

# **Grundlagenbericht für die Beurteilung und Berechnung des elektrischen Ener- gieverbrauchs von Aufzugsanlagen**

Stand: März 2003

## Impressum

Auftraggeber	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Selnaustrasse 16 Postfach 8039 Zürich	
Auftragnehmer	Lemon Consult GmbH Hofstrasse 1 CH 8030 Zürich	
Verfasser	Winfried Seidinger Dieter Mehr Herbert Fritz	Lemon Consult Schindler Ebikon Schindler Ebikon
Verteiler	Dr. Martin Lenzlinger	SIA 380/4 Kommission
Dateibezeichnung	20098_06_Transportanlagen4.doc	
Stand	17. März 2003	

## Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung.....	4
2. Statistik.....	4
3. Nutzung, Grösse (Förderlast).....	6
4. Anzahl Fahrten $F$ .....	7
5. Fahrgeschwindigkeit $v$ .....	8
6. Antriebsleistung $P_n$ .....	9
7. Mittlere Fahrdauer $t_m$ .....	11
8. Auslastung / Mittlerer Leistungsbedarf $f_{mL}$ .....	12
9. Beleuchtung $Q_{bl}$ und Steuerung $Q_{st}$ .....	17
10. Energiebedarfsberechnung von Aufzugsanlagen.....	18
11. Vorschlag Grenz- und Zielwert.....	19
12. Literaturangaben.....	20

## 1. Aufgabenstellung

Für die Überarbeitung der Empfehlung SIA 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“ werden weitere Elektroenergieverbraucher hinsichtlich deren Relevanz untersucht.

Im vorliegenden Bericht sind die Grundlagen für die Beurteilung und Ermittlung des Energieverbrauchs von Aufzugsanlagen zusammengestellt.

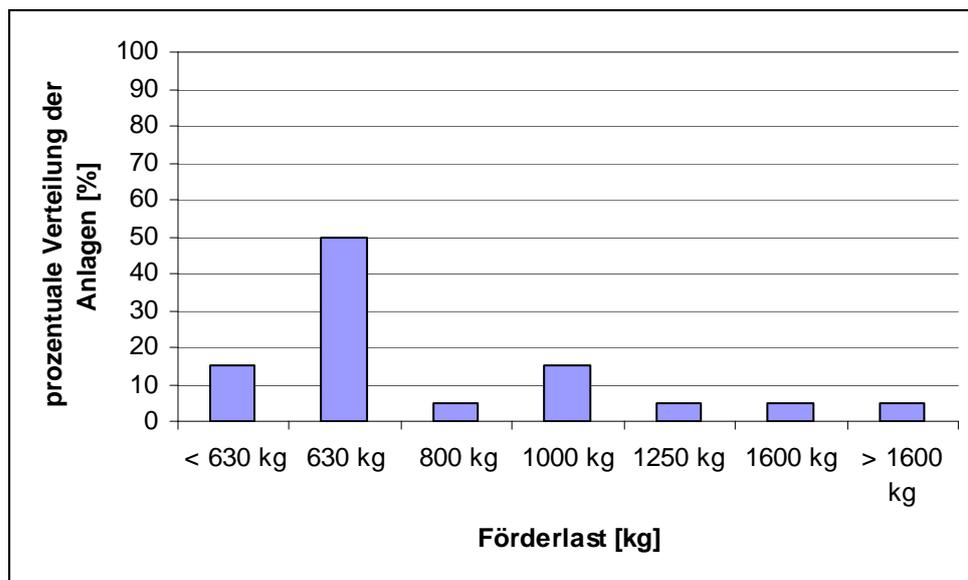
Folgende Aufgaben wurden definiert:

- Kurzbeschreibung der Geräte und Anlagen des betreffenden Verwendungszwecks mit groben Werten für den Stromverbrauchs
- Gewichtung der verschiedenen Geräte und Anlagen innerhalb des Verwendungszwecks nach Häufigkeit und Verbrauch
- Gewichtung des betreffenden Verwendungszwecks im Vergleich zu anderen Verwendungszwecken
- Vorschlag für Berechnungsmethoden und Anforderungen für die „gewichteten“ Geräte und Anlagen

## 2. Statistik

Gemäss Angaben der Firma Schindler sind in der Schweiz ca. 140'000 Traktionsaufzugsanlagen installiert. Die Anzahl von Aufzugsanlagen mit Hydraulikantrieb werden auf ca. 25'000 geschätzt.

In den folgenden Grafiken sind die prozentuale Verteilung der Aufzugsanlagen dargestellt.



Figur 1. Prozentuale Aufteilung der Aufzugsanlagen

Der Gesamtenergieverbrauch für Aufzugsanlagen in der Schweiz kann auf ca. 300 GWh/a geschätzt werden.

Der Energieverbrauch einer Aufzugsanlage ist von den folgenden Komponenten abhängig:

1. Nutzung
2. Grösse (320, 450, 630, 800, 1000.... kg)
3. Fahrgeschwindigkeit (0.63 – 4 m/s)
4. Mittlere Fahrdauer, Förderhöhe (Anzahl Halte),
5. Antriebssystem (Seilzug-Feinabsteller, Seilzug mit FU, Hydraulik etc.)
6. Kabinenbeleuchtung
7. Kommandosteuerung

### 3. Nutzung, Grösse (Förderlast)

In Abhängigkeit der Nutzung werden Standardaufzugsanlagen angeboten:

*Figur 2. Standard-Aufzugsanlagen in Abhängigkeit der Nutzung  
Fa. Schindler*

	Personen- Aufzüge	Personen- /Waren- Aufzüge	Betten- Aufzüge	Service- Aufzüge	Lasten- Aufzüge
320 kg (4 Pers.)	x				
450 kg (6 Pers.)	x				
630 kg (8 Pers.)	x	x			
800 kg (10 Pers.)	x	x			
1000 kg (13 Pers.)	x	x			x
1250 kg				x	x
1600 kg			x	x	x
2000 kg			x	x	x
2500 kg					x
3200 kg					x
4000 kg					x
5000 kg					x

Für die Dimensionierung der Grösse und Anzahl von Aufzugsanlagen bieten Hersteller Auslastungssimulationen an. Mit Hilfe dieser Simulationsrechnungen kann die Anzahl Fahrten pro Tag ermittelt werden.

## 4. Anzahl Fahrten F

In der folgenden Tabelle sind die Anzahl Fahrten für verschiedene Nutzungen aufgeführt:

Figur 3. Anzahl der Fahrten pro Nutzung

Nutzung	Durchschnitt [Fahrten/d; Fahrten/a]	Höchstwert bei 90% aller Aufzüge [Fahrten/d]
Wohnhaus	250 / 91'000	275
Bürohaus	800 / 200'000	1000
Öffentl. Verwaltung	800 / 200'000	1000
Hotel	1200 / 437'000	1500
Spital	2000 / 728'000	2700
Industrie	700 / 175'000	800
Verkauf, Shoppingcenter	1600 / 480'000	2000
Bahnhof, Flughafen	2100 / 764'000	2500

Darin enthalten sind auch Leerfahrten, wenn der Lift geholt wird.

## 5. Fahrgeschwindigkeit v

Die Wahl der Fahrgeschwindigkeit ist abhängig von der Nutzung und von der Förderhöhe. Bei einem Hochhaus wäre ein Lift mit einer Fahrgeschwindigkeit von 1 m/s viel zu langsam.

Mit folgender Formel kann die erforderliche Fahrgeschwindigkeit abgeschätzt werden:

$$v = h / y$$

v = Fahrgeschwindigkeit in m/s

h = Förderhöhe in Meter

y = Komfortkriterium

y = 20 für hohen Komfort

y = 25 für mittleren Komfort

y = 30 für bescheidenen Komfort

Beispiel: Spital mit 8 Geschossen, Stockwerkhöhe 3.0 m

$$\text{Förderhöhe} = (8 - 1 \text{ Stockwerke}) * 3.0 \text{ m} = 21 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Fahrgeschwindigkeit für bescheid. Komfort} &= 21 / 30 &= 0.7 \text{ m/s} \\ &&\rightarrow 0.63 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fahrgeschwindigkeit für mittleren Komfort} &= 21 / 25 &= 0.84 \text{ m/s} \\ &&\rightarrow 1.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fahrgeschwindigkeit für hohen Komfort} &= 21 / 20 &= 1.1 \text{ m/s} \\ &&\rightarrow 1.6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

## 6. Antriebsleistung $P_n$

$$P_n = m * g * v * 10^{-3} / \eta$$

$P_n$  = Motoren Antriebsleistung in kW

$m$  = Nutzlast + Kabinengewicht – Gegengewicht in kg

Kabinengewicht:

bei Personenaufzug = 1 - 2 x Nutzlast

bei Transportaufzug = 1 - 1.5 x Nutzlast

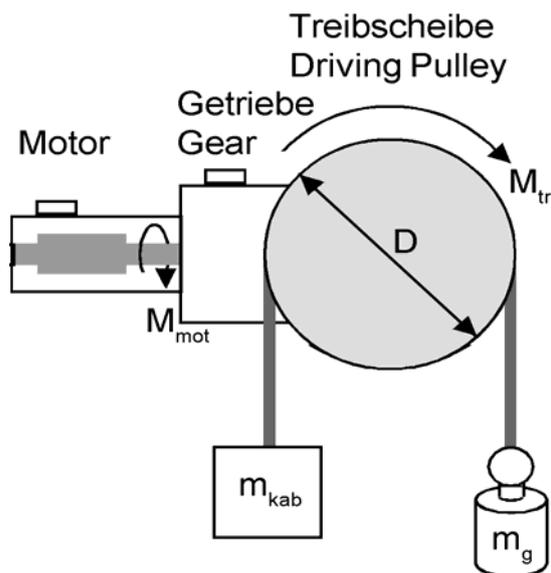
bei Hochgeschwindigkeitsaufzug = 2 - 3.5 x Nutzlast

Gegengewicht = Kabinengewicht +  $\frac{1}{2}$  Nutzlast

$g$  = Erdbeschleunigung =  $9.81 \text{ m/s}^2$

$v$  = Fahrgeschwindigkeit in m/s

$\eta$  = Wirkungsgrad (Getriebe x Schacht)



Beispiel:

Nutzlast 2000 kg

Kabinengewicht 3000 kg

Gegengewicht 4000 kg

Fahrgeschwindigkeit 1.0 m/s

Eta 0.55 (Schneckengetriebe)

$$P = (2000 \text{ kg} + 3000 \text{ kg} - 4000 \text{ kg}) * 9.81 * 1.0 * 10^{-3} / 0.55 = 17.8 \text{ kW}$$

-> 18.5 kW Normmotor

Figur 4. Motorennennleistung bei Traktionsaufzügen

Motorenleistung P <sub>n</sub> in kW	0.63 m/s	1.0 m/s	1.6 m/s	2.5 m/s	3.15 m/s	4.0 m/s	5.0 m/s	6.0 m/s
320 kg (4 Pers.)	3.0	3.0	5.5	7.5	7.5	11.0	11.0	15.0
450 kg (6 Pers.)	3.0	4.0	7.5	11.0	11.0	15.0	18.5	22.0
630 kg (8 Pers.)	4.0	5.5	11.0	15.0	15.0	18.5	22.0	30.0
800 kg (10 Pers.)	5.5	7.5	11.0	18.5	18.5	22.0	30.0	37.0
1000 kg (13 Pers.)	5.5	11.0	15.0	18.5	22.0	30.0	37.0	45.0
1250 kg	7.5	11.0	15.0	22.0	30.0	37.0	45.0	55.0
1600 kg	11.0	15.0	18.5	30.0	37.0	45.0	55.0	75.0
1800 kg	11.0	18.5	22.0	35.0	45.0	55.0	75.0	75.0
2000 kg	11.0	18.5	22.0	35.0	45.0	55.0	75.0	90.0
2500 kg	15.0	22.0	30.0	45.0	55.0	75.0	90.0	
3000 kg	18.5	30.0	37.0	55.0	75.0	90.0		
5000 kg	30.0	45.0	55.0	90.0				

	Getriebe	Motor	Schacht	eta gesamt
	0.75 - 0.80 Schneckengetriebe	0.8 Asynchronmotor	0.8 - 0.85	0.50 - 0.55
	0.95 Planetengetriebe	0.8 Asynchronmotor	0.8 - 0.85	0.60 - 0.65
	Direkttraktion Ohne Getriebe	0.8 - 0.85 Synchronmotor + FU	0.8 - 0.85	0.65 - 0.70

Der neue Eurolift von Schindler passt nicht in das obige Schema. Dieser Typ ist im Bereich von 320 – 1600 kg mit Nenngeschwindigkeiten bis 1.6 m/s erhältlich und ist mit Direkttraktionsantrieb ausgestattet.

Hydraulikaufzüge benötigen das 2.5 – 3 fache der Nennleistung von Traktionsaufzügen, da diese nicht mit Gegengewichten ausgestattet sind.

## 7. Mittlere Fahrdauer $t_m$

Die mittlere Fahrdauer einer Aufzugsfahrt setzt sich aus Fahrzeit mit Fahrgeschwindigkeit und Anfahr-/ Anhaltezeit zusammen. Die Anfahr- / Anhaltezeit ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Lifts:

Figur 5. Anfahr- und Anhalteverzögerungszeit

Fahr- geschwindigkeit	0.63 m/s	1.0 m/s	1.6 m/s	2.5 m/s	3.15 m/s	4.0 m/s	5.0 m/s	6.0 m/s
Anfahr- / Anhalte- zeit je	2.0 s	2.4 s	2.9 s	3.7 s	4.3 s	5.1 s	6.0 s	6.9 s

Die Anfahr- und Anhaltezeit kann überschlägig mit folgender Formel errechnet werden:

$$\text{Anfahr- / Anhaltezeit} = \text{Fahrgeschwindigkeit} * 0.9 + 1.45$$

Als durchschnittliche Fahrstrecke wird die halbe Förderhöhe angesetzt.

$$\text{Durchschnittliche Fahrstrecke} = \text{Förderhöhe} / 2$$

Beispiel: 8 Haltestellen, 3.0 m Geschosshöhe,  
Fahrgeschwindigkeit des Lifts 1.0 m/s

$$\text{Förderhöhe (8 - 1 Haltestelle) * 3 m} = 21 \text{ m}$$

$$\text{Durchschnittl. Fahrstrecke} = 21 \text{ m} / 2 = 10.5 \text{ m}$$

$$\text{Fahrzeit} = 10.5 \text{ m} / 1.0 \text{ m/s} = 10.5 \text{ Sekunden}$$

$$\text{Anfahr-+ Anhaltezeit} / 2 = 2.4 \text{ Sekunden}$$

$$\text{Mittlere Fahrdauer } t_m = 12.9 \text{ Sekunden}$$

## 8. Auslastung / Mittlerer Leistungsbedarf $f_{mL}$

Die grösste Anzahl der Bewegungen sind Leerfahrten. Ein grosser Teil der Fahrten erfolgt im Teillastbereich. Fahrten mit der vollen Kabinennutzlast treten so gut wie nie auf.

Figur 6. Mittlere Auslastung der Aufzüge

Kabinenbeladung %	Fahrtrichtung	Anteil Fahrten %
100	Auf	0
	Ab	0
75	Auf	5
	Ab	5
50	Auf	5
	Ab	5
25	Auf	10
	Ab	10
0	Auf	30
	Ab	30

Die Fahrt kann in drei Stufen unterteilt werden.

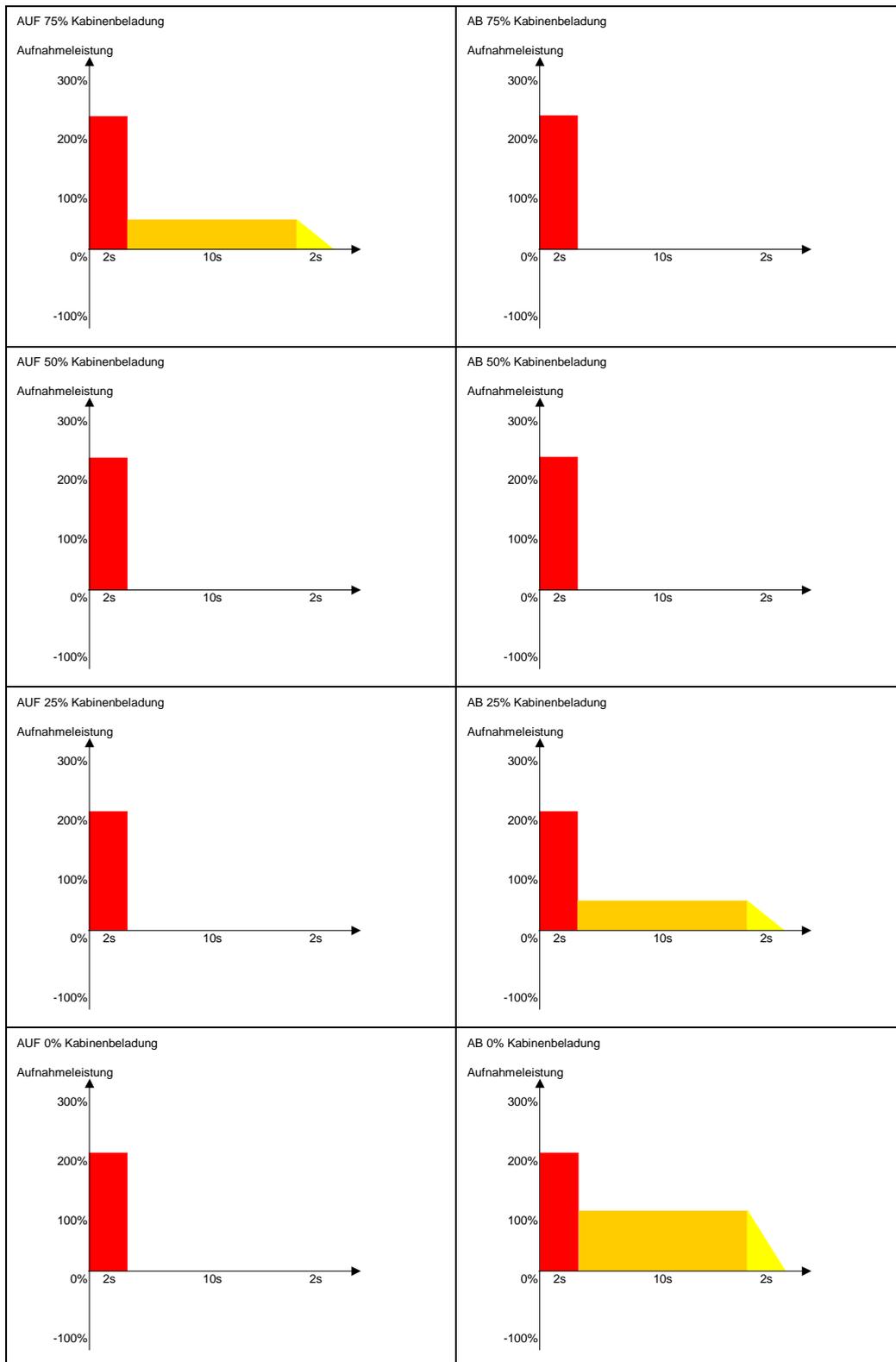
1. Anfahren (Beschleunigen)
2. Fahrt bei Nenngeschwindigkeit
3. Anhalten (Abbremsen)

In Abhängigkeit der Fahrtrichtung, Nutzlast und Antriebssystem ist der Leistungsbedarf unterschiedlich.

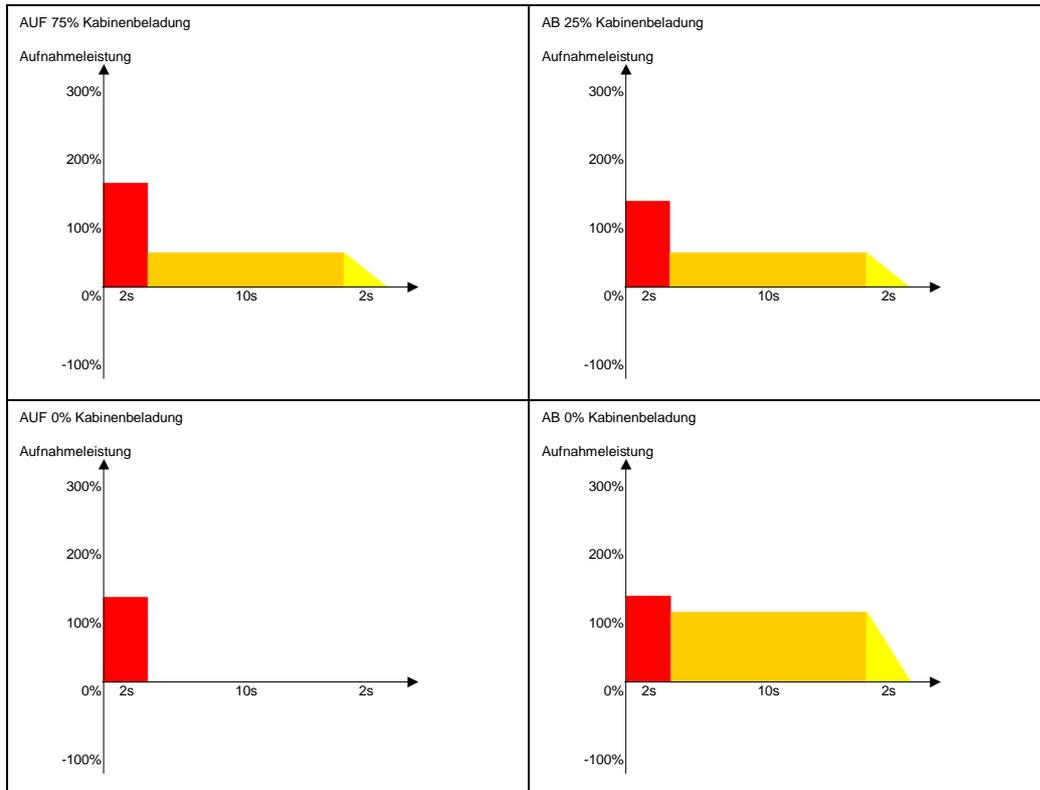
Es werden folgende Antriebssysteme unterschieden:

- Traktionsaufzug Feinabsteller
- Traktionsaufzug spannungsgeregelt
- Traktionsaufzug FU-geregelt
- Traktionsaufzug FU-geregelt mit Rekuperation
- Hydraulikaufzug

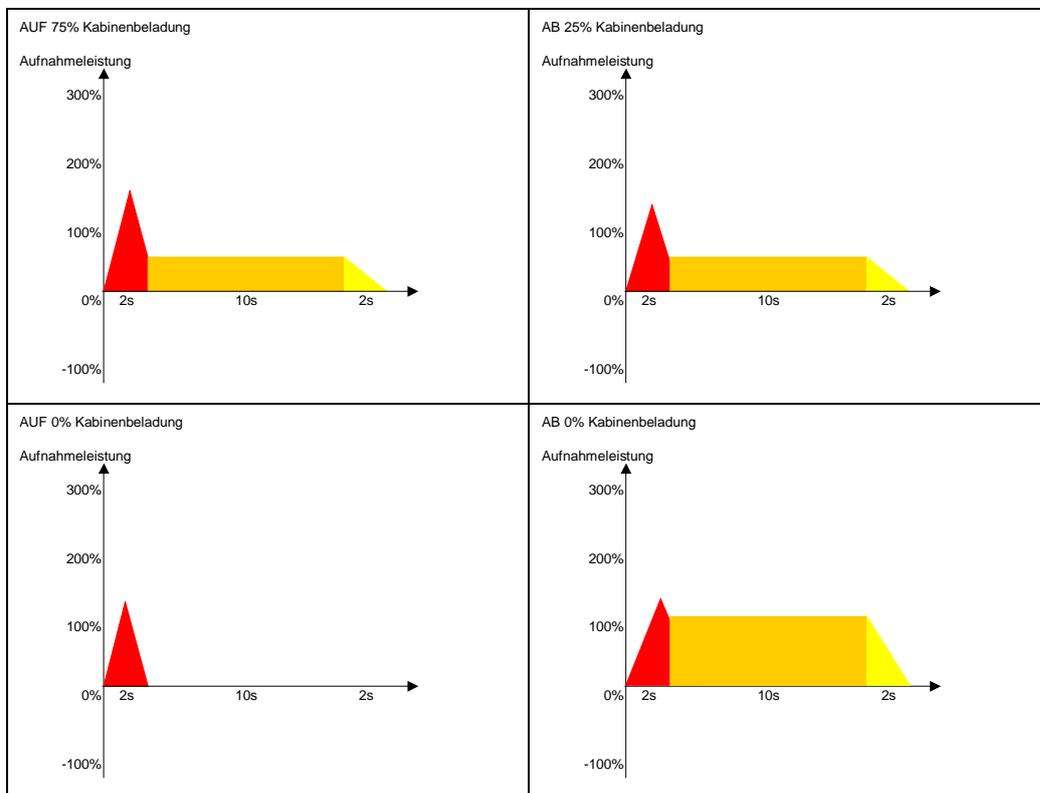
Figur 7. Traktionsaufzug Feinabsteller



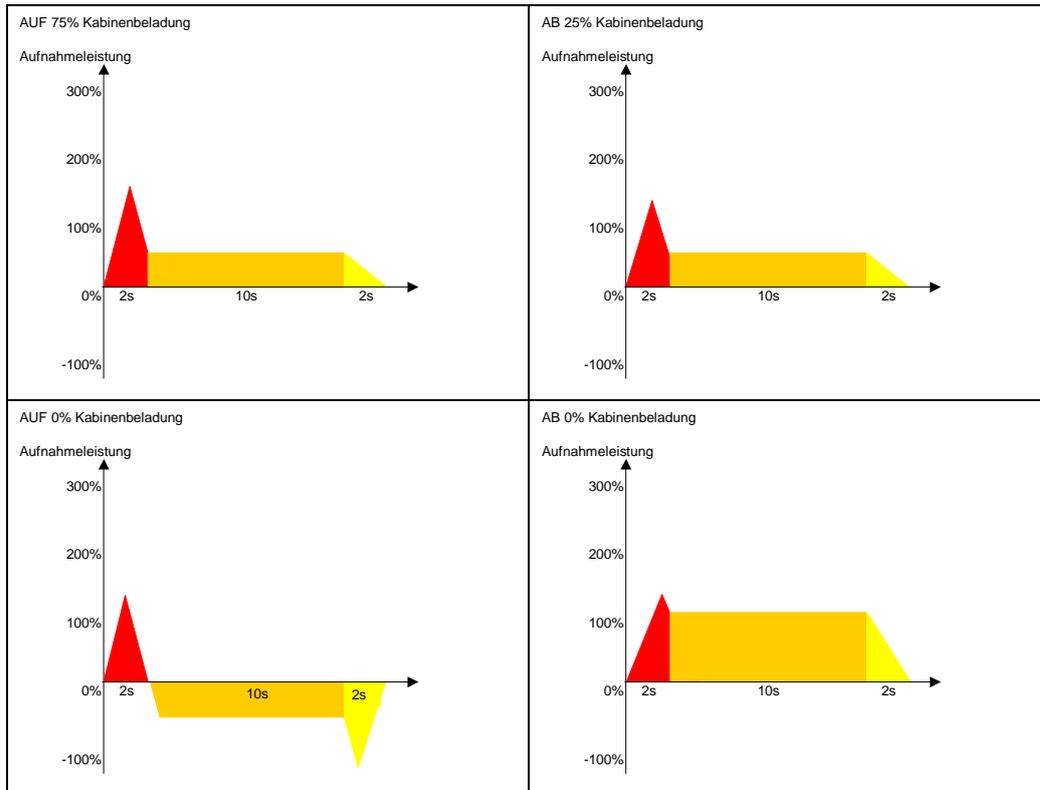
Figur 8. Traktionsaufzug spannungsgeregt



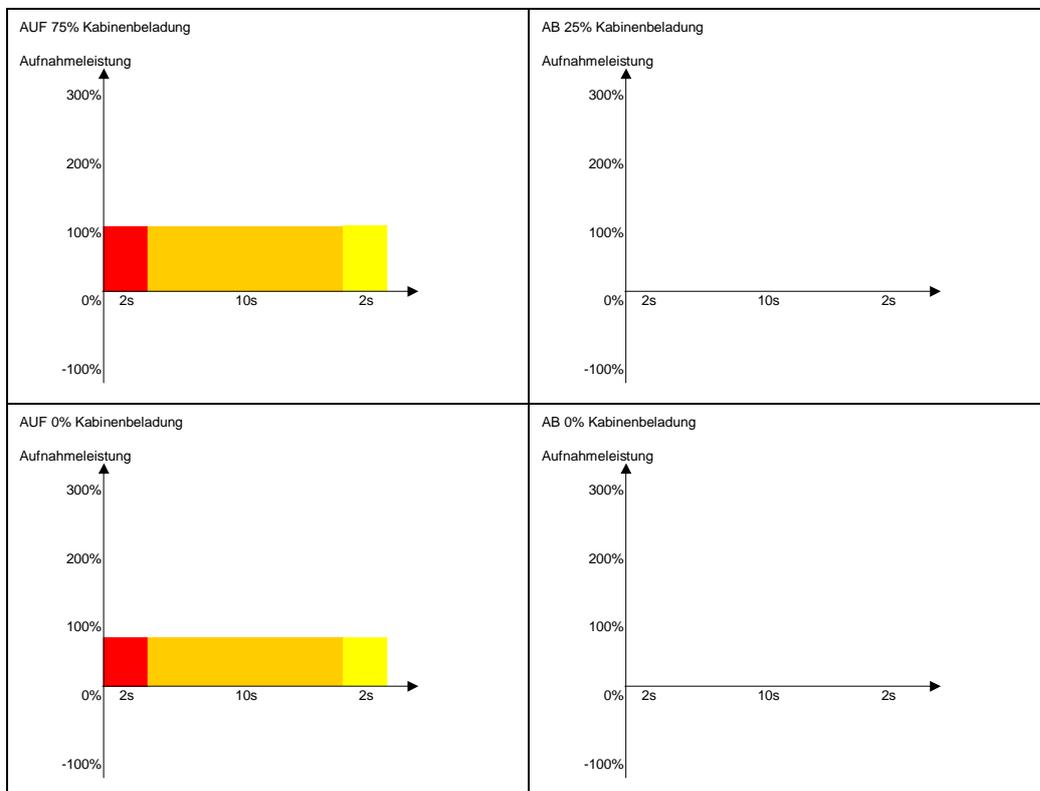
Figur 9. Traktionsaufzug FU-geregt



Figur 10. Traktionsaufzug FU-geregelt mit Rekuperation



Figur 11. Hydraulikaufzüge\*



\* Hydraulikaufzüge benötigen im Vergleich zu Traktionsaufzügen das 2.5 – 3 fache an Nennleistung.

*Figur 12. Mittlerer Leistungsbedarf unter Berücksichtigung der Auslastung*

Antriebssystem	Anfahren	Fahrt mit Nenn- geschwindigkeit	Bremsen	Mittlerer Leistungsbedarf in Prozent der Nennleistung $f_{mL}$
Traktionsaufzug Feinab- steller	205%	40%	20%	60%
Traktionsaufzug span- nungsgeregelt	130%	40%	20%	50%
Traktionsaufzug FU- geregelt	65%	40%	20%	40%
Traktionsaufzug FU- geregelt mit Rekuperation	65%	20%	10%	25%
Hydraulikaufzug*	35%	35%	35%	35%

## 9. Beleuchtung $Q_{bl}$ und Steuerung $Q_{st}$

Der Energieverbrauch einer Aufzugsanlage wird zudem wesentlich von der Steuerung und der Beleuchtung beeinflusst.

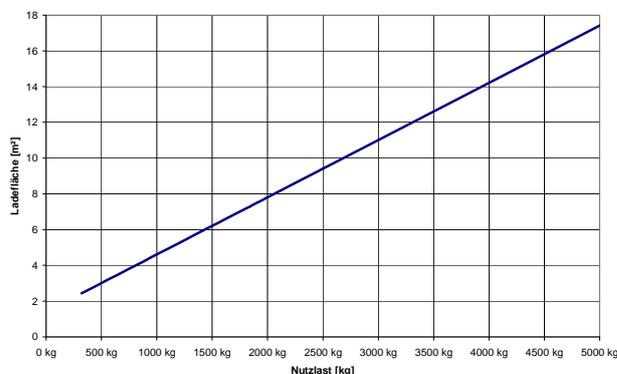
Für die Steuerung kann eine Leistung von 150 –200 Watt im Standby und 400 – 450 Watt für den Betrieb angesetzt werden. Darin enthalten ist auch der Leistungsbedarf für die Bremsen. Im Mittel resultiert eine Leistung von ca. 200 - 300 Watt mit einer Vollaststundenzahl pro Jahr von 8760 Stunden.

Daraus resultiert für die Steuerung ein Energiebedarf von ca. 1.7 - 2.6 MWh/a pro Lift.

->  $Q_{st}$  im Mittel = 2.2 MWh/a

Für die Beleuchtung kann im Mittel 12 – 20 Watt pro  $m^2$  Ladefläche angesetzt werden. Die Beleuchtung wird eingeschaltet so bald die Türe aufgeht oder der Lift fährt. In der Regel bleibt die Beleuchtung einige Zeit (Sekunden oder wenige Minuten) über die Fahrt hinaus eingeschaltet.

Figur 13. Ladefläche in Abhängigkeit der Nutzlast



Daraus resultiert ein Energieverbrauch bei einem 1000 kg Büroaufzug

$$Q_{bl} = 15 \text{ W/m}^2 * 5 \text{ m}^2 * (14.7 \text{ Sek. Fahrzeit} + 15 \text{ Sek. Nachlaufzeit}) / 3600 * 800 \text{ Fahrten} / \text{d} * 250 \text{ d/a} * 10^{-6} = 0.12 \text{ MWh/a}$$

Bei einer längeren Nachlaufzeit kann die Beleuchtung in einem Bürolift über die gesamte Nutzungszeit von 2750 h/a eingeschaltet sein. Dann resultiert ein max. Energiebedarf von:

$$15 \text{ W/m}^2 * 5 \text{ m}^2 * 2750 \text{ h/a} * 10^{-6} = 0.2 \text{ MWh/a}$$

Der Energieverbrauch für Beleuchtung ist bei neuen Anlagen zu gering und wird deshalb nicht berücksichtigt.

## 10. Energiebedarfsberechnung von Aufzugsanlagen

Der Energieverbrauch errechnet sich wie folgt:

$$Q_{\text{aufz}} = Q_{\text{an}} + Q_{\text{st}} = (P_n * f_{\text{mL}} * t_m * F * 10^{-3} / 3600) + 2.2 \text{ MWh/a}$$

$Q_{\text{aufz}}$  = Energieverbrauch Aufzug (exkl. Beleuchtung) in MWh/a

$Q_{\text{an}}$  = Energieverbrauch Antrieb in MWh/a

$Q_{\text{st}}$  = Energieverbrauch Steuerung = 2.2 MWh/a

$P_n$  = Nennleistung Motor in kW

$f_{\text{mL}}$  = mittlerer Leistungsbedarf in Abhängigkeit des Antriebsystems

$t_m$  = Mittlere Fahrdauer in Sekunden

$F$  = Anzahl Fahrten pro Jahr

Anhand eines Beispiels wird der Energiebedarf für Aufzugsanlagen ermittelt.

Beispiel Spital, 8 Haltestellen, 3.0 m Geschosshöhe  
6 Bettenaufzüge 2000 kg mit Gegengewicht, Feinabsteller

Förderhöhe:

$$h = (8 - 1) * 3.0 = 21 \text{ m}$$

Fahrgeschwindigkeit für mittleren Komfort:

$$v = 21 / 25 = 0.84 \text{ m/s} \rightarrow 1.0 \text{ m/s}$$

Mittlere Fahrdauer:

$$t_m = 21 \text{ m} / 2 / 1.0 \text{ m/s} = 10.5 \text{ Sek.} + 2.4 \text{ Sek.} = 12.9 \text{ Sekunden}$$

Energieverbrauch der Bettenaufzüge:

$$Q_{\text{an}} = (18.5 \text{ kW} * 0.6 * 12.9 \text{ Sek.} * 10^{-3} / 3600 \text{ Sek./h} * 2000 \text{ Fahrten/d} * 364 \text{ d/a}) = 29 \text{ MWh/a}$$

$$Q_{\text{st}} = 2.2 \text{ MWh/a}$$

$$Q_{\text{aufz}} = 29 \text{ MWh/a} + 2.2 \text{ MWh/a} = 31 \text{ MWh/a}$$

$$\text{Total} = 6 \text{ Aufzüge} * 31.2 \text{ MWh/a} = 187 \text{ MWh/a}$$

## 11. Vorschlag Grenz- und Zielwert

Anhand der nachfolgenden Tabelle ist der Strombedarf für eine Aufzugsanlage in einem Bürohaus in Abhängigkeit des Komforts und Antriebsystems dargestellt.

### Aufzugsanlagen

Nr.	Anlagen Bezeichnung	Nutzung	Förderhöhe [m]	Grösse/Last [kg]	Fahrgeschwindigkeit [m/s]	Komfort	Gegen-gewicht [ja/nein]	Motoren-Nennleistung [kW]	Antriebs-system	mittlerer Leistungsbedarfs Faktor	mittlere Fahrzeit [Sek.]	Anzahl Fahrten pro Jahr [Fahrten/a]	Vollast-stunden [h/a]	Energieverbrauch Antrieb [MWh/a]	Energieverbrauch Steuerung [MWh/a]	Gesamtenergieverbrauch [MWh/a]
1	Bettenlift	Spital	21	2000	0.63	tiefer	ja	11	Feinabsteller	0.60	18.7	728000	2267	24.9	2.2	27.1
2	Bettenlift	Spital	21	2000	0.63	tiefer	ja	11	spannungsgeregt	0.50	18.7	728000	1889	20.8	2.2	23.0
3	Bettenlift	Spital	21	2000	0.63	tiefer	ja	11	FU-geregt	0.40	18.7	728000	1511	16.6	2.2	18.8
4	Bettenlift	Spital	21	2000	1	mittlerer	ja	18.5	Feinabsteller	0.6	12.9	728000	1559	28.8	2.2	31.0
5	Bettenlift	Spital	21	2000	1	mittlerer	ja	15	spannungsgeregt	0.50	12.9	728000	1299	19.5	2.2	21.7
6	Bettenlift	Spital	21	2000	1	mittlerer	ja	15	FU-geregt	0.4	12.9	728000	1039	15.6	2.2	17.8
7	Bettenlift	Spital	21	2000	1.6	hoher	ja	30	spannungsgeregt	0.50	9.5	728000	956	28.7	2.2	30.9
8	Bettenlift	Spital	21	2000	1.6	hoher	ja	22	FU-geregt	0.4	9.5	728000	765	16.8	2.2	19.0
9	Bettenlift	Spital	21	2000	1.6	hoher	ja	22	FU-geregt mit Reкуп.	0.25	9.5	728000	478	10.5	2.2	12.7

Für den Grenzwertbetrachtung schlagen wir folgende Kombination vor (im obigen Beispiel rot markiert):

- mittlerer Komfort
- Seilaufzug Feinabsteller

Für die Zielwertbetrachtung schlagen wir folgende Kombination vor (im obigen Beispiel grün markiert):

- tiefer Komfort
- Seilzug FU geregelt (ohne Rekuperation)

## 12. Literaturangaben

- Strom rationell nutzen; RAFEL-Handbuch, BFK, vdf Verlag 1992
- ISO/FDIS 4190-1: 1999