

Lifts – Energy efficiency –
Components

Einsprüche bis 2012-11-30

- vorzugsweise in Tabellenform als Datei per E-Mail an gbg@vdi.de
Die Vorlage dieser Tabelle kann abgerufen werden unter <http://www.vdi-richtlinien.de/einsprueche>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik
Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	3
3 Begriffe	3
4 Formelzeichen	3
5 Ermittlung der Angaben und Kennwerte	3
5.1 Stillstandsbedarf	3
5.2 Fahrtbedarf	3
5.3 Betriebsmodi	4
5.4 Angaben zu Komponenten vom Komponentenhersteller	5
5.5 Messverfahren und -geräte für die Bestimmung der Leistungen in den verschiedenen Betriebsmodi	5
6 Komponenten und Komponentengruppen	5
6.1 Übersicht	5
6.2 Sonstige Komponenten	9
6.3 Komponenten, die durch die Betriebsmodi vollständig beschrieben sind	9
6.4 Komponenten, für die zusätzliche Angaben notwendig sind	10
6.5 Triebwerke	11

Inhalt	Seite
6.6 Passive Komponenten mit Einfluss auf den Schachtwirkungsgrad	13
6.7 Berechnung der Kennzahlen nach VDI 4707 Blatt 1 anhand der Komponenten	14
7 Beispielrechnungen	14
7.1 Hydraulikaufzug	15
7.2 Seilaufzug	18
Anhang A Schachtwirkungsgrad	22
A1 Wirkungsgrad Fahrkorbführung, Gegen- bzw. Ausgleichsgewichtsführung, Zylinderjochführung	22
A2 Wirkungsgrad Umlenkrollen im Schacht	22
A3 Wirkungsgrad Hängeseile	22
A4 Luftwiderstand	22
A5 Joch	22
Anhang B Triebwerk Seil	23
Anhang C Hydraulikantrieb	27
C1 Berechnung der Fahrzeiten	27
C2 Berechnung der Wirkungsgrade	27
C3 Berechnung des Leistungsbedarfs	28
Anhang D Beispielrechnung für die Gewichtung der Betriebsmodi	30
Schrifttum	31

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)
Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

VDI-Handbuch Aufzugstechnik

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie waren beteiligt:

Wolfgang Adldinger, Wiedenzhausen

Thomas Birnbaum, Pliening

Tim Ebeling, Vechelde

Jörg Hellmich, Bergisch Gladbach

Markus Höfle, Wiedenzhausen

Conradin Jost, Neuheim (CH)

Lars Kollmorgen, Köln

Kai Kügler, Filderstadt

Dr. Holger König, Hennef

Volker Lenzner, Neuhausen a. d. F.

Thomas E. Lernet, München

Urs Lindegger, Ebikon (CH)

Friedhelm Meermann, Herbolzheim

Michael Puttrus VDI, Großbeeren

Karl-Michael Renz, Osnabrück

Frank Siebert, Sigmaringen

Undine Stricker-Berghoff VDI, Hamburg

Uli Vetter, Künzelsau

Thomas Wollstein VDI, Düsseldorf

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/4707.

Einleitung

Die Richtlinie VDI 4707 Blatt 2 behandelt die Energieeffizienz von Aufzugskomponenten.

Ziel der Richtlinie ist es, die Grundlagen für die Beurteilung und Kennzeichnung des Energiebedarfs von Aufzugsanlagen nach VDI 4707 Blatt 1 festzulegen. Diese Richtlinie beschreibt die vom Komponentenhersteller anzugebenden Kenndaten und deren Ermittlung. Sie gibt auch ein explizites Vorgehen für die Energiebedarfsberechnung eines

vollständigen Aufzugs auf Grundlage der eingesetzten Komponenten vor.

Wichtiger Hinweis

Energieeinsparungen dürfen die Sicherheit und den Nutzen des Aufzugs nicht beeinträchtigen.

Für den Nutzer eines Aufzugs spielt die Reaktionszeit des Aufzugs – auch aus Energiesparmodi heraus – eine wichtige Rolle. Es wird empfohlen, diese zwischen Aufzugshersteller und Kunde zu vereinbaren. Der vereinbarte Wert hat gegebenenfalls Auswirkungen auf den Energiebedarf im Stillstand (siehe auch VDI 4707 Blatt 1).

Diese Richtlinie richtet sich an die Hersteller von Aufzügen und Aufzugskomponenten, aber auch an Bauherren, Architekten, Fachplaner, Montage-/Instandhaltungsunternehmen und Betreiber sowie an Prüforganisationen.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie dient der Bestimmung der Energieeffizienz von Aufzugskomponenten und der Berechnung des Energiebedarfs von Aufzügen, die die Anforderungen der Aufzugsrichtlinie 95/16/EG und/oder Maschinenrichtlinie 2006/42/EG erfüllen. In Ländern, in denen die Aufzugsrichtlinie und Maschinenrichtlinie nicht gelten, sind entsprechende, gleichwertige Anforderungen zu erfüllen. Diese Richtlinie gilt für die Komponenten neuer und bestehender Aufzüge.

Zweck dieser Richtlinie ist es, anhand von Methoden zur Kennzeichnung und Bewertung von Aufzugskomponenten eine praxisorientierte Beurteilung der Energieeffizienz von Aufzügen nach VDI 4707 Blatt 1 zu ermöglichen.

Hierzu werden die notwendigen Berechnungsgrundlagen für die Ermittlung der Stillstands- und Fahrtbedarfswerte zur Verfügung gestellt.

Die Einteilung der Komponenten in Gruppen in dieser Richtlinie orientiert sich an DIN EN 81.

Die Richtlinie stellt eine Anleitung zur Berechnung des Energiebedarfs von Aufzügen zur Verfügung. Das Verfahren kann auch übertragen werden auf Aufzugstechnologien, die in dieser Richtlinie nicht explizit genannt sind. Der Energiebedarf kann dann ebenfalls nach dieser Richtlinie ausgewiesen werden.

Wichtiger Hinweis

Es müssen alle Einrichtungen, die zum bestimmungsgemäßen Betrieb des Aufzugs benötigt werden, erfasst werden; insbesondere ist das Abschalten einzelner Komponenten zur scheinbaren Verbesserung von Messergebnissen nicht zulässig.

2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

DIN EN 81 Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen; Deutsche Fassung EN 81

VDI 4707 Blatt 1:2009-03 Aufzüge; Energieeffizienz

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach VDI 4707 Blatt 1 und DIN EN 81 sowie die folgenden Begriffe:

Aufweckzeit

Zeit, in der die Komponenten wieder einsatzbereit sind, nachdem sie zuvor in einen Energiesparmodus gewechselt haben.

Anmerkung 1: Die $\rightarrow$ Reaktionszeit des Aufzugs ist nicht zwingend identisch mit der Aufweckzeit der Komponenten, denn die Aufweckzeiten der Komponenten können sich je nach Ansteuerung kumulieren.

Anmerkung 2: Siehe auch Reaktionszeit.

Fahrtbedarf des Aufzugs

Gesamter Energiebedarf des Aufzugs während der Fahrten bei festgelegten Fahrtzyklen mit definiertem Beladungszustand nach VDI 4707 Blatt 1.

Anmerkung 1: Der Fahrtbedarf des Aufzugs ist der kumulierte Leistungsbedarf der Komponenten in Abhängigkeit ihrer Betriebsmodi und gegebenenfalls weiterer Größen während der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1.

Anmerkung 2: Siehe auch $\rightarrow$ Fahrtbedarf einer Komponente.

Fahrtbedarf einer Komponente

Energiebedarf einer Komponente während der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1.

Anmerkung 1: Der Fahrtbedarf ist abhängig vom Betriebsmodus der Komponente während der Referenzfahrt.

Anmerkung 2: Siehe auch $\rightarrow$ Fahrtbedarf des Aufzugs.

Reaktionszeit

Zeit zwischen dem Geben eines Fahrbefehls und Fahrtbeginn des Fahrkorbs.

Anmerkung: Siehe auch $\rightarrow$ Aufweckzeit.

Stillstand

Stillstand des Aufzugs bei abgeschaltetem Antrieb nach VDI 4707 Blatt 1.

Anmerkung: Dieser ist zu unterscheiden vom Stillstand einer Komponente.

Stillstandsbedarf (Standby-Bedarf)

Gesamter Leistungsbedarf des Aufzugs im Stillstand bei abgeschaltetem Antrieb nach VDI 4707 Blatt 1.

Anmerkung: Der Stillstandsbedarf nach VDI 4707 Blatt 2 ist der kumulierte Leistungsbedarf der Komponenten in Abhän-

gigkeit ihrer Betriebsmodi nach fünfminütigem Stillstand des Aufzugs.

Technologiefaktor (k_T)

Multiplikator zur Berücksichtigung des technologieabhängigen, zusätzlichen Energieverbrauchs während der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase.

4 Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Benennung	Einheit
a	Beschleunigung/Verzögerung	m/s^2
E	Energiebedarf	WH, Ws
F	Kraft	N
f	Korrekturfaktor	–
g	Erdbeschleunigung	m/s^2
H	Höhe	m
I	Stromstärke	A
k_T	Technologiefaktor	–
M	Drehmoment	$\text{N}\cdot\text{m}$
m	Masse	kg
n	Anzahl	–
P	Leistung	W
p	Druck	Pa
Δp	Druckverlust	Pa
Q	Nennlast, Nutzlast	kg
t	Zeit	s
$\ddot{u}$	Überlast	
v	Geschwindigkeit	m/s
η	Wirkungsgrad	–
μ	Reibwert	–

5 Ermittlung der Angaben und Kennwerte

5.1 Stillstandsbedarf

Der Stillstandsbedarf des Aufzugs nach VDI 4707 Blatt 2 ist der kumulierte Leistungsbedarf der Komponenten in Abhängigkeit ihrer Betriebsmodi nach fünfminütigem Stillstand des Aufzugs.

5.2 Fahrtbedarf

Der Fahrtbedarf des Aufzugs ist der kumulierte Leistungsbedarf der Komponenten in Abhängigkeit ihrer Betriebsmodi und gegebenenfalls weiterer Angaben multipliziert mit der Zeit während der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1.

Tabelle 1. Betriebsmodi: Beschreibung und Aufweckzeiten

Betriebsmodus	Beschreibung	Aufweckzeit	Kenndaten der Komponente
P0 ^{a)}	Die Komponente ist in Funktion.	–	Wirkleistung in Watt
S0	Die Komponente ist „AUS“, jedoch „sofort“ einsatzbereit.	< 250 ms („0 s“)	Wirkleistung in Watt
S1	Einfachster Schlafmodus. Die Komponente wechselt nach einem entsprechenden Aufweck-Signal innerhalb von 3 s wieder in den Modus P0.	≤ 3 s	Wirkleistung in Watt, Aufweckzeit in s
S2 ^{b)}	Soft-Off-Modus. Die Komponente ist quasi ausgeschaltet und wechselt nach einem entsprechenden Aufweck-Signal innerhalb von 60 s wieder in den Modus P0.	≤ 60 s	Wirkleistung in Watt, Aufweckzeit in s

^{a)} Bei Komponenten, die länger als 60 s zum Aufwecken benötigen, ist davon auszugehen, dass diese nicht abgeschaltet werden. Daher wird hierfür der Modus P0 angesetzt; Ausnahmen sind explizit zu vereinbaren.

^{b)} Es empfiehlt sich, die Aktivierung des Modus S2 durch entsprechende Anzeigen kenntlich zu machen.

Dieser Fahrtbedarf ist in der Regel insbesondere abhängig von

- der zu transportierenden Last,
- dem Lastträger/Fahrkorb,
- dem Triebwerk,
- den Wirkungsgraden der Komponenten,
- der Bauform des Aufzugs,
- den Betriebsdaten (Beschleunigung und Geschwindigkeit), mit der die Last befördert wird, und
- der Förderhöhe.

Wichtiger Hinweis

Der Einfluss der Montage auf den Energiebedarf ist signifikant; es wird in dieser Richtlinie grundsätzlich von fachgerechter Installation und Instandhaltung ausgegangen.

5.3 Betriebsmodi

In dieser Richtlinie werden für alle Aufzugskomponenten vier verschiedene Betriebsmodi, P0, S0, S1 und S2, festgelegt. Die Betriebsmodi werden über sogenannte Aufweckzeiten definiert und mit der entsprechenden Leistung der Komponente in diesem Modus versehen. In der Regel wird das Signal zum „Aufwecken“ von Komponenten von der Aufzugssteuerung gesendet. Der Stromsparmodus kann entweder zentral von der Aufzugssteuerung oder selbstständig von der einzelnen Komponente eingeleitet werden. Die Betriebsmodi werden in Tabelle 1 beschrieben.

Anmerkung: Im Zuge der Erarbeitung dieser Richtlinie hat sich die Notwendigkeit ergeben, in VDI 4707 Blatt 1 noch nicht berücksichtigte Energiesparmodi zu betrachten. Im Rahmen einer künftigen Überarbeitung von VDI 4707 Blatt 1 wird es daher notwendig werden, die hierdurch bedingten Reaktionszeiten des Aufzugs in Abhängigkeit von der Nut-

zungskategorie festzulegen. Berechnungen nach VDI 4707 Blatt 2 müssen daher so erfolgen, dass sie den Zustand des Aufzugs nach fünfminütigem Stillstand simulieren, sofern diese Berechnungen für die Klassifizierung nach VDI 4707 Blatt 1 verwendet werden (siehe Tabelle 7 in Abschnitt 6.7).

Für eine Berechnung des Jahresenergiebedarfs werden die Beiträge der Modi nach Tabelle 2 gewichtet. Wird einer der Betriebsmodi nicht unterstützt oder nicht verwendet, so ist zur Berechnung der Betriebsmodus mit kürzerer Aufweckzeit (also z. B. S0 statt S1 oder S1 statt S2) anzusetzen; dabei ist zur Gewichtung die Summe der Anteile anzusetzen (siehe auch Beispiel im Anhang D). Unterstützt eine Komponente keinen S-Modus, so wird immer P0 angesetzt.

Beispiele zur Gewichtung der Energiebedarfe

Nutzungskategorie 2, S1 nicht unterstützt ⇒ 35 % S0 + 65 % S2

Nutzungskategorie 1, S2 nicht unterstützt ⇒ 1 % S0 + 99 % S1

Tabelle 2. Gewichtung der Betriebsmodi S0, S1 und S2 zur Ermittlung des Stillstandbedarfs für den Nenn-Jahresenergiebedarf

Nutzungs-kategorie nach VDI 4707 Blatt 1	1	2	3	4	5
Betriebsmodus	Anteil in %				
S0	1	2	5	7	10
S1	24	33	60	73	85
S2	75	65	35	20	5

Tabelle 3. Herstellerangaben zu Aufzugskomponenten oder -komponentengruppen (Beispiel für eine Komponente, die vollständig durch die Betriebsmodi beschrieben wird)

Herstellerangaben zu Aufzugskomponente nach VDI 4707 Blatt 2			
Angaben zur Komponente	Unterstützte Betriebsmodi nach VDI 4707 Blatt 2	Leistung in W	Aufweckzeit in s
Modell	P0		
Bezeichnung	S0		
Nr.	S1		
Baujahr	S2		
Angaben zum Aufzug (sofern notwendig)			
Fahrzeit in s			
Nennlast in kg		Energie in Wh	
Masse Fahrkorb und Tragrahmen in kg	Spezifischer Fahrtbedarf		

5.4 Angaben zu Komponenten vom Komponentenhersteller

Eine Information über den Energiebedarf nach Tabelle 3 als Kennzeichnung auf der Komponente sowie in der Dokumentation ist empfehlenswert. Für einfache Komponenten reicht die tabellarische Angabe, wie im Beispiel der Tabelle 3 gezeigt, aus. Bei Komponenten, die nicht allein durch die Betriebsmodi beschrieben werden können, sind alle weiteren zur Berechnung erforderlichen Daten (z. B. η anstelle von P0 bei Motoren und Umrichtern), wie in den entsprechenden Abschnitten aufgelistet, anzugeben.

Wird einer der Betriebsmodi von der Komponente nicht unterstützt oder nicht aktiviert, wird dieser Betriebsmodus nicht mit aufgezählt oder als „nicht vorhanden“ gekennzeichnet.

5.5 Messverfahren und -geräte für die Bestimmung der Leistungen in den verschiedenen Betriebsmodi

Der Komponentenhersteller hat die Leistungsmessungen an mit Wechselspannung betriebenen Komponenten nach VDI 4707 Blatt 1, Abschnitt 4.4, mit den dort festgelegten Messgeräten durchzuführen. Die Leistungen werden vom Hersteller im festgelegten Arbeitspunkt oder -bereich gemessen und angegeben.

Für Komponenten, die mit Gleichspannung betrieben werden, genügt die Messung der Effektivwerte von Spannung und Strom zur Bestimmung der Leistung.

Aus Akkus oder Ersatzstromversorgungsanlagen während der Referenzfahrt oder im Stillstand entnommene Energie ist dem Energiebedarf des Aufzugs rechnerisch zuzuschlagen, sofern sie nicht vom Aufzug während der Referenzfahrt selber regenerativ erzeugt wird.

6 Komponenten und Komponentengruppen

Komponenten und Komponentengruppen werden in Anlehnung an DIN EN 81 gegliedert. Die Aufzählung in dieser Richtlinie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Übersicht der Komponenten ist in Bild 1 dargestellt.

6.1 Übersicht

Bild 2 und Bild 3 stellen die Komponenten des Referenzaufzugs in der Übersicht dar. Bild 4 veranschaulicht ihr Wirken während der Referenzfahrt.

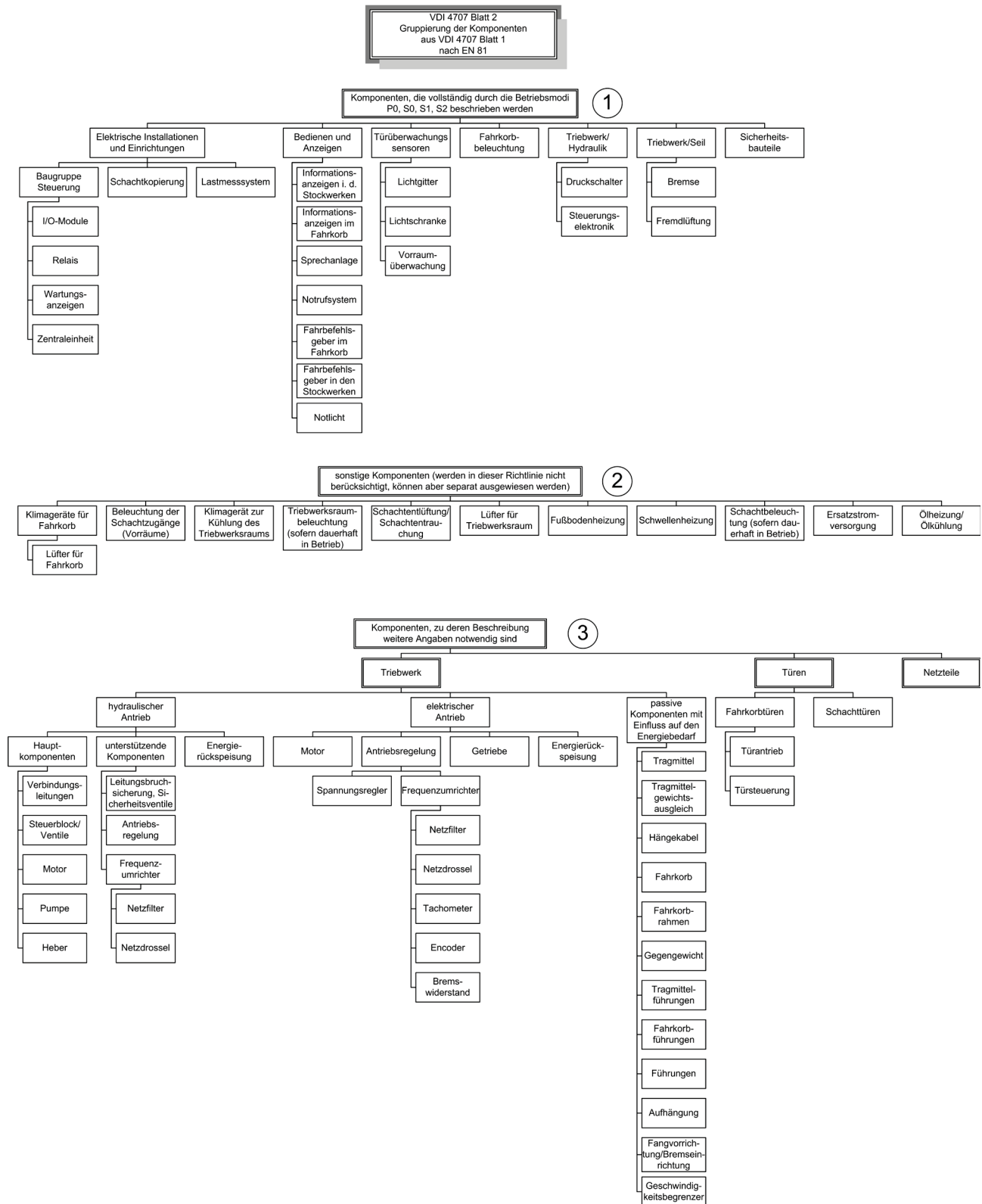


Bild 1. Gruppierung von Aufzugskomponenten in Anlehnung an DIN EN 81

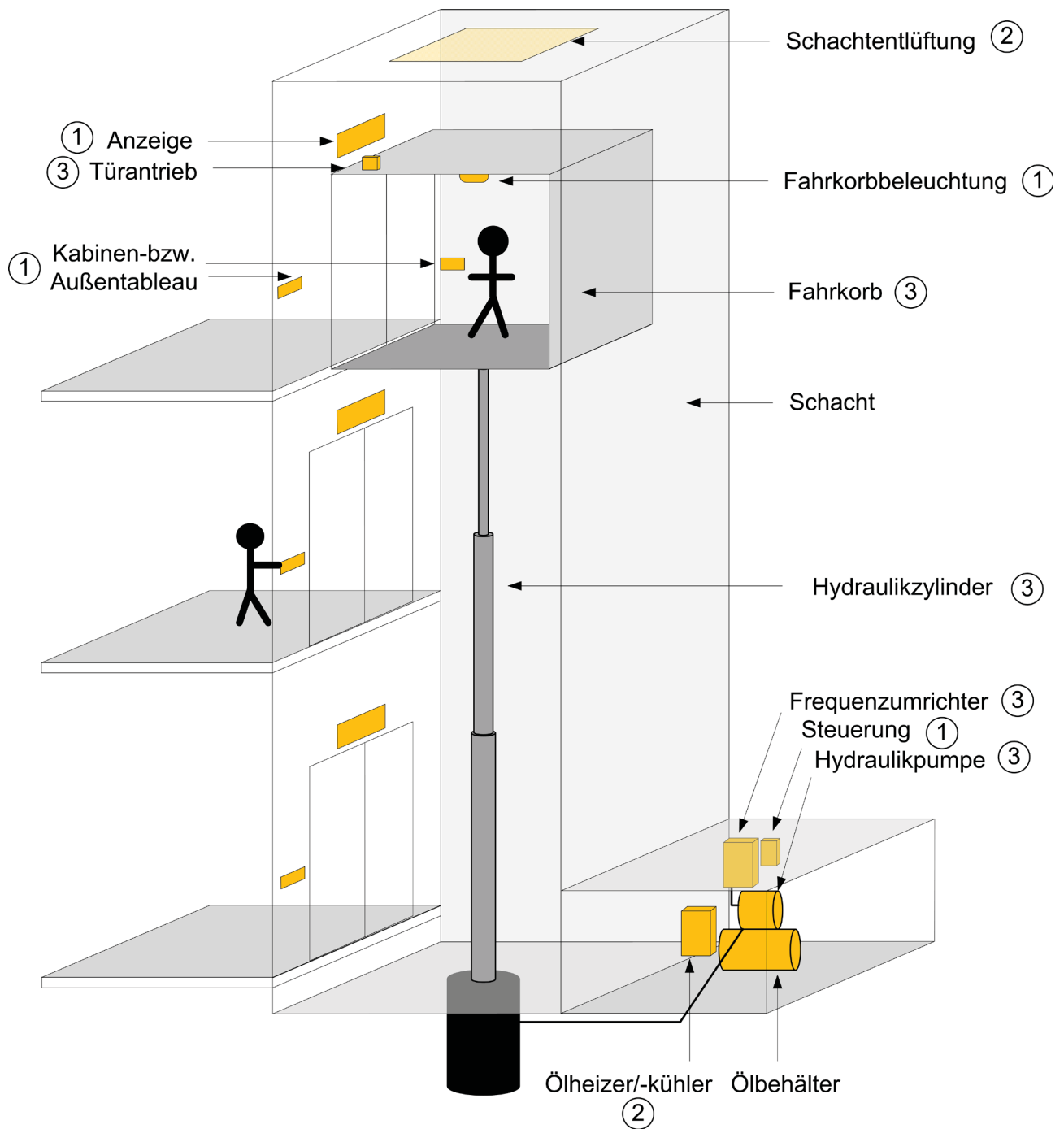


Bild 2. Komponenten des Referenzaufzugs (hier: Hydraulikaufzug) – Übersicht

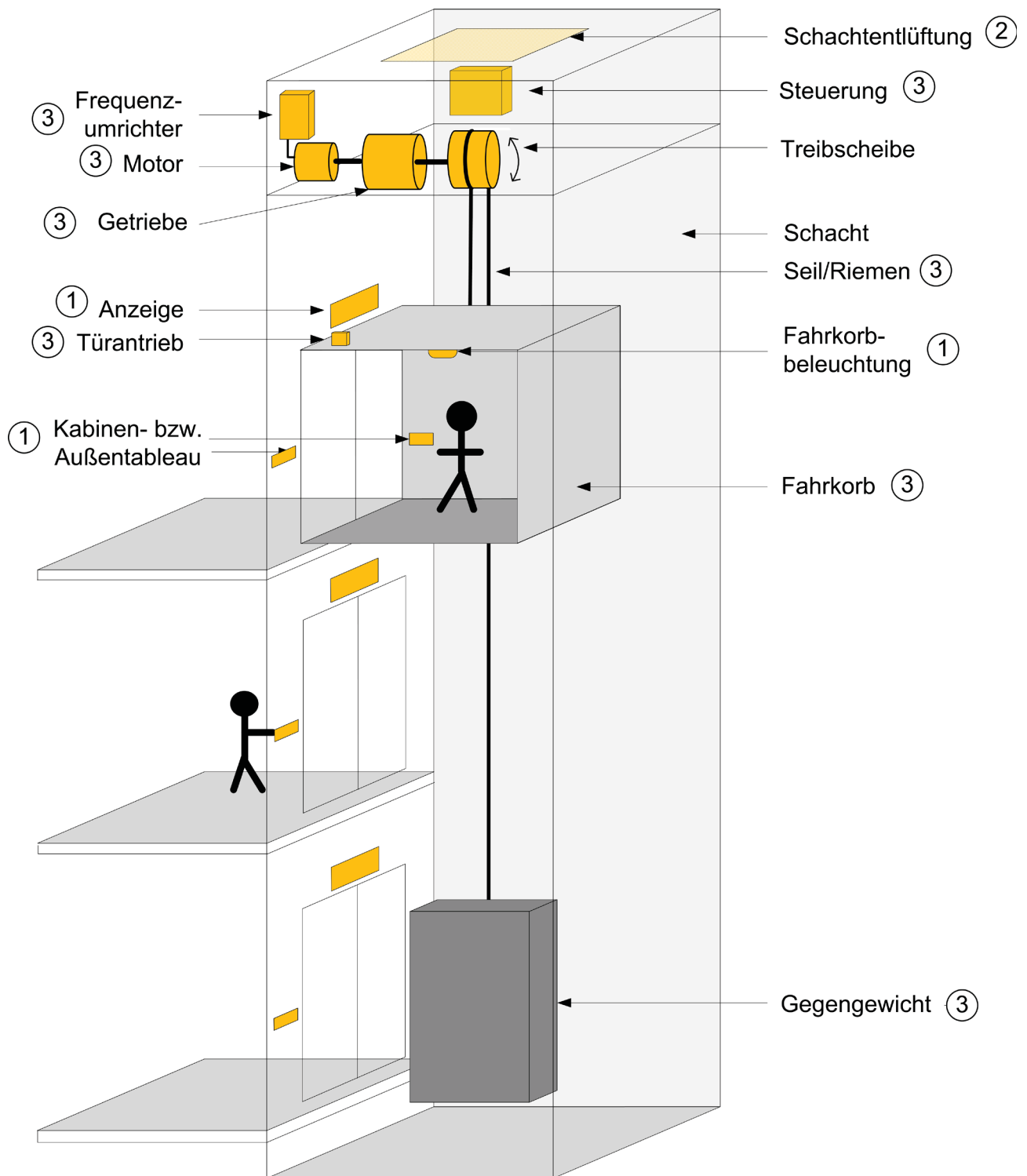


Bild 3. Komponenten des Referenzaufzugs (hier: Seilaufzug) – Übersicht

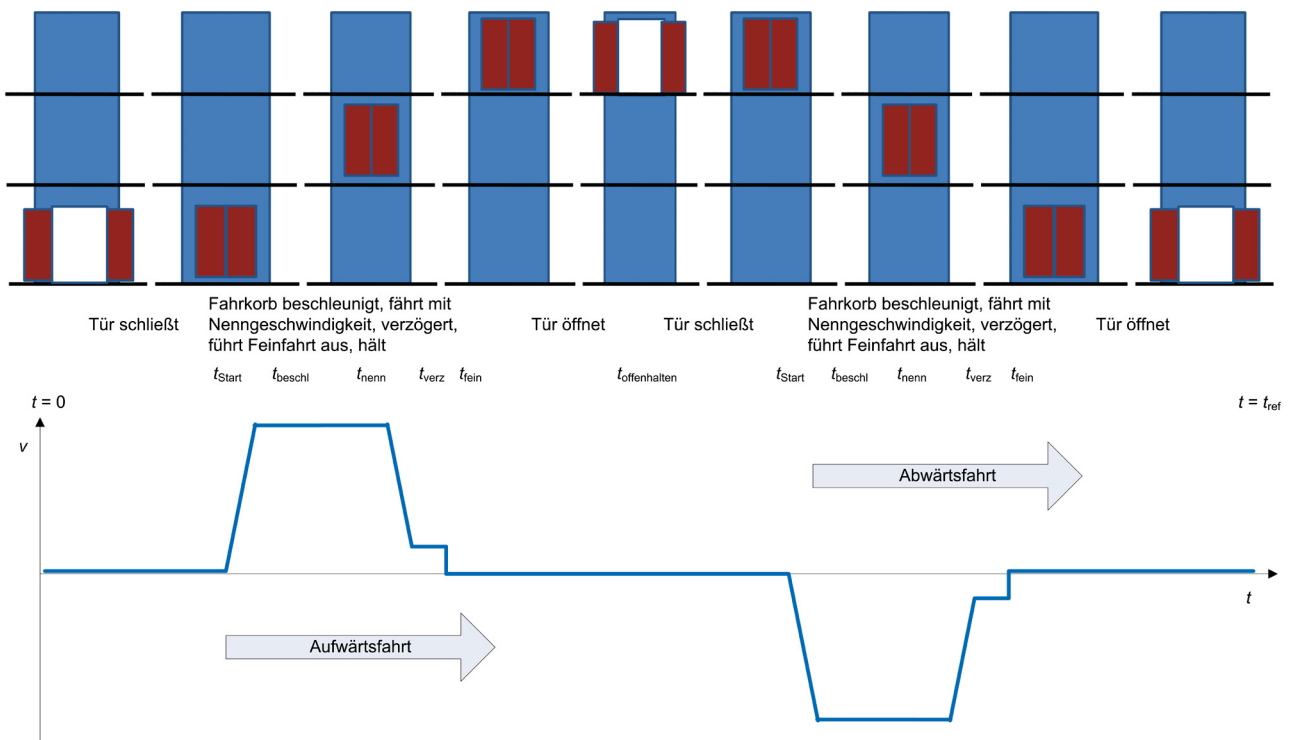


Bild 4. Veranschaulichung der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1

Anmerkung: $t_{\text{offenhalten}}$ wird in VDI 4707 Blatt 1 nicht berücksichtigt, siehe auch Abschnitt 6.4.2.

6.2 Sonstige Komponenten

Folgende Komponenten werden in dieser Richtlinie nicht berücksichtigt, können jedoch separat ausgewiesen werden:

- Beleuchtung der Schachzugänge (Vorräume)
- Klimagerät zur Kühlung des Triebwerksraums
- Triebwerksraumbeleuchtung
- Schachtentlüftung/Schachtentrauchung
- Lüfter für Triebwerksraum
- Ölheizung/Ölkühlung
- Lüfter und Klimageräte für Fahrkorb
- Fußbodenheizung im Fahrkorb
- Schwellenheizung für Schachttüren und Fahrkorbtüren
- Schachtbeleuchtung
- Ersatzstromversorgung

6.3 Komponenten, die durch die Betriebsmodi vollständig beschrieben sind

Um den Stillstands- und Fahrtbedarf des Aufzugs zu berechnen, reichen bei den nachfolgenden Komponenten die Herstellerangaben zu den Betriebsmodi P0, S0, S1, und S2 aus.

- elektrische Installationen und Einrichtungen
 - Baugruppe Steuerung (I/O-Module, Relais, Zentraleinheit, Wartungsanzeigen usw.)

- Schachtkopierung
- Lastmesssystem
- Bedienen und Anzeigen
 - Informationsanzeigen in den Stockwerken
 - Informationsanzeigen im Fahrkorb
 - Sprechanlage
 - Notrufsystem
 - Fahrbefehlsgeber im Fahrkorb
 - Fahrbefehlsgeber in den Stockwerken
 - Notlicht
- Türüberwachungssensoren
 - Lichtgitter
 - Lichtschranke
 - Vorraumüberwachung
- Fahrkorbbeleuchtung
- Triebwerk/Hydraulik
 - Druckschalter
 - Steuerungselektronik
- Triebwerk/Seil
 - Bremse
 - Fremdlüftung
- Sicherheitsbauteile

6.4 Komponenten, für die zusätzliche Angaben notwendig sind

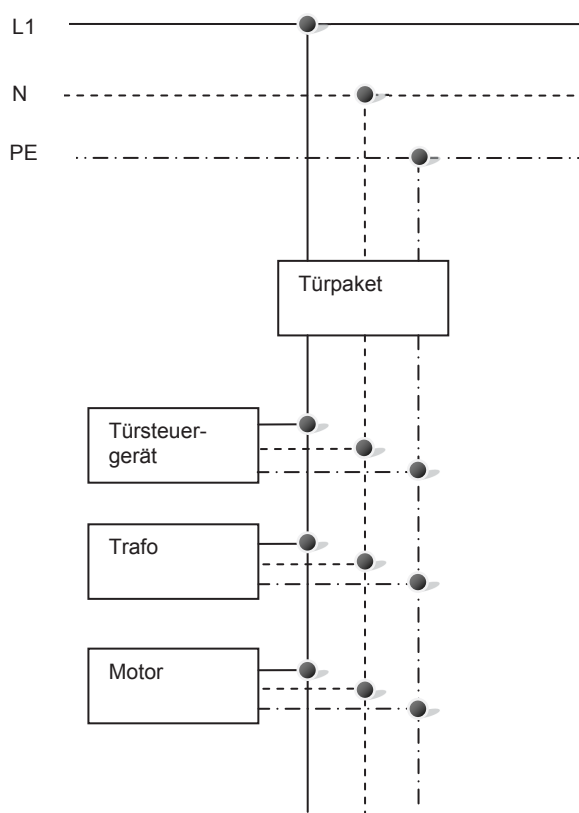
Um den Stillstands- und Fahrtbedarf des Aufzugs zu berechnen, reichen bei den nachfolgenden Komponenten die Herstellerangaben zu den Betriebsmodi P0, S0, S1, und S2 nicht aus. Es sind je nach Komponente weitere Angaben notwendig.

6.4.1 Netzteil

Wirkungsgrade von Netzteilen, die einer Komponente fest zugeordnet sind und nur diese versorgen, sind in den Betriebsmodi zu berücksichtigen und brauchen nicht angegeben zu werden. Für alle weiteren Netzteile sind die Wirkungsgradkennlinien anzugeben.

Beispiel: Berechnung einer Komponente mit Netzteil

Anschluss einer elektrischen Komponente mit einer Versorgungsspannung von 24 V und einer Herstellerangabe für den Betriebsmodus P0 für die Komponente ohne Netzteil von z. B. 12 W. Wird für diese Komponente ein Netzteil mit einem Wirkungsgrad von 80 % im Arbeitspunkt eingesetzt, erhöht sich die in den Berechnungen zu verwendende Leistung auf 15 W im Betriebsmodus P0.



Legende:
L1 Phase
N Null
PE Schutzleiter

Bild 5. Prinzipialschaltbild zur Ermittlung des Energiebedarfs von Türen

6.4.2 Schacht- und Fahrkorbtüren

Bild 5 stellt die Türen im Prinzipschaltbild dar.

Der Energiebedarf von Aufzugstüren während der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1 spielt zur Einstufung in die Energiebedarfsklasse für das Fahren eine untergeordnete Rolle, da die Bedarfe zum Öffnen und Schließen sowie für das Auf- und Zuhalten relativ gering sind. Generell gilt, dass bei identischen Abmessungen zentral öffnende Türsysteme gegenüber einseitig öffnenden Türsystemen geringere Bedarfe aufweisen. Für gleiche Türsysteme hat das Türblattgewicht in Kombination mit der Schließ- und Öffnungszeit zusätzlich Einfluss auf die Bedarfe.

Zur Einstufung der Energieeffizienzklasse für den Stillstand hingegen sind die Energiebedarfe der Türen von wesentlicher Bedeutung, da diese in vielen Fällen sehr hoch sind. Der größte Anteil der Bedarfe wird dabei vom bestromten Türantrieb für das Zuhalten des Mitnehmers und ein geringer Anteil für die Türsteuerung benötigt. Einige Türantriebe bieten die Möglichkeit, den Türantrieb im Stillstand abzuschalten, ohne dass sich dadurch der Mitnehmer öffnet und die dahinter stehende Schachttür entriegelt. Beim kompletten Abschalten der Türsteuerung ist darauf zu achten, dass bei erneutem Einschalten keine Orientierungsfahrt notwendig ist.

Offen halten

Die Zeit zwischen Öffnen und Schließen der Tür ($t_{\text{offenhalten}}$) in der Haltestelle ist in VDI 4707 Blatt 1 nicht berücksichtigt. Da der Türantrieb zum Offenhalten der Tür Energie verbraucht, sind nur Berechnungen vergleichbar, bei denen von gleichen Zeiten ausgegangen wird. Als praxisnaher Richtwert für $t_{\text{offenhalten}}$ wird 8 s empfohlen.

Türzykluszeiten

Die Türzykluszeit ist die Zeit für das komplette Öffnen und Schließen der Schacht- und Fahrkorbtür. Das Offenhalten der Türen ($t_{\text{offenhalten}}$) wird in der Türzykluszeit nicht berücksichtigt.

Die Türzykluszeiten dienen zur Vergleichbarkeit verschiedener Türantriebe und sind zur Ermittlung des Energiebedarfs des Türantriebs heranzuziehen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4. Türzykluszeiten ($t_{\text{Türzyklus}} = t_{\text{öffnen}} + t_{\text{schließen}}$) für waagrecht bewegte Türen

Zentral schließende Türen						
Breite in mm	600– 1000	1050– 1400	1450– 1800	1850– 2000	2250– 2600	> 2600
max. Zeit in s	7	8	9	10	12	>12
Teleskopierend einseitig schließende Türen						
Breite in mm	600– 1000	1050– 1400	1450– 1800	> 1800		
max. Zeit in s	10	13	15	> 15		

Die ermittelten Werte können in die Berechnung nach VDI 4707 Blatt 1 eingesetzt werden und führen gleichzeitig zu einer Vergleichbarkeit der Komponenten. Zykluszeiten für andere als die in Tabelle 4 aufgeführten Türen oder Tore sind anzugeben.

Energiebedarf für die Referenzfahrt

$$E_{\text{Tür ref}} = P_{\text{zu}} \cdot t_{\text{zu}} + P_{\text{offen}} \cdot t_{\text{offen}} + 2 \times E_{\text{Türzyklus}} \quad (1)$$

Dabei ist

$E_{\text{Tür ref}}$ Gesamtenergiebedarf eines Türantriebs für eine Referenzfahrt

P_{zu} Leistung, die der Türantrieb zum Zuhalten der Fahrkorbtür benötigt

t_{zu} Summe aller Zeiten während der Referenzfahrt, bei der die Fahrkorbtür geschlossen ist

$$t_{\text{zu}} = t_{\text{Antriebaufwärts}} + t_{\text{Antriebabwärts}}$$

P_{offen} Leistung, die der Türantrieb zum Aufhalten der Schacht- und Fahrkorbtür benötigt

$t_{\text{offenhalten}}$ Zeit während der Referenzfahrt, bei der die Fahrkorbtür zu 100 % geöffnet ist

$E_{\text{Türzyklus}}$ Energie, die für das Öffnen und Schließen der Schacht- und Fahrkorbtür benötigt wird, unter Einhaltung der in Tabelle 3 angegebenen Zykluszeiten (Herstellerangabe)

6.5 Triebwerke

6.5.1 Hydraulischer Antrieb

Bei den meisten hydraulisch betriebenen Aufzügen wird der Fahrkorb durch einen oder mehrere Hydraulikkolben bewegt und durch eine Motor-Pumpen-Kombination angetrieben.

Die meiste Energie wird während der Aufwärtsfahrt benötigt, um den Fahrkorb über die gesamte Förderhöhe zu bewegen. Während der Abwärtsfahrt wird in den meisten Fällen nur Energie benötigt, um den Fahrkorb in die unterste Haltestelle zu

steuern. Zudem kann bei der Abwärtsfahrt Energie zurückgewonnen werden.

Zum Hydrauliktriebwerk gehören:

- Hauptkomponenten
 - Motor
 - Pumpe
 - Steuerblock/Ventile
 - Verbindungsleitungen
 - Heber
- unterstützende Komponenten (siehe auch Bild 1)
 - Frequenzumrichter (inklusive Netzfilter, Drossel usw.)
 - Druckschalter, Steuerungselektronik usw.
 - Leitungsbruchsicherung, Sicherheitsventile usw.

Die wichtigsten Einflussfaktoren sind, sofern vorhanden:

- Wirkungsgrade von
 - Motor
 - Pumpe
 - Verbindungsleitung (Leitungsdurchmesser und -länge)
 - Schacht (Tragmittel, Umlenkrolle)
- Art
 - des Steuerblocks (Einfluss auf die Fahrkurve und somit Dauer der Fahrt)
 - des Antriebs (konstanter Volumenstrom oder variabler Volumenstrom)
- Rückspeisung
- Gewicht von
 - Fahrkorb (je schwerer, desto höher der Energiebedarf)
 - Fahrkorbrahmen (je schwerer, desto höher der Energiebedarf)

Energiebedarf für die Referenzfahrt

Bei der Berechnung werden auch die Einflussgrößen der Fahrkurve berücksichtigt.

$$E_{\text{Antrieb ref}} = E_{\text{fahren aufwärts}} + E_{\text{div ref}} - E_{\text{generatorisch}} \quad (2)$$

Dabei ist

$E_{\text{Antrieb ref}}$ Energiebedarf des Antriebs für die Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1

$E_{\text{fahren aufwärts}}$ Energiebedarf des Antriebs für Fahrt aufwärts

$E_{\text{div ref}}$ Energiebedarf der Zusatzkomponenten während der Referenzfahrt

$E_{\text{generatorisch}}$ rückgespeiste Energie

Der Energiebedarf berechnet sich aus der Beschleunigung, Nennfahrt, Verzögerung und Feinfahrt während der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1.

$$E_{\text{fahren aufwärts}} = t_{\text{Start}} \cdot P_{\text{Start}} + t_{\text{beschl}} \cdot P_{\text{beschl}} + t_{\text{nenn}} \cdot P_{\text{nenn}} + t_{\text{verz}} \cdot P_{\text{verz}} + t_{\text{fein}} \cdot P_{\text{fein}} \quad (3)$$

Energiebedarf der den Antrieb betreffenden Zusatzkomponenten während der Referenzfahrt

$$E_{\text{div ref}} = t_{\text{Antrieb aufwärts}} \cdot P_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}} \cdot P_{\text{Antrieb abwärts}} \quad (4)$$

Ist der Aufzug mit einer Rückspeisung ausgestattet, kann die Energie, welche zurückgewonnen werden kann, aus der potenziellen Energie (Lageenergie) und dem Gesamtwirkungsgrad errechnet werden:

$$E_{\text{generatorisch}} = -m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot H \cdot \eta_{\text{gesamt}} \quad (5)$$

Die Herleitung ist dem Anhang D zu entnehmen.

6.5.2 Elektrischer Antrieb

Bei den meisten elektrisch betriebenen Aufzügen wird der Fahrkorb durch den elektrischen Antrieb mit den dazugehörigen Tragmitteln angetrieben. Auswirkungen auf den Energiebedarf des Aufzugs hat der Ausgleich des Fahrkorbgewichts durch das Gegengewicht.

Hauptkomponenten sind:

- Motor
- Antriebsregelung
- Getriebe (sofern vorhanden)

Die wichtigsten Einflussfaktoren sind, sofern vorhanden:

- Wirkungsgrade von
 - Motor
 - Antriebsregelung
 - Schacht

- Getriebe
- Art
 - des Antriebs: gesteuert oder geregelt
 - des Getriebes
- Rückspeisung
- Gewicht von
 - Fahrkorb
 - Fahrkorbrahmen
 - Tragmittel
 - Tragmittelgewichtsausgleich
 - Hängkabel
 - Gegengewicht
- Leistungsaufnahme von Bremse und Lüfter des Motors im Betrieb
- Leistungsaufnahme des Umrichters im Bereitschaftsmodus

Der technologieabhängige, zusätzliche Energieverbrauch während der Beschleunigung und Verzögerung wird durch den Technologiefaktor k_T nach Tabelle 5 berücksichtigt.

Tabelle 5. Technologiefaktor

Technologie	Technologiefaktor k_T
Umrichter	0,34
Spannungssteller	0,67
Polumschaltung	1,8

Berechnung des Fahrtverbrauchs

Berechnung Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} \quad (6)$$

Dabei sind η die jeweiligen Wirkungsgrade.

Berechnung der Fahrtzeit

$$t_{\text{Fahrt}} = \frac{H}{v} \quad (7)$$

Dabei ist

H Förderhöhe

v Nenngeschwindigkeit

Berechnung der Beschleunigungszeit

$$t_{\text{beschl}} = \frac{v}{a} \quad (8)$$

Dabei ist

v Nenngeschwindigkeit

a mittlere Beschleunigung

Berechnung der resultierenden Hubmasse bei Nutzlast 0 kg:

$$m_{\text{Differenz}} = m_{\text{Gegengewicht}} - (m_{\text{Fahrkorb}} + 0,5 \cdot m_{\text{Hängkabel}}) \quad (9)$$

Dabei ist

$m_{\text{Differenz}}$ Massendifferenz an der Treib-
scheibe

$m_{\text{Hängkabel}}$ frei hängende Masse des Hän-
gekabels

$m_{\text{Gegengewicht}}, m_{\text{Fahrkorb}}$ Masse jeweils wie indiziert

Berechnung des Energiebedarfs

Die Betriebszustände „motorischer Betrieb“ und „generatorischer Betrieb“ werden für die Ausführungen mit und ohne Rückspeisung entsprechend betrachtet.

Motorischer Betrieb

$$E_{\text{motorisch}} = \frac{m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v}{\eta_{\text{gesamt}}} (t_{\text{Fahrt}} + k_T \cdot t_{\text{beschl}}) + (t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{beschl}}) P_{\text{kumuliert}} \quad (10)$$

Dabei ist

g Erdbeschleunigung ($= 9,81 \text{ m/s}^2$)

$P_{\text{kumuliert}}$ kumulierte Leistung der sonstigen Antriebskomponenten, z. B. Lüfter, Bremsen, während der Fahrtbewegung ($= \Sigma P_i$)

Generatorischer Betrieb

$$E_{\text{generatorisch}} = \frac{-m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot (2\eta_{\text{gesamt}} - 1)}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot (t_{\text{Fahrt}} - \frac{k_T}{2\eta_{\text{gesamt}} - 1} \cdot t_{\text{beschl}}) + (t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{beschl}}) \cdot P_{\text{kumuliert}} \quad (11)$$

Abhängig von der verwendeten Antriebstechnologie liefert die generatorische Fahrt folgenden Beitrag zur Energiebilanz aus dem Netz:

- bei Polumschaltung, Umrichter mit Rückspeisung oder Ward-Leonard-Umrichter:

$$E_{\text{generatorisch, Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$$

- bei Spannungsteiler oder Frequenzumrichter:

$$\text{– wenn } E_{\text{generatorisch}} > 0: E_{\text{generatorisch, Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$$

$$\text{– sonst: } E_{\text{generatorisch, Netz}} = 0$$

Siehe auch Tabelle 6.

Unter Beachtung der Leistungsaufnahme des Umrichters während des Türzyklus im Bereitschaftsmodus S0 berechnet sich der gesamte Energiebedarf des Seilantriebs während der Referenzfahrt wie folgt:

$$E_{\text{ref}} = E_{\text{motorisch}} + E_{\text{generatorisch, Netz}} + (t_{\text{offenhalten}} + 2 \cdot t_{\text{Türzyklus}}) \cdot P_{\text{kumuliert}} \quad (12)$$

Dabei ist

$P_{\text{kumuliert}}$ kumulierte Leistungsaufnahme von Umrichter und sonstigen Antriebskomponenten im jeweiligen Betriebsmodus ($= \Sigma P_i$)

Die Herleitung ist Anhang C zu entnehmen.

6.6 Passive Komponenten mit Einfluss auf den Schachtwirkungsgrad

Folgende Komponenten werden im Schachtwirkungsgrad η_{Schacht} zusammengefasst:

- Traggmittel
- Traggmittelgewichtsausgleich
- Hängkabel
- Fahrkorb
- Fahrkorbrahmen
- Gegengewicht
- Traggmittelführungen
- Fahrkorbführungen
- Führungen
- Aufhängung
- Fangvorrichtung/Bremseinrichtung
- Geschwindigkeitsbegrenzer

Tabelle 6. Energiebilanz aus dem Netz bei generatorischer Fahrt, nach Antriebstechnologie

Antriebstechnologie	Energiebilanz
Polumschaltung	$E_{\text{generatorisch, Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$
Spannungssteller	$E_{\text{generatorisch, Netz}} = \max(E_{\text{generatorisch}}, 0)$
Frequenzumrichter	$E_{\text{generatorisch, Netz}} = \max(E_{\text{generatorisch}}, 0)$
Umrichter mit Rückspeisung oder Ward-Leonard-Umrichter	$E_{\text{generatorisch, Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$

Komponenten, die vollständig durch die Betriebsmodi P0, S0, S1, S2 beschrieben werden	Anzahl n	Betriebsmodus (nur soweit vorhanden und aktiviert)				Beitrag zum Fahrtbedarf Referenzfahrt in Wh	Betriebsmodus nach 5 min	Beitrag zum Stillstandsbedarf nach 5 min in W
		P0	S0	S1	S2			
		in W	in W	in W	in W			
Baugruppe Steuerung								
Netzteile								
Taster								
Anzeige Fahrkorb								
Anzeige Etagen								
Gong								
Türüberwachungssensor								
Sprachansage								
Fahrkorbbeleuchtung								
Notrufgerät								
Schacht- und Fahrkorbtüren								
Zusatzkomponenten Antrieb								
Antrieb								
Energiebedarf E_{ref} nach VDI 4707 Blatt 1 bei der Referenzfahrt in Wh						Summe		
Stillstandsbedarf des Aufzugs $P_{\text{Stillstand}}$ in W t_{ref} in s							Summe	

Der Schachtwirkungsgrad ist das Produkt aller Einzelwirkungsgrade im Schacht. Für nicht verwendete und vernachlässigte Baugruppen wird bei der Berechnung ein Wirkungsgrad von 1,0 angesetzt.

$$\eta_{\text{Schacht}} = \eta_{\text{Führung}} \cdot \eta_{\text{Umlenkung}} \cdot \eta_{\text{Hängekabel}} \cdots \quad (13)$$

6.7 Berechnung der Kennzahlen nach VDI 4707 Blatt 1 anhand der Komponenten

$$E_{\text{Komponente ref}} = n \cdot P_{\text{Komponente fahren}} \cdot t_{\text{ref}} \quad (14)$$

Der jeweilige Betriebsmodus wird vom Hersteller/Montagebetrieb festgelegt.

Anmerkung: Im Zuge der Erarbeitung dieser Richtlinie hat sich die Notwendigkeit ergeben, in VDI 4707 Blatt 1 noch nicht berücksichtigte Energiesparmodi zu betrachten. Im Rahmen einer künftigen Überarbeitung von VDI 4707 Blatt 1 wird es daher notwendig werden, die hierdurch bedingten Reaktionszeiten des Aufzugs in Abhängigkeit der Nutzungskategorie festzulegen. Berechnungen nach VDI 4707 Blatt 2 müssen daher so erfolgen, dass sie den Zustand des Aufzugs nach fünfminütigem Stillstand simulieren, sofern diese Berechnungen für die Klassifizierung nach VDI 4707 Blatt 1 verwendet werden (siehe Tabelle 7):

$$P_{\text{Komponente Stillstand}} = n \cdot P_{\text{Komponente Betriebsmodus}}$$

7 Beispielrechnungen

7.1 Hydraulikaufzug

Berechnet werden soll ein seilhydraulischer Personenaufzug, der in Rucksackbauweise geführt und außermittig aufgehängt ist (Grundriss siehe Bild 6). Der Antrieb erfolgt über einen Druckkolben mit einem Rollenjoch und Seilen über eine 1:2-Aufhängung. Das Aggregat zum Antrieb des Zylinders befindet sich außerhalb des Schachts und ist über eine Schlauchleitung mit diesem verbunden. Eine Schraubenspindelpumpe, die von einem Unterölmotor angetrieben wird, fördert einen konstanten Ölstrom zum Aufwärtsfahren, der durch einen Steuerblock geregelt wird.

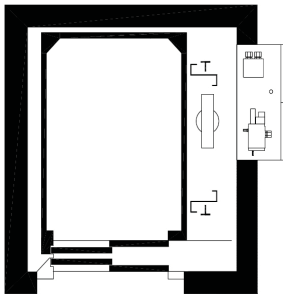


Bild 6. Seilhydraulischer Aufzug – Grundriss (Grundlage für Berechnungsbeispiel)

7.1.1 Kenndaten des Aufzugs

Nennlast	$Q = 630 \text{ kg}$
Fahrkorbgewicht	$m_{\text{Fahrkorb}} = 584 \text{ kg}$
Nenngeschwindigkeit	$v = 0,63 \text{ m/s}$
Förderhöhe	$H = 7,35 \text{ m}$
Kraft einer Führung auf die Schiene in x-Richtung	$F_{\text{Fahrkorb } x} = 670 \text{ N}$
Kraft einer Führung auf die Schiene in y-Richtung	$F_{\text{Fahrkorb } y} = 360 \text{ N}$
Anzahl der Führungen des Tragrahmens	$n = 4$
Startzeit zum Hochlaufen des Motors (abwärts)	$t_{\text{Start abwärts}} = 0 \text{ s}$

Wirkungsgrad der Kolbenjochführung

$$\eta_{\text{Joch}} = 0,99$$

Anmerkung: Theoretisch ist $\eta_{\text{Joch}} = 1$, da die horizontalen Führungskräfte idealerweise 0 sind; wegen Montagetoleranz wird korrigiert auf 0,99.

Wirkungsgrad der Seilumlenkrolle

$$\eta_{\text{Rolle}} = 0,99$$

Korrekturfaktoren Leistungsbedarf

$$f_{\text{Start}} = 0,8$$

$$f_{\text{beschl}} = 1$$

$$f_{\text{fein}} = 1$$

7.1.2 Herstellerangaben nach Tabelle 3

Startzeit zum Hochlaufen des

Motors (aufwärts)

$$t_{\text{Start aufwärts}} = 0,5 \text{ s}$$

Wirkungsgrade

$$\eta_{\text{Motor}} = 0,75$$

$$\eta_{\text{Pumpe}} = 0,9$$

(bei Nennleistung)

$$\eta_{\text{Heber}} = 0,95$$

$$\eta_{\text{Umrichter}} = 1$$

(kein Umrichter vorhanden)

Reibwert der Fahrkorbführung

$$\mu = 0,08$$

Dynamischer Anlagendruck

$$p_{\text{dyn}} = 21,5 \text{ bar}$$

Druckverlust in der Verbindungsleitung

$$\Delta p_{\text{Leitung}} = 4 \text{ bar}$$

Druckverlust im Ventil

$$\Delta p_{\text{Ventil}} = 3,5 \text{ bar}$$

Sonstige Antriebskomponenten:

Leistungsaufnahme

Ventilspulen aufwärts

$$P_{\text{kumuliert aufwärts}} = 10 \text{ W}$$

Leistungsaufnahme

Ventilspulen abwärts

$$P_{\text{kumuliert abwärts}} = 25 \text{ W}$$

7.1.3 Einstellparameter des Montagebetriebs

Durchschnittliche Beschleunigung und Verzögerung

$$a = 0,3 \text{ m/s}^2$$

Einfahrtgeschwindigkeit

$$v_{\text{fein}} = 0,06 \text{ m/s}$$

Fahrt-dauer bei Einfahrtgeschwindigkeit

$$t_{\text{fein}} = 1,5 \text{ s}$$

7.1.4 Wirkungsgrade

geregelter Steuerblock

$$\eta_{\text{Ventil}} = 1 - \frac{\Delta p_{\text{Ventil}}}{p_{\text{dyn}}} = 1 - \frac{3,5 \text{ bar}}{21,5 \text{ bar}} = 0,84 \quad (15)$$

Antrieb

$$\eta_{\text{Antrieb}} = \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Pumpe}} \cdot \eta_{\text{Ventil}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} = 0,75 \times 0,9 \times 0,84 \times 1 = 0,57 \quad (16)$$

Verbindungsleitung

$$\eta_{\text{Leitung}} = 1 - \frac{\Delta p_{\text{Leitung}}}{p_{\text{dyn}}} = 1 - \frac{4 \text{ bar}}{21,5 \text{ bar}} = 0,81 \quad (17)$$

Schacht

$$\eta_{\text{Schacht}} = 0,93 \text{ (siehe Nebenrechnung)}$$

gesamtes Antriebssystem

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_{\text{Antrieb}} \cdot \eta_{\text{Leitung}} \cdot \eta_{\text{Heber}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \\ = 0,57 \times 0,81 \times 0,95 \times 0,93 = 0,41 \quad (18)$$

Nebenrechnung: Ermittlung des Schachtwirkungsgrads für die Referenzfahrt mit leerem Fahrkorb

Mit einem Programm zur Führungsschienenberechnung nach DIN EN 81-2, Anhang G.7, werden die Führungskräfte auf die Führungsschiene für den leeren Fahrkorb ermittelt:

Kraftverlust an den Fahrkorbführungen

$$F_{\text{Verlust Fahrkorb}} = \mu \left(n \cdot F_{\text{Fahrkorb } x} + \frac{n}{2} \cdot F_{\text{Fahrkorb } y} \right) \\ = 0,08 \times \left(4 \times 670 \text{ N} + \frac{4}{2} \times 360 \text{ N} \right) \quad (19) \\ = 272 \text{ N}$$

Wirkungsgrade

Fahrkorbführung

$$\eta_{\text{Führung}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g}{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g + F_{\text{Verlust Fahrkorb}}} \\ = \frac{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 + 272 \text{ N}} \quad (20) \\ = 0,95$$

Schacht

$$\eta_{\text{Schacht}} = \eta_{\text{Führung}} \cdot \eta_{\text{Joch}} \cdot \eta_{\text{Rolle}} \\ = 0,95 \times 0,99 \times 0,99 = 0,93 \quad (21)$$

7.1.5 Fahrzeiten

Beschleunigungs-/Verzögerungszeit

$$t \equiv t_{\text{besch}} = t_{\text{verz}} = \frac{v}{a} = \frac{0,63 \text{ m/s}}{0,3 \text{ m/s}^2} = 2,1 \text{ s} \quad (22)$$

Anmerkung: In diesem Beispiel sind Beschleunigungs- und Verzögerungszeit gleichgesetzt.

Ermittlung der Fahrdauer mit Nenngeschwindigkeit, indem von der Förderhöhe H der zurückgelegte Weg für Beschleunigung, Verzögerung und Feinfahrt abgezogen wird. Die Zeit für Beschleu-

nigung und Verzögerung wird zur Vereinfachung als gleich angenommen.

Fahrdauer mit konstanter Geschwindigkeit:

$$t_{\text{nenn}} = \frac{H - a \cdot t^2 - v_{\text{fein}} \cdot t_{\text{fein}}}{v} \\ = \frac{7,35 \text{ m} - 0,3 \text{ m/s}^2 \times (2,1 \text{ s})^2 - 0,06 \text{ m/s} \times 1,5 \text{ s}}{0,63 \text{ m/s}} \quad (23) \\ = 9,4 \text{ s}$$

Dabei ist:

gesamte Fahrdauer aufwärts

$$t_{\text{fahren aufwärts}} = t_{\text{fahren abwärts}} \\ = t_{\text{besch}} + t_{\text{nenn}} + t_{\text{verz}} + t_{\text{fein}} \quad (24) \\ = (2,1 + 9,4 + 2,1 + 1,5) \text{ s} \\ = 15,1 \text{ s}$$

gesamte Antriebsarbeitsdauer aufwärts

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = t_{\text{start aufwärts}} + t_{\text{fahren aufwärts}} = 15,1 \text{ s} \quad (25)$$

gesamte Antriebsdauer abwärts

$$t_{\text{Antrieb abwärts}} = t_{\text{start abwärts}} + t_{\text{fahren abwärts}} = 15,1 \text{ s} \quad (26)$$

7.1.6 Energiebedarf des Triebwerks bei Referenzfahrt

Leistungsaufnahme

Aufbau Systemdruck

$$P_{\text{Start}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot f_{\text{Start}} \cdot v}{\eta_{\text{Antrieb}}} \\ = \frac{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,8 \times 0,63 \text{ m/s}}{0,57} \quad (27) \\ = 5070 \text{ W}$$

bei Beschleunigung/Verzögerung

$$P_{\text{besch}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot f_{\text{besch}} \cdot v}{\eta_{\text{gesamt}}} \\ = \frac{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1 \times 0,63 \text{ m/s}}{0,41} \quad (28) \\ = 8800 \text{ W}$$

bei konstanter Fahrt

$$P_{\text{nenn}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot v}{\eta_{\text{gesamt}}} \\ = \frac{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,63 \text{ m/s}}{0,41} \quad (29) \\ = 8800 \text{ W}$$

Feinfahrt

$$P_{\text{fein}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot f_{\text{fein}} \cdot v}{\eta_{\text{Antrieb}}}$$

$$= \frac{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1 \times 0,63 \text{ m/s}}{0,57} \quad (30)$$

$$= 6330 \text{ W}$$

Energiebedarf des Antriebs für Aufwärtsfahrt

$$E_{\text{fahren aufwärts}} = t_{\text{Start}} \cdot P_{\text{Start}} + t_{\text{besch}} \cdot P_{\text{besch}} + t_{\text{nenn}} \cdot P_{\text{nenn}} + t_{\text{verz}} \cdot P_{\text{verz}} + t_{\text{fein}} \cdot P_{\text{fein}} \quad (31)$$

$$= \left(0,5 \text{ s} \times 5070 \text{ W} + 2,1 \text{ s} \times 8800 \text{ W} + 9,4 \text{ s} \times 8800 \text{ W} + 2,1 \text{ s} \times 8800 \text{ W} + 1,5 \text{ s} \times 6330 \text{ W} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$= 36,6 \text{ Wh}$$

Energiebedarf der den Antrieb betreffenden Zusatzkomponenten während der Referenzfahrt

$$E_{\text{div ref}} = t_{\text{Antrieb aufwärts}} \cdot P_{\text{kumuliert aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}} \cdot P_{\text{kumuliert abwärts}} \quad (32)$$

$$= \left(15,6 \text{ s} \times 10 \text{ W} + 15,1 \text{ s} \times 25 \text{ W} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$= 0,15 \text{ Wh}$$

Es wird keine Energie zurückgewonnen.

Energiebedarf des Antriebs bei der Referenzfahrt

$$E_{\text{Antrieb ref}} = E_{\text{fahren abwärts}} + E_{\text{div ref}} + E_{\text{generatorisch}} \quad (33)$$

$$= (36,6 + 0,15 + 0) \text{ Wh} = 36,8 \text{ Wh}$$

Dieser Wert wird zusammen mit den anderen Komponenten, die einen Beitrag zum Fahrtbedarf während der Referenzfahrt leisten, in Tabelle 8 erfasst.

7.1.7 Ermittlung des Fahrtbedarfs der Tür

Leistung zum Zuhalten der Tür

$$P_{\text{zu}} = 14 \text{ W} \quad (\text{Herstellerangabe})$$

Zeit während der Referenzfahrt, während der die Tür geschlossen gehalten wird

$$t_{\text{zu}} = t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}} = 31 \text{ s}$$

Leistung zum Offenhalten der Tür

$$P_{\text{offenhalten}} = 15 \text{ W} \quad (\text{Herstellerangabe})$$

Zeit, in der die Tür offen gehalten wird

$$t_{\text{offenhalten}} = 8 \text{ s} \quad (\text{Empfehlung dieser Richtlinie})$$

Energiebedarf zum Öffnen und Schließen der Tür

$$E_{\text{Türzyklus}} = 19 \text{ mWh} \quad (\text{Herstellerangabe})$$

Energiebedarf (entspricht P0) bei der Referenzfahrt

$$E_{\text{Tür gesamt}} = P_{\text{zu}} \cdot t_{\text{zu}} + P_{\text{offenhalten}} \cdot t_{\text{offenhalten}} + 2 \cdot E_{\text{Türzyklus}} \quad (34)$$

$$= \left(14 \text{ W} \times 31 \text{ s} + 15 \text{ W} \times 8 \text{ s} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} + 2 \times 19 \times 10^{-3} \text{ Wh}$$

$$= 0,19 \text{ Wh}$$

Zeit für einen Türzyklus (Öffnen und Schließen)

$$t_{\text{Türzyklus}} = 6 \text{ s} \quad (\text{Herstellerangabe})$$

(Wert für eine zentral öffnende, zweiblättrige Tür, Türbreite 800 mm, siehe Tabelle 4)

sonstige Warte- oder Reaktionszeiten

$$\text{während der Referenzfahrt } t_{\text{sonst}} = 2 \text{ s}$$

7.1.8 Dauer der Referenzfahrt

$$t_{\text{ref}} = t_{\text{zu}} + 2 \cdot t_{\text{Türzyklus}} + t_{\text{offenhalten}} + t_{\text{sonst}}$$

$$= (31 + 2 \times 6 + 8) \cdot \text{s}$$

$$= 53 \text{ s}$$

7.1.9 Energiebedarf des Aufzugs

Tabelle 8. Erfassung des Energiebedarfs bei der Referenzfahrt sowie des Leistungsbedarfs bei Stillstand

Komponenten, die vollständig durch die Betriebsmodi P0, S0, S1, S2 beschrieben werden	Anzahl n	Betriebsmodus (nur soweit vorhanden und aktiviert)				Beitrag zum Fahrtbedarf Referenzfahrt in Wh	Betriebsmodus nach 5 min	Beitrag zum Stillstandsbedarf nach 5 min in W
		P0 in W	S0 in W	S1 in W	S2 in W			
Steuerung	1	50	40	40	40	0,7		40
Netzteil	1	5	–	–	–	0,1		5
Fahrbefehlsgeber	2	0,1	0,1	–	–	0		0,2
Anzeige Fahrkorb	1	0,3	–	–	–	0		0,3
Anzeige Etagen	1	0,2	–	–	–	0		0,2
Gong	1	0	–	–	–	0		0
Fotozelle	1	0,2	–	–	–	0		0,2
Sprachansage	1	0,96	0,12	0	–	0		0
Fahrkorbbeleuchtung	4	3,0	0	–	–	0,2		0
Notrufgerät	1	0,6	0,6	–	–	0		0,6
Türsteuerung	1	–	1,8	–	–	0,2		1,8
Antriebsregelung	1	4,96	0,48	–	–	0,1		0,48
Antrieb	1	–	–	–	–	36,8		0
Energiebedarf E_{ref} nach VDI 4707 Blatt 1 bei der Referenzfahrt						38,1		
Stillstandsbedarf des Aufzugs $P_{\text{Stillstand}}$								48,8
t_{ref} in s								53

7.1.10 Energiebedarf des Aufzugs bei der Referenzfahrt

$E_{\text{div ref}}$ beschreibt den Bedarf sonstiger Aufzugskomponenten während der Referenzfahrt, die in der obigen Tabelle erfasst sind.

$$E_{\text{ref}} = E_{\text{Antrieb ref}} + E_{\text{div ref}} = 38,1 \text{ Wh} \quad (35)$$

Dieser Wert kann nun in die Berechnung von $E_{\text{fahren, spez}}$ nach VDI 4707 Blatt 1 sowie in die Bewertung der Effizienzklasse eingehen.

Für eine Berechnung des Jahresenergiebedarfs ist zu beachten, den Beitrag zum Stillstandsbedarf nicht nach fünf Minuten sondern analog der Modi nach Tabelle 2 zu ermitteln.

7.2 Seilaufzug

Berechnet werden soll ein getriebeloser, frequenz geregelter Personenaufzug mit Seilantrieb und Rückspeisung. Der Maschinenraum befindet sich über dem Schacht.

7.2.1 Kenndaten des Aufzugs

Kenndaten des Aufzugs

Nutzlast	$Q = 900 \text{ kg}$
Fahrkorbgewicht	$m_{\text{Fahrkorb}} = 1300 \text{ kg}$
Geschwindigkeit	$v = 2,5 \text{ m/s}$
Förderhöhe	$H = 57,5 \text{ m}$
Masse Gegengewicht	$m_{\text{Gegengewicht}} = 1750 \text{ kg}$
Masse Hängkabel	$m_{\text{Hängkabel}} = 40 \text{ kg}$

Fahrkorb

Kraft einer Führung auf die Schiene in x-Richtung	$F_x = 530 \text{ N}$
Kraft einer Führung auf die Schiene in y-Richtung	$F_y = 330 \text{ N}$
Anzahl der Führungen des Tragrahmens	$n = 4$

Gegengewicht

Kraft einer Führung auf die Schiene in x-Richtung	$F_x = 530 \text{ N}$
Kraft einer Führung auf die Schiene in y-Richtung	$F_y = 330 \text{ N}$

Anzahl der Führungen des Tragrahmens	$n = 4$
Wirkungsgrad der Seilumlenkrolle	$\eta_{\text{Rolle}} = 0,99$
Schachtwirkungsgrad	$\eta_{\text{Schacht}} = 0,90$ (siehe Nebenrechnung)
Reibwert der Fahrkorbführung	$\mu = 0,08$

7.2.2 Herstellerangaben nach Tabelle 3

Antrieb	getriebeloser Servomotor
Getriebe	$\eta_{\text{Getriebe}} = 1,0$ (kein Getriebe vorhanden)
Motor	$\eta_{\text{Motor}} = 0,92$
Wirkungsgrad Umrichter	$\eta_{\text{Umrichter}} = 0,98$ (Umrichter vorhanden)
Kumulierte Leistung sonstiger Antriebskomponenten	$P_{\text{kumuliert}} = 80 \text{ W}$
Technologiefaktor	$k_T = 0,34$

7.2.3 Einstellparameter des Montagebetriebs

Durchschnittliche Beschleunigung und Verzögerung	$a = 0,4 \text{ m/s}^2$
---	-------------------------

7.2.4 Wirkungsgrade

Nebenrechnung zur Ermittlung des Schachtwirkungsgrads für die Referenzfahrt mit leerem Fahrkorb

Mit einem Programm zur Führungsschienenberechnung nach DIN EN 81-1, Anhang G.7 werden die Führungskräfte auf die Führungsschiene für den leeren Fahrkorb ermittelt:

Kraftverluste

Fahrkorbführung

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Verlust Fahrkorb}} &= \mu \cdot \left(n \cdot F_x + \frac{n}{2} \cdot F_y \right) \\
 &= 0,08 \times (4 \times 530 + 2 \times 330) \\
 &= 222 \text{ N}
 \end{aligned} \quad (36)$$

Dabei ist

n Anzahl der Führungen

Gegengewichtsführungen

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Verlust Gegengewicht}} &= \mu \cdot \left(n \cdot F_x + \frac{n}{2} \cdot F_y \right) \\
 &= 0,08 \times (4 \times 530 + 2 \times 330) \\
 &= 222 \text{ N}
 \end{aligned} \quad (37)$$

Fahrt mit leerem Fahrkorb mit Nutzlast 0 kg

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Differenz}} &= m_{\text{Gegengewicht}} - \left(m_{\text{Fahrkorb}} + 0,5 \cdot m_{\text{Hängeseil}} \right) \\
 &= 430 \text{ kg}
 \end{aligned} \quad (38)$$

Wirkungsgrade

Fahrkorbführung

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Fahrkorbführung}} &= \frac{m_{\text{Differenz}} \cdot g}{m_{\text{Differenz}} \cdot g + F_{\text{Verlust Fahrkorb}}} \\
 &= \frac{430 \times 9,81}{430 \times 9,81 + 222} = 0,95
 \end{aligned} \quad (39)$$

Gegengewichtsführung

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Gegengewichtsführung}} &= \frac{m_{\text{Differenz}} \cdot g}{m_{\text{Differenz}} \cdot g + F_{\text{Verlust Gegengewichtsführung}}} = 0,95
 \end{aligned} \quad (40)$$

Schacht

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Schacht}} &= \eta_{\text{Fahrkorbführung}} \cdot \eta_{\text{Gegengewichtsführung}} \cdot \eta_{\text{Rolle}} \\
 &= 0,95 \times 0,95 \times 0,99 = 0,90
 \end{aligned} \quad (41)$$

Gesamtwirkungsgrad

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{gesamt}} &= \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} \\
 &= 0,811
 \end{aligned} \quad (42)$$

7.2.5 Fahrzeiten

Nebenrechnung zur Ermittlung der Zeit für die Referenzfahrt

$$\begin{aligned}
 t_{\text{beschl}} &= \frac{v}{a} & t_{\text{beschl}} &= \frac{2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6,25 \text{ s} \\
 t_{\text{Fahrt}} &= \frac{H}{v_n} = 23 \text{ s} & t_{\text{Fahrt}} &= \frac{57,5 \text{ m}}{2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 23 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$t_{\text{Abtrieb abwärts}}$ inklusive Beschleunigung beträgt:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{Antrieb abwärts}} &= t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}} \\
 t_{\text{Antrieb aufwärts}} &= 6,25 \text{ s} + 23 \text{ s} = 29,25 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$t_{\text{Antrieb aufwärts}}$ inklusive Beschleunigung beträgt:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{Antrieb aufwärts}} &= t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}} \\
 t_{\text{Antrieb abwärts}} &= 6,25 \text{ s} + 23 \text{ s} = 29,25 \text{ s}
 \end{aligned}$$

7.2.6 Energiebedarf des Triebwerks bei Referenzfahrt

Berechnete Motorleistung bei Konstantfahrt

Motorische Fahrt

$$P_{\text{motorisch}} = \frac{m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v}{\eta_{\text{gesamt}}} \quad (43)$$

$$= \frac{430 \times 9,81 \times 2,5}{0,811} = 13,0 \text{ kW}$$

Generatorische Fahrt

$$P_{\text{generatorisch}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}}$$

$$= 430 \times 9,81 \times 2,5 \times \frac{2 \times 0,811 - 1}{0,811} \quad (44)$$

$$= 8,1 \text{ kW}$$

Technologiefaktor: $k_T = 0,34$ (getriebeloser Motor)

Energiebedarf motorisch:

$$E_{\text{motorisch}} = m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{1}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot (t_{\text{Fahrt}} + k_T \cdot t_{\text{beschl}}) \quad (45)$$

$$+ P_{\text{kumuliert}} \cdot (t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}})$$

$$E_{\text{motorisch,ref}} = 430 \times 9,81 \times 2,5 / 0,811 \times (23 + 0,34 \times 6,25)$$

$$+ 80 \times (23 + 6,25) \quad (46)$$

$$= 329050 \text{ Ws}$$

$$= 91,4 \text{ Wh}$$

Energiebedarf generatorisch:

$$E_{\text{generatorisch}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}}$$

$$\cdot (t_{\text{Fahrt}} - \frac{k_T}{2\eta_{\text{gesamt}} - 1} \cdot t_{\text{beschl}}) \quad (47)$$

$$+ P_{\text{kumuliert}} \cdot (t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}})$$

$$E_{\text{generatorisch,ref}} = -430 \times 9,81 \times 2,5 \times \frac{2 \times 0,811 - 1}{0,811}$$

$$\times \left(23 - 0,34 \times \frac{6,25}{2 \times 0,811 - 1} \right)$$

$$+ 80 \times (23 + 6,25) \quad (48)$$

$$= -156050 \text{ Ws}$$

$$= -43,3 \text{ Wh}$$

Beitrag zur Energiebilanz der generatorischen Fahrt: $E_{\text{generatorisch,Netz}} = E_{\text{generatorisch,ref}} = -43,3 \text{ Wh}$

Es ergibt sich der Energiebedarf der Referenzfahrt t :

$$E_{\text{Antrieb ref}} = E_{\text{motorisch ref}} + E_{\text{generatorisch Netz}} \quad (49)$$

$$= 48,1 \text{ Wh}$$

7.2.7 Tür

Leistung zum Zuhalten der Tür $P_{\text{zu}} = 14 \text{ W}$
(Herstellerangabe)

Zeit während der Referenzfahrt, während der die Tür geschlossen gehalten wird

$$t_{\text{zu}} = t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}} \quad (50)$$

$$= 29,25 \text{ s} + 29,25 \text{ s} = 58,5 \text{ s}$$

Leistung zum Offenhalten der Tür $P_{\text{offenhalten}} = 15 \text{ W}$
(Herstellerangabe)

Zeit, in der die Tür komplett offen gehalten wird $t_{\text{offenhalten}} = 8 \text{ s}$

Energiebedarf zum Öffnen und Schließen der Tür $E_{\text{Türzyklus}} = 0,2 \text{ Wh}$
(Herstellerangabe)

Energiebedarf (entspricht P_0) bei der Referenzfahrt

$$E_{\text{Türgesamt}} = P_{\text{zu}} \cdot t_{\text{zu}} + P_{\text{offenhalten}} \cdot t_{\text{offenhalten}} \quad (51)$$

$$+ 2 \cdot E_{\text{Türzyklus}}$$

$$= 0,1 \text{ Wh}$$

(Wert für eine zentral öffnende, zweiblättrige Tür, Türbreite 800 mm, siehe Tabelle 4)

Zeit für einen Türzyklus ($t_{\text{Türzyklus}} = 6 \text{ s}$)
(Herstellerangabe)

sonstige Warte- oder Reaktionszeiten während der Referenzfahrt $t_{\text{Antrieb start}} = 1 \text{ s}$

7.2.8 Zeit für Referenzfahrt

Dauer der Referenzfahrt

$$t_{\text{ref}} = t_{\text{zu}} + 2 \times t_{\text{Türzyklus}} + t_{\text{offenhalten}} \quad (52)$$

$$+ t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}}$$

$$= 79,5 \text{ s}$$

Energiebedarf des Aufzugs (Tabelle 9)

Tabelle 9. Erfassung des Energiebedarfs bei der Referenzfahrt sowie des Leistungsbedarfs bei Stillstand

Komponenten, die vollständig durch die Betriebsmodi P0, S0, S1, S2 beschrieben werden	Anzahl n	Betriebsmodus (nur soweit vorhanden und aktiviert)				Beitrag zum Fahrtbedarf Referenzfahrt in Wh	Betriebsmodus nach 5 min	Beitrag zum Stillstandsbedarf nach 5 min. in W
		P0 in W	S0 in W	S1 in W	S2 in W			
Steuerung	1	50	40	40	40	0,7	S1	40
Netzteil	1	5	–	–	–	0,5	P0	5
Fahrbefehlsgeber	2	0,1	0,1	–	–	0,0	S0	0,2
Anzeige Fahrkorb	1	0,3	–	–	–	0,0	P0	0,3
Anzeige Etagen	1	0,2	–	–	–	0,0	P0	0,2
Gong	1	0	–	–	–	0	P0	0
Fotozelle	1	0,2	–	–	–	0,0	P0	0,2
Sprachansage	1	0,96	0,12	0	–	0,0	S1	0,0
Fahrkorbbeleuchtung	4	3,0	0	–	–	0,2	S0	0
Notrufgerät	1	0,6	0,6	–	–	0,0	S1	0,6
Türsteuerung	1	0,1	1,8	–	–	0,1	S0	1,8
Antrieb mit Regelung	1	–	20	15	–	48,1	S1	15
Energiebedarf E_{ref} nach VDI 4707 Blatt 1 bei der Referenzfahrt in Wh						49,6		
Stillstandsbedarf des Aufzugs P_{Aufzug} Stillstandsbedarf in W t_{ref} in s								63,2
								79,5

Der Wert E_{ref} kann nun in die Berechnung von $E_{\text{fahren spez}}$ nach VDI 4707 Blatt 1, Abschnitt 4.8 sowie in die Bewertung der Effizienzklasse eingehen.

Anhang A Schachtwirkungsgrad

A1 Wirkungsgrad Fahrkorbführung, Gegen- bzw. Ausgleichsgewichtsführung, Zylinderjochführung

In den Führungen entstehen Verlustkräfte F_v (z. B. durch Bremsverlustkräfte, die durch Reibung bei Gleitführungen und Walkarbeit bei Rollenführungen entstehen).

Die Führungskräfte können nach DIN EN 81 für jeden Lastzustand ermittelt werden. Der Wirkungsgrad wird auf die statische Kraft F_{stat} zum Halten des Fahrkorbs bezogen.

$$\eta_{\text{Führung}} = F_{\text{stat}} / (F_{\text{stat}} + F_v) \quad (\text{A1})$$

Diese Gleichung gilt für Fahrkorb und Gegengewicht.

Die Kraft F_{stat} ist identisch mit der Kraft zum Bewegen des Fahrkorbs bei Konstantfahrt ohne Verluste. In der Regel können dabei die Gewichtskräfte von den Tragmitteln und dem Hängkabel vernachlässigt werden.

Die Führungsverluste berechnen sich aus den Normalkräften F_x und F_y der Führungen auf die Führungsschiene (siehe Bild A1) und bei Gleitführungen aus dem Reibwert μ , der als Anhaltswert aus Tabelle A1 entnommen oder vom Hersteller erfragt werden kann. Bei Rollenführungen wird in gleicher Weise mit dem Rollverlust, z. B. dem Anhaltswert nach Tabelle A2, oder Herstellerangaben gerechnet:

$$F_v = \mu \cdot (n \cdot F_x + \frac{n}{2} \cdot F_y) \quad (\text{A2})$$

Dabei ist

n Anzahl der Führungen (= 4 bei Fahrkorb, Gegengewicht und Ausgleichsgewicht, $n = 2$ bei Kolbenjoch)

Anmerkung: Anfahrverluste (Haftreibung) werden vernachlässigt.

Tabelle A1. Anhaltswerte für Reibwerte von Führungsschuhen zu Stahl nach [1]

Material		Reibwert geschmiert μ	Reibwert trocken μ_A	Bemerkungen
Gruppe 1	Vulkollan	0,20	0,50	äußerst abriebfest und dämpfend
	Vulkollan mit Zusätzen	0,15	0,30	verbesserte Gleiteigenschaften
	ACLASYN	0,05	0,05	gemäß Herstellerangaben
Gruppe 2	Polyamid (PA 6)	0,12	0,30	hohe mechanische Festigkeit
	Polyamid (PA 6-G/Öl) mit Zusätzen	0,10	0,18	verbesserte Gleit- und Verschleißigenschaften
	Polyethylen „S“ grün (PE-UHM)	0,08	0,12	geringere Festigkeit als Polyamid
	Polyethylen „S“ 8000 (PE-UHM)	0,05	0,09	verbesserte Gleiteigenschaften

Anmerkung: Die Reibwerte der Gruppe 1 und der Gruppe 2 wurden unter unterschiedlichen Voraussetzungen ermittelt und können deshalb nicht direkt verglichen werden.

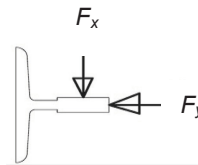


Bild A1. Führungskräfte (schematisch)

A2 Wirkungsgrad Umlenkrollen im Schacht

Bei n Umlenkrollen wird der Wirkungsgrad (siehe Anhang D)

$$\eta_{\text{su}} = 0,99^n \quad (\text{A3})$$

angenommen.

A3 Wirkungsgrad Hängkabel

Die Gewichtskraft des Hängkabels kann bei den Wirkungsgradbetrachtungen entfallen und wird mit

$$\eta = 1 \quad (\text{A4})$$

angenommen.

A4 Luftwiderstand

Der Luftwiderstand im Schacht wird in dieser Richtlinie außer Acht gelassen. In Sonderfällen, z. B. im Fall von Hochgeschwindigkeitsaufzügen, kann es sinnvoll sein, ihn separat zu berechnen und auszuweisen, siehe [1].

A5 Joch

Wirkungsgrad der Zylinderjochführung $\eta_{\text{joch}} = 0,99$ (theoretisch 1, da die horizontalen Führungskräfte idealerweise 0 sind; jedoch korrigiert auf 0,99 für mögliche Montagetoleranzen)

Tabelle A2. Anhaltswerte für Rollverluste

	Rollverlustfaktor μ
Vulkollan 75 Shore A	0,0097 bis 0,0107
Vulkollan 93 Shore A	0,008 bis 0,009

Anhang B Triebwerk Seil

Bei der folgenden Rechnung bleibt Seilschlupf an der Treibscheibe unberücksichtigt.

Der Energiebedarf der Bremse und der Fremdbelüftung während der Fahrtphase müssen hinzurechnet werden. Netzfilter und Netzdrossel werden im Frequenzumrichterwirkungsgrad berücksichtigt. Die Verlustleistung des Tachometers und Encoders werden vernachlässigt.

Der gesamte Fahrtzyklus nach VDI 4707 Blatt 1 besteht aus einer Leerfahrt aufwärts und einer Leerfahrt abwärts über die volle Förderhöhe, siehe auch Bild 4.

Der Fahrtzyklus der Leerfahrt abwärts wird in drei Abschnitte eingeteilt:

I	Beschleunigung	Zeit t_{besch}
II	Konstantfahrt	Zeit t_{konstant}
III	Verzögerung	Zeit t_{verz}

Die mittlere Fahrzeit mit Nenngeschwindigkeit t_{Fahrt} und die Beschleunigungszeit t_{besch} werden aus der Nenngeschwindigkeit v_{nenn} , der Schachthöhe H und der mittleren Beschleunigung a_m wie folgt berechnet:

$$t_{\text{Fahrt}} = \frac{H}{v_{\text{nenn}}} = t_{\text{besch}} + t_{\text{konstant}} \quad (\text{B1})$$

$$t_{\text{besch}} = t_{\text{verz}} = \frac{v}{a} \quad (\text{B2})$$

Die Aufwärtsfahrzeit $t_{\text{Antrieb aufwärts}}$ inklusive Beschleunigung beträgt:

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = t_{\text{besch}} + t_{\text{Fahrt}} \quad (\text{B3})$$

Die Abwärtsfahrzeit $t_{\text{Antrieb abwärts}}$ inklusive Beschleunigung beträgt:

$$t_{\text{Antrieb abwärts}} = t_{\text{besch}} + t_{\text{Fahrt}} \quad (\text{B4})$$

Die mechanische Leistung P_{mech} bei Konstantfahrt ergibt sich aus der gehobenen Masse $m_{\text{Differenz}}$ multipliziert mit der Nenngeschwindigkeit v_{nenn} und der Erdbeschleunigung g

$$P_{\text{mech}} = m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \quad (\text{B5})$$

Dabei ergibt sich die bei abwärts gehobene und bei aufwärts gesenkte Masse wie folgt:

$$m_{\text{Differenz}} = \begin{pmatrix} m_{\text{Gegengewicht}} - m_{\text{Fahrkorb}} \\ - 0,5 \cdot m_{\text{Hängeseil}} \end{pmatrix} \quad (\text{B6})$$

die Beschleunigungsenergie E_B wird in jedem Abschnitt I bis III der Fahrkurve separat durch das Integral des Produkts aus Beschleunigungskraft und Geschwindigkeit v_{nenn} gebildet und als $E_{\text{BI}} - E_{\text{BIII}}$ bezeichnet. Ebenso wird die Hubenergie E_H ,

gebildet durch das Integral des Produkts aus Hubkraft und Geschwindigkeit v_n , abschnittsweise als $E_{\text{HI}} - E_{\text{HIII}}$ berechnet. Die Beschleunigungskraft ist dabei das Produkt aus der mittleren Beschleunigung a_m und der gesamten Trägheitsmasse des Aufzugs m_{gesamt} . Die Hubkraft ergibt aus dem Produkt der zu hebenden Masse $m_{\text{Differenz}}$ und der Erdbeschleunigung g_n . Die aufgenommene Energie einer Leerfahrt Ab kann nun wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} E_{\text{BI}} &= \frac{1}{2} \cdot t_{\text{besch}} \cdot m_{\text{gesamt}} \cdot a_m \cdot v_{\text{nenn}} \\ E_{\text{HI}} &= \frac{1}{2} \cdot t_{\text{besch}} \cdot m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \\ E_{\text{BII}} &= 0 \\ E_{\text{HII}} &= t_{\text{konstant}} \cdot m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \\ E_{\text{BIII}} &= -\frac{1}{2} \cdot t_{\text{besch}} \cdot m_{\text{gesamt}} \cdot a_m \cdot v_{\text{nenn}} \\ E_{\text{HIII}} &= \frac{1}{2} \cdot t_{\text{besch}} \cdot m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \end{aligned} \quad (\text{B7})$$

Ersetzt man t_C und t_B durch die effektive Fahrzeit t_{Fahrt} , ergibt sich die Gesamtenergie E_{Ges} zu:

$$\begin{aligned} E_{\text{Ges}} &= E_{\text{BI}} + E_{\text{BII}} + E_{\text{BIII}} + E_{\text{HI}} + E_{\text{HII}} + E_{\text{HIII}} \\ &= m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot t_{\text{Fahrt}} = P_{\text{mech}} \cdot t_{\text{Fahrt}} \end{aligned} \quad (\text{B8})$$

Neben der Drehzahl ist der Motorstrom dargestellt, der sich aus dem Drehmoment und der verwendeten Antriebstechnik ergibt. Für die Beschleunigung wurde eine Überlast $\ddot{u}$ als das Verhältnis von tatsächlichem Beschleunigungsstrom zum Motor-nennstrom I_{nenn} wie folgt definiert:

$$\ddot{u} = \frac{I_{\text{besch}}}{I_{\text{nenn}}} \quad (\text{B9})$$

Anhaltswerte für die Überlast liefert Tabelle B1.

Tabelle B1. Mittlere Überlastfaktoren für unterschiedliche Antriebstechnologien

Antriebstechnik	Beschleunigungsstrom I_{besch}	Überlast
Frequenzumrichter	150 % I_{nenn}	$\ddot{u} = 50 \%$
Spannungsregelung	200 % I_{nenn}	$\ddot{u} = 100 \%$
Polumschaltbarer Motor	300 % I_{nenn}	$\ddot{u} = 200 \%$

Energiebedarf der motorischen Fahrt

Leistungen und Verluste im motorischen Betrieb

Bei der motorischen Fahrt müssen zusätzlich die mechanische Verlustleistung im Schacht $P_{\text{Verlust Schacht}}$, die Verlustleistung im Getriebe $P_{\text{Verlust Getriebe}}$, die Verlustleistung im Motor $P_{\text{Verlust Motor}}$ und die Verlustleistung im Umrichter $P_{\text{Verlust Umrichter}}$ vom Netz als elektrische Leistung $P_{\text{elektrisch}}$ eingespeist werden, siehe auch Bild C1.

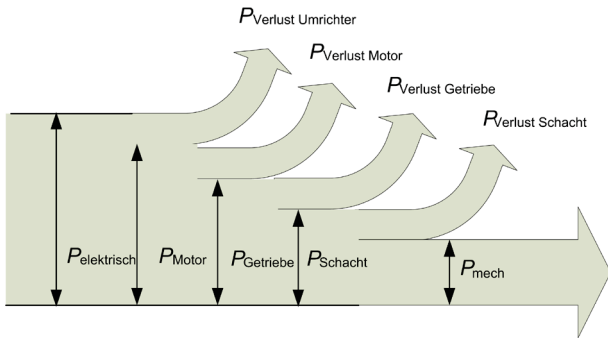


Bild B1. Leistungsbilanz der motorischen Fahrt

Mechanische Verluste

Die mechanischen Verlustleistungen im Schacht und im Getriebe lassen sich wie folgt aus der erforderlichen mechanischen Leistung P_{mech} und den Wirkungsgraden des Schachtes η_{Schacht} und des Getriebes η_{Getriebe} berechnen.

$$\begin{aligned} P_{\text{Verlust Schacht}} &= P_{\text{Schacht}} - P_{\text{mech}} \\ &= (1/\eta_{\text{Schacht}} - 1)P_{\text{mech}} \end{aligned} \quad (\text{B10})$$

Dabei ist

$$P_{\text{mech}} = P_{\text{Schacht}} \eta_{\text{Schacht}} \quad (\text{B11})$$

$$\begin{aligned} P_{\text{Verlust Getriebe}} &= P_{\text{Getriebe}} - P_{\text{Schacht}} \\ &= (1/\eta_{\text{Getriebe}} - 1) \cdot 1/\eta_{\text{Schacht}} \cdot P_{\text{mech}} \end{aligned} \quad (\text{B12})$$

Dabei ist

$$P_{\text{Schacht}} = P_{\text{Getriebe}} \eta_{\text{Getriebe}} \quad (\text{B13})$$

Addiert man beide Verlustleistungen zur mechanischen Leistung, ergibt sich

$$\begin{aligned} P_{\text{Verlust Getriebe}} + P_{\text{Verlust Schacht}} \\ = P_{\text{mech}} (1/(\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}}) - 1) \end{aligned} \quad (\text{B14})$$

Die mechanischen Leistungen und Verluste sind in erster Näherung proportional zur Drehzahl. Damit entspricht die mittlere Leistung beim Beschleunigen und Bremsen der halben Leistung bei Konstantfahrt. Daraus ergibt sich die Verlustenergie $E_{\text{Verlust Getriebe+Schacht}}$ in den drei Fahrtabschnitten zu:

$$\begin{aligned} E_{\text{Verlust Getriebe+Schacht}} \\ = t_{\text{Fahrt}} \cdot P_{\text{mech}} \cdot (1/(\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}}) - 1) \end{aligned} \quad (\text{B15})$$

Motorverluste

Der Wirkungsgrad des Motors η_{Motor} wird für die Leistung $P_{\text{Motor nenn}}$ angegeben, wobei der Motor die Nennverluste $P_{\text{Verlust Motor nenn}}$ besitzt. Es gilt:

$$P_{\text{Verlust Motor nenn}} = \left(\frac{1}{\eta_{\text{Motor}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}}} \cdot P_{\text{mech}} \quad (\text{B16})$$

und

$$P_{\text{Motor}} = \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}}} \cdot P_{\text{mech}} \quad (\text{B17})$$

Die Verluste im Motor ergeben sich aus dem Wirkungsgrad η_{Motor} und der Nennleistung $P_{\text{Motor nenn}}$. Die dominierenden Verluste im Motor sind Stromwärmeverluste, die proportional zum Quadrat des Drehmoments M sind.

Es gilt:

$$P_{\text{Verlust Motor}} = \left(M / M_{\text{nenn}} \right)^2 \cdot P_{\text{Verlust Motor nenn}} \quad (\text{B18})$$

Dabei ist

$P_{\text{Verlust Motor nenn}}$ Nennverluste

Geht man davon aus, dass bei der Leerfahrt abwärts Nennleistung vom Motor gefordert wird, beträgt die Verlustleistung

$$\begin{aligned} P_{\text{Verlust Motor}} &= \left(\frac{M}{M_{\text{n}}}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{Motor}}} - 1 \right) \\ &\quad \cdot \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}}} \cdot P_{\text{mech}} \end{aligned} \quad (\text{B19})$$

und die Eingangsleistung in den Motor:

$$P_{\text{Motor}} = \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}}} \cdot P_{\text{mech}} \quad (\text{B20})$$

Wird die gleiche Beschleunigung während des Anfahrens und Verzögerns angenommen, ist das

Motormoment M_{besch} beim Anfahren:

$$M_{\text{besch}} = (1 + \ddot{u}) \cdot M_{\text{nenn}} \quad (\text{B21})$$

und Motormoment M_{verz} beim Verzögern:

$$M_{\text{verz}} = (1 - \ddot{u}) \cdot M_{\text{nenn}} \quad (\text{B22})$$

Die Überlast $\ddot{u}$ wird durch die Technologie bestimmt und kann aus Tabelle 5 entnommen werden.

Daraus ergibt sich die Verlustenergie des Motors $E_{\text{Verlust Motor}}$ in den drei Fahrtabschnitten zu:

$$\begin{aligned} E_{\text{Verlust Motor}} &= \left(t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{besch}} \cdot (1 + 2 \cdot \ddot{u}^2) \right) \\ &\quad \cdot \left(1/\eta_{\text{Motor}} - 1 \right) \\ &\quad \cdot 1/(\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}}) \cdot P_{\text{mech}} \end{aligned} \quad (\text{B23})$$

Umrichterverluste

Der Wirkungsgrad des Umrichters $\eta_{\text{Umrichter}}$ wird für die Nennleistung P_{el} angegeben, wobei der Umrichter die Verlustleistung $P_{\text{Verlust Umrichter}}$ besitzt. Es gilt:

$$P_{\text{Verlust Umrichter}} = \left(\frac{1}{\eta_{\text{Umrichter}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}}} \cdot P_{\text{mech}} \quad (\text{B24})$$

und

$$P_{\text{elektrisch}} = \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}}} \cdot P_{\text{mech}} \quad (\text{B25})$$

Die Verluste im Umrichter ergeben sich aus dem Wirkungsgrad $\eta_{\text{Umrichter}}$ und der Nennleistung $P_{\text{Umrichter nenn}}$. Die vor allem lastabhängigen Verluste werden durch die Durchlassverluste der Leistungshalbleiter bestimmt, die proportional zum Quadrat des Stroms angenommen werden.

$$P_{\text{Verlust Umrichter}} = \left(\frac{I}{I_{\text{nenn}}} \right)^2 \cdot P_{\text{Verlust Umrichter nenn}} \quad (\text{B26})$$

$$P_{\text{Verlust Umrichter nenn}} = \left(\frac{1}{\eta_{\text{Umrichter}}} - 1 \right) \cdot P_{\text{Umrichter nenn}} \quad (\text{B27})$$

Unter Annahme einer passenden Auslegung mit gleicher Nennleistung von Motor und Umrichter ($P_{\text{Motor}} = P_{\text{Umrichter nenn}}$) erhält man durch Umstellen

$$P_{\text{Verlust Motor}} = \left(\frac{I}{I_{\text{n}}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{Umrichter}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}}} \cdot P_{\text{mech}} \quad (\text{B28})$$

Wird die gleiche Beschleunigung während des Anfahrens und Verzögerns angenommen, ist der Motorstrom I_{besch} beim Anfahren:

$$I_{\text{besch}} = (1 + \ddot{u}) \cdot I_{\text{nenn}} \quad (\text{B29})$$

und Motorstrom I_{verz} beim Verzögern:

$$I_{\text{verz}} = (1 - \ddot{u}) \cdot I_{\text{nenn}} \quad (\text{B30})$$

Daraus ergibt sich die Verlustenergie des Umrichters $E_{\text{Verlust Umrichter}}$ in den drei Fahrtabschnitten zu:

$$E_{\text{Verlust Umrichter}} = \left(t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{besch}} \cdot (1 + 2 \cdot \ddot{u}^2) \right) \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{Umrichter}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}}} \cdot P_{\text{mech}} \quad (\text{B31})$$

Gesamtenergiebedarf der motorischen Fahrt

Unter Beachtung der Verlustleistung ergibt sich die Energie der motorischen Fahrt $E_{\text{motorisch}}$ zu:

$$E_{\text{motorisch}} = P_{\text{mech}} \cdot t_{\text{Fahrt}} + E_{\text{Verlust Getriebe+Schacht}} + E_{\text{Verlust Motor}} + E_{\text{Verlust Umrichter}} \quad (\text{B32})$$

Durch Einsetzen der Verlustleistungen und Definition des Gesamtwirkungsgrads

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} \quad (\text{B33})$$

und der Beschleunigungszeit

$$t_{\text{besch}} = \frac{v_{\text{nenn}}}{a_{\text{m}}} \quad (\text{B34})$$

ergibt sich folgende vereinfachte Berechnung für den Energiebedarf der motorischen Fahrt $E_{\text{motorisch}}$:

$$E_{\text{motorisch}} = \frac{m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}}}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot \left(t_{\text{Fahrt}} + \frac{v_{\text{nenn}} \cdot (1 + 2 \cdot \ddot{u}^2) \cdot (1 - \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}})}{a_{\text{m}}} \right) \quad (\text{B35})$$

Aus dieser Gleichung kann der Technologiefaktor k_{T} abgeleitet werden:

$$k_{\text{T}} = (1 + 2 \cdot \ddot{u}^2) \cdot (1 - \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}}) \quad (\text{B36})$$

Geht man von einem Wirkungsgrad des Motors von 80 % und des Umrichters von 97 % aus, ergibt sich der Technologiefaktor k_{T} für die verwendete Technologie nach Tabelle B2.

Der Technologiefaktor k_{T} ist unabhängig vom Schacht oder Getriebe und wird nur von den Motordaten und der verwendeten Drehzahlregelrichtung bestimmt.

Die Berücksichtigung der Verlustleistung des Fremdlüfters und der Bremse $P_{\text{kumuliert}}$ erfolgt durch den Energiebedarf diverser Komponenten $E_{\text{div ref}}$

$$E_{\text{div ref}} = (t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{besch}}) \cdot P_{\text{kumuliert}} \quad (\text{B37})$$

Es ergibt sich die folgende vereinfachte Berechnungsgleichung für den Energiebedarf bei der motorischen Fahrt $E_{\text{motorisch ref}} = E_{\text{div ref}} + E_{\text{motorisch}}$

$$E_{\text{motorisch ref}} = m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot (t_{\text{Fahrt}} + k_{\text{T}} \cdot t_{\text{besch}}) + (t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{besch}}) \cdot P_{\text{kumuliert}} \quad (\text{B38})$$

Diese Herleitung bestätigt den in der Literatur veröffentlichten Ansatz, wobei die Beschleunigung als gesonderter Faktor eingeht, um verschiedene Aufzugsarten, vom Außenläufer bis zum schnell laufenden Aufzug zu berücksichtigen. Als mittlere Beschleunigung für Aufzüge mit einer Geschwindigkeit von bis zu 1,6 m/s wird ein Wert von 0,4 m/s² empfohlen.

Tabelle B2. Technologiefaktoren

Technologie	Überlast $\ddot{u}$	Wirkungsgrad Motor	Wirkungsgrad Steller	Technologiefaktor k_T
Umrichter	50 %	80 %	97 %	0,336
Spannungssteller	100 %	80 %	97 %	0,672
Polumschaltung	200 %	80 %	100 %	1,8

Energiebedarf der generatorischen Fahrt

Leistungen und Verluste im generatorischen Betrieb

Bei der Leerfahrt aufwärts werden von der rückgespeisten mechanischen Leistung die mechanische Verlustleistung im Schacht $P_{\text{Verlust Schacht}}$, die Verlustleistung im Getriebe $P_{\text{Verlust Getriebe}}$, die Verlustleistung im Motor $P_{\text{Verlust Motor}}$ und die Verlustleistung im Umrichter $P_{\text{Verlust Umrichter}}$ abgezogen und die verbleibende Energie entweder ins Netz als elektrische Leistung $P_{\text{elektrisch}}$ zurückgespeist, oder im Bremswiderstand vernichtet, siehe auch Bild B2.

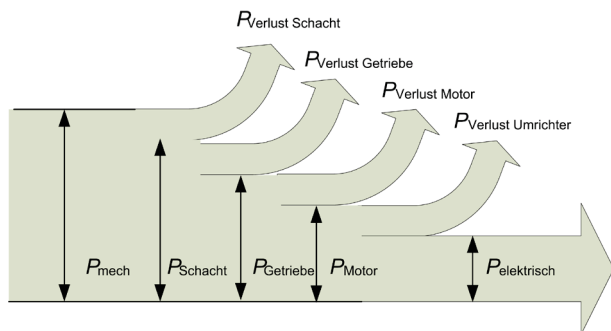


Bild B2. Leistungsbilanz bei Rückspeisung

Im Extremfall können die Verluste im System dazu führen, dass selbst bei Leerfahrt auf elektrische Energie aus dem Netz aufgenommen werden muss, siehe Bild B3.

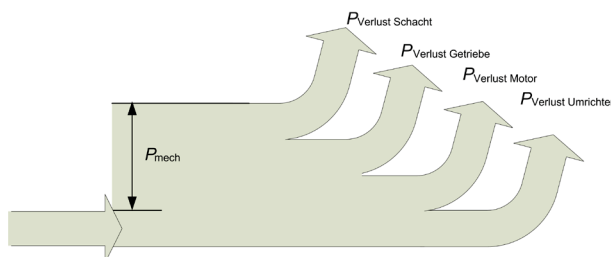


Bild B3. Leistungsbilanz der generatorischen Fahrt

Gesamtenergiebedarf der generatorischen Fahrt

Unter Beachtung der Verlustleistung ergibt sich die Energie der generatorischen Fahrt $E_{\text{generatorisch}}$:

$$E_{\text{generatorisch}} = -P_{\text{mech}} \cdot t_{\text{Fahrt}} + E_{\text{Verlust Getriebe+Schacht}} + E_{\text{Verlust Motor}} + E_{\text{Verlust Umrichter}} \quad (\text{B39})$$

Analog zur Herleitung des Energiebedarfs $E_{\text{generatorisch}}$ der motorischen Fahrt ergibt sich für die generatorische Fahrt folgende vereinfachte Berechnung:

$$E_{\text{generatorisch}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \cdot \frac{2 \cdot \eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot \left(t_{\text{Fahrt}} - \frac{v_{\text{nenn}}}{a_m} \cdot \frac{(1 + 2 \cdot \ddot{u}^2) \cdot (1 - \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}})}{(2 \cdot \eta_{\text{gesamt}} - 1)} \right) \quad (\text{B40})$$

Unter Verwendung des Technologiefaktors k_T und unter Berücksichtigung der Verlustleistung des Fremdlüfters und der Bremse $P_{\text{kumuliert}}$ über die Fahrzeit ergibt sich die vereinfachte Berechnungsgleichung für den Energiebedarf bei der generatorischen Fahrt $E_{\text{generatorisch ref}}$:

$$E_{\text{generatorisch ref}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \cdot \frac{2 \cdot \eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot \left(t_{\text{Fahrt}} - \frac{k_T}{2 \cdot \eta_{\text{gesamt}} - 1} \cdot t_{\text{besch}} \right) + (t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{besch}}) \cdot P_{\text{kumuliert}} \quad (\text{B41})$$

Diese Gleichung berücksichtigt die Tatsache, dass auch bei generatorischer Fahrt (Leerfahrt aufwärts) bei geringem Gesamtwirkungsgrad ($\eta_{\text{gesamt}} < 0,5$) Energie aus dem Netz aufgenommen werden kann.

Energiebilanz

Die motorische Energie der Leerfahrt abwärts wird bei jeder Technologie ohne Speichermedium aus dem Netz aufgenommen. Abhängig von der Technologie wird die generatorische Energie bei der Leerfahrt aufwärts in Wärme umgewandelt (Bremswiderstand) oder in das Netz zurückgespeist und kann dann vom Energiebedarf der motorischen Fahrt abgezogen werden. Falls der Wirkungsgrad jedoch sehr schlecht ist, kann es auch zu Energieaufnahme aus dem Netz kommen.

Anhang C Hydraulikantrieb

Im Folgenden werden Bereiche der Berechnung des Hydraulikantriebs detaillierter beschrieben und mit Erläuterungen ergänzt. Bei vielen Berechnungen werden typische Werte angegeben, die für eine einfache Berechnung eingesetzt werden können, falls Herstellerangaben nicht bekannt sind.

C1 Berechnung der Fahrzeiten

$$t_{\text{Antrieb gesamt}} = t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}} \quad (\text{C1})$$

Dabei ist

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = t_{\text{Start aufwärts}} + t_{\text{besch}} + t_{\text{nenn}} + t_{\text{verz}} + t_{\text{fein}} \quad (\text{C2})$$

$$t_{\text{Antrieb abwärts}} = t_{\text{Start abwärts}} + t_{\text{besch}} + t_{\text{nenn}} + t_{\text{verz}} + t_{\text{fein}} \quad (\text{C3})$$

Anmerkung 1: Die Zeitabschnitte entsprechen Tabelle 4.

Dabei ist

$t_{\text{Start aufwärts}}$ und $t_{\text{Start abwärts}}$ für Auf- und Abwärtsfahrt jeweils die Zeit zwischen dem Starten des Motors und dem Erreichen des Systemdrucks

Anmerkung 2: Diese Zeiten sind system- und herstellerabhängig; folgende Werte sind typisch:

- in Aufwärtsrichtung: 0,2 s bis 3 s
- in Abwärtsrichtung: 0 s

t_{besch} und t_{verz} Beschleunigungs- und Verzögerungszeit: $t_{\text{besch}} = t_{\text{verz}} = \frac{v}{a}$

Anmerkung 3: Diese Zeiten werden in Aufwärts- und Abwärtsrichtung gleich angesetzt (Annahme).

v_{nenn} Nenngeschwindigkeit

a mittlere Beschleunigung: $0,3 \text{ m/s}^2$

Anmerkung 4: Dieser Wert wird abgeleitet aus dem Fahrdiagramm während der Beschleunigung/Verzögerung, siehe Bild C1.

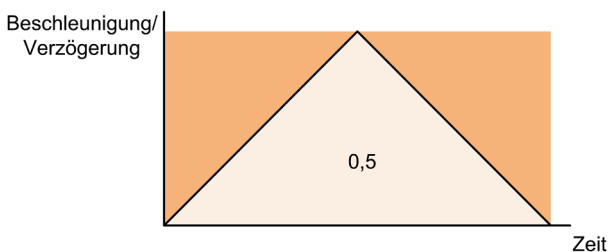


Bild C1. Mittlere Beschleunigung, Korrekturwert

Daraus ergibt sich

$$a = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,5 = 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (\text{C4})$$

Anmerkung 5: Der Wert von $0,6 \text{ m/s}^2$ stellt eine typische Beschleunigung für einen hydraulischen Antrieb dar und wird

in der Regel nicht überschritten. 0,5 ist der Korrekturwert für die Mittelung von Beschleunigung und Verzögerung.

t_{fein} Zeit während des Einfahrens in die Haltestelle mit Einfahrtgeschwindigkeit v_{fein}

Anmerkung 6: Diese Zeit ist system- und herstellerabhängig; folgende Werte sind typisch:

- elektronisch geregelte Ventile: 1 s bis 1,5 s
- mechanische Ventile: 3 s bis 5 s

Anmerkung 7: Diese Zeit wird in Aufwärts- und Abwärtsrichtung gleich angesetzt (Annahme).

t_{nenn} Dauer der Fahrt mit Nenngeschwindigkeit

Anmerkung 8: Diese Zeit wird in Aufwärts- und Abwärtsrichtung gleich angesetzt (Annahme).

t_{nenn} errechnet sich wie folgt:

$$t_{\text{nenn}} = \frac{H - a \cdot t_{\text{besch}} \cdot t_{\text{verz}} - v_{\text{fein}} \cdot t_{\text{fein}}}{v} \quad (\text{C5})$$

Dabei ist

H Förderhöhe

v Nenngeschwindigkeit

v_{fein} Einfahrtgeschwindigkeit

Anmerkung 9: Typischer Wert ist 10 % der Nenngeschwindigkeit.

C2 Berechnung der Wirkungsgrade

Wirkungsgrad Antrieb

$$\eta_{\text{Antrieb}} = \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Pumpe}} \cdot \eta_{\text{Ventil}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} \quad (\text{C6})$$

Anmerkung 1: Wirkungsgrade weiterer Komponenten vor dem Antrieb können dessen Wirkungsgrad zugerechnet werden.

Dabei ist

η_{Motor} Wirkungsgrad des Motors

Anmerkung 2: Typische Werte sind 0,7 bis 0,85, basierend auf der Wirkungsgradkennlinie des eingesetzten Motors.

η_{Pumpe} Wirkungsgrad Pumpe

Anmerkung 3: Typische Werte sind 0,8 bis 0,87, basierend auf der Wirkungsgradkennlinie der eingesetzten Pumpe.

$\eta_{\text{Umrichter}}$ Wirkungsgrad Frequenzumrichter (einschließlich Filter, Drossel usw.)

Anmerkung 4: Typische Werte sind:

- mit Umrichter: 0,94 bis 0,97
- ohne Umrichter: 1

η_{Ventil} Wirkungsgrad des Ventils

Der Wirkungsgrad des Ventils errechnet sich aus dem Verhältnis des Druckverlusts im Ventil (Δp_{Ventil}) zum dynamischen Anlagendruck bei leerem Fahrkorb nach den Ventilen (p_{dyn}).

$$\eta_{\text{Ventil}} = 1 - \frac{\Delta p_{\text{Ventil}}}{p_{\text{dyn}}} \quad (\text{C7})$$

Anmerkung 5: Typische Werte sind:

- elektronisch geregelte Ventile: 0,8 bis 0,95
- mechanische Ventile: 0,55 bis 0,84

Wirkungsgrad des gesamten Antriebssystems

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_{\text{Antrieb}} \cdot \eta_{\text{Leitung}} \cdot \eta_{\text{Heber}} \cdot \eta_{\text{Schacht}} \quad (\text{C8})$$

Dabei ist

η_{Leitung} Wirkungsgrad der Verbindungsleitungen

Der Wirkungsgrad der Verbindungsleitungen errechnet sich aus dem Verhältnis des Druckverlusts in den Leitungen ($\Delta p_{\text{Leitung}}$) zum dynamischen Anlagendruck (p_{dyn}).

$$\eta_{\text{Leitung}} = 1 - \frac{\Delta p_{\text{Leitung}}}{p_{\text{dyn}}} \quad (\text{C9})$$

Anmerkung 1: Typische Werte für eine Schlauchleitung sind 0,95 bis 0,98.

Anmerkung 2: Sofern ein Rohrbruchventil vorhanden ist, ist es im Leitungswirkungsgrad zu berücksichtigen.

η_{Heber} kumulierter Wirkungsgrad aller Heber

Anmerkung 3: Typischerweise wird ein Wert von 0,95 je Heber angesetzt, bei n Hebern also $0,95^n$.

η_{Schacht} Schachtwirkungsgrad

Anmerkung: Siehe Anhang A.

C3 Berechnung des Leistungsbedarfs

Leistungsbedarf Antrieb

Der Leistungsbedarf während des Startvorgangs (Aufbau Systemdruck) beträgt:

$$P_{\text{start}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot f_{\text{start}} \cdot v_{\text{nenn}}}{\eta_{\text{Antrieb}}} \quad (\text{C10})$$

Dabei ist

f_{start}

Korrekturfaktor beim Start zur Berücksichtigung des Umstands, dass beim Aufbau des Systemdrucks nicht alle Verluste von Anfang an wirksam sind.

Anmerkung 1: Typischer Wert ist 0,8.

P_{beschl} und P_{verz} Leistungsbedarf während Beschleunigung und Verzögerung

Dieser berechnet sich wie folgt:

$$P_{\text{beschl}} = P_{\text{verz}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}}}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot f_{\text{beschl}} \quad (\text{C11})$$

Anmerkung 2: Der dynamische Anteil wird vernachlässigt, da er sich bei gleicher Beschleunigung und Verzögerung aufhebt. Dadurch kann zur Vereinfachung $P_{\text{beschl}} = P_{\text{verz}}$ gesetzt werden.

Dabei ist

f_{beschl}

Korrekturfaktor bei Beschleunigung und Verzögerung zur Berücksichtigung des Umstands, dass bei einem variablen anstelle eines konstanten Volumenstroms in der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase die Verluste reduziert werden, siehe Bild C2 und Bild C3.

Anmerkung 3: Typische Werte sind:

- konstanter Volumenstrom: 1
- variabler Volumenstrom: 0,5

Anmerkung 4: Ein variabler Volumenstrom wird meistens über eine Frequenzregelung erreicht (Einsatz eines Umrichters).

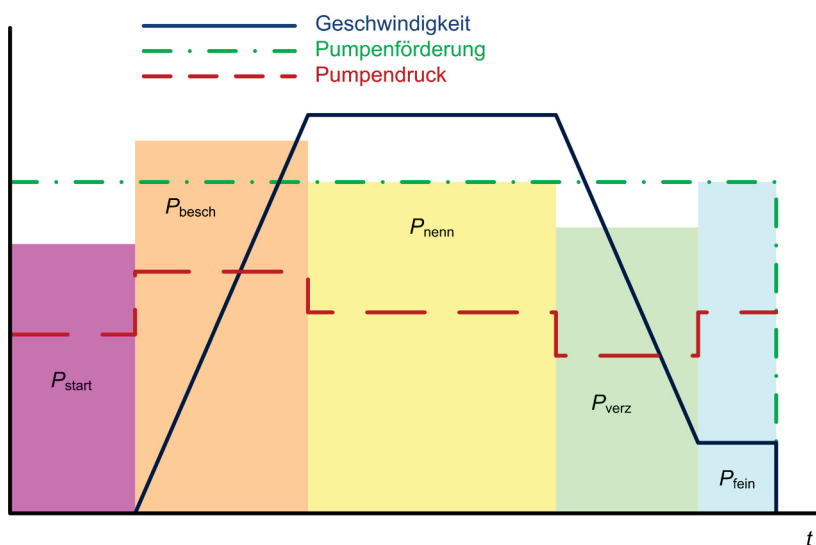


Bild C2. Darstellung der Abhängigkeiten bei konstantem Volumenstrom

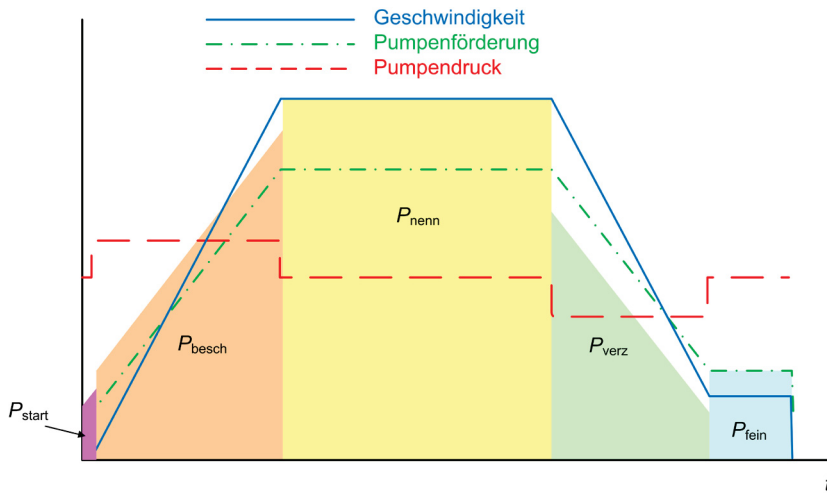


Bild C3. Darstellung der Abhängigkeiten bei variablem Volumenstrom

Der Leistungsbedarf während der Fahrt mit Nenn-
geschwindigkeit beträgt:

$$P_{\text{nenn}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}}}{\eta_{\text{gesamt}}} \quad (\text{C12})$$

Der Leistungsbedarf während des Einfahrens in die
Haltestelle mit Einfahrtgeschwindigkeit beträgt:

$$P_{\text{fein}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot v_{\text{nenn}} \cdot f_{\text{fein}}}{\eta_{\text{Antrieb}}} \quad (\text{C13})$$

Dabei ist

f_{fein} Korrekturfaktor beim Einfahren in die
Haltestelle zur Berücksichtigung des
Umstands, dass bei einem variablen an-
statt konstanten Volumenstrom, die Ver-
luste durch rücklaufendes Öl in der
Aufwärtsfahrt reduziert sind

Anmerkung: Typische Werte sind:

- konstanter Volumenstrom: 1
- variabler Volumenstrom: 0,1

Allgemeiner Leistungsbedarf

$P_{\text{kumuliert auf-/abwärts}}$

Leistungsaufnahme aller sons-
tigen Antriebskomponenten
während der Aufwärts- und
Abwärtsfahrt, die in den bishe-
rigen Berechnungen nicht be-
rücksichtigt sind, aber zur
Gruppe der Triebwerke gehören
(z. B. Druckschalter, Proportio-
nal-Ventile usw.)

Anhang D Beispielrechnung für die Gewichtung der Betriebsmodi

Nach VDI 4707 Blatt 1 wird der jährliche Stillstandsbedarf mit der Stillstandsleistung nach fünfminütigem Stillstand gemessen.

Nach VDI 4707 Blatt 2 ist die Gewichtung der Betriebsmodi S0, S1 und S2 in Abhängigkeit der Nutzungskategorie des Aufzugs nach VDI 4707 Blatt 1 möglich. Die Beiträge der Modi werden anhand Tabelle 2 gewichtet.

Sofern Komponenten vorhanden sind, die im Betriebsmodus P0 verbleiben, ist deren Bedarf über die gesamte Zeit anzusetzen.

In einer Aufzugsanlage, die in der Nutzungskategorie 1 angesiedelt ist, sollen beispielsweise last- und geschwindigkeitsunabhängige Komponenten A bis D mit Leistungsbedarfen nach Tabelle D1 verwendet werden.

Tabelle D1. Gewichtung der Stillstandsmodi

Komponente	Leistungsbedarf im Modus			
	P0	S0	S1	S2
A	40 W	37 W	16 W	1 W
B	110 W	89 W	–	13 W
C	56 W	54 W	32 W	–
D	80 W	–	–	–

Damit ergibt sich der kumulierte Fahrtbedarf dieser vier Komponenten zu:

$$P_{\text{gesamt Fahrt}} = 40 \text{ W} + 110 \text{ W} + 56 \text{ W} + 80 \text{ W} \quad (\text{D1})$$

$$= 286 \text{ W}$$

Der Stillstandsbedarf der drei Komponenten muss nach Tabelle 2 gewichtet addiert werden:

$$P_{\text{gesamt Stillstand}} = 0 \text{ W} + 0,01 \times 37 \text{ W}$$

$$+ 0,24 \times 16 \text{ W} + 0,75 \times 1 \text{ W}$$

$$+ 0 \text{ W} + 0,01 \times 89 \text{ W}$$

$$+ 0,24 \times 89 \text{ W} + 0,75 \times 13 \text{ W}$$

$$+ 0 \text{ W} + 0,01 \times 54 \text{ W} \quad (\text{D2})$$

$$+ 0,24 \times 32 \text{ W} + 0,75 \times 32 \text{ W}$$

$$+ 80 \text{ W} + 0 \text{ W} + 0 \text{ W} + 0 \text{ W}$$

$$= (4,96 + 32 + 32,22 + 80) \text{ W}$$

$$= 149,18 \text{ W}$$

Schrifttum

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

Richtlinie **95/16/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 1995 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Aufzüge (European Parliament and Council Directive 95/16/EC of 29 June 1995 on the approximation of the laws of the Member States relating to lifts), ABl EG, 1995, Nr. L 213, S. 1–31

Richtlinie **2006/42/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast)), ABl EU, 2006, Nr. L 157, S. 24–86

Technische Regeln

DIN EN 81 Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen; Deutsche Fassung EN 81 (Safety rules for the construction and installation of lifts; German version EN 81). Berlin: Beuth Verlag

VDI 1000:2010-06 VDI-Richtlinienarbeit; Grundsätze und Anleitungen (VDI Guideline Work; Principles and procedures). Berlin: Beuth Verlag

VDI 4707 Blatt 1:2009-03 Aufzüge; Energieeffizienz (Lifts; Energy efficiency). Berlin: Beuth Verlag

Literatur

- [1] *Gongxin Shen; Albert So; H. L. Bai*: Forschungsarbeiten über superschnelle Aufzüge. In: Lift-Report Archiv Fachaufsätze, Ausgabe 4/2004; 07/01/04
<http://www.lift-report.de/index.php/news/24/340/>
 Forschungsarbeiten-uber-superschnelle-Aufzuge