.awtec.ch](http://www.awtec.ch)

**Autor:**

Stefan Stahl, awtec AG für Technologie und Innovation, [stefan.stahl@awtec.ch](mailto:stefan.stahl@awtec.ch)

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

**BFE-Programmleiter:** Roland Brüniger

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 153747 / 102923

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

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	3
Zusammenfassung .....	4
Projektziele .....	4
Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse .....	5
Optimierungskonzepte für den Verdichter .....	5
Realisierung eines optimierten Kühltanks .....	5
Aufbau eines Mess-Systems .....	5
Messung und Optimierung des Energieverbrauches durch Variation der Systemparameter .....	6
Bewertung 2009 und Ausblick 2010 .....	7

# Zusammenfassung

Herkömmliche Haushaltskühlschränke besitzen insbesondere beim Verdichter ein grosses Energieeinsparungspotential. Da Kühlschrankhersteller aber kaum motiviert sind, diese zu ändern, soll in diesem Projekt der Kompressor eines bestehenden A++-Kühlschranks modifiziert werden, um einen Prototypenkühlschrank mit einer um 30-50% verbesserten Energieeffizienz aufzubauen.

Ein Kühlschrank wurde mit einem drehzahlvariablen Kompressor ausgerüstet und ein Leistungs- und Temperaturmesssystem wurde aufgebaut. Die Messungen und Optimierungen sind noch nicht abgeschlossen, bisher wurden Energieeinsparungen von 20-25% erreicht.

Nach Abschluss der Optimierungsarbeiten wird der Kühlschrank an einem unabhängigen Prüfinstitut Normgemäss ausgemessen und die Energieeinsparung quantifiziert.

## Projektziele

Kühl- und Gefriergeräte verbrauchen in der Schweiz ca. 2.5 Mia. kWh Strom pro Jahr, was ca. 4% des Gesamtstromverbrauches entspricht. Eine Auswechslung der Schweizer Kühlschränke (Wechsel von A zu A++) bewirkt demzufolge eine Einsparung von 1250 GWh/a, mit einer weiteren Halbierung des Energieverbrauches könnten weitere 600 GWh/a eingespart werden.

Herkömmliche Kühlschränke für den Einsatz in Privathaushalten besitzen noch grosses Energiesparpotential, insbesondere beim Verdichter im Kältekreislauf.

Da es nur wenige grosse Kompressorhersteller gibt, beziehen alle Kühlschrankhersteller ähnliche Kompressoren. Dies führt zur Einschätzung, dass Innovationen in diesem Bereich kaum Differenzierungsmöglichkeiten gegenüber Mitbewerbern ergeben, so dass der preisgünstigste Kompressor ausgewählt wird, der die energetischen Anforderungen knapp noch erfüllt. Aufgrund dieser sehr preissensitiven Nachfrage arbeiten die Kompressorhersteller hauptsächlich an der Kostenoptimierung der Produktion.

Dieses Projekt soll zeigen, wie effizient ein Kühlschrank mit optimierter Verdichterseite sein könnte. Mit Modifikationen an einem bestehenden Kühlschrank der Energieklasse A++ wird versucht, die Energieeffizienz um 30-50% zu verbessern. Nebst der technischen Realisierbarkeit soll auch die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes gewährleistet werden.

Die folgenden Ziele sollen erreicht werden:

- Recherche und Bewertung von bereits vorhandenen Lösungen
- Entwicklung und Bewertung von Optimierungskonzepten für den Verdichter
- Technische Realisierung eines optimierten Kühlschranks
- Aufbau eines Mess-Systems
- Messung und Optimierung des Energieverbrauches durch Variation der Systemparameter
- Leistungsmessung der effektivsten Modifikation in einem neutralen Prüfinstitut nach Norm DIN EN 153

# Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

## Optimierungskonzepte für den Verdichter

Eine Exergieanalyse hat gezeigt, dass das grösste Energiesparpotential in einer Drehzahlregelung des Verdichters liegt. Zusätzliche Verbesserungen könnten durch eine Optimierung des Antriebs (Elektromotor) und durch Verwendung von Verdichterkonzepten mit höherem Wirkungsgrad (Standard: Kolbenkompressor) vorgenommen werden.

Mit diesen Ansätzen wurden verschiedene grosse Kompressorhersteller kontaktiert; bei Danfoss und Embraco war grosses Interesse vorhanden. Embraco hat bereits ein drehzahlgeregeltes Modell im Markt, das aber bisher nur selten verbaut wird; Danfoss hingegen bietet bisher keinen drehzahlvariablen Kompressor an, ist aber auch sehr interessiert an der Technologie. Die anderen Hersteller haben nicht auf unsere Anfrage reagiert.

Es wurde entschieden, das bereits im Markt erhältliche drehzahlvariable VerdichtermodeLL von Embraco (VCC Series) als Basis für die Optimierung zu verwenden.

## Realisierung eines optimierten Kühlschranks

Als Kühlschrank wurde das Modell EK 244 11 von Electrolux ausgewählt (Nutzinhalt 241l, Norm-Energieverbrauch 173kWh/Jahr). Dabei handelt es sich um eines der meist verkauften A+++-Geräte der Schweiz. Der Kühlschrank wird auch in der topten-Liste ([www.topten.ch](http://www.topten.ch)) geführt und empfohlen.

Zwei dieser Modelle wurden gekauft und eines davon mit einem drehzahlgeregelten Kompressor von Embraco (VEM X5C) und einem Befüllsystem ausgerüstet. Der zweite Kühlschrank wurde nicht verändert und dient als Referenz.

Der Kompressor besitzt einen integrierten Inverter, welcher aus der Speisespannung (230VAC) und einem Frequenzsignal (50-150Hz, 5VDC) das Drehzahlsignal für den Kompressor ausgibt. Das Eingangssignal wird im Messprogramm erzeugt.

## Aufbau eines Mess-Systems

Um die Auswirkungen der Modifikationen genau zu bestimmen, wurde ein Messsystem aufgebaut, welches nicht nur die aufgenommene elektrische Leistung misst, sondern auch mehrere Temperaturen in- und ausserhalb des Kühlschranks.

Die elektrische Leistungsaufnahme wird mit einem socomec-DIRIS-Leistungsmessgerät gemessen, die Temperaturen mittels Thermoelementen (Typ K), die zentral in Serie ausgelesen werden. Die Daten werden in ein LabView-Programm eingespielen, welches auf einem herkömmlichen Laptop mit einem NI-Datenerfassungsmodul läuft. Neben der Aufzeichnung der Werte übernimmt die Software auch die Steuerung und Regelung des drehzahlvariablen Kompressors.

## Messung und Optimierung des Energieverbrauches durch Variation der Systemparameter

Nach der Inbetriebnahme des Systems wurden verschiedene Konfigurationen ausgemessen und verglichen. Folgende Parameter können vorgegeben werden:

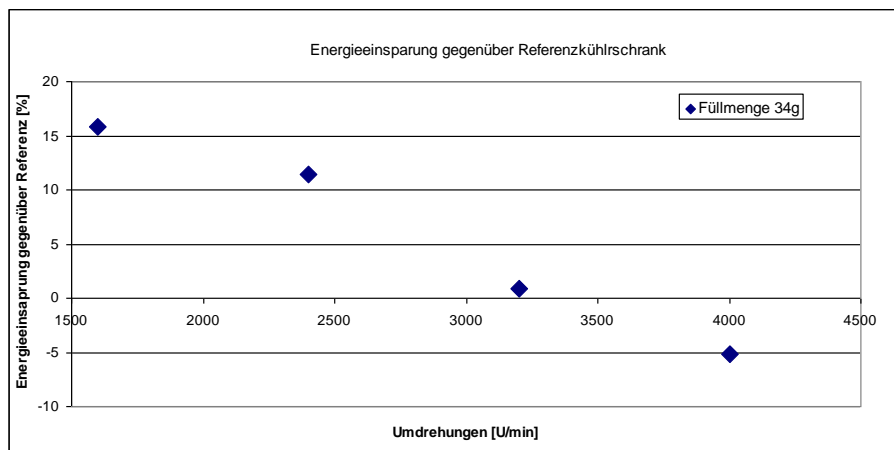
- Kühlmittelmenge im Kreislauf
- Drehzahl des Kompressors (in Abhängigkeit der Kühlraumtemperatur)

Da der Kühlschrank ein Kühl- und ein Gefrierfach besitzt, hat der Kältekreis zwei Verdampfer mit unterschiedlichen Temperaturen. Das Verhältnis der beiden Wärmeleistungen, die durch die Verdampfer aufgenommen werden, sind neben der Geometrie des Kältekreises auch von Füllmenge und Kältemitteldurchfluss abhängig. Dies bedeutet, dass bei unterschiedlichen Drehzahlen des Kompressors unterschiedliche Temperaturverhältnisse zwischen Kühl- und Gefrierfach entstehen.

Damit Kühl- und Gefrierfach beide die Temperaturanforderungen erfüllen, musste ein weiterer Einstellparameter geschaffen werden. Da an der Kühlkreisgeometrie nichts geändert werden konnte, wurde ein einstellbarer Luftaustauschkanal zwischen Kühl- und Gefrierfach eingebaut. So kann das Temperaturverhältnis den Bedingungen angepasst werden.

Mit diesen Voraussetzungen wurde das von der Kühlmittelmenge und der Kompressordrehzahl aufgespannte Parameterfeld ausgemessen. Dabei wurde der Kompressor auf das Referenzmodell geregelt; die Temperaturschwankungen im modifizierten Kühlschrank sind kleiner oder gleich denjenigen des Referenzkühlschranks.

Die Messungen haben gezeigt, dass die Kompressordrehzahl und damit die Laufzeit des Kompressors den erwarteten Einfluss haben: mit abnehmender Drehzahl nimmt die Energieeffizienz zu (siehe Figur 1)



**Figur 1:** Energieeinsparung gegenüber Referenzkühlschrank in Abhängigkeit der Drehzahl (Beispiel bei Füllmenge 34g)

Die optimale Füllmenge an Kältemittel im Kompressorkreislauf für unseren Kühlschrank liegt zwischen 30-33g. Damit konnte bisher eine Einsparung von 20-25% erreicht werden. Aufgrund eines Defektes im Kompressor sind diese Messungen aber noch nicht abgeschlossen.

Die von Embraco gelieferten Inverter lassen nur Drehzahlen von mehr als 1600 RPM (Originalkompressor: 3000 RPM) zu. Bei dieser Drehzahl und Normbedingungen ist der Kompressor nur während 50-60% der Zeit in Betrieb. Mit einer weiteren Verringerung der Drehzahl bis zum Dauerbetrieb des Kompressors im Normzustand können noch weitere Effizienzsteigerungen erreicht werden.

## **Bewertung 2009 und Ausblick 2010**

Die Realisierung des optimierten Kühltanks und der Aufbau des Messsystems konnte nach anfänglich langwieriger Kommunikation mit Kühltank- und Kompressorherstellern ohne grössere Probleme und Überraschungen durchgeführt werden.

Bei der Inbetriebnahme und den ersten Messungen hat sich aber nach aufwändiger Überprüfung gezeigt, dass die gelieferten Embraco-Inverter defekt waren, was das Projekt im Zeitplan zurückgeworfen hat. Auch die Versuche sind zeitaufwändig, da sich das System vor der Messung erst auf einen Betriebspunkt einpendeln muss. Deshalb und aufgrund eines Kompressordefektes konnten noch nicht alle geplanten Versuche durchgeführt werden.

Ende 2009 und Anfangs 2010 werden die restlichen Versuche mit der bestehenden Hardware durchgeführt werden; parallel dazu wird ein alternativer Frequenzumrichter eingebaut, mit dem noch tiefere Drehzahlen möglich sind. Damit soll das System soweit möglich optimiert werden. Das Projektziel von mind. 30% Energieeinsparung erscheint realistisch; genauere Prognosen sind aber noch nicht möglich.

Wenn die Optimierung abgeschlossen ist, wird eine Leistungsmessung in einem neutralen Prüfinstitut nach Norm DIN EN 153 durchgeführt, um die Wirksamkeit der Modifikationen zu bestätigen.

Weiter werden eine Abschätzung weiterer technisch sinnvoller Massnahmen und deren Wirtschaftlichkeit durchgeführt.