

Schlussbericht **November 2005**

Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen

ausgearbeitet durch

Jürg Nipkow
S.A.F.E. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz
Schaffhauserstrasse 34
CH - 8006 Zürich

Dank

Diese Arbeit ist in einer intensiven Zusammenarbeit folgender Partner entstanden, denen ich für ihren grossen Einsatz ganz herzlich danke:

Peter Hitz und Urs Lindegger von Schindler Aufzüge AG, Ebikon LU
Urban Battaglia und Max Schalcher vom S.A.L.T. Testlabor der HTW Chur
Martin Lenzlinger von SIA energycodes

Weiter danke ich den Projektpartnern, welche durch Mitfinanzierung, aber auch Informations-Beiträge die Arbeit wesentlich unterstützt haben:

Bundesamt für Energie, Roland Brüniger (Forschungsprogramm Elektrizität), Felix Frey
Schweiz. Ingenieur - und Architektenverein SIA, Normenprojekt 380/4, Martin Lenzlinger
Stromsparmehmas des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich ewz, Jörg Ruosch
Amt für Umweltschutz und Energie AUE Basel Stadt, Thomas Fisch, Christian Mathys
Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Heinrich Gugerli, Thomas Kessler

Schliesslich danke ich auch den Firmen der Aufzugsindustrie (VSA), welche Messungen an ihren Anlagen ermöglichten und durch Fachleute vor Ort begleiteten:

AS Aufzüge, 9016 St. Gallen
Aufzüge Boltshauser Schweiz AG, 9327 Trübbach
Bucher Hydraulics AG, 6345 Neuheim
Emch Aufzüge AG, 3027 Bern
Kone (Schweiz) AG, 8303 Bassersdorf
Otis Aufzüge, 1752 Villars-sur-Glâne
Schindler Aufzüge AG, 6030 Ebikon
ThyssenKrupp Aufzüge AG, 8153 Rümlang

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Résumé	5
Abstract	6
1. Ausgangslage, Vorgehen	7
1.1 Bedeutung	7
1.2 Projektpartner	7
1.3 Projektziele	8
1.4 Vorgehen	8
2. Aufzüge: Kategorien, Typen, Technik	9
2.1 Gebäudekategorie und Alter	10
2.2 Technologiematrix	11
3. Messungen	13
3.1 Auswahl der zu messenden Anlagen	13
3.2 Vorbereitung und Ausrüstung für die Messungen	14
3.3 Durchführung der Messungen	16
4. Ergebnisse	20
4.1 Übersicht	20
4.2 Stand-by-Verbrauch	21
4.3 Motorleistung	25
4.4 Fahrtenzahl	26
4.5 Vergleich der Messergebnisse mit der Berechnungsmethode im frühen Planungsstadium	28
4.6 Vergleich der Messergebnisse mit der Berechnungsmethode für einen bereits dimensionierten Aufzug	30
5. Einspar-Möglichkeiten und -Potenziale	33
5.1 Hochrechnung und Zusammensetzung des Verbrauchs	33
5.2 Ansätze zur Verminderung des Stand-by-Verbrauchs	34
5.3 Entwicklungen bei der Antriebstechnik	35
5.4 Energiebewusst planen und bestellen	37
6. Umsetzungsmöglichkeiten	39
6.1 Fachartikel	39
6.2 SIA-Norm 380/4 Elektrische Energie im Hochbau	39
6.3 Interne Aktivitäten der Aufzugsindustrie	39
6.4 Internationale Einflussmöglichkeiten	39
7. Quellenverzeichnis	40
8. Anhang	41
8.1 Aufbau moderner Aufzüge	41
8.2 Glossar zu energierelevanten Aspekten bei Aufzügen	41
8.3 Herleitung des Durchschnittslastfaktors (Technologiefaktors) k1	43

Zusammenfassung

Aufzüge können einen bedeutenden Anteil des Haustechnik-Elektrizitätsverbrauchs in Gebäuden beanspruchen. Aufgrund der Projektergebnisse kann der Elektrizitätsverbrauch der ca. 150'000 Aufzugsanlagen in der Schweiz mit rund 300 GWh/a veranschlagt werden, was etwa 0.5% des Elektrizitätsverbrauchs Schweiz entspricht.

Die wichtigste Aktivität des Projekts waren Messungen an 33 Aufzügen verschiedener Hersteller in der ganzen Schweiz. Mit der einfach durchzuführenden Messung jeweils einer Leerfahrt auf und ab wurde für die Seilaufzüge auch gleich die Maximal- und Minimal-Last erfasst. Zusätzlich wurde die Leistungsaufnahme im Stand-by sowie jene der Beleuchtung gemessen.

Im SIA-Normenprojekt 380/4 "Elektrische Energie im Hochbau" wurden zwei Methoden zur Berechnung des Energiebedarfs von Aufzügen entwickelt. Beim Verfahren im frühen Planungsstadium ergab der Vergleich mit den Messungen Wirkungsgrade von durchschnittlich ungefähr 60%, was den Erwartungen entspricht. Beim Verfahren für einen bereits dimensionierten Aufzug zeigte sich, dass eine gute Übereinstimmung nur zu erreichen ist, wenn die effektive maximale Motorleistung bekannt ist.

Bezüglich Energieeffizienz brachten die Stand-by-Messungen sowie die Berechnung des Anteils Stand-by das wichtigste und auch etwas überraschende Ergebnis: Die Unterschiede beim Stand-by-Verbrauch sind sehr gross, und bei Aufzügen mit relativ kleinen Fahrtenzahlen (Wohnbauten) kann der Anteil des Stand-by bis über 75% ausmachen. Somit liegt in der Verminderung des Stand-by-Verbrauchs das grösste Sparpotenzial, welches technisch relativ gut umsetzbar sein dürfte. Moderne Aufzugsantriebe werden schon aus Komfortgründen (gleichmässige Beschleunigung, präziser Halt) mit recht effizienten Techniken ausgerüstet. Solche stehen nun auch für Hydraulikaufzüge mittels Energiespeicherung zur Verfügung. Beim Antrieb sind daher grössere Sparpotenziale vor allem beim Ersatz alter Anlagen realisierbar.

Zur Umsetzung der erkannten Sparpotenziale in die Praxis sollen zwei Wege prioritär verfolgt werden: Zum einen die technische Reduktion des Stand-by-Verbrauchs durch die Hersteller, zum anderen die Vermeidung uneffizienter Konzepte und Vorgaben mittels eines Leitfadens für Architekten, Planer und Besteller. Natürlich sollen auch die Aufzugsanbieter nach diesem Leitfaden handeln und offerieren.

Résumé

Les ascenseurs peuvent absorber une part importante de l'électricité consommée dans les bâtiments par les installations. Les résultats obtenus dans le cadre du projet permettent d'estimer à environ 300 GWh/a la consommation d'électricité des quelque 150'000 ascenseurs en service en Suisse, ce qui représente à peu près 0,5% de la consommation d'électricité nationale.

La principale activité menée dans le cadre du projet consistait à effectuer des mesures sur 33 ascenseurs de différents fabricants dans tout le pays. Par la mesure – simple à effectuer – de la consommation d'électricité de l'ascenseur lors d'une montée et d'une descente à vide, on a déterminé par la même occasion la charge maximale et la charge minimale des ascenseurs à câble. Ont en outre été mesurées la consommation en stand-by, de même que celle de l'éclairage.

Deux méthodes de calcul du besoin énergétique des ascenseurs ont été développées dans le cadre du projet de norme SIA 380/4 "L'énergie électrique dans le bâtiment". Concernant la méthode de calcul au début du projet, la comparaison avec les mesures a donné des valeurs d'efficacité de l'ordre de 60% en moyenne, ce qui correspond aux attentes. S'agissant de la méthode de calcul pour un ascenseur déjà dimensionné, il est apparu qu'elle présente une bonne concordance, à condition que la puissance effective du moteur soit connue.

S'agissant de l'efficacité énergétique, le résultat le plus important – et le plus surprenant – a été fourni par les mesures en stand-by et le calcul de la part du stand-by à la consommation d'électricité: les écarts dans la consommation en stand-by sont très grands, et pour les ascenseurs effectuant un nombre de trajets relativement faible (immeubles d'habitation), la part du stand-by peut atteindre, voire dépasser les 75%. Le principal potentiel d'économie d'énergie se situe donc dans la réduction de la consommation en stand-by, réduction qui devrait être assez facile à réaliser techniquement. Ne serait-ce que pour des raisons de confort (accélération régulière, arrêt précis), les systèmes modernes d'entraînement des ascenseurs utilisent des technologies très efficaces, qui sont désormais disponibles aussi pour les ascenseurs hydrauliques grâce au stockage d'énergie. D'importantes économies d'énergie sont donc réalisables du côté des systèmes d'entraînement, en particulier lors du remplacement d'anciennes installations.

Pour exploiter dans la pratique les potentiels d'économie d'énergie identifiés, deux approches doivent être suivies en priorité: d'une part, la diminution technique de la consommation en stand-by par les fabricants et, d'autre part, l'abandon de conceptions et prescriptions inefficaces, une évolution qui doit être favorisée par la publication d'un manuel destiné aux architectes, aménagistes et maîtres d'ouvrage. Bien entendu, les fournisseurs d'ascenseurs doivent eux aussi s'inspirer de ce manuel, notamment dans leurs offres.

Abstract

Lifts can account for a significant proportion of the consumption of electricity by building systems. The findings obtained from this study indicate that the approximately 150,000 lift systems in Switzerland consume around 300 GWh p.a., which is equivalent to 0.5% of the country's electricity consumption.

The central activity within the project was to measure the consumption of 33 lifts (from a variety of manufacturers) throughout Switzerland. For measurement purposes, each lift was put through a single travel cycle (up and down) while empty, and at the same time the maximum and minimum loads were recorded for cable lifts. In addition, the electricity consumption was measured for stand-by and lighting. With the aid of a special model (SIA 380/4), the energy consumption can be calculated on the basis of the number of lift movements.

In the SIA standard 380/4 project ("Electricity in buildings"), two methods were developed for calculating the energy requirement of lifts. Using the method to be applied in the early planning stage, evaluations of measurements produced average efficiency rates of around 60%, which were in line with expectations. With the method to be applied for already designed lifts, it became apparent that close harmony can only be achieved if the effective maximum motor capacity is known.

With respect to energy efficiency, the stand-by measurements and calculation of the proportion of consumption in stand-by mode yielded the most important – and perhaps somewhat surprising – findings: the variations in stand-by consumption are considerable, and with lifts with relatively low frequency of use (residential buildings), the proportion attributable to stand-by can amount to more than 75%. The greatest efficiency potential therefore lies in the reduction of stand-by consumption – and from a technical point of view, this is something that should be fairly easy to implement. For reasons of comfort (smooth acceleration, precision braking, etc.), modern lift drives are already equipped with highly efficient technologies, and these are now also available for hydraulic lifts, using energy storage. This means there are significant efficiency potentials in the area of drives and motors, especially when old systems are to be replaced.

In order to realise the identified efficiency potentials, the focus should be on two main priorities: the technical reduction of stand-by consumption by manufacturers, and the avoidance of inefficient concepts and criteria with the aid of guidelines for architects, planners and customers. And of course suppliers of lifts should also act in accordance with these guidelines.

1. Ausgangslage, Vorgehen

1.1 Bedeutung

Aufzüge können einen bedeutenden Anteil des Haustechnik-Elektrizitätsverbrauchs in Gebäuden beanspruchen. Eine sehr grobe Abschätzung im Rahmen des BFE-Forschungsprojektes "Machbarkeitsstudie Datenerhebung im Programm "Elektrizität" [1] ergab eine Grössenordnung von 300 GWh/a für 140'000 Anlagen. In der Projektarbeit konnten diese Werte auf Basis einer gut begründeten Hochrechnung auf 300 GWh/a für ca. 150'000 Anlagen präzisiert werden. Dies entspricht 0.5% des gesamten Elektrizitätsverbrauchs der Schweiz.

Einspar-Potenziale wurden insbesondere beim Stand-by-Verbrauch (Steuerung und/oder Beleuchtung), aber auch bei älteren Antrieben vermutet. Hydraulikantriebe können ein Problem sein, weil sie bis zu vier Mal höhere Leistungsaufnahmen als moderne Seiltraktionslifte haben. Seit kurzem sind jedoch neue Konzepte mit Energiespeicherung erhältlich, welche eine Antriebseffizienz wie moderne Seilaufzüge versprechen.

Im SIA-Normenprojekt 380/4 "Elektrische Energie im Hochbau" wurde eine Methode zur Berechnung des Energiebedarfs von Aufzügen entwickelt. Aus den technischen Daten wie Nennlast und -geschwindigkeit, Hubhöhe, Motorleistung und Antriebsart sowie der Fahrtenzahl lässt sich der Fahrten-Energieverbrauch berechnen. Mit den Messungen soll dieses Rechenmodell überprüft und erstmals der Stand-by-Verbrauch typischer Anlagen ermittelt werden.

1.2 Projektpartner

Das Projekt wurde von folgenden Partnern getragen, welche durch Mitfinanzierung, aber auch Sach-Beiträge die Arbeit wesentlich unterstützt haben:

- Bundesamt für Energie, Roland Brüniger und Felix Frey
- Schweiz. Ingenieur - und Architektenverein SIA, Normenprojekt 380/4, Martin Lenzlinger
- Stromsparmfonds des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich ewz, Jörg Ruosch
- Amt für Hochbauten des Stadt Zürich, Heinrich Gugerli, Thomas Kessler
- Amt für Umweltschutz und Energie AUE Basel Stadt, Thomas Fisch, Christian Mathys
- Schindler Aufzüge AG, Peter Hitz und Urs Lindegger

Das engere Projektteam für Sachbearbeitung setzte sich wie folgt zusammen:

- Jürg Nipkow (S.A.F.E.), Projektleitung
- Peter Hitz und Urs Lindegger, Schindler Aufzüge AG
- Urban Battaglia und Max Schalcher vom S.A.L.T. Testlabor der HTW Chur
- Martin Lenzlinger vom SIA Normenprojekt 380/4 (SIA energycodes)

Firmen der Aufzugsindustrie, welche Messungen an ihren Anlagen ermöglichten und durch Fachleute vor Ort begleiteten:

- AS Aufzüge, 9016 St. Gallen
- Aufzüge Boltshauser Schweiz AG, 9327 Trübbach
- Bucher Hydraulics AG, 6345 Neuheim
- Emch Aufzüge AG, 3027 Bern
- Kone (Schweiz) AG, 8303 Bassersdorf

- Otis Aufzüge, 1752 Villars-sur-Glâne
- Schindler Aufzüge AG, 6030 Ebikon
- ThyssenKrupp Aufzüge AG, 8153 Rümlang

1.3 Projektziele

Hauptziel des Projektes war es, die Grössenordnung und Zusammensetzung des Elektrizitätsverbrauchs der Aufzüge in der Schweiz zu kennen und Effizienzmassnahmen mit Umsetzungsmöglichkeiten für verschiedene Situationen zusammenzustellen. Teilziele sind:

- Das Inventar von Aufzügen nach Art, Grösse, Gebäudetyp etc. soll in groben Zügen zusammengestellt werden. Die Zusammenstellung erfolgt gemäss einer Typisierung nach Angaben der Aufzugsindustrie.
- Der reale Elektrizitätsverbrauch sowie seine Zusammensetzung (Fahrtenenergie, Stand-by, Beleuchtung etc.) der bedeutendsten Aufzugstypen soll durch eine Messkampagne ermittelt werden.
- Mit den Messungen soll das Rechenmodell des SIA-Normenprojekts 380/4 [2] überprüft werden.
- Für die wichtigsten Typen sollen technische Einspar-Potenziale und entsprechende Massnahmen beschrieben werden.
- Gemäss den gewonnenen Erkenntnissen sollen Umsetzungsmöglichkeiten für verschiedene Situationen und "Lebensalter" skizziert werden. Besondere Bedeutung haben Massnahmen, deren Realisierung mit Sicherheits- oder Komfortfunktionen zu kombinieren sind.

1.4 Vorgehen

Phase 1

Suche nach vorhandenen Daten und Erkenntnissen zum Energieverbrauch von Aufzügen durch eine Literaturrecherche. Es zeigte sich, dass der Energieverbrauch (noch) kein Schwerpunktthema der Aufzugsindustrie ist und in den Angebotsunterlagen allenfalls mit qualitativen Argumenten thematisiert wird. Interessante Inputs kamen hingegen aus der Aufzugsbranche (Projektpartner Schindler und Verband Schweizerischer Aufzugsunternehmen VSA).

Zur Vorbereitung der Messungen, insbesondere um eine sinnvolle Palette von Anlagen zu messen, wurde eine mehrdimensionale Matrix der Aufzüge erstellt (vgl. Fig. 2.1 / 2.2) und die erwünschten Arten von Anlagen bestimmt.

Phase 2

Die Messkampagne als Projekt-Schwerpunkt musste technisch und administrativ sorgfältig vorbereitet werden, um die gewünschten Daten zuverlässig zu erhalten. Die Technik wurde durch das Testlabor an der Fachhochschule HTW Chur, S.A.L.T. (Swiss Alpine Laboratories for Testing of Energy Efficiency) vorbereitet. Die Messeinrichtungen mussten mobil sein. Mittels Stromzangen konnten kritische Eingriffe an den elektrischen Anlagen vermieden werden.

Die Suche nach geeigneten Aufzugsanlagen gemäss Phase 1 erfolgte über die Firmen, welche auch für die Begleitung der Messung aus Gründen der Sicherheit Fachleute aufbieten mussten. Ein grosser Teil der Anlagen konnte über den VSA sowie Schindler Aufzüge gefunden werden, weitere in direkten Anfragen durch S.A.F.E.

Die Durchführung der Messungen nach einer geografischen- und Termin-Optimierung erfolgte durch Urban Battaglia (S.A.L.T./HTW Chur) und Urs Lindegger (Schindler Aufzüge AG), vgl. auch Fig. 3.1 unten.

Phase 3

Die Auswertung der Ergebnisse der Messkampagne, Berechnungen und Analysen sowie Erstellen von Grafiken und Tabellen erfolgte in intensiver Zusammenarbeit von Jürg Nipkow und Urs Lindegger, mit Unterstützung bei den Datenauszügen durch Urban Battaglia. Bei den Vergleichen mit den SIA 380/4 Ansätzen wirkte Martin Lenzlinger mit. Die Auswertungsarbeiten zeigten, dass wegen der zahlreichen Einflussfaktoren bei Aufzügen sogar das recht grosse und entsprechend aufwändige Sample von 33 Anlagen zu vielen Fragen nur beschränkte Aussagen liefern konnte.

Phase 4

Trotz der grossen Vielfalt von anlagespezifischen Ergebnissen lassen sich einige allgemein gültige Folgerungen ziehen und daraus Handlungsoptionen ableiten. Diese betreffen in erster Linie die Aufzugsindustrie bezüglich Stand-by-Verbrauch. Für Bauherrschaften und Planer werden konkrete Hinweise zur Optimierung des Aufzugs-Gesamtkonzepts (Anzahl und Grösse der Aufzüge, Steuerung) sowie Empfehlungen zur Gewichtung des Energieverbrauchs beim Festlegen der Aufzugstechnik gemacht. Der Besteller soll die entsprechenden Entscheide in Kenntnis der energetischen Folgen treffen. Für die Umsetzung werden diese Erkenntnisse den Projektpartnern weitergegeben sowie mit Fachartikeln bei Fachleuten bekannt gemacht werden. Als weitere Umsetzungsform ist ein Merkblatt für Besteller und Planer denkbar.

2. Aufzüge: Kategorien, Typen, Technik

Der Bestand und das Angebot an verschiedenartigen Aufzügen sind sehr gross (in dieser Arbeit werden nur eigentliche Aufzüge nach Aufzugsverordnung betrachtet, d.h. keine Treppen-, Schrägaufzüge, Plattformen etc.). Um einen Überblick zu erhalten und die zu messenden Anlagen sinnvoll auszuwählen, wurde das Feld nach den folgenden Kriterien unterteilt:

- Gebäudekategorie (Wohnen, Spital/Pflege, Shopping, Büro, Verkehr, Wohnen)
- Alter der Anlage (vor 1980, 1980 - 1997, ab 1998)
- System-Architektur (z.B. maschinenraumlos, "Rucksack"-Aufhängung etc.)
- Traktionstechnologie (Seil, Hydraulik)
- Antriebstechnologie (Getriebe, Motorsteuerung etc.)

Jeder Aufzug lässt sich in einer mehrdimensionalen Matrix obiger Kriterien einordnen. Zusätzlich beschreiben die folgenden Leistungs-Eigenschaften den Aufzug genauer:

- Nominal-Nutzlast (Nennlast)
- Fahrgeschwindigkeit
- Maximale Hubhöhe

Und schliesslich gibt es ganz verschiedene Steuerungen (von der alten Relasteuerung bis zur mikroprozessorgesteuerten Gruppensteuerung mit Zwischenhalten etc.). Energierelevant ist auch die Beleuchtung und deren Steuerung (Ausschaltung wenn leer) sowie die Türautomatik.

2.1 Gebäudekategorie und Alter

In Fig. 2.1 sind die gemessenen Aufzüge in einer Matrix nach Gebäudekategorie und Anlagenalter eingetragen. Die Einteilung wurde in einer Besprechung der Kerngruppe so angestrebt und konnte gut realisiert werden. Zur Anlage-Nr. ("Sortierung Übersichtstabelle") vgl. Fig. 4.1 unten.

Fig. 2.2 zeigt die wichtigsten Leistungs- und Technologie-Spezifikationen nach Gebäudekategorie. Auch diesbezüglich wurde erfolgreich versucht, einen typischen Mix von Anlagen zu messen.

Projekt S.A.F.E. Aufzüge

Übersicht gemessene Anlagen pro Gebäude Kategorie

Baujahr		Vor 1980	1980 – 1997	Ab 1998
Gebäude Kategorie	Wohnen	②	③	① ④ ⑥ ⑦ ⑪ ⑫ ⑬ ⑯ ⑱ ⑳
	Spital / Pflege		⑳ ㉔	㉗
	Shopping			㉕ ⑤ ⑮
	Büro	㉓	⑭ ⑰	㉘ ⑨ ㉙ ㉚ ⑧
	Verkehr	⑲		㉖ ⑩ ㉛
	Industrie		㉖	㉓ ㉑

ⓧ = Anlage - Nr. gemäss Liste der gemessenen Anlagen

Fig. 2.1 Gemessene Aufzüge nach Gebäudekategorie und Alter

Projekt S.A.F.E. Aufzüge

Typische Spezifikations-Merkmale der gemessenen Aufzüge pro Nutzungskategorie (~ Ø der Messungen pro Kategorie)

Kategorie	Anzahl gemessen	Spezifikations-Merkmal					
		Last kg	Geschw. m/sek	Hub m	Traktion Seil/hydraulik	Nennl. Motor kW	Antriebsart
Wohnen	14	630	1	15	80 % Seil 20 % Hydraulik	6	Getriebe Getriebelos
Spital / Pflege	3	1600	2	36	Seil	25	Getriebe Getriebelos
Shopping	1	1600	1.6	20	Seil Hydraulik	20	Getriebe
Büro	8	1500	1.6	40	Seil	18	Getriebe Getriebelos
Verkehr	4	1600	1.5	18	Seil	21	Getriebe Getriebelos
Industrie	3	2000	0.8	8	Hydraulik Seil	30	Hydraulic Getriebe

Fig. 2.2 Typische Spezifikationen der gemessenen Aufzüge nach Gebäudekategorie

2.2 Technologiematrix

Die Technologiematrix Fig. 2.3 zeigt nun die Zusammensetzung der gemessenen Aufzüge nach Traktion, System-Architektur und Antriebs-Technologie. Da mit der Gesamtauswahl ein repräsentativer Mix angestrebt wurde, nämlich die Abdeckung der Population nach Bedeutung mit Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung, ergibt sich nun in Fig. 2.3 tendenziell auch ein Blick auf die typische Technologien. So sind z.B. Hydraulikaufzüge mit direkt-zentralem Druckzylinder nicht (mehr) vertreten, auch fehlen "Rucksack"-Aufzüge mit Maschinenraum. Die alte "Feinabsteller"-Motorsteuerung (2-polig umgeschaltet mit Schwungrad) wurde nur noch mit 1 alten Anlage berücksichtigt.

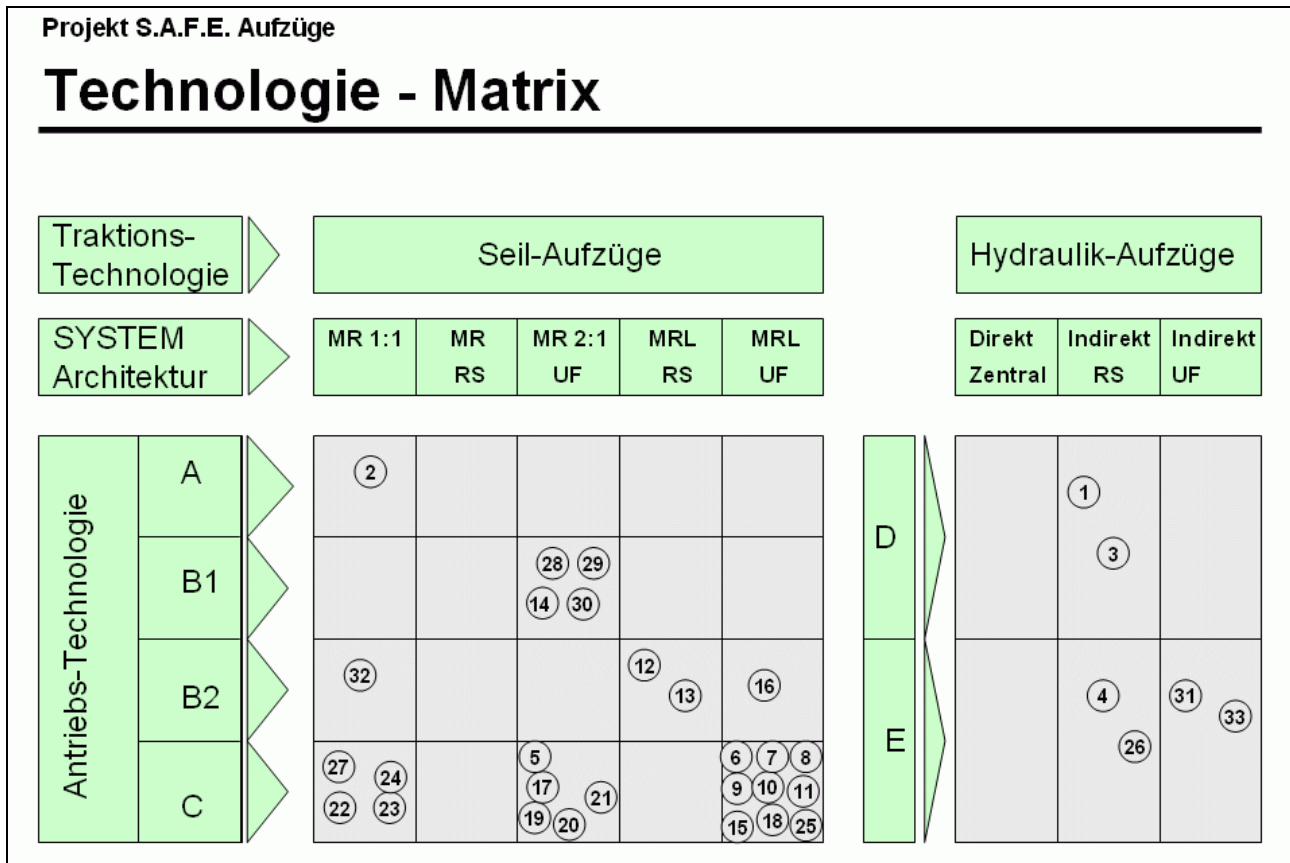


Fig. 2.3 Gemessene Aufzüge in der Technologiemarkt

Legende zur Technologiemarkt:

Seil-Aufzüge:

- A Schneckengetriebe mit AC-Motor „Feinabsteller“ (2 Geschwindigkeits-Stufen)
 B1 Getriebe mit AC-Motor Spannungsregelung
 B2 Getriebe mit Motor / Frequenzumformung
 C Antrieb getriebelos PM-Motor Frequenz geregelt

MR 1:1 = Aufzug mit Maschinenraum, Kabinenaufhängung 1:1 (direkt / zentrisch)

MR / RS = Aufzug mit Maschinenraum, Aufhängung direkt exzentrisch (Rucksack)

MR 2:1 / UF = Aufzug mit Maschinenraum, Aufhängung via Rollen unter der Kabine / 2:1 indirekte Aufhängung (Unterflasche)

MRL / RS = Aufzug ohne Maschinenraum (maschinenraumlos) mit Aufhängung exzentrisch

MRL / UF = Aufzug ohne Maschinenraum, Aufhängung via Rollen unter der Kabine

Hydraulik-Aufzüge:

D Hydraulik-Ventil gesteuert

E Hydraulik-Ventil geregelt

Direkt Zentral = Hydraulik-Heber unter der Kabine zentral

Indirekt RS = Hydraulik-Heber seitlich der Kabine Aufhängung, indirekt via Rolle auf Heber

Indirekt UF = Hydraulik-Heber seitlich der Kabine, Aufhängung 2:1 via Rollen unter der Kabine

3. Messungen

3.1 Auswahl der zu messenden Anlagen

Um für die Ziele des Projekts möglichst repräsentative Aufzüge zu messen, wurde das weite Feld der Gebäudekategorien und Anlagentypen mit Technologie-Kriterien kombiniert und in Matrix-Bildern dargestellt. Fig. 2.1 oben zeigt die gemessenen Anlagen nach Gebäudekategorie und Alter, mit typischen Geschosszahlen, Fig. 2.3 die Übersicht nach Technologie. Die angestrebte repräsentative Population konnte somit gut abgedeckt werden.

Für die Feldmessungen wurde ausserdem angestrebt, Anlagen der wichtigsten Hersteller berücksichtigen zu können. Dies ist durch Anfragen auf verschiedenen Kanälen, auch durch den VSA, Verband Schweizerischer Aufzugsunternehmen (www.aufzuege.ch) gelungen. Folgende Anbieter bzw. Hersteller sind vertreten:

- AS Aufzüge, 9016 St. Gallen
- Aufzüge Boltshauser Schweiz AG, 9327 Trübbach
- Bucher Hydraulics AG, 6345 Neuheim
- Emch Aufzüge AG, 3027 Bern
- Kone (Schweiz) AG, 8303 Bassersdorf
- Otis Aufzüge, 1752 Villars-sur-Glâne
- Schindler Aufzüge AG, 6030 Ebikon
- ThyssenKrupp Aufzüge AG, 8153 Rümlang

In Fig. 3.1 sind die 33 Aufzugsanlagen nach Hersteller, Art der Organisation und Standort abgebildet. Aus praktischen Gründen (Anreise) sind keine Anlagen aus der West- und Südschweiz vertreten.

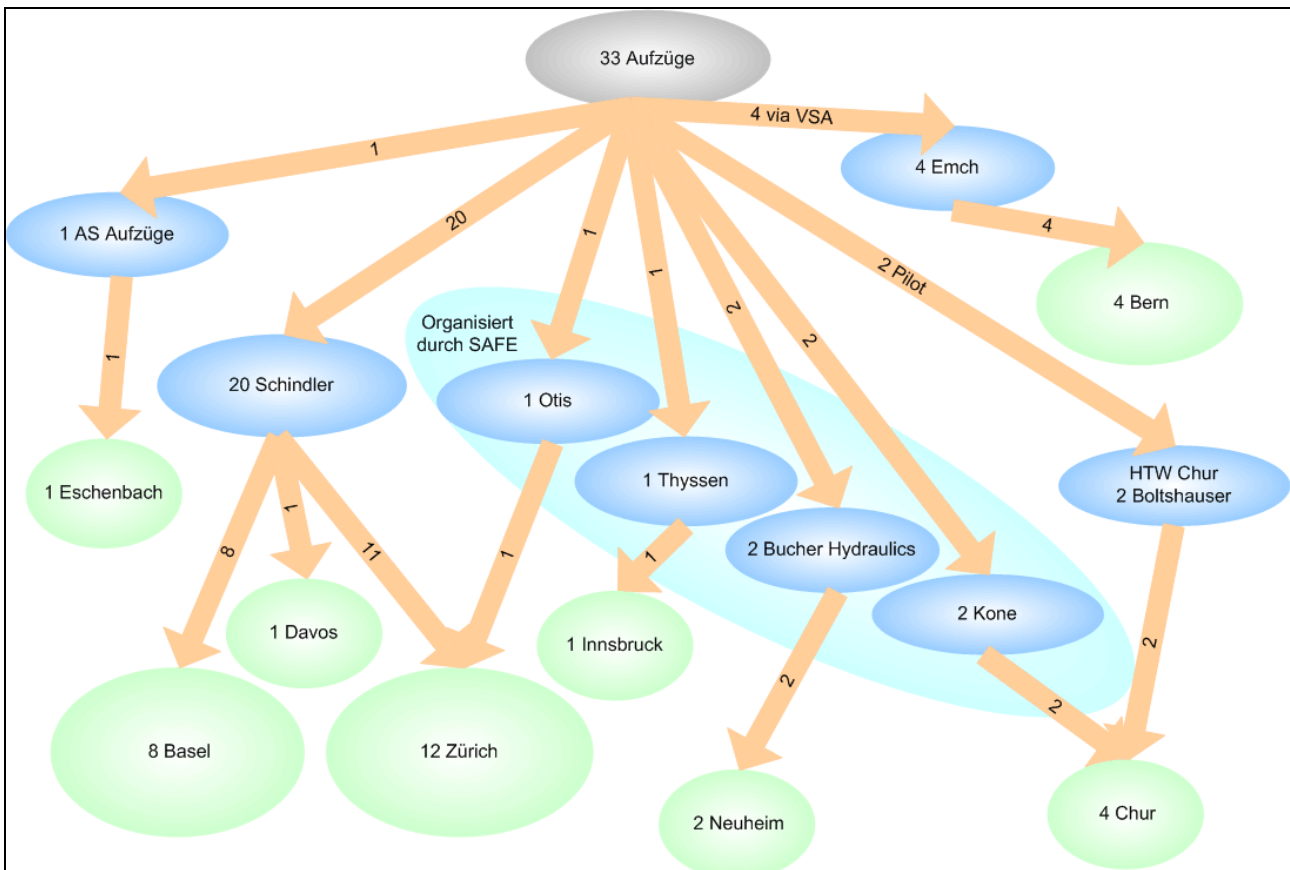


Fig. 3.1 Gemessene Aufzugsanlagen nach Hersteller, Organisation und Standort

3.2 Vorbereitung und Ausrüstung für die Messungen

Ziel der Messungen war es, aus einem aufgenommenen Leistungsprofil die Energieaufnahme im Stand-by und für je eine Leerfahrt über die gesamte Hubhöhe nach oben und nach unten zu bestimmen.

Wie aus dem Prinzipschema Fig. 3.2 zu entnehmen ist, müssen die Leistungsaufnahme des Aufzuges (dreiphasig), sowie die Leistungsaufnahme der Hilfseinrichtungen im Stand-by und während der Fahrt (einphasig) gemessen werden.

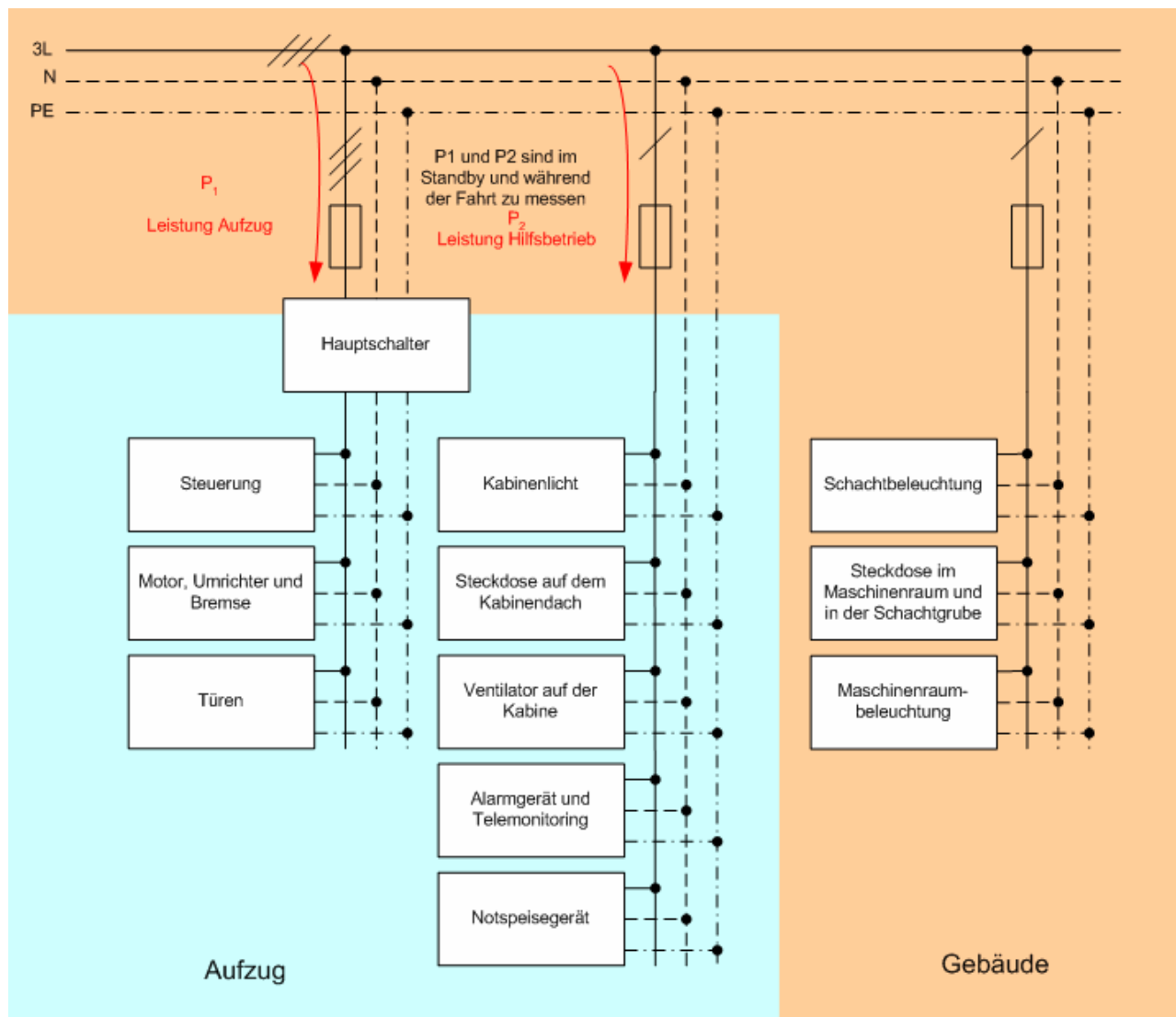


Fig. 3.2 Prinzipschema Einspeisung eines Einzelaufzuges

Service-Unterstützung, Schaltschränke, Abschaltung

Als absolut notwendig haben sich die guten Vorbereitungen bezüglich Unterstützung durch Servicepersonal der Lifthersteller erwiesen. Bei jedem Lift stand ein von der Aufzugsfirma angebotener versierter Servicemann zur Verfügung, welcher das Messteam zum Aufzug führte und auch entsprechende Wünsche bei Fahrtenauslösungen erfüllen konnte. Ohne diese Unterstützung seitens der Aufzughersteller hätten die Messungen nicht so effizient durchgeführt werden können.

Es wurden bei den Liften viele verschiedene Schaltschränke angetroffen. Die Palette reichte von Schaltschränken in klassischen Maschinenräumen bis zu eingebauten Verteilkästen in Lift-Tür-Rahmen bei Maschinenraumlosen Aufzügen. Der grosse Messbereich erforderte grosse Strom-

zangen (Durchmesser ca. 12 cm). Trotz dieser Vielfalt war der Abgriff von Strom und Spannung stets möglich – allerdings nicht immer ganz problemlos: es musste auch mal mit der Taschenlampe in den Händen und auf dem Bauch liegend angeschlossen werden.

Für die Leistungsmessung der Leerfahrten und des Stand-by wurden die Aufzüge kurzzeitig über den Hauptschalter vom Netz getrennt, was keine besonderen Massnahmen erforderte. Die Leistungsmessung des Kabinenlichts wurde nach der betreffenden Sicherung abgenommen, so dass für den Anschluss nur die entsprechende Sicherung ausgeschaltet werden musste.

Sicherheit

Der Liftmonteur hat vor den Messungen die entsprechenden Warntafeln an jeder Einstiegstüre angebracht. Unsere Messungen haben die Sicherheit in keiner Weise beeinträchtigt. Für Langzeitmessungen müssten spezielle Vorkehrungen getroffen werden, da unsere Messeinrichtungen den Zugang zum Schaltschrank erschweren. Dies war einer der Gründe, weshalb auf die ursprünglich vorgesehenen Langzeitmessungen (Wochenmessungen) verzichtet wurde.

Anforderungen an die Messgeräte

Die Leistungsaufnahme des Aufzugs ist mit einem Dreiphasen-Leistungsmess-Gerät erfolgt. Aufgezeichnet wurde der Verlauf der Wirkleistung und der Blindleistung einer jeden Phase und die Gesamtleistung (= Summe der 3 Phasenleistungen). Um kurzzeitige Leistungsspitzen zu erkennen wurden 3 Messungen pro Sekunde aufgezeichnet. Es wurde eine Fahrt über die ganze Hubhöhe in beiden Richtungen mit Türöffnungen aufgezeichnet.

Da der Messbereich gross ist (Stand-by einige 10 W, Fahrt einige kW) musste besonders für die Strommessung geeignetes Messzubehör verwendet werden. Die Strommessung erfolgte unterbrechungsfrei mit Hilfe von Stromzangen, welche für einen Bereich von 100mA bis 200A ausgelegt sind.

Bei der Messeinrichtung galt es zu beachten, dass allfällige Oberwellen (Frequenzumrichter Antriebe) vom Messsystem mit berücksichtigt wurden. Die Leistung wird vom Messgerät aus den Effektivwerten der Spannung und des Stromes bestimmt. Die Effektivwerte müssen dabei lückenlos zwischen zwei Abtastungen gebildet werden.

Als Messgerät kam ein 3-Phasen Leistungsmessgerät der Firma Norma (Norma D6100) zum Einsatz. Mit den geeigneten Stromzangen, welche speziell für dieses Messgerät ausgeführt sind, wurde die erforderliche Genauigkeit erreicht. Das Messgerät speichert 3 Mal pro Sekunde die Effektivwerte von Strom, Spannung, Wirkleistung und Blindleistung ab. Über eine GPIB-Schnittstelle können diese Messwerte auf einen PC übertragen werden. Mit den speziell für diese Messungen erstellten Makros konnten die Messreihen direkt ins Excel übernommen werden

Die Spezifikationen der Messausrüstung:

1. Norma D6100, Wide Band Power Analyzer
2. 3 Stromzangen, LEM mit Schotec Adapter für Norma D6100
3. Notebook mit Excel und entsprechenden Makros zur Datenübernahme
4. GPIB – USB Kabel zur Verbindung von Messgerät und Notebook
5. Zangenampèremeter zur Verifizierung der Ströme
6. div. Klemmmaterial / Drähte zum Abgriff der Spannungen

3.3 Durchführung der Messungen

Für jeden Aufzug wurden folgende Angaben ins Datenblatt aufgenommen:

Datum Erstbetrieb	Nominal Power
Hersteller	Motorenleistung
Produkt	Geschwindigkeit
Referenz	Anzahl Stockwerke
Anwendung	Hubhöhe
Antriebstyp	Fahrtenzahl / Zeit
Steuerungstyp	Betriebstunden / Zeit
Nominal Last	

Nach den administrativen und Sicherheits-Vorbereitungen wurden die Messungen durchgeführt:

1. 3 phasige Leistungsmessung Leerfahrt auf und Leerfahrt ab über ganze Hubhöhe
2. 3 phasige Leistungsmessung Stand-by
3. 1 phasige Leistungsmessung Kabinenlicht/Notrufsystem

Leistungsmessung Fahrt

Fig. 3.3 zeigt das Anschlusschema des Leistungsmessgerätes. Es wurden Stromzangen-Adapter eingesetzt, um unterbruchsfrei messen zu können. Gemessen wurde gemäss Fig. 3.2 P_1 (Leistung Aufzug).

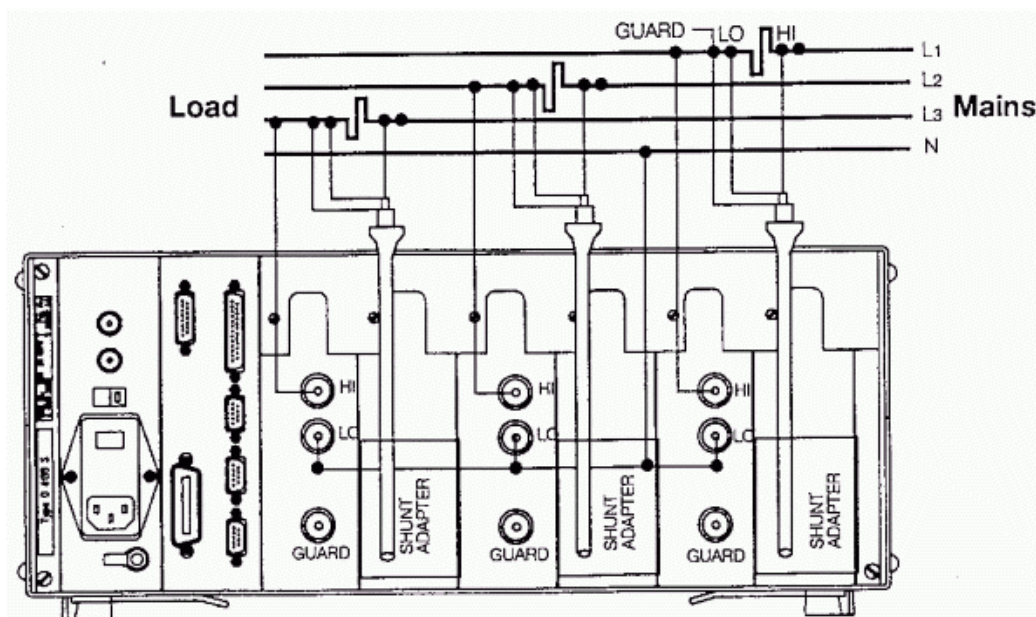


Fig. 3.3 Anschlusschema Leistungsmessgerät (effektiv wurden Stromzangen statt Shunts verwendet)

Der Aufzug wurde in die unterste Position gefahren. Die Türe musste geschlossen sein. In diesem Zustand wurde die Aufnahme der Messung gestartet. Es wurde eine Fahrt nach oben und eine Fahrt nach unten aufgezeichnet. Der Aufzug musste dabei leer sein. Der Ablauf der Fahrt-Messung war wie folgt:

Start Aufnahme Messwerte (3 Leistungswerte/s)

1. Türe auf
2. Türe zu
3. Fahrt von oben nach unten über die ganze Hubhöhe
4. Türe auf
5. Türe zu
6. Fahrt von unten nach oben über die ganze Hubhöhe
7. Türe auf
8. Türe zu

Stop Aufnahme Messwerte

Leistungsmessung Stand-by und Türantrieb

Der Stand-by-Betrieb wurde ebenfalls erfasst (3-phasig, vgl. Fig. 3.2, P_1 Leistung Aufzug), ebenso wurden Türantriebe aufgenommen. Die Messung wurde mit geschlossenen Türen gestartet.

Start Aufnahme Messwerte (3 Leistungswerte/s)

1. Türe auf
2. Türe zu

Stop Aufnahme Messwerte

Leistungsmessung Hilfseinrichtungen

Die Leistungsaufnahme der Hilfseinrichtungen wurde mit einer 1-phasigen Messung von P_2 Leistung Hilfsbetrieb (vgl. Fig. 3.2) erfasst. Die Leistungsmessung erfolgte vor und während der Fahrt.

1. Leistungsaufnahme ohne Kabinenlicht
2. Leistungsaufnahme mit

Auswertung

Für die weitere Verarbeitung wurden die Messwerte in eine Excel-Tabelle in elektronischer Form mit den Messwerten (3 Messwerte/s) und den zugehörigen Zeitwerten übertragen.

Die Energie wurde aus dem numerischen Integral der Leistungswerte aus der Excel-Tabelle bestimmt.

$$E = \int_{t_0}^{t_1} P * dt$$

Um den gesamten Energieverbrauch pro Fahrt zu erhalten, müssen die entsprechenden Leistungswerte der Hilfseinrichtungen, welche an der einphasigen Versorgung angeschlossen sind, dazu addiert werden (vgl. Fig. 3.2).

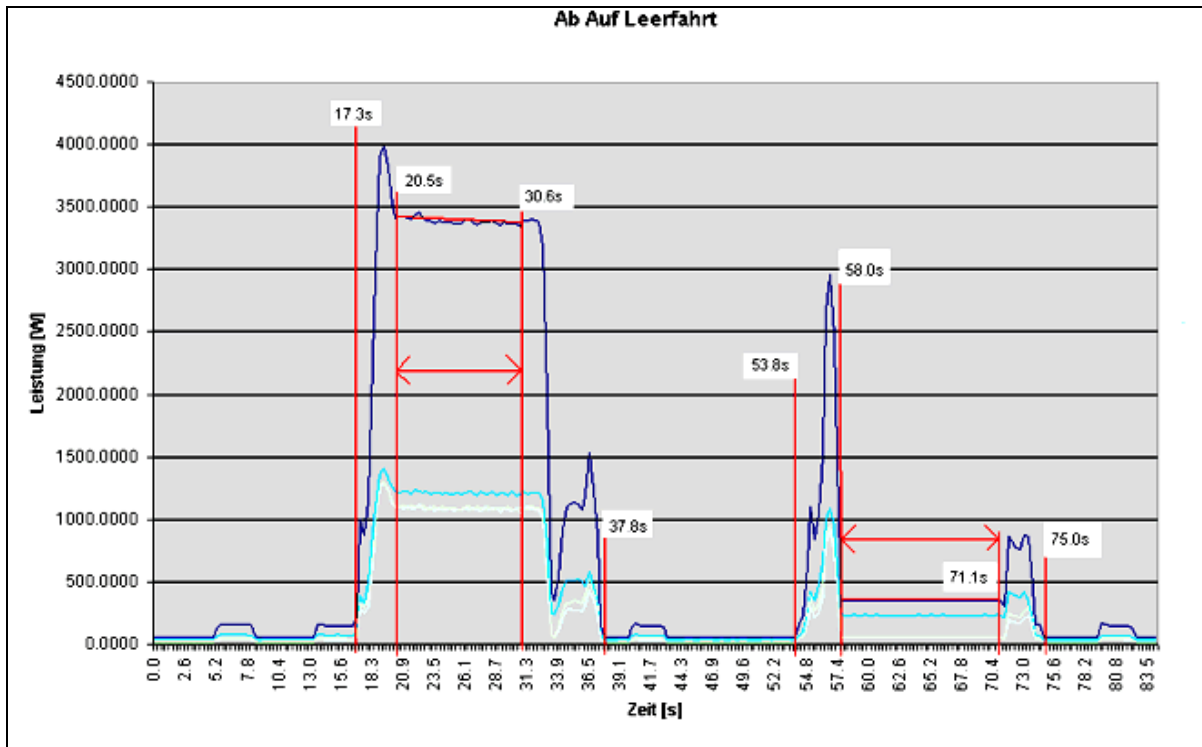


Fig. 3.4. Messwerte der Leerfahrten eines Seilzugs mit Gegengewicht. Dunkelblau die Gesamt-Leistungsaufnahme, hellblau/grün die 3 Phasen, rot die Hilfslinien zur Beurteilung der Fahrt-Abschnitte.

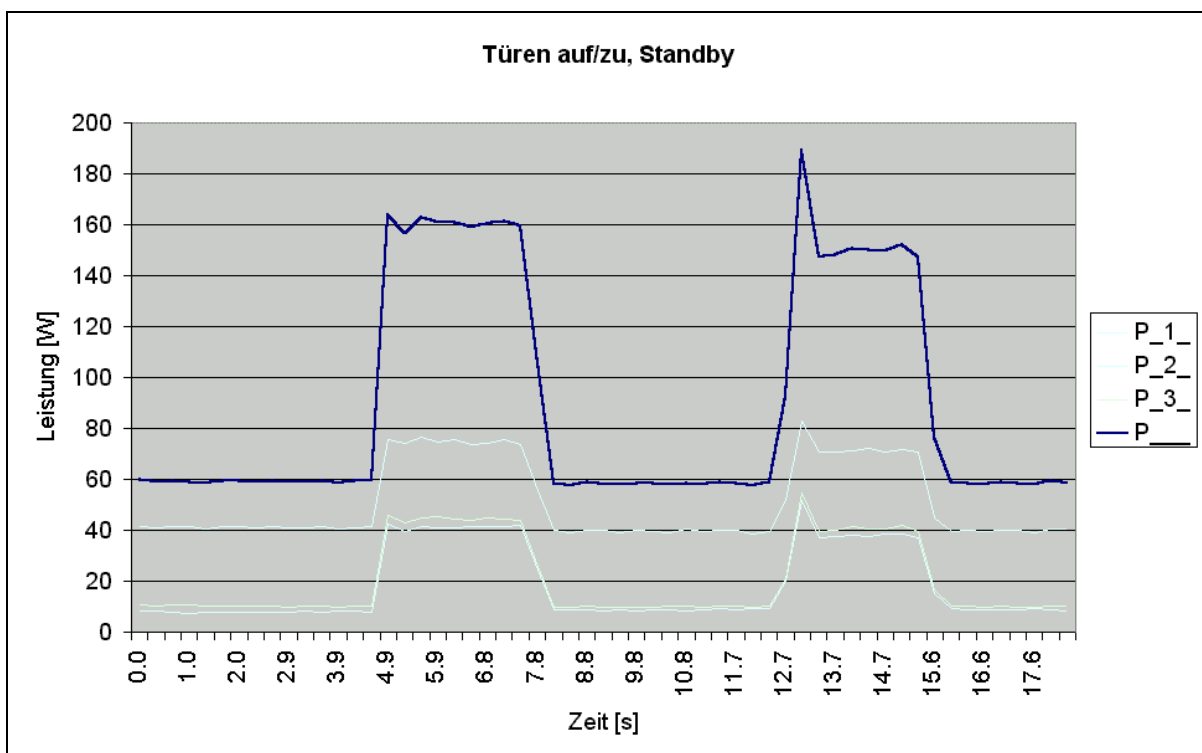


Fig. 3.5. Messwerte der Türöffnung, gleicher Aufzug wie 3.4. Dunkelblau die Gesamt-Leistungsaufnahme, hellblau/grün die 3 Phasen. Die "Buckel" sind auch in 3.4 vor und nach den Fahrten erkennbar. Die Leistungsaufnahme dazwischen ist Stand-by.

Die grafische Darstellung der aufgenommenen Messwerte ergibt den typischen Leistungsverlauf für die Fahrt (Fig. 3.4), die Türenbewegung und den Stand-by (Fig. 3.5). Bei der Abwärtsfahrt in Fig. 3.4 treten die höchsten Leistungen auf, weil das Gegengewicht gehoben werden muss. Die

Fahrt-Abschnitte vor und nach den annähernd konstanten Hebe-Abschnitten zeigen Leistungsspitzen bzw. -einbrüche beim Beschleunigen und Bremsen.

Keine Wochenmessungen

Nach den Erfahrungen eines grossen Teils der Messungen wurde die Frage der ursprünglich vorgesehenen Langzeit- (Wochen-) Messungen nochmals aufgegriffen. Es zeigte sich, dass zur Gewährleistung der Sicherheit bei den meisten Anlagen ein grosser Aufwand getrieben werden müsste, da meist nicht in einem abschliessbaren Schaltschrank-Raum gemessen werden kann. Diesem Hindernis wurde der Erkenntnisgewinn gegenübergestellt: Für jeweils eine Anlage könnte der Fahrten-Energieverbrauch genau gemessen und damit die Berechnungsmethode überprüft werden. Dabei wären jedoch die spezifischen Benutzungsmuster der Anlage (Länge der Fahrten, Besetzung) nicht ohne grossen Mehraufwand aus den Registrierungen zu extrahieren und liessen sich auch nicht mit gesicherten bekannten Daten vergleichen.

Diese Erkenntnisse wären auch für die Frage der Energieeffizienz wenig nützlich. Mit den realisierten Messungen (Leer ab/auf) ist der Energieverbrauch der jeweils grössten und kleinsten Beanspruchung ermittelt und wird für die Beurteilung der Effizienz ausgewertet. Angesichts der hohen Bedeutung des Stand-by-Verbrauchs muss die Bedeutung der Antriebseffizienz etwas relativiert werden.

4. Ergebnisse

4.1 Übersicht

In Kapitel 2 wurde eine Übersicht zur Technik und zu den ausgewählten Aufzügen nach verschiedenen Kriterien gegeben. In der Tabelle Fig. 4.1 sind die wichtigsten Eigenschaften der 33 gemessenen Aufzüge zusammengestellt. Die Tabelle ist aufsteigend sortiert nach:

1. Nominal-Nutzlast, 2. Fahrgeschwindigkeit, 3. Motorleistung Typenschild.

Anl. Nr.	Nominal Last kg	Geschwindigkeit m/s	Hubhöhe m	Anzahl Halt	Gebäudeart	Jahrgang	Technologie	Fahrtzahl / Jahr	Motorleistung Typenschild kW	Motorleistung gemessen max. kW	Stand-by W	% Stand-by Energieverbrauch
1	320	0.63	11.2	5	Wohnhaus / Arztpraxis	2002	D	26'198	9	9.5	110	85%
2	320	1	14.0	6	Wohnhaus	1977	A	62'351	4.9	3.9	<1	0%
3	500	0.6	13.4	6	Wohnhaus	1994	D	11'181	11	12.6	31	71%
4	500	1	12.4	5	Personenaufzug	2004	E	Testanlage	7.5	4.7	39	n.a.
5	500	1.6	10.2	6	Wohnhaus	2004	C	zu neu	5.5	7.5	112	66%
6	630	1	17.4	7	Wohnhaus	2002	C	39'843	3.7	5.2	38	72%
7	630	1	14.6	6	Wohnhaus	2005	C	zu neu	3.7	4.8	40	58%
8	630	1	6.9	3	Geschäftshaus	2005	C	zu neu	3.9	4	128	74%
9	630	1	27.5	8	Büro	2000	C	107'257	5	4.2	150	65%
10	630	1	14.4	6	Parking	2004	C	55'070	6.4	3.7	84	75%
11	630	1	29.0	12	Wohnhaus	2001	C	76'947	6.5	5.3	130	62%
12	630	1	11.6	5	Wohnhaus	2000	C	16'361	6.7	6	45	87%
13	630	1	14.0	6	Wohnhaus	2002	C	33'171	6.7	3.4	59	77%
14	630	1	11.8	4	Büro	1992	C	278'926	8	6.3	94	39%
15	630	1.6	14.6	4	Büro	2004	C	zu neu	7.5	15.8	248	78%
16	750	1.6	26.1	10	Wohnhaus	2000	C	164'577	9	7.2	100	43%
17	800	1	15.6	5	Büro	1992	C	115'583	9.6	6.7	131	58%
18	800	1	16.5	6	Wohnhaus	2004	C	zu neu	9.7	4.9	60	40%
19	900	1.48	13.3	6	Parking	1972	C	352'973	17.7	15	228	42%
20	900	2	7.8	4	Parking	1999	C	329'967	18	16	460	78%
21	1000	1	23.7	10	Wohnhaus	2001	C	42'440	7	8.5	78	67%
22	1200	2.5	37.8	11	Spital Besucher-aufzug	1994	C	670'567	18.8	26	270	30%
23	1500	2.5	68.1	22	Büro	1972	C	339'846	25	27.1	1700	69%
24	1500	2.5	73.7	21	Büro	2001	C	195'577	27.4	19.3	308	26%
25	1600	1	3.0	2	Shopping	2004	C	211'484	10.5	12.7	105	59%
26	1600	1.4	12.4	5	Industrie	1994	E	Testanlage	47	40	Prototyp	n.a.
27	1800	1.6	38.4	10	Spital Besucher-aufzug	2001	C	688'036	28	20	400	21%
28	2000	1.6	34.0	10	Spital Bettenaufzug	1993	B1	312'960	26.5	21.6	306	24%
29	2000	1.6	51.9	14	Büro	2002	B1	118'706	27	18	550	49%
30	2200	2.5	34.0	11	Parking	2001	B1	512'726	34.4	19	980	55%
31	2500	0.6	11.2	4	Autolift	1995	E	37'140	28	15.8	342	76%
32	3000	2	42.9	12	Büro	2003	B2	157'141	49	40	810	47%
33	3200	0.5	8.9	3	Industrie	2000	E	48'940	24	3.16	88	n.a.

Fig. 4.1 Übersichtstabelle Aufzugsmessungen

Legende Technologie: A Schneckengetriebe mit AC-Motor „Feinabsteller“ (2 Stufen)
 B Getriebe, 1 = Spannungsregelung, 2 = Frequenzumrichter
 C Getriebelos Permanentmagnet-Motor, Frequenzumrichter
 D Hydraulik, Ventil gesteuert
 E Hydraulik, Ventil geregelt

Bemerkungen zu Fahrtenzahlen und fehlenden Angaben:

Bei jeder Aufzugsanlage gibt es typischerweise einen Fahrtenzähler, welcher u.a. für die auszuführenden Servicearbeiten von Bedeutung ist. Die Fahrtenzahlen konnten daher meistens aufgenommen werden. Zwei Anlagen (Nr. 4 und 26) sind Testanlagen, bei welchen keine repräsentative Fahrtenzahl angegeben werden kann. Vier weitere Anlagen sind so neu, dass der Betrieb noch kein volles Jahr läuft und die Fahrtenzahl deshalb nicht angegeben ist. Für den Anteil Stand-by-Verbrauch wurde hier der Fahr-Energieverbrauch aufgrund der Richtwerte der Aufzugsindustrie hochgerechnet.

Die Stand-by Leistungsaufnahme wurde bei der Testanlage (26) nicht gemessen, da die Anlage zu stark einem Laboraufbau glich. Zwei Anlagen (Nr. 4 und 33) sind Hydraulik Anlagen mit Druckspeicher. Da SIA380/4 dieses Prinzip nicht abdeckt, konnte dort keine Berechnung vorgenommen werden konnte.

Bei Anlage Nr. 2 ist der Stand-by-Verbrauch tatsächlich praktisch Null, dies ist eine alte Anlage mit Relasteuerung und ohne Anzeigen.

4.2 Stand-by-Verbrauch

Die gemessenen Stand-by Leistungsaufnahmen reichen von Null bis 1700 W. Letzteres ist eine sehr alte Ward-Leonard Anlage und damit ein Ausnahmefall. In Fig. 4.2 und 4.3 sind einige denkbare Abhängigkeiten grafisch dargestellt. Zwar scheinen die z.T. erkennbaren Korrelationen plausibel, dürften aber für einen "Therapieansatz" nicht ausreichen. Grössere, stärkere Anlagen weisen tendenziell auch komplexere und/oder komfortablere Steuerungen auf und damit einen höheren Stand-by-Verbrauch. Die Zuordnung zu den vereinfachten Technik-Typen (Fig. 4.3) erlaubt auch keine eindeutigen Aussagen.

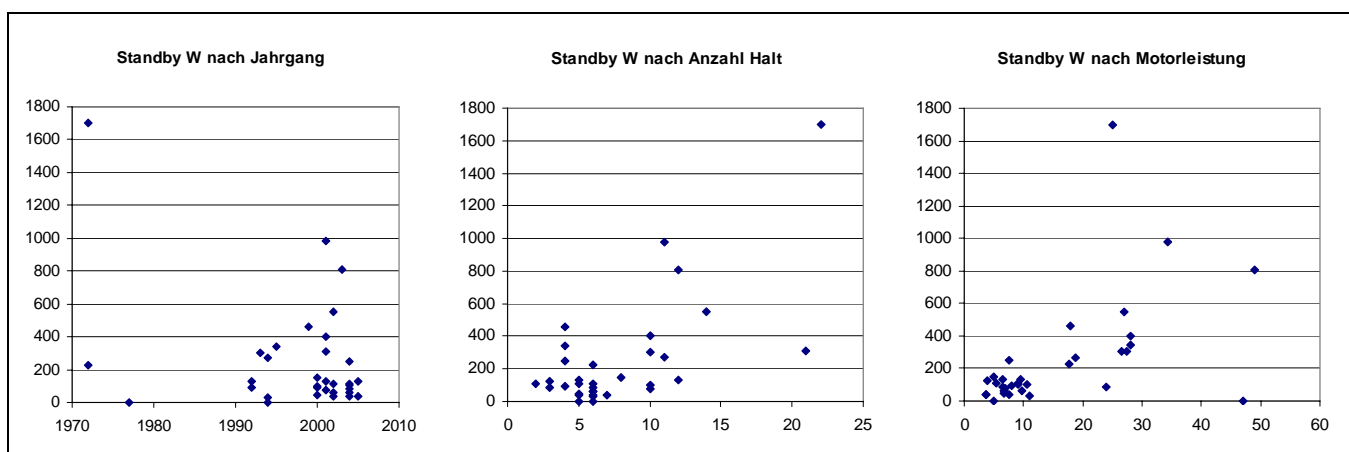


Fig. 4.2 Stand-by Leistungsaufnahme der Aufzüge nach verschiedenen Merkmalen. Der Fall 1700 W ist ein Ward-Leonard-Antrieb und somit ein Ausnahmefall.

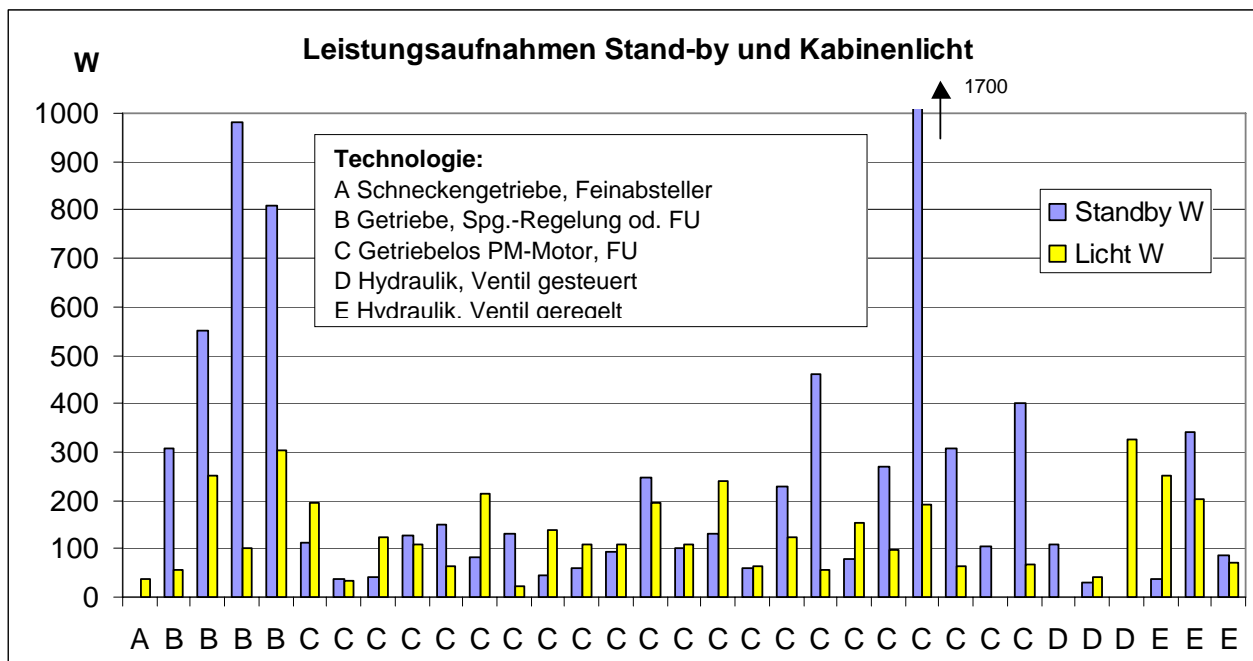


Fig. 4.3 Leistungsaufnahmen Stand-by und Kabinenlicht der Aufzüge nach Technologie. Der Stand-by Extremfall 1700 W ist ein alter Ward-Leonard Antrieb, Null sind die Relaissteuerung (A) und ein nicht definierter Fall (D).

Licht

Die Leistungsaufnahmen der Beleuchtung liegen zwischen 21 W und über 300 W, wobei die hohen Werte über 250 W auch bei kleinen Aufzügen (500, 630 kg) vorkommen. Dabei spielen wohl Design-Aspekte eine Rolle. Wenn das Licht nur bei der Fahrt eingeschaltet ist, ist es beim Gesamtverbrauch untergeordnet (ausser bei sehr hohen Fahrtenzahlen); Dauerbetrieb der Kabinenbeleuchtung sollte nicht mehr vorkommen (vgl. Fig. 5.3 unten). Der Einsatz von Leuchtstofflampen bzw. Stromsparlampen ist auch bei häufiger Schaltung problemlos, wenn elektronische Vorschaltgeräte und ein etwas längerer Nachlauf (z.B. 10 Minuten) eingesetzt werden.

Stand-by- und Fahrten-Energieverbrauch

Für die Gegenüberstellung (Fig. 4.4 und 4.5) wurde der jährliche Fahrten-Energieverbrauch $E_{F,a}$ gemäss der Berechnungsmethode in SIA 380/4 für einen bereits dimensionierten Aufzug wie folgt berechnet (vgl. auch Abschnitt 4.6):

$$E_{F,a} = \frac{Z_F * k1 * k2 * h_{\max} * P_m}{v * 3600}$$

$E_{F,a}$ Energiebedarf für die Kabinenbewegung (Fahrten), in kWh pro Jahr

Z_F Anzahl Fahrten pro Jahr

$k1$ Durchschnittlastfaktor (Technologiefaktor), Herleitung im Anhang 8.3

$k2$ Hubhöhenfaktor, durchschnittliche / max. Hubhöhe, = 1 wenn 2-geschossig, sonst 0.5

h_{\max} Maximale Hubhöhe, zwischen unterstem und oberstem Halt, in m

P_m Motorleistung (i.d.R. Nennleistung gemäss Typenschild), in kW

v Fahrgeschwindigkeit, in m/s,
 der Term "1/ (Geschwindigkeit * 3600)" ergibt die Fahrzeit in Stunden (vereinfacht!)

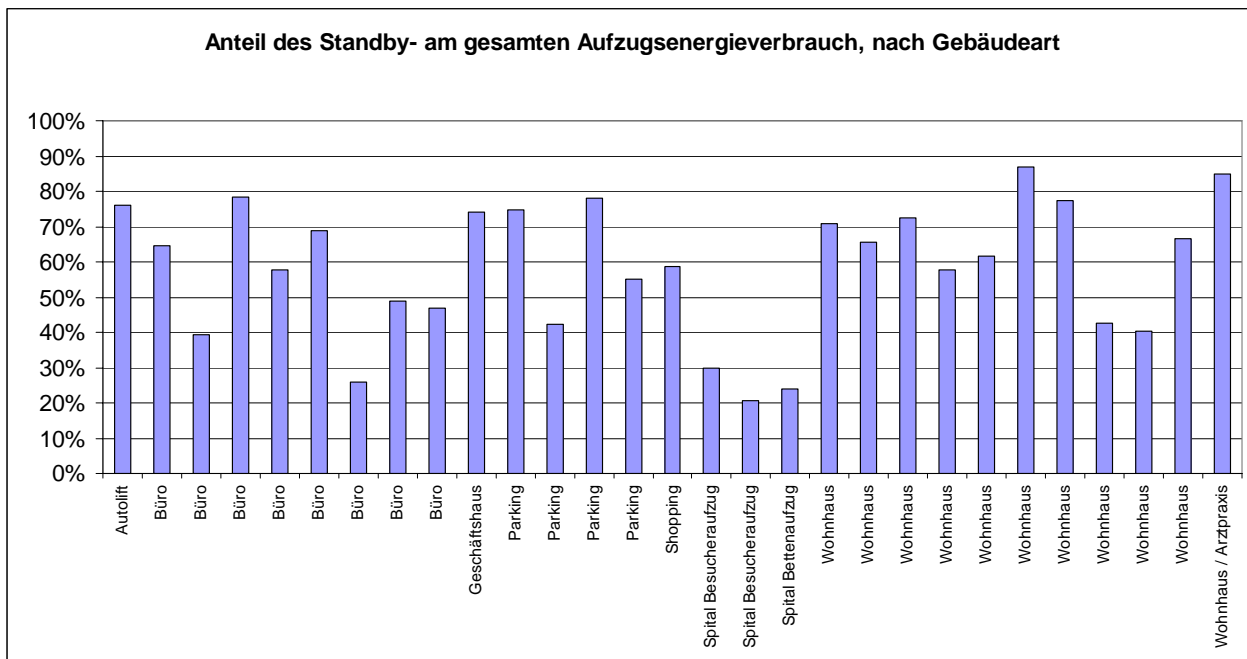


Fig. 4.4 Anteil Stand-by- am gesamten Energieverbrauch, nach Gebäudeart. Werte unter 30% sind Anlagen mit sehr hohen Fahrtzahlen.

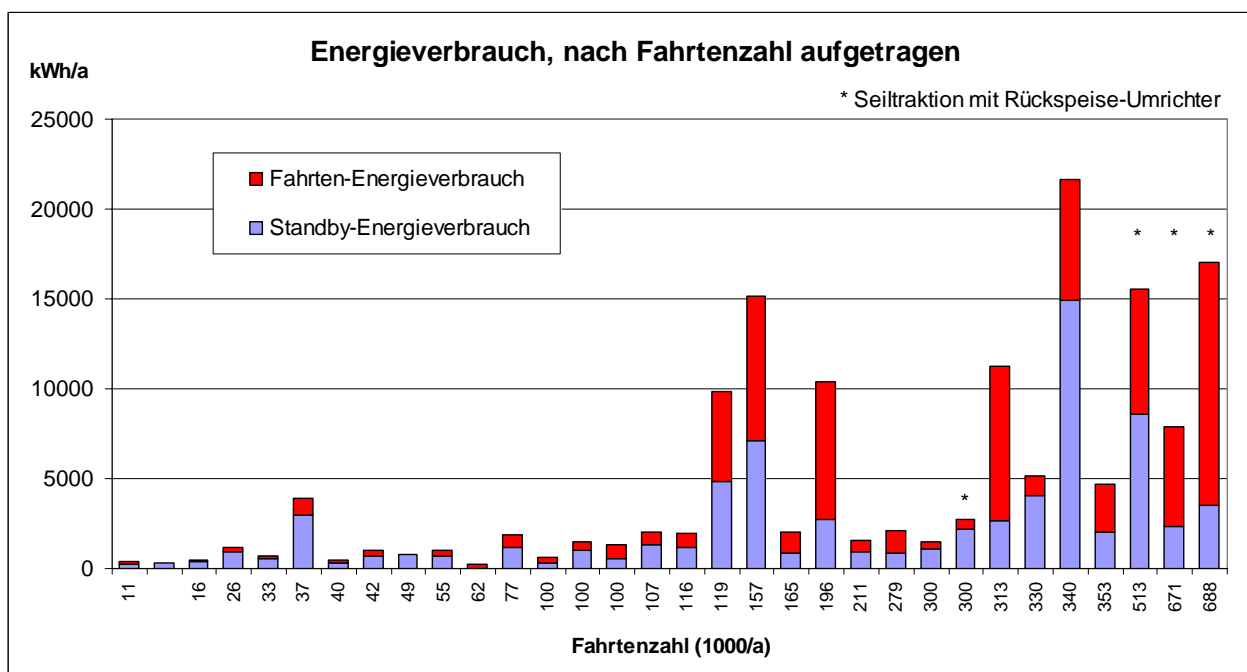


Fig. 4.5 Fahrten- und Stand-by Energieverbrauch der Aufzüge nach Fahrtzahl; Fahrten-Verbrauch mit der oben angegebenen Formel berechnet. Tiefer Fahrten-Verbrauch bei hoher Fahrtzahl kann durch kleine Nennlast, Motorleistung und Hubhöhe bedingt sein. Es lassen sich keine einfachen Folgerungen ziehen.

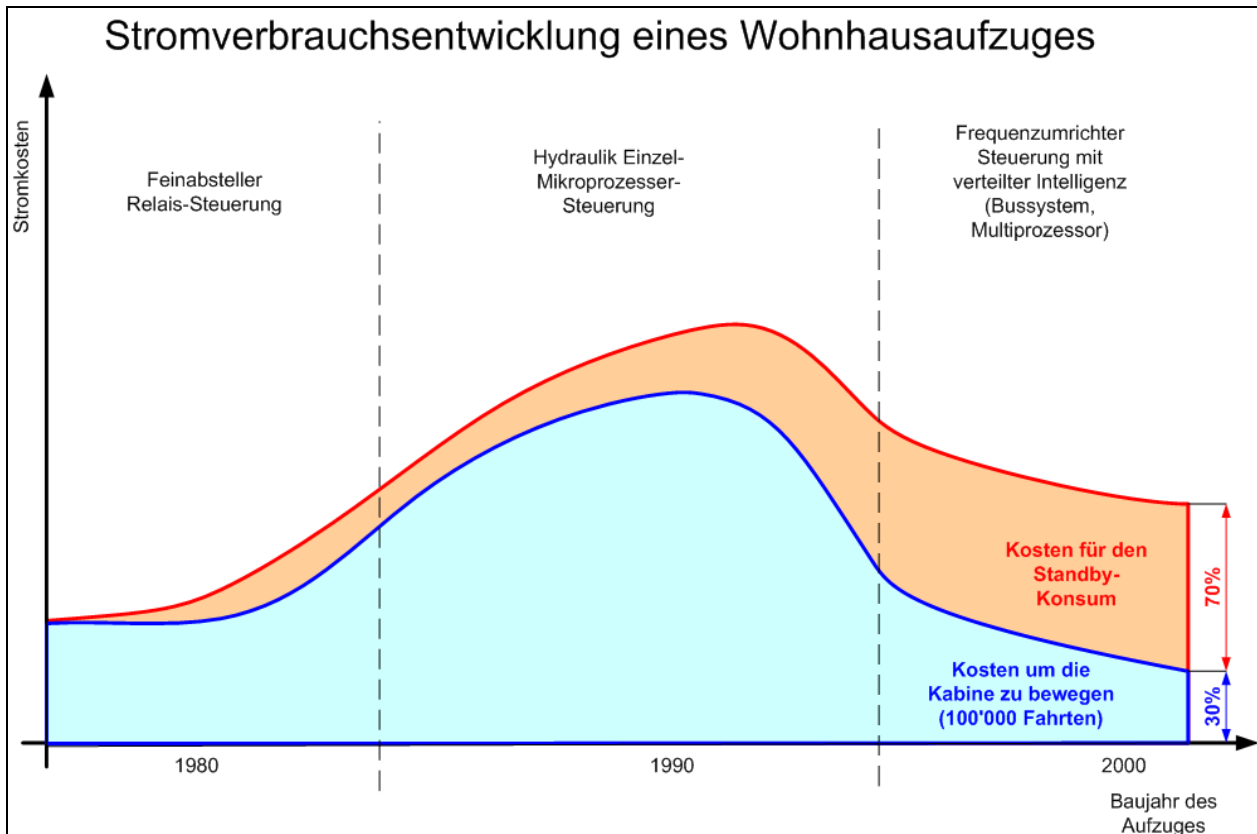


Fig. 4.6 Entwicklung des Stand-by- versus Fahrten-Energieverbrauchs typischer Wohnhaus-Aufzüge (Quelle: U. Lindegger)

Die Entwicklung des Stand-by- und Fahrten-Energieverbrauchs wird in Fig. 4.6 am Beispiel typischer Wohnhaus-Aufzüge visualisiert: Vom alten Feinabsteller mit Relais-Steuerung (kein Stand-by, vgl. Anlage Nr. 2 in Fig. 4.1 bzw. A in Fig. 4.3) über leistungsstarke einfache Hydraulikaufzüge zu modernen effizienten Traktionssystemen mit Frequenzumrichter und Energierückspeisung nimmt der absolute Stand-by-Verbrauch stetig zu (wegen aufwändigerer Steuerung, mehr Anzeigen, Sicherheitseinrichtungen, aber auch für den Frequenzumrichter). Der Fahrten-Energieverbrauch hat hingegen wieder stark abgenommen.

4.3 Motorleistung

Gemäss Fig. 4.7 sind erwartungsgemäss die kleinen Motorleistungen bei Aufzügen in Wohnbauten zu finden (wäre in Singapur anders!). Schnelle und grosse Personenaufzüge im Büro-, Shopping-, Verkehrs- und Spitalbereich liegen bei Motorleistungen von 20 bis 25 kW.

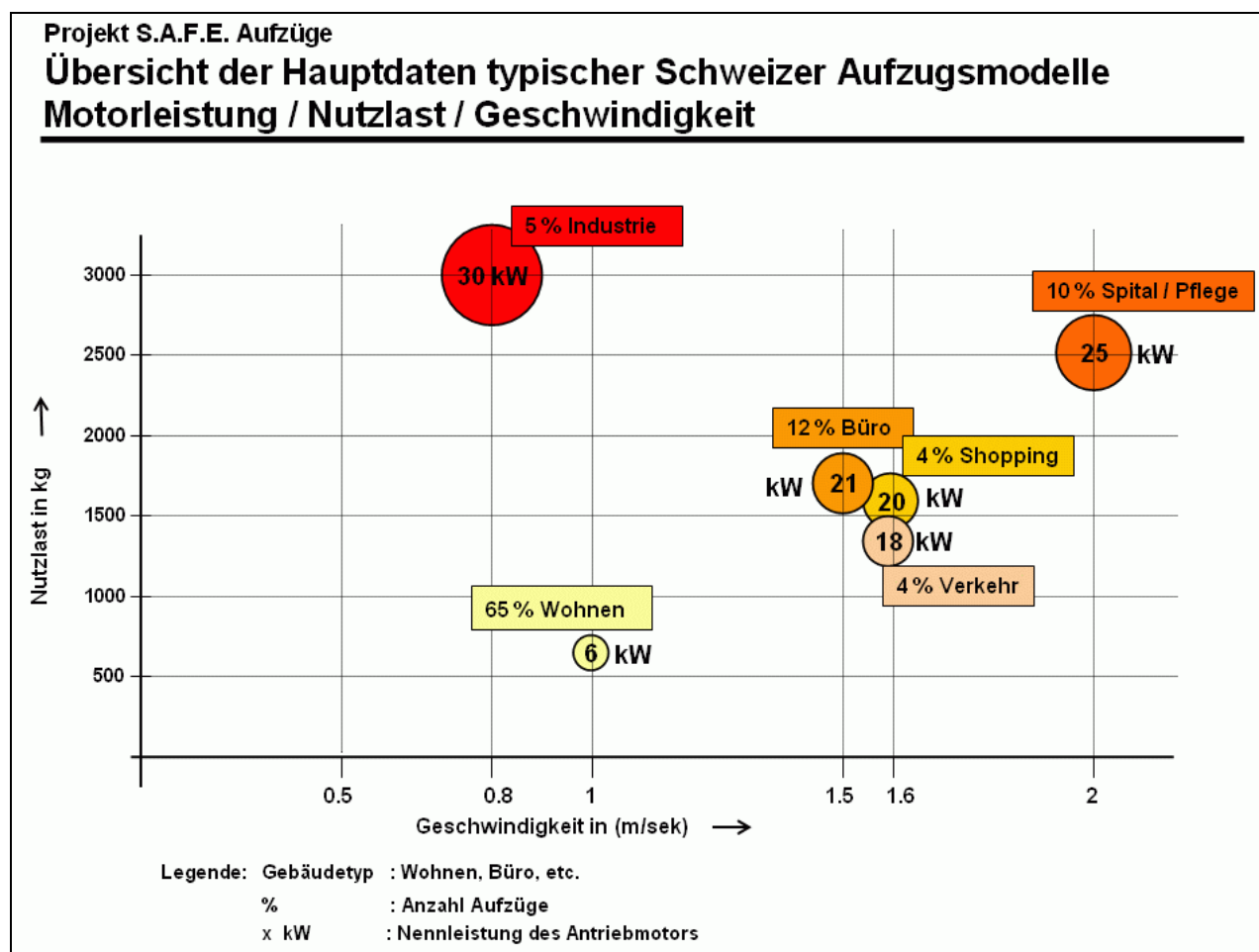


Fig. 4.7 Typische Motorleistungen der gemessenen Aufzüge in der Nutzlast/ Geschwindigkeits-Matrix. In der Zeichnung: Die Prozentangabe bezieht sich auf den Anteil am Gesamtbestande der Aufzüge in der Schweiz.

Bei der Auswertung der Anlagenmessungen zeigte sich, dass die deklarierte Motorleistung (Typenschild, ev. Anlagenbeschreibung) z.T. recht stark von der gemessenen maximalen Leistungsaufnahme abweicht. Da es sich bei Aufzügen nicht um IEC-Normmotoren handelt, ist allerdings auch nicht normgemäss definiert, welche Leistung zu deklarieren ist. Bei IEC-Motoren wäre die Wellenleistung im Nenn-Arbeitspunkt zu deklarieren, wobei dann die Leistungsaufnahme um $1/\eta$ höher ist. Zusätzlich müsste angegeben werden, ob die Angabe für Betriebsart S1 (Dauer-) oder S3 (Aussetzbetrieb xx%) gilt. Vgl. dazu auch "Mit welcher Motorleistung rechnen" in Abschnitt 4.6.

Die Antriebsmotoren werden i.d.R. so dimensioniert, dass sie im normalen (intensiven) Betrieb nicht überlastet werden. Allerdings wird auch dann die maximale Leistung (bei Seiltraktion leer abfahrend) nur zeitweise beansprucht. Falls keine optimale Kühlung gegeben ist, könnte eine Überdimensionierung zusätzliche thermische Sicherheit geben. Gemäss Fig. 4.8 ist in der Mehrzahl der gemessenen Fälle die gemessene Maximalleistung etwa 80% der deklarierten, was gute thermische Sicherheit bedeutet und doch keine grosse Überdimensionierung. Die Fälle mit grösserer gemessener als deklariert Motorleistung können verschiedene, nicht weiter untersuchte Gründe

haben. Bei den Hydraulikaufzügen mit Druckspeicher wären Messungen unter Last notwendig gewesen.

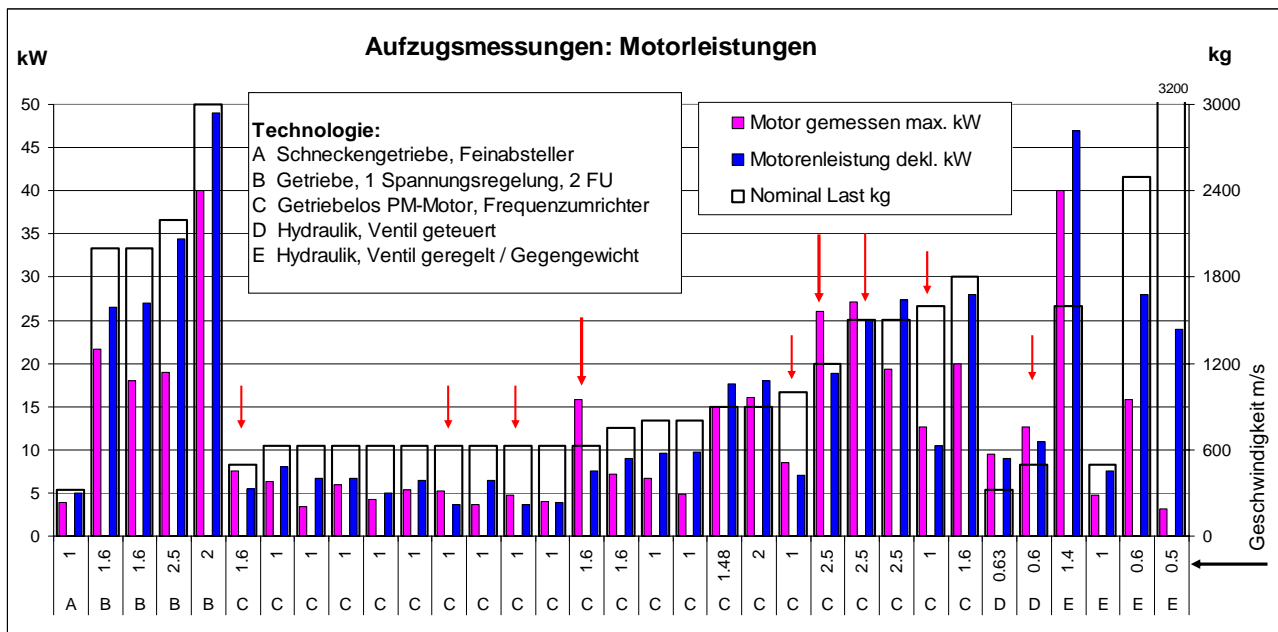


Fig. 4.8 Motorleistung gemessen/ deklariert, Last, Geschwindigkeit, Technologie.
Rote Pfeile: gemessen grösser als deklariert.

Interessant ist auch der Vergleich der Motorleistung mit der Nominal-Nutzlast, wobei auch die Geschwindigkeit mit zu berücksichtigen ist. Das Verhältnis "Leistung zu Last" ist auch ein Mass für die Effizienz: Feinabsteller "A" und einfache Hydraulikaufzüge "D" schneiden schlecht ab, und höhere Geschwindigkeit braucht ebenfalls Motorleistung.

4.4 Fahrtenzahl

Die Anzahl Fahrten ist eine der wichtigsten Einflussgrößen für den Energieverbrauch einer Aufzugsanlage.

In der Erarbeitung von SIA 380/4 wurde ein detailliertes Fahrtenmodell aufgrund der Daten von Gebäude und Raumnutzung definiert, welches Fahrtenzahlen Z_F pro Benutzer und pro m^2 Geschossfläche liefert. Fig. 4.9 zeigt einen Ausschnitt aus Tab. 3.34 von SIA 380/4. Auch für die durchschnittliche Förderhöhe (Hubhöhe) gibt es differenziertere Angaben als die Richtwerte 1 für zweigeschossig und 0.5 bei mehr als zwei Geschossen.

Da bei den Messungen die Benutzer- und m^2 -Zahlen nicht erhoben werden konnten, ist ein direkter Vergleich der Fahrtenzahlen der Messkampagne mit dem Modell nicht möglich.

Nr	Raumnutzung	Benutzer	Fahrten pro Benutzer	Fahrten pro m ² Geschossfläche	durchschnittliche Förderhöhe
1.1	Wohnraum, Schlafzimmer	Bewohner	1500	40	0,6 h _{max}
1.2	Küche	---	---	---	---
2.1	Hotelzimmer	Bett	1000	100	0,5 h _{max}
2.2	Empfang/Lobby	---	---	---	---
3.1	Einzel/Gruppenbüro	Arbeitsplatz	1400	100	0,4 h _{max}
3.2	Grossraumbüro	Arbeitsplatz	1400	140	0,4 h _{max}
3.3	Sitzungszimmer	Sitzplatz	500	170	0,3 h _{max}
3.4	Schalterhalle/Empfang	---	---	---	---
4.1	Schulzimmer	Sitzplatz	800	270	0,5 h _{max}
4.2	Lehrerzimmer	---	---	---	---
4.3	Bibliothek	Sitzplatz			
4.4	Hörsaal	Sitzplatz	2000	2000	0,3 h _{max}
4.5	Spezialräume	Sitzplatz	1200	150	0,3 h _{max}
8.1	Bettzimmer	Bett	2900	200	0,5 h _{max}
8.2	Stationszimmer	Arbeitsplatz	600	600	0,5 h _{max}
8.3	Behandlungsräume	X	X	X	X

Fig. 4.9 "Fahrtenmodell" SIA 380/4 [2], Ausschnitt aus Tab. 3.34 (2005/ noch provisorisch, Jahreswerte)

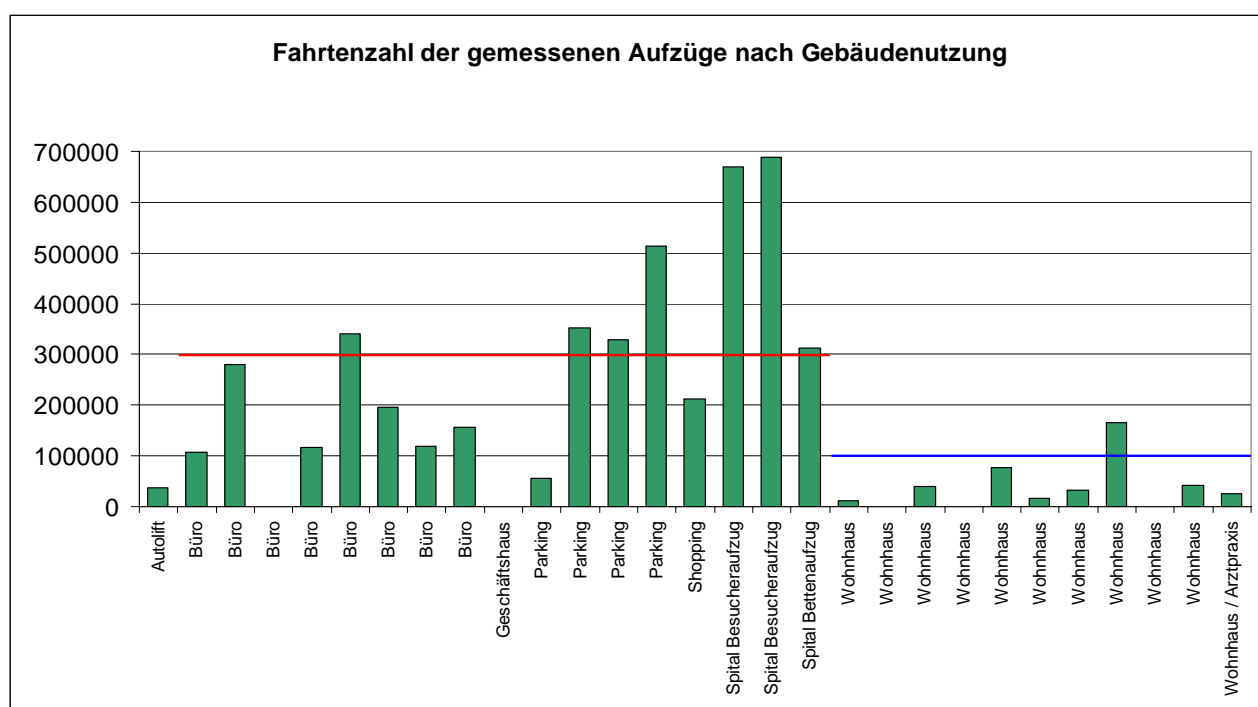


Fig. 4.10 Fahrtenzahl der gemessenen Aufzüge nach Gebäudenutzung. Bei 5 "zu neuen" Aufzügen fehlen die Werte.

Bei den Arbeiten zur SIA Norm 380/4 [2] wurden von der Aufzugsindustrie als Richtwerte angegeben:

Wohnbauten	100'000
Geschäftsbauten (Verwaltung)	300'000 Fahrten pro Jahr.

Die Zusammenstellung der Fahrtenzahl nach Gebäudeart (Fig. 4.10) erlaubt eine Beurteilung im Vergleich zu den groben Richtwerten (in Fig. 4.10 hervorgehoben: 300'000 bzw. 100'000). Die Werte der Praxis können offensichtlich um grosse Faktoren von den Richtwerten abweichen. Tendenziell liegen sie in Fig. 4.10 deutlich tiefer als die Richtwerte. Die Mittelwerte der Messkampagne betragen:

Wohnbauten	51'340
Nicht-Wohnbauten (ohne Autolift)	296'450
Bürobauten	187'580

Es zeigt sich, dass eine Hochrechnung mit den Richtwerten eine sehr grosse Unsicherheit enthält. Sie ergibt tendenziell zu hohe Werte für den Energieverbrauch des Antriebs und damit zu tiefe Werte für den Anteil des Stand-by-Verbrauchs. Dies ist bei der Interpretation der Hochrechnung (Abschnitt 5.1) zu berücksichtigen. Auch relativiert der hohe Anteil des Stand-by-Verbrauchs die Unsicherheit bezüglich Gesamt-Energieverbrauch, weil die Streuung des Stand-by-Verbrauchs kleiner ist als jene der Fahrtenzahl. Vgl. dazu auch Fig. 4.5 (Energieverbrauch nach Fahrtenzahl).

4.5 Vergleich der Messergebnisse mit der Berechnungsmethode im frühen Planungsstadium

Das in SIA 380/4 angegebene Näherungsverfahren zur Berechnung des Energieverbrauchs einer Aufzugsanlage in frühen Planungsstadium beruht auf der Berechnung der potenziellen Energie, welche durch den Aufzugsantrieb aufgebraucht werden muss. Die Verluste des Antriebssystem (Motor, Seilzug resp. Hydrauliksystem, Reibung im Aufzugschacht etc.) werden dabei durch einen Wirkungsgrad abgebildet. Dieser ergibt sich durch einen Vergleich des gemessenen Energiebedarfs pro Leerfahrt mit dem theoretischen Wert (Nettogewicht * Hubhöhe * Erdbeschleunigung).

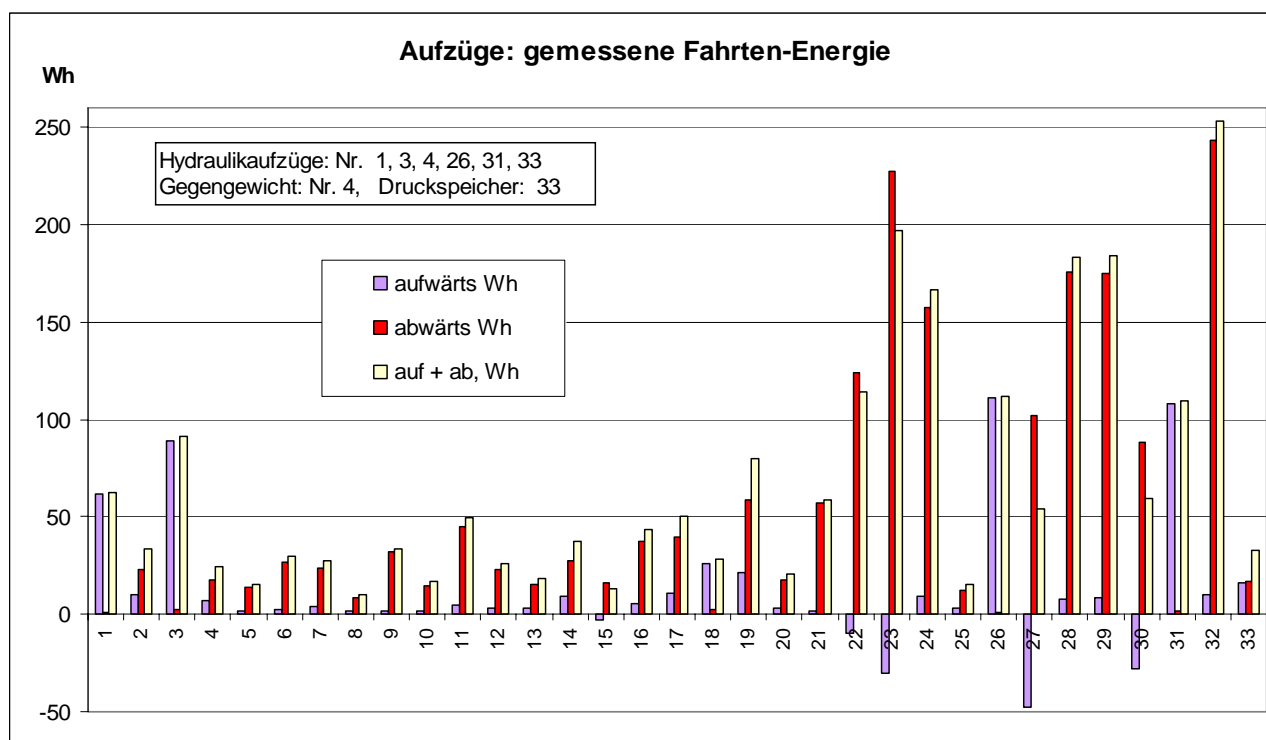


Fig. 4.11 Energieverbrauch der Leerfahrt der 33 Aufzüge, aufwärts / abwärts / auf+ab

Der gemessene Energieverbrauch der Leerfahrten ist in Fig. 4.11 dargestellt. Aufzüge mit Rekuperation sind durch die negative Energie der Aufwärtsfahrt sofort ersichtlich. Hydraulikaufzüge ohne Gegengewicht (Nr. 1, 3, 26) fallen durch höheren Verbrauch bei der Aufwärtsfahrt auf.

Um Aussagen über den Wirkungsgrad der Aufzüge machen zu können, muss der gemessene Energieverbrauch auf die effektive Last bezogen werden und zudem die Beschleunigung berücksichtigt werden. Die Untersuchung der energetischen Vorgänge (Grundlagendokument [3]) hat allerdings gezeigt, dass die Beschleunigungsenergie sehr klein ist. In Fig. 4.12 ist daher die Beschleunigung vernachlässigt. Als weitere "Störgrösse" enthält die gemessene Fahrt-Energie auch den Anteil Hilfsbetriebe bzw. Stand-by, welcher jedoch angesichts des Verhältnisses der Leistungsaufnahme Motor zu Hilfsenergie (Fig. 4.1 und 4.3) ebenfalls vernachlässigt werden kann.

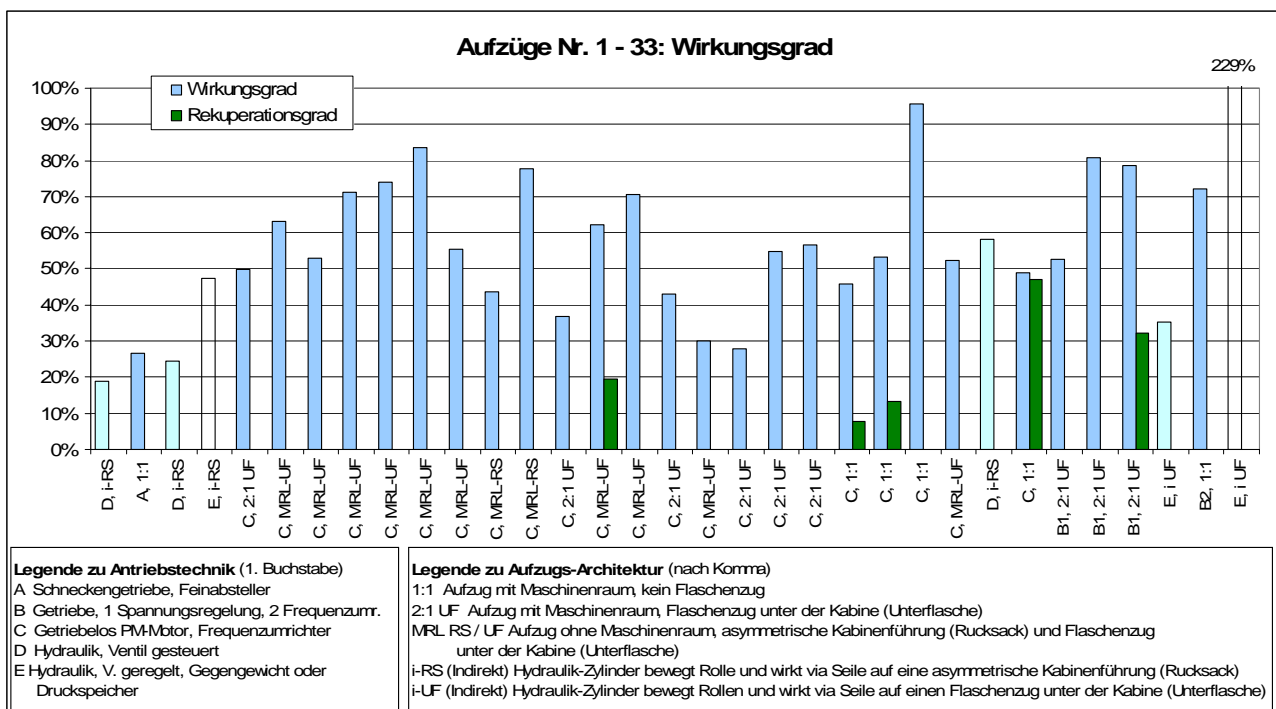


Fig. 4.12 Wirkungsgrad der "Lastfahrt" der 33 Aufzüge, geordnet nach Anlagennummer. Hellblau/ weiss: Hydraulikaufzüge. Kommentare vgl. Text.

Die Ergebnisse von Fig. 4.12 bedürfen einiger Kommentare:

- "Lastfahrt": Es wurde jeweils die Fahrt mit der grössten Motorleistung bewertet, was im Normalfall (Gegengewicht) die Abwärtsfahrt ist, bei Hydraulikaufzügen ohne Gegengewicht die Aufwärtsfahrt.
- Last: die effektive Last setzt sich aus Gegengewicht minus Kabinengewicht sowie Seilgewicht und Reibung zusammen. Diese Grössen konnten nicht ermittelt werden. Für die Wirkungsgradberechnung wurde daher vereinfacht, gemäss Grundlagendokument SIA 380/4 [3], angenommen:
Mit Gegengewicht: $\text{Last} = 0.5 \cdot \text{Nennlast}$ (Gegengewicht = Kabinengewicht plus halbe Nennlast)
Ohne Gegengewicht $\text{Last} = 1.2 \cdot \text{Nennlast}$ (= Kabinengewicht)
- Bezüglich Gegengewicht (Balance 0.4 bis 0.5 üblich) und insbesondere beim Kabinengewicht der Aufzüge ohne Gegengewicht (Hydraulik, Technologie D) besteht eine gewisse Unsicherheit. Die Wirkungsgradwerte sind daher mit entsprechendem Vorbehalt zu betrachten.

- Die Hydraulikaufzüge mit speziellen Technologien (weiss in Fig. 4.12) können nicht auf diese Art bewertet werden.

Unter Berücksichtigung aller Vorbehalte und Kommentare ist das Ergebnis bemerkenswert: Der durchschnittliche Wirkungsgrad von 58% (ohne Hydraulikaufzüge) entspricht gut dem in SIA 380/4 empfohlenen Wert von 60%. Die schlechtesten Wirkungsgrade weisen zwei konventionelle Hydraulikaufzüge und der alte Feinabsteller (A, Nr. 2) auf. Für die tiefen Werte einiger Aufzüge der Technologie C (mit Frequenzumrichter) gibt es keine offensichtliche Erklärung, so wenig wie für die eher unrealistischen Werte über 80%. Von den Annahmen abweichende Kabinengewichte sowie Werte der Gegengewicht-Balance sind die wahrscheinlichsten Gründe.

4.6 Vergleich der Messergebnisse mit der Berechnungsmethode für einen bereits dimensionierten Aufzug

Die in Abschnitt 4.2 unter "Stand-by- und Fahrten-Energieverbrauch" angeführte Formel zur Berechnung des Fahrten-Energieverbrauchs wurde mit ausgewählten Ergebnissen der Messkampagne bezüglich Plausibilität des Fahrten-Energieverbrauchs überprüft. Zur Fahrtenzahl vgl. Abschnitt 4.5.

$$E_{F,a} = \frac{Z_F * k1 * k2 * h_{max} * P_m}{v * 3600}$$

$E_{F,a}$	Energiebedarf für die Kabinenbewegung (Fahrten), in kWh pro Jahr
Z_F	Anzahl Fahrten pro Jahr
$k1$	Durchschnittlastfaktor (Technologiefaktor), Herleitung im Anhang 8.3
$k2$	Hubhöhenfaktor, durchschnittliche / max. Hubhöhe, = 1 wenn 2-geschossig, sonst 0.5
h_{max}	Maximale Hubhöhe, zwischen unterstem und oberstem Halt, in m
P_m	Motorleistung (i.d.R. Nennleistung gemäss Typenschild), in kW
v	Fahrgeschwindigkeit, in m/s, der Term "1/Geschwindigkeit / 3600" ergibt die Fahrzeit in Stunden (vereinfacht!)

Der Durchschnittlastfaktor für den repräsentativen "Fahrtenmix" aus Last und auf/ab berücksichtigt neben der durchschnittlichen Kabinenbelegung das Gegengewicht und allfällige Rekuperation (vgl. Abschnitt 5.3, Rückspeisefähige Umrichter). Ein Gegengewicht bewirkt, dass der Antrieb bei 50% Nennlast keine Masse heben muss. Der Technologiefaktor ist in Anhang 8.3 hergeleitet; für die drei betrachteten Aufzugstechnologien ergibt sich:

- Seiltraktionsaufzug und Hydraulikaufzug mit Gegengewicht $k1 = 0.35$
- Seiltraktionsaufzug mit Rekuperation (40%, vgl. Abs. 5.3) $k1 = 0.21$
- Hydraulikaufzug (ohne Gegengewicht) $k1 = 0.3$

Der Fahrten-Energiebedarf für Fig. 4.4 und 4.5 oben sowie für die Hochrechnung Fig. 5.1/ 5.2 wurde mit diesem einfachen Modell berechnet. Um den gesamten Aufzugs-Energiebedarf zu erhalten, muss noch der Stand-by-Energiebedarf addiert werden. Wegen der hohen Anteile des Stand-by ist die Vorhersage des Aufzugs-Energiebedarfs ohne Kenntnis des Stand-by-Bedarfs bzw. der Stand-by-Leistungsaufnahme nur äusserst grob möglich; d.h. die Stand-by-Deklaration oder Messung ist meist die wichtigste Angabe zur Ermittlung des Energieverbrauchs.

Für den Vergleich der Messungen mit dem Berechnungsverfahren müssen Last und Fahrten interpoliert werden, da nur Messungen mit leerer Kabine über die volle Hubhöhe vorliegen. Die Fahrtenzahl ist für den Methodenvergleich nicht relevant. Das Berechnungsverfahren soll Übereinstimmung mit heutigen energetisch guten Aufzügen aufweisen. Bei nicht effizienten Aufzügen kann keine gute Genauigkeit erwartet werden.

Eine detaillierte Vergleichsrechnung wurde mit 7 kleinen bis mittleren, modernen Personenaufzügen der Messkampagne erstellt. Der Vergleich mit dem effektiven Energieverbrauch über eine gewisse Zeit bei normaler Nutzung konnte nicht angestellt werden, da keine Wochenmessungen durchgeführt wurden. Deshalb wurden für den Vergleich drei verschiedene Berechnungsmethoden angewendet und diese mit der Berechnungsmethode nach SIA 380/4 verglichen.

Mit welcher Motorleistung rechnen?

Alle Berechnungsmethoden basieren auf der Motorleistung. Wie in Abschnitt 4.3 dargestellt, beträgt die gemessene maximale Motorleistung zwischen 49% und 135% der Leistungsangaben auf den Typenschildern. Diese Abweichungen wirken sich direkt auf das Berechnungsverfahren aus; d.h. es spielt eine wichtige Rolle, mit welcher Leistung gerechnet wird. Die effektive Leistungsaufnahme ist normalerweise nicht bekannt, so dass die Berechnung sich auf die Typenschild-Angabe stützen muss. Soll der mögliche Fehler kleiner werden, so müssten die Aufzugsfirmen eine Angabe zur tatsächlichen maximalen Leistungsaufnahme machen, etwa als "Nennleistung des Aufzugs". In den laufenden Normierungsarbeiten der ISO könnte dieser Aspekt berücksichtigt werden.

Berechnung nach SIA 380/4 mit der deklarierten Motorleistung

Dies ist die in SIA 380/4 vorgeschlagene Methode und entspricht der oben angegebenen Formel für $E_{F,a}$.

Berechnung mit gemessenen Energien der Leerfahrten auf und ab

Das Integral der Leistung der Leerfahrten über die volle Hubhöhe ergibt die dafür benötigte Energie. Dieser Wert wurde aus den Messungen ermittelt (Fig. 4.11). Mittels durchschnittlicher Belastung und durchschnittlichem Fahrweg wird daraus eine durchschnittliche Fahrt-Energie berechnet. Diese Berechnungsmethode wird in Fig. 4.13 als Bezugsbasis angenommen.

Berechnung mit gemessenen Fahrleistungsbereichen mit Berücksichtigung der Beschleunigung

Werden die Einzelfahrten über die maximale Hubhöhe (leer auf und ab) als Basis für die durchschnittliche Fahrt-Energie genommen, so werden die Beschleunigungsenergien für kleine Fahrdistanzen rechnerisch verkleinert. Die Beschleunigungsenergien sind aber von der Fahrdistanz unabhängig. Deshalb wurden die gemessenen Leistungskurven auf einen linearen Leistungsverlauf untersucht und nur in diesem linearen Leistungsverlauf wurde interpoliert (vgl. Fig. 3.4 oben). Um zu untersuchen ob es beim durchschnittlichen Fahrweg überhaupt eine konstante Geschwindigkeitsphase gibt, wurden Beschleunigungswege und Zeiten grob berechnet. Die Beschleunigungsenergie ist mit dieser Methode weg-unabhängig und wurde nur mit der Last interpoliert. Mittels durchschnittlicher Belastung und durchschnittlichem Fahrweg wurde daraus eine durchschnittliche Fahrt-Energie berechnet.

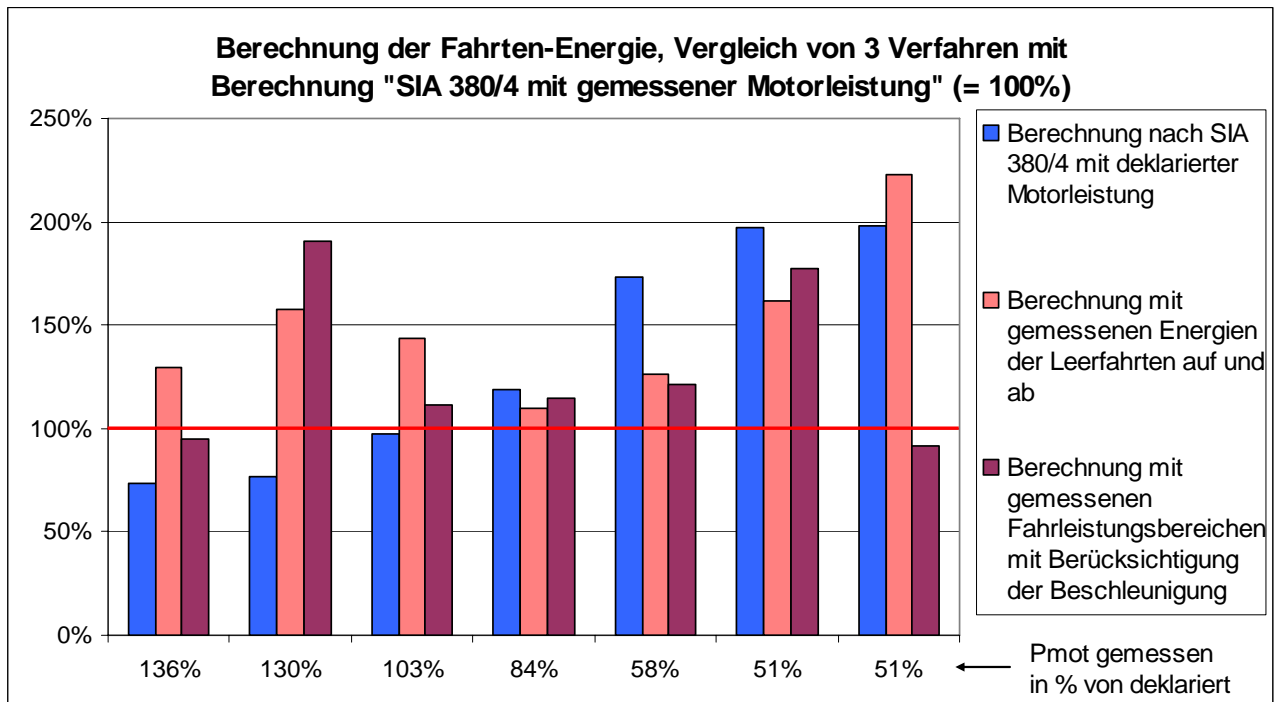


Fig. 4.13 Vergleich der beschriebenen Berechnungsmethoden mit der Methode "SIA 380/4 mit gemessener Motorleistung" als 100%

Kommentare und Folgerungen

1. Berechnung nach SIA 380/4 mit deklariert im Vergleich zu gemessener Motorleistung: Die Abweichung der effektiven (gemessenen) Motorleistung von der deklarierten wirkt sich direkt (etwa umgekehrt proportional) auf die damit berechnete Fahrt-Energie aus.
2. Die Ergebnisse der Berechnung mit gemessenen Energien der Leerfahrten liegen durchwegs (und z.T. viel) höher als jene mit gemessener Motorleistung.
3. Die Berechnung mit Fahrleistungsbereichen unter Berücksichtigung der Beschleunigung liefert meist höhere Werte als jene nach SIA 380/4 mit gemessener Motorleistung (= 100%).

In den Fällen 2 und 3 könnten die höheren Werte z.T. von den hier enthaltenen Beschleunigungsenergien her rühren. Der markante Unterschied zwischen Fall 2 und 3 bei der 7. Anlage wird noch untersucht.

Die Berechnungsmethode für einen bereits dimensionierten Aufzug nach SIA 380/4 kann somit nur brauchbare Ergebnisse liefern unter der Voraussetzung, dass die effektive maximale Motorleistung bekannt ist bzw. deklariert wird.

Die Berechnungsmethoden wie auch die Durchschnittslastfaktoren sollten vertieft untersucht und wo möglich durch gezielte Einzelmessungen verifiziert werden. Die Berechnungsmethode für einen bereits dimensionierten Aufzug nach SIA 380/4 und ihr "Vertrauensbereich" sollte durch eine entsprechende Beschreibung erklärt werden.

5. Einspar-Möglichkeiten und -Potenziale

5.1 Hochrechnung und Zusammensetzung des Verbrauchs

Der Elektrizitätsverbrauch pro Fahrt und pro Jahr für typische Seil-Aufzüge aus der Messkampagne (Fig. 5.1) soll einen Eindruck der Energie-Verhältnisse geben. Wie die Messungen aber zeigen, kann die einzelne Anlage aus verschiedenen Gründen stark davon abweichen.

Gebäude/ Nutzung	Nutzlast	Geschwindigkeit	Halte	Wh pro Fahrt	Fahrten pro Jahr	kWh pro Jahr inkl. Stand-by	% Stand-by
Wohnhaus klein:	630 kg	1 m/s	6	4	40'000	950	83%
Büro/Wohnhaus mittel:	1000 kg	1.5 m/s	8	13	200'000	4'350	40%
Spital, Büro gross:	2000 kg	2 m/s	12	19	700'000	17'700	25%

Fig. 5.1 Energieverbrauch typischer Seil-Aufzüge (Technik C gemäss Fig. 2.3 und 4.8)

Nutzung	Anzahl Aufzüge	%	Typischer Aufzug								Hochrechnung gem. SIA380/4								
			k1	k2	Etagen	Hubhöhe	Fahrten pro Jahr	Geschwindigkeit	Leistungsaufnahme		Energie			Kosten			% von Energie Total		
									Motor	Stand-by	Stand-by	Fahrt	Total	Stand-by	Fahrt	Total	Stand-by	Fahrt	Total
					m	m/s	kW	W	GWh	GWh	GWh	Mio CHF	Mio CHF	Mio CHF					
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 / Warenaufzug	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

Fig. 5.2 Energieverbrauch und -Kosten der Aufzüge, Hochrechnung Schweiz (Aufteilung nach Nutzungen geschätzt). k1 = Durchschnittslastfaktor, k2 = Hubhöhenfaktor, gemäss Formel im Abschnitt 4.6

Die Hochrechnung zeigt, dass der Stand-by-Verbrauch mit 58% den Energieverbrauch der Aufzüge dominiert. Dies würde wohl noch verstärkt gelten, wenn die aufzugsartigen Anlagen ausserhalb des Verordnungsbereichs (also Schräg-, Treppenaufzüge etc., Fahrtreppen) mit betrachtet würden, welche relativ wenige Fahrten oder aber einen grossen Leerlaufanteil (Fahrtreppen) aufweisen.

5.2 Ansätze zur Verminderung des Stand-by-Verbrauchs

Der Stand-by-Verbrauch setzt sich aus vielen Anteilen zusammen, die sich im Lauf der Zeit unterschiedlich entwickelt haben. Bezüglich Energieeffizienz gibt es zwei schwer wiegende "Sünden", welche den Stand-by-Verbrauch unnötig vergrössern, nämlich konstant eingeschaltetes Kabinenlicht sowie permanente Kraft in der Tür-Zuhaltung. In Fig. 5.3 rechnen wir diese Verbräuche zum Stand-by, obwohl sie nach Definition nicht Stand-by wären.

Auch beim Stand-by-Verbrauch gemäss heutigem "Stand der Technik" sollten weitere Verminderungen möglich sein, z.B. durch:

- Ausschalten der Frequenzumrichter-Steuerung und anderer Steuerungsfunktionen bei Stillstand. In Schwachlastzeiten ist ein tieferer Bereitschaftszustand denkbar, ähnlich der "Sleep-Funktion" bei elektronischen Geräten, welcher u.U. etwas längere Wartezeiten (Aufwachzeit) zur Folge haben könnte.
- Effizientere Netzteile (Schaltnetzteile, Ringkerntrafos).
- Bei den Anzeigen sind mit LED effiziente Möglichkeiten gegeben, welche mit geeigneter Ansteuerung umfassend genutzt werden müssen (z.B. zu hohe Spannung durch Wandler statt Widerstände abbauen).

Die **Beleuchtung** zählt zwar nur im "Sündenfall" zum Stand-by, trägt aber bei Aufzügen mit hohen Fahrtzahlen auch bei Abschaltung nicht unwesentlich zum Gesamt-Elektrizitätsverbrauch bei, wenn uneffiziente Lampen/Leuchten verwendet werden ([Halogen-] Glühlampen). Hier könnten die Aufzugsanbieter neben dem Design auch die Effizienz als Kriterium berücksichtigen bzw. entsprechende Varianten vorschlagen.

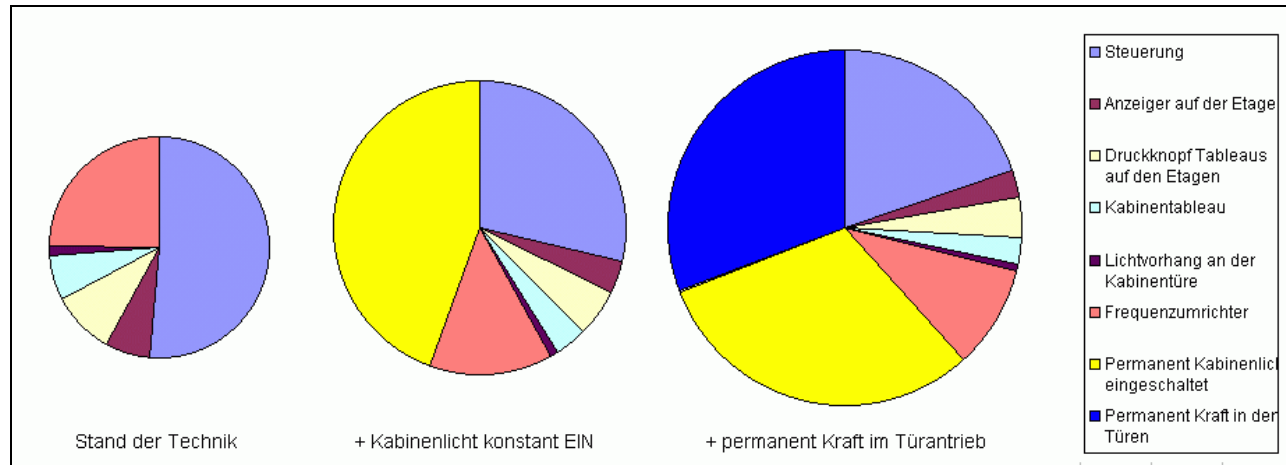


Fig. 5.3 Zusammensetzung des Stand-by-Verbrauchs, Beispiel (Quelle: U. Lindegger). Die Stand-by-Leistungsaufnahme ohne "Sünden" (Stand der Technik) beträgt für einen Wohnhausaufzug rund 40 bis 150 W.

Es ist nicht ganz einfach, herauszufinden, ob die Beleuchtung bei Nichtgebrauch abgeschaltet ist, da die meisten Aufzüge kein Glas in den Türen haben. Somit bleibt einerseits die Erkundigung beim Hersteller bzw. Service, andererseits die Messung mittels Datenlogger mit Lichtsensor.

5.3 Entwicklungen bei der Antriebstechnik

Hydraulik- versus Seilaufzug

Die Messungen bzw. auch die Recherche haben gezeigt, dass der bisher generell als uneffizient eingestufte Hydraulikaufzug im Vergleich mit Seilaufzügen nicht schlechter abschneiden muss, wenn moderne Technologien eingesetzt werden. Dies ist erst zögernd der Fall, weil die Investitionskosten etwas höher liegen. Die Vorteile wegen der u.U. kleineren benötigten Motorleistungen können aber auch kostenmindernd wirken. Zur Zeit werden verschiedene Techniken angeboten und sind z.T. noch in Erprobung (vgl. auch Fig. 2.3):

- Regelung statt Steuerung des Ventils
- Gegengewicht (bei "Hydraulik indirekt" möglich)
- Energiespeicher (statt Gegengewicht)

Rückspeisefähige Umrichter

Ein idealer Aufzug würde bei der Aufwärtsfahrt gleich viel Energie ins Netz zurückspeisen wie er zuvor bei der Abwärtsfahrt benötigt hat. Das Verhältnis zurückgespeicherter Energie zu benötigter Energie wäre also 100%. Ein realer Aufzug kann nicht während der ganzen Aufwärtsfahrt Energie zurückspeisen, da zum Beschleunigen, Bremsen und Stoppen ebenfalls Energie benötigt wird. Die Rückspeise-Elektronik hat ihre Limiten wenn der Motor (in diesem Falle als Generator arbeitend) nicht genügend Spannung erzeugt. Für das Verhältnis der zurückgespeisten Energie bei der Aufwärtsfahrt dividiert durch die benötigte Energie während beiden Fahrten (Rekuperationsgrad) zeigt sich:

Kleine Aufzüge (630 kg, 1.6m/s) erreichen Rekuperationsgrade unter 30%

Grössere Aufzüge (2200 kg, 2.5m/s) kommen bis zu 40%

Bei Fahrten kleiner als die ganze Schachtlänge reduzieren sich diese Werte weiter. Vor allem übermotorisierte Aufzüge, welche dauernd beschleunigen und abbremsen und somit kaum mit konstanter Geschwindigkeit fahren, werden deshalb besonders schlechte Werte liefern.

Energie rückzuspeisen kann zu Problemen mit dem Stromlieferanten führen, da im Normalfall Strom geliefert und nicht zurückgespeist wird. Die meisten rückspeisefähigen Antriebe finden sich jedoch in grossen Gebäudekomplexen, welche die zurückgespeiste Energie in anderen haustechnischen Anlagen selbst konsumieren und somit keine Probleme mit dem Stromlieferanten verursachen.

Vergleicht man das Potential an Energieeinsparungen mittels rückspeisefähigen Umrichtern mit dem Stand-by-Verbrauch, kann folgendes gezeigt werden:

Annahme: Ein kleiner Aufzug in einem Wohnhaus benötigt 45% der totalen Energie um die Kabine zu bewegen, der Rest ist Stand-by (vgl. Fig. 4.4).

30% Energieeinsparung von 45% Fahr-Energie ergibt 14% Energieeinsparung für den Einsatz von rückspeisefähigen Umrichtern bei kleinen Aufzügen und dies mit eher optimistischen Annahmen. Da rückspeisefähige Umrichter mehr Elektronik haben, wird der Stand-by-Verbrauch höher sein und somit die zu erwartenden Rekuperationsgrade kleiner als oben berechnet.

14% Energie einzusparen durch Reduktion des Stand-by-Bedarfes scheint z.Zt. einfacher und weniger teuer zu sein als dafür einen heutigen rückspeisefähigen Umrichter einzusetzen. Das Ziel sollte aber sein, beides zu reduzieren: Stand-by- und Fahr-Energie.

Bei grossen Aufzügen mit vielen Fahrten ist es jedoch offensichtlich, dass rückspeisefähige Umrichter energetisch und wirtschaftlich sinnvoll sind. Aber grosse Aufzüge haben tendenziell auch einen grossen Stand-by-Verbrauch (Fig. 4.2 rechts). Deshalb lohnt es sich auch dort, Effizienzmassnahmen zu studieren: Ventilatoren abzuschalten, gezielte Abschaltung von (Komfort-) Funk-

tionen über Nacht, Wochenende, analog zu den Sparmassnahmen bei Laptop-Computern, welche praktisch nur die Geschwindigkeit des Rechnens und Aufstartens von Programmen reduzieren.

Matrix-Umrichter

Bei einem klassischen Umrichter sind die 3 Phasen des Netzes auf einen Gleichrichter geführt welcher daraus den DC Zwischenkreis erzeugt. Dieser DC Zwischenkreis speist eine Brücke von Schaltelementen (IGBT, Thyristoren, Transistoren) welche die 3 Phasen mit variabler Spannung und Frequenz erzeugen. 6 Schaltelemente und 6 Dioden werden dazu benötigt. Bei einem rückspeisefähigen Umrichter wird der Eingangsgleichrichter ersetzt durch eine zweite Brücke von Schaltelementen. Dadurch werden 12 Schaltelemente benötigt.

Ein Matrix-Umrichter hat keinen DC Zwischenkreis und verspricht deshalb weniger Verluste zu haben. Er kann direkt die Eingangsphasen zu den gewünschten Ausgangsphasen durchschalten. Die Schaltelemente müssen dabei in der Lage sein stromrichtungs-unabhängig zu unterbrechen. Dazu werden 9 bidirektionale Schaltelemente oder 18 klassische Schaltelemente benötigt. Matrix-Umrichter brauchen eine komplizierte Ansteuerelektronik, haben dadurch höheren Stand-by-Bedarf, brauchen grössere Netzfilter, sind teurer und anfälliger für Defekte. Das Sicherheitskonzept eines Aufzugs kann den Energiefluss zum Motor und Umrichter direkt abschalten. Dies bedeutet eine Stress-Situation für den Matrix-Umrichter und kann zum Defekt führen. Die Erfahrung zeigt, dass der Aufzug eine herausfordernde Anwendung für den Matrix-Umrichter ist.

Ein Umrichter muss die Aufzugskabine stoppen können und zwar auch wenn die Verbindung zum Netz unterbrochen wird. Das kann durch einen Notstopp geschehen wo der Sicherheitskreis die Energiezufuhr trennt oder durch Auslösen von Sicherungen. Normalerweise ist dies die Aufgabe des Bremsstellers welcher sich am DC Zwischenkreis befindet. Da ein Matrix Umrichter keinen DC Zwischenkreis hat, ist diese Aufgabe schwieriger zu implementieren.

Matrix Umrichter für kleinere Leistungen scheinen technisch einfacher beherrschbar zu sein. Bedingt durch den höheren Stand-by-Bedarf und die grösseren Netzfilter ist es fraglich ob diese Technologie insgesamt energieeffizienter ist. Weitere Entwicklungen werden dies zeigen, wobei das Potenzial nicht überschätzt werden darf.

Linearmotor als Aufzugsantrieb

In verschiedenen industriellen Bewegungsaufgaben konnte sich der Linearmotor bereits etablieren, insbesondere wegen des Vorteils weniger bewegter Teile und genauer Positionierung.

Für den beweglichen Teil eines Linearmotors (Rotor) bevorzugt man typischerweise Permanentmagnete und für den Stator eine Wicklung. Für einen Aufzug stellt sich somit zuerst die Frage: Wo ist die Wicklung und wo sind die Magnete? Ist der Stator der Schacht und der Rotor die Kabine, so erhält man eine ausgedehnte Wicklung durch den ganzen Schacht. Die Verluste in einer solchen Wicklung machen diese Anordnung zum Energiefresser. Kehrt man das Prinzip um, so hat man über den ganzen Schacht Permanentmagnete. Um die gewünschte magnetische Kraft zu erhalten, müssen seltene Erden-Magneten verwendet werden, typischerweise sind das Neodym-Magnete. Die Menge dieser Magnete macht diese Lösung sehr teuer. Eine solche Magnetbahn ist auch ein Eisenfänger, es gibt Aufwand zur Reinhaltung.

Im Vergleich zu einem rotierenden Motor weist ein Linearmotor für Aufzüge einen grossen Luftspalt auf. Dies wirkt sich energetisch nachteilig aus. Eine andere Herausforderung ist, dass die horizontale Anziehungskraft zwischen Statorwicklung und Permanentmagnet wegen des vertikalen Luftspalts um ein Vielfaches höher ist als die vertikale Kraft, welche zum Heben und Beschleunigen benötigt wird. Dadurch ist die Führung problematisch und erzeugt grössere Reibungsverluste.

Die Aufzugsindustrie hat mehrere Versuche mit Linearmotoren unternommen, aber bis jetzt hat sich kein Produkt am Markt behaupten können.

5.4 Energiebewusst planen und bestellen

Aufzugsanlagen zur Erschliessung von Gebäuden sind heute auch bei geringen Geschosshöhen nicht mehr wegzudenken, dies auch im Hinblick auf den zunehmenden Anteil der älteren Personen. Dies gilt sowohl für bestehende als auch für neue Gebäude.

Es ist daher sinnvoll, bei einem zunehmenden Bestand an Aufzugsanlagen der Energieeffizienz entsprechende Beachtung zu schenken. Bei der Planung der notwendigen Transportkapazität von Aufzügen sind daher die folgenden Aspekte zu beachten:

Bedarf an Transportkapazität

Als Planungsgrundlage ist der Transportkapazitäts-Bedarf aufgrund folgender Parameter zu bestimmen:

- Gebäude-Typ (Wohnhaus, Bürogebäude, etc.)
- Gebäude-Belegung (Anzahl Personen pro Geschoss)
- Lage der Aufzüge (Verkehrswege, Stauräume, etc. übersichtliche Räume)
- Verkehrsmuster (Füllbetrieb, Zwischenstockverkehr, etc.)

Bestimmung der Anzahl und Grösse der Aufzüge

Die Anzahl der Aufzüge wird aufgrund des erwarteten Verkehrsbedarfs gemäss dem Bedarf an Transportkapazität festgelegt.

Bei der Bestimmung der Kabinengrösse gelten allgemein die folgenden Regeln:

- Für Wohnhausaufzüge bis ca. max. 5 Obergeschosse ist in der Regel ein Aufzug mit Nutzlast 630 kg mit einer Kabinenabmessung von 1,1 x 1,4 m (Innenmasse) zu wählen (Rollstuhltransport!)
- Für Wohnhochhäuser mit Geschosshöhen über 7 Obergeschosse ist mindestens 1 Aufzug mit 1000 kg Nutzlast mit Abmessungen 1,1 x 2,1 m vorzusehen (Transport von Möbeln und Krankentragebahnen). Dabei stellt sich die Frage des 2. Aufzuges!
- Für alle übrigen Gebäudearten sind detaillierte Verkehrsanalysen durchzuführen

Die sinnvolle Aufzugsgeschwindigkeit

Mit Rücksicht auf den Energieverbrauch werden die folgenden Regeln empfohlen:

Theoretische Fahrzeit für die ganze Hubhöhe:

- für Wohnhäuser 25 bis 35 Sekunden
- für Geschäftshäuser, Hotels und Spitäler 20 bis 32 Sekunden

Da für Beschleunigen/ Bremsen Zeit einzurechnen ist, ergeben sich etwas höhere Geschwindigkeiten. Die folgenden Beispiele mit den angegebenen theoretischen Fahrzeiten zeigen, dass für Wohnhäuser bis 6 Geschosse die minimal üblichen 0.63 m/s normalerweise ausreichen. Aus den Überlegungen zur Transportkapazität kann sich ergeben, dass ein etwas schnellerer Lift u.U. den Einbau eines zweiten ersparen kann. Bei Geschäftshäusern sind Geschwindigkeiten über 1 m/s erst über etwa 8 Geschosse wirklich sinnvoll.

Beispiele resultierender Geschwindigkeiten für die theoretischen Fahrzeiten:

- Wohnhaus 4 Geschosse, 9 m Hubhöhe 0.36 bis 0.26 m/s
- Geschäftshaus 10 Geschosse, 27 m 0.84 bis 1.35

Wahl eines energieeffizienten Aufzugssystems

Die folgenden Konstruktionsmerkmale haben Einfluss auf die Energieeffizienz der Aufzüge:

- Systemarchitektur: Aufhängung zentrisch / exzentrisch, etc.
Wenig (Reibungs-) Verluste ergeben sich z.B. bei zentrischer Aufhängung und reibungsarmen Führungselementen.
- Antrieb:
 - Motortyp (z.B. geregelt, ungeregelt)
 - Getriebetyp (z.B. Schnecke, besser: Planeten-Getriebe, Gearless d.h. ohne Getriebe)
 - Art des Fahrtablaufs (Beschleunigungswerte etc.)
- Steuerung:
 - Lift Kommando-Steuerung; Taxi-Betrieb, Sammelbetrieb, etc.
 - Evtl. nach Tagesphase ändern, u.U. gibt es eine Einstiegscheu bei Sammelsteuerung
 - Energieverbrauch im Stand-by Modus berücksichtigen!

6. Umsetzungsmöglichkeiten

6.1 Fachartikel

Die wichtigsten Erkenntnisse des Forschungsprojekts und die Einspar-Möglichkeiten und Potenziale sollen in einem Fachartikel gut lesbar zusammengefasst werden. Publikationsmöglichkeiten sind in erster Linie Fachzeitschriften der Aufzugsbranche, aber auch tec21 (Periodikum des SIA), Electrosuisse-Bulletin und – evtl. mit einer speziell auf Besteller zugeschnittenen Version – Publikationen der Immobilienbranche und der Hauseigentümer.

6.2 SIA-Norm 380/4 Elektrische Energie im Hochbau

Die neue Norm SIA 380/4 wird im Verlauf des Jahres 2006 fertig gestellt und in Kraft gesetzt, so evtl. dass noch Hinweise zur Planung eingefügt werden können. Diese können auch in die zur Norm zu schaffende Anwendungs-Dokumentation einfließen.

6.3 Interne Aktivitäten der Aufzugsindustrie

Die Messungen haben überraschend deutlich gezeigt, dass der Stand-by-Verbrauch in einer grossen Zahl der Einsatzfälle für den Elektrizitätsverbrauch ausschlaggebend ist. Von anderen, von den technischen Anforderungen ähnlichen Anwendungen ist bekannt, dass der Stand-by-Verbrauch – einmal als wichtig erkannt – sich mit vertretbarem technischem Aufwand stark vermindern lässt. Mit den Ergebnissen des Forschungsprojekts dürfte die Wichtigkeit klar geworden sein und es ist zu hoffen, dass neue Aufzugssteuerungen wesentlich energieeffizienter sein werden.

Es ist vorgesehen, dass der VSA in einer Sitzung der Technischen Kommission über die Erkenntnisse der Studie informiert wird.

6.4 Internationale Einflussmöglichkeiten

ISO/TC 178 "Lifts, escalators and moving walks" hat eine Work Group gebildet welche sich mit Energieeffizienz beschäftigt. Das Sekretariat TC 178/WG 10 "Energy efficiency of Lifts, escalators and moving walks" befindet sich in Korea bei KATS (Korean Agency for Technology and Standards).

Obwohl Aufzüge oft von Energievorschriften ausgenommen sind, hat ISO/TC178 eine pro-aktive Haltung und eine Work Group Energieeffizienz gebildet. Ziel ist eine Standardisierung des Energiemanagements in der Aufzugs- und Rolltreppen-Industrie zu erreichen. Ein Teilziel ist, Messmethoden zu definieren und zu harmonisieren bevor unterschiedliche lokale Standards geschrieben werden. Dazu ist ein Energie-Standard in Entwicklung, welcher Richtlinien zum Energiebedarf beinhaltet, wie sie in der EC Direktive 2002/91/EC (Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden) gefordert sind:

- Messung des Energiebedarfs
- Überprüfen der Energiekonformität auf Gebäude-Ebene
- Methoden zur Vorausbestimmung des Energiebedarfs. Diese Berechnung wird von einer benannten Stelle des Mitgliedstaates durchgeführt, welche nicht zwingend Aufzugs-Experten-Wissen hat.
- Empfehlungen zur Energieeinsparung

Dieser Energie-Standard hat an der Plenarsitzung in Toronto vom September 2005 das Stadium Committee Draft erreicht. Durch die Beteiligung der Schweiz in ISO/TC178 via SNV, konnte eine

Übereinstimmung mit der schweizerischen Norm SIA 380/4 für die Berechnungsmethode des Energiebedarfs erreicht werden.

Nebst diesem ersten Standard welcher Energiemessung und Performance beinhaltet, plant ISO/TC 178/WG 10 einen zweiten Teil zu starten, welcher sich mit Energieeffizienz befasst. Ein Hauptthema dabei ist, ein Energie-Bewertungsverfahren zu definieren, was vor allem in Asien ein starker Wunsch ist. Ein erster Vorschlag dazu ist ein Sterne-System wie bei den Hotels üblich. Eine Alternative wäre ein System mit Energieklassen A bis G. Weitere vorgeschlagene Themen sind:

- Methode zur Deklaration der Energie-Performance durch den Hersteller oder Zertifizierungsstelle
- Richtlinien zur Energieeffizienz
- Energieeffizienz oder -Management auf Gebäude-Ebene und für Aufzugsgruppen

7. Quellenverzeichnis

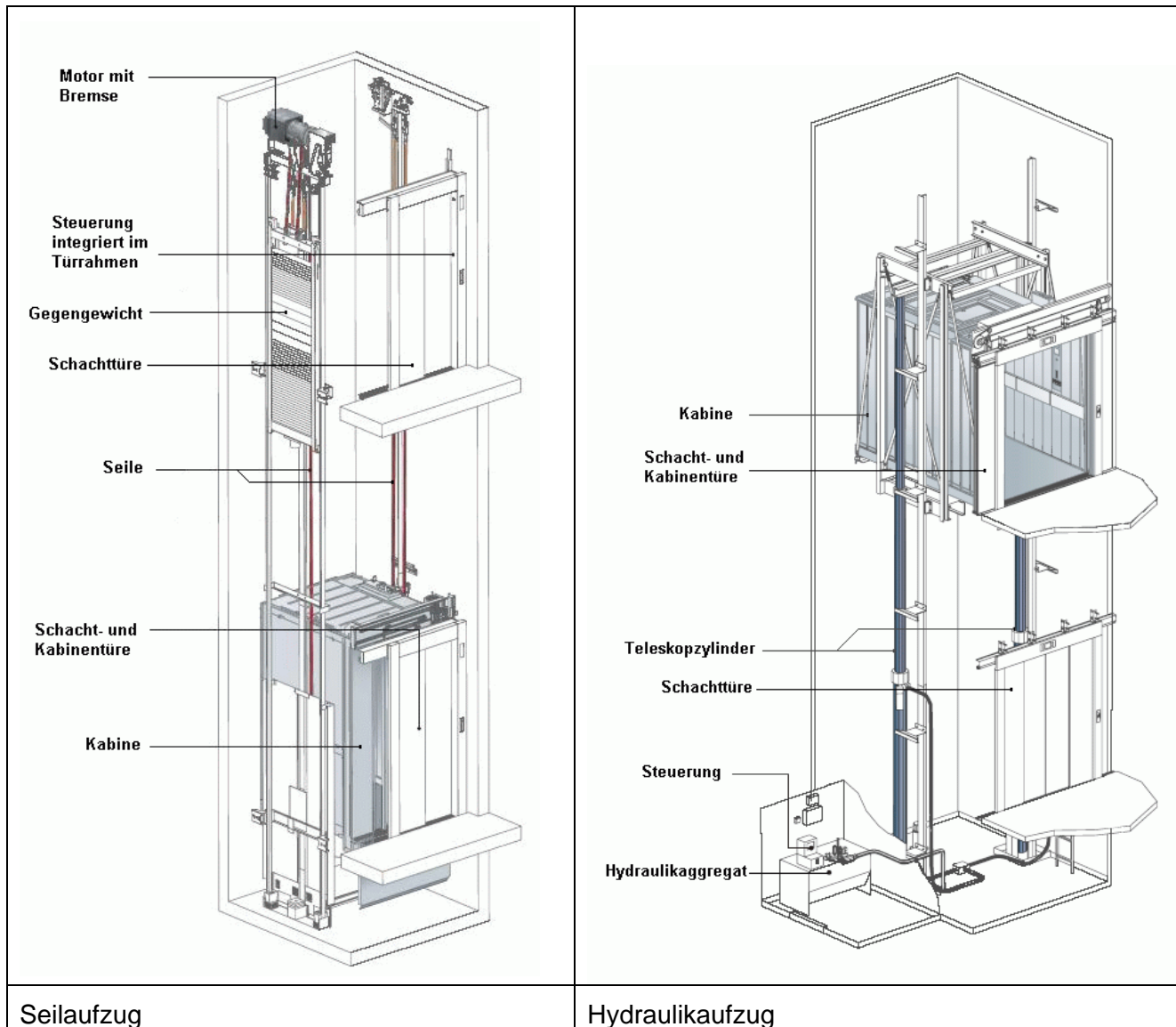
- [1] Machbarkeitsstudie Datenerhebung im Programm "Elektrizität", Verbrauchergruppen ... Haustechnik..., J. Nipkow et al, BFE 2000
 - [2] Norm SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau (Vernehmlassungsversion 2005)
 - [3] Bericht zu SIA 380/4: Energetische Vorgänge während der Fahrt eines Aufzugs, M. Lenzlinger, 2005/2006
- Zahlreiche Informationen aus der Schweizer Aufzugsindustrie www.aufzuege.ch

Internetadressen der im Projekt involvierten Aufzugsfirmen:

AS Aufzüge, 9016 St. Gallen	www.lift.ch
Aufzüge Boltshauser Schweiz AG, 9327 Trübbach	www.aufzuege-boltshauser.ch
Bucher Hydraulics AG, 6345 Neuheim	www.bucherhydraulics.com
Emch Aufzüge AG, 3027 Bern	www.emch.com
Kone (Schweiz) AG, 8303 Bassersdorf	www.kone.com
Otis Aufzüge, 1752 Villars-sur-Glâne	www.otis.com
Schindler Aufzüge AG, 6030 Ebikon	www.schindler.ch
ThyssenKrupp Aufzüge AG, 8153 Rümlang	http://www.thyssenkrupp-aufzuege.ch

8. Anhang

8.1 Aufbau moderner Aufzüge



Bilder: Schindler

8.2 Glossar zu energierelevanten Aspekten bei Aufzügen

Das nachstehende Glossar wurde aus Glossaren aus den Internet-Sites der Aufzugsfirmen Otis Aufzüge und ThyssenKrupp Aufzüge AG erstellt, gekürzt und redaktionell angepasst, und z.T. ergänzt.

Antriebsmaschine — das Antriebsaggregat, das die für das Aufwärts- bzw. Abwärtsfahren eines Personenaufzuges, Lastenaufzuges, Kleingüteraufzuges oder den Antrieb einer Fahrtreppe, eines Schrägaufzuges oder eines Fahrsteiges notwendige Energie liefert.

Bedientableau – In klassischen Aufzügen handelt es sich um ein in der Kabine montiertes Tableau, mit dem der Aufzug vom Benutzer angesteuert wird. Alle Tasten und Anzeigeelemente sind hier angebracht. Mit der neuen, modernen Entwicklung der Zielauswahlsteuerung ist in der Kabine kein Bedientableau erforderlich, dieses befindet sich dann auf der Etage, vor der Schachttür.

Bremse — eine elektromechanische Einrichtung, die verhindert, dass der Aufzug bewegt wird, wenn er angehalten hat und kein Strom am Aufzugsmotor anliegt. Bei einigen Steuerungen hält die Bremse den Aufzug auch an, wenn der Aufzugsmotor keinen Strom hat.

Fahrkorb – Besteht aus einem Fangrahmen mit den Führungselementen, der Seilaufhängung und der Fangvorrichtung sowie aus der in diesen Rahmen eingesetzten Kabine. Um Schwingungen während des Fahrtetriebs zu vermeiden, wird die Kabine isoliert in den Rahmen eingesetzt.

Fangvorrichtung – Sicherheitsvorrichtung zur Absturzsicherung von Aufzugskabinen und ggf. auch von Gegengewichten. Diese Vorrichtungen werden von einem Geschwindigkeitsbegrenzer ausgelöst, sobald eine deutliche Überschreitung der Betriebsgeschwindigkeit vorliegt.

Frequenzumrichter (FU) – Motorsteuerung, welche eine stufenlose Drehzahlveränderung mit optimalem Wirkungsgrad erlaubt.

Führungsschienen — T-Profile aus Stahl mit bearbeiteten Oberflächen, die senkrecht im Schacht eingebracht werden, um die Aufzugskabine und die Aufzugsgegengewichte im Schacht zu führen.

Gegengewicht — ein Gewicht, das das Gewicht des Aufzuges zuzüglich 40 bis 50% der Traglast ausgleicht.

Getriebelose Maschine (gearless) — eine Aufzugsmaschine, bei der die Schachtseile über eine direkt mit dem Anker des Motors verbundene Traktionstreibscheibe laufen. Sie wird als getriebelos bezeichnet, weil keine Reduktionsgetriebeeinheit verwendet wird.

Getriebemaschine — eine Traktionsmaschine, bei der die Energie vom Motor zur Treibscheibe über Reduktionsgetriebe übertragen wird.

Gruppensteuerung – Aufzugssteuerung für mehrere Aufzüge, welche die Aufrufe der Benutzenden bezüglich Wartezeit (i.d.R.) optimiert (Mikroprozessorsteuerung). Es könnten auch energetische Kriterien einbezogen werden.

Hubhöhe (Förderhöhe) – Abstand zwischen der untersten und obersten Haltestelle eines Aufzuges.

Hydraulikaufzug — ein Aufzug, bei dem die Energie über eine Flüssigkeit unter Druck auf einen Zylinder übertragen wird, dessen Kolben die Antriebsbewegung erzeugt.

Maschinenraum — der Raum, in dem sich die Antriebsmaschine für einen Aufzug oder eine Gruppe von Aufzügen, Kleingüteraufzügen, Fahrtreppen oder eine Gruppe von Fahrtreppen befindet.

Seilaufzug – Aufzugssystem, bestehend aus Fahrkorb und Gegengewicht, die über Seile miteinander verbunden sind und über die Treibscheibe angetrieben werden.

Standortanzeiger — eine in der Etage montierte Signalanzeige, aus der man entnehmen kann, wenn sich eine Aufzugskabine der Haltestelle nähert und in welche Richtung diese fährt.

Steuerung – Sie setzt die Eingaben des Benutzers in entsprechende Aktionen des Aufzuges um. Moderne Steuerungen basieren auf Mikroprozessoren.

Taxi-Betrieb – Aufzugssteuerung, welche das Anhalten "unterwegs" erlaubt, um Wartezeit und Förderkapazität zu optimieren.

Türantrieb — eine auf die Tür montierte Antriebseinrichtung, welche die Schacht- und Kabinentüren öffnet und schließt.

Wartezeit – Zeit, die der Aufzugsbenutzer nach dem Betätigen des Rufknopfes wartet, bis der Aufzug eintrifft. Die Wartezeit ist ein wichtiges Bewertungskriterium für Aufzüge. In der Planungsphase des Gebäudes wird anhand von Simulationen die Wartezeit für die Aufzüge berechnet. Nach diesen Berechnungen werden die Aufzüge ausgelegt (z.B. Größe der Kabinen, Anzahl der Aufzüge, Fahrgeschwindigkeit, Einsatz der Zielauswahlsteuerung, etc.).

Zielauswahlsteuerung – Intelligentes Steuerungssystem bei dem der Aufzugsbenutzer sein Ziel vor dem Betreten der Kabine in einen zentralen Bedienterminal eingibt. Das System weist ihm den Aufzug, der ihn am schnellsten zu seinem Ziel bringt (vgl. Gruppensteuerung).

8.3 Herleitung des Durchschnittslastfaktors (Technologiefaktors) k1

- Traktionsaufzug**

Das Gegengewicht bewirkt, dass bei 50% der Kabinennennlast der Motor keine Masse heben muss.

Last in der Kabine	Richtung	Motorlast in % der Nennlast	Durchschnittliche Fahrtenzahl für diesen Zustand
100%	up	100%	0%
	down		0%
75%	up	50%	5%
	down		5%
50%	up	0%	5%
	down	0%	5%
25%	up		15%
	down	50%	15%
0%	up		25%
	down	100%	25%

Durchschnittslastfaktor: $(25 \cdot 100 + 15 \cdot 50 + 5 \cdot 50) / 100 = 35\%$

- Traktionsaufzug mit rückspeisefähigem Antrieb**

Die vorherige Tabelle wird ergänzt mit der Annahme: 40% der Energie kann zurückgespeist werden (vgl. Abschnitt 5.3).

Last in der Kabine	Richtung	Motorlast in % der Nennlast	Durchschnittliche Fahrtenzahl für diesen Zustand
100%	up	100%	0%
	down	-100%*40%	0%
75%	up	50%	5%
	down	-50%*40%	5%
50%	up	0%	5%
	down	0%	5%
25%	up	-50%*40%	15%
	down	50%	15%
0%	up	-100%*40%	25%
	down	100%	25%

Durchschnittslastfaktor: $[(25 \cdot 100 + 15 \cdot 50 + 5 \cdot 50) - 0.4 \cdot (25 \cdot 100 + 15 \cdot 50 + 5 \cdot 50)] / 100 = 0.6 \cdot (25 \cdot 100 + 15 \cdot 50 + 5 \cdot 50) / 100 = 0.6 \cdot 35\% = 21\%$

- **Hydraulik-Aufzug (ohne Gegengewicht)**

Annahmen:

- Leeres Kabinengewicht = Nennlast
- Kein Gegengewicht, der Motor muss das leere Kabinengewicht plus die aktuelle Last heben.

Last in der Kabine	Richtung	Motorlast in % der Nennlast	Durchschnittliche Fahrtenzahl für diesen Zustand
100%	up	100% (2.0*Nennlast)	0%
	down	0%	0%
75%	up	87.5% (1.75*Nennlast)	5%
	down	0%	5%
50%	up	75% (1.5*Nennlast)	5%
	down	0%	5%
25%	up	62.5% (1.25*Nennlast)	15%
	down	0%	15%
0%	up	50% (1.0*Nennlast)	25%
	down	0%	25%

Durchschnittlastfaktor: $(25*50+15*62.5+5*75+5*87.5)/100 = 30\%$

- Bei **anderen Aufzugstechnologien** wie: Andere Balance (z.B. 40% statt 50%), andere Verhältnisse von Kabinengewicht zu Last, Trommelaufzüge, Hydraulik-Aufzüge mit Gegengewicht oder Duckausgleichsbehälter, etc. kann der Durchschnittlastfaktor von den vorherigen Tabellen abgeleitet werden.