

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREAufzüge
Energieeffizienz von Komponenten
Lifts
Energy efficiency of components

VDI 4707

Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweise	3
3 Begriffe	4
4 Formelzeichen	4
5 Ermittlung der Angaben und Kennwerte	5
5.1 Stillstandsbedarf	5
5.2 Fahrtbedarf	5
5.3 Betriebsmodi	6
5.4 Angaben zu Komponenten vom Komponentenhersteller	7
5.5 Messverfahren und -geräte für die Bestimmung der Leistungen in den verschiedenen Betriebsmodi	8
6 Komponenten und Komponentengruppen	8
6.1 Übersicht	8
6.2 Sonstige Komponenten	8
6.3 Komponenten, die durch die Betriebs- modi vollständig beschrieben sind	9
6.4 Komponenten, für die zusätzliche Angaben notwendig sind	9
6.5 Triebwerke	19
6.6 Passive Komponenten mit Einfluss auf den Schachtwirkungsgrad	24
6.7 Berechnung der Kennzahlen nach VDI 4707 Blatt 1 anhand der Komponenten (Tabelle 6)	24
7 Beispielrechnungen	26
7.1 Hydraulikaufzug	26
7.2 Seilaufzug	33
Anhang A Schachtwirkungsgrad	39
A1 Wirkungsgrad Fahrkorbführung, Gegen- bzw. Ausgleichsgewichts- führung, Zylinderjochführung	39
A2 Wirkungsgrad Umlenkrollen im Schacht	39

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	2
1 Scope	3
2 Normative references	3
3 Terms and definitions	4
4 Symbols	4
5 Determination of data and characteristic values	5
5.1 Standby demand	5
5.2 Travel demand	5
5.3 Operating modes	6
5.4 Component data supplied by the component manufacturer	7
5.5 Measuring procedures and instruments for power measurements in the various operating modes	8
6 Components and component groups	8
6.1 Overview	8
6.2 Other components	8
6.3 Components described fully by the operating modes	9
6.4 Components whose description requires further data	9
6.5 Lift machines	19
6.6 Passive components influencing the shaft efficiency	24
6.7 Calculation of characteristic values as per VDI 4707 Part 1 based on the components (Table 6)	24
7 Calculation examples	26
7.1 Hydraulic lift	26
7.2 Traction lift	33
Annex A Shaft efficiency	39
A1 Efficiencies of car guide, counterweight/balancing weight guide, cylinder guide yoke	39
A2 Efficiency of pulleys in the shaft	39

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)

Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

VDI-Handbuch Aufzugstechnik

Inhalt	Seite
A3 Wirkungsgrad Hängeseil	40
A4 Luftwiderstand	40
A5 Joch	40
Anhang B Triebwerk Seil	41
Anhang C Hydraulikantrieb	49
C1 Berechnung der Fahrzeiten	49
C2 Berechnung der Wirkungsgrade	50
C3 Berechnung des Leistungsbedarfs	51
Schrifttum	54

Contents	Page
A3 Efficiency of travelling cable	40
A4 Air resistance	40
A5 Yoke	40
Annex B Rope traction	41
Annex C Hydraulic drive	49
C1 Calculation of travel times	49
C2 Calculation of efficiencies	50
C3 Calculation of power demand	51
Bibliography	54

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.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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.

Die Richtlinie legt die Grundlagen für die Beurteilung und Kennzeichnung des Energiebedarfs von Aufzugsanlagen nach VDI 4707 Blatt 1 fest. Sie 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.

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi.de/richtlinien).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the internet at www.vdi.de/4707.

Introduction

The standard VDI 4707 Part 2 addresses the energy efficiency of lift components.

The standard establishes the fundamentals for the assessment and classification of the energy demand of lift systems in accordance with VDI 4707 Part 1. It describes the characteristic values to be specified by the component manufacturer, and how to calculate them. It also provides an explicit procedure for calculating the energy demand of a complete lift on the basis of the components used.

Important remark

Energy savings must not compromise the safety and use of the lift.

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 Personen- und Lastenaufzügen nach Definition der DIN EN 81. Sinngemäß kann sie auf andere Aufzugsarten übertragen werden. Diese Richtlinie gilt für die Komponenten neuer und bestehender Aufzüge.

Die Richtlinie ermöglicht eine praxisorientierte Beurteilung der Energieeffizienz von Aufzügen nach VDI 4707 Blatt 1 anhand von Methoden zur Kennzeichnung und Bewertung von Aufzugskomponenten.

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

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 der Energieeffizienz 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

For a lift user, the lift response time – even in energy saving modes – plays an important role. It is recommended that the response time be agreed between the lift manufacturer and the customer. The agreed value may have effects on the energy demand in standby mode (see also VDI 4707 Part 1).

This standard is aimed at the manufacturers of lifts and lift components, but also builders and building owners, architects, specialist planners, installation and maintenance companies, operators and testing bodies.

1 Scope

This standard serves for determining the energy efficiency of lift components and for calculating the energy demand of passenger and goods lifts as defined in DIN EN 81. It can be applied analogously to other types of lifts. It applies to the components of new and existing lifts.

The standard allows a practical evaluation of the energy efficiency of lifts pursuant to VDI 4707 Part 1 based on methods for classifying and assessing lift components.

To this end, the standard provides the calculation bases required for determining the values of standby demand and travel demand.

The standard gives guidance on calculating the energy demand of lifts. The procedure can also be applied to lift technologies not explicitly named in this standard, in which case the energy demand can also be declared in accordance with this standard.

Important remark

All items of equipment required for normal operation of the lift must be taken into account; in particular, shutting down individual components for an apparent improvement of energy efficiency is not permitted.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

DIN EN 81 Safety rules for the construction and installation of lifts; German version EN 81

VDI 4707 Part 1:2009-03 Lifts; Energy efficiency

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 (S0, S1, S2) gewechselt haben.

Anmerkung: Die →Reaktionszeit des Aufzugs ist nicht zwingend identisch mit der Aufweckzeit der Komponenten, denn die Aufweckzeiten der Komponenten können sich je nach Ansteuerung kumulieren. Wenn eine Komponente das „Wecksignal“ erst nach dem Aufwachen einer anderen Komponente erhält, addieren sich die beiden Aufweckzeiten. Ein paralleles Aufwachen der Komponenten verkürzt die Aufweckzeit des Aufzugs.

Fahrtbedarf des Aufzugs

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

Anmerkung 1: Er setzt sich zusammen aus dem kumulierten Leistungsbedarf der Komponenten in Abhängigkeit ihrer Betriebsmodi und gegebenenfalls weiterer Größen während der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1.

Anmerkung 2: Vgl. →Fahrtbedarf einer Komponente.

Reaktionszeit

Zeit zwischen dem Geben eines Fahrbefehls und Fahrtbeginn des Fahrkorbs.

Anmerkung: Siehe auch →Aufweckzeit.

Stillstandsbedarf (Standby-Bedarf)

Gesamter Leistungsbedarf des Aufzugs im Stillstand bei abgeschaltetem Antrieb, festgelegt in VDI 4707 Blatt 1.

Anmerkung: Er setzt sich zusammen aus dem kumulierten Leistungsbedarf der Komponenten in Abhängigkeit 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

3 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the terms and definitions as per VDI 4707 Part 1 and DIN EN 81 and the following terms and definitions apply:

Wake-up time

Time until components are again ready for operation after having been in energy saver mode (S0, S1, S2).

Note: The →response time of the lift is not necessarily identical to the wake-up time of the components, for there is a possibility of the wake-up times of the components cumulating depending on the activation pattern. If one component receives the “wake-up signal” after the waking-up of another component, the two wake-up times will add up. Simultaneous waking-up of the components reduces the wake-up time of the lift.

Travel demand of the lift

Total energy demand of the lift during trips at specified cycles and with a specific load as per VDI 4707 Part 1.

Note 1: The travel demand of the lift is the cumulative power demand of the components depending on their operating modes plus any further data during a reference trip as per VDI 4707 Part 1.

Note 2: C.f. →travel demand of a component.

Response time

Time between a call signal being issued and the car starting to travel.

Note: See also →wake-up time.

Standby demand

Total power demand of the lift while in standby mode with the drive shut off, as per VDI 4707 Part 1.

Note: The standby demand is the cumulative power demand of the components depending on their operating modes after the lift has been on standby for five minutes.

Technology factor (k_T)

Multiplier to allow for the technology-related additional energy consumption during the acceleration and deceleration phases.

4 Symbols

The following symbols are used throughout this standard:

Symbol	Term	Unit
a	acceleration/deceleration	m/s ²
E	energy demand	Wh, Ws
F	force	N
f	correction factor	–
g	gravitational acceleration	m/s ²
H	height	m

Formelzeichen	Benennung	Einheit
I	Stromstärke	A
k_T	Technologiefaktor	–
M	Drehmoment	N·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	–

Symbol	Term	Unit
I	electric current	A
k_T	technology factor	–
M	torque	N·m
m	mass	kg
n	number	–
P	power	W
p	pressure	Pa
Δp	pressure loss	Pa
Q	rated load, load capacity	kg
t	time	s
$\ddot{u}$	overload	
v	speed	m/s
η	efficiency	–
μ	friction coefficient	–

5 Ermittlung der Angaben und Kennwerte

5.1 Stillstandsbedarf

Der Stillstandsbedarf des Aufzugs nach dieser Richtlinie setzt sich zusammen aus dem kumulierten Leistungsbedarf der Komponenten in Abhängigkeit ihrer Betriebsmodi nach fünfminütigem Stillstand des Aufzugs, wie in VDI 4707 Blatt 1 festgelegt.

5.2 Fahrtbedarf

Der Fahrtbedarf des Aufzugs setzt sich zusammen aus dem kumulierten Leistungsbedarf der Komponenten in Abhängigkeit ihrer Betriebsmodi und gegebenenfalls weiterer Angaben multipliziert mit der Zeit während der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1.

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) bei Beförderung der Last, 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 Determination of data and characteristic values

5.1 Standby demand

The standby demand of the lift according to this standard is the cumulative power demand of the components depending on their operating modes after the lift has been on standby for five minutes, as specified in VDI 4707 Part 1.

5.2 Travel demand

The travel demand of the lift is the cumulative power demand of the components depending on their operating modes plus any further data, multiplied by the time during a reference trip as per VDI 4707 Part 1.

As a rule, the travel demand depends, in particular, on

- the load to be carried,
- the load-carrying unit/car,
- the lift machine,
- the efficiencies of the components,
- the lift design,
- the operating data (acceleration and speed) during load transport, and
- the travel height.

Important remark

Installation workmanship has a significant impact on the energy demand; as a matter of principle, this standard assumes professional installation and maintenance.

5.3 Betriebsmodi

In dieser Richtlinie werden für alle Aufzugskomponenten vier verschiedene Betriebsmodi, P0, S0, S1 und S2, festgelegt. Die Energiesparmodi 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 Energiesparmodus kann entweder zentral von der Aufzugssteuerung oder selbstständig von der einzelnen Komponente eingeleitet werden. Die Betriebsmodi werden in Tabelle 1 beschrieben.

Außer der Aufweckzeit ist für das Einschalten der verschiedenen Modi auch wichtig, wie häufig eine Komponente geschaltet werden kann.

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

5.3 Operating modes

This standard specifies four different operating modes, P0, S0, S1 and S2, for all lift components. The energy saver modes are defined in terms of so-called wake-up times, and are attributed the power of the component in the respective mode. As a rule, the signal to “wake up” components is transmitted from the lift control system. The energy saver mode can be triggered from the central lift control system or independently by the individual components. The operating modes are described in Table 1.

Apart from the wake-up time, another factor determining the switching-on of the different modes is how many switching cycles a component can perform.

Note: In the course of drafting this standard, it has become necessary to consider energy saver modes not addressed in VDI 4707 Part 1. The response times of the lift resulting from these energy saver modes for the various usage categories will

Tabelle 1. Betriebsmodi: Beschreibung und Aufweckzeiten

	Betriebsmodus	Beschreibung	Aufweckzeit	Kenndaten der Komponente
	P0 ^{a)}	Die Komponente ist in Funktion.	–	Wirkleistung in Watt
Energiesparmodi	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 Aufwecksignal 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.

Tabelle 2. Herstellerangaben zu Aufzugskomponenten oder -komponentengruppen (Beispiel für eine Komponente, die vollständig durch die Betriebsmodi beschrieben wird)

Herstellerangaben zu einer 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		
Weitere Angaben (sofern notwendig)			

wird es daher notwendig werden, die hierdurch bedingten Reaktionszeiten des Aufzugs in Abhängigkeit von 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 6 in Abschnitt 6.6).

5.4 Angaben zu Komponenten vom Komponentenhersteller

Eine Information über den Energiebedarf nach Tabelle 2 als Kennzeichnung auf der Komponente sowie in der Dokumentation ist empfehlenswert. Für einfache Komponenten reicht die tabellarische Angabe, wie im Beispiel der Tabelle 2 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 P_0 bei Motoren und Umrichtern), wie in den entsprechenden Abschnitten aufgelistet, anzugeben.

have to be specified in a future revision of VDI 4707 Part 1. Calculations pursuant to VDI 4707 Part 2, if used for classification in accordance with VDI 4707 Part 1, shall therefore be made such that they simulate the state of the lift following five minutes' standby (see Table 6 in Section 6.6).

5.4 Component data supplied by the component manufacturer

It is recommended that information on the energy demand as per Table 2 be provided as a label on the component and included in the documentation. For simple components, a table as shown in the example of Table 2 will suffice. For components which cannot be described by the operating modes alone, all further data required for calculation (e.g. η instead of P_0 for motors and converters) shall be provided as listed in the relevant sections.

Table 1. Operating modes: Description and wake-up time

	Operating mode	Description	Wake-up time	Component characteristics
	P0 ^{a)}	The component is in operation.	–	effective power, in watts
energy saver modes	S0	The component is "OFF" but "immediately" ready for operation.	< 250 ms ("0 s")	effective power, in watts
	S1	Simplest sleep mode. Upon a given wake-up signal, the component switches back to the P0 mode within 3 s.	≤ 3 s	effective power, in watts; wake-up time, in s
	S2 ^{b)}	Soft-off mode. The component is quasi-shut-off and, upon a given wake-up signal, switches back to the P0 mode within 60 s.	≤ 60 s	effective power in watts, wake-up time, in s

^{a)} For components taking longer than 60 s to wake up, it shall be assumed that they are not shut off. The P0 mode is therefore assumed in such cases; exceptions shall be agreed explicitly.

^{b)} It is recommended that activation of the S2 mode be indicated by appropriate display means.

Table 2. Manufacturer's data on lift components or component groups (example of a component which is described fully by the operating modes)

Manufacturer's data on a lift component according to VDI 4707 Part 2			
Component data	Supported operating modes according to VDI 4707 Part 2	Power in W	Wake-up time in s
Model	P0		
Designation	S0		
No.	S1		
Year built	S2		
Further data (if necessary)			

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 erzeugt wird.

6 Komponenten und Komponentengruppen

Eine Übersicht der Komponenten ist in Bild 1 dargestellt. Die Aufzählung in dieser Richtlinie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

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.

6.2 Sonstige Komponenten

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

- Beleuchtung der Schachtzugänge (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

Where any one of the operating modes is not supported, or not activated, in a component, this operating mode is not listed, or marked as “not available”.

5.5 Measuring procedures and instruments for power measurements in the various operating modes

The component manufacturer shall perform the power measurements on components powered by AC voltage in accordance with VDI 4707 Part 1, Section 4.4, using the measuring instruments specified therein. The power data are measured and stated by the manufacturer for the specified operating point or range.

For components powered by DC voltage, measuring the actual values of voltage and current suffices to determine the power.

Energy consumed from rechargeable batteries or from standby power supply systems during the reference trip or while in standby mode shall be added when calculating the energy demand of the lift unless it is generated by the lift itself during the reference trip.

6 Components and component groups

Figure 1 provides an overview of the components. The compilation given in this standard is not exhaustive.

6.1 Overview

Figure 2 and Figure 3 show overviews of the components of a reference lift. Figure 4 illustrates their actions during the reference trip.

6.2 Other components

The following components are not considered in this standard but can be documented separately:

- lighting of shaft access lobbies (anterooms)
- air conditioner for machine room cooling
- machine room lighting
- shaft venting/shaft smoke extraction
- fans for the machine room
- oil heating/oil cooling
- fans and air conditioners for the car
- car underfloor heating
- sill heating for landing doors and car doors

- Schachtbeleuchtung
- Ersatzstromversorgung

6.3 Komponenten, die durch die Betriebsmodi vollständig beschrieben sind

Um den Stillstands- und Fahrtbedarf des Aufzugs zu berechnen, reichen in der Regel 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.

- shaft lighting
- standby power supply system

6.3 Components described fully by the operating modes

For the components listed below, the manufacturer's data on the operating modes P0, S0, S1 and S2 will usually suffice to calculate the standby demand and travel demand of the lift.

- electrical installations and devices
 - control module (I/O modules, relays, central unit, maintenance displays, etc.)
 - shaft copying
 - load-measuring system
- controls and displays
 - information displays on landings
 - information displays in the car
 - intercom system
 - emergency call system
 - floor selector buttons in the car
 - call buttons on landings
 - emergency light
- door monitoring sensors
 - light grid
 - light barrier
 - lobby monitoring system
- car lighting
- lift machine/hydraulic
 - pressure switch
 - electronic control system
- lift machine/traction
 - brake
 - external ventilation
- safety components

6.4 Components whose description requires further data

For the components listed below, the manufacturer's data on the operating modes P0, S0, S1 and S2 will not suffice to calculate the standby demand and travel demand of the lift. Further data depending on the component are required.

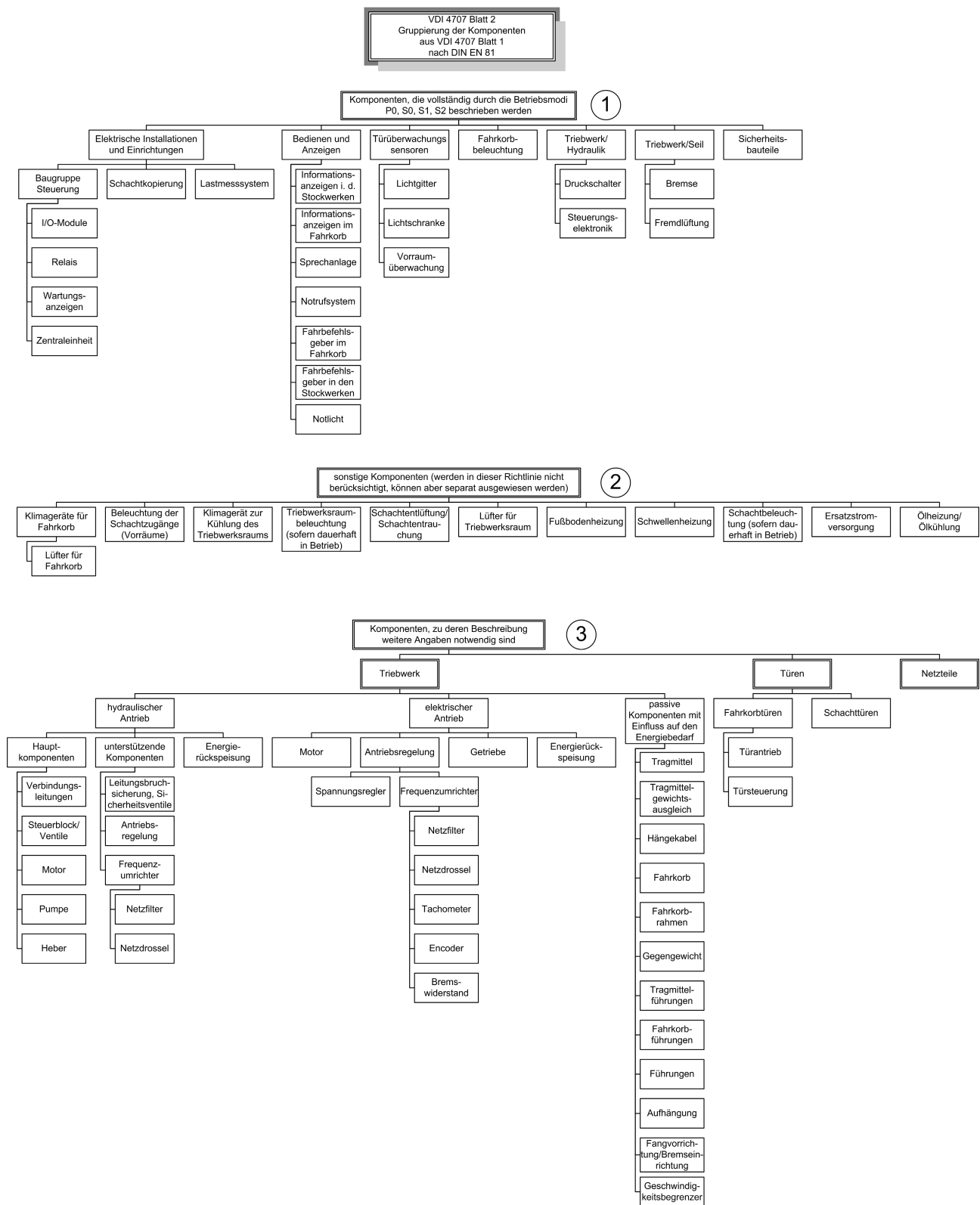


Bild 1. Gruppierung von Aufzugskomponenten in Anlehnung an DIN EN 81

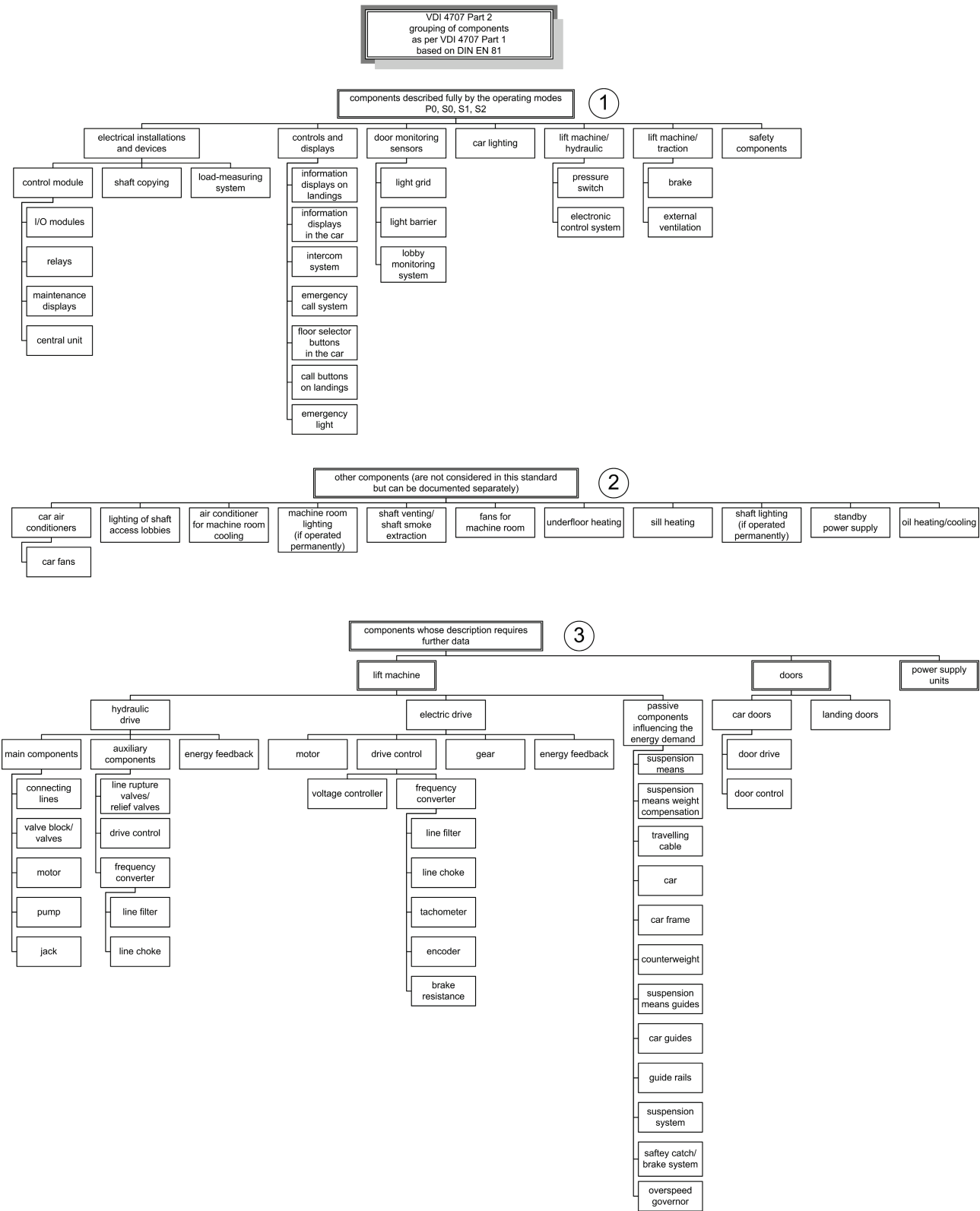


Figure 1. Grouping of lift components based on DIN EN 81

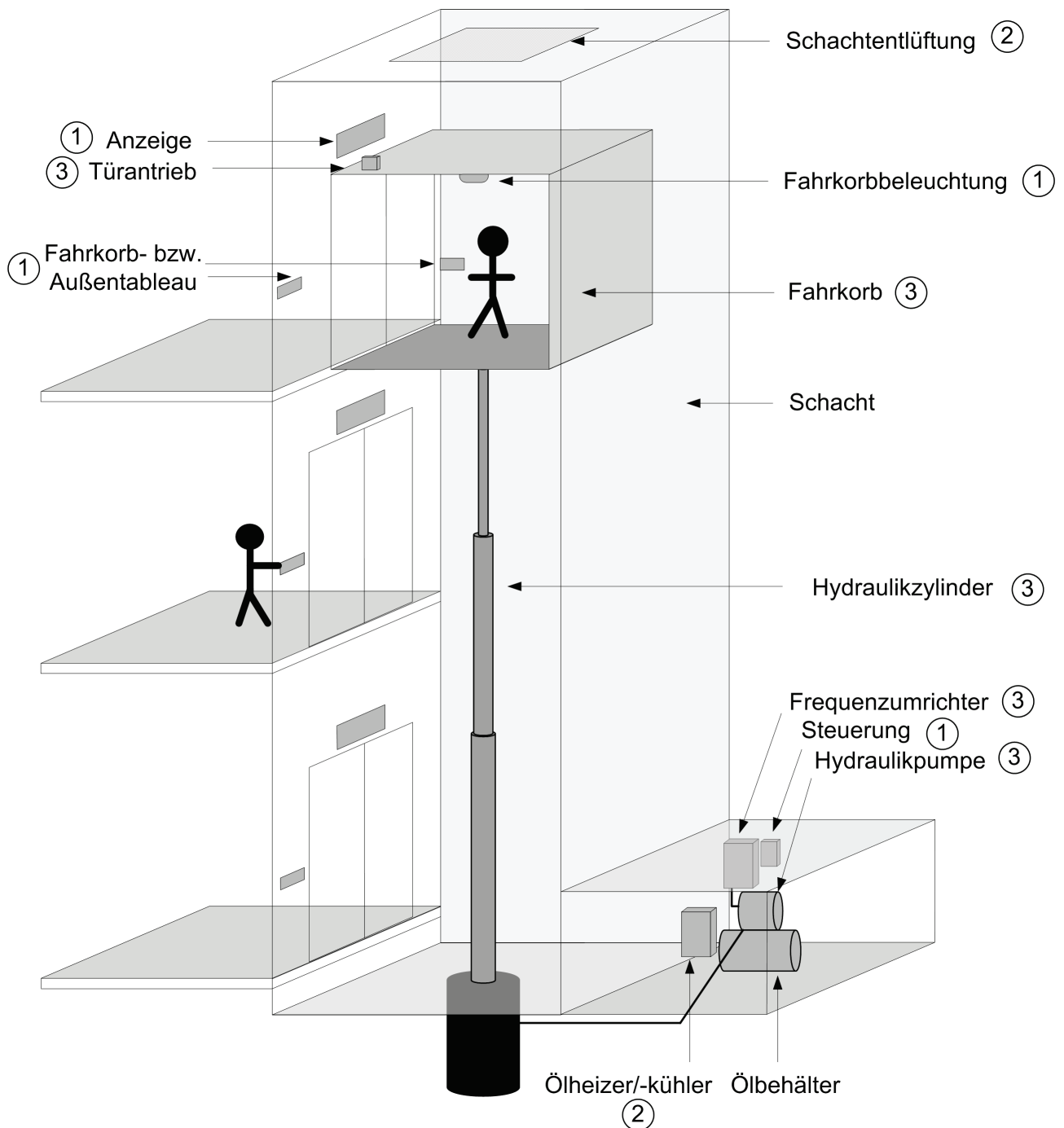


Bild 2. Komponenten des Referenzaufzugs (hier: Hydraulikaufzug) – Übersicht

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.

6.4.1 Power supply unit

Efficiencies of power supply units which are dedicated to single components, powering them exclusively, shall be taken into account in the operating modes and need not be stated. For any further power supply units, the efficiency curves shall be provided.

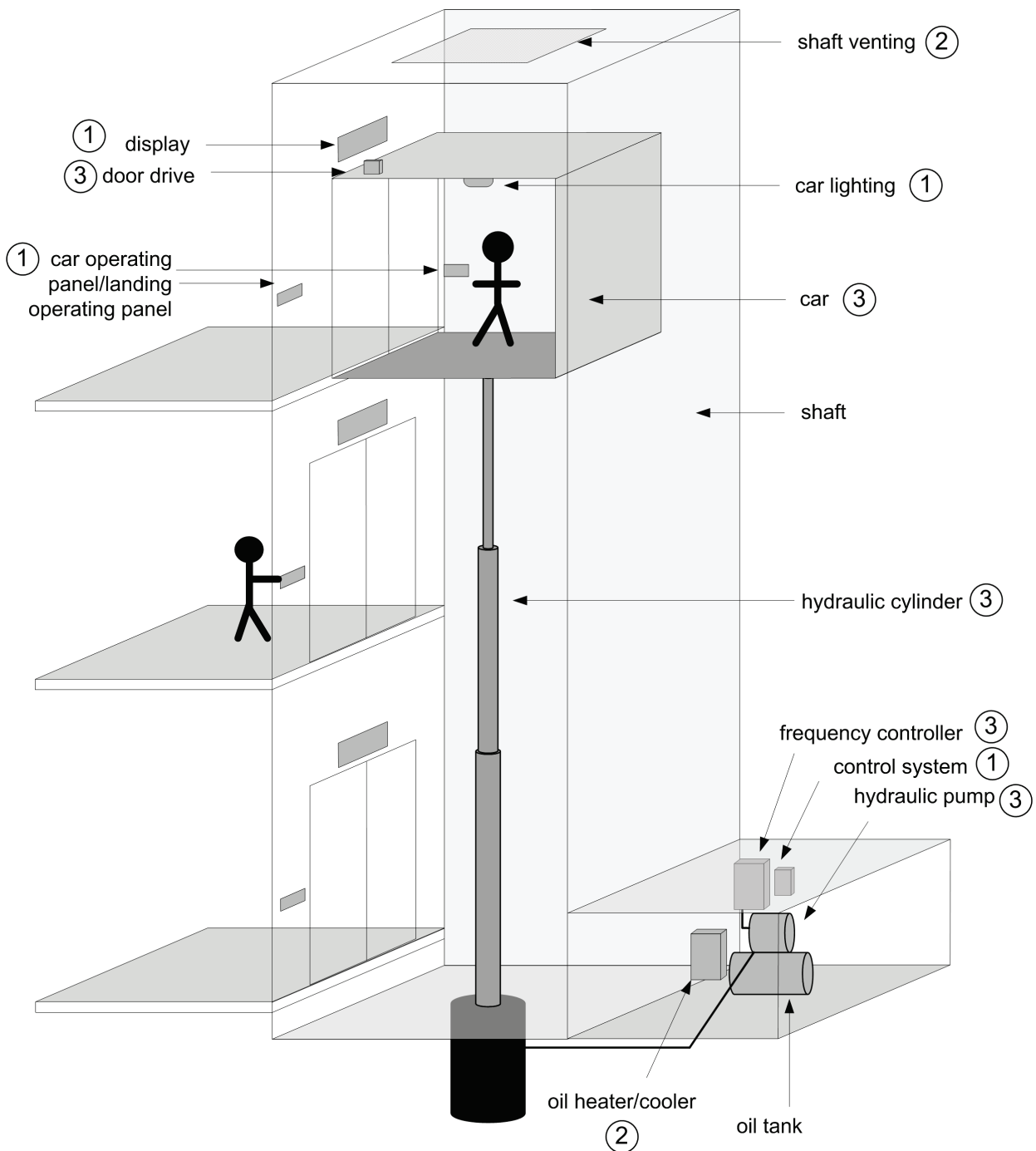


Figure 2. Reference lift components (here: hydraulic lift) – overview

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.

Example – calculation of a component with power supply unit

Connection of an electrical component with a supply voltage of 24 V and manufacturer's data on operating mode P0 for the component without power supply unit of, e.g., 12 W. If a power supply unit with 80 % efficiency at the operating point is used for this component, the power to be considered in the calculations increases to 15 W in operating mode P0.

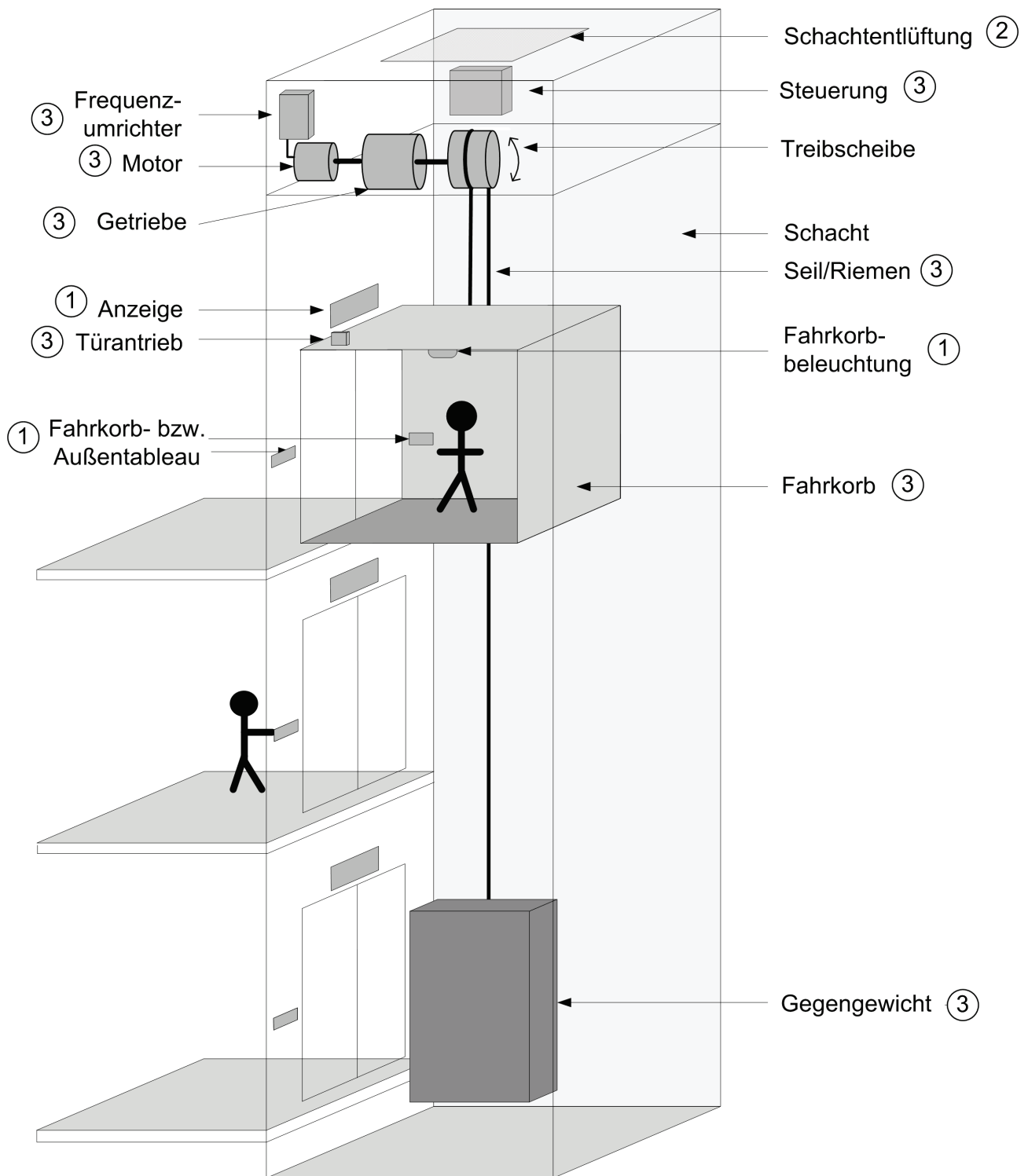


Bild 3. Komponenten des Referenzaufzugs (hier: Seilaufzug) – Übersicht

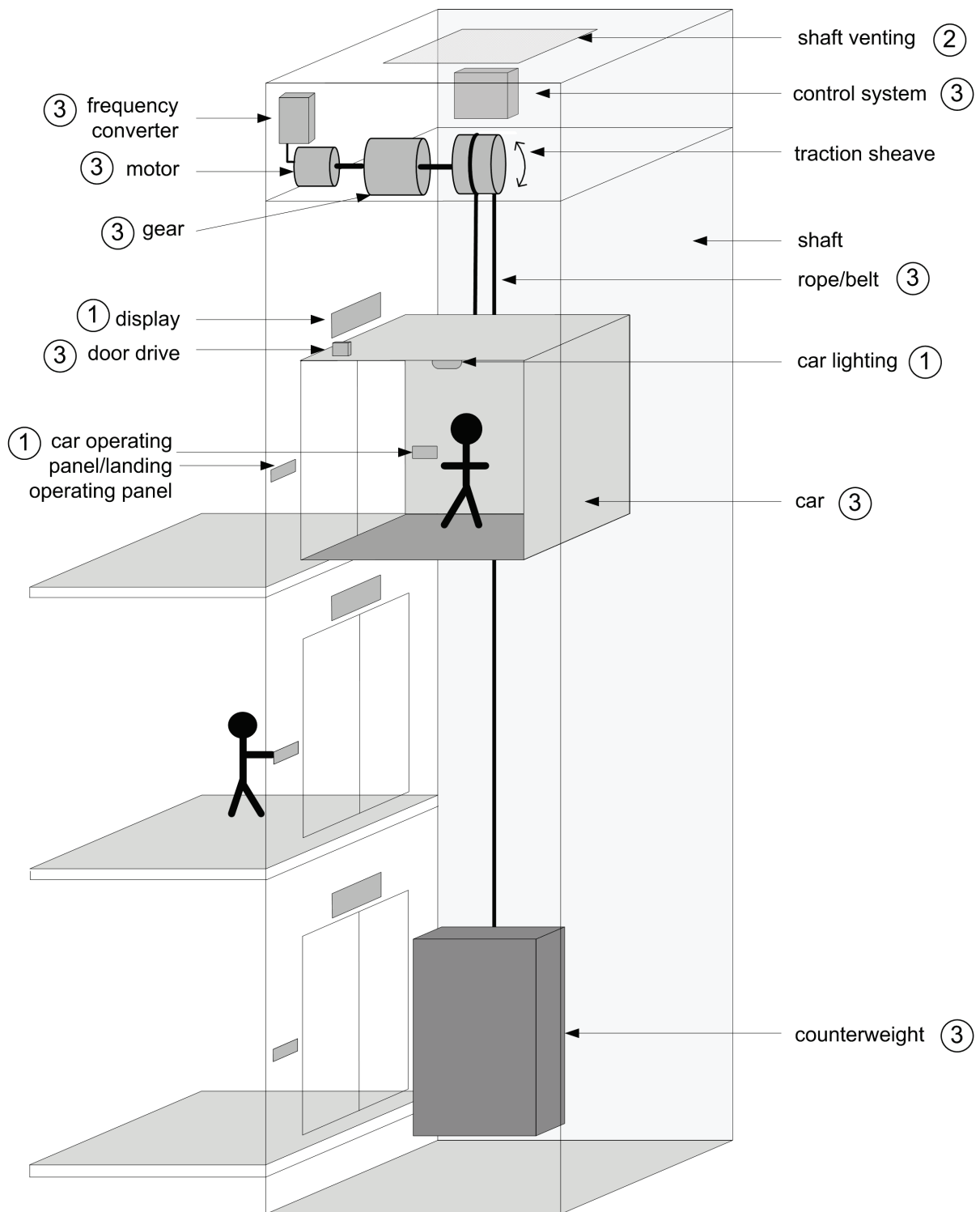


Figure 3. Reference lift components (here: traction lift) – overview

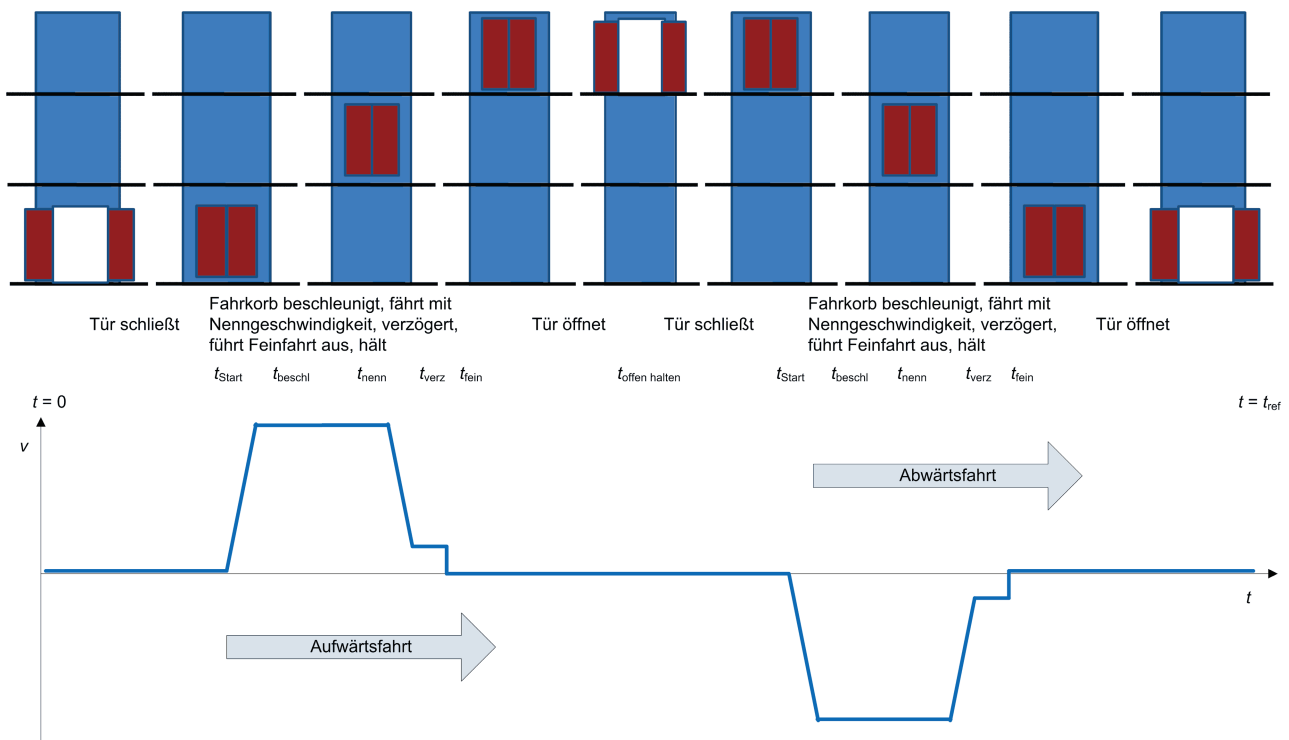


Bild 4. Veranschaulichung der Referenzfahrt nach VDI 4707 Blatt 1

Anmerkung 1: $t_{\text{offen halten}}$ wird in VDI 4707 Blatt 1 nicht berücksichtigt, siehe auch Abschnitt 6.4.1.

Anmerkung 2: Die Zeiten für das Öffnen und Schließen der Türen müssen berücksichtigt werden, wenn sie die Referenzfahrt verlängern.

6.4.2 Schacht- und Fahrkorbtüren

Bild 5 stellt die Türen im Prinzipschaltbild dar.

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 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.

6.4.2 Landing and car doors

Figure 5 shows a schematic of doors.

As a general rule, centre-opening door systems have smaller demand values than side-opening door systems with identical dimensions. For identical door systems, the demand values are additionally influenced by the door panel weight in combination with the closing and opening times.

For the classification of energy efficiency in standby mode the energy demand values of the doors are a crucial factor as they often are very high. The energised door drive requires the largest demand fraction for keeping the door driving mechanism locked; the door control accounts for a small fraction. Some door drives can be shut off in standby mode without causing the driving mechanism to open and the landing door to unlock. In case of complete shutdown of the door control, it shall be ensured that no precision positioning is required upon restart.

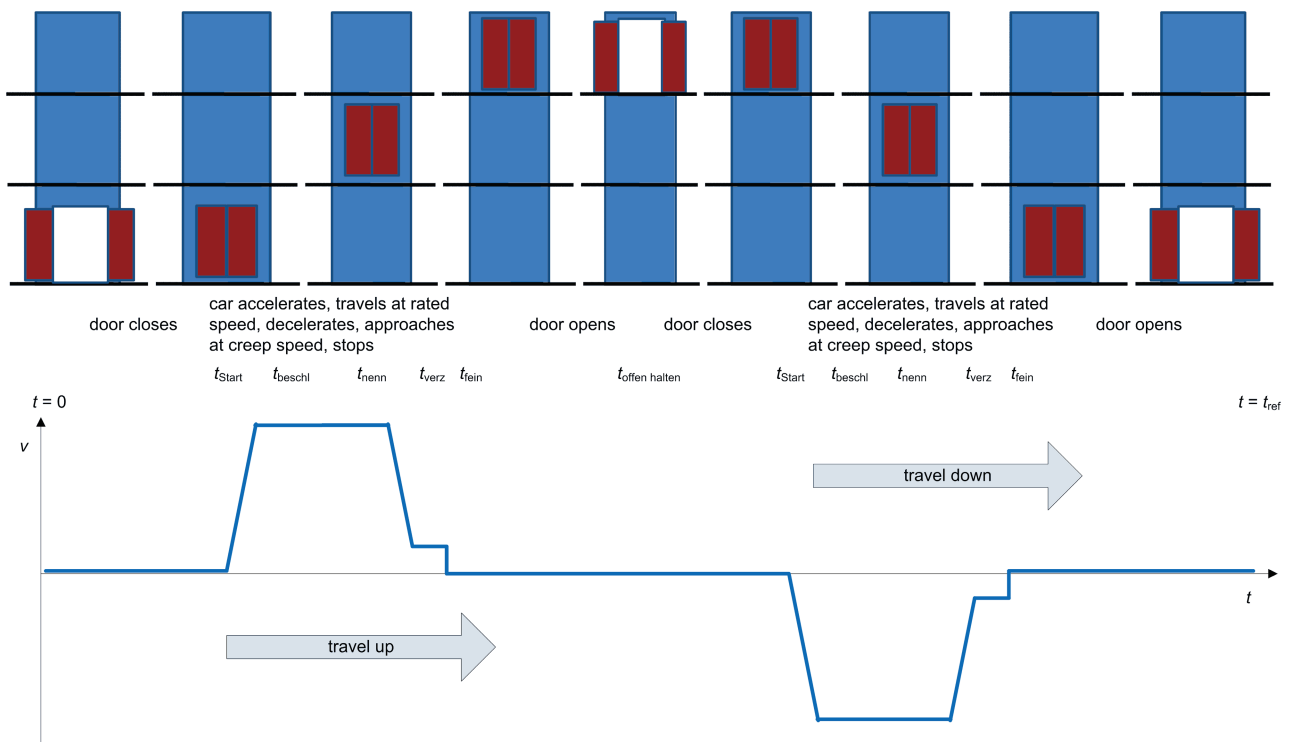


Figure 4. Illustration of reference trip as per VDI 4707 Part 1

Note 1: $t_{\text{offen halten}}$ is not taken into account in VDI 4707 Part 1, see also Section 6.4.1.

Note 2: Times required for opening and closing doors must be taken into account if they prolong the reference trip.

Offen halten

Die Zeit zwischen Öffnen und Schließen der Tür ($t_{\text{offen halten}}$) 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 $t_{\text{offen halten}}$ wird 8 s empfohlen.

Türzykluszeiten

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

Die Türzykluszeiten dienen zur Vergleichbarkeit verschiedener Türantriebe und sind zur Ermittlung des Energiebedarfs des Türantriebs heranzuziehen (siehe Tabelle 3).

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 3 aufgeführten Türen oder Tore sind anzugeben.

Hold-open time

The time between opening and closing of the door ($t_{\text{offen halten}}$) at the stop has not been taken into account in VDI 4707 Part 1. Given that the door drive consumes energy for holding the door open, only calculations based on identical times are comparable. 8 s are recommended as a practical guide value for $t_{\text{offen halten}}$.

Door cycle times

The door cycle time is the total time required for opening and closing the landing and car doors. The time during which the doors are held open ($t_{\text{offen halten}}$) is not included in the door cycle time.

The door cycle times serve for comparing different door drives and shall be used for determining the energy demand of the door drive (see Table 3).

The values obtained can be entered in the calculation according to VDI 4707 Part 1, and they render the components comparable. Cycle times for doors or gates other than those mentioned in Table 3 shall be stated.

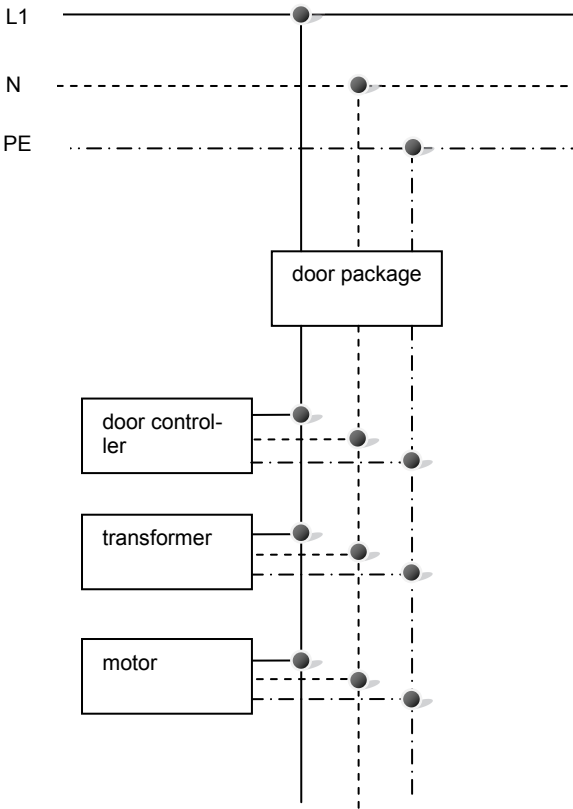
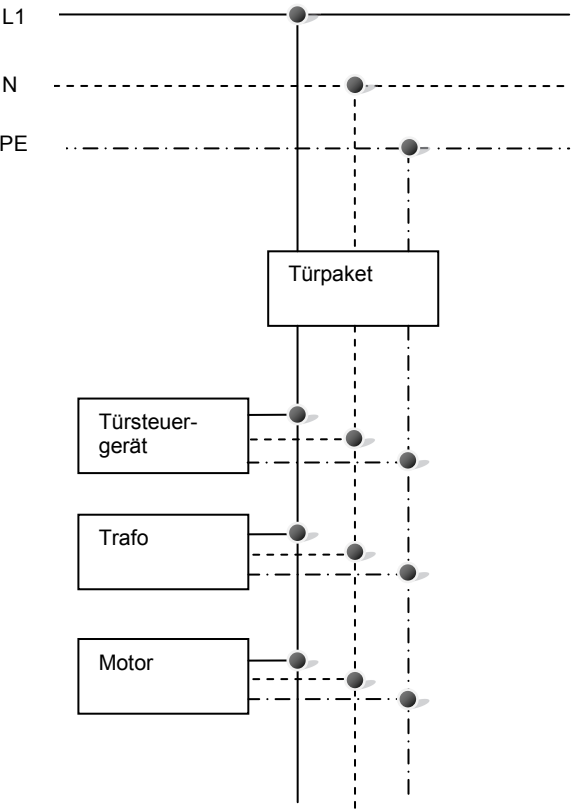


Bild 5. Prinzipschaltbild zur Ermittlung des Energiebedarfs von Türen

Figure 5. Schematic for determining the energy demand of doors

L1 Phase
N Null
PE Schutzleiter

L1 phase
N neutral
PE protective earth

Tabelle 3. 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		

Table 3. Door cycle times ($t_{\text{Türzyklus}} = t_{\text{öffnen}} + t_{\text{schließen}}$) for horizontally moving doors

Centre-opening doors						
Width in mm	600–1000	1050–1400	1450–1800	1850–2000	2250–2600	> 2600
Max. time in s	7	8	9	10	12	>12
Telescopic side-opening doors						
Width in mm	600–1000	1050–1400	1450–1800	> 1800		
Max. time in s	10	13	15	> 15		

Energiebedarf für die Referenzfahrt

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

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 $t_{\text{zu}} = t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}}$
P_{offen}	Leistung, die der Türantrieb zum Aufhalten der Schacht- und Fahrkorbtür benötigt
$t_{\text{offen halten}}$	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 (Herstellangaben)

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.

Energy demand for a reference trip

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

where

$E_{\text{Tür ref}}$	total energy demand of a door drive for a reference trip
P_{zu}	power required by the door drive to hold the car door closed
t_{zu}	total of all times during reference trip during which the car door is closed $t_{\text{zu}} = t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}}$
P_{offen}	power required by the door drive to hold the landing and car doors open
$t_{\text{offen halten}}$	time during reference trip during which the car door is 100 % open
$E_{\text{Türzyklus}}$	energy required for opening and closing the landing and car doors, in compliance with the cycle times given in Table 3 (manufacturer's data)

6.5 Lift machines**6.5.1 Hydraulic drive**

In most hydraulic lifts, the car is moved by one or several hydraulic pistons and is driven by a pump and motor combination.

The largest energy fraction is required during upward travel, for moving the car over the entire travel height. During downward travel, energy is, in most cases, only required for moving the car to the lowest stop. Moreover, energy can be recovered during downward travel.

The hydraulic lift machine comprises:

- main components
 - motor
 - pump
 - valve block/valves
 - connecting lines
 - jack
- auxiliary components (see also Figure 1)
 - frequency converter (including line filter, choke, etc.)
 - pressure switch, electronic control system, etc.
 - line rupture valve, relief valves, etc.

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:

The most important influencing factors, if applicable, are:

- efficiencies of
 - motor
 - pump
 - connecting line (line diameter and length)
 - shaft (suspension means, pulley)
- type
 - of valve block (influencing the travel characteristic and, thus, the duration of travel)
 - of drive (constant volume flow rate or variable volume flow rate)
- energy feedback
- weight of
 - car (the heavier, the higher the energy demand)
 - car frame (the heavier, the higher the energy demand)

Energy demand for a reference trip

The calculation also takes into account the influencing quantities of the travel characteristic.

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

where

$E_{\text{Antrieb ref}}$ energy demand of the drive for reference trip according to VDI 4707 Part 1

$E_{\text{fahren aufwärts}}$ energy demand of the drive for upward travel

$E_{\text{div ref}}$ energy demand of the additional components during reference trip

$E_{\text{generatorisch}}$ regenerative energy

The energy demand is calculated from acceleration, travel at rated speed, deceleration and approach at creep speed during a reference trip as per VDI 4707 Part 1.

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

Energy demand of the drive-related additional components during a reference trip

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

If the lift features energy feedback, the energy to be recovered can be calculated from the potential energy (position energy) and the total efficiency:

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

Die Herleitung ist Anhang C 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
 - Hängekabel
 - 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 4 berücksichtigt.

Tabelle 4. Technologiefaktor

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

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

The derivation is explained in Annex C.

6.5.2 Electric drive

In most electric lifts, the car is driven by the electric drive and the associated suspension means. Compensation of the car weight by means of the counterweight influences the energy demand of the lift.

Main components include:

- motor
- drive control
- gear (if any)

The most important influencing factors, if applicable, are:

- efficiencies of
 - motor
 - drive control
 - shaft
 - gear
- type
 - of drive: open-loop or closed-loop
 - of gear
- energy feedback
- weight of
 - car
 - car frame
 - suspension means
 - suspension means weight compensation
 - travelling cable
 - counterweight
- power consumption of brake and fan of the motor during operation
- power consumption of the converter in standby mode

The technology-related additional energy consumption during acceleration and deceleration is taken into account by the technology factor, k_T , as per Table 4.

Table 4. Technology factor

Technology	Technology factor k_T
Converter	0,34
Voltage divider	0,67
Pole changer	1,8

Anmerkung: Für Werte, die von den Annahmen in Anhang B abweichen, ist der Technologiefaktor nach Anhang B, Gleichung (B36), zu berechnen.

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

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

Dabei ist

$m_{\text{Differenz}}$ Massendifferenz an der Treibscheibe

$m_{\text{Hängekabel}}$ frei hängende Masse des Hängekabels

$m_{\text{Gegengewicht}}, m_{\text{Fahrkorb}}$ 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 ($= \Sigma P_i$)

Note: For values deviating from the assumptions made in Annex B, the technology factor shall be calculated as specified in Annex B, Equation (B36).

Calculation of travel consumption

Calculation of total efficiency

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

where η is the respective efficiency.

Calculation of travel time

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

where

H travel height

v rated speed

Calculation of acceleration time

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

where

v rated speed

a mean acceleration

Calculation of resultant mass to be lifted at 0 kg actual load

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

where

$m_{\text{Differenz}}$ mass difference at the traction sheave

$m_{\text{Hängekabel}}$ freely suspended mass of travelling cable

$m_{\text{Gegengewicht}}, m_{\text{Fahrkorb}}$ mass as indicated in each case

Calculation of energy demand

The operating states “motor operation” and “regenerative operation” are considered accordingly for lift designs with and without energy feedback.

Motor operation

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

where

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

$P_{\text{kumuliert}}$ cumulative power of the other drive components, e.g. fans, brakes, during the travel motion ($= \Sigma P_i$)

Generatorischer Betrieb

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

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

Siehe auch Tabelle 5.

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

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

Dabei ist

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

Die Herleitung ist Anhang B zu entnehmen.

Regenerative operation

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

Depending on the drive technology used, regenerative travel provides the following contribution to the energy balance of the grid:

- for pole changers, converters with energy feedback or Ward-Leonard converters:
 $E_{\text{generatorisch,Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$
- for voltage dividers or frequency converters:
 - if $E_{\text{generatorisch}} > 0$: $E_{\text{generatorisch,Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$
 - otherwise: $E_{\text{generatorisch,Netz}} = 0$

See also Table 5.

Taking into account the power consumption of the converter during the door cycle in standby mode S0, the total energy demand of the traction drive during a reference trip is calculated as:

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

where

$P_{\text{kumuliert}}$ cumulative power consumption of converter and other drive components in the respective operating mode ($= \Sigma P_i$)

The derivation is explained in Annex B.

Tabelle 5. Energiebilanz aus dem Netz bei generatorischer Fahrt, nach Antriebstechnologie

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

Table 5. Energy balance of the grid for regenerative travel, depending on drive technology

Drive technology	Energy balance
Pole changer	$E_{\text{generatorisch,Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$
Voltage divider	$E_{\text{generatorisch,Netz}} = \max(E_{\text{generatorisch}}, 0)$
Frequency converter	$E_{\text{generatorisch,Netz}} = \max(E_{\text{generatorisch}}, 0)$
Converter with energy feedback or Ward-Leonard converter	$E_{\text{generatorisch,Netz}} = E_{\text{generatorisch}}$

6.6 Passive Komponenten mit Einfluss auf den Schachtwirkungsgrad

Folgende Komponenten werden im Schachtwirkungsgrad η_{Schacht} zusammengefasst:

- Tragmittel
- Tragmittelgewichtsausgleich
- Hängkabel
- Fahrkorb
- Fahrkorbrahmen
- Gegengewicht
- Tragmittelführungen
- Fahrkorbführungen
- Führungen
- Aufhängung
- Fangvorrichtung/Bremseinrichtung
- Geschwindigkeitsbegrenzer

Die Energieverluste, die vom Fahrkorb und, falls vorhanden, vom Gegengewicht/Ausgleichsgewicht oder Zylinderjoch erzeugt werden, bestimmen direkt den Energieverbrauch eines Aufzugs beim Fahren, da ein Aufzug nur fahren kann, wenn diese Verluste vom Antrieb ausgeglichen werden. Nicht berücksichtigte Einflussfaktoren sind gegebenenfalls separat zu bewerten und zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung des Schachtwirkungsgrads muss der Beladungszustand des Fahrkorbs beachtet werden.

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.

$$\eta_{\text{Schacht}} = \eta_{\text{Führung}} \cdot \eta_{\text{Umlenkung}} \cdot \eta_{\text{Hängkabel}} \cdot \dots \quad (13)$$

Zur Herleitung siehe Anhang A.

6.7 Berechnung der Kennzahlen nach VDI 4707 Blatt 1 anhand der Komponenten (Tabelle 6)

Berechnung des Beitrags zum Fahrtbedarf für eine Referenzfahrt der Komponenten, die vollständig durch die Betriebsmodi beschrieben werden

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

Berechnung des Beitrags zum Stillstandsbedarf nach 5 min

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

6.6 Passive components influencing the shaft efficiency

The following components are subsumed under the shaft efficiency η_{Schacht} :

- suspension means
- suspension means weight compensation
- travelling cable
- car
- car frame
- counterweight
- suspension means guides
- car guides
- guide rails
- suspension system
- safety catch/brake system
- overspeed governor

The energy losses generated by the car and by any counterweight/balancing weight or cylinder yoke directly determine the energy consumption of a travelling lift, given that a lift can only travel if these losses are compensated by the drive. Any unconsidered influencing factors shall be assessed and considered separately. The load condition of the car must be taken into account when determining the shaft efficiency.

The shaft efficiency is the product of all individual efficiencies in the shaft. For any sub-assemblies not used and neglected, an efficiency of 1,0 is assumed in the calculation.

$$\eta_{\text{Schacht}} = \eta_{\text{Führung}} \cdot \eta_{\text{Umlenkung}} \cdot \eta_{\text{Hängkabel}} \cdot \dots \quad (13)$$

The derivation is explained in Annex A.

6.7 Calculation of characteristic values as per VDI 4707 Part 1 based on the components (Table 6)

Calculation of the contribution to the travel demand for a reference trip by components which are described fully by the operating modes

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

Calculation of the contribution to the standby demand after 5 min

The respective operating mode is specified by the manufacturer/lift installer.

Note: In the course of drafting this standard, it has become necessary to consider energy saver modes not addressed in VDI 4707 Part 1. The response times of the lift resulting from these energy saver modes for the various usage categories will

es daher notwendig werden, die hierdurch bedingten Reaktionszeiten des Aufzugs in Abhängigkeit von 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 6):

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

have to be specified in a future revision of VDI 4707 Part 1. Calculations pursuant to VDI 4707 Part 2, if used for classification in accordance with VDI 4707 Part 1, shall therefore be made such that they simulate the state of the lift following five minutes' standby (see Table 6):

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

Tabelle 6. Vorlage zur Berechnung der Kennzahlen nach VDI 4707 Blatt 1

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			
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

Table 6. Template for calculation of characteristic values as per VDI 4707 Part 1

Components described fully by operating modes P0, S0, S1, S2	Number <i>n</i>	Operating mode (if provided and activated)				Contribution to travel demand for reference trip in Wh	Operating mode after 5 min	Contribution to standby demand after 5 min in W
		P0 in W	S0 in W	S1 in W	S2 in W			
Control module								
Power supply units								
Buttons								
Display in car								
Displays on landings								
Bell								
Door monitoring sensor								
Voice announcement system								
Car lighting								
Emergency call device								
Landing and car doors								
Additional drive components								
Drive								
Energy demand, E_{ref} , as per VDI 4707 Part 1, during reference trip, in Wh						Total		
								Total
Standby demand of the lift, P_{standby} , in W								
						t_{ref} , in s		

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.

7 Calculation examples

7.1 Hydraulic lift

Calculations shall be made for a cantilever roped hydraulic passenger lift with eccentric suspension arrangement (floor plan see Figure 6). The drive consists of a pressure piston with pulley yoke and ropes in a 1:2 suspension system. The unit for driving the cylinder is located outside the shaft, and is connected to the cylinder by a flexible line. A screw pump driven by an oil-immersed motor delivers a constant oil flow for upward travel, which is controlled by a valve block.

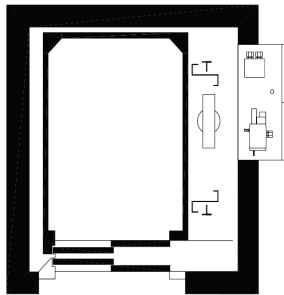


Bild 6. Seilhydraulischer Aufzug – Grundriss
(Grundlage für Berechnungsbeispiel)

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 2

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

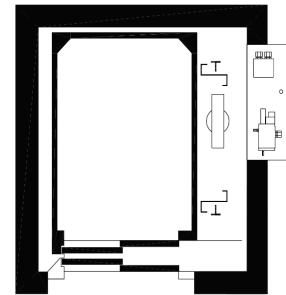


Figure 6. Roped hydraulic lift – floor plan (basis for calculation example)

7.1.1 Lift characteristics

rated load	$Q = 630 \text{ kg}$
car weight	$m_{\text{Fahrkorb}} = 584 \text{ kg}$
rated speed	$v = 0,63 \text{ m/s}$
travel height	$H = 7,35 \text{ m}$
force of a guide on the rail in x direction	$F_{\text{Fahrkorb } x} = 670 \text{ N}$
force of a guide on the rail in y direction	$F_{\text{Fahrkorb } y} = 360 \text{ N}$
number of frame guides	$n = 4$
motor ramp-up time (down)	$t_{\text{Start abwärts}} = 0 \text{ s}$
efficiency of piston guide yoke	$\eta_{\text{Joch}} = 0,99$

Note: Theoretically, $\eta_{\text{Joch}} = 1$, given that the horizontal guide forces are ideally zero; a correction is made to 0,99 in order to account for any installation tolerance.

efficiency of rope pulley	$\eta_{\text{Rolle}} = 0,99$
correction factors power demand	$f_{\text{Start}} = 0,8$
	$f_{\text{beschl}} = 1$
	$f_{\text{fein}} = 1$

7.1.2 Manufacturer's data as per Table 2

motor ramp-up time (up)	$t_{\text{Start aufwärts}} = 0,5 \text{ s}$
efficiencies	$\eta_{\text{Motor}} = 0,75$
	$\eta_{\text{Pumpe}} = 0,9$ (at rated power)
	$\eta_{\text{Heber}} = 0,95$
	$\eta_{\text{Umrichter}} = 1$ (no converter provided)
car guide friction coefficient	$\mu = 0,08$
dynamic system pressure	$p_{\text{dyn}} = 21,5 \text{ bar}$
pressure loss in connecting line	$\Delta p_{\text{Leitung}} = 4 \text{ bar}$
pressure loss in valve	$\Delta p_{\text{Ventil}} = 3,5 \text{ bar}$

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

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

Other drive components:

power consumption
valve solenoids up $P_{\text{kumuliert aufwärts}} = 10 \text{ W}$
power consumption
valve solenoids down $P_{\text{kumuliert abwärts}} = 25 \text{ W}$

7.1.3 Parameters as set by the lift installer

mean acceleration and deceleration $a = 0,3 \text{ m/s}^2$
creep speed $v_{\text{fein}} = 0,06 \text{ m/s}$
travel time at creep speed $t_{\text{fein}} = 1,5 \text{ s}$

7.1.4 Efficiencies

Controlled valve block

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

Drive

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

Connecting line

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

Shaft

$$\eta_{\text{Schacht}} = 0,93 \text{ (see auxiliary calculation)}$$

Overall drive system

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

Auxiliary calculation – determination of shaft efficiency for a reference trip with empty car

The guide forces acting on the guide rail in the case of an empty car are calculated using a program for guide rail calculation according to DIN EN 81-2, Annex G.7:

Force loss on car guides

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

Wirkungsgrade*Fahrkorbführung*

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

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.

Die Fahrtdauer mit Nenngeschwindigkeit wird ermittelt, indem von der Förderhöhe H der zurückgelegte Weg für Beschleunigung, Verzögerung und Feinfahrt abgezogen wird. Die Zeit für Beschleunigung und Verzögerung wird zur Vereinfachung als gleich angenommen.

Fahrtdauer mit konstanter Geschwindigkeit:

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

Gesamte Fahrtdauer aufwärts:

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

Gesamte Antriebsarbeitsdauer aufwärts:

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = t_{\text{Start aufwärts}} + t_{\text{fahren aufwärts}} = 15,6 \text{ s} \quad (25)$$

Gesamte Antriebsdauer abwärts:

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

Efficiencies*Car guide*

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

Shaft

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

7.1.5 Travel times

Acceleration/deceleration time:

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

Note: In this example, acceleration and deceleration times are assumed to be equal.

The duration of travel at rated speed is determined by subtracting the distances travelled during acceleration, deceleration and approach at creep speed from the travel height H . The times for acceleration and deceleration are assumed to be equal for simplicity's sake.

Duration of constant-speed travel:

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

Total travel time up:

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

Total drive operating time up:

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = t_{\text{Start aufwärts}} + t_{\text{fahren aufwärts}} = 15,6 \text{ s} \quad (25)$$

Total drive operating time down:

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

7.1.6 Energiebedarf des Triebwerks bei Referenzfahrt

Leistungsaufnahme

Aufbau Systemdruck

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

Bei Beschleunigung/Verzögerung

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

Bei konstanter Fahrt

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

Feinfahrt

$$P_{\text{fein}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot f_{\text{fein}} \cdot v}{\eta_{\text{Antrieb}}} = \frac{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1 \times 0,63 \text{ m/s}}{0,57} = 6330 \text{ W} \quad (30)$$

Energiebedarf des Antriebs für Aufwärtsfahrt

$$E_{\text{fahren aufwärts}} = t_{\text{Start}} \cdot P_{\text{Start}} + t_{\text{besch}} \cdot P_{\text{besch}} + t_{\text{nenn}} \cdot P_{\text{nenn}} + t_{\text{verz}} \cdot P_{\text{verz}} + t_{\text{fein}} \cdot P_{\text{fein}} = \left(\begin{array}{l} 0,5 \text{ s} \times 5070 \text{ W} + 2,1 \text{ s} \times 8800 \text{ W} \\ + 9,4 \text{ s} \times 8800 \text{ W} + 2,1 \text{ s} \times 8800 \text{ W} \\ + 1,5 \text{ s} \times 6330 \text{ W} \end{array} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 36,6 \text{ Wh} \quad (31)$$

7.1.6 Energy demand of the lift machine during a reference trip

Power consumption

System pressure build-up

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

At acceleration/deceleration

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

At constant speed

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

At creep speed

$$P_{\text{fein}} = \frac{m_{\text{Fahrkorb}} \cdot g \cdot f_{\text{fein}} \cdot v}{\eta_{\text{Antrieb}}} = \frac{584 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1 \times 0,63 \text{ m/s}}{0,57} = 6330 \text{ W} \quad (30)$$

Energy demand of the drive for upward travel

$$E_{\text{fahren aufwärts}} = t_{\text{Start}} \cdot P_{\text{Start}} + t_{\text{besch}} \cdot P_{\text{besch}} + t_{\text{nenn}} \cdot P_{\text{nenn}} + t_{\text{verz}} \cdot P_{\text{verz}} + t_{\text{fein}} \cdot P_{\text{fein}} = \left(\begin{array}{l} 0,5 \text{ s} \times 5070 \text{ W} + 2,1 \text{ s} \times 8800 \text{ W} \\ + 9,4 \text{ s} \times 8800 \text{ W} + 2,1 \text{ s} \times 8800 \text{ W} \\ + 1,5 \text{ s} \times 6330 \text{ W} \end{array} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 36,6 \text{ Wh} \quad (31)$$

Energiebedarf der den Antrieb betreffenden Zusatzkomponenten während der Referenzfahrt

$$\begin{aligned}
 E_{\text{div ref}} &= t_{\text{Antrieb aufwärts}} \cdot P_{\text{kumuliert aufwärts}} \\
 &\quad + t_{\text{Antrieb abwärts}} \cdot P_{\text{kumuliert abwärts}} \\
 &= \left(\frac{15,6 \text{ s} \times 10 \text{ W}}{+ 15,1 \text{ s} \times 25 \text{ W}} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \\
 &= 0,15 \text{ Wh}
 \end{aligned} \quad (32)$$

Es wird keine Energie zurückgewonnen.

Energiebedarf des Antriebs bei der Referenzfahrt

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Antrieb ref}} &= E_{\text{fahren abwärts}} + E_{\text{div ref}} + E_{\text{generatorisch}} \\
 &= (36,6 + 0,15 + 0) \text{ Wh} = 36,8 \text{ Wh}
 \end{aligned} \quad (33)$$

Dieser Wert wird zusammen mit den Werten der anderen Komponenten, die einen Beitrag zum Fahrtbedarf während der Referenzfahrt leisten, in Tabelle 7 erfasst.

7.1.7 Ermittlung des Fahrtbedarfs der Tür

Leistung zum Zuhalten der Tür

$$\begin{aligned}
 P_{\text{zu}} &= 14 \text{ W} \\
 &\text{(Herstellerangabe)}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 P_{\text{offen halten}} &= 15 \text{ W} \\
 &\text{(Herstellerangabe)}
 \end{aligned}$$

Zeit, in der die Tür offen gehalten wird

$$\begin{aligned}
 t_{\text{offen halten}} &= 8 \text{ s} \\
 &\text{(Empfehlung dieser Richtlinie)}
 \end{aligned}$$

Energiebedarf zum Öffnen und Schließen der Tür

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Türzyklus}} &= 19 \text{ mWh} \\
 &\text{(Herstellerangabe)}
 \end{aligned}$$

Energiebedarf (entspricht P0) bei der Referenzfahrt

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Tür gesamt}} &= P_{\text{zu}} \cdot t_{\text{zu}} + P_{\text{offen halten}} \cdot t_{\text{offen halten}} \\
 &\quad + 2 \cdot E_{\text{Türzyklus}} \\
 &= \left(\frac{14 \text{ W} \times 31 \text{ s}}{+ 15 \text{ W} \times 8 \text{ s}} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \\
 &\quad + 2 \times 19 \times 10^{-3} \text{ Wh} \\
 &= 0,19 \text{ Wh}
 \end{aligned} \quad (34)$$

Energy demand of the drive-related additional components during a reference trip

$$\begin{aligned}
 E_{\text{div ref}} &= t_{\text{Antrieb aufwärts}} \cdot P_{\text{kumuliert aufwärts}} \\
 &\quad + t_{\text{Antrieb abwärts}} \cdot P_{\text{kumuliert abwärts}} \\
 &= \left(\frac{15,6 \text{ s} \times 10 \text{ W}}{+ 15,1 \text{ s} \times 25 \text{ W}} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \\
 &= 0,15 \text{ Wh}
 \end{aligned} \quad (32)$$

No energy is recovered.

Energy demand of the drive during a reference trip

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Antrieb ref}} &= E_{\text{fahren abwärts}} + E_{\text{div ref}} + E_{\text{generatorisch}} \\
 &= (36,6 + 0,15 + 0) \text{ Wh} = 36,8 \text{ Wh}
 \end{aligned} \quad (33)$$

This value is recorded in Table 7, along with the values of the other components contributing to the travel demand during the reference trip.

7.1.7 Determination of travel demand of the door

power for holding the door closed

$$\begin{aligned}
 P_{\text{zu}} &= 14 \text{ W} \\
 &\text{(manufacturer's data)}
 \end{aligned}$$

time during reference trip during which the door is held closed

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

power for holding the door open

$$\begin{aligned}
 P_{\text{offen halten}} &= 15 \text{ W} \\
 &\text{(manufacturer's data)}
 \end{aligned}$$

time during which the door is held open

$$\begin{aligned}
 t_{\text{offen halten}} &= 8 \text{ s} \\
 &\text{(recommended by this standard)}
 \end{aligned}$$

energy demand for opening and closing the door

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Türzyklus}} &= 19 \text{ mWh} \\
 &\text{(manufacturer's data)}
 \end{aligned}$$

energy demand (corresponds to P0) during reference trip

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Tür gesamt}} &= P_{\text{zu}} \cdot t_{\text{zu}} + P_{\text{offen halten}} \cdot t_{\text{offen halten}} \\
 &\quad + 2 \cdot E_{\text{Türzyklus}} \\
 &= \left(\frac{14 \text{ W} \times 31 \text{ s}}{+ 15 \text{ W} \times 8 \text{ s}} \right) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \\
 &\quad + 2 \times 19 \times 10^{-3} \text{ Wh} \\
 &= 0,19 \text{ Wh}
 \end{aligned} \quad (34)$$

7.1.8 Dauer der Referenzfahrt

Zeit für einen Türzyklus (Öffnen und Schließen)

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

(Wert für eine zentral öffnende, zweiblättrige Tür, Türbreite 800 mm, siehe Tabelle 3)

sonstige Warte- oder Reaktionszeiten

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

$$t_{\text{ref}} = t_{\text{zu}} + 2 \cdot t_{\text{Türzyklus}} + t_{\text{offen halten}} + t_{\text{sonst}} \\ = (31 + 2 \times 6 + 8 + 2) \cdot \text{s} \\ = 53 \text{ s}$$

7.1.9 Energiebedarf des Aufzugs

Der Energiebedarf des Aufzugs ist Tabelle 7 zu entnehmen.

7.1.10 Energiebedarf des Aufzugs bei der Referenzfahrt

$E_{\text{div ref}}$ beschreibt den Bedarf sonstiger Aufzugskomponenten während der Referenzfahrt, die in Tabelle 7 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 Effizienzkategorie eingehen.

7.1.8 Duration of reference trip

time for one door cycle (opening and closing)

$$t_{\text{Türzyklus}} = 6 \text{ s} \\ (\text{manufacturer's data})$$

(value for two-panel centre-opening door, door width 800 mm, see Table 3)

other waiting or response times

during reference trip t $t_{\text{sonst}} = 2 \text{ s}$

$$t_{\text{ref}} = t_{\text{zu}} + 2 \cdot t_{\text{Türzyklus}} + t_{\text{offen halten}} + t_{\text{sonst}} \\ = (31 + 2 \times 6 + 8 + 2) \cdot \text{s} \\ = 53 \text{ s}$$

7.1.9 Energy demand of the lift

The energy demand of the lift is shown in Table 7.

7.1.10 Energy demand of the lift during a reference trip

$E_{\text{div ref}}$ describes the demand of other lift components during a reference trip, as listed in Table 7.

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

This value can then be used in the calculation of $E_{\text{fahren spez}}$ as per VDI 4707 Part 1 and in the assessment of the efficiency class.

Tabelle 7. Beispiel Abschnitt 7.1 – Erfassung des Energiebedarfs für eine 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 für eine Referenzfahrt $E_{\text{Komponente ref}}$ 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 in Wh						38,1		
Stillstandsbedarf des Aufzugs $P_{\text{Stillstand}}$ in W								48,8
t_{ref} in s								53

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

Aufzug

Nutzlast	$Q = 900 \text{ kg}$
Fahrkorbmasse	$m_{\text{Fahrkorb}} = 1300 \text{ kg}$
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	$n = 4$

7.2 Traction lift

Calculations shall be made for a traction passenger lift with gearless frequency-controlled machine and energy feedback. The machine room is located above the shaft.

7.2.1 Lift characteristics

Lift

load capacity	$Q = 900 \text{ kg}$
car mass	$m_{\text{Fahrkorb}} = 1300 \text{ kg}$
speed	$v = 2,5 \text{ m/s}$
travel height	$H = 57,5 \text{ m}$
counterweight mass	$m_{\text{Gegengewicht}} = 1750 \text{ kg}$
travelling cable mass	$m_{\text{Hängkabel}} = 40 \text{ kg}$

Car

force of a guide on the rail in x direction	$F_x = 530 \text{ N}$
force of a guide on the rail in y direction	$F_y = 330 \text{ N}$
number of frame guides	$n = 4$

Table 7. Example Section 7.1 – Record of energy demand during reference trip and of power demand in standby mode

Components described fully by operating modes P0, S0, S1, S2	Number n	Operating mode (if provided and activated)				Contribution to travel demand during reference trip $E_{\text{Komponente ref}}$ in Wh	Operating mode after 5 min	Contribution to standby demand after 5 min in W
		P0 in W	S0 in W	S1 in W	S2 in W			
Control	1	50	40	40	40	0,7		40
Power supply unit	1	5	–	–	–	0,1		5
Buttons	2	0,1	0,1	–	–	0		0,2
Display in car	1	0,3	–	–	–	0		0,3
Displays on landings	1	0,2	–	–	–	0		0,2
Bell	1	0	–	–	–	0		0
Photocell	1	0,2	–	–	–	0		0,2
Voice announcement system	1	0,96	0,12	0	–	0		0
Car lighting	4	3,0	0	–	–	0,2		0
Emergency call device	1	0,6	0,6	–	–	0		0,6
Door control	1	–	1,8	–	–	0,2		1,8
Drive control	1	4,96	0,48	–	–	0,1		0,48
Drive	1	–	–	–	–	36,8		0
Energy demand, E_{ref} , as per VDI 4707 Part 1, during reference trip in Wh						38,1		
Standby demand of the lift, P_{standby} in W								48,8
						t_{ref} , in s		53

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 2

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

gemittelte 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

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

Counterweight

force of a guide on the rail in x direction	$F_x = 530 \text{ N}$
force of a guide on the rail in y direction	$F_y = 330 \text{ N}$
number of frame guides	$n = 4$
efficiency of rope pulley	$\eta_{\text{Rolle}} = 0,99$
shaft efficiency	$\eta_{\text{Schacht}} = 0,90$ (see auxiliary calculation)
car guide friction coefficient	$\mu = 0,08$

7.2.2 Manufacturer's data as per Table 2

drive	gearless servomotor
gear	$\eta_{\text{Getriebe}} = 1,0$ (no gear provided)
motor	$\eta_{\text{Motor}} = 0,92$
efficiency of converter	$\eta_{\text{Umrichter}} = 0,98$ (converter provided)

cumulative power of other drive components	$P_{\text{kumuliert}} = 80 \text{ W}$
technology factor	$k_T = 0,34$

7.2.3 Parameters as set by the lift installer

mean acceleration and deceleration	$a = 0,4 \text{ m/s}^2$
------------------------------------	-------------------------

7.2.4 Efficiencies

Auxiliary calculation to determine the shaft efficiency for a reference trip with empty car

The guide forces acting on the guide rail in the case of an empty car are calculated using a program for guide rail calculation according to DIN EN 81-1, Annex G.7:

Force losses

Car guide

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

where

n number of guides

Counterweight guides

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

Fahrt mit leerem Fahrkorb mit Nutzlast 0 kg

$$m_{\text{Differenz}} = m_{\text{Gegengewicht}} - \left(\frac{m_{\text{Fahrkorb}}}{+ 0,5 \cdot m_{\text{Hängekabel}}} \right) \quad (38)$$

$$= 430 \text{ kg}$$

Wirkungsgrade*Fahrkorbführung*

$$\eta_{\text{Fahrkorbführung}} = \frac{m_{\text{Differenz}} \cdot g}{m_{\text{Differenz}} \cdot g + F_{\text{Verlust Fahrkorb}}} \quad (39)$$

$$= \frac{430 \times 9,81}{430 \times 9,81 + 222} = 0,95$$

Gegengewichtsführung

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

Schacht

$$\eta_{\text{Schacht}} = \eta_{\text{Fahrkorbführung}} \cdot \eta_{\text{Gegengewichtsführung}} \cdot \eta_{\text{Rolle}} \quad (41)$$

$$= 0,95 \times 0,95 \times 0,99 = 0,90$$

Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} \quad (42)$$

$$= 0,811$$

7.2.5 Fahrzeiten**Nebenrechnung zur Ermittlung der Zeit für die Referenzfahrt**

$$t_{\text{beschl}} = \frac{v}{a} \quad t_{\text{beschl}} = \frac{2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6,25 \text{ s}$$

$$t_{\text{Fahrt}} = \frac{H}{v_n} = 23 \text{ s} \quad t_{\text{Fahrt}} = \frac{57,5 \text{ m}}{2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 23 \text{ s}$$

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

$$t_{\text{Antrieb abwärts}} = t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}}$$

$$t_{\text{Antrieb abwärts}} = 6,25 \text{ s} + 23 \text{ s} = 29,25 \text{ s}$$

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

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}}$$

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = 6,25 \text{ s} + 23 \text{ s} = 29,25 \text{ s}$$

Travel with empty car at 0 kg actual load

$$m_{\text{Differenz}} = m_{\text{Gegengewicht}} - \left(\frac{m_{\text{Fahrkorb}}}{+ 0,5 \cdot m_{\text{Hängekabel}}} \right) \quad (38)$$

$$= 430 \text{ kg}$$

Efficiencies*Car guide*

$$\eta_{\text{Fahrkorbführung}} = \frac{m_{\text{Differenz}} \cdot g}{m_{\text{Differenz}} \cdot g + F_{\text{Verlust Fahrkorb}}} \quad (39)$$

$$= \frac{430 \times 9,81}{430 \times 9,81 + 222} = 0,95$$

Counterweight guide

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

Shaft

$$\eta_{\text{Schacht}} = \eta_{\text{Fahrkorbführung}} \cdot \eta_{\text{Gegengewichtsführung}} \cdot \eta_{\text{Rolle}} \quad (41)$$

$$= 0,95 \times 0,95 \times 0,99 = 0,90$$

Total efficiency

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_{\text{Schacht}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Getriebe}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} \quad (42)$$

$$= 0,811$$

7.2.5 Travel times**Auxiliary calculation to determine the time required for the reference trip**

$$t_{\text{beschl}} = \frac{v}{a} \quad t_{\text{beschl}} = \frac{2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6,25 \text{ s}$$

$$t_{\text{Fahrt}} = \frac{H}{v_n} = 23 \text{ s} \quad t_{\text{Fahrt}} = \frac{57,5 \text{ m}}{2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 23 \text{ s}$$

 $t_{\text{Antrieb abwärts}}$ including acceleration is:

$$t_{\text{Antrieb abwärts}} = t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}}$$

$$t_{\text{Antrieb abwärts}} = 6,25 \text{ s} + 23 \text{ s} = 29,25 \text{ s}$$

 $t_{\text{Antrieb aufwärts}}$ including acceleration is:

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = t_{\text{beschl}} + t_{\text{Fahrt}}$$

$$t_{\text{Antrieb aufwärts}} = 6,25 \text{ s} + 23 \text{ s} = 29,25 \text{ s}$$

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

$$P_{\text{generatorisch}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}} \quad (44)$$

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

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

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

Energiebedarf motorisch:

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

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

$$E_{\text{motorisch ref}} = 430 \times 9,81 \times 2,5 / 0,811 \times (23 + 0,34 \times 6,25) \quad (46)$$

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

$$= 329050 \text{ Ws}$$

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

Energiebedarf generatorisch:

$$E_{\text{generatorisch ref}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot (t_{\text{Fahrt}} - \frac{k_T}{2\eta_{\text{gesamt}} - 1} \cdot t_{\text{beschl}}) \quad (47)$$

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

$$E_{\text{generatorisch ref}} = -430 \times 9,81 \times 2,5 \times \frac{2 \times 0,811 - 1}{0,811} \times \left(23 - 0,34 \times \frac{6,25}{2 \times 0,811 - 1} \right) \quad (48)$$

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

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

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

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

7.2.6 Energy demand of the lift machine during a reference trip

Calculated motor power during constant-speed travel

Motor-driven travel

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

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

Regenerative travel

$$P_{\text{generatorisch}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}} \quad (44)$$

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

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

technology factor: $k_T = 0,34$ (gearless motor)

energy demand for motor-driven travel:

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

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

$$E_{\text{motorisch ref}} = 430 \times 9,81 \times 2,5 / 0,811 \times (23 + 0,34 \times 6,25) \quad (46)$$

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

$$= 329050 \text{ Ws}$$

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

energy demand for regenerative travel:

$$E_{\text{generatorisch ref}} = -m_{\text{Differenz}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{gesamt}} - 1}{\eta_{\text{gesamt}}} \cdot (t_{\text{Fahrt}} - \frac{k_T}{2\eta_{\text{gesamt}} - 1} \cdot t_{\text{beschl}}) \quad (47)$$

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

$$E_{\text{generatorisch ref}} = -430 \times 9,81 \times 2,5 \times \frac{2 \times 0,811 - 1}{0,811} \times \left(23 - 0,34 \times \frac{6,25}{2 \times 0,811 - 1} \right) \quad (48)$$

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

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

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

contribution to the energy balance of regenerative travel: $E_{\text{generatorisch Netz}} = E_{\text{generatorisch ref}} = -43,3 \text{ Wh}$

Es ergibt sich der Energiebedarf der Referenzfahrt t :

$$\begin{aligned} E_{\text{Antrieb ref}} &= E_{\text{motorisch ref}} + E_{\text{generatorisch Netz}} \\ &= 48,1 \text{ Wh} \end{aligned} \quad (49)$$

7.2.7 Ermittlung des Fahrtbedarfs der Tür

Leistung zum Zuhalten der Tür

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

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

$$\begin{aligned} t_{\text{zu}} &= t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}} \\ &= 29,25 \text{ s} + 29,25 \text{ s} = 58,5 \text{ s} \end{aligned} \quad (50)$$

Leistung zum Offenhalten der Tür

$$P_{\text{offen halten}} = 15 \text{ W (Herstellerangabe)}$$

Zeit, in der die Tür offen gehalten wird

$$t_{\text{offen halten}} = 8 \text{ s (Empfehlung dieser Richtlinie)}$$

Energiebedarf zum Öffnen und Schließen der Tür

$$E_{\text{Türzyklus}} = 20 \text{ mWh (Herstellerangabe)}$$

Energiebedarf (entspricht P0) bei der Referenzfahrt

$$\begin{aligned} E_{\text{Tür gesamt}} &= P_{\text{zu}} \cdot t_{\text{zu}} + P_{\text{offen halten}} \cdot t_{\text{offen halten}} \\ &\quad + 2 \cdot E_{\text{Türzyklus}} = 0,3 \text{ Wh} \end{aligned}$$

7.2.8 Zeit für Referenzfahrt

Dauer der Referenzfahrt

$$\begin{aligned} t_{\text{ref}} &= 2 \times t_{\text{Türzyklus}} + t_{\text{offen halten}} + t_{\text{Antrieb aufwärts}} \\ &\quad + t_{\text{Antrieb abwärts}} + t_{\text{Antrieb start}} = 79,5 \text{ s} \end{aligned} \quad (51)$$

Zeit für einen Türzyklus (Öffnen und Schließen)

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

(Wert für eine zentral öffnende, zweiblättrige Tür, Türbreite 800 mm, siehe Tabelle 3)

sonstige Warte- oder Reaktionszeiten während der Referenzfahrt

$$t_{\text{Antrieb start}} = 1 \text{ s}$$

7.2.9 Energiebedarf des Aufzugs

Der Energiebedarf des Aufzugs ist Tabelle 8 zu entnehmen.

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.

7.2.10 Energiebedarf des Aufzugs bei der Referenzfahrt

$E_{\text{div ref}}$ beschreibt den Bedarf sonstiger Aufzugs-komponenten während der Referenzfahrt, die in Tabelle 8 erfasst sind.

$$E_{\text{Antrieb ref}} = E_{\text{ref}} + E_{\text{div ref}} = 49,6 \text{ Wh} \quad (52)$$

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

The energy demand during reference trip t results as:

$$\begin{aligned} E_{\text{Antrieb ref}} &= E_{\text{motorisch ref}} + E_{\text{generatorisch Netz}} \\ &= 48,1 \text{ Wh} \end{aligned} \quad (49)$$

7.2.7 Determination of travel demand of the door

power for holding the door closed

$$P_{\text{zu}} = 14 \text{ W (manufacturer's data)}$$

time during reference trip during which the door is held closed

$$\begin{aligned} t_{\text{zu}} &= t_{\text{Antrieb aufwärts}} + t_{\text{Antrieb abwärts}} \\ &= 29,25 \text{ s} + 29,25 \text{ s} = 58,5 \text{ s} \end{aligned} \quad (50)$$

power for holding the door open

$$P_{\text{offen halten}} = 15 \text{ W (manufacturer's data)}$$

time during which the door is held open

$$t_{\text{offen halten}} = 8 \text{ s (recommended by this standard)}$$

energy demand for opening and closing the door

$$E_{\text{Türzyklus}} = 20 \text{ mWh (manufacturer's data)}$$

energy demand (corresponds to P0) during reference trip

$$\begin{aligned} E_{\text{Tür gesamt}} &= P_{\text{zu}} \cdot t_{\text{zu}} + P_{\text{offen halten}} \cdot t_{\text{offen halten}} \\ &\quad + 2 \cdot E_{\text{Türzyklus}} = 0,3 \text{ Wh} \end{aligned}$$

7.2.8 Time required for a reference trip

duration of reference trip

$$\begin{aligned} t_{\text{ref}} &= 2 \times t_{\text{Türzyklus}} + t_{\text{offen halten}} + t_{\text{Antrieb aufwärts}} \\ &\quad + t_{\text{Antrieb abwärts}} + t_{\text{Antrieb start}} = 79,5 \text{ s} \end{aligned} \quad (51)$$

time for one door cycle (opening and closing)

$$t_{\text{Türzyklus}} = 6 \text{ s (manufacturer's data)}$$

(value for two-panel centre-opening door, door width 800 mm, see Table 3)

other waiting or response times during reference trip

$$t_{\text{Antrieb start}} = 1 \text{ s}$$

7.2.9 Energy demand of the lift

The energy demand of the lift is shown in Table 8.

The value E_{ref} can then be used in the calculation of $E_{\text{fahren spez}}$ as per VDI 4707 Part 1, Section 4.8 and in the assessment of the efficiency class.

7.2.10 Energy demand of the lift during a reference trip

$E_{\text{div ref}}$ describes the demand of other lift components during a reference trip, as listed in Table 8.

$$E_{\text{Antrieb ref}} = E_{\text{ref}} + E_{\text{div ref}} = 49,6 \text{ Wh} \quad (52)$$

This value can then be used in the calculation of $E_{\text{fahren spez}}$ as per VDI 4707 Part 1 and in the assessment of the efficiency class.

Tabelle 8. Beispiel Abschnitt 7.2 – Erfassung des Energiebedarfs für eine Referenzfahrt sowie des Leistungsbedarfs bei Stillstand

Komponenten, die vollständig durch die Betriebsmodi P0, S0, S1, S2 beschrieben werden	Anzahl <i>n</i>	Betriebsmodus (nur soweit vorhanden und aktiviert)				Beitrag zum Fahrtbedarf Referenzfahrt in Wh	Betriebs- modus nach 5 min	Beitrag zum Stillstands- bedarf nach 5 min in W
		P0 in W	S0 in W	S1 in W	S2 in W			
Steuerung	1	50	40	40	40	0,85	S1	40
Netzteil	1	5	–	–	–	0,1	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	–	–	0,25	S0	0
Notrufgerät	1	0,6	0,6	–	–	0,0	S1	0,6
Türsteuerung	1	0,1	1,8	–	–	0,3	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 $P_{\text{Aufzug Stillstandsbedarf}}$ in W		63,3
						t_{ref} in s		79,5

Table 8. Example Section 7.2 – Record of energy demand during reference trip and of power demand in standby mode

Components described fully by operating modes P0, S0, S1, S2	Number <i>n</i>	Operating mode (if provided and activated)				Contribution to travel demand during refer- ence trip in Wh	Operating mode after 5 min	Contribution to standby de- mand after 5 min in W
		P0 in W	S0 in W	S1 in W	S2 in W			
Control	1	50	40	40	40	0,85	S1	40
Power supply unit	1	5	–	–	–	0,1	P0	5
Buttons	2	0,1	0,1	–	–	0,0	S0	0,2
Display in car	1	0,3	–	–	–	0,0	P0	0,3
Display on landings	1	0,2	–	–	–	0,0	P0	0,2
Bell	1	0	–	–	–	0	P0	0
Photocell	1	0,2	–	–	–	0,0	P0	0,2
Voice announcement sys- tem	1	0,96	0,12	0	–	0,0	S1	0,0
Car lighting	4	3,0	0	–	–	0,25	S0	0
Emergency call device	1	0,6	0,6	–	–	0,0	S1	0,6
Door control	1	0,1	1,8	–	–	0,3	S0	1,8
Drive with control	1	–	20	15	–	48,1	S1	15
Energy demand, E_{ref} , as per VDI 4707 Part 1 during reference trip, in Wh						49,6		
						Standby demand of the lift, $P_{\text{Aufzug Stillstandsbedarf}}$, in W		63,3
						t_{ref} , in s		79,5

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 Hängeseil vernachlässigt werden.

$$F_{\text{stat}} = m_{\text{Differenz}} \cdot g$$

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

Anmerkung: Anfahrverluste (Haftreibung) werden vernachlässigt.

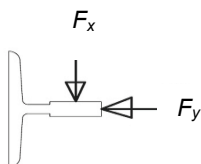


Bild A1. Führungskräfte (schematisch)

A2 Wirkungsgrad Umlenkrollen im Schacht

Bei n Umlenkrollen wird der Wirkungsgrad (siehe Anhang C)

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

angenommen.

Annex A Shaft efficiency

A1 Efficiencies of car guide, counterweight/balancing weight guide, cylinder guide yoke

The guides are subject to force losses F_v (e.g. due to braking caused by friction in the case of sliding guides and by flexing work in the case of roller guides).

The guide forces for any load condition can be determined in accordance with DIN EN 81. The efficiency is determined on the basis of the static force required for holding the car, F_{stat} .

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

This equation holds for both car and counterweight.

The force F_{stat} is identical to the force required for moving the car at constant speed without losses. As a rule, the weights of suspension means and travelling cable can be neglected.

$$F_{\text{stat}} = m_{\text{Differenz}} \cdot g$$

The guide force losses are calculated from the normal forces, F_x and F_y , of the guides acting on the guide rail (see Figure A1) and, in the case of sliding guides, from the friction coefficient μ , for which guide values are listed in Table A1, or which can be obtained from the manufacturer. In the case of roller guides, the rolling loss enters the calculation analogously, e.g. as a guide value taken from Table A2, or as manufacturer's data:

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

where

n number of guides ($n=4$ each for car, counterweight and balancing weight, $n=2$ for the piston yoke)

Note: Starting losses (static friction) are neglected.

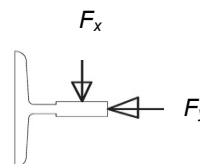


Figure A1. Guide forces (schematic)

A2 Efficiency of pulleys in the shaft

For n pulleys, the efficiency is assumed to be

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

(see Annex C).

Tabelle A1. Anhaltswerte für Reibwerte von Führungsschuhen zu Stahl nach [2]

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 Verschleißei- genschaften
	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.

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

Table A2. Guide values for rolling losses

	Rolling loss factor μ
Vulkollan 75 Shore A	0,0097 to 0,0107
Vulkollan 93 Shore A	0,008 to 0,009

A3 Wirkungsgrad Hängeseil

Die Gewichtskraft des Hängeseils kann bei den Wirkungsgradbetrachtungen entfallen und der entsprechende Wirkungsgrad 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 Montageteranzen)

A3 Efficiency of travelling cable

The weight of the travelling cable can be omitted in the efficiency calculations and the associated efficiency is assumed to be

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

A4 Air resistance

The air resistance in the shaft is disregarded in this standard. In special cases, such as high-speed lifts, it can be advisable to calculate and declare it separately, see [1].

A5 Yoke

efficiency of the cylinder guide yoke

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

(theoretically 1, given that the horizontal guide forces are ideally zero; however, a correction is made to 0,99 in order to account for any installation tolerances)

Table A1. Guide values for friction coefficients of guide shoes against steel according to [2]

Material		Friction coefficient when lubricated μ	Friction coefficient when dry μ_A	Remarks
Group 1	Vulkollan	0,20	0,50	extremely abrasion-proof and shock-absorbing
	Vulkollan with additives	0,15	0,30	improved sliding characteristics
	ACLASYN	0,05	0,05	as per manufacturer's data
Group 2	Polyamide (PA 6)	0,12	0,30	high mechanical strength
	Polyamide (PA 6-G + oil) with additives	0,10	0,18	improved sliding and wear characteristics
	Polyethylene "S" green (PE-UHM)	0,08	0,12	lower strength compared to polyamide
	Polyethylene "S" 8000 (PE-UHM)	0,05	0,09	improved sliding characteristics

Note: The friction coefficients of Group 1 and Group 2 were determined using different basic conditions, which forbids direct comparison.

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:

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

Annex B Rope traction

Rope slip on the traction sheave is disregarded in the following equation.

The energy demand of brake and external ventilation during the travel phase must be added. Line filter and choke are taken into account in the frequency converter efficiency. Power losses of tachometer and encoder are neglected.

The overall trip cycle as per VDI 4707 Part 1 consists of one empty trip up and one empty trip down over the full travel height, see also Figure 4.

The trip cycle of the empty trip down is subdivided into three sections:

- | | | |
|-----|-----------------------|----------------------------|
| I | acceleration | time t_{besch} |
| II | constant-speed travel | time t_{konstant} |
| III | deceleration | time t_{verz} |

The mean travel time at rated speed, t_{Fahrt} , and the acceleration time, t_{besch} , are calculated from rated speed, v_{nenn} , shaft height, H , and mean acceleration, a_m , as follows:

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

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

The travel-up time, $t_{\text{Antrieb aufwärts}}$, including acceleration is:

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

Die Abwärtsfahrtzeit $t_{\text{Antrieb abwärts}}$ 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 Abwärtsfahrt gehobene und bei Aufwärtsfahrt gesenkte Masse wie folgt:

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

Die Beschleunigungsenergie E_{B} wird in jedem der Abschnitte I bis III der Fahrkurve separat durch das Integral des Produkts aus Beschleunigungskraft und Geschwindigkeit v_{nenn} gebildet und als E_{BI} bis E_{BIII} bezeichnet. Ebenso wird die Hubenergie E_{H} , gebildet durch das Integral des Produkts aus Hubkraft und Geschwindigkeit v_{nenn} , abschnittsweise als E_{HI} bis E_{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 sich aus dem Produkt der zu hebenden Masse $m_{\text{Differenz}}$ und der Erdbeschleunigung g . Die aufgenommene Energie einer Leerfahrt abwärts kann nun wie folgt berechnet werden:

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

Ersetzt man t_{konstant} und t_{besch} durch die effektive Fahrtzeit 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.

The travel-down time, $t_{\text{Antrieb abwärts}}$, including acceleration is:

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

The mechanical power, P_{mech} , at constant-speed travel is the product of mass lifted, $m_{\text{Differenz}}$, rated speed, v_{nenn} , and gravitational acceleration, g

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

The mass lifted during down-travel and lowered during up-travel is calculated as:

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

The acceleration energy, E_{B} , is calculated separately for each of the sections I to III of the trip cycle as the integral of the product of acceleration force and speed v_{nenn} , and is referred to as E_{BI} through E_{BIII} . Similarly, the lifting energy, E_{H} , obtained as the integral of the product of lifting force and speed v_{nenn} , is calculated section by section, and is referred to as $E_{\text{HI}} - E_{\text{HIII}}$. In these calculations, the acceleration force is the product of mean acceleration, a_{m} , and total inertial mass of the lift, m_{gesamt} , and the lifting force is the product of mass to be lifted, $m_{\text{Differenz}}$, and gravitational acceleration, g . The energy absorbed during an empty trip down is, then:

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

When replacing t_{konstant} and t_{besch} by the actual travel time, t_{Fahrt} , the total energy, E_{Ges} , is obtained as:

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

In addition to the motor speed, the motor current is stated, which results from the torque and the drive technology used. For the acceleration, an overload $\ddot{u}$ has been defined as the ratio of actual acceleration current over motor rated current, I_{nenn} , as follows:

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

Guide values for the overload are given in Table 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 vom Netz zusätzlich als elektrische Leistung $P_{\text{elektrisch}}$ 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 $P_{\text{Verlust Umrichter}}$ eingespeist werden, siehe auch Bild B1.

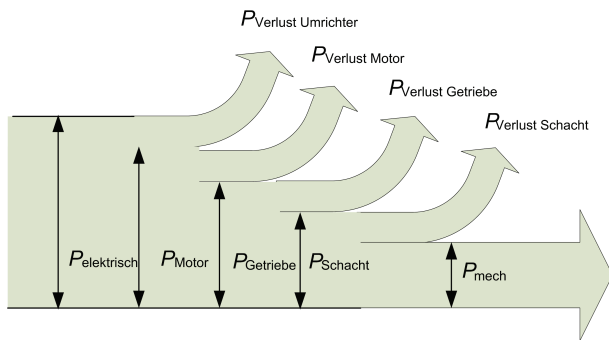


Bild B1. Leistungsbilanz der motorischen Fahrt

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 Schachts 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

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

Table B1. Mean overload factors for various drive technologies

Drive technology	Acceleration current I_{besch}	Overload
Frequency converter	150 % I_{nenn}	$\ddot{u} = 50 \%$
Voltage control	200 % I_{nenn}	$\ddot{u} = 100 \%$
Pole-changing motor	300 % I_{nenn}	$\ddot{u} = 200 \%$

Energy demand for motor-driven travel

Powers and losses during motor operation

During motor-driven travel, the electrical power $P_{\text{elektrisch}}$ to be supplied by the grid must additionally compensate for the mechanical power loss in the shaft, $P_{\text{Verlust Schacht}}$, the power loss in the gear, $P_{\text{Verlust Getriebe}}$, the power loss in the motor, $P_{\text{Verlust Motor}}$, and the power loss in the converter, $P_{\text{Verlust Umrichter}}$, see also Figure B1.

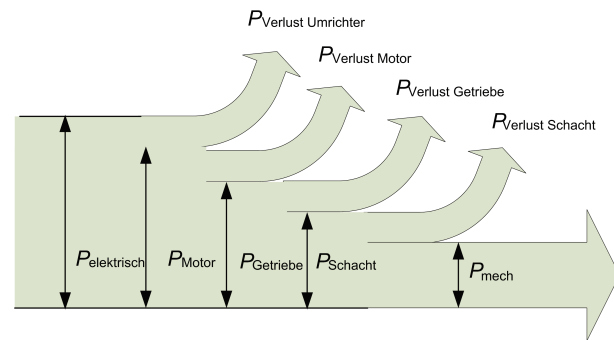


Figure B1. Power balance of motor-driven travel

Mechanical losses

The mechanical power losses in the shaft and in the gear can be calculated as follows from the required mechanical power, P_{mech} , and the efficiencies of the shaft, η_{Schacht} , and of the gear, η_{Getriebe} .

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

where

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

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

where

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

Adding both power losses to the mechanical power yields

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

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 Fahrabschnitten zu:

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

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

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

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 B1 entnommen werden.

To a first approximation, the mechanical powers and losses are proportional to the motor speed. The mean power during acceleration and braking thus corresponds to half the power during constant-speed travel. Hence, the energy loss, $E_{\text{Verlust Getriebe+Schacht}}$, in the three sections of the trip cycle is:

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

Motor losses

The motor efficiency, η_{Motor} , is stated for the power $P_{\text{Motor nenn}}$, with the motor featuring the rated losses $P_{\text{Verlust Motor nenn}}$. The following holds:

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

and

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

The losses in the motor result from the efficiency η_{Motor} and the rated power $P_{\text{Motor nenn}}$. Losses in the motor are predominantly Joule heat losses, which are proportional to the square of torque M .

The following holds:

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

where

$P_{\text{Verlust Motor nenn}}$ rated losses

Assuming that the motor is required to supply rated power during the empty trip down, the power loss is

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

and the power input to the motor is:

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

Assuming the same acceleration for starting and decelerating, the starting motor torque, M_{besch} , is:

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

and the decelerating motor torque, M_{verz} , is:

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

Overload $\ddot{u}$ is determined by the technology and can be taken from Table B1.

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

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

Umrichterverluste

Der Wirkungsgrad des Umrichters $\eta_{\text{Umrichter}}$ wird für die Nennleistung $P_{\text{elektrisch}}$ 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

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

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 der 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 Fahrabschnitten zu:

Hence, the energy loss of the motor, $E_{\text{Verlust Motor}}$, in the three sections of the trip cycle is:

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

Converter losses

The converter efficiency, $\eta_{\text{Umrichter}}$, is stated for the rated power $P_{\text{elektrisch}}$, with the converter featuring the power loss $P_{\text{Verlust Umrichter}}$. The following holds:

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

and

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

The losses in the converter result from the efficiency $\eta_{\text{Umrichter}}$ and the rated power $P_{\text{Umrichter nenn}}$. The losses, which are mainly load-dependent losses, are determined by the conducting-state power losses of the power semiconductors, which are assumed to be proportional to the square of the current.

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

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

Assuming a suitable design where the rated power of the motor equals that of the converter ($P_{\text{Motor}} = P_{\text{Umrichter nenn}}$), the equation can be rewritten as

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

Assuming the same acceleration for starting and decelerating, the starting motor current, I_{besch} , is:

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

and the decelerating motor current, I_{verz} , is:

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

Hence, the energy loss of the converter, $E_{\text{Verlust Umrichter}}$, in the three sections of the trip cycle is:

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

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

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

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

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

Aus dieser Gleichung kann der Technologiefaktor k_T abgeleitet werden:

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

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 $E_{\text{div ref}}$

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

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

Total energy demand for motor-driven travel

Taking into account the power losses, the energy of motor-driven travel, $E_{\text{motorisch}}$, is calculated as:

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

Using the power losses and the definition of the total efficiency

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

and the acceleration time

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

the following simplified calculation equation is obtained for the energy demand for motor-driven travel, $E_{\text{motorisch}}$:

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

From this equation, the technology factor k_T can be derived:

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

When the efficiencies of motor and converter are assumed to be 80 % and 97 %, respectively, the technology factor k_T for the technology used can be taken from Table B2.

The technology factor k_T is independent of shaft or gear and is determined only by the motor data and the speed governor used.

The power losses of the external fan and the brake, $P_{\text{kumuliert}}$, are taken into account in terms of the energy demand of various components, $E_{\text{div ref}}$

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

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

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

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

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.

Energiebedarf der generatorischen Fahrt

Leistungen und Verluste im generatorischen Betrieb

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

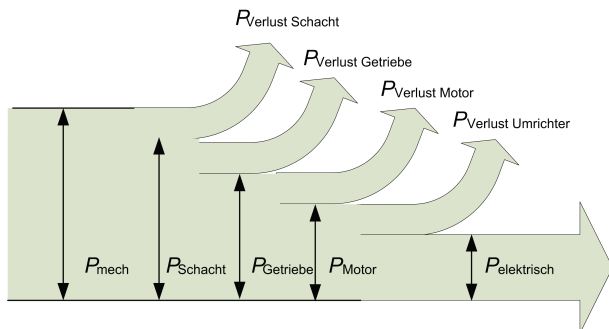


Bild B2. Leistungsbilanz bei Rückspeisung

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

Table B2. Technology factors

Technology	Overload $\ddot{u}$	Efficiency motor	Efficiency controller	Technology factor k_T
Converter	50 %	80 %	97 %	0,336
Voltage controller	100 %	80 %	97 %	0,672
Pole-changer	200 %	80 %	100 %	1,8

This yields the following simplified calculation equation for the energy demand for motor-driven travel, $E_{\text{motorisch ref}} = E_{\text{div ref}} + E_{\text{motorisch}}$

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

The above derivation confirms the approach published in literature where the acceleration enters the calculation as a separate factor to allow for different lift types, from the external-rotor type to the high-speed lift. For lift speeds up to 1,6 m/s, the recommended mean acceleration is 0,4 m/s².

Energy demand for regenerative travel

Powers and losses during regenerative operation

During an empty trip up, the mechanical power loss in the shaft, $P_{\text{Verlust Schacht}}$, the power loss in the gear, $P_{\text{Verlust Getriebe}}$, the power loss in the motor, $P_{\text{Verlust Motor}}$, and the power loss in the converter, $P_{\text{Verlust Umrichter}}$, are subtracted from the recovered mechanical power. The remaining energy is either fed back to the grid as electrical power $P_{\text{elektrisch}}$, or is dissipated in the brake resistor, see also Figure B2.

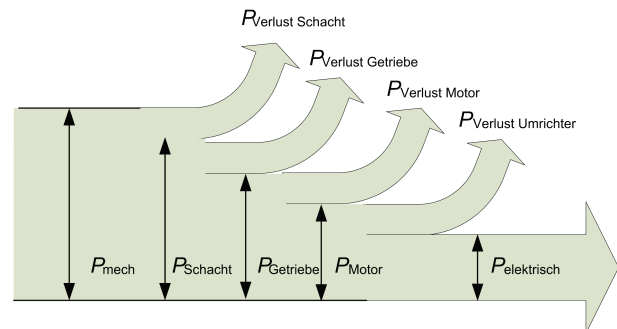


Figure B2. Power balance in the case of energy feedback

In extreme cases, the losses in the system can be such that even for an empty trip up, electrical energy must be drawn from the grid, see Figure B3.

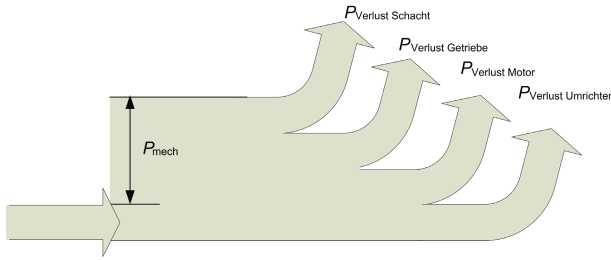


Bild B3. Leistungsbilanz der generatorischen Fahrt

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.

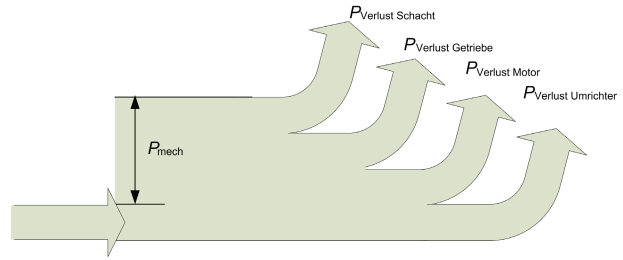


Figure B3. Power balance of regenerative travel

Total energy demand for regenerative travel

Taking into account the power losses, the energy of regenerative travel, $E_{\text{generatorisch}}$, is calculated as:

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

Analogously to the derivation of the energy demand, $E_{\text{generatorisch}}$, for motor-driven travel, the following simplified equation is obtained for regenerative travel:

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

Using the technology factor k_T and taking into account the power losses of the external fan and the brake, $P_{\text{kumuliert}}$, over the travel time yields the simplified calculation equation for the energy demand for regenerative travel, $E_{\text{generatorisch ref}}$:

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

This equation allows for the fact that even during regenerative travel (empty trip up) energy is possibly drawn from the grid if the total efficiency is low ($\eta_{\text{gesamt}} < 0,5$).

Energy balance

All lift types without an energy storage unit draw the motor energy for an empty trip down from the grid. Depending on the technology, regenerative energy gained during an empty trip up is converted to heat (brake resistor) or fed back into the grid and can then be subtracted from the energy demand for motor-driven travel. If, however, the efficiency is very poor, energy may well be drawn from the grid.

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 3.

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: $t_{\text{besch}} = t_{\text{verz}} = \frac{v_{\text{nenn}}}{a}$

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

v_{nenn} Nenngeschwindigkeit
 a mittlere Beschleunigung: 0,3 m/s²

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

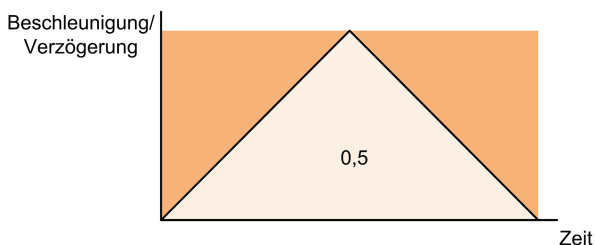


Bild C1. Mittlere Beschleunigung, Korrekturwert

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 m/s² 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.

Annex C Hydraulic drive

This annex describes some parts of the calculation for the hydraulic drive in greater detail and provides supplementary explanations. In many cases, typical values are given which can be used for a simple calculation if manufacturer's data are unknown.

C1 Calculation of travel times

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

where

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

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

Note 1: The time periods are as indicated in Table 3.

where

$t_{\text{Start aufwärts}}$ and $t_{\text{Start abwärts}}$ time from motor start until reaching of the system pressure, for both upward and downward travelling

Note 2: These times vary for different systems and manufacturers; the following values are typical:

- downwards: 0,2 s to 3 s
- upwards: 0 s

t_{besch} and t_{verz} acceleration and deceleration times: $t_{\text{besch}} = t_{\text{verz}} = \frac{v_{\text{nenn}}}{a}$

Note 3: These times are assumed to be equal for upward and downward travelling.

v_{nenn} rated speed
 a mean acceleration: 0,3 m/s²

Note 4: This value is derived from the travel chart during acceleration/deceleration, see Figure C1.

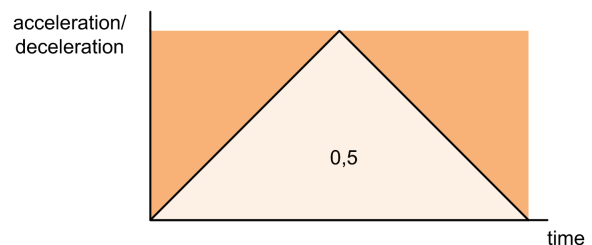


Figure C1. Mean acceleration, correction value

Hence

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

Note 5: The value of 0,6 m/s² is a typical acceleration value for a hydraulic drive and is not usually exceeded. 0,5 is the correction value for the averaging of acceleration and deceleration.

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:

t_{fein} time of approaching the stop at creep speed v_{fein}

Note 6: This time varies for different systems and manufacturers; the following values are typical:

- electronically controlled valves: 1 s to 1,5 s
- mechanical valves: 3 s to 5 s

Note 7: This time is assumed to be equal for upward and downward travelling.

t_{nenn} duration of travel at rated speed

Note 8: This time is assumed to be equal for upward and downward travelling.

t_{nenn} is calculated as follows:

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

where

H travel height

v rated speed

v_{fein} creep speed

Note 9: 10 % of the rated speed is typical.

C2 Calculation of efficiencies

Efficiency of drive

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

Note 1: Efficiencies of further components upstream of the drive can be added to the drive efficiency.

where

η_{Motor} efficiency of motor

Note 2: Typical values range between 0,7 and 0,85, based on the efficiency curve of the motor used.

η_{Pumpe} efficiency of pump

Note 3: Typical values range between 0,8 and 0,87, based on the efficiency curve of the pump used.

$\eta_{\text{Umrichter}}$ efficiency of frequency converter (including filter, choke, etc.)

Note 4: Typical values:

- with converter: 0,94 to 0,97
- without converter: 1

η_{Ventil} efficiency of valve

The valve efficiency is calculated as the ratio of pressure loss in the valve (Δp_{Ventil}) over dynamic system pressure downstream of the valves with the car empty (p_{dyn}).

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

Note 5: Typical values for:

- 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 4: 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:

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

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.

- electronically controlled valves: 0,8 to 0,95
- mechanical valves: 0,55 to 0,84

Efficiency of overall drive system

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

where

η_{Leitung} efficiency of connecting lines

The efficiency of the connecting lines is calculated as the ratio of pressure loss in the lines ($\Delta p_{\text{Leitung}}$) over dynamic system pressure (p_{dyn}).

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

Note 1: Typical values for a flexible line range between 0,95 and 0,98.

Note 2: If a line rupture valve is provided, it shall be taken into account in the line efficiency.

η_{Heber} cumulative efficiency of all jacks

Note 3: Typically, a value of 0,95 per jack is used; hence, for n jacks, $0,95^n$.

η_{Schacht} shaft efficiency

Note 4: See Annex A.

C3 Calculation of power demand

Power demand of drive

The power demand during the start procedure (system pressure build-up) is:

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

where

f_{start} correction factor for starting to allow for the fact that not all losses in system pressure build-up are effective right from the beginning

Note 1: 0,8 is a typical value.

P_{beschl} and P_{verz} power demand during acceleration and deceleration

This is calculated as follows:

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

Note 2: The dynamic fraction is neglected as it is cancelled out if acceleration and deceleration are equal. This allows to assume $P_{\text{beschl}} = P_{\text{verz}}$ for simplicity's sake.

Dabei ist

f_{besch} 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).

Der Leistungsbedarf während der Fahrt mit Nenngeschwindigkeit 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 anstatt konstanten Volumenstrom die Verluste 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 sonstigen Antriebskomponenten während der Aufwärts- und Abwärtsfahrt, die in den bisherigen Berechnungen nicht berücksichtigt sind, aber zur Gruppe der Triebwerke gehören (z.B. Druckschalter, Proportional-Ventile usw.)

where

f_{besch} correction factor for acceleration and deceleration to allow for the fact that the losses are reduced with a variable, instead of constant, volume flow rate during the acceleration and deceleration phases, see Figure C2 and Figure C3

Note 3: Typical values for:

- constant volume flow rate: 1
- variable volume flow rate: 0,5

Note 4: In most cases, a variable volume flow rate is achieved by means of frequency control (using a converter).

The power demand while travelling at rated speed is:

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

The power demand while approaching the stop at creep speed is:

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

where

f_{fein} correction factor for approaching the stop at creep speed to allow for the fact that the losses due to returning oil during upward travel are reduced with a variable, instead of constant, volume flow rate

Note: Typical values for:

- constant volume flow rate: 1
- variable volume flow rate: 0,1

General power demand

$P_{\text{kumuliert auf-/abwärts}}$ power consumption of all other drive components during upward and downward travelling, which have not been taken into account in the above calculations but belong to the group of lift machines (e.g. pressure switches, proportional valves, etc.)

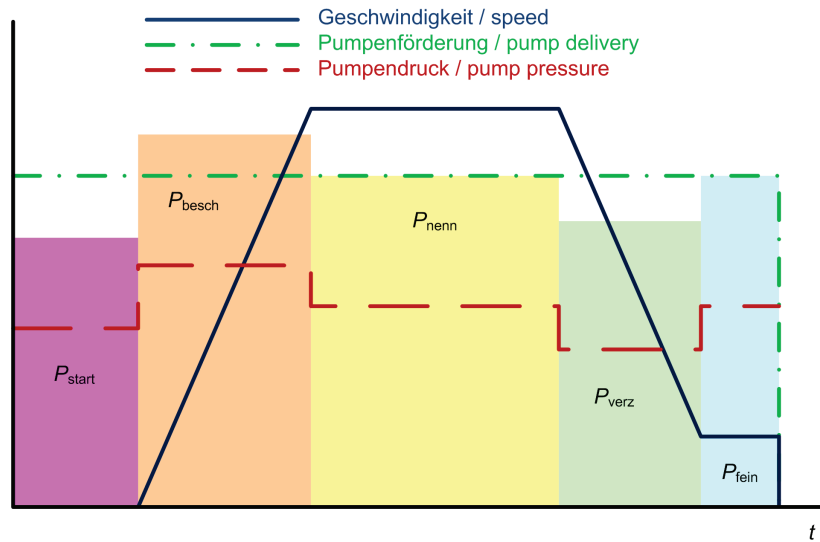


Bild C2. Darstellung der Abhängigkeiten bei konstantem Volumenstrom /
Figure C2. Schematic of correlations at constant volume flow rate

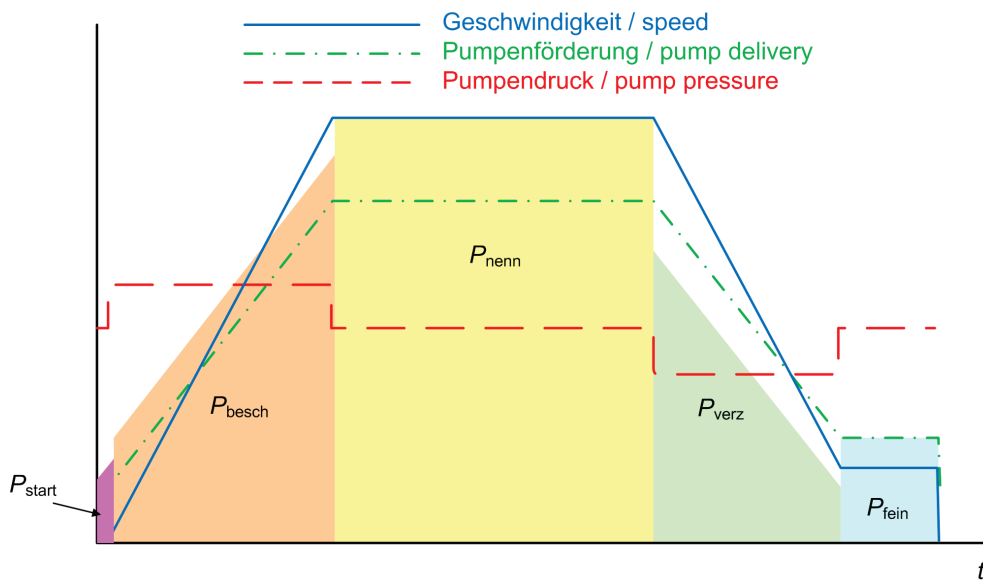


Bild C3. Darstellung der Abhängigkeiten bei variablem Volumenstrom /
Figure C3. Schematic of correlations at variable volume flow rate

Schrifttum / Bibliography

Technische Regeln / Technical rules

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 / Literature

- [1] *Shen, G.; So, A.; Bai, H.L.*: 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>
- [2] *Stawinoga, R.*: Schachtwirkungsgrad von Aufzügen. In: Liftreport 2/1999