



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

# VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON AUFZÜGEN UND FÖRDERANLAGEN DURCH ENTWICKLUNG EINES NEUARTIGEN FREQUENZUMFORMERS.

## Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

**Paul Kanyó, Econodrives GmbH**

Gewerbeweg 10, 3662 Seftigen, [info@kanyo.ch](mailto:info@kanyo.ch), [www.econodrives.ch](http://www.econodrives.ch)

**Mario Bolla, Econodrives GmbH**

Gewerbeweg 10, 3662 Seftigen, [mario.bolla@telma.ch](mailto:mario.bolla@telma.ch), [www.econodrives.ch](http://www.econodrives.ch)

## **Impressum**

Datum: 28. Nov. 2008

**Im Auftrag des Bundesamt für Energie,**  
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologie und -anwendungen

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

BFE-Bereichsleiter, [michael.moser@bfe.admin.ch](mailto:michael.moser@bfe.admin.ch)

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 152042 / 101691

Bezugsort der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) / [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch)

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

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	4
Résumé.....	5
Abstract.....	6
1. Ausgangslage .....	7
1.1 Grundsätzliches .....	7
1.2 Stand der Technik .....	7
1.3 Möglichkeiten mit bekannten Technologien.....	7
2. Ziel der Arbeit .....	9
3. Methode .....	10
4. Ergebnisse .....	10
4.1 Technische Lösung .....	10
4.1.1 Der Inverter .....	10
4.1.2 Der netzseitige Gleichrichter .....	11
4.1.3 Verhalten bei Stromausfall.....	13
4.2 Das Produkt .....	13
4.2.1 Anwendungsgebiete.....	13
4.2.2 Technische Daten .....	13
4.2.3 Elektrische Anschlüsse .....	13
4.2.4 Volumen, Gewicht .....	13
4.2.5 Verwendete Bauteile .....	13
4.3 Herstellungskosten.....	14
4.4 Prototypen .....	14
4.4.1 Bilder Prototypen.....	15
5. Messungen .....	16
5.1 Wirkungsgrad Rückspeisung .....	16
5.2 Standby Leistung .....	16
6. Diskussion .....	17
7. Schlussfolgerungen .....	17
8. Bilder, Messresultate .....	18
Referenzen .....	22
Anhang A .....	23
Anhang B .....	24
Anhang C .....	25

## Zusammenfassung

Der Elektrizitätsverbrauch von Aufzugs-Antrieben ist ein bedeutender Anteil vom Energieverbrauch in der Haustechnik.

Heute verwendet man in der Aufzugstechnik vorwiegend klassische U-Umrichter.

Frühere Arbeiten zeigen, dass in diesem Gebiet ein grosses Energie-Sparpotential vorliegt, da diese Systeme

- die Bremsenergie vernichten anstatt rekuperieren (30% bis 40% vom gesamten motorischen Energieverbrauch)
- relativ grossen Standby-Verbrauch haben (bis 75% vom gesamten Energieverbrauch)

Systembedingt ist ein U-Umrichter nicht geeignet ohne die Verwendung eines Rückspeisemoduls die Bremsenergie ins AC-Netz zurückzuspeisen (wesentlich höhere Systemkosten, erhöhter Standby-Verbrauch.)

Bei einem U-Umrichter ist es problematisch die Standby-Leistung mit kompletter Abschaltung zwischen zwei Fahrten zu reduzieren, da der Umrichter, auch in stromlosem Zustand, relativ viel Energie in die Zwischenkreis-Kondensatoren speichert.

Von der Fachliteratur sind grundsätzlich zwei Umrichter-Topologien bekannt, welche ins AC-Netz zurückspeisen können und in stromlosem Zustand keine Energie speichern:

- der Matrix Umrichter
- der klassische I-Umrichter

Trotz grossen Anstrengungen konnte sich der Matrix Umrichter bis heute nicht durchsetzen. Gründe dafür sind die erheblichen technischen Schwierigkeiten und der sehr hohe Preis.

Im klassischen I-Umrichter sind die Kommutierungs-Kondensatoren an die Streuinduktivität vom verwendeten Motor angepasst. Deshalb ist es sehr problematisch, verschiedene Motoren mit verschiedenen Streuinduktivitäten anzutreiben.

Ziel unseres Projekts ist es, einen neuen I-Umrichter zu entwickeln, welcher, dank unserem zur Patentierung angemeldeten Kommutierungsverfahren und seiner Topologie, frei vom oben erwähnten Nachteil ist, jedoch die gewünschten Vorteile (Rückspeisung, Standby) vollständig verwirklicht. Zudem soll er industrietauglich sein, mit vergleichbaren oder tieferen Entstehungskosten als die heute verwendeten Systeme.

Wir haben zwei Prototypen entwickelt und gebaut, welche beweisen, dass wir unsere Ziele erreichen können.

Die Laborversuche wurden mit einem Fahrmotor von der Swiss Traction AG (Serie Zefir) durchgeführt. Für den Feldtest in unserer Liftversuchsanlage haben wir einen Motor von Ziehl-Abegg AG (Serie Zetatop) verwendet.

Die Messergebnisse erfüllen unsere Erwartungen bezüglich Rückspeisung und Standby-Leistung:

- Unser Umrichter ist voll rückspeisefähig und benötigt somit keinen Bremswiderstand.
- Zwischen zwei Fahrten können wir das Netz vollständig und wiederholt abschalten, somit arbeitet unser System ohne Standby-Energie

Die Industrialisierung wurde gestartet, die Typenprüfungen und das Redesign für die Seriefertigung sind in Arbeit. Als nächste Schritte werden die Seriewerte kalkuliert und die Herstellung der Null-Serie gestartet. Die Fertigung wird durch die Firma telma ag sichergestellt.

Die Firma Mefortis AG ist der Erstkunde für die Null-Serie.

## Résumé

La consommation d'électricité des commandes d'élévateur est une part importante de la consommation d'énergie dans la technique domestique.

Aujourd'hui, on utilise des convertisseurs voltage de fréquence classiques en domaine de la technique d'ascenseur.

D'anciens travaux montrent un grand potentiel d'économie d'énergie dans ce secteur. Voici les raisons suivantes:

- au lieu d'une récupération de l'énergie de freinage celle-ci est détruite (30% à 40% de la consommation d'énergie motrice totale est concernée)
- la consommation standby considérable se monte jusqu'à 75 % du total d'énergie

Le système approprié suppose que le convertisseur voltage de fréquence est utilisé avec un module rapatrié afin d'alimenter le réseau en courant donné par l'énergie de freinage (résultats : frais du système essentiels et consommation du standby élevés)A l'aide d'un convertisseur voltage de fréquence il est difficile de réduire la puissance standby avec une déconnexion complète entre deux tours. Dans ce cas le convertisseur, même en position sans courant, accumule relativement beaucoup d'énergie aux condensateurs du circuit intermédiaire.

De la littérature spécialisée nous savons qu'en principe deux mutateurs en topologie sont connus. Les deux peuvent être alimentés d'énergie au réseau AC et, en état sans courant, n'accumule pas d'énergie. Ce sont :

- Le convertisseur matrice
- Le convertisseur courant classique

Malgré de grands efforts le convertisseur matrice ne s'impose pas jusqu'à ce jour pour des raisons de difficultés techniques considérables et des prix très élevés.

En convertisseur courant classique les condensateurs commutés sont adaptés à l'inductance de dispersion du moteur utilisé. Par conséquent, il est très difficile d'animer différents moteurs avec différentes inductances de dispersion.

But de notre projet est de développer un convertisseur courant, qui, grâce à notre méthode de commutés breveté et sa topologie et libre des désavantages mentionnés ci-dessus, permettant totalement les avantages désirés : récupération et standby. En outre il doit être standard of the art, convenir aux exigences industrielles, aux coûts comparables ou même favorables quant aux systèmes actuellement utilisés sur le marché.

Nous venons de développer et construire deux prototypes, affirmant que nos buts sont atteignables.

Nos essais de laboratoire ont été faits avec un moteur de traction de la série Zefir de la société Swiss Traction AG. Pour les tests sur site nous avons utilisé un moteur de Ziehl-Abegg AG, série Zeta-top. Les résultats obtenus assument nos estimations concernant la récupération et la performance standby, donc :

- notre convertisseur permet une récupération absolue et ne requiert pas de résistance de freinage.
- entre deux tours le réseau peut être coupé complètement et répété. Par conséquent, notre système marche sans l'énergie de standby.

L'industrialisation initiale est mise en place et l'homologation y compris le redesign et la fabrication en série sont en vigueur. Comme prochaines étapes nous devons commencer avec la fabrication de la présérie et la calculation du produit de série. La fabrication est assurée par la société telma ag. Comme premier client de notre présérie la société Mefortis AG est choisie.

## Abstract

The electricity consumption of elevator drives is an important portion of the energy consumption in the building services.

Today in use are predominantly classical voltage type converters in the elevator technology.

Earlier works show that a large energy savings potential is possible in this area, because these systems do:

- destroy the brake energy instead of recuperate it (30% to 40% of entire motor energy consumption)
- have a large standby consumption (up to 75% of entire energy consumption)

Due to the system-topology a voltage type converter isn't suitable to recuperate the brake energy into the AC network without the use of a module for recuperation (substantially higher system costs, increased standby consumption).

In the case of a voltage type converter it is difficult to reduce the standby power consumption with complete disconnection between two running cycles, because the converter, also in stop condition, stores much energy in the intermediate circuit condensators.

From the technical literature, two converter topologies are well-known, which are able to recuperate into an AC network and store no energy in stop condition:

- the matrix converter
- the classical current type converter

Despite large efforts the matrix converter could not become generally accepted until today.

Reasons for it are the considerable technical difficulties and the very high price.

In the classical current type converter the commutations condensers are adapted to the stray inductance of the used electromotor. Therefore it is very problematic to drive different engines with different stray inductances.

The purpose of our project is to develop a new current type converter, which, owing to our patent pending commutation procedures and topology, is free of the disadvantage mentioned above, however completely realizes the desired advantages (recuperation, standby). In addition it is industrial suited with comparable or deeper costs than the systems used today.

We developed and built two prototypes, which proves that we could reach our aims.

For the Laboratory tests we applied a driving motor from Swiss Traction AG (Series Zefir). For the measurements under real circumstances in our lift test equipment we used a motor from Ziehl-Abegg AG (Series Zetatop).

The tests confirmed our expectations concerning recuperation and standby energy consumption.

- Our system recuperates the brake energy, we don't need any brake resistor.
- Between two running cycles the power supply can be disconnected completely and repeatedly, as a consequence the system works with no standby energy.

The industrialization has been started, the type tests and the redesign for the series manufacturing is in progress. Next steps are calculation of series-costs and the production of the pre-production. The manufacturing is guaranteed by the company telma ag.

The company Mefortis AG is the first customer for the pre-production.

# 1. Ausgangslage

## 1.1 Grundsätzliches

Der Bericht **Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen** [1] stellt fest, dass der jährliche Elektrizitätsverbrauch der ca. 150'000 Aufzugsanlagen in der Schweiz 300 GWh beträgt. Dieser Verbrauch ist auch bedeutend.

Der Bericht [1] analysiert mit Hilfe von Messungen die Aufzugsanlagen, und stellt fest, dass bedeutende Einsparpotenziale vorliegen, hauptsächlich bei den hohen Standby-Leistungen und bei der Bremsenergievernichtung.

Betreffend des Antriebes schlägt der Bericht [1] vor:

- Ausschalten der Frequenzumrichter bei Stillstand (Seite 34)
- Rückspeisefähige Umrichter (Seite 35).

## 1.2 Stand der Technik

Heute verwendet man gemäss aktuellem Marktangebot bei Aufzugsanlagen fast ausschliesslich den klassischen U-Umrichter.

Der U-Umrichter ist ein ideales Antriebsmittel für Synchron- und Asynchronmotor-Antriebe mit zwei Nachteilen:

- In die Zwischenkreis-Kondensatoren gespeicherte Energie ist die Voraussetzung für den Betrieb. Bei jeder Netzausschaltung geht diese Energie verloren und bei jeder Netzeinschaltung muss man die Kondensatoren neu aufladen. Deshalb ist eine häufige Netz - Ein und - Ausschaltung problematisch, da die meisten Geräte nicht geeignet sind für einen solchen Betrieb.
- Ein klassischer U-Umrichter ist, grundsätzlich wegen seiner Topologie, nicht geeignet für die Rückspeisung ins AC-Netz.

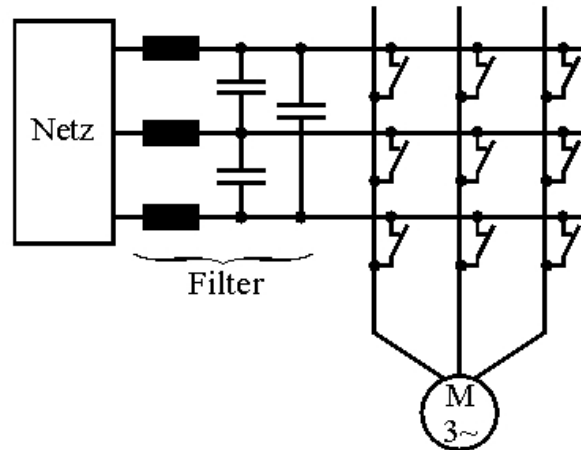
## 1.3 Möglichkeiten mit bekannten Technologien

Von der Fachliteratur sind grundsätzlich zwei Umrichter-Topologien bekannt, welche ins AC-Netz rückspeisen können und in stromlosem Zustand keine Energie speichern:

- der Matrix Umrichter
- der klassische I-Umrichter

### 1.3.1 Der Matrix Umrichter

Der Matrixumrichter ist ein selbstgeführter Direktumrichter (Figur 1). Er hat keine Zwischenkreiskondensatoren und braucht einen Netzfilter. Er ist rückspeisefähig.

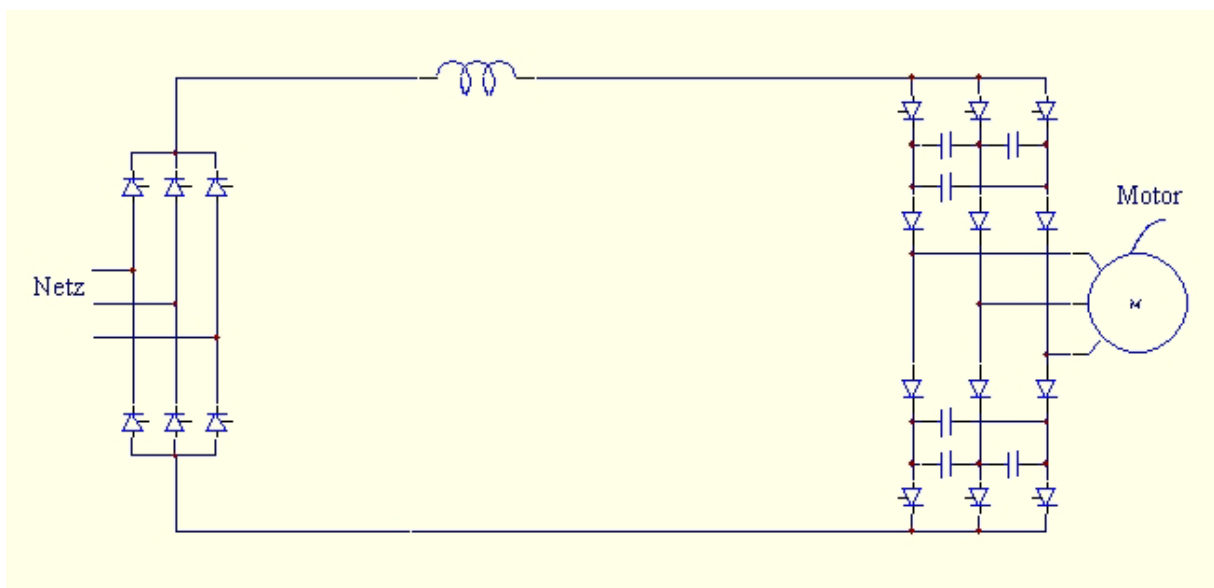


Figur 1: Matrixumrichter

Ein Matrixumrichter braucht spezielle Halbleiter (kundsenspezifische IGBT) [2] und hat eine komplizierte Steuerung. Sein Preis ist etwa 2 bis 2.5 mal so hoch wie ein heutiges Standardgerät [2]. Deshalb hat er trotz grossen Anstrengungen in der Entwicklung praktisch keinen Marktanteil.

### 1.3.2 Der klassische I-Umrichter

Figur 2. zeigt das Blockschaltbild eines klassischen I-Umrichters.



Figur 2: Der klassische I-Umrichter

Ein I-Umrichter ist rückspeisefähig und hat keine Zwischenkreiskondensatoren.

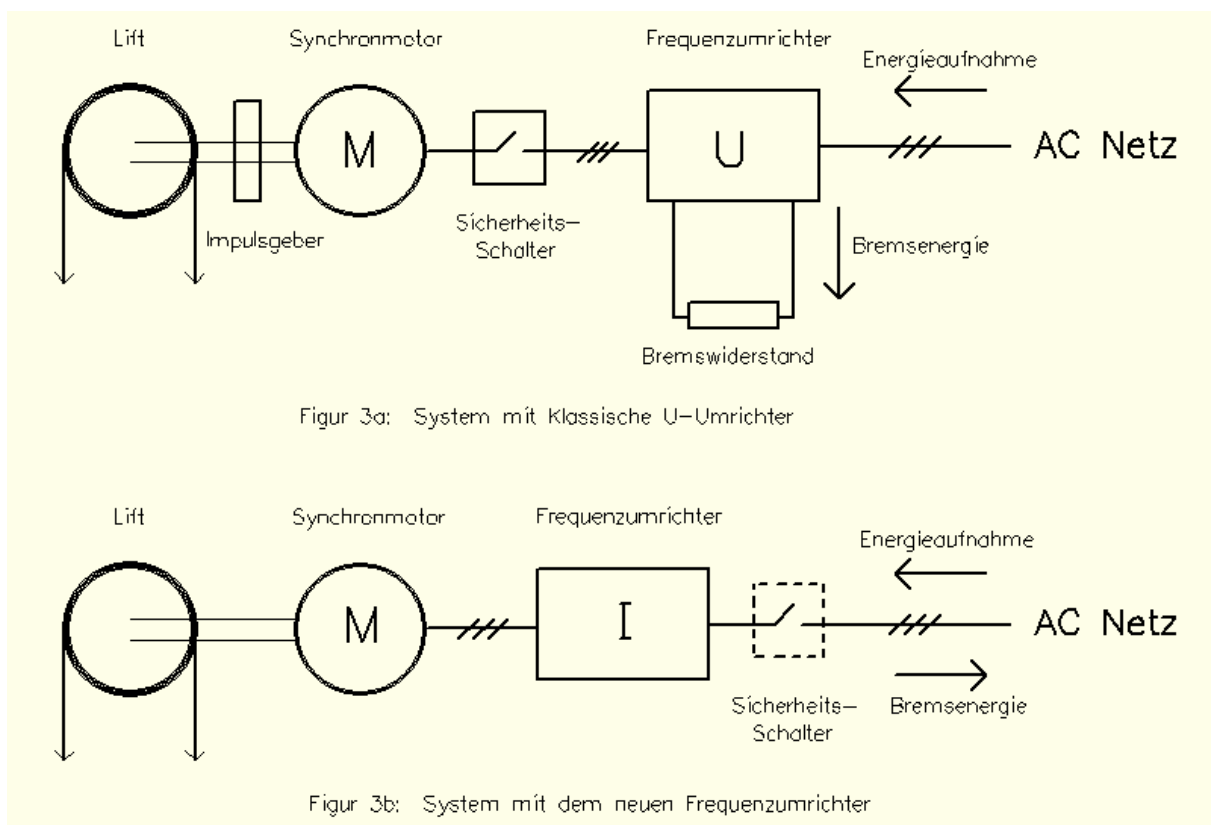
In einem klassischen I-Umrichter sind die Kommutierungs-Kondensatoren an der Streuinduktivität vom verwendeten Motor angepasst. Da je nach Aufzugsanlage verschiedene Motoren verwendet werden, ist er nicht geeignet für Liftantriebe. Weitere Nachteile sind die relativ grosse Zwischenkreisdrossel und die Verwendung von Thyristoren im Inverter.

## 2. Ziel der Arbeit

Das Projektziel ist die Entwicklung einer neuen Frequenzumrichterfamilie mit den folgenden Eigenschaften:

- Rückspeisung beim Bremsen ins AC-Netz (Kein Bremswiderstand)
- Kleine Standby Leistung (Im Stillstand keine Energiespeicherung, deshalb problemlos abschaltbar)
- Industrietauglich (Serieproduktion)
- Die Entstehungskosten sind kleiner oder vergleichbar mit den marktüblichen „klassischen“ Frequenzumformern.

Figur 3 zeigt die Unterschiede zwischen dem neuen und dem klassischen System.



**Figur 3: Systemvergleich**

### 3. Methode

Ausgehend vom klassischen I-Umrichter, haben wir unter Verwendung von unserem Patent [3] eine neue I-Umrichter Topologie mit den folgenden Merkmalen entwickelt:

- Verwendung moderner IGBT im Inverter anstatt Thyristoren.
- Mit der patentierten Kommutierungs-Schaltung ist der I-Umrichter unabhängig von der Streuinduktivität vom verwendeten Motor.
- Kleinere magnetische Komponenten, (Netzdrossel und Zwischenkreisdrossel ca. 50%) durch die Verwendung einer speziellen Gleichrichteransteuerung mit zwei zusätzlichen IGBT.

### 4. Ergebnisse

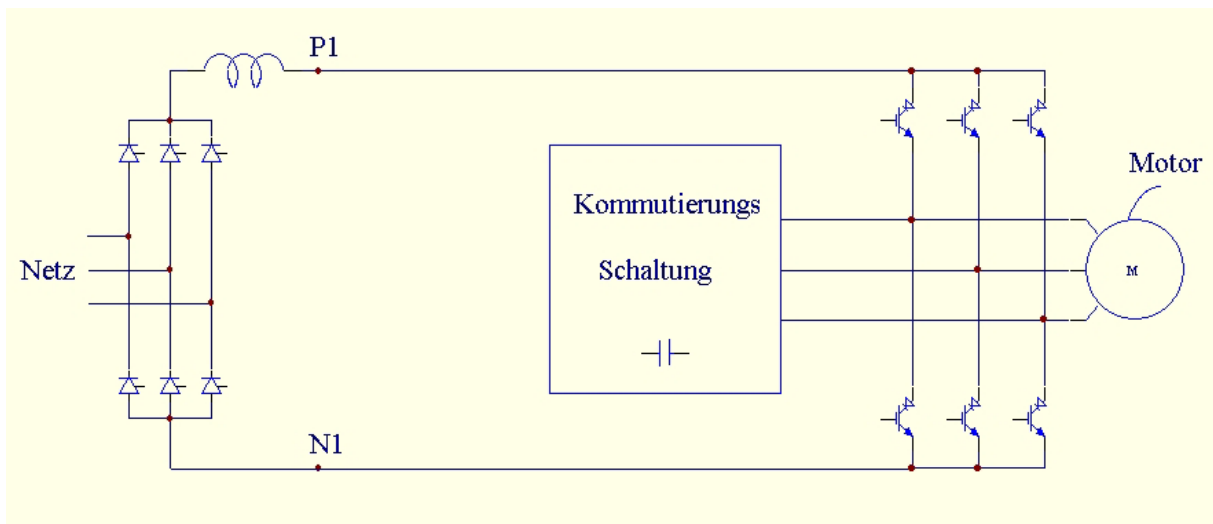
#### 4.1 Technische Lösung

##### 4.1.1 Der Inverter

Figur 4 zeigt das vereinfachte Blockschaltbild von einem mit IGBT aufgebauten Stromzwischenkreis-Inverter welcher unsere neue Kommutierungs-Schaltung [3] beinhaltet.

Die IGBT Symbole repräsentieren einen rückwärts-sperrenden IGBT (RIGBT) oder einen IGBT mit in Serie geschalteter Diode.

Unsere Prototypen haben wir mit IGBT und seriellen Dioden aufgebaut, da die RIGBT heute noch relativ teuer sind.



**Figur 4. Der neue I-Umrichter**

Die genaue Funktion der Kommutierungs - Schaltung ist im [3] beschrieben.

Die Inverter Kommutation wird in zwei Schritten durchgeführt:

1. Bei motorseitiger Kommutation wird die Kommutierungs-Energie, welche schlussendlich vom Zwischenkreis stammt, in einen Kommutierungs-Kondensator geleitet.
2. Nach abgeschlossener motorseitiger Kommutation wird diese Energie, mit Hilfe von Halbleitern, vollständig in den Zwischenkreis zurückgeführt.

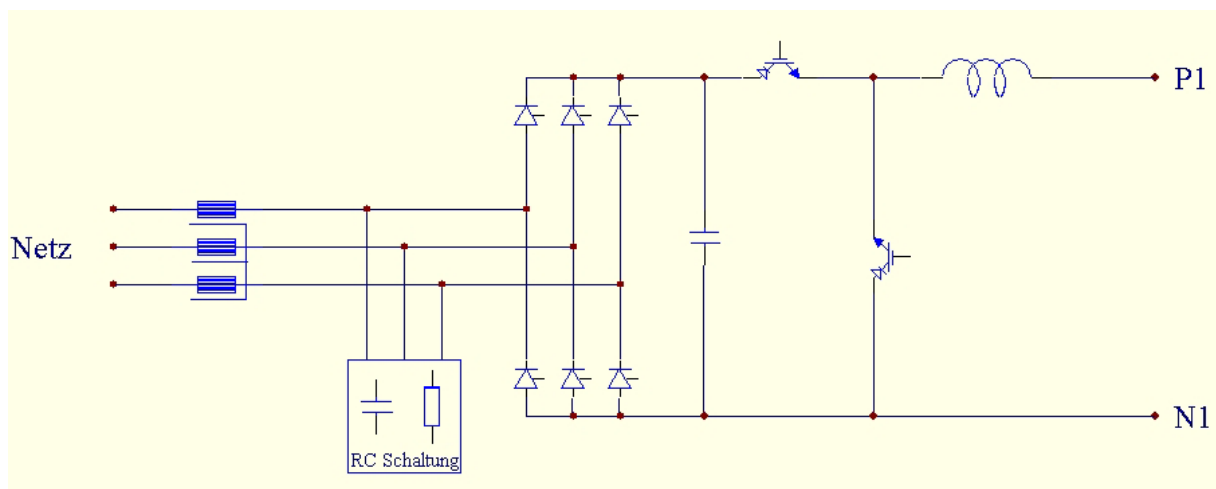
#### 4.1.2 Der netzseitige Gleichrichter

Die verbreitete Industrielösung für zweiquadrante Netzgleichrichter (fahren - rückspeisen) ist die 3-phasige, vollgesteuerte Thyristor-Brücke.

Diese Lösung benötigt ziemlich grosse induktive Bauteile (Netzdrossel und DC Drossel).

Zur Verbesserung der netzseitigen Gleichrichtung bietet die Fachliteratur z.B. [4] und [5] eine „high-tech“- Lösung an. Mit dieser Lösung ist sogar ein sinusförmiger Netzstrom möglich. Dies sprengt aber den Kostenrahmen von unserem Projekt, weil dies hardwaremässig zu aufwändig ist (es sind 6 abschaltbare, rückwärts-sperrende Halbleiter nötig). Zudem treten kontrolltechnisch erhebliche Schwierigkeiten auf.

Unsere Lösung nach Figur 5 ergibt deutliche Verbesserungen mit akzeptierbarem Mehraufwand.

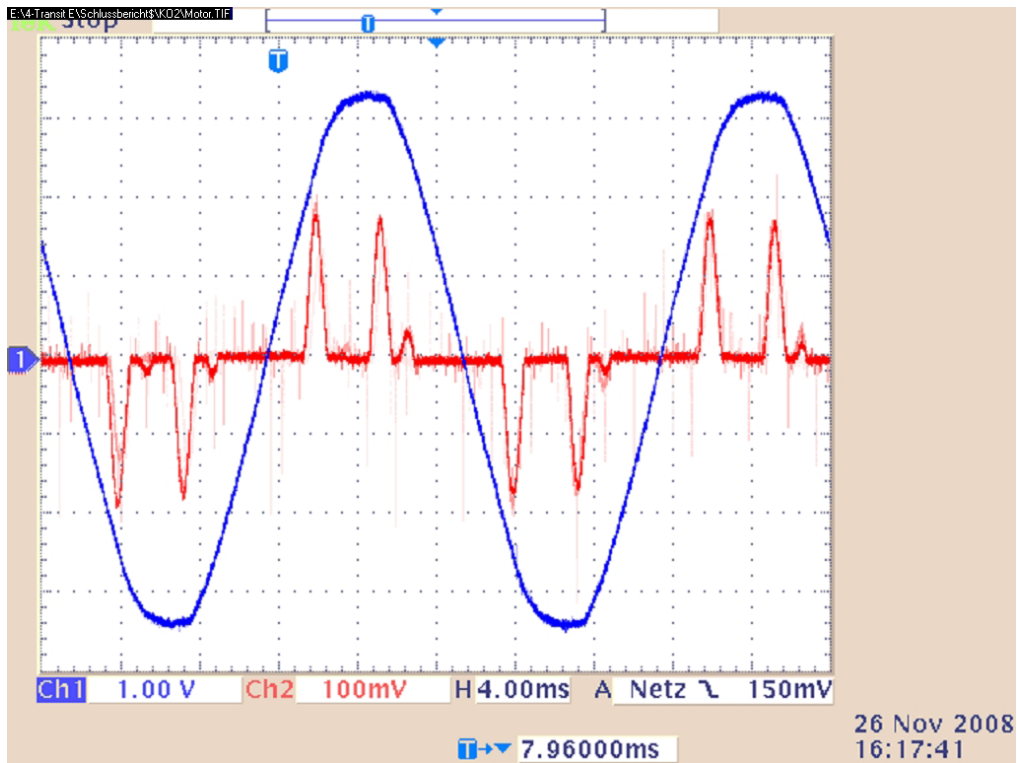


**Figur 5: Netzseitige Gleichrichter mit Ergänzungen**

Durch die Verwendung von zwei weiteren IGBT mit seriellen Dioden und einigen passiven Bauteilen (Figur 5) erzielen wir einen besseren netzseitigen Leistungsfaktor und können damit um ca. 50% kleinere Netzdrosseln und DC-Drosseln verwenden. Die durchgeführten Simulationen erzielen gute Ergebnisse.

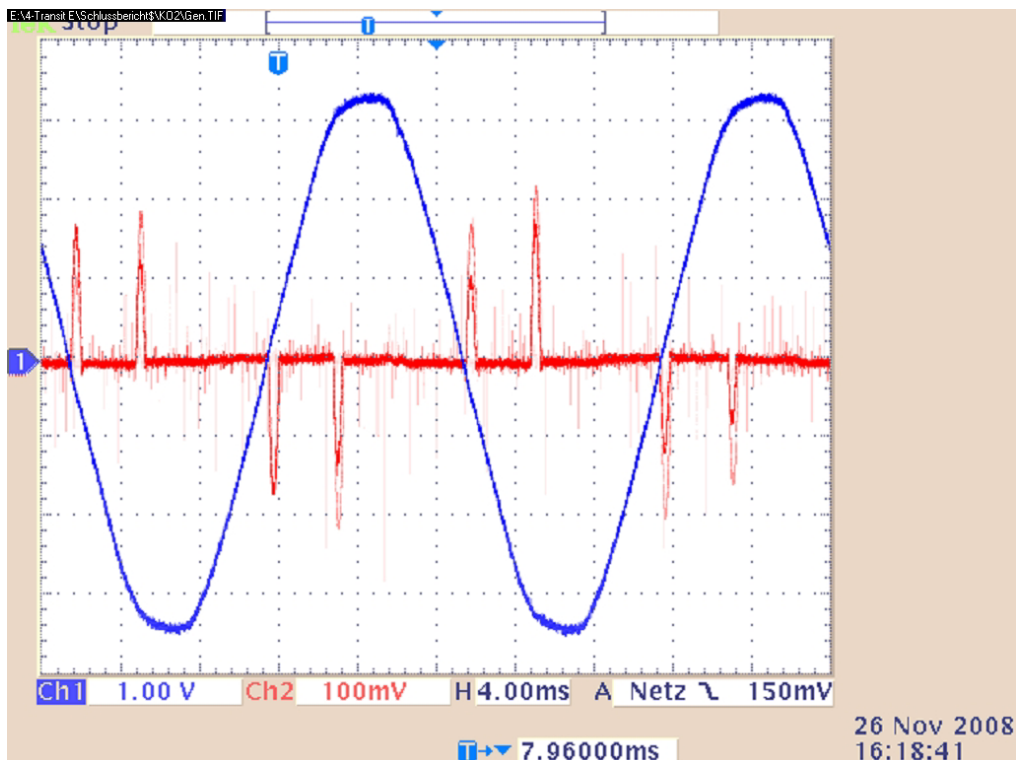
Die beiden IGBT (Figur 5) sind mit 6.25 kHz angesteuert. Dank dieser relativ hohen Frequenz ist ein schneller Stromregler möglich, damit braucht es keine grosse Zwischenkreis-Induktivität. Die Zwischenkreis-Induktivität ist durch den Wechselrichter bestimmt.

Der Netzstrom im Motorbetrieb entspricht dem Netzstrom von einem klassischen Frequenzumrichter:



**Bild 1: Phase R: Phasenspannung blau / Phasenstrom rot**

Bei Rückspeisung hat der Augenblickwert des Phasenstroms umgekehrte Vorzeichen als die Phasenspannung. Das bedeutet einen Energiefluss Richtung Netz:



**Bild 2: Phase R: Phasenspannung blau / Phasenstrom rot**

### **4.1.3 Verhalten bei Stromausfall**

Ein Netzausfall aktiviert die mechanischen Bremsen, die den Aufzug zum Stillstand bringen. Gelöst wird die Bremse durch den Anzug des Bremsrelais. Damit ist sichergestellt, dass der Antrieb bei einem Stromausfall (Abfall Bremsrelais) in einen sicheren Zustand fällt.

Der mechanische Bremsvorgang wird eingeleitet durch die Überwachungsfunktionen, den normalen Ablauf beim Stillstand und den beschriebenen Netzausfall.

## **4.2 Das Produkt**

Um die im Kapitel 2 geschilderten Ziele zu verwirklichen, haben wir einen neuartigen Frequenzumrichter entwickelt und zwei Prototypen gebaut.

### **4.2.1 Anwendungsgebiete**

Aufzugsantriebe mit getriebelosen Synchronmotoren.

### **4.2.2 Technische Daten**

Im Anhang A sind die Nenndaten und die Daten der verwendeten Motore für die Prototypmessungen ersichtlich.

### **4.2.3 Elektrische Anschlüsse**

Die Anschlüsse (Steuerung und Leistung Input-Output) entsprechen weitgehend den herkömmlichen in der Aufzugstechnik verwendeten Frequenzumrichtern mit zwei Unterschieden:

- a. Unser Frequenzumrichter hat keine Bremswiderstand-Anschlüsse, da er die Bremsenergie ins Netz zurückspeist.
- b. Unser Frequenzumrichter hat einen zusätzlichen Kontrolleingang für sichere Anlaufsperrung. Falls wir die Zusage von den Behörden (TÜV) erhalten, dürfen wir Systeme ohne Sicherheits- Schütz planen. Die Prototypen beinhalten einen zusätzlichen Thyristor, welcher nach dem Anhalten den DC-Kreis kurzschliesst.

### **4.2.4 Volumen, Gewicht**

Diese Daten entsprechen den üblichen Werten der in der Aufzugstechnik verwendeten konventionellen Frequenzumrichtern.

### **4.2.5 Verwendete Bauteile**

In den Prototypen sind vorwiegend in der Industrie übliche Standardbauteile eingebaut. Wir benötigen keine teuren Spezialkomponenten.

### 4.3 Herstellungskosten

Nach den ersten Berechnungen erreichen wir unser Ziel (Kapitel 2). Genaue Preise werden nach der 0 - Serienproduktion vorliegen (Nachkalkulation).

### 4.4 Prototypen

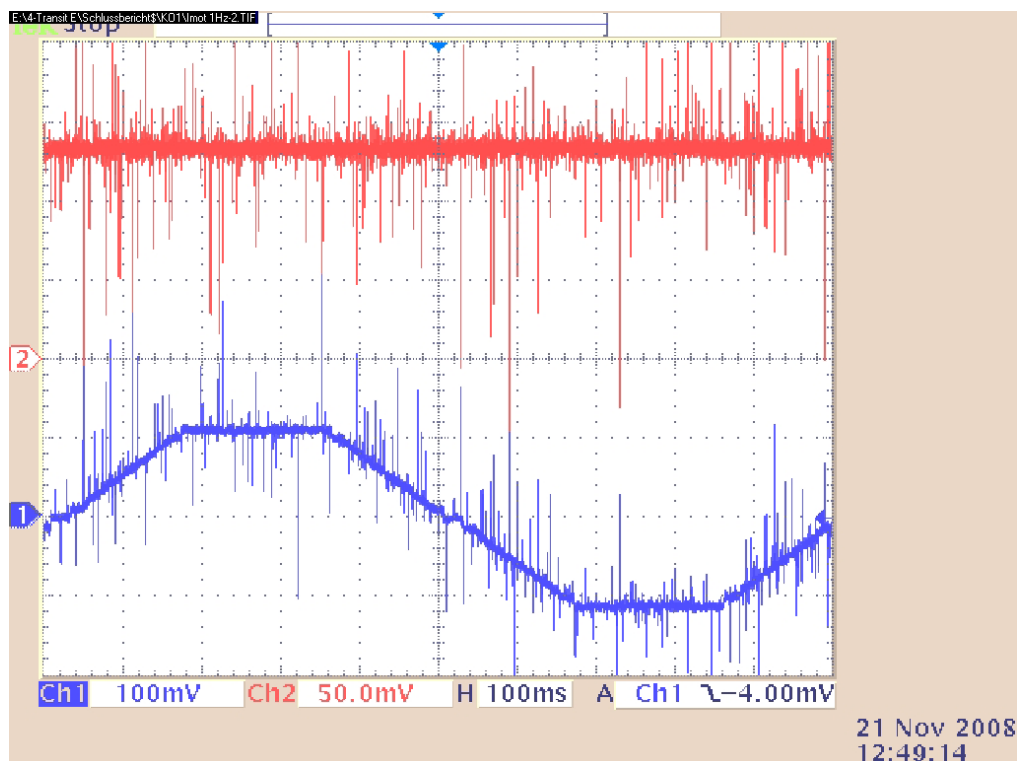
Es wurden 2 komplette Prototypen gebaut, die nun für die Typenprüfungen und die Systemtests verwendet werden.

Die Prototypen enthalten weitgehend die in Kapitel 4.1 beschriebenen theoretischen Grundlagen.

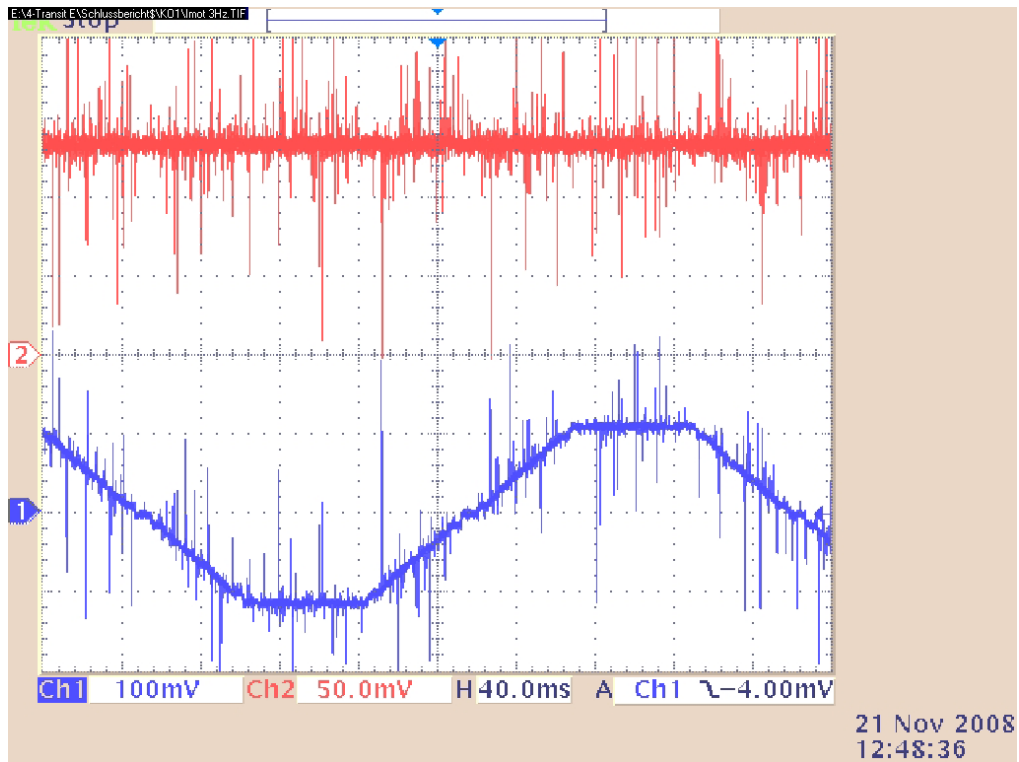
Einzig das Verhalten bei kleinen Frequenzen hat nicht unseren ursprünglichen Annahmen entsprochen. Während der Testphase mussten aufgrund der Lärmentwicklung, der nicht kontinuierlichen Umdrehungsgeschwindigkeit und der Ungenauigkeit bei der Positionierung diverse Anpassungen in der Schaltung und der Software vorgenommen werden.

Wir haben den Leistungsteil mit 3 Kondensatoren ergänzt (3x330nF) und SW-mässig eine Art von Modulation realisiert. Die Modulationsfrequenz beträgt 14.2 kHz. Damit sind die Modulationsgeräusche praktisch über der Hörgrenze. Unter 6Hz Motorfrequenz dreht der Motorstrom Raumvektor mit diesem Verfahren mit gleichmässiger Winkelgeschwindigkeit und „beschreibt“ mit seiner „Spitze“ ein regelmässiges Sechseck.

Dieses Vektorbild hat trapezförmige Phasenströme zur Folge (Bilder 3 und 4):



**Bild 3: F1=1Hz: Zwischenkreisstrom rot / Motorstrom blau**

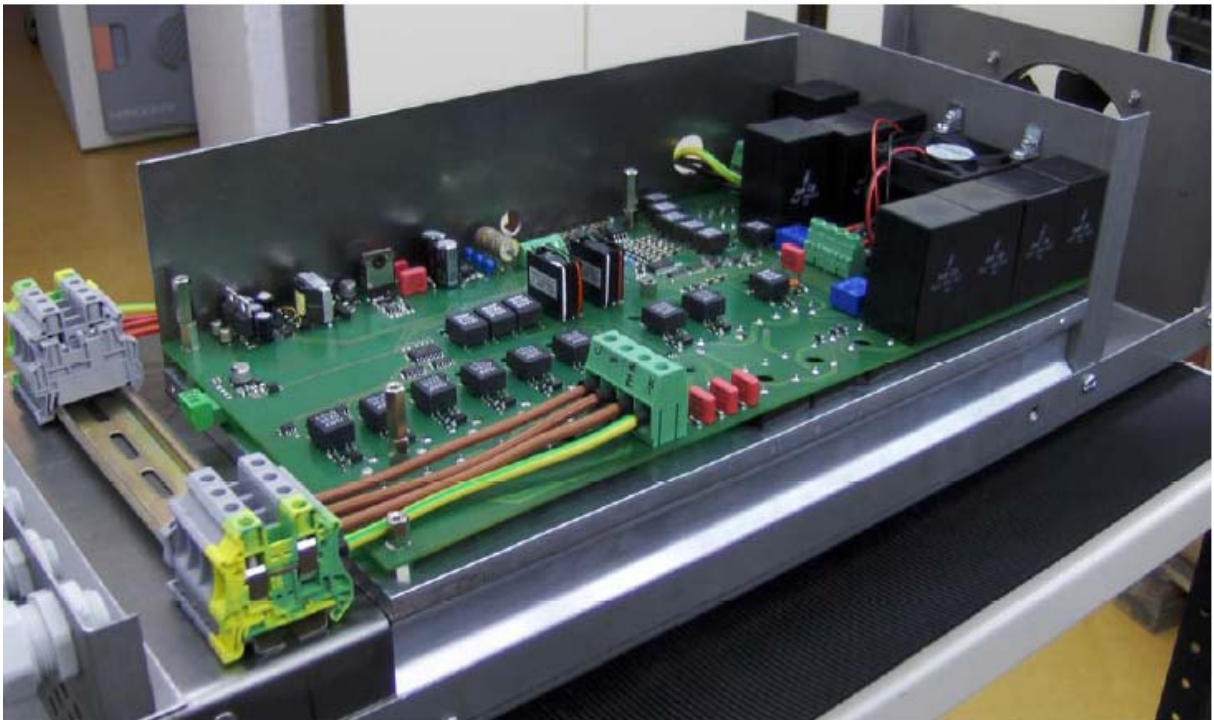


**Bild 4: F1=3Hz: Zwischenkreisstrom rot / Motorstrom blau**

#### 4.4.1 Bilder Prototypen



**Bild 5: Prototyp ohne Deckel**



**Bild 6: Montierter Leistungssprint ohne Logik**

## 5. Messungen

Im Fahrbetrieb entsprechen die Leistungen unseres Umrichters denjenigen eines vergleichbaren U - Umrichters. Von Interesse ist jedoch das Verhalten beim Rückspeisen und im Standby.

### 5.1 Wirkungsgrad Rückspeisung

Unsere Messungen ergaben, dass der Systemwirkungsgrad beim Bremsen (Rückspeisen) gleich ist wie im Fahrbetrieb, da der Bremsstrom durch die gleichen Bauteile wie der Fahrstrom fließt.

### 5.2 Standby Leistung

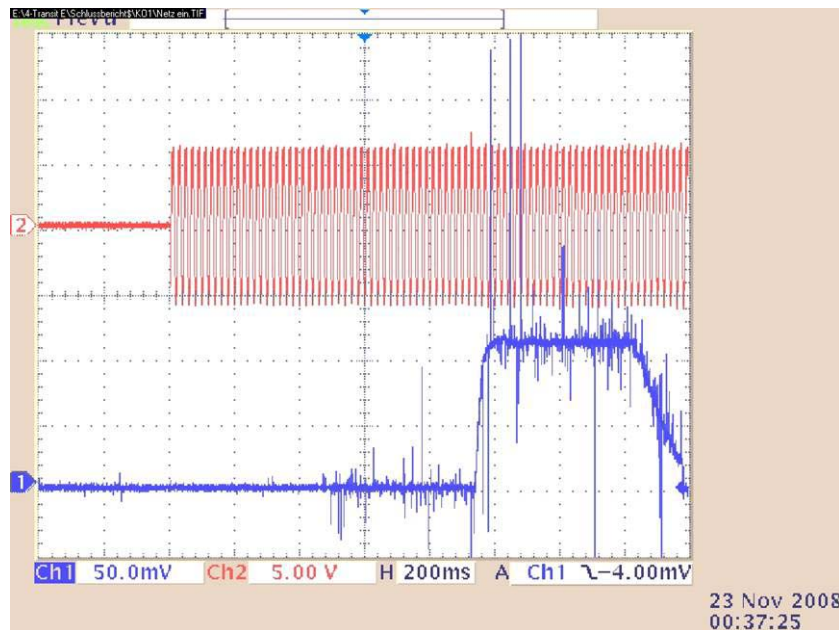
Messungen an einem konventionellen Frequenzumrichter.

- Hersteller: Vacon
- Nennleistung: 7.5kW
- Standbyleistung: ohne Lüfter: 110 W / mit Lüfter: 138 W

Prototyp Neptun:

- Standbyleistung bei Kurzstopp: ohne Lüfter: 53 W (Lüfter sind in Standby immer ausgeschaltet)
- Standbyleistung nach einigen Sekunden ohne Fahrbefehl: 0 W

Unser System baut den Motorstrom nach dem Einschalten der Netzspeisung innerhalb einer Sekunde auf, Bild 7. Diesen Einschaltvorgang kann man ohne Begrenzung wiederholen, da unser System keinen grossen kapazitiven Energiespeicher hat. Deshalb können wir die Speisung grundsätzlich nach jeder Fahrt ausschalten und haben somit keine Stromaufnahme.



**Bild 7: Netzspannung rot / Motorstrom blau**

## 6. Diskussion

Die Problematik rund um die „Kommutierungs-Schaltung“ (Figur 4) ist von der Fachliteratur her bekannt.

Verschiedene Lösungsvorschläge und Schaltungen sind publiziert worden, z.B.: [6], [7], [8], [9], [10]

Die Schaltungen sind mit verschiedenen Nachteilen verbunden:

- viel zu komplex
- verursachen Energieverluste
- beinhalten teurere Bauteile, z.B. grosser 50Hz Transformator

Unsere Schaltung braucht keinen Transformator und ist relativ einfach.

## 7. Schlussfolgerungen

Unser neuartiger Stromrichter hat die Erwartungen erfüllt und sich im Einsatz in einer Testanlage bewährt.

Anfahr- und Bremsverhalten konnten an die Bedürfnisse von Lifтанlagen angepasst werden und erfüllen die technischen Anforderungen (Start-/Stopprampen) als auch die Komfortanforderungen (kein Rucken) für die Aufzugbenutzer.

Die Rückspeisung ins Netz funktioniert mit dem gleichen Wirkungsgrad wie beim Fahrbetrieb.

Der Umrichter hat keinen Standbyverbrauch. Reaktionszeit und Systemstartzeit, werden vom Benutzer nicht wahrgenommen.

Mit einer Startserie werden verschiedene Referenzanlagen ausgerüstet um die Testergebnisse zu verifizieren und die Steuerung zu optimieren.

Verhandlungen mit potentiellen Kunden wie Antriebshersteller und Aufzugsbauer wurden aufgenommen. Erste Testanlagen werden in den nächsten Monaten installiert.

In zwei Fachzeitschriften wurde unser Produkt mit Fachartikeln (Anhang C) vorgestellt, erste Kontakte mit interessierten Firmen haben stattgefunden.

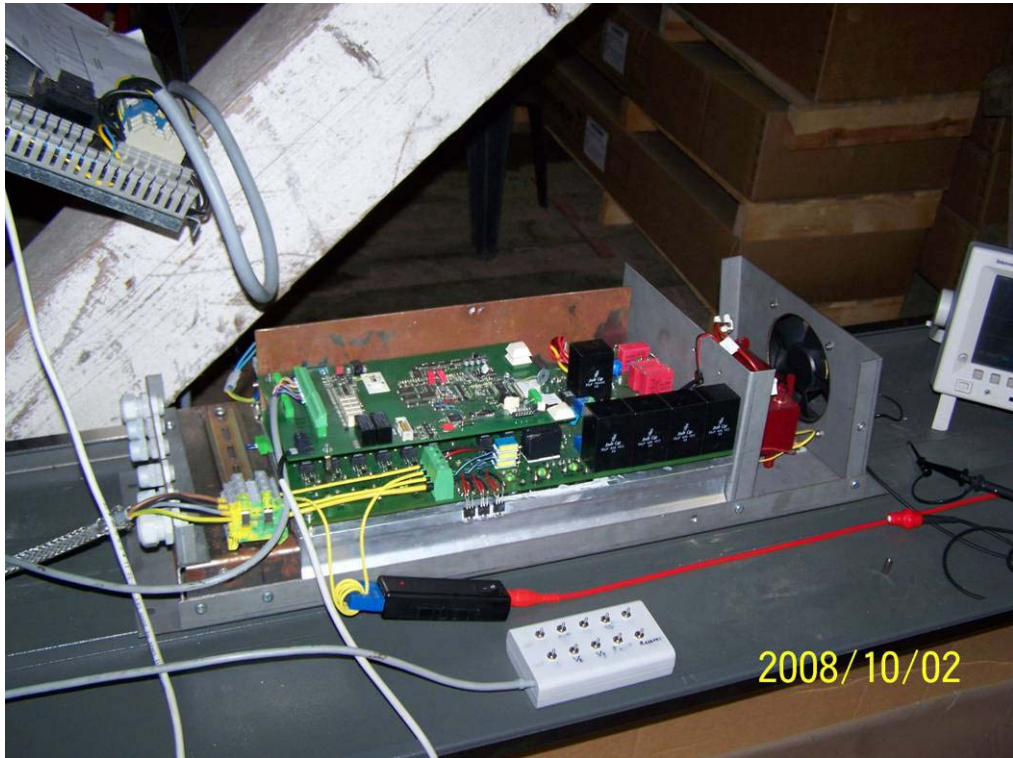
## 8. Bilder, Messresultate



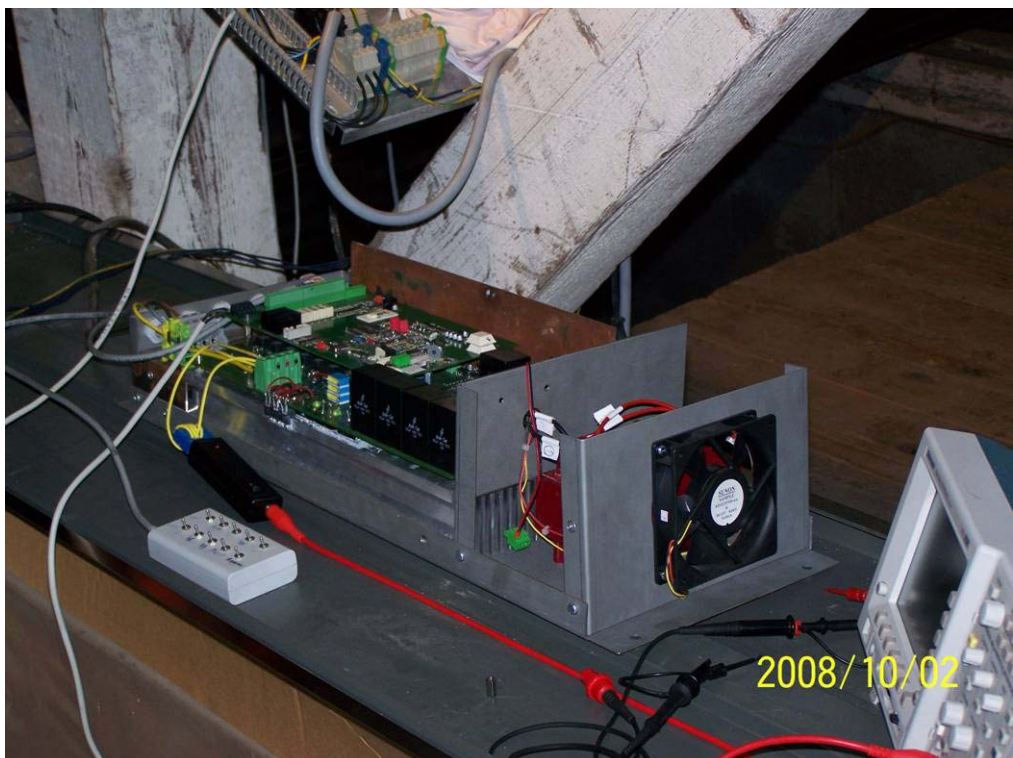
**Bild 1: Fahrmotor**



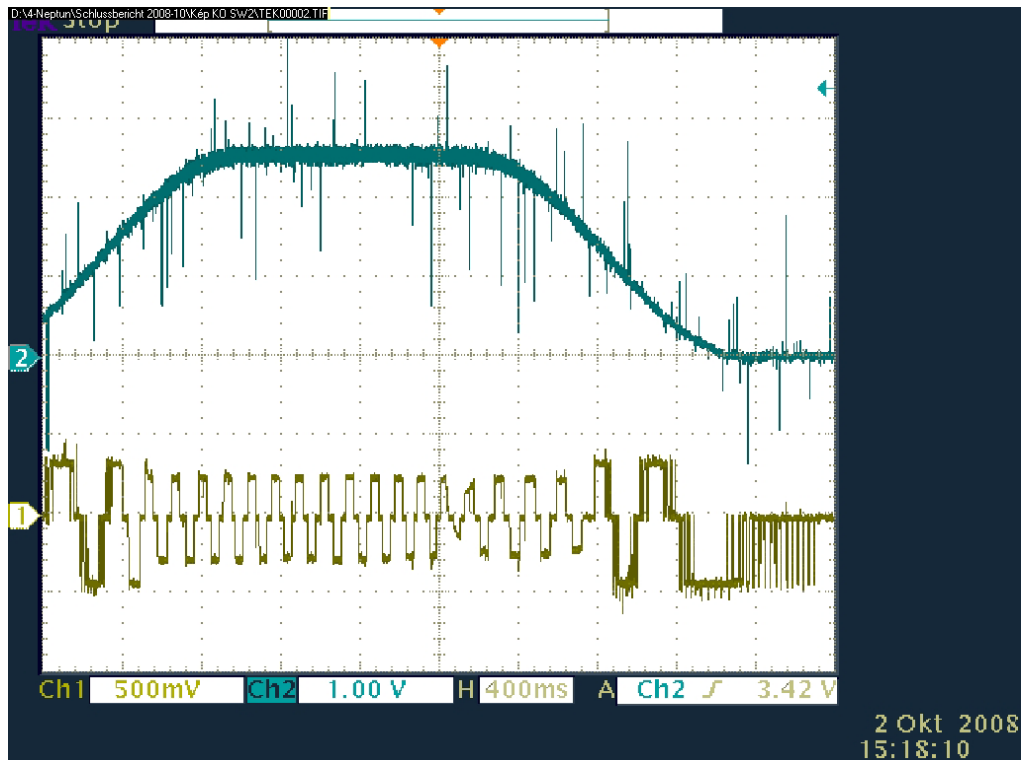
**Bild 2: Liftschacht mit Gewichten**



**Bild 3: Umrichter im Test - 1**

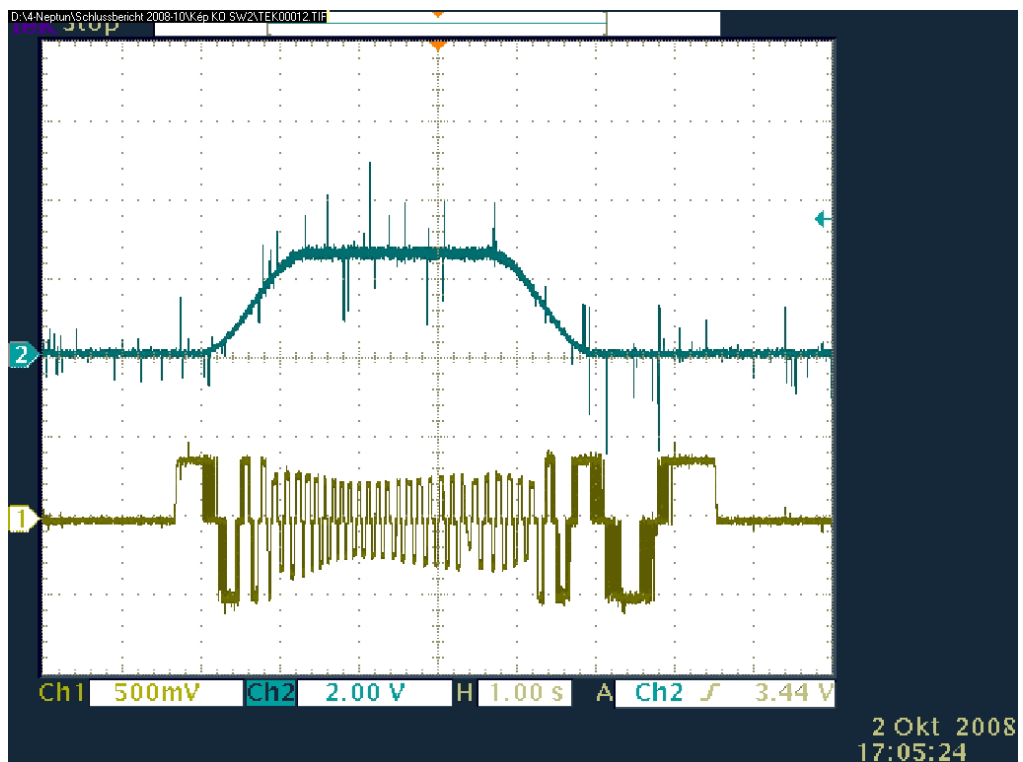


**Bild 4: Umrichter im Test - 2**



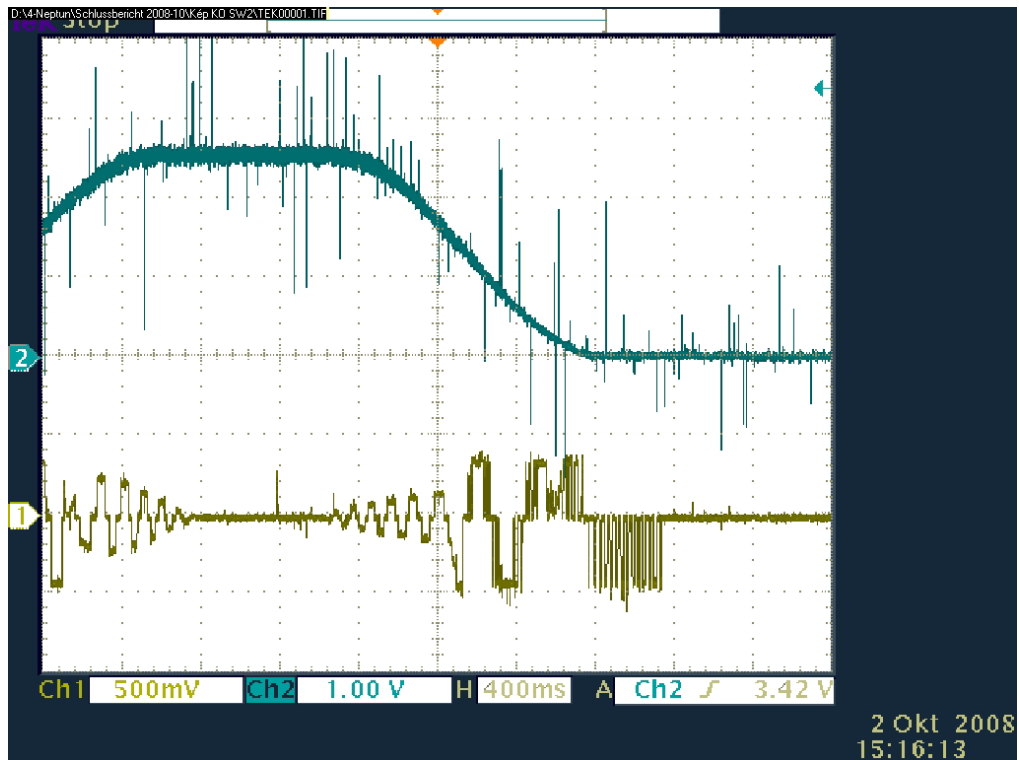
**Bild 5: Fahrzyklus, heben**

Oben: Liftgeschwindigkeit / Unten: Motor Phasenstrom



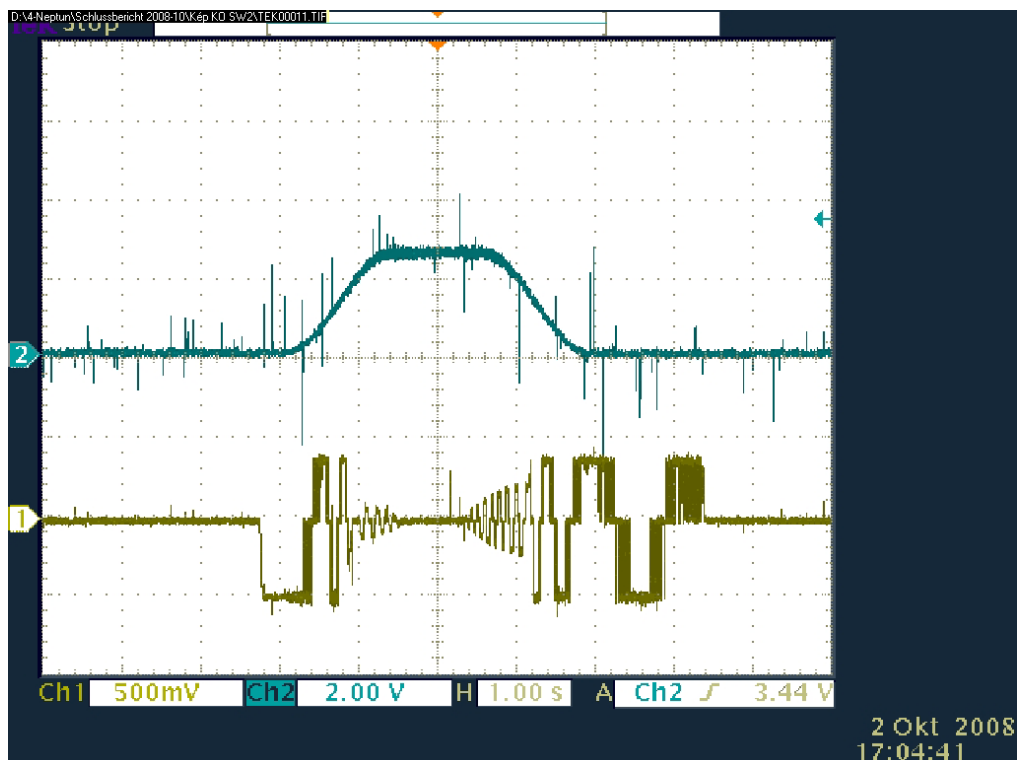
**Bild 6: Fahrzyklus, heben - 2**

Oben: Liftgeschwindigkeit / Unten: Motor Phasenstrom



**Bild 7: Fahrzyklus, senken.**

Oben: Liftgeschwindigkeit / Unten: Motor Phasenstrom  
(Beim Abbremsen steigt der Bremsstrom > Rückspeisung)



**Bild 8: Fahrzyklus, senken - 2**

Oben: Liftgeschwindigkeit / Unten: Motor Phasenstrom  
(Beim Abbremsen steigt der Bremsstrom > Rückspeisung)

## Referenzen

- [1] J. Nipkow: **Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen** – Bundesamt für Energie, DIS-Projekt Nr. 101106, Schlussbericht, November 2005
- [2] Ch. Hoepner: **Matrixumrichter, Markteinführung in Sichtweite** - IEE 50. Jahrgang 10-2005, Seiten 28-31.
- [3] Dr.P.Kanyó: **Verfahren und Schaltungsanordnung für Rückführung der Kommutations Energie bei Drehstrommotor Antriebe mit Stromzwischenkreis Umrichter.** – Patentgesuch Nr. 02039/05, 22.12.2005, Eidgenössisches Institut für Geistige Eigentum - Einsteinstrasse 2 – CH3003 Bern
- [4] F. Jenni: **Umrichter mit Stromzwischenkreis**, Elektroniker Nr. 10-1992. Seiten 71-74.
- [5] R. Vogel: **Method and device for controlling a four-dimensional vector for controlled system by means of discrete-value control element with a limited switching frequency**, US Patent, Nr. 5,874,943, Dec. 8. 1998.
- [6] R. H. Osman: **A Simple Energy-Absorbing Circuit for Current-Source Inverters**, IEE Transactions on Industry Applications. Vol. IA-20, No.6, November/December 1984. Seiten 1448-1452.
- [7] Kume Tsuneo: **Inverter**, Patent Publication Nr. 57059479, 09-04-1982, Japanese Patent Office.
- [8] Kudo Toshiaki: **Current Type Invertor**, Patent Publication Nr. 57170074A, 20-10-1982, Japanese Patent Office.
- [9] V. Gelman: **High Performance Current Source Inverter Drive**, International Semiconductor Power Converter Conference New York, USA 1982, Seiten 266-270
- [10] Kohki Matsuse: **Current-Type GTO Inverter Using GTO in ist Surge Voltage Clamping Circuit**, United States Patent, Nr. 4,580,205, Apr. 1, 1986

## Anhang A

### Nenndaten nach Pflichtenheft:

Nennspannung (RMS):	$U_n = 3 \times 400 \text{ V}_{\text{eff}}$
Max. Motorleistung:	$P_m = 7.5 \text{ kW}$
Max Anlaufstrom Motor (RMS):	$I_{1a} = 22 \text{ A}_{\text{eff}} \text{ (t} < 10 \text{ sec)}$
Max. Motor Nennstrom (RMS):	$I_{1n} = 16 \text{ A}_{\text{eff}}$
Max. Motorstrom Thermisch:	$I_{1th} = 11 \text{ A}_{\text{eff}}$
Max. DC Anlaufstrom (AV):	$I_{da} = 28.2 \text{ A}_{\text{av}}$
Max. DC Nennstrom (AV):	$I_{dn} = 20.5 \text{ A}_{\text{eff}}$
Max. DC Strom Thermisch (AV):	$I_{dth} = 14.1 \text{ A}_{\text{av}}$
Phasenwiderstand (Stern)	$R_1 = 1.3 \text{ ohm}/20^\circ\text{C}$ (Schätzung)
Streuindukt./Phase (Stern)	$L_1 = 6.6 \text{ mHy}$ (Schätzung)

### Motor Zefir Z244B (Swiss Traction):

Nennspannung (RMS):	$U_n = 3 \times 400 \text{ V}_{\text{eff}}$
Motorleistung:	$P_m = 4.58 \text{ kW}$
Anlaufstrom Motor (RMS):	$I_{1a} = 15 \text{ A}_{\text{eff}}$
Nennstrom (RMS):	$I_{1n} = 10 \text{ A}_{\text{eff}}$
Motorstrom Thermisch (RMS):	$I_{1th} = 6.5 \text{ A}_{\text{eff}}$
DC Anlaufstrom (AV):	$I_d = 19.2 \text{ A}_{\text{av}}$
DC Nennstrom (AV):	$I_{dn} = 12.8 \text{ A}_{\text{eff}}$
DC Strom Thermisch (AV):	$I_{dth} = 8.3 \text{ A}_{\text{av}}$
Polzahl	$2p = 16$
Nennfrequenz:	$f_n = 21.22 \text{ Hz}$
Nenndrehzahl:	$n_n = 159 \text{ 1/min}$
Nenndrehmoment:	$M_n = 275 \text{ Nm}$
Phasenwiderstand (Stern)	$R_1 = 3.9/5.08 \text{ ohm}$ ( $20^\circ\text{C}/100^\circ\text{C}$ )
Streuindukt./Phase (Stern)	$L_1 = 22.5 \text{ mHy}$
Trägheitsmoment:	$J = 0.687 \text{ kgm}^2$
Gewicht	$m = 190 \text{ kg}$

### Beispiel Aufzug:

Fahrkorbaufhängung:	2:1
Kabinengeschwindigkeit	$V_k = 1.0 \text{ m/s}$
Einschaltdauer	$ED = 40 \%$
Treibscheibe Durchmesser:	$D_t = 238.8 \text{ mm}$ (Seilmitte)

## Anhang B

### Motor ZETATOP 200.20B-20 (Ziehl-Abegg):

Nennspannung (RMS):	$U_n = 3 \times 360 \text{ Veff Y}$
Motorleistung:	$P_m = 4.2 \text{ kW}$
Anlaufstrom Motor (RMS):	$I_{1a} = 15 \text{ Aeff}$
Nennstrom (RMS):	$I_{1n} = 10.8 \text{ Aeff}$
Motorstrom Thermisch (RMS):	$I_{1th} = 6.1 \text{ Aeff}$
DC Anlaufstrom (AV):	$I_d = 19.2 \text{ Aav}$
DC Nennstrom (AV):	$I_{dn} = 13.8 \text{ Aeff}$
DC Strom Thermisch (AV):	$I_{dth} = 8.4 \text{ Aav}$
Polzahl	$2p = 20$
Nennfrequenz:	$F_n = 28.0 \text{ Hz}$
Nenndrehzahl:	$N_n = 168 \text{ 1/min}$
Nenndrehmoment:	$M_n = 240 \text{ Nm}$
Phasenwiderstand (Stern)	$R_1 = 2.8 \text{ ohm / } 20^\circ\text{C}$
Streuindukt./Phase (Stern)	$L_1 = 21.0 \text{ mHy}$
Trägheitsmoment:	$J = 0.15 \text{ kgm}^2$
Fahrkorbaufhängung:	1:1
Kabinengeschwindigkeit	$V_k = 1.0 \text{ m/s}$
Einschaltdauer	ED = 35 %
Treibscheibe Durchmesser:	Dt = 240 mm

### Aufzugsantrieb

# EFFIZIENZGEWINNE BEI DER AUFZUGSSTEUERUNG

JÜRIG WELLSTEIN<sup>1)</sup>

**Konventionelle Aufzugssteuerungen vernichten Bremsenergie und brauchen viel Standby-Elektrizität. Mit einem Wechsel zu Stromumrichtern können diese beiden Nachteile behoben und mehr Energieeffizienz erreicht werden. Mit einer Pilotanlage wird der Nachweis angestrebt.**

Aufzüge sind ein integraler Bestandteil mehrstöckiger Gebäude. Sei es für den Personentransport oder für Lasten, speziell designed an der Fassade oder konventionell im Gebäudennern, Aufzüge gehören heute dazu. Im Hinblick auf die konsequenten Maßnahmen zur Energieverbrauchsreduktion bei Neubauten und Sanierungen, fällt der Blick auch auf die Aufzugstechnik. Auch hier sind Verbesserungen der Energieeffizienz anzustreben, wenn der Elektrizitätsverbrauch der Haustechnik vermindert werden soll. Dass in der Antriebstechnik sowohl von Aufzügen als auch von industriellen Förderanlagen ein hohes Sparpotenzial zu finden ist, ohne Komforteinbußen eingehen zu müssen, stellt eine erfreuliche Situation dar.



Die Mefortis AG ist seit über 30 Jahren im Aufzugssektor tätig und stellt neben Personenaufzügen und Panorama-Glasaufzügen auch Betten- und Behindertenaufzüge sowie Lasten- und Kleingüteraufzüge her (Bild: Mefortis AG)

### Viele Aufzugsanlagen summieren markante Energieverluste

Das Entwicklungsprojekt Neptun, welches die drei Berner Unternehmen Telma AG<sup>2)</sup>, Kanyo Electronic<sup>3)</sup> und Mefortis AG<sup>4)</sup> mit Unterstützung durch das Forschungsprogramm „Elektrizität“ des Bundesamts

für Energie (BFE) sowie durch die innoBE-Genossenschaft<sup>5)</sup> lanciert haben, geht von zwei Tatsachen des Aufzugsmarktes aus.



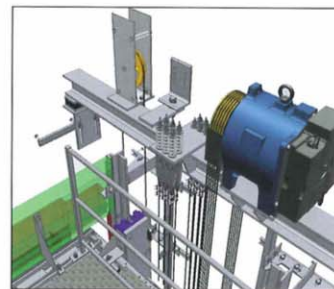
Die Baumustergeprüfte Aufzugsbauweise ohne zusätzlichen Triebwerksraum wird für Nutzlasten von 350 bis 2500 kg eingesetzt. Geringer Platzbedarf und hohe Laufruhe sind besondere Vorzüge. Mit der neu entwickelten Aufzugssteuerung mit Stromumrichter können wesentliche Effizienzgewinne realisiert werden. (Bild: Mefortis AG)

In der Schweiz werden jährlich ca. 6000 neue Aufzugsantriebe installiert; im gesamten EU-Raum wird eine Anzahl von rund 50 000 Antrieben geschätzt. Mehr als zwei Drittel davon sind drehzahlregelte, durch Frequenzumrichter gesteuerte Drehstrommotor-Antriebe. Berücksichtigt man auch die Erneuerungen von Aufzügen in der Schweiz und im europäischen Raum, so erreicht man einen Umfang von über 170 000 Anlagen. Also eine durchaus Erfolg versprechende Grundlage für einen möglichen Business-Plan.

### Standby-Verluste durch 24-Stunden-Betrieb

Als zweite Tatsache gilt die Betriebsweise solcher Aufzüge. Sie müssen ständig beschleunigen und bremsen. Die dafür benötigte Bremsenergie macht zwischen 30 und 40 % des gesamten Energie-Bedarfs aus und wird in Bremswiderständen in Wärme umgewandelt, also vernichtet und in vorgeschriebener Weise an die Umgebung abgegeben. Zugleich werden Aufzüge in der Regel rund um die Uhr betriebsbereit gehalten, was zu einem Standby-Stromverbrauch von bis zu 75 % des Gesamtenergieverbrauchs führt. Wären beide Effekte mit technologischen Mitteln zu verhindern, könnten in Gebäuden auch bei der Aufzugstechnik erhebliche Effizienzgewinne realisiert werden.

Mario Bolla, Geschäftsführer der Telma AG und Projektleiter, erläutert diese Aus-



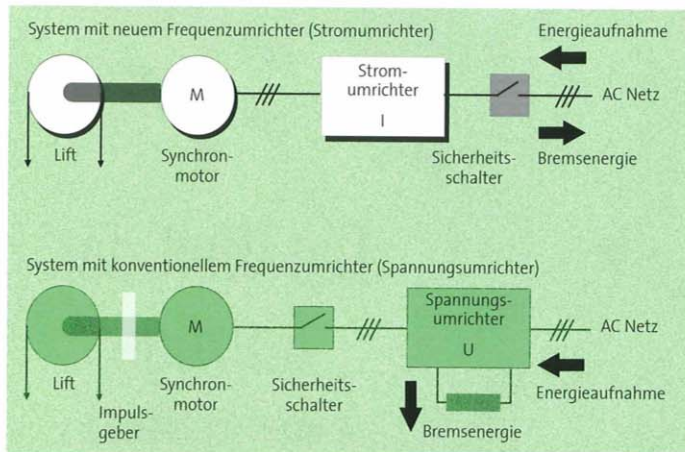
Der rund um die Uhr in Betrieb stehende Liftantrieb stellt eine entscheidende Stromverbrauchsquelle in der Haustechnik dar. Hier sind also wirkungsvolle Effizienzmaßnahmen willkommen. (Bild: Mefortis AG)

sicht: „Grundlage unserer Entwicklungs-idee sind die in einem BFE-Projekt gemachten Berechnungen von Jürg Nipkow, S.A.F.E., welche mit einem Rekuperationswert von 30 % rechnen und annehmen, dass ein Viertel der Standby-Leistung von Frequenzumrichtern stammt. Unser Unternehmen ist innerhalb dieses Forschungsprojekts für die Industrialisierung und Fertigung sowie Vermarktung eines entsprechenden Produkts in der Schweiz zuständig.“



Mario Bolla (links) und Dr. Pál Kanyó haben mit der Entwicklung einer Aufzugssteuerung mit Stromumrichter einen wesentlichen Schritt zur Effizienzsteigerung in der Haustechnik getan

- 1) Fachjournalist SFJ
- 2) Telma AG, CH-3662 Seftigen, Mario Bolla
- 3) Kanyo Electronic, CH-3127 Mühlethurnen, Dr. Pál Kanyó
- 4) Mefortis AG, CH-3762 Erlenbach, Alfred Meier
- 5) BFE-Forschungsprogramm „Elektrizität“: www.electricity-research.ch, Bereichsleiter Felix Frey, Programmleiter Roland Brüniger



Die neue Aufzugssteuerung mit Stromumrichter ermöglicht die Rekuperation der Bremsenergie sowie eine Minimierung der Standby-Elektrizität, so dass Energie eingespart werden kann

### Neue Technologien machen Stromumrichter-Steuerung realisierbar

Diese Analyse stellt eine Herausforderung für Experten im Elektronik-Bereich dar, indem man sich nun auf die Aufzugssteuerung fokussierte. Als grundlegende Erkenntnis gilt: Es sollte statt des üblicherweise eingesetzten Spannungsumrichters ein Stromumrichter eingesetzt werden. Damit ist es möglich, beim Bremsen eine Rückspeisung ins Netz zu erreichen und deutlich weniger Standby-Energie aufzunehmen. Die konventionelle Lösung für zweiquadrante Netzgleichrichter ist eine Thyristor-Brücke. Diese braucht jedoch große induktive Bauteile (Netzdrossel, DC-Drossel). Mit schaltungs-technischen Maßnahmen können diese induktiven Bauteile verkleinert werden. Da keine Kondensatoren geladen werden müssen, kann der Umrichter im Standby-Betrieb vom Netz getrennt werden, so dass keine Energie mehr fließt.

Der Initiator dieser Idee, Dr. Pál Kanyó, meint dazu: „Grundsätzlich sind zwei Umrichter-Typen bekannt, welche sich für

das Rückspeisen ins Wechselstrom-Netz eignen und in stromlosem Zustand keine Energie speichern: Matrix-Umrichter und Stromumrichter. Mit unserem patentierten Kommutierungsverfahren haben wir den Stromumrichter so weiter entwickelt, dass er den genannten Zielsetzungen entspricht.“ Mit dem 4-Quadranten-Betrieb ist nun eine Netzurückspeisung möglich, und auf Bremswiderstände kann verzichtet werden. Zudem können Synchronmotoren wie Schrittmotoren betrieben werden, gewünschte Aufzugspositionen lassen sich damit ohne Impulsgeber anfahren. Die Stromumrichter-Technik ist grundsätzlich nicht neu, sie wurde bei anderen Einsatzgebieten (z.B. Eisenbahn) erfolgreich eingesetzt. Mit der Halbleiter-Entwicklung konnte nun aber auch eine Lösung für Aufzugsantriebe gefunden werden.

### Entwicklung für großen Markt

Als weitere Voraussetzung galt, ein Konzept zu schaffen, das industriell umgesetzt werden kann und gleichzeitig nicht teurer wird als die herkömmliche Span-

nungsumrichtertechnik. Inzwischen ist ein Prototyp gebaut worden, den man zunächst im Labor testete und dann in einer Pilotanlage der als Projektpartner involvierten Mefortis AG einsetzen will. Dieses Unternehmen wird auch die Vermarktung im EU-Raum übernehmen. Alfred Meier, Mefortis AG: „Wir schauen auf über 30 Jahre Erfahrung im Aufzugsbereich zurück und haben speziell die in der Liftkonstruktion integrierte Antriebstechnik weiter entwickelt.“

Die Steuerungsentwicklung hat man beim neuen Projekt zunächst auf einen Leistungsbereich von 5 – 7,5 kW ausgerichtet. Es handelt sich dabei um die konventionellen Aufzüge für ca. fünf bis zehn Personen. Rund zwei Drittel aller



Alfred Meier (rechts), Geschäftsleiter der Merico GmbH und Verwaltungsrat der Mefortis AG, sowie sein Sohn Roger Meier werden als Projektpartner die spätere Vermarktung im EU-Raum leiten

(Bild: Mefortis AG)

Aufzüge können damit abgedeckt werden. Ziel ist es jedoch, im Weiteren den gesamten Leistungsbereich abdecken zu können. Neben den unterschiedlichen Liftmodellen denkt man als Einsatzbereich auch an Fördermittel und an Baukrane. Mit den dabei zu handhabenden Lasten ergeben sich für die Rekuperation noch wesentlich höhere Stromrückspeisewerte. Ebenfalls ein wichtiger Ansatz bei der Erstellung von energieeffizienten Gebäuden. Für die weitere Tätigkeit im Anschluss an das Forschungsprojekt wurde bereits im März 2006 eine neue Firma gegründet: Econodrives GmbH.

Das Team des Projekts erwartet aufgrund der Systemauslegung und der ersten Tests eine Energiereduktion im Betrieb von 30 – 40 % gegenüber konventionellen Systemen. Beim Standby-Verbrauch sind es weit mehr Prozente, da das neue Prinzip nur noch einen minimalen Energiebedarf im Stillstand aufweist. Gesamt-schweizerisch könnten damit über 75 GWh reduziert werden, was über 11 Mio. Franken weniger Energiekosten bedeuten würde.



Der Prototyp der neuen Steuerung des Entwicklungsprojekts Neptun ist in marktconformem Gehäuse eingebaut und steht für den Testlauf bereit