



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 31. Juli 2010

---

# **Standby-Optimierung bestehender Aufzugsanlagen**

---

**Auftraggeber:**

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

**Auftragnehmer:**

INVENTIO AG  
Seestrasse 55  
CH-6052 Hergiswil

**Autoren:**

Urs Lindegger, Schindler Elettronica SA, [urs.lindegger@ch.schindler.com](mailto:urs.lindegger@ch.schindler.com)  
Roman Bettschen, Schindler Aufzüge AG, [roman.bettschen@ch.schindler.com](mailto:roman.bettschen@ch.schindler.com)

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Roland Brüniger

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154226 / 103193

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

# Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage .....	8
2. Analyse des Standby-Verbrauches.....	10
3. Konzept und Schnittstellen.....	14
4. Projektziel: Automatische Abschaltung .....	15
4.1. Vor- und Nachteile des Standby-Reduktions-Gerätes .....	16
4.2. Auswirkungen des Standby-Reduktions-Gerätes .....	16
4.3. Aufgaben .....	16
5. Funktionsmuster Standby-Reduktions-Gerät.....	17
5.1. Bewertung der Einschaltströme .....	17
5.1.1. Getestete Netzgeräte .....	17
5.1.2. Schematischer Aufbau .....	18
5.1.3. Resultate .....	19
5.1.4. Mögliche Verbesserungen und Weiterentwicklungen .....	22
5.2. Auswahl der Schalteinheiten .....	22
5.3. Abschaltbedingung .....	24
5.3.1. Ergebnisse .....	25
5.3.2. Problem handbetätigter Türen .....	25
5.3.3. Stromverlauf in den Energiesparlampen .....	26
5.3.4. Fazit .....	27
5.4. Logik .....	28
6. Messtechnik .....	30
6.1. Überblick der Messgeräte .....	31
6.2. Abtastrate .....	31
6.3. Filterfrequenz .....	32
6.4. Analog- Digital-Wandler (A/D-Wandler) .....	32
6.5. Energiezähler .....	32
7. Testanlagen .....	35
7.1. Anlage 1: Bürogebäude.....	35
7.1.1. Messausrüstung 1.....	35
7.1.2. Messausrüstung 2.....	36
7.1.3. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes .....	36
7.2. Anlage 2: Wohnhaus .....	36
7.2.1. Messausrüstung 1.....	36
7.2.2. Messausrüstung 2.....	36
7.2.3. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes .....	37
7.3. Anlage 3: Prüfstand.....	37
7.3.1. Messausrüstung 1.....	37
7.3.2. Messausrüstung 2.....	37
8. Messaufbau .....	38
8.1. Installation Anlage 1: Bürogebäude .....	38
8.2. Installation Anlage 2: Wohnhaus.....	39
8.3. Installation Anlage 3: Prüfstand .....	40
9. Messungen an den Anlagen .....	40
9.1. Anlage 1: Bürogebäude.....	41
9.1.1. Messung ohne Standby-Reduktions-Gerät.....	41
9.1.2. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes .....	42
9.1.3. Messung mit Standby-Reduktions-Gerät.....	46
9.1.4. Analyse .....	48
9.2. Anlage 2: Wohnhaus .....	49
9.2.1. Messung ohne Standby-Reduktions-Gerät.....	49
9.2.2. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes .....	49
9.2.3. Messung mit Standby-Reduktions-Gerät.....	52
9.2.4. Analyse .....	55

9.2.5.	Kundenbefragung .....	55
9.3.	Anlage 3: Prüfstand .....	58
10.	Die Energie-Etikette für Aufzüge VDI 4707 .....	60
10.1.	Einführung in die VDI 4707 .....	61
10.2.	VDI4707-Messung Anlage 1: Bürogebäude.....	63
10.2.1.	Standby-Messung .....	63
10.2.2.	Referenzfahrt .....	64
10.2.3.	Die VDI 4707-Etikette .....	65
10.2.4.	Fazit .....	67
10.3.	VDI 4707-Messung Anlage 2: Wohnhaus .....	68
10.3.1.	Standby-Messung .....	68
10.3.2.	Referenzfahrt .....	68
10.3.3.	Die VDI 4707-Etikette .....	69
11.	Wirtschaftlichkeits-Analyse.....	72
11.1.	Bürogebäude .....	72
11.2.	Wohnhaus .....	72
12.	Ausblick .....	73

# Zusammenfassung

In der Schweiz gibt es ca. 180'000 Aufzüge. Von Interesse ist einerseits, wie viel Energie diese benötigen und andererseits, wie gross das Einsparpotenzial wäre, wenn man die heutigen technischen Mittel optimal einsetzen würde. Der Schlussbericht des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und –anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1] hat dies aufgezeigt. Die Erkenntnisse flossen in die Richtlinienarbeit VDI 4707 [2] ein, welche eine Energie-Etikette für Aufzüge erstellt hat. Deshalb ist anzunehmen, dass ein Mittel erschaffen wurde, welches den nötigen Druck aufrecht erhält, sodass sich neue Aufzüge energetisch stetig verbessern. Da ein Aufzug jedoch ein Produkt ist mit sehr langer Lebensdauer, wird es ein paar Jahrzehnte dauern, bis die alten, wenig effizienten Aufzüge durch moderne, effiziente Aufzüge ersetzt worden sind. Modernisierungen von Aufzugsanlagen sind üblich und es werden oft neue Antriebslösungen dazu verkauft. Die Aufzugsindustrie hat im Bereich effizientes Fahren in den letzten Jahren sehr grosse Fortschritte gemacht. Da jedoch der Standby-Verbrauch sehr lange unerkannt blieb und indirekt durch die gesetzlichen Anforderungen stetig gewachsen ist, gibt es keine Lösungen, um den Standby-Verbrauch bestehender Aufzugsanlagen zu minimieren, obwohl in der Schweiz ca. 70% der Energie für Aufzüge beim Standby anfallen. Deshalb hat sich diese Studie die Standby-Optimierung bestehender Aufzugsanlagen als Ziel gesetzt.

Da die Technologie- und Produktvielfalt enorm ist, wurde ein Hersteller- und Technologie-neutraler Ansatz gewählt. Mittels **Standby-Reduktions-Gerät** versucht diese Studie, Aufzüge automatisch vom Netz zu trennen und bei Bedarf wieder einzuschalten. Die Studie zeigt die dabei aufgetretenen Probleme auf, die gewählten Lösungsansätze und die mögliche Energieeinsparung.

Als weiteres Ziel führt die Studie in die praxisnahe Messthematik ein und gibt eine Einführung in die Energie-Etikette für Aufzüge.

## Riassunto

In Svizzera sono presenti circa 180'000 ascensori. Sarebbe interessante conoscere quanta energia consumano questi ascensori e sapere anche quanta se ne potrebbe risparmiare se usassero la migliore tecnologia disponibile. Il rapporto finale del BFE- Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und –anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1] ha risposto a questa domanda; risultato usato nella stesura della direttiva VDI 4707 [2]. La VDI 4707 definisce l'etichetta energetica per ascensori. Si può pertanto presumere che si è creato un sistema per forzare la ricerca per migliorare continuamente l'efficienza del consumo energetico degli ascensori. Fin quando gli ascensori saranno prodotti con un lungo ciclo vitale, ci vorranno un paio di decenni prima che i vecchi ed inefficienti modelli siano rimpiazzati da quelli moderni ed efficienti.

La modernizzazione di ascensori è pratica comune dove normalmente vengono vendute soluzioni con Motori moderni. Durante l'anno passato l'Industria Ascensoristica ha compiuto enormi progressi nell'efficienza dei consumi anche se la mancanza di consapevolezza ed i requisiti normativi hanno continuamente aumentato il consumo energetico durante la fase di Standby. Al momento attuale non esistono sul mercato soluzioni per ridurre il consumo in Standby anche se ben il 70% del consumo totale degli ascensori in Svizzera e' proprio da imputare a questa situazione. Proprio per questo motivo il suddetto studio ha impostato l'obiettivo di ottimizzare lo Standby per gli ascensori esistenti, cercando una soluzione il più possibile svincolata da fattori tecnologici, e dunque neutrale, proprio per l'enorme varietà di prodotti sul mercato. Usando un Dispositivo di riduzione consumo in Standby, questo studio prova a spegnere completamente l'ascensore per poi riaccenderlo su richiesta. Lo studio mostra i problemi riscontrati, le soluzioni scelte e il possibile risparmio di energia derivato.

Come ulteriore obiettivo lo studio fornisce un'introduzione pratica nella strumentazione e nella definizione della categorizzazione energetica degli ascensori.

## Resumé

En Suisse, il y a environ 180'000 ascenseurs. D'une part il est intéressant de connaître la quantité d'énergie dont ils ont besoin et, d'autre part, leurs économies potentielles d'énergie si les technologies actuelles seraient utilisées de manière optimale. La publication 250057 «Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen» [1], du programme de recherche technologies et utilisations de l'électricité de l'office fédérale de l'énergie OFEN a répondu à ces questions. Les résultats ont été utilisés lors de la préparation de la directive VDI 4707 [2] qui définit un label énergétique pour les ascenseurs. On peut donc supposer qu'un instrument de mesure a été créé pour avoir la pression nécessaire afin d'améliorer continuellement l'efficacité énergétique des ascenseurs. Puisqu'un ascenseur est un produit avec une durée de vie très longue, il faudra quelques décennies avant que les anciens ascenseurs soient remplacés par de nouveaux ascenseurs à faible consommation plus efficaces.

La modernisation d'ascenseurs est une pratique courante, où généralement des solutions d'entraînement modernes sont vendues. Au cours des dernières années l'industrie des ascenseurs a fait des grands progrès dans l'amélioration de l'efficacité en marche. Toutefois, le manque de sensibilisation et les exigences réglementaires n'ont cessé d'augmenter la consommation d'énergie en mode veille (standby). En effet il n'y a pas de solutions sur le marché pour réduire au minimum le besoin d'énergie en mode veille des ascenseurs installés bien qu'il représente 70% de la consommation d'énergie des ascenseurs en Suisse. Par conséquent, cette étude s'est fixée comme objectif d'optimiser la consommation d'énergie en standby des ascenseurs existants. L'accent a été mis sur une solution étant fabricant et technologique neutre puisque les variantes de produits sont énormes. L'étude se base sur l'utilisation d'un dispositif qui permet de séparer l'ascenseur du réseau électrique et de le reconnecter sur demande. Elle met en évidence les problèmes rencontrés, les solutions retenues et les économies d'énergie possibles.

Comme autre objectif, cette étude donne une introduction pratique à la technique de mesure d'énergie en relation avec le label énergétique pour les ascenseurs.

## **Abstract**

There are about 180'000 elevators in Switzerland. It is interesting to know how much energy those elevators are using and to know their saving potential, if they would optimally use today's available technology. The final report of the BFE-Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und –anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publication 250057) [1] has answered these questions. The results have been used in the work for the directive VDI 4707 [2]. The VDI 4707 defines an energy label for elevators. It can therefore be assumed that a means has been created to have the necessary pressure to continuously improve the energy efficiency of elevators. Since elevators are products with very long lifetime, it will take a couple of decades until the older less efficient elevators got replaced by modern efficient ones. Modernizing elevators is a common practice, where usually modern drive solutions are sold. During the last years, the elevator industry has made high progress in improving the efficiency in the operation. The lack of awareness and the regulatory requirements have continuously increased the standby power. There are no solutions on the market to minimize the standby although 70% of the energy used by elevators in Switzerland count for the standby. Therefore this study has set the target to optimize the standby for existing elevators.

The focus has been set to a solution being manufacturer and technology neutral, since the technology and product variations are huge. Using a standby-reduction-device, this study tries to automatically switch off complete elevators from the mains and on demand turns them on again. The study shows the problems faced, the solution chosen and the possible saving potential.

As additional goal the study gives practical introduction in the instrumentation and to the energy label for elevators.

## 1. Ausgangslage

Der Schlussbericht des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und -anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1] hat aufgezeigt, dass etwa 0.5% des schweizerischen Bedarfs an elektrischer Energie für Aufzüge benötigt wird. Überraschend war, dass ein grosser Anteil davon im Standby-Betrieb verbraucht wird.

Die Studie wurde zur Grundlage der Richtlinienarbeit des Vereins Deutscher Ingenieure VDI 4707 [2], welche eine Energie-Etikette für Aufzüge definierte. Dadurch wurde dem Aufzugsmarkt erstmals eine Messlatte zur Verfügung gestellt, welche den nötigen Marktdruck und Transparenz erzeugt. Es ist deshalb anzunehmen, dass sich somit die neuen Aufzugsanlagen stetig verbessern müssen, um sich im Markt zu behaupten.

Der Standby-Verbrauch eines kleinen Aufzuges in einem Wohnhaus erzeugt etwa CHF 100 auf der jährlichen Stromrechnung, was lokal nicht viel erscheint, aber für die Schweiz bedeutet das etwa CHF 24 Mio. (1 kWh Preis CHF 0.15, Gesamtenergie für den Standby 160 GWh) für alle Aufzüge. Dies entspricht etwa dem Verbrauch von 160 GWh, was im Vergleich zu einem Kraftwerk, z.B. Verzasca Staumauer mit 227 GWh bedenklich erscheint.



Figur 1: Verzasca Staumauer

In der Schweiz gibt es ca. 180'000 Aufzüge und pro Jahr steigt diese Zahl um etwa 7'000. Für einen Aufzug rechnet man mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von 30 Jahren. Deshalb wird es lange dauern, bis die neuen, effizienten Aufzugsanlagen die älteren, weniger effizienten Anlagen abgelöst haben. Aus rein wirtschaftlichen Überlegungen ist es leider oft nicht sinnvoll, einen alten, energetisch schlechten Aufzug durch einen neuen Aufzug zu ersetzen. Während der Lebensdauer eines Aufzugs rechnet man aber damit, dass die Anlage modernisiert wird. Dies ist oft nötig, um den Aufzug auf den gestiegenen Sicherheitslevel zu heben und ihn auch behindertengerecht zu machen.

Bei einer Modernisierung kann natürlich auch die Energieeffizienz eines Aufzugs gesteigert werden. Speziell beim effizienten Fahren werden innovative Lösungen angeboten. Aufzüge mit Getriebe können durch getriebelose Lösungen ersetzt werden und die Frequenzumrichter-Technik ermöglicht ein effizientes Fahren.



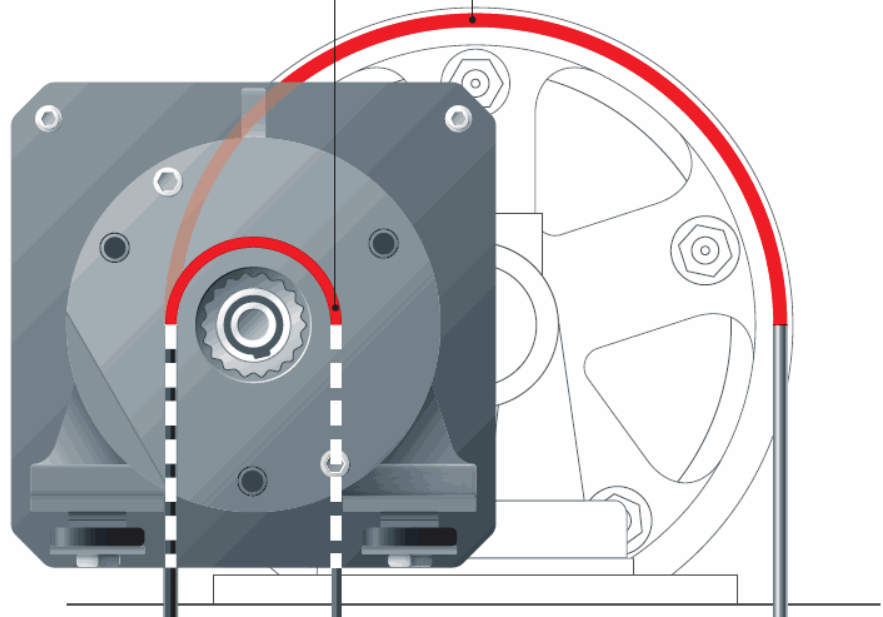
Zum Beispiel lässt sich mit Riemenantrieben (dünne Stahlseile in Gummiummantelung) nebst Vorteilen wie die ökologische Materialeinsparung und die vereinfachte Montage, der Treibscheibendurchmesser verkleinern. Dadurch sinkt auch das nötige Drehmoment des Motors und somit kann auf ein Getriebe verzichtet werden. In der Vergangenheit waren Schneckengetriebe mit Wirkungsgraden von 0.5 üblich.

**Bisher: Stahlseile**

Stahlseile sind relativ unelastisch. In dem für Aufzüge erforderlichen Seildurchmesser benötigen sie einen Treibscheiben-Durchmesser von mindestens 320 mm. Entsprechend gross muss der gesamte konventionelle Motor samt Antriebsrädern sein. Eine Anlage, die Platz und Energie braucht.

**Neu: Das innovative Antriebsmittel**

Das neue Antriebsmittel ist flexibel. Es kommt mit einem bedeutend geringeren Treibscheiben-Durchmesser aus als Stahlseile. 85 mm genügen. Dadurch ist ein viel kleinerer Motor möglich. Eine Konstruktion, die Platz und Energie spart.



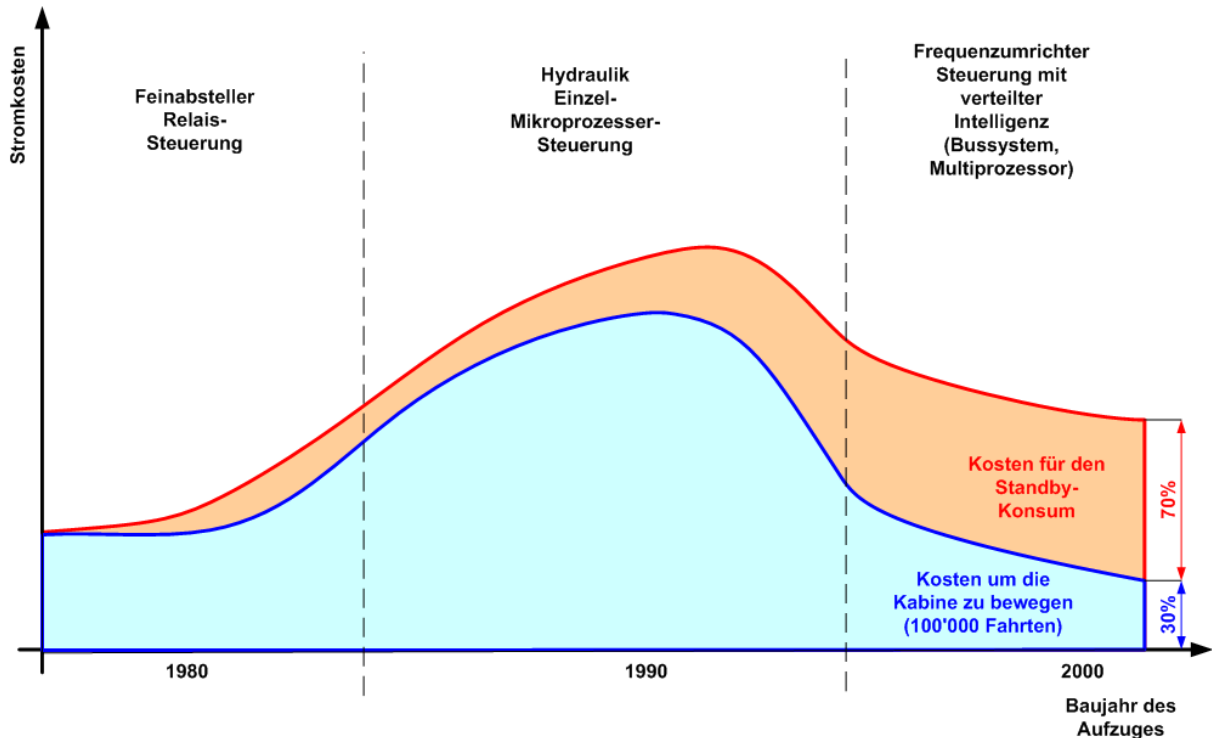
Figur 2: Vergleich Riemen mit Stahlseilen

Es stellt sich somit die Frage: Wie kann der Standby-Verbrauch bestehender Aufzugsanlagen optimiert werden?

## 2. Analyse des Standby-Verbrauches

Die Studie des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und -anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1] hat überraschend aufgezeigt, dass der Standby-Verbrauch relativ hoch ist. Ebenfalls wurde aufgezeigt, dass der Standby-Verbrauch bei neuen Aufzügen höher sein kann als bei alten Aufzügen. Eine alte Relais-Steuerung ohne Frequenzumrichter hat einen kaum messbaren Standby-Verbrauch. Die Energie-Etikette VDI4707 hat für die Standby-Klasse A den Grenzwert von 50 W definiert [2]. Der Vergleich zwischen einer alten Relais-Steuerung mit praktisch 0 W Standby-Bedarf und einem modernen Aufzug, der 50 W Standby-Bedarf hat, ist interessant und inspirierend, aber nicht fair.

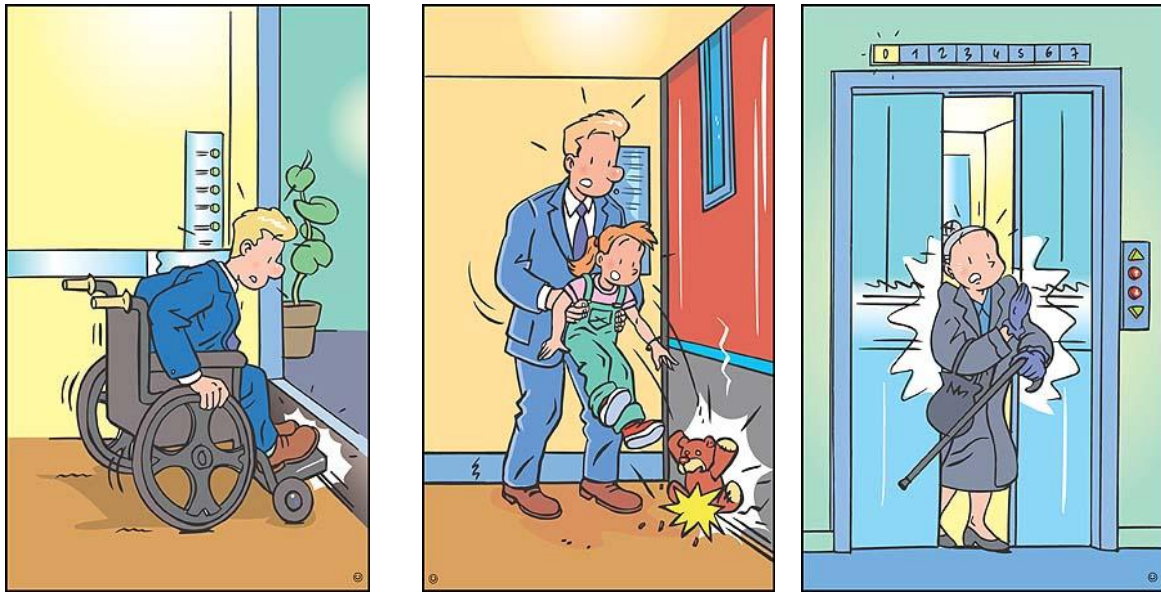
### Stromverbrauchsentwicklung eines Wohnhausaufzuges



Figur 3: Entwicklung des Stromverbrauchs

Die Sicherheitsanforderungen und die Anforderungen, behindertengerecht zu sein, fordern eine erhöhte Funktionalität, die nur durch komplexe Elektronik lösbar ist. Die Elektronik hat den unerwünschten Nebeneffekt, dass sie Standby-Energie benötigt.

Ein paar Beispiele (Illustrationen ELA [4]):



Figur 4: Risiken alter Aufzüge

Die nötige Anhaltengenauigkeit für die Benutzung von Rollstühlen und das Verhindern von Stolperunfällen in und aus der Kabine kann nur durch Frequenzumrichter-Antriebe erreicht werden.

Automatische Kabinenabschlusstüren verhindern den Kontakt mit der vorbeifahrenden Schachtwand.

Lichtvorhänge (Lichtgitter) an den Türen verhindern den Kontakt mit den schliessenden Türflügeln.

Displays und Sprachansage, Kabinengrössen, die dem Platzbedarf von Rollstühlen angepasst sind, machen den Aufzug behindertengerecht.

Der Vergleich zwischen alten und neuen Aufzügen ist deshalb nicht fair, da alte Aufzüge nicht mehr Vorschriften-konform sind und so nicht mehr in Verkehr gebracht werden dürften.

Eine alte Relais-Steuerung könnte durch das Hinzufügen von Aufzugskomponenten wie Frequenzumrichter, Kabinenabschlusstüren, Lichtvorhänge, Tableaus usw. ebenfalls auf den gleichen Sicherheitslevel gehoben werden, jedoch würde dann der Standby markant ansteigen und das Standby-Problem wäre so nicht gelöst.

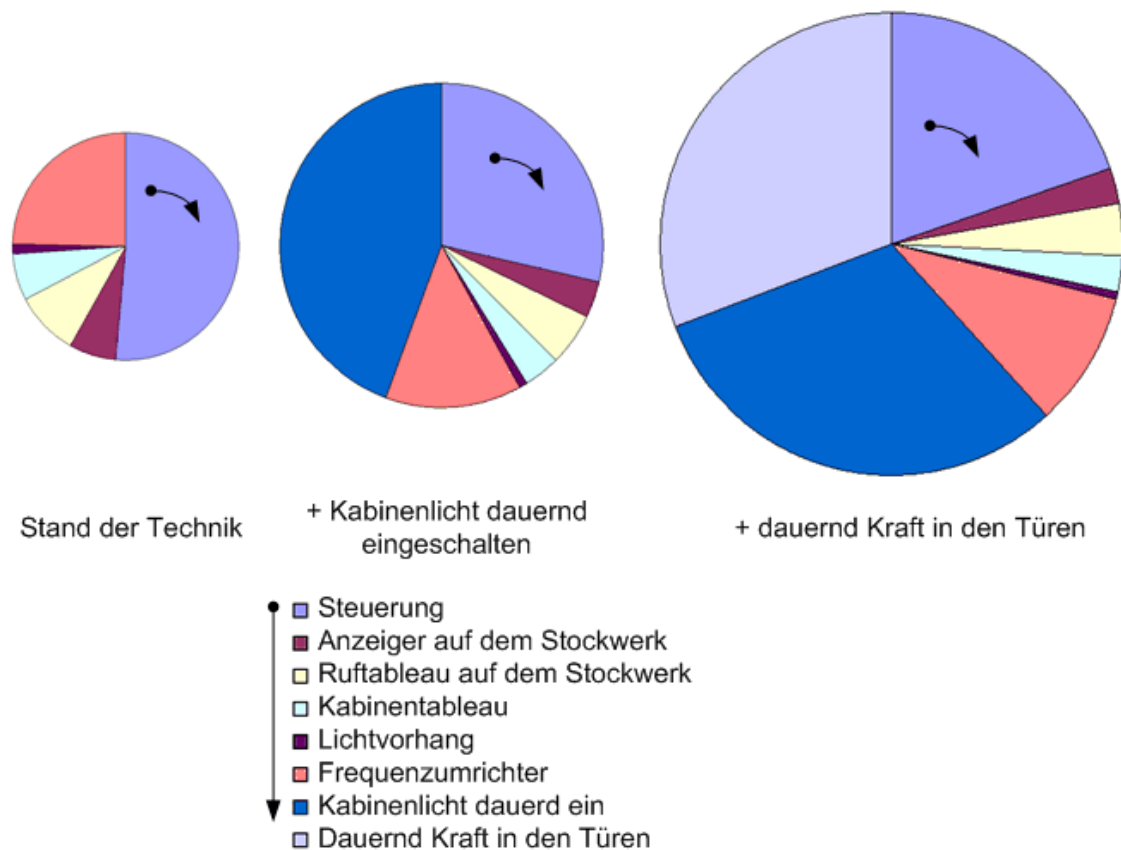
Analysiert man den Standby-Verbrauch, erkennt man Folgendes:

Gewisse Aufzüge haben die Türmotoren dauernd unter Strom, um die Türen geschlossen zu halten. Dies ist eine Folge der Vorschriften die sagen, dass Passagiere in Aufzügen in stromlosem Zustand sich selbst aus der Kabine befreien können, wenn sich die Kabine auf dem Stockwerk befindet. Natürlich kann man diese Anforderung auch energieeffizient lösen.

Gewisse Aufzüge haben das Kabinenlicht 24h im Tag eingeschaltet. Andere Aufzüge schalten es ca. 15 Minuten nach der letzten Fahrt ab. Diese Zeit wurde so gewählt, um nicht die Lebensdauer der Lampen durch zu häufiges Schalten drastisch zu reduzieren. Durch schaltfeste Energiesparlampen und LED's kann diese Zeit jedoch weiter reduziert und so auch Energie gespart werden. Bei LED's bedarf es jedoch technischer Abklärung bezüglich der Schaltfestigkeit, da die Ansteuerelektronik oft nicht dafür ausgelegt ist.

Hat man die beiden Probleme unter Strom stehende Türmotoren und dauernd eingeschaltetes Kabinenlicht gelöst, erkennt man, dass die Summe der einzelnen Komponenten den Standby-Verbrauch von ca. 50 - 80 W ausmacht. Es ist jedoch nicht mehr klar, wer der Hauptverursacher ist. Selbst die Steuerung lässt sich selbst wieder weiter

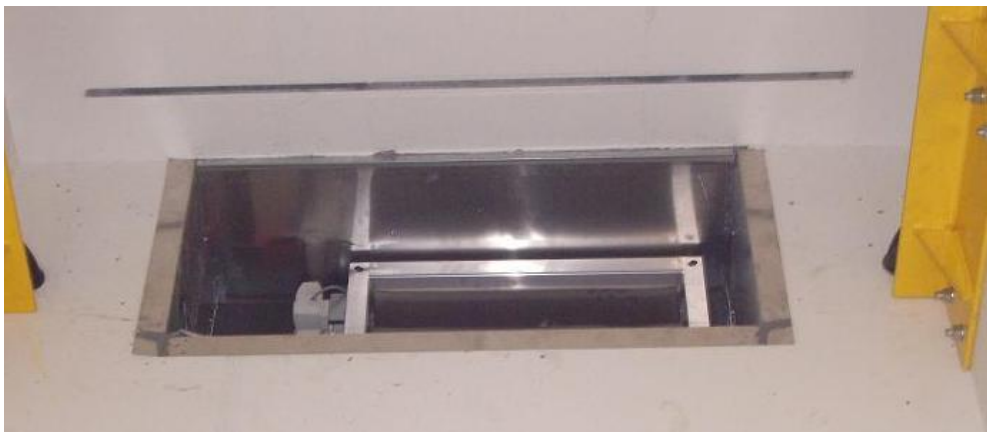
unterteilen. Ebenfalls steht man vor dem Problem, dass die in den letzten Jahrzehnten eingesetzte Technologie und Produktpalette unterschiedliche Strukturen haben und deshalb ein gezieltes Eingreifen in die Aufzugselektronik nicht praktikabel ist.



Figur 5: Analyse des Standby

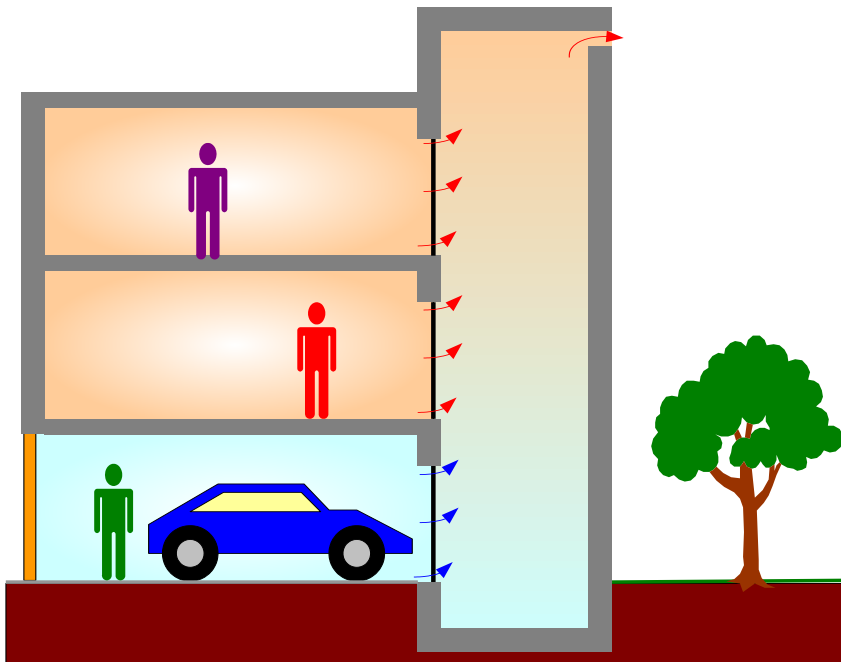
Anstrengungen betreffend Antriebsoptimierung oder Sleepmodus-Entwicklungen sind im Gange, welche sich aber hauptsächlich auf Neuanlagen fokussieren.

Obwohl es nichts direkt mit dem Aufzug zu tun hat, ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass es ein weiteres energetisches Optimierungspotential gibt: den Aufzugsschacht. Es wird verlangt, dass der Aufzugsschacht mit Frischluft versorgt wird, damit im Falle eines Gebäudebrandes der Rauch entweichen kann. Die Lösung dieser Anforderung ist oft eine Öffnung im Schachtkopf direkt nach draussen.



Figur 6: Schachtöffnung

Betrachtet man dies energetisch, sieht man, dass es einen Kamineffekt geben und Wärme entweichen kann. Gerade im Winter kann so erheblich Energie entweichen.

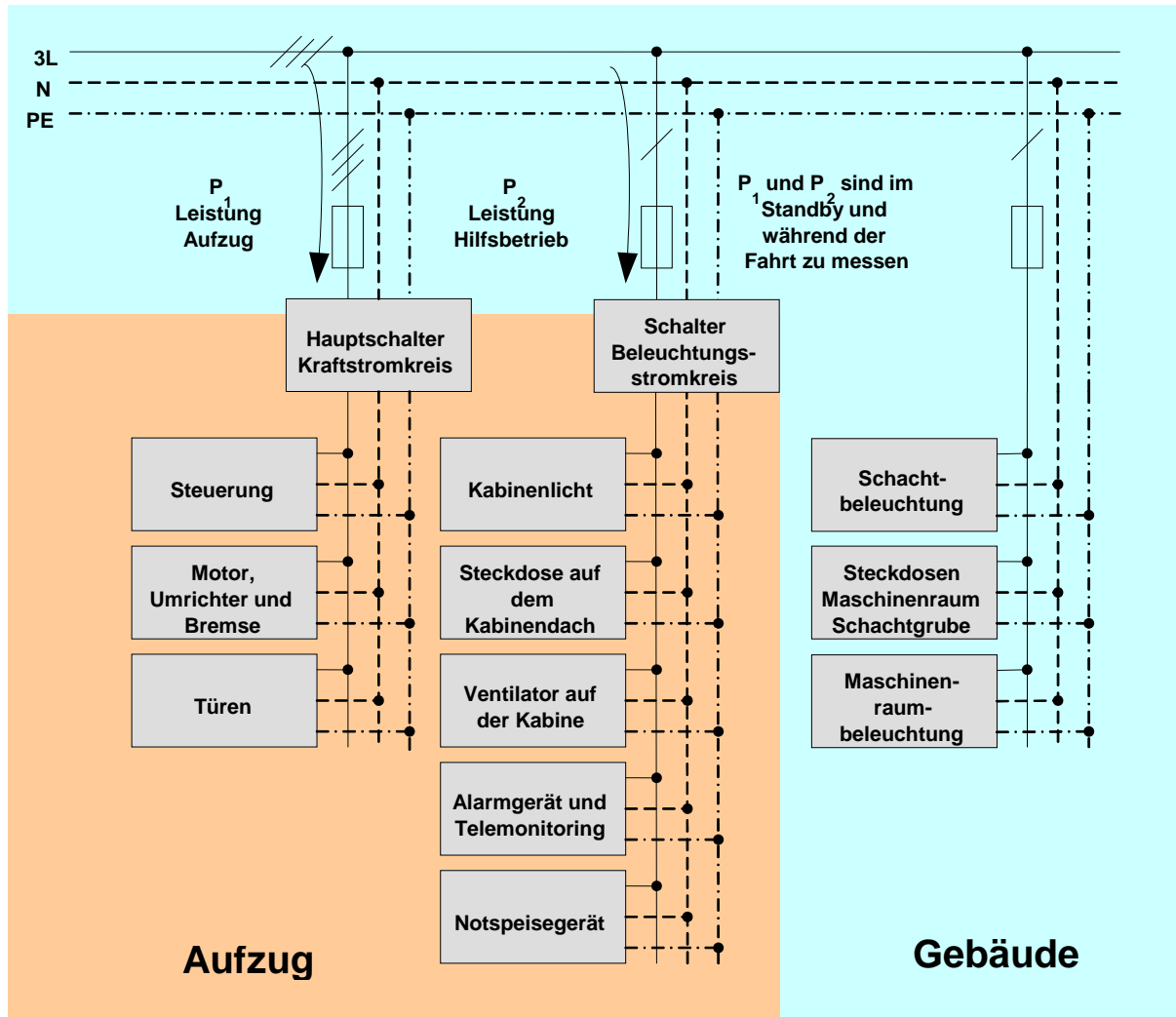


Figur 7: Kamin-Effekt

Auch hier gibt es bereits Produkte, welche zum Beispiel mittels Klappen nur bei Bedarf öffnen.

### 3. Konzept und Schnittstellen

Um bestehende Aufzüge Standby-mässig zu optimieren, muss man gemeinsame Schnittstellen finden, um so den Aufwand der technischen Bearbeitung dieser Anlagen auf ein wirtschaftliches Mass zu reduzieren. Betrachtet man die Aufzüge, die in Betrieb sind, bemerkt man aber die Technologie-Vielfalt der letzten 30 Jahre. Zum Glück ist die Schnittstelle zum Gebäude relativ einfach und von der Aufzugsnorm EN 81 definiert:



Figur 8: EN 81-Aufzug

Es ist deshalb naheliegend, ein **Standby-Reduktions-Gerät** den beiden Hauptschaltern nachzuschalten, welches den Aufzug komplett abschaltet und somit den Standby reduziert. Der Bereich vor den Hauptschaltern ist ausserhalb der Aufzugsanlage und kann nicht vom Aufzugsbetreiber spannungslos geschaltet werden. Ferner herrschen dort nationale Bestimmungen für Elektro-Installationen, welche Aufzüge mit CE-Zeichen nicht zwingend abdecken.

Falls trotzdem etwas schief gehen würde, gibt es ein Alarmgerät in der Kabine, welches Vorschrift für neue Aufzüge ist. Es wird auch stark empfohlen, existierende Aufzüge damit auszurüsten, da es leider immer wieder vorkommt, dass Leute mehrere Tage in Aufzügen eingeschlossen werden.

#### 4. Projektziel: Automatische Abschaltung

Das Ziel des Projektes ist ein **Funktionsmuster** zu erstellen, welches unter Berücksichtigung bestimmter Kriterien die Aufzugsanlage aus- und wieder einschaltet, um die Energie für den Standby-Verbrauch zu minimieren. Somit kann das schweizerische Einsparpotential anhand des totalen Standby-Bedarfs von 160 GWh abgeschätzt werden.

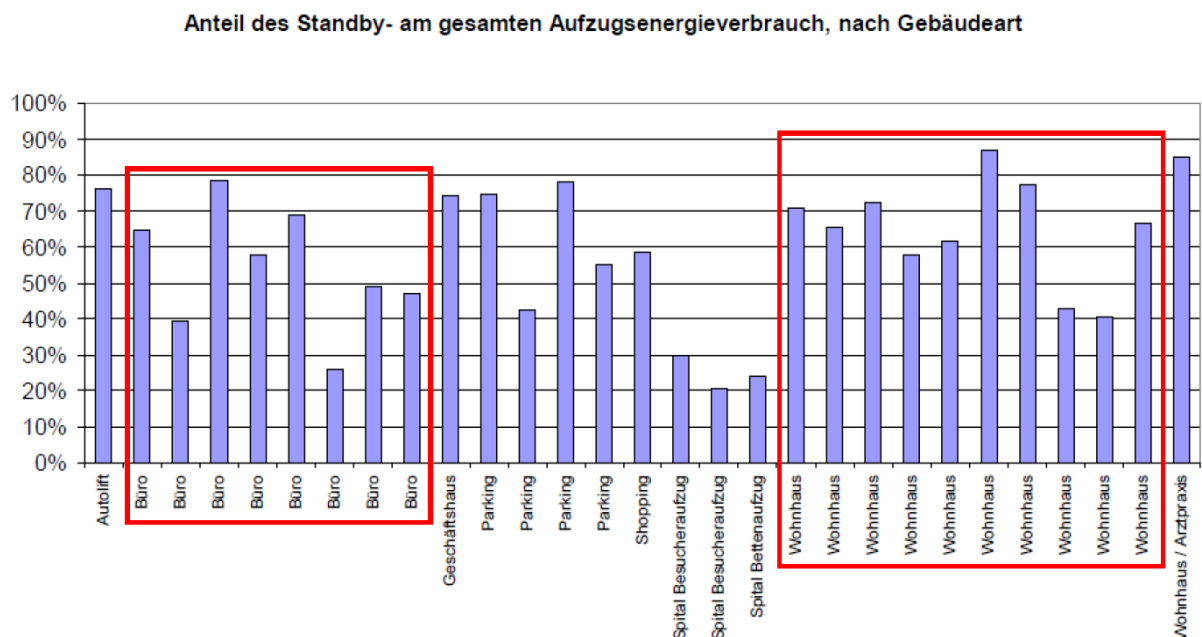
Das Funktionsmuster soll für Gruppen sowie für Einzelaufzüge einsetzbar sein.

Das Funktionsmuster sollte dabei keine negativen **Seiteneffekte** erzeugen (Einschliessen von Passagieren, Absetzen einer Störungsmeldung an die Servicestelle oder an das Gebäude, inakzeptable Bootzeit des Aufzugs, unhandliche Handhabung des Notlichts und dessen Stromversorgung, störende Einflüsse auf die Evakuierungseinrichtung, usw.).

Aus den Erkenntnissen des Funktionsmusters könnte in der Zukunft ein Gerät entwickelt werden. Dieses **Standby-Reduktions-Gerät** sollte einen geringen Eigenverbrauch aufweisen und könnte als **Modernisierungs-Kit** eingesetzt werden. Es sollte an verschiedenen Anlagentypen installiert werden können. Dabei sollte der Installationsaufwand so gering wie möglich gehalten werden.

Um sich auf die Hauptaufgabe, den Aufzug zu konzentrieren, wurde das **Standby-Reduktions-Gerät** nicht im Detail realisiert, sondern mittels einer SPS und entsprechenden Schaltgeräten als Funktionsmuster getestet.

Die Grafik der Studie „Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen“ lässt abschätzen, wie viel Standby-Energie in den beiden zu untersuchenden Anlagen (Büro und Wohnhaus) anfällt.



Figur 9: Standby-Verteilung

Betrachtet man die Grafik sieht man, dass je nach Gebäudeart sehr grosse Einsparungen möglich sind. Die Tendenz der Einsparungen im Bürogebäudebereich liegt mit durchschnittlich 53% aber tiefer als im Wohnbereich mit durchschnittlich 64%.

#### **4.1. Vor- und Nachteile des Standby-Reduktions-Gerätes**

Durch den Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** werden folgende Vor- und Nachteile erzielt.

Vorteile:

Verbesserung der Energieeffizienzklasse nach VDI 4707

Argumentation zur Verbesserung der Energiezertifikate von Gebäuden

konkreter Vorschlag zum nachhaltigen Energieumgang

Verkaufsargumentation

universelle Einsetzbarkeit

als Modernisierungspaket realisierbar

transparenter Energieverbrauch führt zu höherem Konkurrenzverhalten

Beitrag zur Entwicklung von  $\leq 1$  Watt-Aufzügen

Nachteile:

Verfügbarkeit kann durch Aufstartvorgänge reduziert werden

Alterungsprozess von Komponenten

Investitionskosten unumgänglich

#### **4.2. Auswirkungen des Standby-Reduktions-Gerätes**

Durch den Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** entstehen folgende Wirkungen:

institutionelle und private Käufer erhalten Unterstützung für energiebewusste Entscheidungen

Produzenten bekommen Anreize zur Entwicklung von energiesparenden Produkten und für das Marketing bessere Instrumente und Argumente

Produkte können sich von den Mitbewerbern bewusst abheben

Berater/Architekten erhalten Unterlagen zur Entscheidungsfindung sowie Sub- Unternehmen

Beispiele und Erfahrungen werden erschaffen, um weiterführende Massnahmen in der Industrie weiterzutreiben

#### **4.3. Aufgaben**

Untersuchungen an zwei Schindler Steuerungsfamilien:

zeitgesteuertes Abschalten an einem Gruppenaufzug mit der Steuerung Miconic TX-GC

benutzergesteuertes Abschalten an einem Einzelaufzug mit der Steuerung Miconic BX

Vergleich der Messtechnik Energiezähler und Leistungsanalysatoren

Vergleich der Energiemessgeräte

Wochenmessung in Einzelaufzug

Wochenmessung in Gruppenaufzügen



## 5. Funktionsmuster Standby-Reduktions-Gerät

Für die Konzeption des Funktionsmusters wurden die einzelnen Teilfunktionen betrachtet und auf ihre Risiken untersucht.

### 5.1. Bewertung der Einschaltströme

Zu häufiges Ein- und Ausschalten des Aufzugs durch das **Standby-Reduktions-Gerät** wird sich negativ auf die Lebensdauer des Aufzugs auswirken. So ein Ein-/Ausschalt-Zyklus erzeugt einen Temperatur-Zyklus in der Aufzugselektronik, stresst die chemischen Eigenschaften von Elektrolyt-Kondensatoren und vermindert dadurch die Lebenserwartung wie MTBF-Berechnungen (Mean Time Between Failure) und Ausfallanalysen zeigen. Durch entsprechende Dimensionierung könnte man die Aufzugselektronik schaltfest machen, dies wird jedoch kaum der Fall gewesen sein, als man die Elektronik der bestehenden Aufzugsanlage entwickelt hat. Für das Abschalten muss deshalb ein sinnvoller Kompromiss gefunden werden. Zu häufiges Abschalten soll vermieden werden.

Dieses Thema wurde an Netzgeräten untersucht; den gleichen Effekt gibt es auch bei Frequenzumrichter-Antrieben. Die Resultate dienen zur Beurteilung der "Gefahrenquelle" beim Ein- und Ausschalten und sollen entsprechend eingestuft werden.

Anhand der Resultate kann eine Aussage über die Störemission gemacht werden, jedoch nicht über die Immission auf andere Komponenten.

#### 5.1.1. Getestete Netzgeräte



Figur 10: Netzgerät 1



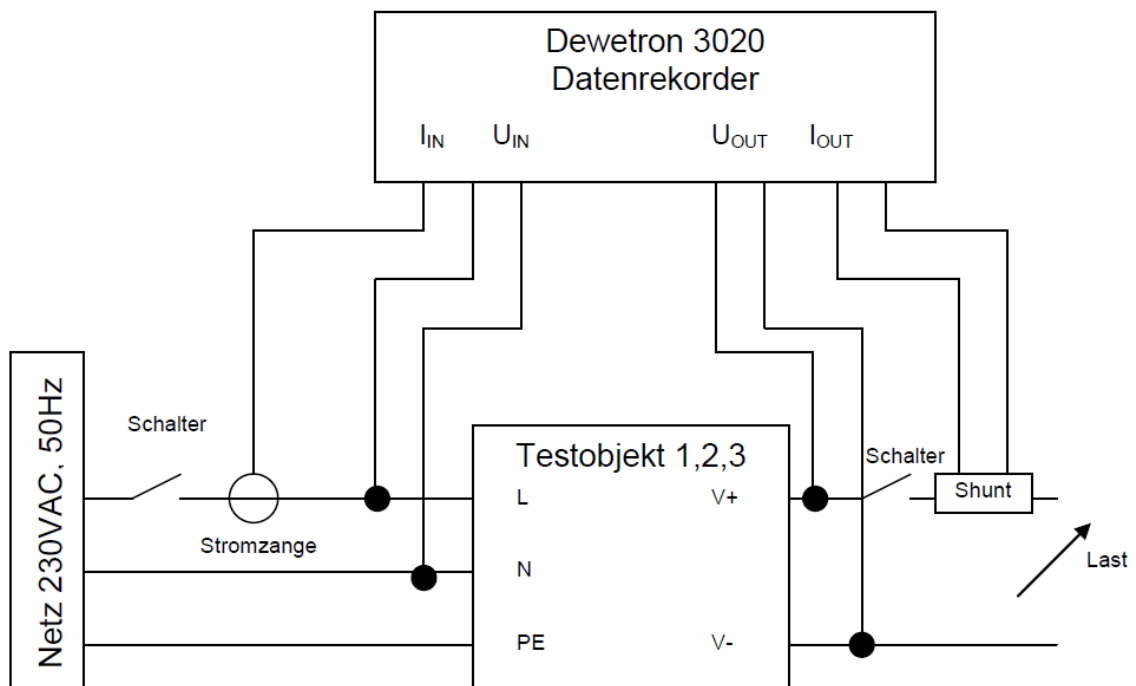
Figur 11: Netzgerät 2



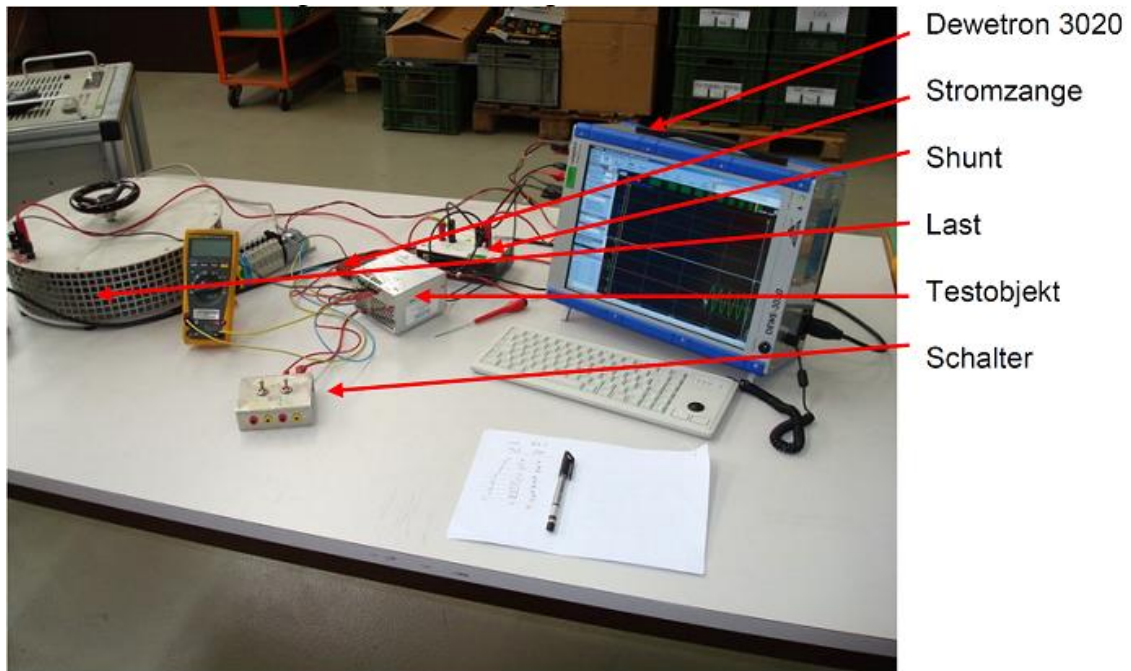
Figur 12: Netzgerät 3

### 5.1.2. Schematischer Aufbau

Die Messung wurde nach folgendem Schema aufgebaut: Der Datenrekorder von Dewetron verfügt über Mathematikfunktionen und somit konnte der Wirkungsgrad des Netzgerätes ermittelt werden. Mit den Eingangskanälen können AC- und auch DC-Signale gemessen werden.



Figur 13: Schema Messaufbau



Figur 14: Messaufbau

### 5.1.3. Resultate

Das Einschalten wurde mehrmals durchgeführt, bis Schaltungen erfolgten mit Eingangsspannung auf der Sinusspitze und am Spannungsnulldurchgang. Unter diesen Bedingungen wurden die Einschaltströme betrachtet.

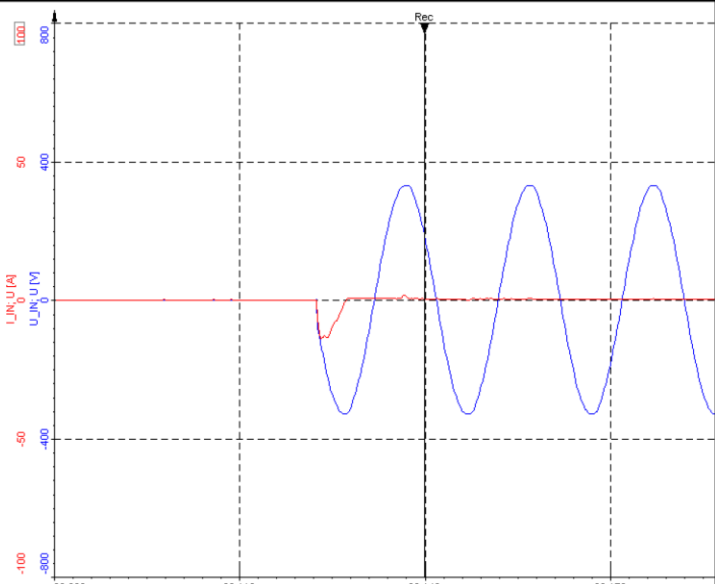
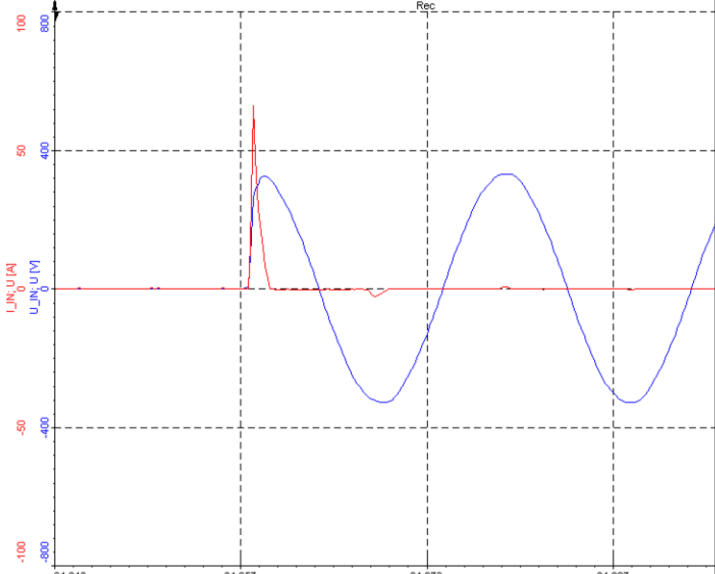
Bewertung	Oszilloskop Bild	Strom
Nulldurchgang		14A
Sinusspitze		66A

Tabelle 1: Einschaltstromspitzen

Die Darstellung der Messdaten mit Hilfe eines Oszilloskops zeigt den Unterschied zwischen dem Einschalten während dem Nulldurchgang und auf der Sinusspitze deutlich auf. Der Einschaltstrom steigt auf fast das 5-fache an. Diese Tatsache muss beachtet werden, da sich diese Stromspitzen nachteilig auf das Netzgerät auswirken können.

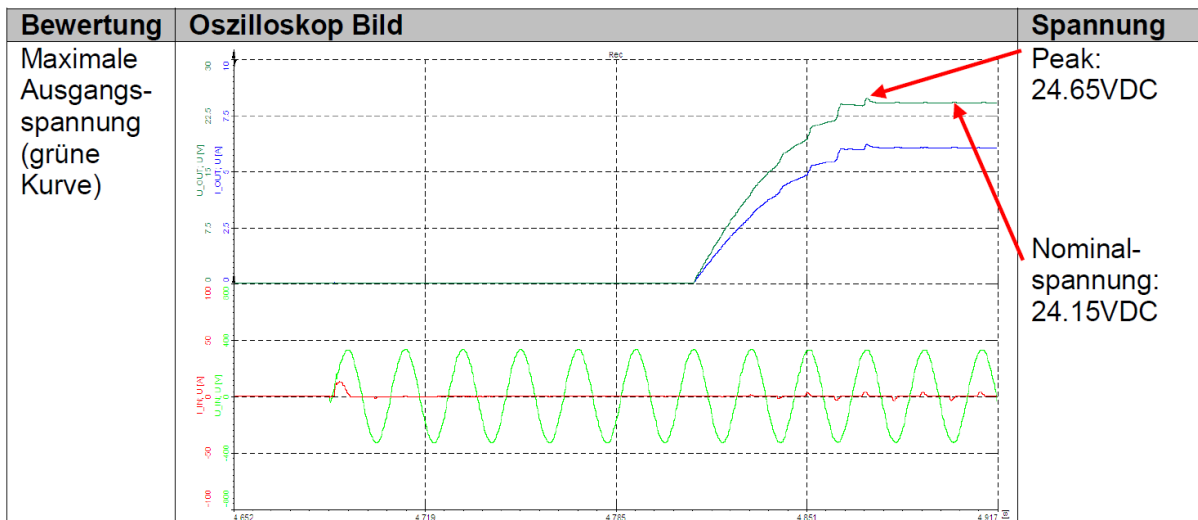


Tabelle 2: Einschaltvorgang DC-seitig

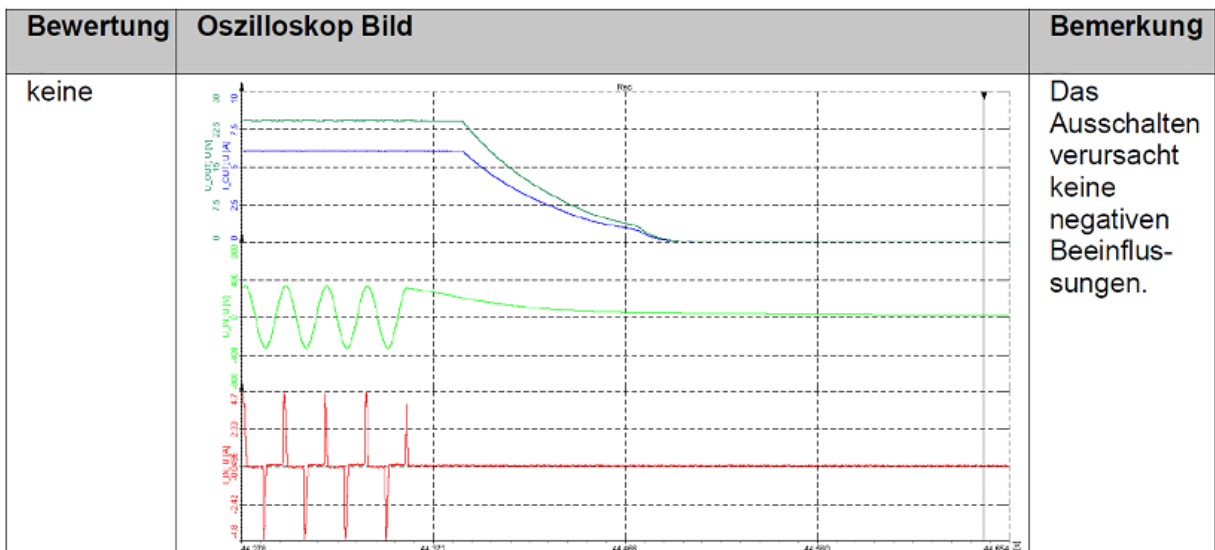


Tabelle 3: Ausschaltvorgang

Die Messresultate zeigen keine markanten Eigenschaften auf. Somit gilt das Augenmerk auf das netzseitige Einschalten.

In einer Übersicht werden die Messwerte nochmals dargestellt, um eine Entscheidung bezüglich möglicher Risiken und deren Massnahmen zu treffen.

Beschreibung	Einheit	Netzgerät 1	Netzgerät 2	Netzgerät 3
Eingangsstrom	[A]	1.2	1.2	0.3
Eingangsspannung	[VAC]	234	232	234
Eingangsleistung	[W]	167	134	57
THDI/THDU	[%]	138/0.9	153/1	33.8/0.8
Eingangsblindleistung	[VAR]	234	212	54
Eingangsscheinleistung	[VA]	288	252	79
Leistungsfaktor Grundwelle	[-]	0.98	0.98	54

Gesamtleistungsfaktor	[-]	0.57	0.53	0.73
Einschaltstrom	[A]	65	7.4	55
Wirkungsgrad	[-]	0.89	0.90	Wirkungsgrad wurde aufgrund von zwei Ausgangsspannungen nicht berechnet
Ausgangsspannung	[VDC]	24.15	24.00	80 (300 Hz Brummspannung)
Ausgangsstrom	[A]	6.05	6.02	1.6

Tabelle 4: Netzgeräte

Insgesamt betrachtet stellt der Einschaltvorgang am meisten Risiken dar. Die hohen Einschaltströme sind für eingebaute Kondensatoren ungeeignet, da in den Kondensatoren im ungeladenen Zustand nahezu ein Kurzschlussstrom entstehen kann. Dies führt zur Erwärmung der Bauteile und somit zu einer schnelleren Alterung.

Für alle anstehenden Tests und Messungen wurden keine Massnahmen getroffen, um die Einschaltströme zu reduzieren. Der Grund lag darin, dass das **Standby-Reduktions-Gerät** jeweils nur etwa acht bis zehn Tage an den beiden Aufzügen getestet wurde. Die Netzgeräte sind genügend robust, um in dieser Zeit Schaltvorgänge ohne Defekte zu überstehen, da dies auch bei Servicearbeiten üblich ist.

#### 5.1.4. Mögliche Verbesserungen und Weiterentwicklungen

Grundsätzlich gehen zwei Aspekte aus den Messresultaten hervor:

1. Die Ausschaltung ist auf der Ausgangsseite des Netzgerätes zu realisieren. Dies führt jedoch zwangsläufig zu einem Mehraufwand der Installation. Ebenso würde die Einsparung geringer ausfallen, da die Leerlaufverluste der Netzgeräte bestehen bleiben.
2. Für ein Serien-Produkt des **Standby-Reduktions-Gerätes** wird empfohlen, ein spezielles Relais mit Nulldurchgangserkennung zu evaluieren. Ein Mehrpreis kann sich lohnen, wenn dadurch die Zuverlässigkeit des Aufzuges garantiert wird. Folgende Eigenschaften sollten definiert werden:

Art der Last (rein ohmsch und kapazitiv)

Anzahl Schaltungen pro Zeiteinheit (Stunden)

Spannungs-schaltend im Nulldurchgang

Leistungsaufnahme

Nennstrombereich

Überstromschutz

#### 5.2. Auswahl der Schalteinheiten

Die Untersuchung von möglichen Schalteinheiten für das Ausschalten einer Aufzugsanlage hat folgende Resultate ergeben:

Übersicht:

Einsatz von INSTA-Schützen

Einsatz von Fernantrieben in Kombination mit Leistungsschutzschalter 3RV1

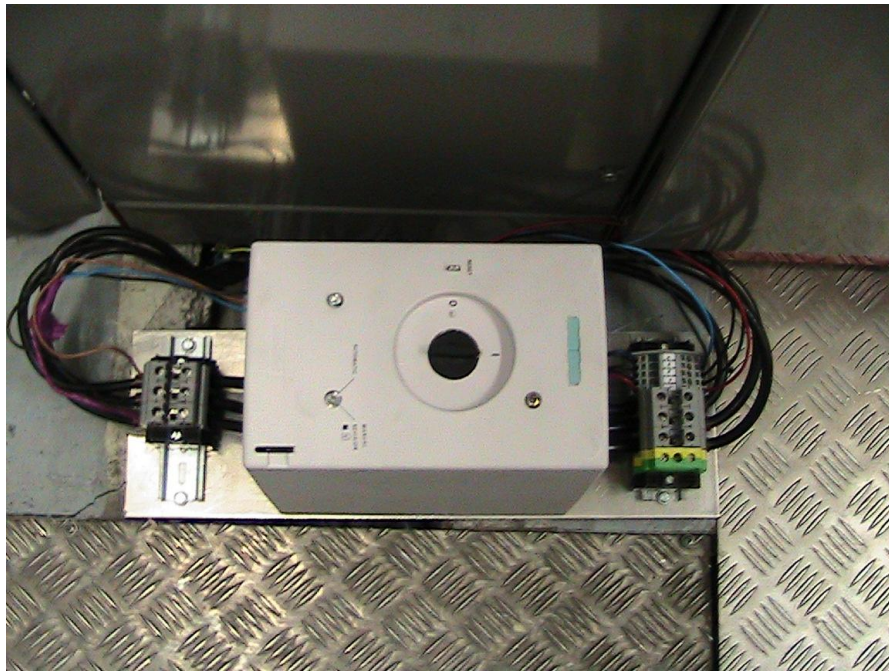
Bewertung der Ausschaltobjekte:

Folgende Tabelle fasst die ausgewählten Objekte zusammen und soll zugleich eine Entscheidungshilfe darstellen:

Bewertungsparameter	INSTA-Schütze		Motor-Fernantrieb	
	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil
Lautstärke schalten (objektiv)				
Baugrösse (HxBxT)				224x148x236
Anwendungsbereich	eignen sich im Wohnbau (S3300, S6200)	limitiert bis 63 A	Bis 100 A	-
Temperaturbereich	entsprechen für Einsatz Ta= 40°C			
Sicherheit	Berührungssicherheit durch sichere Leitungsführung am Anschluss			
Anzugs-/Schaltleistung	4 W (24 A)	65 W (63 A)		48 W/170 VA (1-100 A)
Bemessungsstrom I <sub>e</sub>		Max 63 A	Bis 100 A	
Halteleistung	~4 W	~4 W	keine	-
Lebensdauer bei I <sub>e</sub>		240'000 resp. 300/h		max. 25/h
Verhalten im Spannungsausfall	bis 30A: S möglich, Kontakte schliessen	für 63A: Ö Kontakte öffnen	gesicherte Stellung	
Anschaffungspreis	ca. 110 CHF			ca. 285 CHF

Tabelle 5: Schalteinheiten





Figur 15: Leistungsschalter mit Motor-Fernantrieb

### 5.3. Abschaltbedingung

Man darf den Aufzug nicht einfach abschalten. Es muss sichergestellt sein, dass er sich nicht in Fahrt befindet und keine Personen in der Kabine sind. Als erste Idee wurde betrachtet, ob man das Kabinenlicht detektieren kann. Eingeschaltet heisst, es befindet sich jemand in der Kabine oder der Aufzug fährt.

Am Beleuchtungsstromkreis können nebst dem Kabinenlicht, Notspeisegeräte und Telealarmgeräte angeschlossen sein. Dadurch kann auch bei ausgeschaltetem Kabinenlicht ein Standby-Strom fließen.

Gemäss den Redundanzüberlegungen der Aufzugsnorm EN 81, muss das Kabinenlicht mindestens aus 2 Leuchtmitteln bestehen. Die Kabinendecke und somit das Kabinenlicht sind oft ein Design-Aspekt des Aufzugs. Deshalb gibt es unterschiedlichste Stromwerte.

Für bestehende Aufzüge wird empfohlen, diese Leuchten durch energieeffiziente Mittel zu ersetzen. Leuchtstoff-Röhren, Energiesparlampen und natürlich eine LED-Beleuchtung sind geeignet. Energetisch ideal ist, wenn man das Licht zwischen den Fahrten abschaltet. Nach der Energie-Etikette VDI 4707 sollte die Kabinenbeleuchtung 5 Minuten nach der letzten Fahrt abgeschaltet sein. Bei solchen Anwendungen muss unbedingt aufgepasst werden, dass man schaltfeste Lampen verwendet, und dass diese nach dem Einschalten schnell die gewünschte Lichtmenge liefern. Es soll verhindert werden, dass nicht die Lebensdauer der Leuchtmittel auf Kosten des Energiesparens drastisch verkürzt wird.



Figur 16: Moderne Hochleistungs-LED mit Kühlkörper



LED-Leuchten bieten für diese Anwendung viele Vorteile, aber auch Energiesparlampen wie zum Beispiel von der Produktlinie OSRAM DULUX INTELLIGENT FACILITY, welche beliebig oft schaltbar sind, eignen sich.

Durch die effizienten Leuchtmittel steigen natürlich die Anforderungen an die Erfassung des Stromes zu den Leuchtmitteln.

Versuche wurden gemacht mit einer entwickelten Schaltung, die in der Lage ist, eine einzelne Energiesparlampe zu detektieren. Dabei wurde festgestellt, dass der Stromverlauf einer Energiesparlampe keinesfalls sinusförmig ist. Netzverschmutzungen durch Energiesparlampen könnten durchaus ein kommendes Thema werden.

Um den Strom galvanisch getrennt und relativ präzise zu messen, wurde der LEM Hall Sensor LTS-6NP verwendet:



Figur 17: Stromsensor

Das Kabinenlicht muss zusätzlich abgeschaltet werden können. Die Zuleitung zum Kabinenlicht erfolgt über das Hängekabel des Aufzugs. Normalerweise ist diese Leitung mit 6 oder 10 A abgesichert, ausserdem befindet sich oft eine Steckdose auf dem Kabinendach, welche ebenfalls entsprechend abgesichert ist. Einphasige, bistabile Relais mit einem Schaltkontakt von 16A sind erhältlich als Leiterplattenversion. Versuche mit einem Leiterplatten-Relais wurden gemacht.

Um die Ansteuerung einfach zu ermöglichen, wurde für das bistabile Relais eine Version mit 2 Spulen gewählt. Ein Strom-Puls in einer Spule schaltet das Licht ein. Ein Strom-Puls auf die andere Spule schaltet es aus. Nach dem Schalten ist somit das Relais stromfrei und benötigt keine Energie.

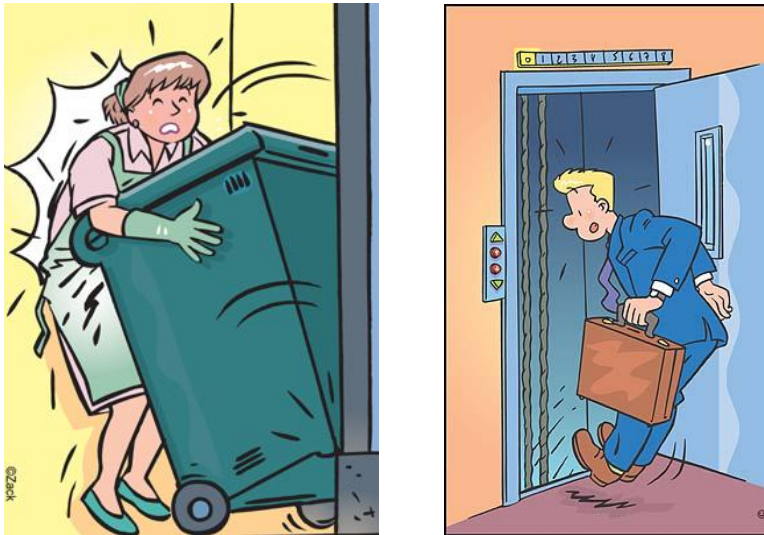
### 5.3.1. Ergebnisse

Die Tests der Schaltung haben auf dem Labortisch einwandfrei funktioniert. Eine einzelne Energiesparlampe oder eine Glühbirne wurde zuverlässig erkannt. Ein Verbesserungspotential der Schaltung lag aber in der Elimination der Offsetspannungen. Die Schaltung wurde mit einem Potentiometer abgeglichen. Anzustreben wäre eine Schaltung, die automatisch die Offsetspannung eliminiert.

### 5.3.2. Problem handbetätigter Türen

Die Schaltung wurde anschliessend im Test-Turm getestet. Eine Aufzugssteuerung, die vorgesehen ist für die Modernisierung von bestehenden Wohnhaus-Aufzügen, wurde gewählt. Dabei traten unerwartete Probleme auf, da der Aufzug handbetätigte Türen hatte.

Fehlen automatische Türen, kann es zu Unfällen führen. Zum Beispiel Einklemmen von Passagieren durch Transportgut oder defekte Türschlösser der handbetätigten Türen und versehentliches Einsteigen:



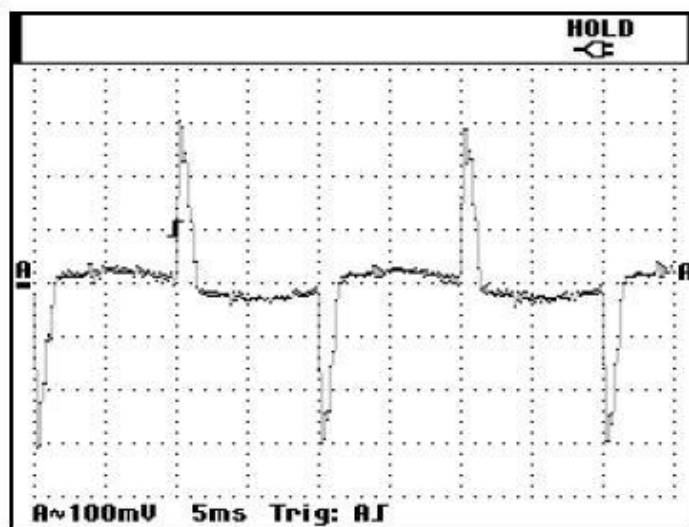
Figur 18: Risiken alter Aufzugsanlagen

Zur Gefahrenverminderung wird deshalb oft das Kabinenlicht nicht komplett ausgeschaltet, sondern nur reduziert. Durch eine Glasscheibe in der Schachttüre kann man dann erkennen, dass die Kabine auf dem Stockwerk ist und falls nichts leuchtet wird nicht versucht, die Türe zu öffnen.

Der Aufzug, an dem die Kabinenlicht-Detektions-Schaltung getestet wurde, hatte 3 Energiesparlampen, wobei eine wegen der Handtüre dauernd leuchtete.

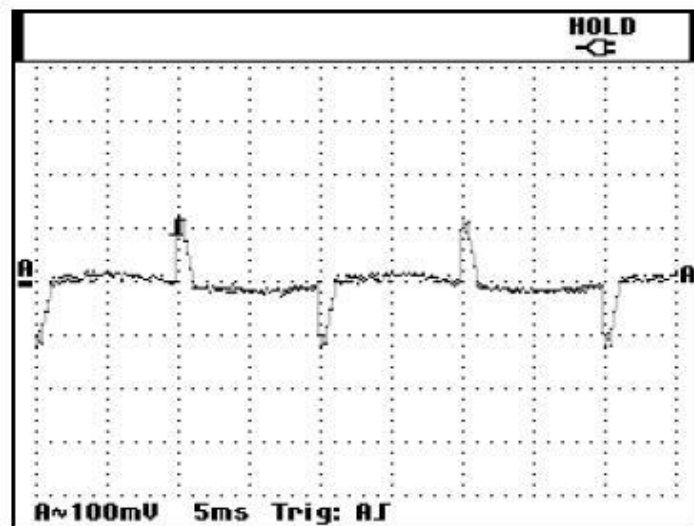
### 5.3.3. Stromverlauf in den Energiesparlampen

Stromverlauf am LEM-Sensor-Ausgang mit 3 eingeschalteten Energiesparlampen



Figur 19: Stromverlauf 3 Lampen

Stromverlauf am LEM-Sensor-Ausgang mit einer eingeschalteten Energiesparlampe



Figur 20: Stromverlauf einer Lampe

### 5.3.4. Fazit

Es wurde als sehr problematisch eingestuft, ein Gerät innerhalb dieser Studie oder sogar als Serien-Produkt zu entwickeln, welches zuverlässig unterscheiden kann, ob nun 1 Energiesparlampe oder 3 Energiesparlampen brennen. Beim Einsatz von LED's kann diese Problematik noch grösser werden.



Figur 21: Unerwünschter Effekt

Am Wohnhausaufzug wurde deshalb eine Alternative erfolgreich getestet, indem man einen Hilfskontakt des Fahrschützes auswertete. Dies ist technisch sehr einfach, da es sich um ein digitales Signal handelt. Wird lange nicht gefahren, ist es in der Kabine dunkel und kein vernünftiger Mensch befindet sich in der Kabine. Man kann dann entscheiden auszuschalten.

Falls sich trotzdem jemand in der Kabine versteckt, gibt es noch das Notlicht und das Notrufsystem.

Es gibt oft auch einen mechanischen Fahrtenzähler, dessen Spule ebenfalls benutzt werden könnte, um Fahrten zu detektieren.

Aufpassen sollte man unbedingt, dass man nichts an den Sicherheitskreis des Aufzugs oder an die Maschinenbrems-Ansteuerung anschliesst, da sich dort Fehler gravierend auswirken können. Beim Öffnen der Bremse könnte die Kabine mit offenen Türen wegrutschen, erschrockene Passagiere könnten versuchen herauszuspringen. Da die Kabine meistens weniger wiegt als das Gegengewicht, könnte sich die Kabine nach oben beschleunigen und sich mit unkontrollierter Geschwindigkeit unsanft in das Schachtende bewegen.

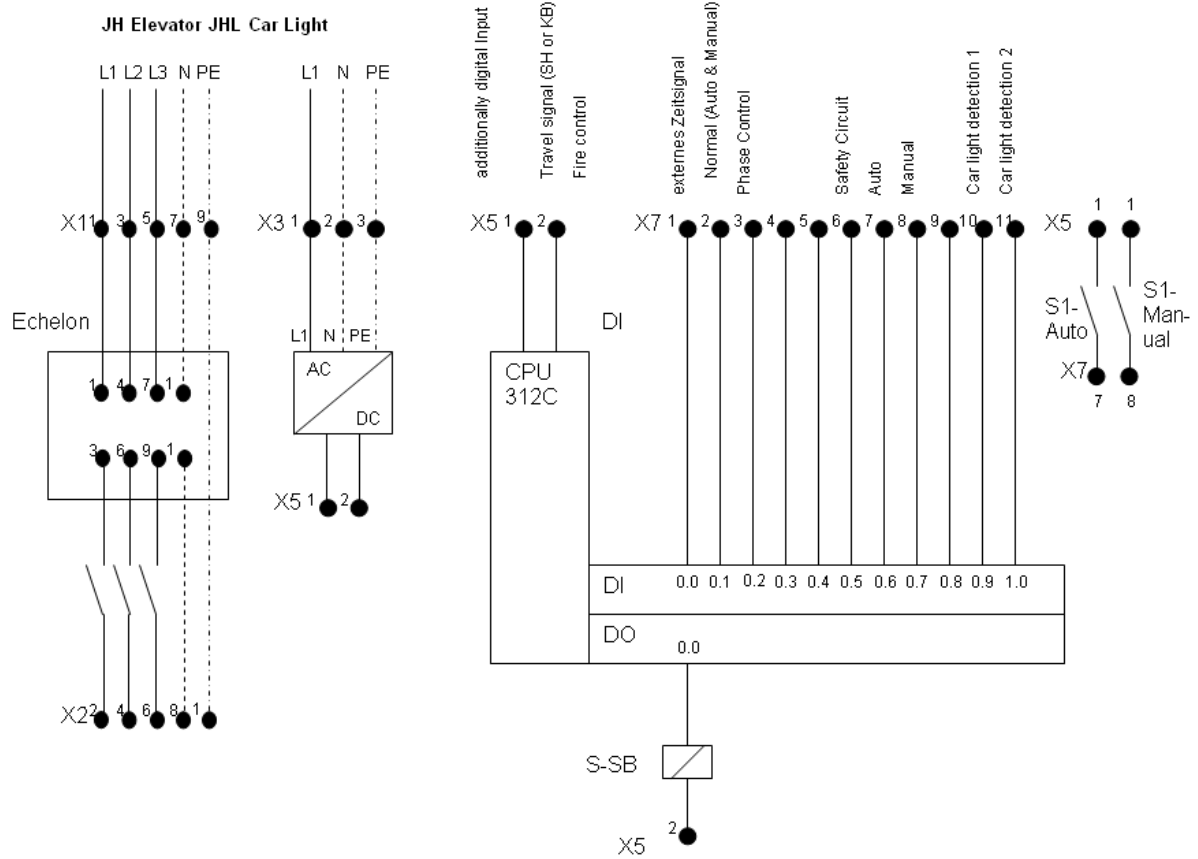
#### 5.4. Logik

Als Logik wurde eine herkömmliche SPS verwendet, um innerhalb dieses Projektes keine Hardware entwickeln zu müssen und für unerwartete Erkenntnisse eine flexible Lösung bereit zu haben. In dieser Studie wurde die Leistungsaufnahme der SPS nicht berücksichtigt, da das Ziel ist, diese SPS durch eine vergleichbare optimierte Mikroprozessor-Schaltung zu ersetzen, welche eine Leistungsaufnahme von weniger als 1 Watt haben sollte.



Figur 22: SPS

Diese SPS, welche die Logik des **Standby-Reduktions-Gerätes** bildete, wurde wie folgt angeschlossen:



Figur 23: Anschluss-Schema SPS

## 6. Messtechnik

Aus Sicht der Verbraucher bzw. Aufzugsbenutzer geht es letzten Endes um die Verrechnung der Energiekosten aufgrund von Messdaten. Üblicherweise erfolgt dies mit einem Energiezähler, wie es seit Jahren in den Haushalten anzutreffen ist. Mittlerweile sind diese Zähler jedoch nicht mehr mit einer rotierenden Scheibe mit mechanischem Zählwerk ausgerüstet, sondern mit modernster Elektronik und Software. Dies bietet viel mehr Möglichkeiten, die Messdaten zu verwalten und auszuwerten.



Figur 24: Ferraris Zähler

In der Industrie kommen jedoch Leistungsanalysatoren zum Einsatz, deren Einsatzgebiet um einiges grösser ist als diejenigen der Zähler. Somit sind auch die Anforderungen an diese Geräte weitaus grösser. Diese Geräte sind sehr vielseitig. Dies führt dazu, dass oftmals ein solcher Leistungsanalysator zum Energiemessen benützt wird. Das heisst, das Potenzial dieser Geräte wird nur minimal ausgenützt. Wohlgedenkt, dass der Beschaffungspreis bis 50mal mehr betragen kann, als derjenige eines Energiezählers.



Figur 25: PNA 560 Leistungsanalysator

Da das Thema Messtechnik eine zentrale Rolle spielt, wurde ein präzises Messgerät wie in der BFE-Studie (Publikation 250057) [1] eingesetzt, damit Fehlinterpretationen durch unterschiedliche Messgeräte ausgeschlossen werden können. Als Referenz wurden Messgeräte nach der IEC 61000-4-30 Klasse A Spezifikation benutzt. Diese Norm beschreibt genau, wie die Messwerte durch das Gerät gemessen und berechnet werden. Von grosser Bedeutung ist die richtige Wahl der Stromzangen.

Messgeräte nach dieser Norm werden dort eingesetzt, wo genaue Messungen erforderlich sind, beispielsweise bei der Überprüfung von vertraglichen Vereinbarungen, Einhaltung von Standards, etc.

Wenn Messungen mit zwei verschiedenen Geräten der Klasse A ausgeführt werden, welche die gleichen Signale messen, darf das Messresultat innerhalb der spezifizierten Fehlergrenze liegen. Damit sichergestellt ist, dass diese Resultate innerhalb der Grenzen liegen, muss eine charakteristische Bandbreite und eine ausreichende Aufzeichnungsrate gewählt werden. Doch gerade bei diesen Eigenschaften kann viel falsch gemacht werden.

Daher werden die Einstellungen des Messgerätes aufgeführt, um im Nachhinein die Korrektheit nachvollziehen zu können. Gerade bei der Leistungsmessung ist enorm wichtig, dass einerseits Spannung und Strom im korrekten Phasengang erfasst werden und der leistungsbildende Phasenverschiebungswinkel korrekt im Messgerät wiedergegeben wird.

Der Vergleich von Energiezähler und Leistungsanalysatoren soll aufzeigen, in wie weit die beiden Messsysteme abweichen, oder noch genauer, ab welchem Punkt sie für die Anwendung nicht mehr geeignet sind. Ebenso von Bedeutung ist die Installationsfreundlichkeit, Bedienungsfreundlichkeit und Auswertemöglichkeiten der beiden Gerätetypen.

Wenn eine Aufzugsanlage in einem Wohnhaus eingebaut ist, ist es für die Allgemeinheit interessant zu wissen, ob der örtliche Zähler nun gleich misst wie die Entwicklungsgeräte der Aufzugshersteller oder ob mehr Energie verrechnet wird und die Zahlen auf den Aufzugsprospekten nicht realistisch sind.

Für den Vergleich mit Energiezählern werden nur branchenübliche Energiezähler für Haushalt und Industrie berücksichtigt.

## 6.1. Überblick der Messgeräte

Da es sich um Geräte der IEC 61000-4-30 Klasse A handelt, werden gewisse Spezifikationen daraus herangezogen.

Eigenschaft	Energiezähler	Leistungsanalysatoren	
	Echelon EM 1023	Dewetron PNA 560	Chauvin Arnoux C.A. 8335
Abtastrate	-	9.6 kHz	6.4 kHz (256 Punkte pro Periode)
Filter	-	3 kHz, 80 dB	>10 kHz, bei -3 dB Dämpfung
A/D- Wandler	-	12 Bit	16 Bit
Aktualisierungsintervall	1 s	200 ms	200 ms
Speicherintervall	15 min	15 min/1 min	15 min

Tabelle 6: Messgeräte

## 6.2. Abtastrate

Die Abtastrate dient dazu, ein Messsignal in Punkte zu unterteilen und auf dem Bildschirm wieder auszugeben. Ist sie zu klein eingestellt, wird beispielsweise ein Sinussignal in Zackenform dargestellt oder ein Rechteck weist flachere Anstiegsflanken und runde Ecken auf.

Für Leistungsmessungen soll die Abtastrate sicherlich das 10-fache der höchsten Frequenz des Messsignals betragen, um das Rohdatensignal mit korrekter Auflösung darzustellen.

Die IEC 61000-4-30 spezifiziert das Messen von harmonischen Oberwellen bis zur 25. Harmonischen (n-faches der Grundschiwingung von 50 Hz). Damit dies ohne Einbussen und Aliasing-Effekten (Messung eines Signals, welches gar nicht existiert) geschieht, soll die Abtastung bei 10 kHz liegen.

### **6.3. Filterfrequenz**

Ein Filter dient dazu, gewisse Signale oder „Rauschen“ auf einem Messsignal zu unterdrücken. Dazu stehen verschiedene Filter zur Verfügung und können je nach Messgerät manuell eingestellt werden. Daher muss aber der Frequenzgang des Filters bekannt sein, um dies korrekt einzustellen. Denn nach der IEC 61000-4-30 muss das Messgerät bis zur 25. Harmonischen messen. Die 25. Harmonische beträgt 1.25 kHz und um diese im Frequenzbereich darzustellen, muss die Bandbreite das Doppelte, also 3 kHz betragen.

### **6.4. Analog- Digital-Wandler (A/D-Wandler)**

Überall wo Software-mässig etwas aus einem Analogsignal berechnet wird, ist ein A/D-Wandler vorhanden. Dieser digitalisiert das Analogsignal. Als Ausdruck der Digitalisierung dient die 8- oder 16-Bit-Auflösung. So unterteilt zum Beispiel ein 8-Bit A/D-Wandler das Messsignal in 256 Punkte auf der Y-Achse. Bei der Spannungsmessung beträgt der Scheitelwert 565 VAC. Somit liegt der eingestellte Messbereich des Spannungskanals bei 1000 V. Die Auflösung dieses Bereiches beträgt dann noch knapp 4 V pro Bit. Ein 16-Bit A/D-Wandler schneidet mit einer Auflösung von 15 mV pro Bit deutlich besser ab.

### **6.5. Energiezähler**

Da solche Zähler zur Energieverrechnung dienen und somit vertragliche und legale Bedingungen zwischen Stromlieferant und Kunden regeln, müssen sie gesetzliche Vorschriften erfüllen.

Für Europa sind diese in der European Directive MID (Measuring Instrument Directive 2004/22/EC) zusammengefasst.

Zu erwähnen ist, dass Energiezähler einen Anlaufstrom haben. Das heisst, wenn Ströme kleiner als der Anlaufstrom bezogen werden, misst der Energiezähler keine Energie. Der Strombereich wird weiter unterteilt in Teilbereiche, bei welchen verschiedene Genauigkeiten spezifiziert sind.

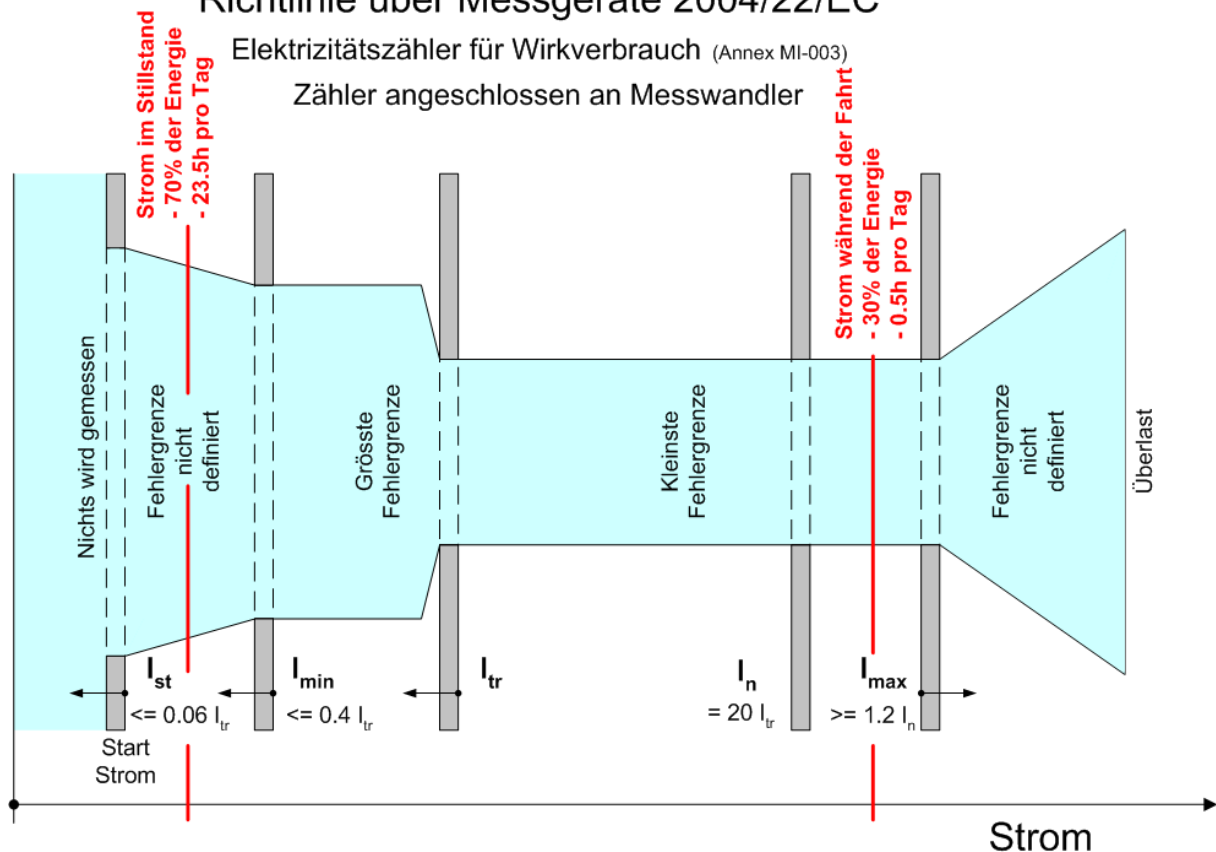
Die folgende Grafik zeigt ein Beispiel auf wo grosse Unsicherheit herrscht, da nicht definiert ist, mit welcher Genauigkeit der Energiezähler die Standby-Energie misst. Die Problematik ist, dass der Energiezähler grosse Ströme beim Fahren und kleine Ströme beim Standby genau messen muss.



## Richtlinie über Messgeräte 2004/22/EC

Elektrizitätszähler für Wirkverbrauch (Annex MI-003)

Zähler angeschlossen an Messwandler



Figur 26: Toleranzband MID

Der eingesetzte Echelon-Energiezähler ist ein direktmessender Haushaltszähler und hat die MID- sowie die METAS-Zulassung und ist somit losfähig.

Das heisst, ein Zähler ist in einem Zählerlos integrierbar, welches gemäss Verordnung des EJPD (Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement) über Messgeräte für elektrische Energie und Leistung wie folgt definiert ist:

Ein Zählerlos ist eine Anzahl von Elektrizitätszählern, die zur Überwachung durch statistische Prüfung zusammengefasst werden. Die zur Stichprobenkontrolle ausgewählten Zähler eines Loses werden als Stichprobe bezeichnet.

Ein Zählerlos kann nur Zähler der gleichen Bauart und von höchstens zwei aufeinanderfolgenden Fabrikationsjahren enthalten. Bei Zählern mit elektromechanischem Messwerk dürfen die Basisströme verschieden sein, nicht aber der Überlastfaktor. Bei elektronischen Zählern muss das Verhältnis zwischen  $I_{tr}$  (dem Wert des Stroms, oberhalb dessen die Abweichung innerhalb der niedrigsten Fehlergrenzen liegt) und  $I_{max}$  (dem Höchstwert des Stroms, bei dem die Abweichung innerhalb der Fehlergrenzen liegt), innerhalb eines Loses gleich sein.

Unterschiedliche Kombinationen von Zählern und Tarifmodulen innerhalb des gleichen Loses sind nicht erlaubt. Erlaubt sind geringfügige Modellunterschiede, welche aber die charakteristischen Eigenschaften der Stichprobenresultate nicht beeinflussen.

Ein Los darf höchstens 5'000 und muss mindestens 500 Zähler umfassen. Zwei Fabrikationsjahre in einem Los sind nur gestattet, wenn eines der beiden Fabrikationsjahre weniger als 1'000 Zähler aufweist.

Ein Los darf Zähler verschiedener Verwender (Elektrizitätsversorgungsunternehmen) enthalten. Alle teilnehmenden Verwender an einem Los sind vom Ergebnis der Stichprobenprüfung und von allfälligen Massnahmen betroffen.

Wenn ein direktmessender Kombizähler (Wirk- und Blindmessung) eingesetzt wird, kann dieser mit der gleichen Zulassung verwendet werden. Aber sobald Blindströme für die Abrechnung gemessen werden, muss eine Eichung für jeden Zähler vorgängig separat ausgeführt worden sein. Weiter schreibt das Gesetz auch vor, dass Blindstrommessungen nach 10 Jahren wiederholt werden müssen (gilt für alle Zähler, nicht nur für Echelon). Das bedeutet dann auch, dass der Zähler wegen der Nacheichung nicht losfähig ist.

Den eingesetzten Zähler gibt es als einphasiges oder auch als dreiphasiges Modell mit den entsprechenden Zulassungen.

Im Moment ist sich METAS am Überlegen, die Eichung für Blindstrom fallen zu lassen, wenn der Zähler bereits die MID-Zulassung hat. Dann würde auch der Kombizähler mit aktiver Blindstrommessung in der Schweiz losfähig.

## 7. Testanlagen

### 7.1. Anlage 1: Bürogebäude



Figur 27: Testanlage 1

Gebäudeart:	Hochhaus mit mehrheitlichen Büroräumen
Ort:	Migros Genossenschaftsbund, Limmatplatz
Motor:	FM355-8C312 (getriebeloser Asynchron-Motor)
Steuerung	Miconic TX-GC
Frequenzumrichter:	VF120PF1 (Power Factor 1, Energie-rückspeisend)
Nennlast:	1600 kg
Nenngeschwindigkeit:	2.5 m/s
Hubhöhe:	63.7 m
Anzahl Halte:	18
Gruppe:	6 Aufzüge mit SchindlerID Overlay
Hauptschalter:	pro Aufzug 63 A thermisch
Netzdaten:	3 x 400 VAC 50 Hz

#### 7.1.1. Messausrüstung 1

Messgerät:	Dewetron PNA 560, IEC 61000-4-30 Klasse A
Stromzangen:	MN39 200 A für 50/60 Hz Netze
Art der Messung:	3-Phasen-Messung ohne N und PE für Kraftnetz

Messwertaktualisierung: 200 ms Speicherintervall

#### **7.1.2. Messausrüstung 2**

Messgerät: Echelon EM 1023, Typ 83320  
Strommessung: Direktmessung bis 100 A  
Art der Messung: 3-Phasen-Messung ohne N und PE für Kraftnetz  
Messwertaktualisierung: 1 s Speicherintervall

#### **7.1.3. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes**

Abschalten: zeitgesteuert  
Schaltelement: Leistungsschalter Baugrösse S3 63 A mit Motor Fernantrieb

### **7.2. Anlage 2: Wohnhaus**

Gebäudeart: Wohnhaus Sulzer Immobilien Winterthur  
Ort: Wallrütistrasse 115, 8406 Winterthur  
Geschwindigkeit: 1.0 m/s  
Nutzlast: 450 kg  
Hubhöhe: 18 m  
Anzahl Haltestellen: 6  
Antrieb: getriebeles, mit Frequenz-geregeltem Umrichter (Vacon Biodyn 12 CBR) mit Bremswiderstand  
Steuerung: Miconic BX  
Gruppe: nein, Einzelaufzug  
Hauptschalter: 16 A thermisch  
Netzdaten: 3 x 400 VAC 50 Hz

#### **7.2.1. Messausrüstung 1**

Messgerät: Dewetron PNA 560, IEC 61000-4-30 Klasse A  
Stromzangen: MN39 20A für 50/60 Hz Netze  
Art der Messung: 3-Phasen-Messung ohne N und PE für Kraftnetz  
Messwertaktualisierung: 200 ms  
Speicherintervall: 1 min

#### **7.2.2. Messausrüstung 2**

Messgerät: Echelon EM 1023, Typ 83320  
Strommessung: Direktmessung bis 100 A  
Art der Messung: 3-Phasen-Messung ohne N und PE für Kraftnetz  
Messwertaktualisierung: 1 s Speicherintervall

### **7.2.3. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes**

Abschalten:	Benutzer-gesteuert
Einschalten:	mit Anbindung an bestehendes Bussystem
Schaltelement:	Insta-Schütz 24 A 5TT5 7312

### **7.3. Anlage 3: Prüfstand**

Gebäudeart:	Schindler Aufzüge Motoren und Frequenzumrichter-Prüfstand
Ort:	Zugerstrasse 13, 6030 Ebikon
Geschwindigkeit:	7.0 m/s
Antrieb:	getriebeles, mit Frequenz-geregeltem Umrichter mit netzseitigem Wechselrichter (Variodyn VF120PF1)
Steuerung:	Miconic BX
Gruppe:	nein, Einzelaufzug
Hauptschalter:	63 A thermisch
Netzdaten:	3 x 400 VAC 50 Hz

#### **7.3.1. Messausrüstung 1**

Messgerät:	Chauvin Arnoux 8335, IEC 61000-4-30 Klasse A
Stromzangen:	MN93 100 A für 50/60 Hz Netze
Art der Messung:	3-Phasen-Messung ohne N und PE für Kraftnetz
Messwertaktualisierung:	200 ms Speicherintervall

#### **7.3.2. Messausrüstung 2**

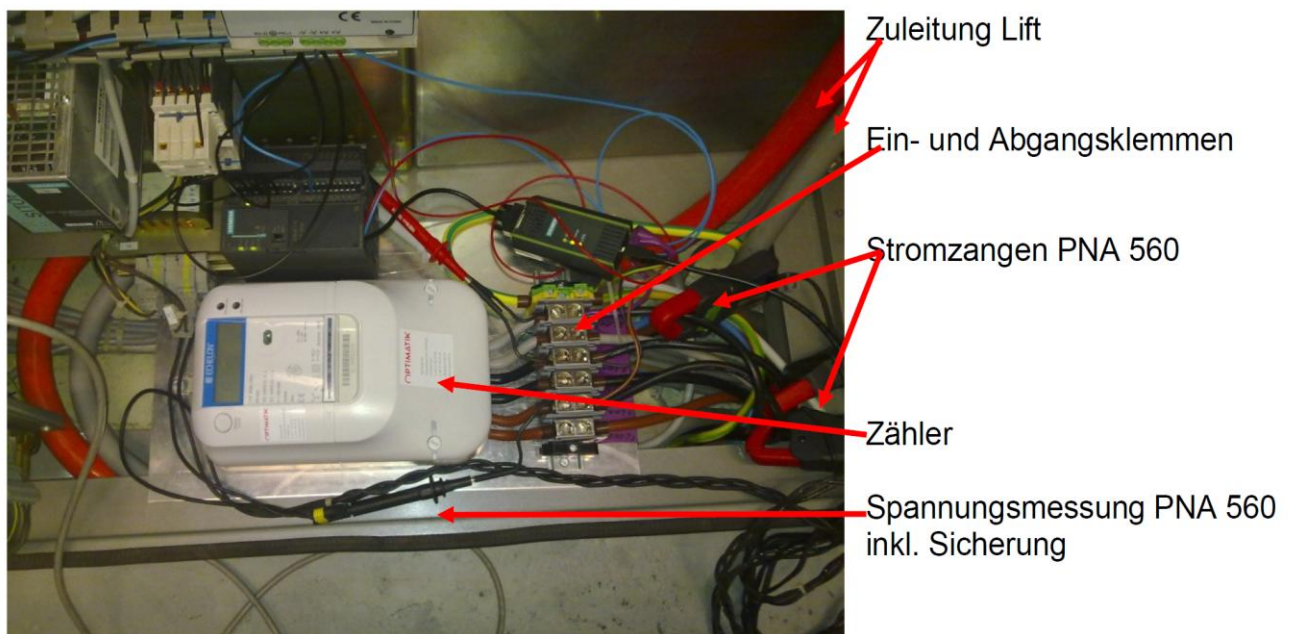
Messgerät:	Echelon EM 1023, Typ 83320
Strommessung:	Direktmessung bis 100 A
Art der Messung:	3-Phasen-Messung ohne N und PE für Kraftnetz
Messwertaktualisierung:	1 s Speicherintervall

## 8. Messaufbau

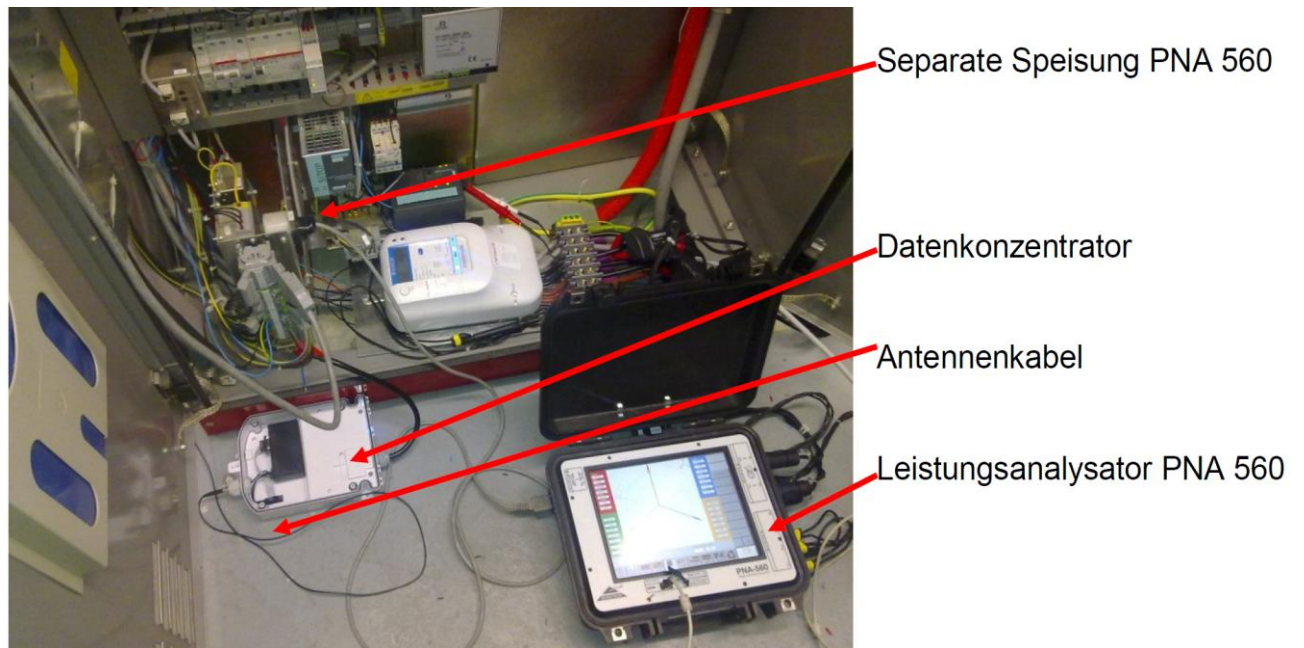
Der Energiezähler muss direkt in die Leitung eingebunden werden. Deshalb müssen die stromführenden Leiter aufgetrennt werden. Dazu ist zusätzliches Installationsmaterial notwendig.

### 8.1. Installation Anlage 1: Bürogebäude

Das Auftrennen der Zuleitungskabel ist zeitintensiv und darf nur durch eine Person mit fachmännischen Kenntnissen durchgeführt werden. Sorgfältiges Arbeiten ist an dieser Stelle gefragt, da die Zuleitungen mit 63 A abgesichert sind. Dies entspricht einer Zuleitung mit 25 mm<sup>2</sup> Querschnitt, welche nicht „schnell“ umgebaut werden kann. Dies entspricht auch der maximalen Auslegung des Zähleranschlusses. Somit wurde ein Grossteil der Installation für den Einbau des Zählers aufgewendet, was ein deutlicher Nachteil puncto Installationsfreundlichkeit ist.



Figur 28: Einbau mit Stromzähler



Figur 29: Einbau mit Leistungsanalyser

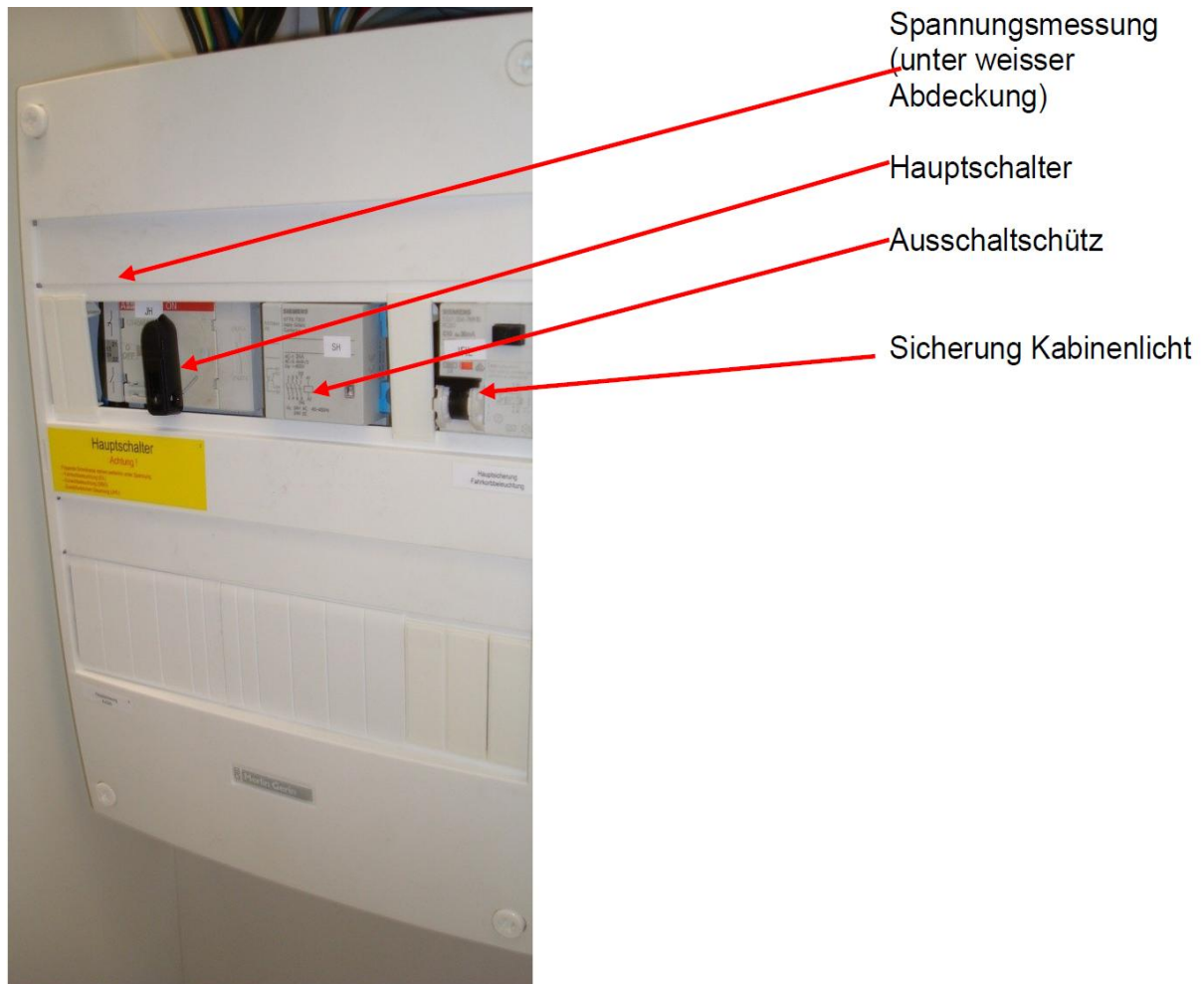
Die Bilder zeigen, dass die Installation in einem provisorischen Zustand ist, da keine Montagebohrungen gemacht werden durften.

## 8.2. Installation Anlage 2: Wohnhaus

Im Wohnhaus in Winterthur war die Herausforderung, die Messgeräte im kleinen Steuerungsschrank so zu platzieren, dass ein sicherer Betrieb gewährleistet werden konnte. Es handelte sich um eine modernisierte Aufzugsanlage, bei welcher der Maschinenraum in den Keller versetzt wurde. Der Antrieb selbst war im Schachtkopf eingebaut. Dies erschwerte die Zugänglichkeit zu den Hauptschützen, bei welchen das Fahrtsignal abgenommen wurde, um die Software der SPS korrekt zu betreiben.

Die Platzverhältnisse waren sehr eng. Eine Installation ausserhalb des Steuerschranks war aufgrund des Standortes nicht möglich. Der Schrank wird mit einem speziellen Schlüssel geschlossen und so wurde die Sicherheit gewährleistet.





Figur 30: Hauptschalter

### 8.3. Installation Anlage 3: Prüfstand

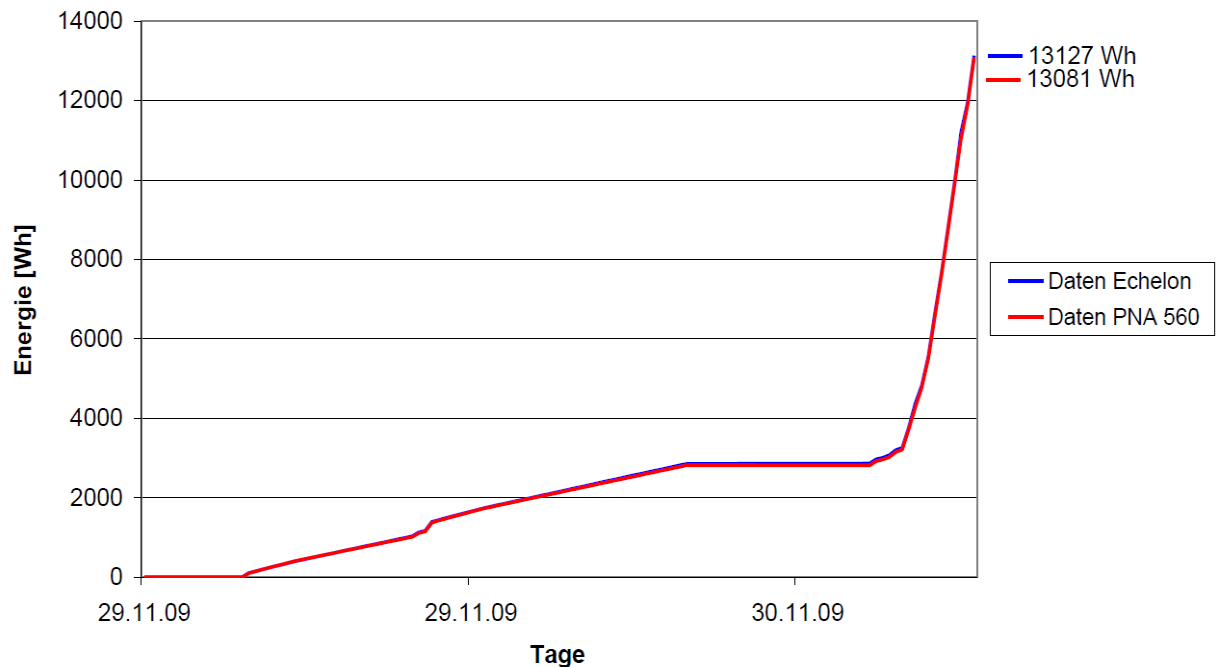
Die Installation auf dem Motorenprüfstand war ohne nennenswerte Effekte realisierbar. Der Prüfstand war grundsätzlich immer in Betrieb, was bewusst so gewählt wurde, um einen möglichst hohen Energiefluss hervorzurufen. An zwei zufälligen Zeitpunkten wurde die Simulation für eine gewisse Zeit unterbrochen, um den Messbereich der Geräte auszuweiten und Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen. Gegen Ende der Messperiode wurde die Verzögerungszeit der Maschine über 10 s verlängert. Gemäss Zählerdatenblatt wird ab 10 s Messungen an den Anlagen Rückspeisung eine Rücklaufsperr aktiviert. Dieses Verhalten sollte in den Messresultaten ebenfalls auftauchen.



## 8.4. Anlage 1: Bürogebäude

### 8.4.1. Messung ohne Standby-Reduktions-Gerät

Vergleichsmessung zwischen PNA 560 und Echelon über 31.75 h. Bei einem Speicherintervall von 15 min ergibt dies 127 Messpunkte.



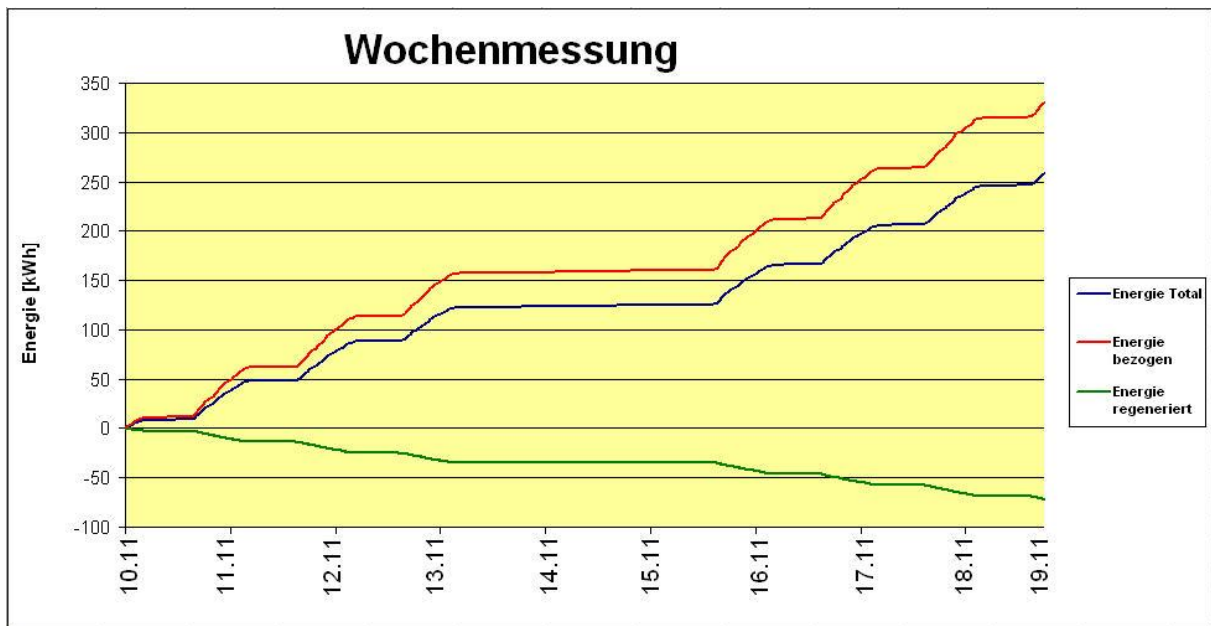
Figur 31: Vergleichsmessung

Die Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf der Messung inklusive der resultierenden Abweichung der Endwerte der beiden Messgeräte. Der Energiezähler von Echelon weist einen um 0.35% höheren Wert gegenüber dem Endwert des PNA 560-Messgerätes auf. Die Differenz des Absolutwertes beträgt 46 Wh.

Vergleichsparameter	Echelon EM 1023	Dewetron PNA 560
Messart	Direktmessend	200 A Stromzangen
Messwertaktualisierung	1 s	200 ms

Tabelle 7: Messgeräte-Vergleich

Es wurde auch eine Wochenmessung durchgeführt. Das Aufzeichnungsintervall betrug 15 min und das Integrationsintervall 0.2 s. Während des Wochenendes wurde der Aufzug im Geschäftshaus kaum benutzt. Die Kurve ist dort flach und verdeutlicht, dass der Standby-Verbrauch dieses Aufzugs im Vergleich zur Fahrenergie überraschend klein ist. Wie die VDI 4707-Messung zeigt [2], weist der Aufzug gute Eigenschaften bezüglich Energie-Regeneration aus. Bei der VDI 4707 ist dies jedoch der beste Fall, günstigstes Lastverhältnis durch die leere Kabine und grösste Fahrdistanz. In der Wochenmessung herrschen jedoch realistische Bedingungen: Unterschiedliche Fahrdistanzen und durch Passagiere beladene Kabinen. Der Anteil an regenerierter Energie beträgt etwa 30%.



Figur 32: Wochenmessung

#### 8.4.2. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes

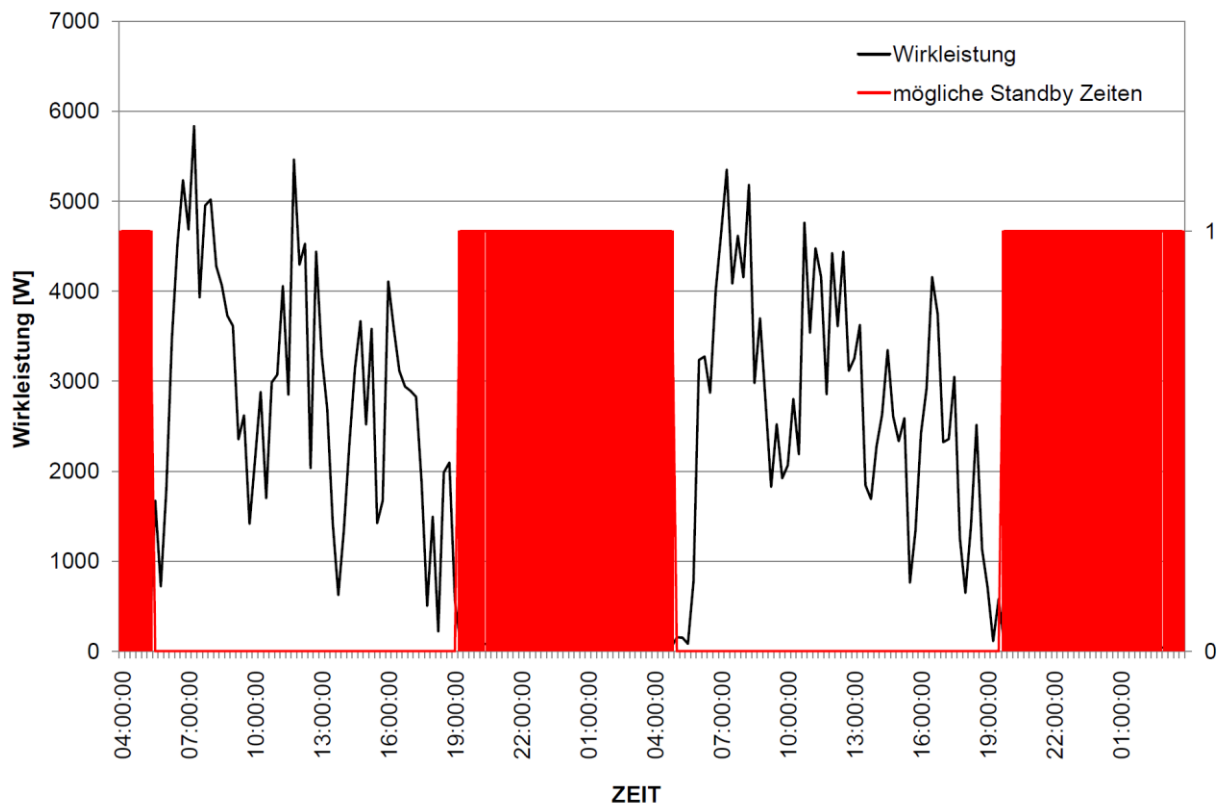
Es wurden Möglichkeiten zur Energie-Optimierung im Bürogebäude diskutiert, wobei hier angemerkt werden muss, dass der Betrieb der Anlage vom Betreiber festgelegt und das **Standby-Reduktions-Gerät** nach diesen Vorgaben programmiert wurde. Die Anlagen verfügen über eine Gruppensteuerung, d.h. die 6 einzelnen Aufzüge der Gruppe werden von einer zentralen Steuereinheit verwaltet. Von Vorteil war auch, dass mit der 6-er Gruppe die Tests, Einbauten und eine eventuelle Störung eines Aufzugs sich nicht auf das ganze Bürogebäude auswirken würden. Ein eventueller Ausfall eines Aufzugs verlängert lediglich eventuelle Wartezeiten.

Die Rufe der Passagiere werden zentral entgegengenommen und einem entsprechend optimal verfügbaren Aufzug zugeordnet. So kann davon ausgegangen werden, dass die Aufzüge optimal eingesetzt sind. Es stellt sich jedoch die Frage, was ist optimal?

Ist es die Performance, das heisst kurze Wartezeiten und schnellen Transport für die Passagiere oder heisst optimal wenig Energieverbrauch?

Mit dem Betreiber der Anlage wurde abgemacht, dass diese Anlage messtechnisch erfasst werden soll um aufzuzeigen, dass über Nacht Energie-Einsparungen gemacht werden können.

Aufgrund eines Tagesverlaufes konnte erkannt werden, wann die Aufzugsanlage stark benutzt wurde und zu welchen Zeiten sie still stand. Ebenfalls konnte erkannt werden, dass in der Nacht trotz nicht aktiver Benutzung des Aufzuges Energie benötigt wurde. In der nachfolgenden Grafik wird anhand von zwei Tagen verdeutlicht, wie die Anlage benutzt wurde. Die roten Flächen zeigen die möglichen Standby-Zeiten, wo Energie eingespart werden kann. Dies war somit das Ziel des ersten Funktionsmusters.



Figur 33: Standby-Zeiten

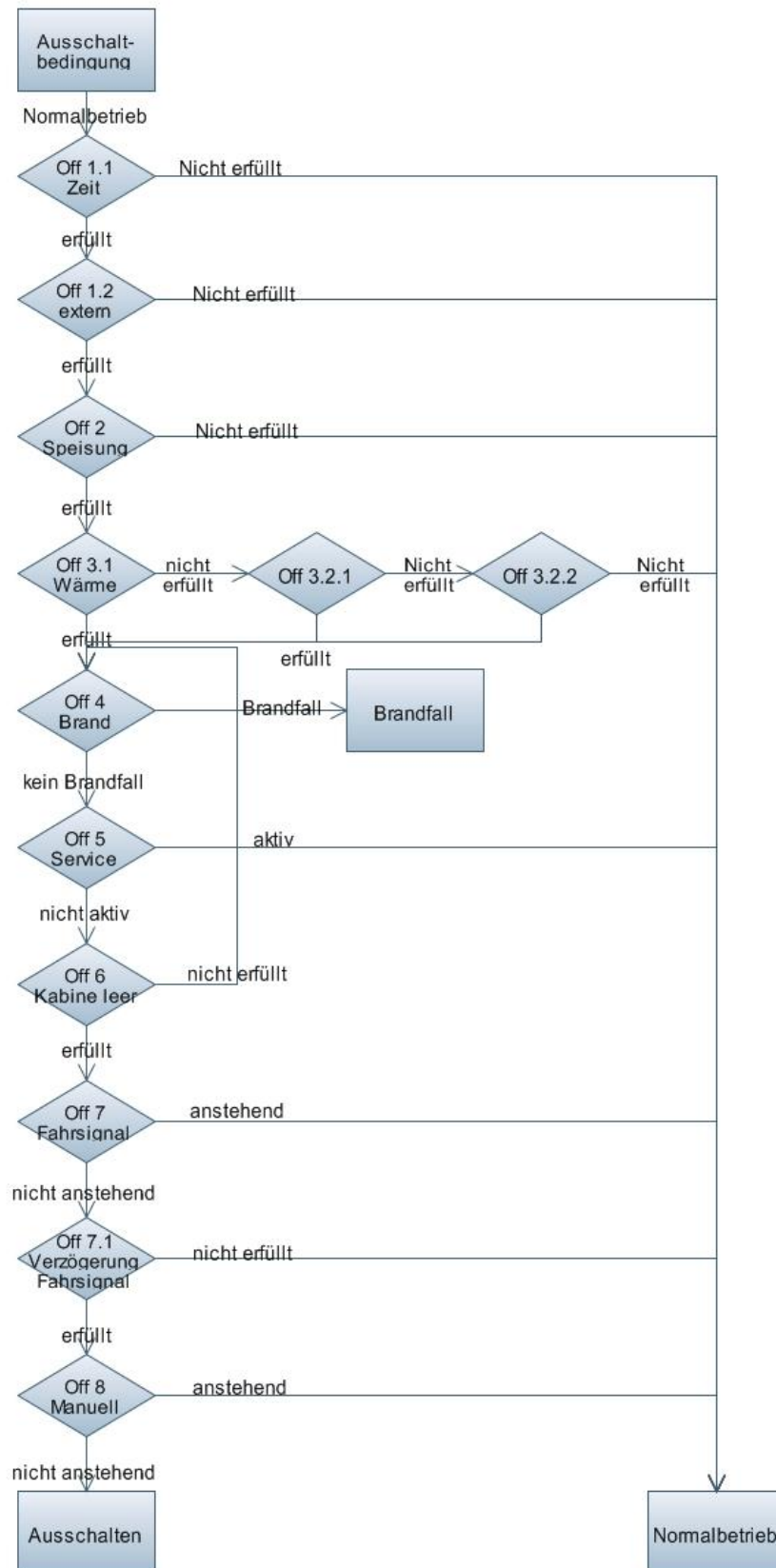
Eine dynamische Abschaltung am Abend nach der letzten Fahrt und einer darauf folgenden Wartezeit wäre möglich. Am Morgen könnte man den Aufzug beim ersten Ruf wieder starten.

Dies hätte aber einen Nebeneffekt, dass man erkennen müsste, ob es eine Störung ist oder ob sich der Aufzug nur im Standby-Mode befindet. Der Kunde hat aus diesem Grunde fixe Abschaltzeiten bevorzugt. Diese fixen Zeiten wurden so definiert:

Einschaltung am Morgen um 05:00 Uhr und Abschalten am Abend um 22:00 Uhr.

Der Aufzug wurde komplett vom Netz getrennt. Das Notrufsystem und das Kabinenlicht blieben aus Sicherheitsgründen aktiv. Für einen allfälligen Störfall wurde ein Bypass vorbereitet, der dem Störungs-Monteur ermöglicht, das **Standby-Reduktions-Gerät** zu überbrücken und den Aufzug direkt ans Netz zu schalten.

Die SPS des **Standby-Reduktions-Gerätes** wurde zum Abschalten nach folgenden Kriterien programmiert:



Figur 34: Abschaltbedingungen

Ausschaltbedingung	Bezeichnung	Beschreibung
Off 1.1	Zeit	Erreichen von fixen Ausschaltzeiten
Off 1.2	externes Signal	optionaler Eingang für Leitsysteme
Off 2	Phasenkontrollrelais	Erkennung vom Netzzustand (Ein-Aus)
Off 3.1...3.2	Wärme	kontrollierten Abkühlungsprozess sicherstellen
Off 3.1	Wärme 1	Fahrtenzahl > 160 -> 10 min Wartezeit
Off 3.2	Wärme 2	Fahrtenzahl > 25-> 10 min Wartezeit
Off 3.3	Wärme 3	Fahrtenzahl < 25-> Aus
Off 4	Gebäude	Brandfallüberwachung
Off 5	Service/ Störung	Überwachung, ob Service-Techniker an der Anlage ist
Off 6	leere Kabine	diese Zusatz-Bedingung wurde nicht als explizite Schlaufe gelöst
Off 7	Fahrtsignal	Verzögerung Fahrtsignal, um Türbewegung ausführen zu lassen
Off 7.1	Fahrtsignal	dasselbe wie off 7, jedoch nur mit einem Beispiel ausformuliert
Off 8	manueller Schalter	Bypass

Tabelle 8: Ausschaltbedingungen

Folgende Einschaltbedingungen schalten den Aufzug wieder an das Netz:

Ausschaltbedingung	Bezeichnung	Beschreibung
On 1.1	Zeit	Erreichen von fixen Einschaltzeiten
On 1.2	externes Signal	optionaler Eingang für Leitsysteme
On 2	Brandfall	Einschalten im Brandfall sicherstellen
On 3	Personeneinschluss	Überwachung des Alarmknopfes (wurde nicht realisiert aufgrund komplexer Erfassung des Alarmsignals auf Kabine)

Tabelle 9: Einschaltbedingungen

Die folgenden Situationen wurden separat betrachtet:

Stromausfall	Die Schalteinheit soll in einen kontrollierten Zustand gehen, so dass bei Netzwiederkehr der Aufzug am Netz angeschlossen ist.
SPS manuell auf Stopp	Solange die SPS auf Stopp bzw. ausgeschaltet ist, soll der Aufzug am Netz angeschlossen sein.
Bypass-Aktivierung	Durch manuelle Betätigung eines Schalters für Testzwecke, Störungs-, Wartungs- und Reparaturfälle kann das <b>Standby-Reduktions-Gerät</b> in einen Bypass-Zustand gebracht werden, so dass keine weiteren Schaltungen vorgenommen werden.

Tabelle 10: Situationen

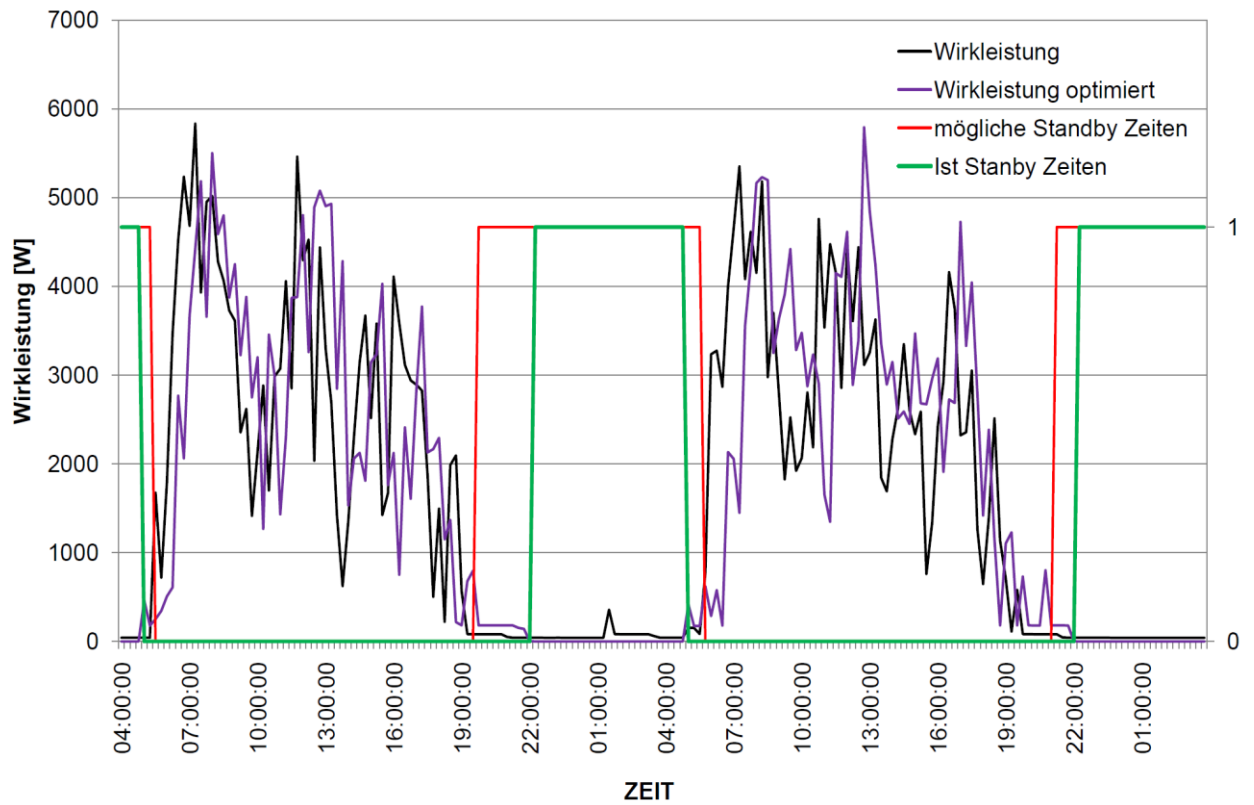
#### 8.4.3. Messung mit Standby-Reduktions-Gerät

Durch die fixen Abschaltzeiten kann bereits im Vorfeld abgeschätzt werden, wie hoch die Einsparungen ausfallen. So kann messtechnisch die Standby-Energie in der Nacht pro Stunde ermittelt und das Ergebnis mit der Anzahl ausgeschalteter Stunden multipliziert werden.

Die nächste Grafik zeigt den Verlauf der Leistung mit dem **Standby-Reduktions-Gerät**. Violett ist die Leistung mit dem **Standby-Reduktions-Gerät** (Wirkleistung optimiert), im Vergleich dazu ist die Wirkleistung ohne **Standby-Reduktions-Gerät** in schwarz eingefügt.

Während dem Tage sind die Messungen sehr unterschiedlich ausgefallen, da diese durch die Passagiere bestimmt werden.

Relevant sind die Schaltzeitpunkte und der Verlauf der optimierten Wirkleistung in der Nacht. Deutlich ist zu erkennen, dass die Lastkurve komplett auf null sinkt.

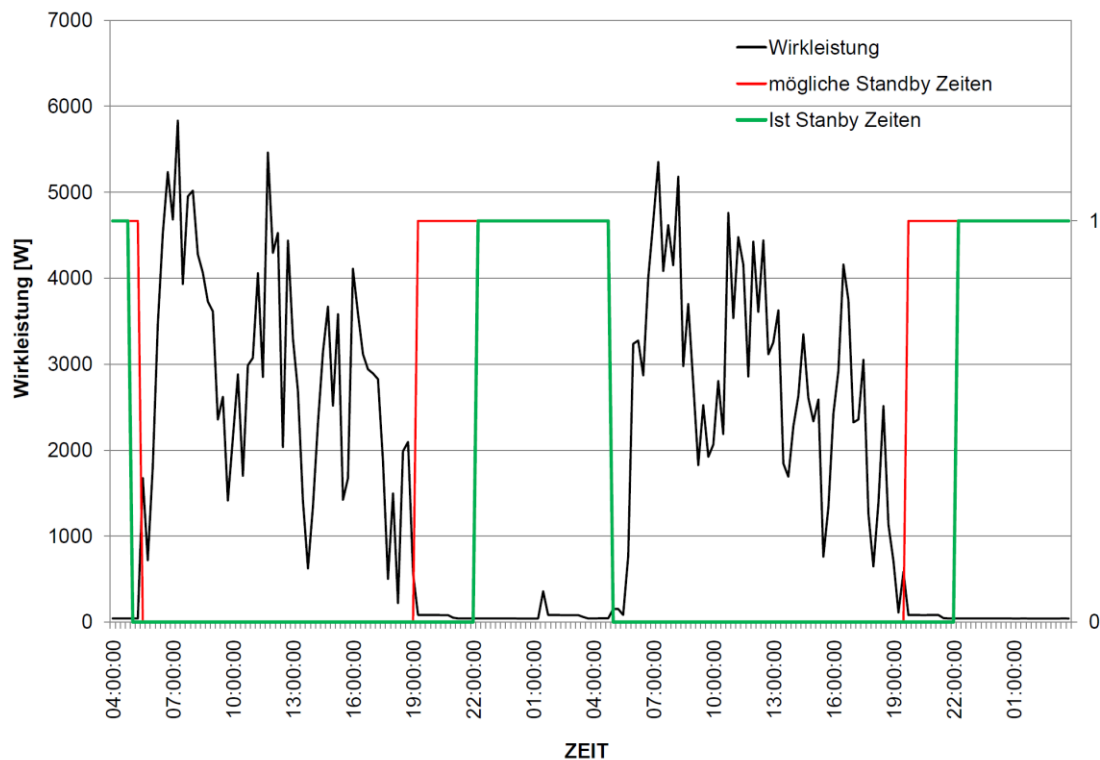


Figur 35: Vergleich Ausschaltzeiten

Eine Nebenwirkung ist bei dieser Anlage aufgetreten. Die Stützbatterie des Aufzugs wurde über Nacht, wenn der Aufzug ausgeschaltet ist, entleert. Um dies zu verhindern, wurde der Batteriestromkreis mit einem Relais unterbrochen, welches immer verzögert gegenüber dem Hauptstromkreis schaltete.

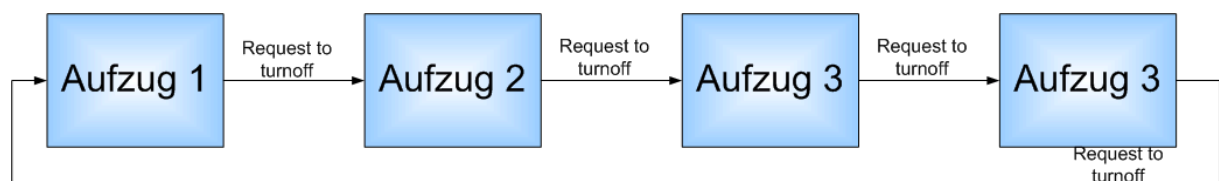
#### 8.4.4. Analyse

Anhand der Kurven kann abgeschätzt werden, wie viel gespart werden könnte, wenn man keine fixen Abschaltzeiten hätte. Zusätzlich gibt es das Wochenende, wo der Aufzug länger abgeschaltet werden könnte.



Figur 36: Ausschaltzeiten

Ebenfalls könnte man die zentrale Gruppensteuerung benutzen um zu definieren, welche Aufzüge wann abgeschaltet werden könnten. Falls eine zentrale Gruppensteuerung fehlt, könnte man die Aufzüge in einem Ring verbinden, wo man seinen Nachbarn wecken bzw. anfragen kann, ob man in den Schlafmodus gehen darf.

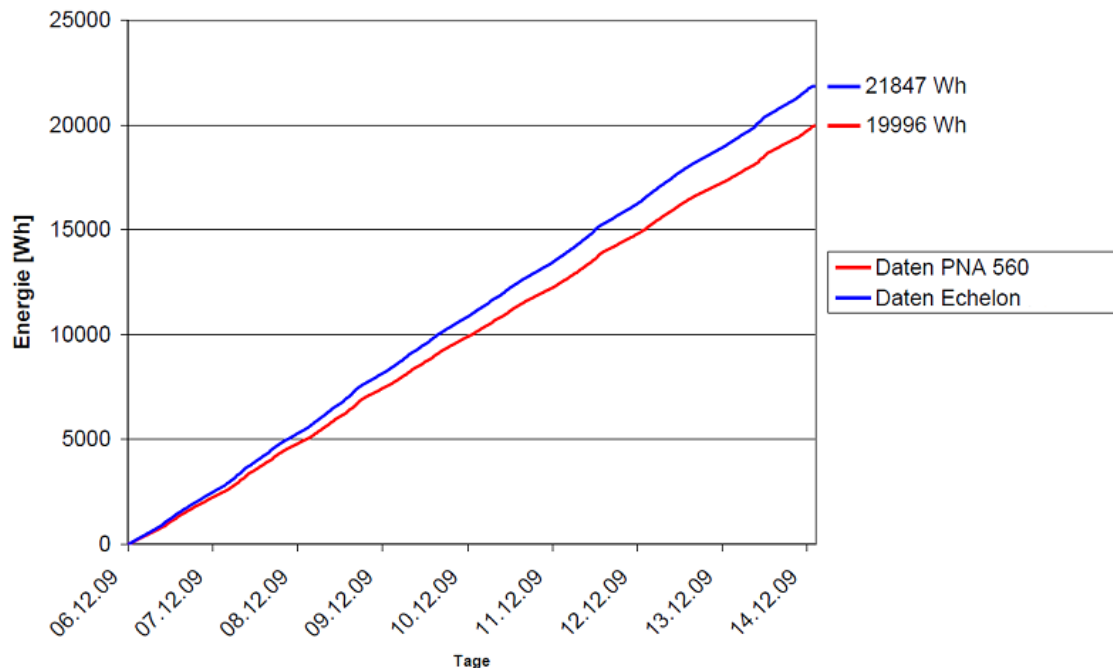


Figur 37: Gruppenkonfiguration



## 8.5. Anlage 2: Wohnhaus

### 8.5.1. Messung ohne Standby-Reduktions-Gerät



Figur 38: Messgerätevergleich

Diese Messung wurde über einen Zeitraum von 202.25h mit 809 Messpunkten aufgezeichnet. Die prozentuale Abweichung liegt mit fast 10% doch höher als erwartet. Betrachtet man die Differenz des Absolutwertes, so kommt man auf 1.85 kWh, was entsprechend hoch ausfällt.

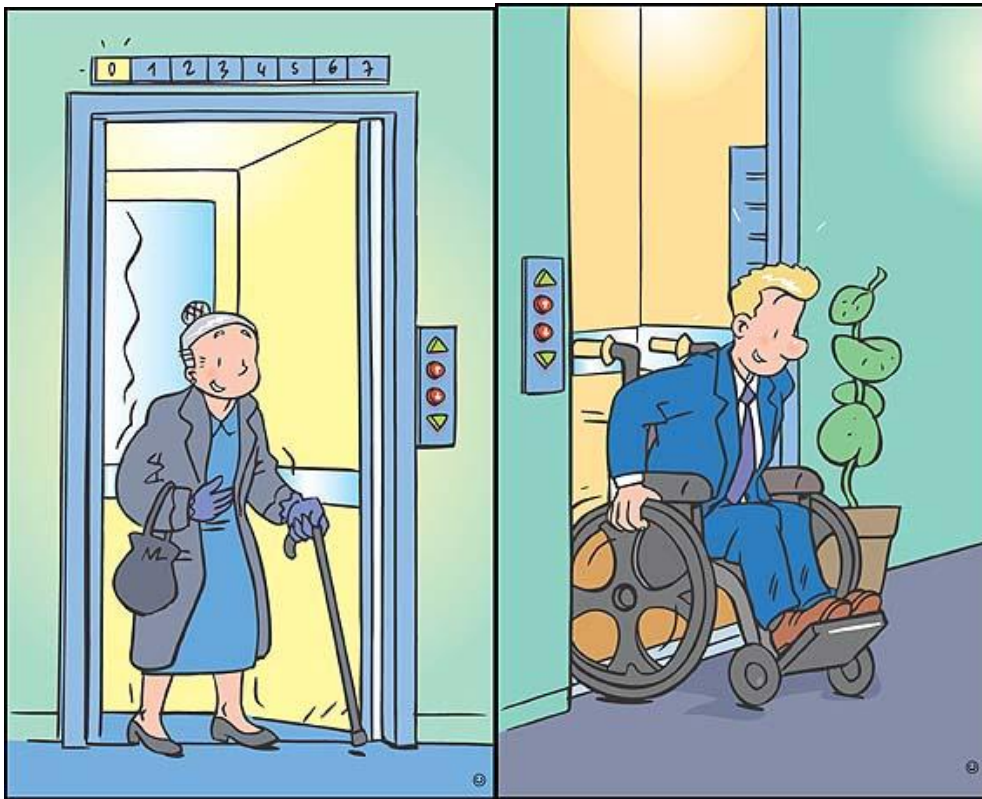
Vergleichsparameter	Echelon EM 1023	Dewetron PNA 560
Messart	Direktmessend 20A	Stromzangen
Messwertaktualisierung	1 s	200 ms

Tabelle 11: Vergleich der Messgeräte

### 8.5.2. Konfiguration des Standby-Reduktions-Gerätes

Die Aufzugsanlage im Wohnbereich ist oft eine Einzelanlage und wird nicht in einer Gruppe mit anderen Aufzügen betrieben.

Deshalb muss besonders Rücksicht auf die Benutzer genommen werden. Mit dem Ziel der Demographie, Personen keine baulichen Hindernisse in den Weg zu stellen, ist der heutige Wohnhausaufzug ein wichtiges und notwendiges Element eines Wohnhauses geworden. Der Aufzug ist deshalb ein Transportmittel, auf welches ältere Personen oder Personen mit Behinderungen kaum verzichten wollen. Dass der Aufzug zuverlässig funktioniert wird ganz einfach vorausgesetzt, da dies ja normal ist. Was aber dahinter steckt, wird oft erst bemerkt oder geschätzt, wenn der Aufzug eine Störung hat.



Figur 39: Dein Freund, der Aufzug

Deshalb ist ein Eingriff in einen Wohnhausaufzug eine empfindliche Sache. Zusätzlich wurde dies bei diesem Aufzug noch verstärkt, da es sich um eine Aufzugsanlage in einem Glasschacht handelte und jede Person das Aufzugs-Verhalten verfolgen konnte.

Dies hatte den Vor- oder Nachteil, dass man sich auf Wartezeiten einstellen konnte. Es muss also damit gerechnet werden, dass einige potentielle Passagiere als Alternative die Treppe benutzt haben.

Bei dieser Anlage waren bereits bei der ersten Messung sehr grosse Unterschiede zum vorhin erwähnten Bürogebäude erkennbar. Der Aufzug steht sehr viel still und „wartet“ auf einen Ruf. Ziel war deshalb ein dynamisches Abschalten, um so Energie einzusparen.

Es wurden Überlegungen gemacht, wie solche Stillstandzeiten erkannt werden könnten und wie man dann Energie sparen kann, ohne dass für den Benutzer grosse Nachteile entstehen.

Ungewiss ist das Fahrverhalten der Bewohner im Haus. Ein Kompromiss muss deshalb gefunden werden zwischen unvorteilhaft schnellem Abschalten und unnötig langen Wartezeiten, bis der Aufzug wieder erwacht ist.

Ein Problem bei diesem Aufzug war, dass nach dem Abschalten die Steuerung die Position der Kabine verlor und deshalb nach dem Einschalten eine Synchronisationsfahrt notwendig war. Mit der Synchronisationsfahrt bewegt sich der Aufzug mit reduzierter Geschwindigkeit durch den Schacht, bis er das untere Schachtende gefunden hat. Danach weiss die Steuerung wieder, wo sich die Kabine befindet und der Normalbetrieb kann gestartet werden. Gerade Wohnhausaufzüge, wo der Kostendruck hoch ist, zeigen dieses Verhalten. Aufzüge in einer höheren Preiskategorie sind oft mit Absolutwertgebern ausgestattet und verlieren deshalb die Kabinenposition nicht.

Um einen guten Kompromiss zu finden, ist das energetische Gleichgewicht ermittelt worden. Deshalb wurde die Energie für die Synchronisationsfahrt ermittelt, wenn der Aufzug im unteren Schachtende steht und anschliessend hinauf in den untersten Halt fährt. Diese Energie und die Standby-Leistung ergeben die minimale Ausschaltzeit, während welcher der Aufzug ausgeschaltet sein muss, um beim Einschalten nicht mehr Energie zu verbrauchen als im ununterbrochenen Betrieb.

Im gewählten Kompromiss wurde die Anzahl Fahrten in den vergangenen 15 min kontrolliert. Eine Prüfung stellt sicher, ob in den letzten 2 min noch eine Fahrt stattgefunden hat. Erst dann wird die Anlage ausgeschaltet.

Um die notwendige Synchronisationsfahrt nach dem Wiedereinschalten des Aufzugs zu minimieren, ruft das **Standby-Reduktions-Gerät** den Aufzug in die unterste Etage, bevor man abschaltet. Mit dieser Lösung konnte eine Aufweckzeit von ein paar 10 Sekunden erreicht werden. Dies stellt in vielen Fällen immer noch nicht eine befriedigende Zeit dar. Aufweckzeiten um die 5 Sekunden wären zu wünschen. Ebenfalls wünschenswert wäre eine Signalisation zum Passagier. Dies könnte rein passiv sein, z.B. durch das Geräusch aus dem Schacht oder aktiv mittels Anzeige.

Eine Lösung musste gefunden werden, um den abgeschalteten Aufzug durch die Passagiere wieder aufzuwecken. Da sich Passagiere nicht darum kümmern sollten, was innerhalb des Aufzugs abläuft, sollte der Aufzug durch eine normale Rufeingabe aufgeweckt werden.

Überlegungen der Montage, Logistik, Kommissionierung und wohl bald auch des Kupferpreises haben dazu geführt, dass moderne Aufzüge Bussysteme haben, die bis in die Etagen-Tableaus führen. Deshalb kann nicht einfach ein digitales Signal in der Steuerung verwendet werden, um solche Etagenrufe zu erkennen.

Leider sind sehr viele zum grossen Teil herstellerspezifische Bussysteme in diesem Bereich üblich. Der Aufzug hatte einen Schindler-spezifischen Bus, welcher mit geringen Kosten, einfacher Montage und Robustheit optimiert ist.

Ein Bus hat aber auch hier Vorteile. Die Etagen-Tableaus konnten mit einfacher Verdrahtung auch bei abgeschaltetem Aufzug weiter gespeist werden und ein Bus-Konverter verbindet den Bus mit der RS232, der im **Standby-Reduktions-Gerät** eingesetzten SPS. So konnte das **Standby-Reduktions-Gerät** die eingehenden Rufe erkennen und den Aufzug wieder ans Netz schalten. Das Aufwecken geht in mehreren Schritten:

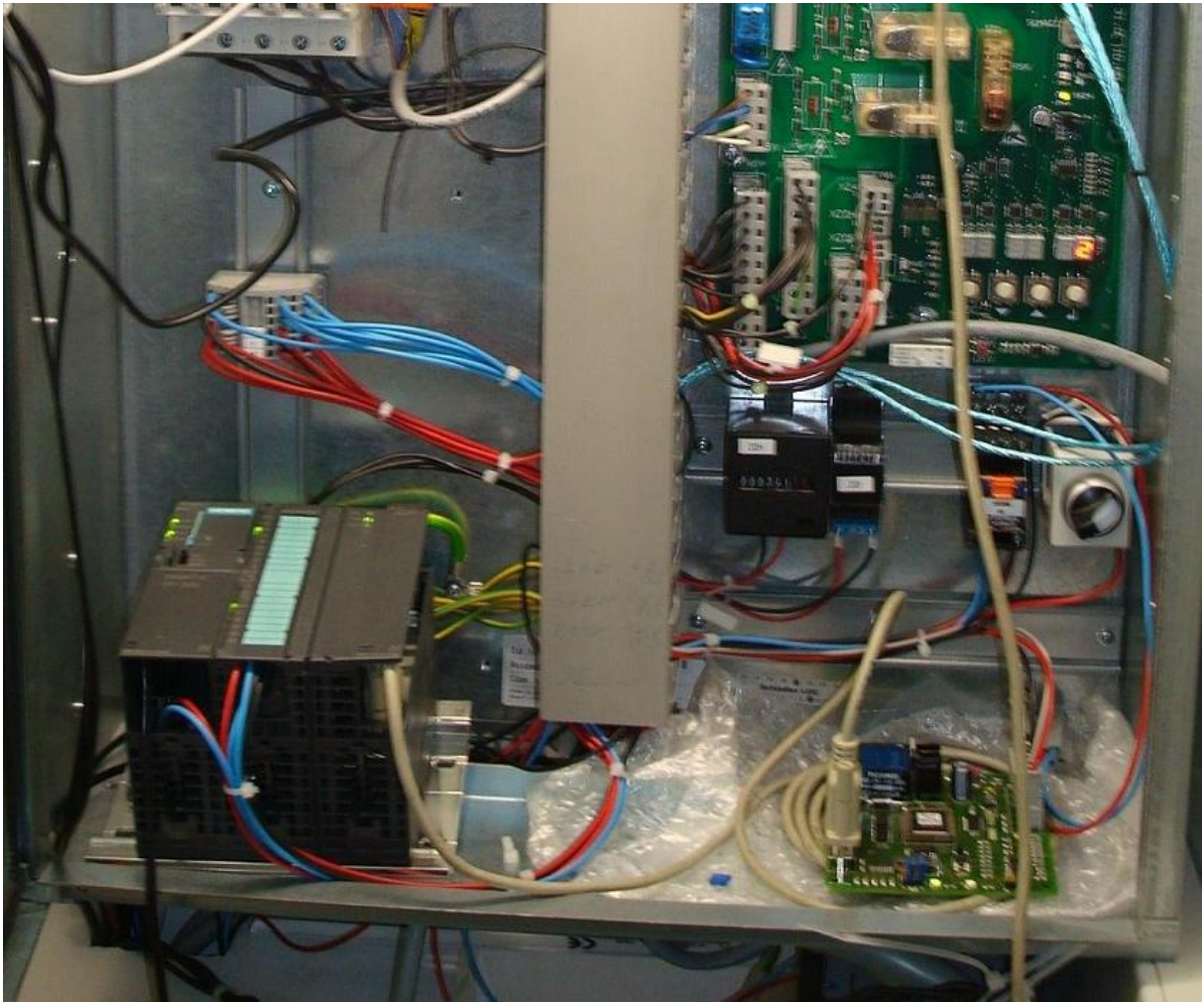
Erkennen des Telegramms auf dem Bus

Zwischenspeichern des Telegramms

Einschalten des Aufzugs

Senden des zwischengespeicherten Telegramms an den eingeschalteten Aufzug

Das folgende Bild zeigt das Funktionsmuster des **Standby-Reduktions-Gerätes**, bestehend aus der SPS und dem Etagen-Tableau-Bus zum RS232-Konverter in der Aufzugssteuerung.

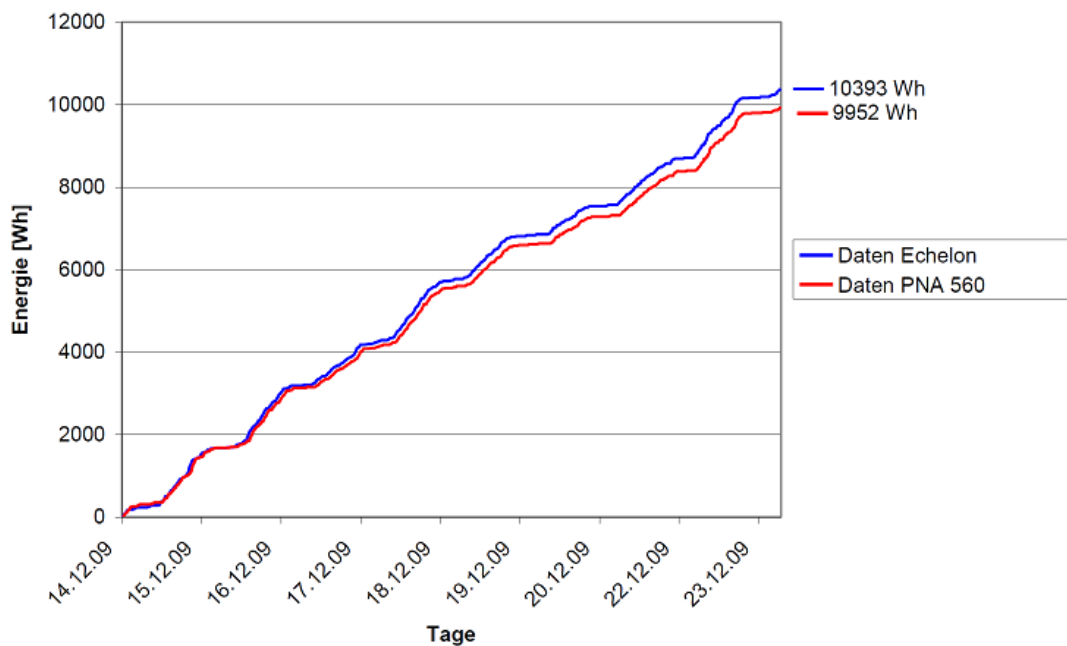


Figur 40: Einbau in Aufzugssteuerung

### 8.5.3. Messung mit Standby-Reduktions-Gerät

Der Kurvenverlauf zeigt transparent auf, dass die Energie sozusagen nicht mehr linear ansteigt, sondern diverse Unterbrüche vorweist. Dies sind die jeweiligen Ausschaltungen des **Standby-Reduktions-Gerätes**.

Diese Messung wurde über einen Zeitraum von 206.75 h mit 827 Messpunkten aufgezeichnet.



Figur 41: Messung mit Standby-Abschaltung

Das Resultat zeigt auf, dass die Messabweichung um rund die Hälfte abgenommen hat. Im Absolutbereich beträgt die Differenz 441 Wh. Dies ist ca. viermal weniger als bei der Messung ohne das **Standby-Reduktions-Gerät** bei fast gleichbleibender Messdauer.

No	Beschreibung	Phase 1		Phase 2		Einsparung	Veränderung
1	Echelon	21847Wh	-	10393Wh	=	11454Wh	48%
		-		-		-	
2	PNA 560	19996Wh	-	9952Wh	=	10044Wh	50%
		=		=		=	
3	Geräteabweichung absolut (prozentual)	1851Wh (9.25%)	-	441Wh (4.5%)	=	1410Wh	24% (48%)
4	Betriebszeit	202h	-	53h	=	149h	26%

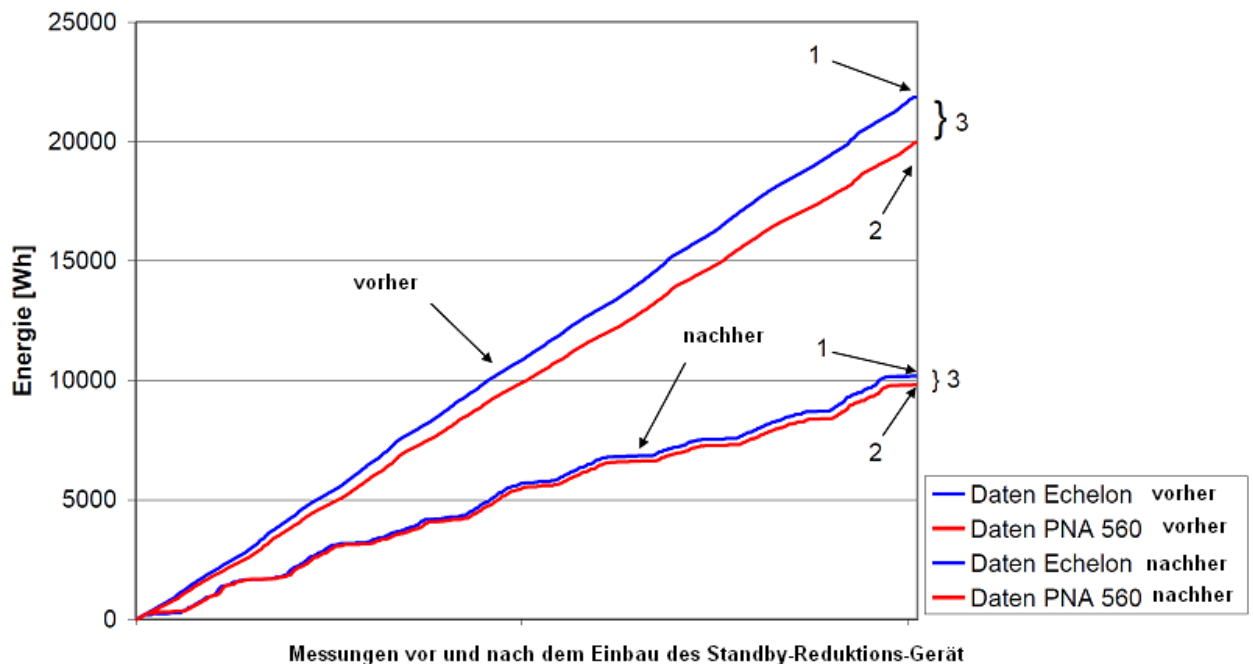
Tabelle 12: Analyse der Messdaten

Die Messdauer ist bei beiden Messungen gleich lang, jedoch war die „Aufzeichnungsdauer“ bei der Messung mit dem **Standby-Reduktions-Gerät** kleiner, da der Aufzug vom Netz getrennt wurde, um den gewünschten Effekt zu erreichen. Somit ist bei der kürzeren Messdauer auch eine geringere Messabweichung erkennbar und nachvollziehbar. Dies lässt sich durch den Vergleich der Messendwerte begründen. Der gemessene Endwert der Energie ist um 50% kleiner geworden, somit auch dessen prozentuale Messabweichung der beiden Phasen.

Interessanterweise fällt auf den ersten Blick die Bewertung des Absolutwertes der Messgeräteabweichung anders aus, welche sich lediglich um knapp 24% verändert hat.



Doch diese steht im direkten Zusammenhang mit der Betriebszeit, welche sich nun durch den Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** markant verändert hat. Somit beeinflusst das Messresultat die effektiv gemessene Messdauer sowie die Höhe des Energieverbrauchs.



Figur 42: Vergleich vorher - nachher

Da die Messresultate bei der Startmessung am unterschiedlichsten ausgefallen sind, wurde nun der Durchschnittswert des Power Faktors (PF) des PNA 560-Messgerätes ermittelt. Dieser fällt mit 0.56 tief aus. Der genaue gemessene Wert des Echelon-Energiezählers kann an dieser Stelle nicht ermittelt werden, da diese Daten zwar gemessen, jedoch nicht aufgezeichnet wurden. Vergleicht man diesen Wert mit den spezifizierten Werten der IEC 62053- 21, so stellt man fest, dass die Messabweichung der Phase mit 10% sehr viel höher ausfällt als die Werte unter Spalte PF = 0.5 kapazitiv mit 2.5%.

Der Basisstrom ( $I_b$ ) für den Zähler liegt bei 5 A. Der spezifizierte Bereich liegt also bei 1 bis 5 A ( $0.2 \cdot I_b \leq I \leq I_b$ ). Während der Stillstands-Zeit des Aufzuges war die Stromaufnahme jedoch nur bei 300 mA, also rund 3 Mal weniger. Somit steht das Verhältnis der Stromaufnahme und der Messabweichung im Verhältnis von etwa Faktor 3. Deshalb gestaltet sich eine Aussage bezüglich der Genauigkeit sehr schwierig, da der spezifizierte Messbereich nicht erreicht ist.

Beschreibung: Einzelphase und symmetrisch belastetes Dreiphasennetz								
Anwendung: wenn Aufzug fährt								
Direktmessend				Wandler				proz.Messfehler
Formel	Grenz- wert	Betrag Messfehler		Formel	Grenz- wert	Betrag Messfehler		
		Klasse 1	Klasse 2			Klasse 1	Klasse 2	
PF = 1								
$0.05 \cdot I_b \leq I < 0.1 \cdot I_b$	0.25	0.00375	0.00625	$0.02 \cdot I_n \leq T < 0.05 \cdot I_n$	0.12	0.0018	0.003	Klasse 1: $\pm 1.5\%$
	0.5	0.0075	0.0125		0.3	0.0045	0.0075	Klasse 2: $\pm 2.5\%$
$0.1 \cdot I_b \leq I \leq I_{max}$	0.5	0.005	0.01	$0.05 \cdot I_n \leq I \leq I_{max}$	0.3	0.003	0.006	Klasse 1: $\pm 1.0\%$
	50	0.5	1		10	0.1	0.2	Klasse 2: $\pm 2.0\%$
PF = 0.5 induktiv								
$0.1 \cdot I_b \leq I < 0.2 \cdot I_b$	0.5	0.0075	0.0125	$0.05 \cdot I_n \leq T < 0.1 \cdot I_n$	0.3	0.0045	0.0075	Klasse 1: $\pm 1.5\%$
	1	0.015	0.025		0.6	0.009	0.015	Klasse 2: $\pm 2.5\%$
$0.2 \cdot I_b \leq I \leq I_{max}$	1	0.01	0.02	$0.1 \cdot I_n \leq I \leq I_{max}$	0.6	0.006	0.012	Klasse 1: $\pm 1.0\%$
	50	0.5	1		10	0.1	0.2	Klasse 2: $\pm 2.0\%$
PF = 0.8 kapazitiv								
$0.1 \cdot I_b \leq I < 0.2 \cdot I_b$	0.5	0.0075		$0.05 \cdot I_n \leq T < 0.1 \cdot I_n$	0.3	0.0045		Klasse 1: $\pm 1.5\%$
	1	0.015			0.6	0.009		Klasse 2: ---
$0.2 \cdot I_b \leq I \leq I_{max}$	1	0.01		$0.1 \cdot I_n \leq I \leq I_{max}$	0.6	0.006		Klasse 1: $\pm 1.0\%$
	50	0.5			10	0.1		Klasse 2: ---
PF = 0.25 induktiv								
$0.2 \cdot I_b \leq I \leq I_b$	0.5	0.0175		$0.1 \cdot I_n \leq I \leq I_n$	0.6	0.021		Klasse 1: $\pm 3.5\%$
	50	1.75			6	0.21		Klasse 2: ---
PF = 0.5 kapazitiv								
$0.2 \cdot I_b \leq I \leq I_b$	1	0.025		$0.1 \cdot I_n \leq I \leq I_n$	0.6	0.015		Klasse 1: $\pm 2.5\%$
	50	1.25			6	0.15		Klasse 2: ---

Tabelle 13: IEC 62053-21, Fehlergrenzen

#### 8.5.4. Analyse

Das Energieeinsparpotenzial des Wohnhausaufzugs ist wesentlich schwerer abzuschätzen. Auf Grund eines Tagesverlaufs der Aufzugsanlage können die Standby-Zeiten abgeschätzt werden, die bei einer Optimierung entfallen würden. Nun ist aber die Frage, wie viel mehr Energie wird benötigt für die zusätzlichen Referenzfahrten des Aufzuges auf einen definierten Halt. Ebenfalls können die Passagiere einen entscheidenden Einfluss auf die Messung machen, indem sie einfach die Treppe benutzen.

Um abzuschätzen wie viel Energie man spart, müssen Messungen vor und nach dem Einbau gemacht werden und die gesparte Energie-Differenz muss mit Vorsicht betrachtet werden. Das Ergebnis dieser beiden Messungen zeigt, dass man durch den Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** ca. 50% Energie gespart hat.

#### 8.5.5. Kundenbefragung

Um eine Rückmeldung über den Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** und das Interesse an Energieeinsparungen zu erhalten, wurden am Ende der Testzeit alle Bewohner des Wohnhauses mit einem Fragebogen offiziell angeschrieben. Die Auswertung zeigt, dass die erwähnten Schwachpunkte von den Benutzern erkannt und festgehalten wurden. Ebenso sind nicht alle Wohnparteien über Einsparungen zu jedem „Preis“ bereit. Die folgenden Grafiken zeigen die Fragen und Antworten der Befragung.

### Wie oft benützen Sie normalerweise den Aufzug?



Figur 43: Frage 1

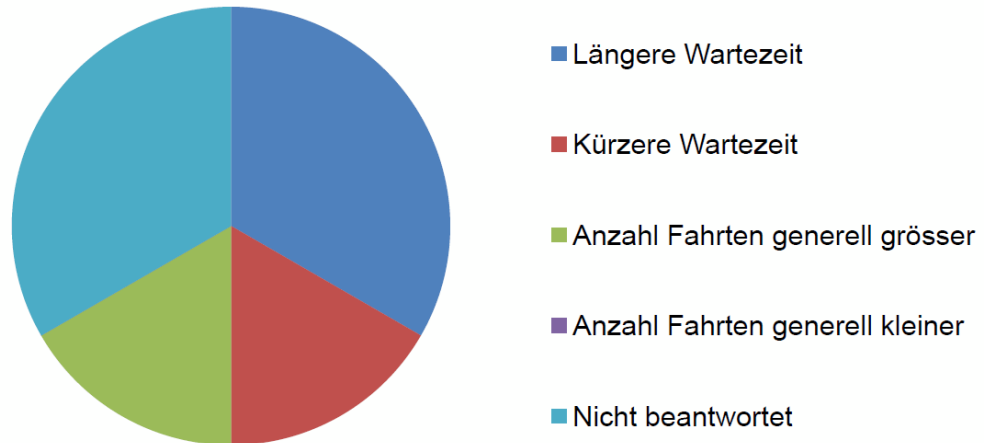
### Hatten Sie den Eindruck, dass die Verfügbarkeit des Aufzuges eingeschränkt war?



Figur 44: Frage 2



### Wie hat sich die Verfügbarkeit verändert?



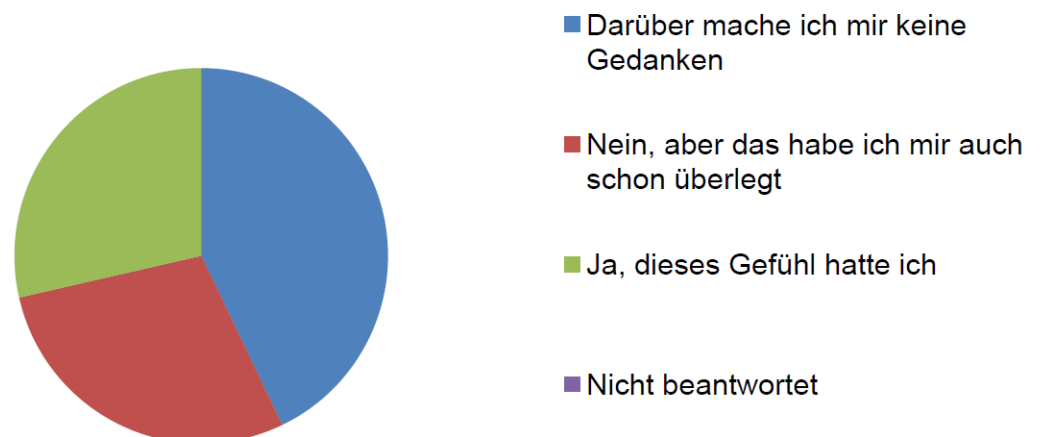
Figur 45: Frage 3

### Sind für sie Unannehmlichkeiten entstanden?



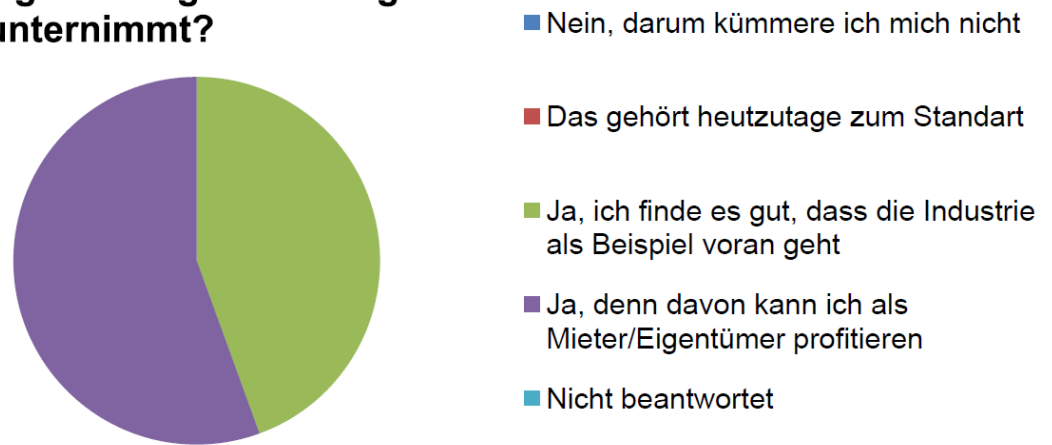
Figur 46: Frage 4

### Hatten Sie das Gefühl, dass eine Störung oder ein Personeneinschluss während der Testphase entstehen könnte?



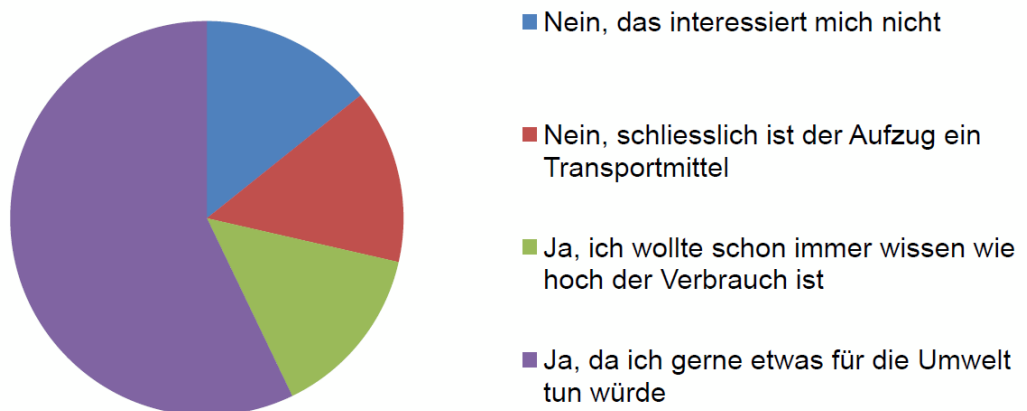
Figur 47: Frage 5

**Begrüssen Sie es, dass die Firma Schindler Anstrengungen bezüglich "Energieverbrauch" von Aufzügen unternimmt?**



Figur 48: Frage 6

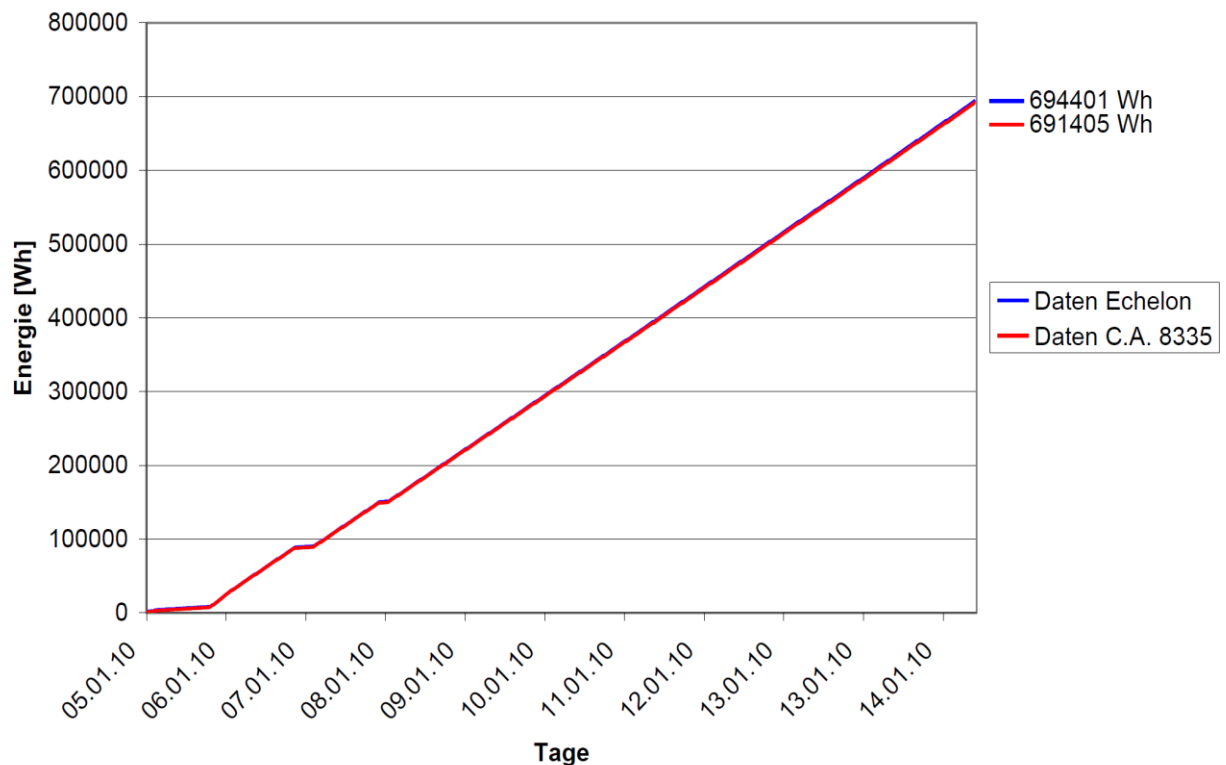
**Haben Sie sich schon früher Gedanken zum Energieverbrauch von Aufzügen gemacht?**



Figur 49: Frage 7

### 8.6. Anlage 3: Prüfstand

Das Ziel dieser Messung war die Überprüfung des Zählers mit dem Leistungsanalysator. Die Messresultate vom Prüfstand zeigen fast keine Unterschiede auf den ersten Blick, 0.43% zeigt eine sehr geringe Abweichung der beiden Messgeräte auf. Immerhin war die Dauer der Aufzeichnung 234 h mit 936 Messpunkten.



Figur 50: Vergleichsmessung

Vergleichsparameter	Echelon EM 1023	Chauvin Arnoux C.A. 8335
Messart	direktmessend	100 A Stromzangen
Messwertaktualisierung	1 s	200 ms

Tabelle 14: Messgeräte-Vergleich

Betrachtet man jedoch nicht den Prozentwert, sondern den Absolutwert, so stellt man fest, dass die Differenz immerhin 3 kWh beträgt.

Grundsätzlich fallen die Resultate der beiden Messinstrumente nicht extrem unterschiedlich aus. Eine prozentuale Abweichung von 0.5% bei einer gemessenen Energie von einer halben Megawattstunde ist sehr gut. Es stellt sich dabei mehr die Frage, für welchen Zweck die Messgeräte schlussendlich eingesetzt werden.

Grundsätzlich sind die Abweichungen im zugelassenen Rahmen aber über längere Zeit trotzdem relativ gross. Dies liegt darin, dass ein Leistungsanalysator für genaue Analysen in kurzen Zeiten vorgesehen ist. Im Gegensatz dazu weist der Zähler bei der Langzeitmessung die genaueren Messungen auf, kann aber viele Funktionen eines Leistungsanalysators nicht abdecken. Für eine Messung über einen längeren Zeitraum sind Energiezähler sicher eine echte Alternative. Auch wenn anspruchsvollere Messungen wie beispielsweise eine Wochenmessung in unserem Falle anstehen, kann eine Schlussfolgerung betreffend Energieverbrauch gemacht werden.

Das Problem eines hochwertigen Leistungsanalysators besteht in der Bedienung und Konfiguration. Um ein solches Gerät einsatzfähig zu machen, braucht es den Einsatz von Fachleuten, welche in der Regel einen hohen Stundensatz mit sich bringen. Gerade für eine transparente und einfache Klassifizierung von Energieklassen für Aufzüge soll auch das Messmittel entsprechend einfach und allgemein verständlich sein. Da sind Energiezähler gerade prädestiniert dazu, da der Normalverbraucher unter dem Begriff Energiezähler sich etwas Konkretes vorstellen kann.

## 9. Die Energie-Etikette für Aufzüge VDI 4707

Energieeffizienz ist ein Schlagwort und wird als Marketinginstrument gebraucht. Dies macht auch nicht Halt vor Aufzügen. Oft entscheidet deshalb die Energieeffizienz, welcher Hersteller seinen Aufzug verkaufen kann. Die Aufzugsindustrie tut sich sehr schwer mit verständlichen Fakten, sich transparent zum Thema Energieeffizienz zu äussern. Dies obwohl man in der ISO/TC178 fast schon seit 10 Jahren daran ist, einen Standard zu schreiben wie man Energie von Aufzügen misst. Zum Vergleich: Im BFE-Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und –anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1] konnte man sich in einer Sitzung einigen, wie man Energie an einem Aufzug misst und dies trotz unterschiedlichster Zusammensetzung der Experten. Ähnlich schnell ging es im Forschungsprojekt Energy-Efficient Elevators and Escalators der EU <http://www.e4project.eu> [3], wo ein Methodologie-Papier erschaffen wurde.

Zum Glück flossen die Erkenntnisse des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und –anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1] direkt in die Richtlinienarbeit VDI 4707 [2] des Vereins Deutscher Ingenieure ein.

Trotz riesigem Interesse, Kommentaren und nicht zu vernachlässigender Kritik und Widerstand, hat der VDI die Richtlinie VDI 4707 – Teil 1 Aufzüge Energie-Effizienz im 2009 publiziert. Zurzeit arbeitet man an einem Teil 2, der sich um energieeffiziente Aufzugskomponenten kümmert.

Die Kritiker der VDI 4707 sollten ein gewisses Verständnis haben, da es ja kaum möglich ist, mit der ersten Ausgabe alle bekannten und unbekannten Aspekte bis ins Detail definieren zu können. Die erste Ausgabe der VDI 4707 löst zum Glück folgendes Problem:

man kann nicht messen, da es keine Richtlinie gibt

die Richtlinie kann nicht benutzt werden, da es keine Messung gibt

Die zweite Aussage ist aus Schweizer Sicht falsch. Die 33 gemessenen Aufzüge des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und –anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1] dienten als Referenz.

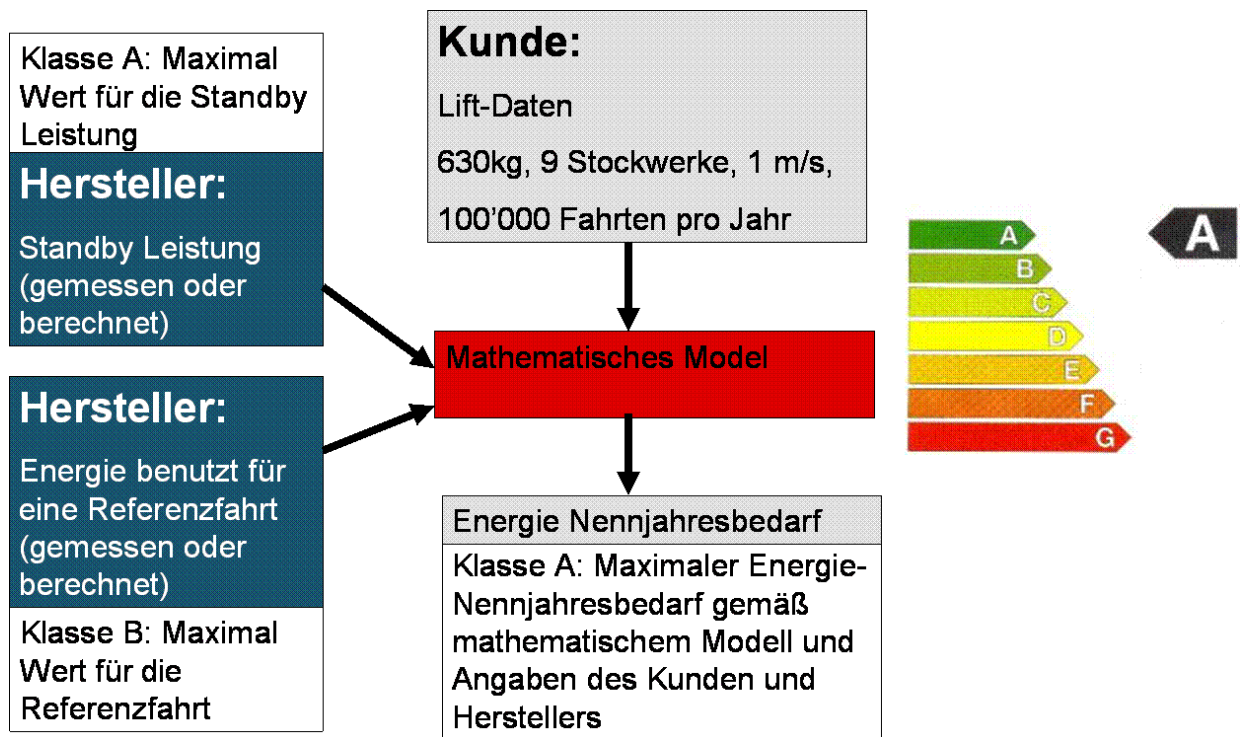
Da die VDI 4707 periodisch überarbeitet wird sollte sie angewendet werden, um Erfahrungen zu gewinnen und so wertvollen Input für die nächste Überarbeitung zu sammeln.

Die VDI 4707 definiert eine Energie-Etikette für Aufzüge, welche sich anlehnt an die bekannten europäischen Energie-Etiketten und deshalb konzeptionell sofort verständlich ist.

Das Personenverhalten ist hauptsächlich für den Energieverbrauch in der Wochenmessung massgebend. Deshalb lässt sich dadurch kaum eine Aussage machen, wie effizient der Aufzug ist. Die VDI 4707-Richtlinie [2] löst dieses Problem, indem zwei Kennzahlen definiert sind:

- Standby-Leistung 5 Minuten nach der letzten Fahrt
- Energie für die Referenzfahrt mit leerer Kabine durch den ganzen Schacht

Diesen beiden Kennwerten werden Klassen A, B, C, D, E, F, G zugeordnet. Je nach Nutzung werden die beiden Kennwerte gewichtet und so einer Gesamtklasse A, B, C, D, E, F, G zugewiesen und der Nennjahresbedarf ermittelt.



Figur 51: Konzept VDI 4707

Interessant zu sehen ist, wie sich die gemessenen Aufzüge vor und nach dem Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** nach VDI 4707 bewerten lassen.

## 9.1. Einführung in die VDI 4707

Den Standby-Leistungswerten werden Klassen zugewiesen

Leistung in W	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Klasse	A	B	C	D	E	F	G

Figur 52: Standby-Klassen

Die Energie der Referenzfahrt wird "normalisiert" (dividiert durch Nennlast und Fahrdistanz) und so der spezifische Energieverbrauch gebildet. Danach kann eine Klasse zugewiesen werden.

Spez. Energieverbrauch in mWh/m kg	≤ 0,56	≤ 0,84	≤ 1,26	≤ 1,89	≤ 2,80	≤ 4,20	> 4,20
Klasse	A	B	C	D	E	F	G

Figur 53: Klassen für das Fahren

Die richtige Handhabung von zwei verschiedenen Energiebedarfsklassen, eine für den Stillstand und die andere für das Fahren, ist schwierig.

Im Wohnhaussektor ist tiefer Stillstandverbrauch wichtiger als sehr effizientes Fahren, da es relativ wenige Fahrten pro Jahr gibt.

In Geschäftshäusern, wo die Anzahl Fahrten hoch ist, sind effiziente Antriebssysteme wichtiger als ein sehr tiefer Stillstandverbrauch.

Je nachdem wie der Aufzug genutzt wird, müssen die beiden Klassen unterschiedlich gewichtet werden, um eine gemeinsame Klasse, die Energieeffizienzklasse des Aufzuges zu erhalten.

Fünf Nutzungskategorien wurden zu diesem Zweck eingeführt.

Nutzungskategorie	1	2	3	4	5
Nutzungsintensität/-häufigkeit	sehr gering sehr selten	gering selten	mittel gelegentlich	stark häufig	sehr stark sehr häufig
Durchschnittliche Fahrzeit in Stunden pro Tag <sup>*)</sup>	0,2 (≤ 0,3)	0,5 (> 0,3 - 1)	1,5 (> 1-2)	3 (> 2-4,5)	6 (> 4,5)
Durchschnittliche Stillstandszeit in Stunden pro Tag	23,8	23,5	22,5	21	18
Typische Gebäude- und Verwendungsarten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnhaus mit bis zu 6 Wohnungen,</li> <li>kleines Büro- und Verwaltungsgebäude mit wenig Betrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnhaus mit bis zu 20 Wohnungen</li> <li>kleines Büro- und Verwaltungsgebäude mit 2 bis 5 Geschossen</li> <li>kleine Hotels</li> <li>Lastenaufzug mit wenig Betrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnhaus mit bis zu 50 Wohnungen</li> <li>mittleres Büro- und Verwaltungsgebäude mit bis zu 10 Geschossen</li> <li>mittlere Hotels</li> <li>Lastenaufzug mit mittlerem Betrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wohnhaus mit mehr als 50 Wohnungen</li> <li>hohes Büro- und Verwaltungsgebäude mit über 10 Geschossen</li> <li>großes Hotel</li> <li>kleines bis mittleres Krankenhaus</li> <li>Lastenaufzug in Produktionsprozess bei einer Schicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Büro- und Verwaltungsgebäude über 100 m Höhe</li> <li>großes Krankenhaus</li> <li>Lastenaufzug in Produktionsprozess bei mehreren Schichten</li> </ul>

Tabelle 15: Nutzungskategorien

Mit den Maximalwerten der Klassen für das Fahren, den Stillstand, der Nennlast und Nenngeschwindigkeit können die Maximalwerte für die Nutzungskategorie-Klassen berechnet werden.

Klasse A Stillstand + Klasse A Fahren = Klasse A für den Aufzug in der Nutzungskategorie

Leistung in W	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Klasse	A	B	C	D	E	F	G

Gerechnete Grenzwerte für 630kg 1m/s

Energieeffizienzklasse	Spezifischer Energiebedarf in mWh/(kgm)				
	Nutzungskategorie				
	1	2	3	4	5
A	3.18	1.60	0.89	0.71	0.63
B	6.09	2.91	1.50	1.15	0.97
C	11.75	5.40	2.58	1.88	1.52
D	22.88	10.18	4.54	3.12	2.42
E	44.78	19.38	8.09	5.27	3.86
F	88.15	37.36	14.78	9.14	6.32
G	>88.15	>37.36	>14.78	>9.14	>6.32

$$0.56 \text{ mWh/kgm} + \frac{50 \text{ W} \cdot 23.5 \text{ h} \cdot 1000 \text{ mWh/W}}{630 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s} \cdot 0.5 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 1.60 \text{ mWh/kgm}$$

Spez. Energieverbrauch in mWh/m kg	≤ 0,56	≤ 0,84	≤ 1,26	≤ 1,89	≤ 2,80	≤ 4,20	> 4,20
Klasse	A	B	C	D	E	F	G

Figur 54: Kombination der Klassen



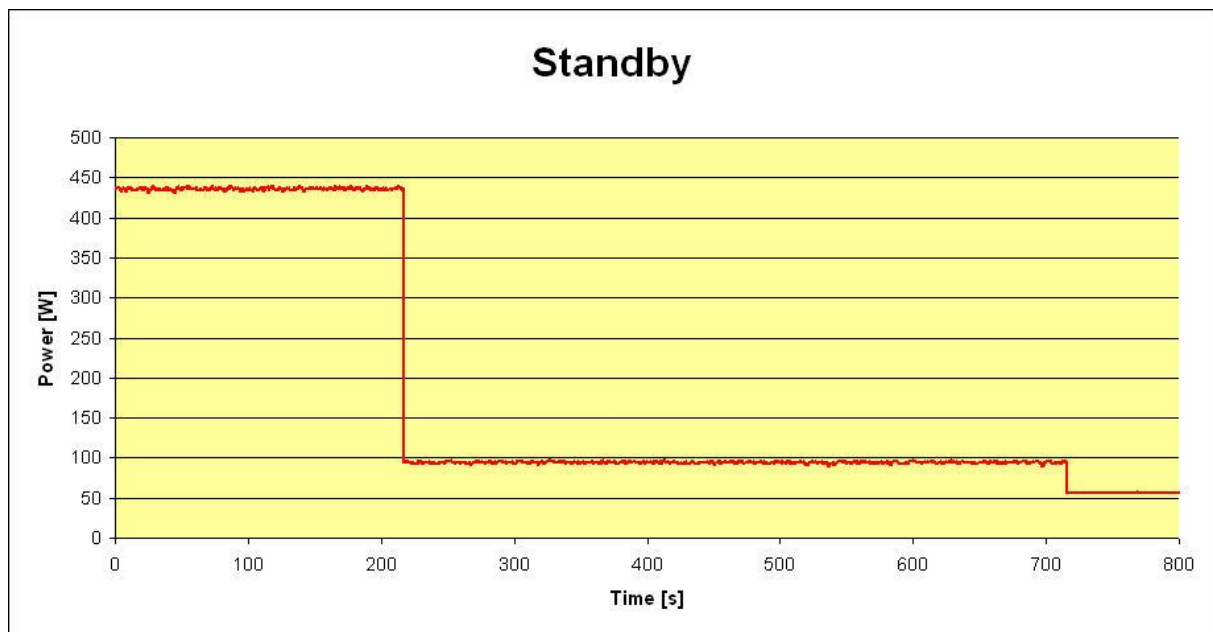
Dabei wird sofort klar, dass die VDI 4707 noch nichts direkt vorgesehen hat, um ein **Standby-Reduktions-Gerät** zu berücksichtigen. Die VDI 4707 hat jedoch Mittel, die man auch mit einem **Standby-Reduktions-Gerät** anwenden kann, zum Beispiel definiert die VDI 4707 den Nennjahresbedarf. Das **Standby-Reduktions-Gerät** beeinflusst die Einschaltdauer. Ebenfalls erlaubt die VDI 4707 an einigen Stellen, dass man durchaus abweichen kann, sofern man dies entsprechend dokumentiert. Mit diesen Mitteln soll nun versucht werden, den Einfluss des **Standby-Reduktions-Gerätes** zu bewerten.

Da die VDI 4707 zurzeit für Aufzüge mit Standby-Reduktion keine Lösung zur Verfügung stellt, kann dies auch als Vorschlag dienen für die nächste Revision der VDI 4707.

## 9.2. VDI4707-Messung Anlage 1: Bürogebäude

### 9.2.1. Standby-Messung

Der Verlauf der Standby-Leistung nach einer Fahrt wurde aufgezeichnet. Falls nach der Fahrt die geregelten Lüfter in Betrieb sind, wird je nach Maschinen-Temperatur bis ca. 440 W Leistung benötigt. Bei abgekühlten Maschinen reduziert sich die Leistung auf 93 W. In diesem Zeitbereich ist der Aufzug voll bereit, um eine nächste Fahrt einzuleiten. In der untenstehenden Figur wurden die Lüfter manuell abgeschaltet, um diese Differenz aufzuzeigen. Zusätzlich wird ca. 12 min nach der letzten Fahrt die Standby-Leistung automatisch auf ca. 55 W minimiert, da der Frequenzumrichter in einen Standby-Modus geht. Es ist also ersichtlich, dass die Standby-Leistung nicht konstant ist.



Figur 55: Standby-Verlauf

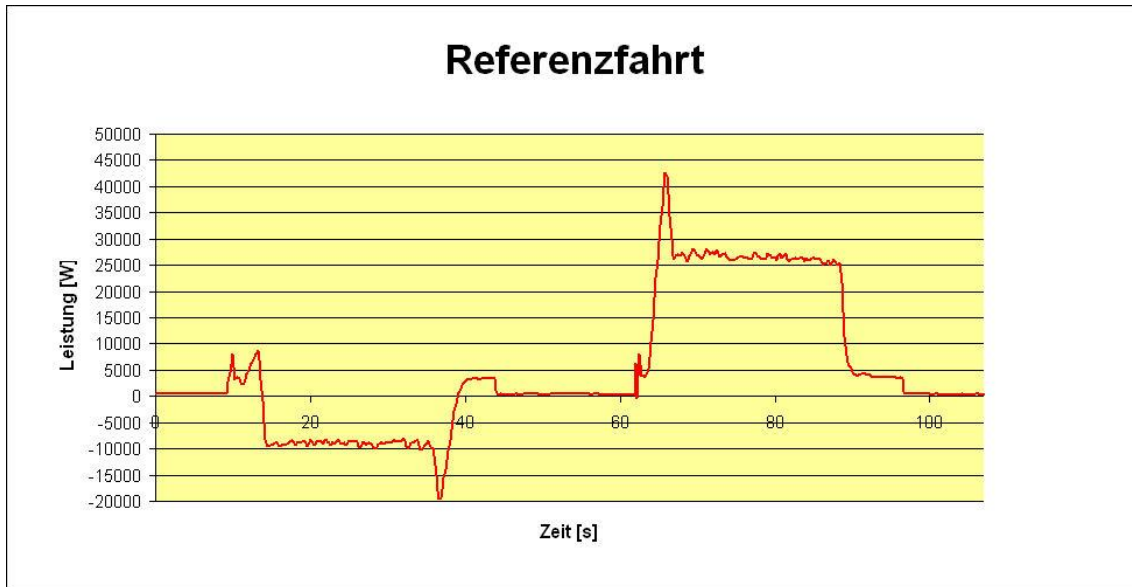
Folgt man streng der VDI 4707, muss so der Standby-Wert von 440 W verwendet werden, da 5 min nach der letzten Fahrt die Ventilatoren immer noch laufen. Wenn ein grosser Motor mit mehreren hundert kg einmal warm ist, brauchen die Ventilatoren mehr als 5 min, um diese Masse abzukühlen. Dies ist jedoch aus Kundensicht kaum von Interesse, da das Fahrprofil zeigt, dass der Aufzug während dem Tag dauernd fährt und in der Nacht dauernd steht. Das möchte der Kunde sicher wissen: Wie gross ist die Standby-Leistung in der Nacht? Dies sind nicht 440 W mit den laufenden Ventilatoren und auch nicht 93 W mit dem bereiten Frequenzumrichter, sondern 55 W mit dem Frequenzumrichter im Standby-Modus.

Bei kleineren Motoren tritt dieses Problem kaum auf. Oft haben diese Maschinen nicht einmal einen Ventilator.

### 9.2.2. Referenzfahrt

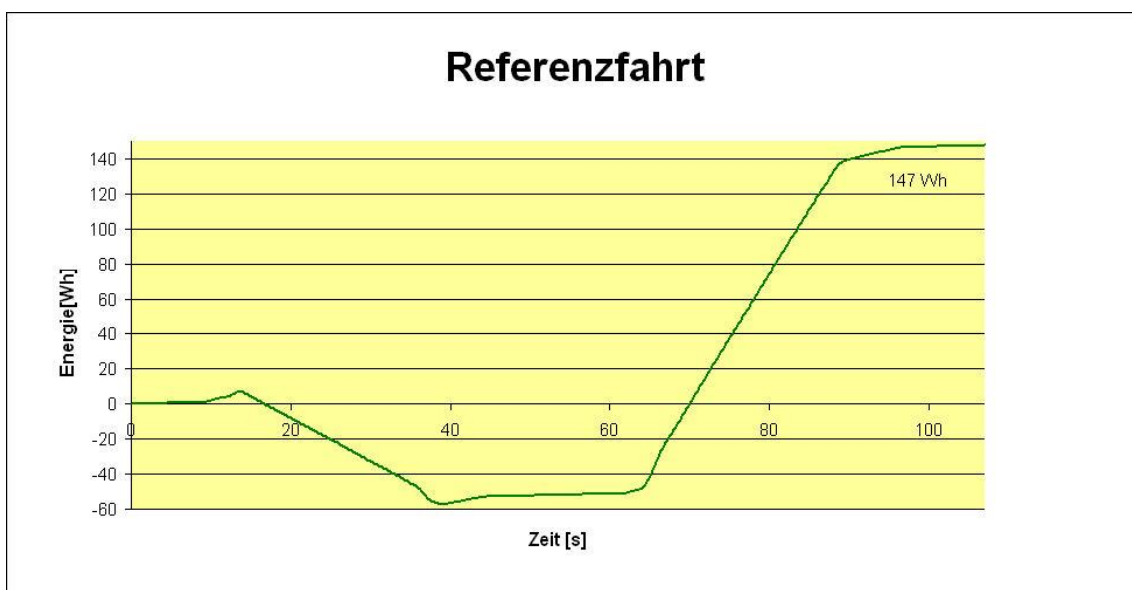
Bei einem Aufzug mit Treibscheibe gibt es bezüglich dem Energiebedarf zwei Situationen: Die Fahrt mit der leeren Kabine und die Fahrt mit der vollen Kabine. Typischerweise ist eine 50% beladene Kabine gleich schwer wie das Gegengewicht und benötigt deshalb am wenigsten Energie.

Aus praktischen Gründen ist die Referenzfahrt nach VDI 4707 eine Fahrt durch den ganzen Schacht nach oben und dann nach unten mit leerer Kabine. Bei der Fahrt nach oben zieht das Gegengewicht die Kabine nach oben und der Power Faktor 1 Frequenz-Umrichter VF120PF1 kann, nachdem die Massen beschleunigt sind, Energie zurück regenerieren. Bei der Fahrt nach unten muss dann das Gegengewicht gehoben werden und es wird während der ganzen Fahrt Energie benötigt.



Figur 56: Referenzfahrt

Betrachtet man die Energie, so sieht man, dass etwa 30% der Energie regeneriert werden kann. Dies stimmt überraschenderweise mit der Wochenmessung überein. Zu erwarten wäre, dass dieser Wert grösser sein sollte als derjenige der Wochenmessung, da kurze Fahrten und Fahrten mit beladener Kabine bei der Wochenmessung schlechtere Ergebnisse erzeugen sollten.



Figur 57: Energie der Referenzfahrt

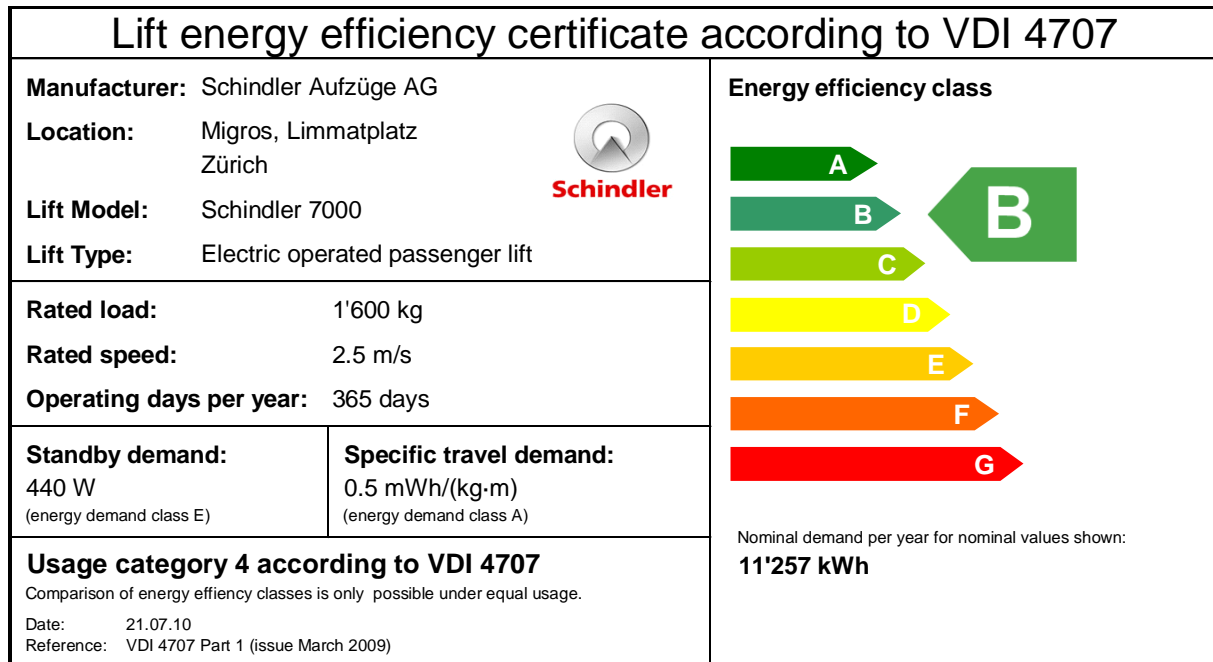


### 9.2.3. Die VDI 4707-Etikette

Mit den beiden Kennzahlen 440 W (93 W oder 55 W) für Standby, 147 Wh für die Referenzfahrt und den Anlagedaten, lässt sich die Energie-Etikette nach der VDI 4707 erstellen. Die Energie der Referenzfahrt wird dabei mittels spezifischen Fahrbedarfs standardisiert. Dabei wird die Energie pro gefahrenen Meter in kg Nutzlast ausgedrückt. Zusätzlich wird noch der Einfluss der Nutzlast berücksichtigt. Durch das Gegengewicht bedingt, wird bei Traktionsaufzügen beim Beladen der Kabine die Leistung reduziert. Dies wird mit dem Lastfaktor 0.7 berücksichtigt. Somit beträgt der spezifische Fahrbedarf:

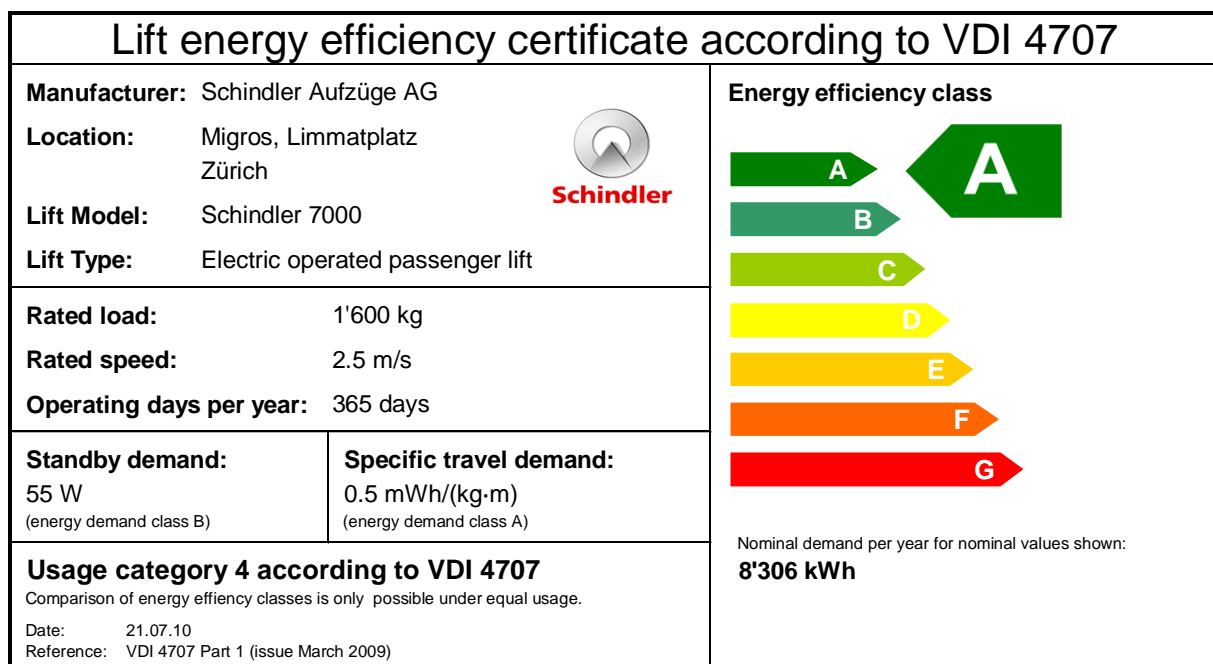
$$0.7 \cdot 147 \text{ Wh} / (2 \cdot 63,7 \text{ m}) / 1600 \text{ kg} = 0.505 \text{ mWh/kgm}$$

Etikette streng nach VDI 4707 mit laufenden Ventilatoren:



Figur 58: Energie-Etikette

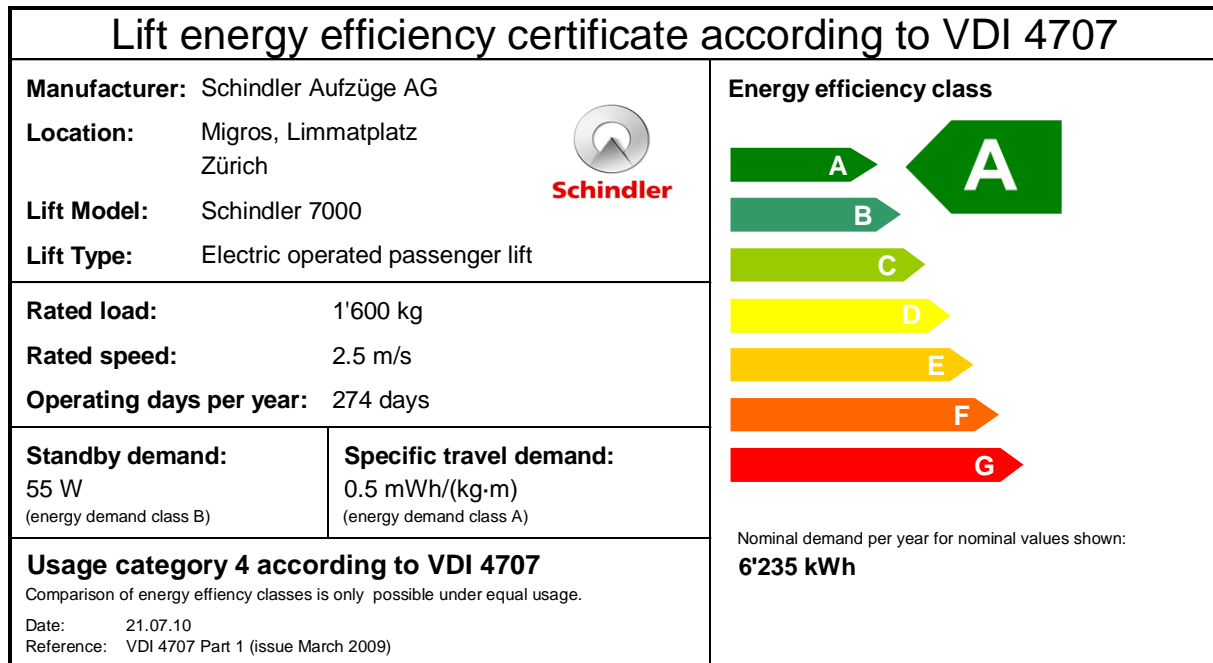
Realistische Etikette nach VDI 4707 mit dem Standby-Wert in der Nacht:



Figur 59: Realistische Energie-Etikette

Nun stellt sich die Frage wie die Etikette aussehen würde, wenn das **Standby-Reduktions-Gerät** eingebaut wäre. Streng genommen ändert sich die VDI 4707-Etikette kaum.

Wie aus den Messungen ersichtlich ist, schaltet das **Standby-Reduktions-Gerät** den Aufzug 6 Stunden am Tag aus. Dies sind über das Jahr betrachtet  $6 \text{ h} \cdot 365 \text{ d} / 24 \text{ h} = 91 \text{ d}$ , also ist die jährliche Betriebsdauer nur noch  $365 \text{ d} - 91 \text{ d} = 274 \text{ d}$ , dies kann in der VDI 4707-Etikette direkt berücksichtigt werden.



Figur 60: Energie-Etikette mit reduzierter Betriebsdauer

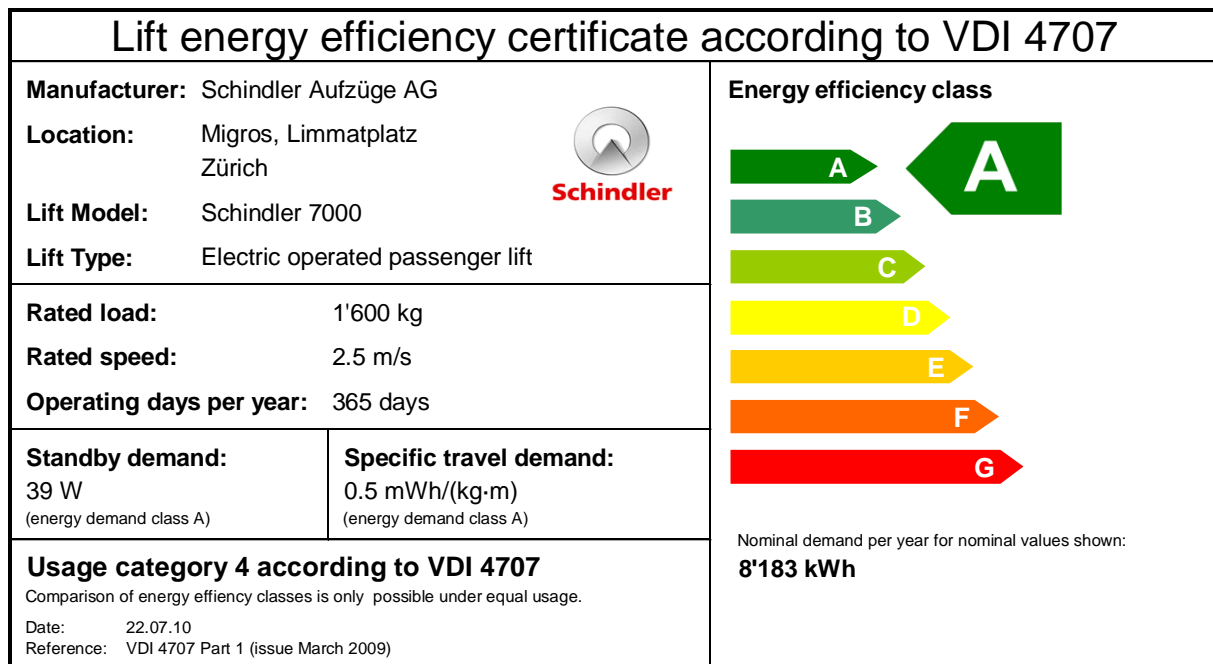
Der Aufzug ist immer noch Klasse A und die beiden Kennwerte sind unverändert geblieben, aber der Nenn-Jahresbedarf ist von 8306 kWh auf 6235 kWh gesunken. Dies ist eine überraschende und zu hohe Einsparung von  $(8306-6235)/8306 = 25\%$ . Der Grund ist, dass diese Methode auch die Fahrenergie reduziert hat. Anschaulich wird diese Tatsache, wenn man bedenkt, dass dieser sehr effiziente Aufzug nur etwa 5% seiner Energie für den Standby verbraucht, also kann es nicht sein, dass man mit dem **Standby-Reduktions-Gerät** 25% einspart. Obwohl diese Bewertung nicht in Konflikt mit der VDI 4707 ist, ist wohl eine realistischere Berechnung nötig.

Solch eine Berechnung könnte die Auswirkung des **Standby-Reduktions-Gerätes** auf den Standby-Kennwert von 55W und somit auf die Standby-Klasse berücksichtigen, also ist die 6h-Ausschaltzeit pro Tag in dieser Kennzahl berücksichtigt. VDI 4707 hat das aber nicht vorgesehen, deshalb ist das Folgende nur als Anregung bei der nächsten VDI 4707-Revision zu verstehen.

Für die Nutzungskategorie 4, in welcher der Aufzug bewertet wurde, rechnet man, dass der Aufzug 21h am Tag still steht und 3h mit Nenngeschwindigkeit fährt. Der Standby-Kennwert könnte mit der Abschaltzeit reduziert werden also:

$$(21 \text{ h} - 6 \text{ h}) / 21 \text{ h} \cdot 55 \text{ W} = 39 \text{ W}$$

Die VDI 4707-Etikette würde dann so aussehen:



Figur 61: Energie-Etikette mit korrigiertem Stillstandverbrauch

Die Etikette zeigt nun die Standby-Klasse A, jedoch ist der Nennjahresbedarf kaum gesunken. Obwohl diese Methode im Widerspruch zur heutigen VDI 4707 ist, liefert sie realistischere Resultate.

Die Energieeinsparung liegt hier nur bei  $(8306-8183/8306) = 1.5\%$ .

Der Standby-Anteil kann aber auf  $(21 \text{ h}-6 \text{ h}) / 21 \text{ h} = 71\%$  gesenkt werden, dies ist also eine 29%-Einsparung.

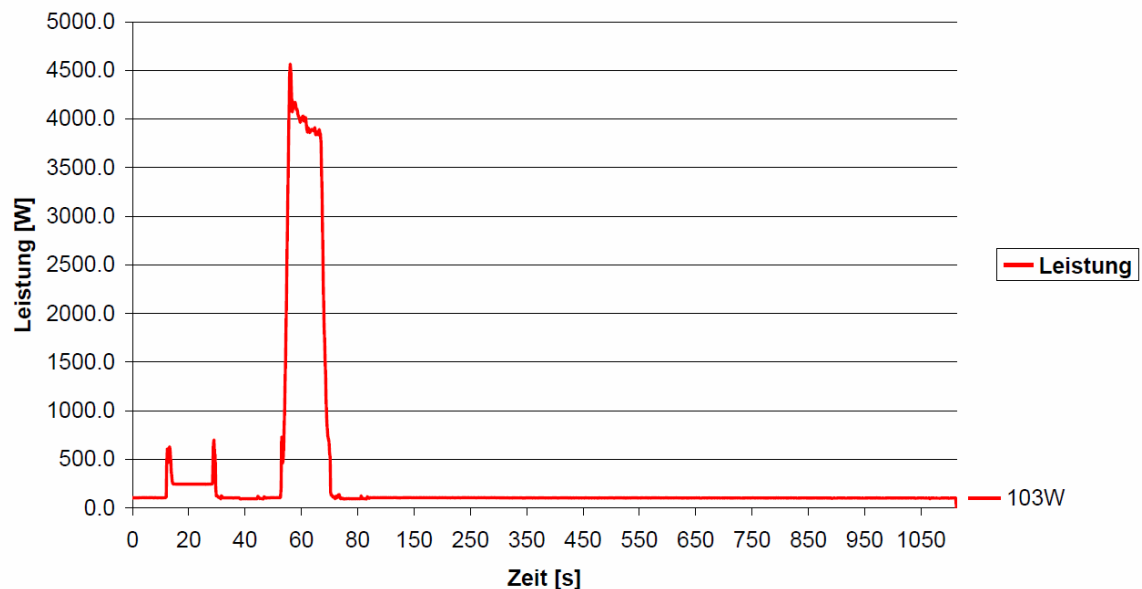
#### 9.2.4. Fazit

Bei modernen, effizienten Hochleistungsaufzügen kann der Standby-Verbrauch sehr tief liegen, so etwa bei 5% des Gesamtverbrauchs, deshalb ist dort relativ gesehen wenig Energie zu sparen. Dies sollte jedoch nicht entmutigen, Berechnungen anzustellen und eventuell doch während der Nacht und am Wochenende ein **Standby-Reduktions-Gerät** einzusetzen. Schliesslich sind nicht alle Aufzüge so effizient wie Anlage 1, und der absolute Energiebetrag in kWh muss nicht unbedingt klein sein.

### 9.3. VDI 4707-Messung Anlage 2: Wohnhaus

#### 9.3.1. Standby-Messung

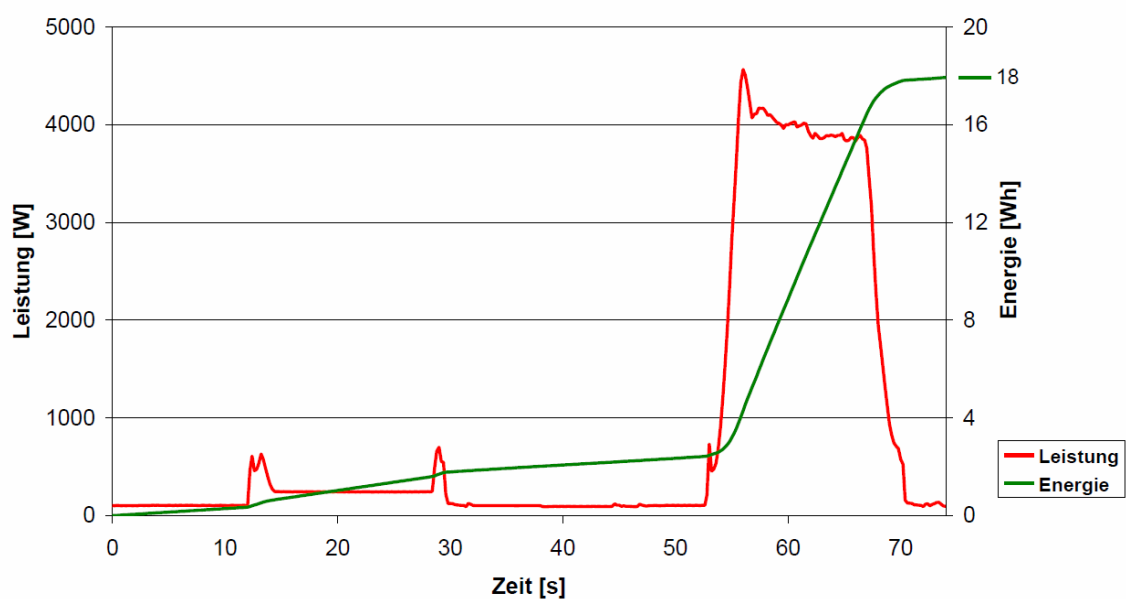
Der Verlauf der Standby-Leistung nach einer Fahrt ist konstant und beträgt 103 W.



Figur 62: Standby-Leistung nach einer Fahrt

#### 9.3.2. Referenzfahrt


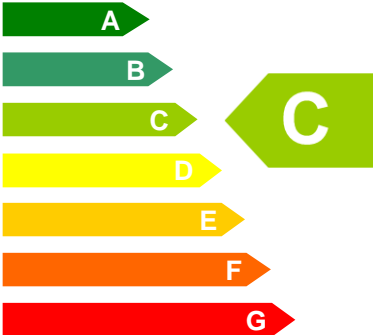
Dieser Aufzug besitzt keinen Frequenzumrichter, welcher Energie zurückspeist. Dies ist bei den niedrigen Fahrtenzahlen auch nicht sinnvoll. Durch die Energierückspeisung würde die Standby-Leistung ansteigen und durch die höhere Komplexität der Leistungselektronik würde sich die Lebensdauer verkürzen. Deshalb machen rückspeisbare Antriebssysteme nur dort Sinn, wo man oft und grössere Strecken fährt. Natürlich hält der technologische Fortschritt nicht an und es ist deshalb anzunehmen, dass die Energierückspeisung eines Tages in allen Umrichtern eingesetzt wird. Der Aufzug benötigt für die Referenzfahrt 18 Wh.



Figur 63: Referenzfahrt

### 9.3.3. Die VDI 4707-Etikette

Mit den beiden Kennzahlen 103 W für Standby, 18 Wh für die Referenzfahrt und den Anlagedaten lässt sich die Energie-Etikette nach der VDI 4707 erstellen:

Lift energy efficiency certificate according to VDI 4707		
<b>Manufacturer:</b> Schindler Aufzüge AG		 <b>Schindler</b>
<b>Location:</b> Wallrütistrasse 115 8406 Winterthur		
<b>Lift Model:</b> Modernized elevator		
<b>Lift Type:</b> Electric operated passenger lift		
<b>Rated load:</b> 450 kg		<b>Energy efficiency class</b> 
<b>Rated speed:</b> 1 m/s		
<b>Operating days per year:</b> 365 days		
<b>Standby demand:</b> 103 W (energy demand class C)	<b>Specific travel demand:</b> 0.78 mWh/(kg·m) (energy demand class B)	
<b>Usage category 2 according to VDI 4707</b> Comparison of energy efficiency classes is only possible under equal usage.		
Date: 25.07.10 Reference: VDI 4707 Part 1 (issue March 2009)		
Nominal demand per year for nominal values shown: <b>1'114 kWh</b>		

Figur 64: Energie-Etikette

Nun stellt sich auch hier die Frage wie die Etikette aussehen würde, wenn das **Standby-Reduktions-Gerät** eingebaut wäre.

Da keine eindeutigen Zeiten vorliegen und es somit sehr schwer ist, eine theoretische Abschätzung zu machen, die einer allfälligen Hinterfragung standhalten muss, kann keine Modifikation der VDI 4707-Etikette vorgeschlagen werden. Vor dem Entscheid, ob sich ein Einsatz eines **Standby-Reduktions-Gerätes** lohnt, sollte gemessen werden. Hat man sich für einen Einsatz eines **Standby-Reduktions-Gerätes** entschieden, sollte man vor- und nachher messen und dann vergleichen.

Hochrechnung des Einsparpotenzials für die Schweiz:

Der Energieverbrauch der Aufzüge ist ersichtlich in der Hochrechnung des Schlussberichtes des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und –anwendungen: Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen (Publikation 250057) [1]:

Nutzung	Anzahl Aufzüge	%	Typischer Aufzug									Hochrechnung gem. SIA380/4								
			k1	k2	Etagen	Hubhöhe Fahrten pro Jahr	Geschwindigkeit	Leistungs- auf- nahme		Energie			Kosten			% von Energie Total				
								Motor	Stand-by	Stand-by	Fahrt	Total	Stand-by	Fahrt	Total	Stand-by	Fahrt	Total		
																			m/s	kW
Wohnhaus	97'500	65	0.35	0.5	6	14	40000	1	6	90	77	16	93	11	2	13	28	6	34	
Spital	1'500	1	0.35	0.5	12	30.8	700000	2	25	500	7	19	26	1	3	4	2	7	9	
Pflege/ Besucher	13'500	9	0.35	0.5	8	19.6	300000	1.6	10	200	24	24	48	3.5	4	7.5	8	9	17	
Shopping	6'000	4	0.35	0.5	3	5.6	200000	1.6	20	150	8	4	12	1	1	2	3	1	4	
Büro	18'000	12	0.35	0.5	8	19.6	200000	1.5	21	200	31	48	79	5	7	12	11	17	28	
Parking / Verkehr	6'000	4	0.35	0.5	4	8.4	60000	1.6	18	100	5	2	7	1	0	1	2	1	3	
Industrie / Warenauf- zug	7'500	5	0.3	0.5	4	8.4	40000	0.8	30	150	10	4	14	1	1.5	2.5	4	1	5	
Total	150000	100									162	117	279	24	18	42	58	42	100	

Tabelle 16: Hochrechnung [1]

Anhand der beiden in dieser Studie gemessenen Anlagen kann das Einsparpotential abgeschätzt werden.

Die Nutzungskategorien: Spital, Pflege/Besucher, Shopping, Büro, Parking/Verkehr, Industrie/ Warenaufzug können mit der Anlage 1 verglichen werden.

Bei 6h Abschaltzeit pro Tag und eventuell noch 24h am Wochenende, könnte somit der Aufzug  $6 * 6 \text{ h} + 24 \text{ h} = 60 \text{ h}$  in der Woche abgeschaltet werden.

Man muss allerdings berücksichtigen, dass wohl immer ein Aufzug in der Gruppe unabgeschaltet bleibt, da die Aufweckzeit wohl nicht akzeptabel wäre. Um eine Hochrechnung zu machen, kann man eine Aufzugsgruppe mit 2 Aufzügen betrachten und die Aussage machen: 30h in der Woche ist die Aufzugsgruppe ausgeschaltet.

Mit dieser Annahme kann man also beim Standby dieser Anlagen  $30\text{h}/(7*24\text{h})=18\%$  einsparen.

Bei Wohnhausaufzügen hat die Messung gezeigt, dass man 50% einsparen kann.

Mit diesen Aussagen kann eine neue Hochrechnung gemacht werden:

Nutzung	Anzahl Aufzüge	%	Energie			Kosten			% von Energie Total		
			Standby	Fahrt	Total	Standby	Fahrt	Total	Standby	Fahrt	Total
			GWh	GWh	GWh	Mio CHF	Mio CHF	Mio CHF			
Wohnung	97500	65	31	16	47	5	2	7	14	7	21
Spital, Pflege/Besucher, Shopping, Büro, Parking/Verkehr, Industrie/Warenaufzug	52500	35	70	101	171	11	16	27	32	47	79
<b>Total</b>	<b>150000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>117</b>	<b>217</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>33</b>	<b>46</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

Tabelle 17: Einsparpotenzial

Die Schätzung zeigt, dass durch einen Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** bei allen bestehenden Aufzügen landesweit der Energieverbrauch von 279 GWh auf 217 GWh gesenkt werden könnte. Dies entspricht einer Reduktion um 22% oder Stromkosten von CHF 9 Mio. pro Jahr.

Dieses Potenzial schrumpft, da oft in Modernisierungen energieeffiziente Ersatzanlagen alte Aufzüge ersetzen.

## 10. Wirtschaftlichkeits-Analyse

Um das Einsparpotenzial auszuschöpfen, muss investiert werden. Deshalb wird der Preis des **Standby-Reduktions-Gerätes** abgeschätzt:

	Wohnhaus	Bürogebäude
Netzgerät	CHF 20.00	CHF 20.00
Mikroprozessor Schaltung	CHF 300.00	CHF 300.00
Schalteinheit	CHF 70.00	CHF 300.00
Total	CHF 390.00	CHF 620.00

Tabelle 18: Kostenabschätzung

Die folgenden Berechnungen basieren auf einem kWh-Preis von CHF 0.15 und Einbaukosten bei einem regulären Wartungs-Besuch von CHF 240.00.

### 10.1. Bürogebäude

Der Aufwand beim Bürogebäude beläuft sich auf CHF 620.00 Material und CHF 240.00 Einbau, also auf total CHF 860.00.

Der jährliche Stromverbrauch beträgt nach VDI 4707 8183 kWh, was CHF 1'227.45 entspricht, jedoch entfällt davon der grosse Teil für das Fahren.

Mit dem 39 W Standby-Verbrauch in der Nacht ist der gemessene Aufzug viel zu gut, um ihn weiter zu optimieren. Das Potential ist  $39 \text{ W} \cdot 6 \text{ h} \cdot 365 \text{ Tage}$ , also 85 kWh, was CHF 12.80 Einsparung pro Jahr entspricht.

Allerdings gibt es Aufzüge in ähnlicher Anwendung, welche Standby-Werte von 400W aufweisen. Nimmt man zusätzlich noch an, dass man diesen Aufzug noch 12h pro Tag ausschalten dürfte, da es noch einen anderen Aufzug in der Gruppe gibt, welcher das Verkehrsaufkommen in der Nacht problemlos bewältigt, sieht die Sache anders aus:

Das Potential wäre dann  $400 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} \cdot 365 \text{ Tage}$ , also 1752 kWh, was CHF 262.80 Einsparung pro Jahr entspricht. Dies ergäbe eine Amortisation von etwas über 3 Jahre.

### 10.2. Wohnhaus

Der Aufwand beim Wohnhaus beläuft sich auf CHF 390.00 Material und CHF 240.00 Einbau, also total CHF 630.00.

Der jährliche Stromverbrauch beträgt nach VDI 4707 1114 kWh, was CHF 167.10 entspricht.

Die Messung hat gezeigt, dass man davon ca. 50% einsparen kann, also CHF 83.55. Damit hat man den Einbau und das **Standby-Reduktions-Gerät** nach  $630.00 / 83.55 = 7.5$  Betriebsjahren amortisiert.

Zusätzlich muss abgeschätzt werden, ob der betrachtete Aufzug nicht Schaden nimmt, wenn er zu häufig ausgeschaltet wird.

Mit 103W ist der in dieser Studie ausgemessene Aufzug im heute üblichen Mittelfeld. Heutige effiziente Aufzüge liegen bei 50W, was die Amortisierungszeit auf 15 Jahre erhöhen würde und so ein Einsatz des **Standby-Reduktions-Gerätes** kaum auf wirtschaftliches Interesse stossen wird. Allerdings gibt es auch Aufzüge mit Standby-Werten von 300W, bei diesen Aufzügen wäre die Amortisationszeit 2.5 Jahre, was ein interessantes Potential darstellt.



## 11. Ausblick

Mit dem Funktionsmuster ist es gelungen, dass man herstellerunabhängig Aufzüge bei Bedarf abschalten und so Energie einsparen kann. Aufpassen muss man, dass man das Abschalten nicht übertreibt und so die Lebensdauer des Aufzugs drastisch verkürzt.

Es braucht deshalb eine Beratung, um solche **Standby-Reduktions-Geräte** sinnvoll einzusetzen, eventuell ist der Einsatz einer Ersatzanlage sinnvoller.

Es ist üblich in der Aufzugsbranche, dass Aufzüge nach Kundenwunsch verändert werden, seien dies mechanische (z.B. Panorama-Kabinen) oder auch elektrische Anpassungen. Die mit dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse erlauben es Engineering-Abteilungen, innerhalb Aufzugsfirmen solche **Standby-Reduktions-Geräte** zu realisieren und nach Kundenwunsch einzusetzen.

Der nächste Schritt in der Realisierung von Aufzügen mit **Standby-Reduktions-Geräten** liegt nun bei den Kunden.

## Nationale Zusammenarbeit

Die Forschungs-Studie des Bundesamts für Energie und der Firma INVENTIO AG wurde von der Firma Schindler Elettronica SA in Locarno und Schindler Aufzüge AG in Ebikon durchgeführt.

Innerhalb des Forschungsprojektes wurde eine Diplomarbeit von Roman Bettschen und Jakob Wickly am sfb Bildungszentrum für Technologie und Management, Lehrgang Techniker in Automation, betreut.

An dieser Stelle möchten wir uns bei dem Migros Genossenschaftsbund und bei der Sulzer Immobilien Winterthur bedanken für das Interesse, die Energie-Effizienz zu fördern und für die Bereitschaft, ihre Aufzugsanlagen zur Verfügung zu stellen.

Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei unseren Arbeitskollegen Jacques Nicolet und Massimiliano Morari für die französische und italienische Übersetzung der Zusammenfassung.

## Internationale Zusammenarbeit

Wie bereits die Erkenntnisse der Studie des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und -anwendungen (Publikation 250057) [1] aufzeigen, wird auch diese Forschungs-Studie einen wertvollen Beitrag in laufenden und zukünftigen Arbeiten leisten. Die Richtlinienarbeit des VDI [2] hat die Erkenntnisse der BFE-Studie (Publikation 250057) [1] verwendet zur Erschaffung der Richtlinie VDI 4707. Durch die European Lift Association [4], welche in Verbindung mit dem EU-Forschungsprojekt Energy-Efficient Elevators and Escalators [3] und der ISO ist, wird die Studie auch international Anerkennung finden.

## Referenzen

- [1] BFE Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und -anwendungen (Publikation 250057) <http://www.bfe.admin.ch/forschungelektrizitaet>
- [2] Verein Deutscher Ingenieure (Energie Label für Aufzüge VDI 4707) <http://www.vdi.de>
- [3] Forschungsprojekt Energy-Efficient Elevators and Escalators der EU <http://www.e4project.eu>
- [4] European Lift Association <http://www.ela-aisbl.org>