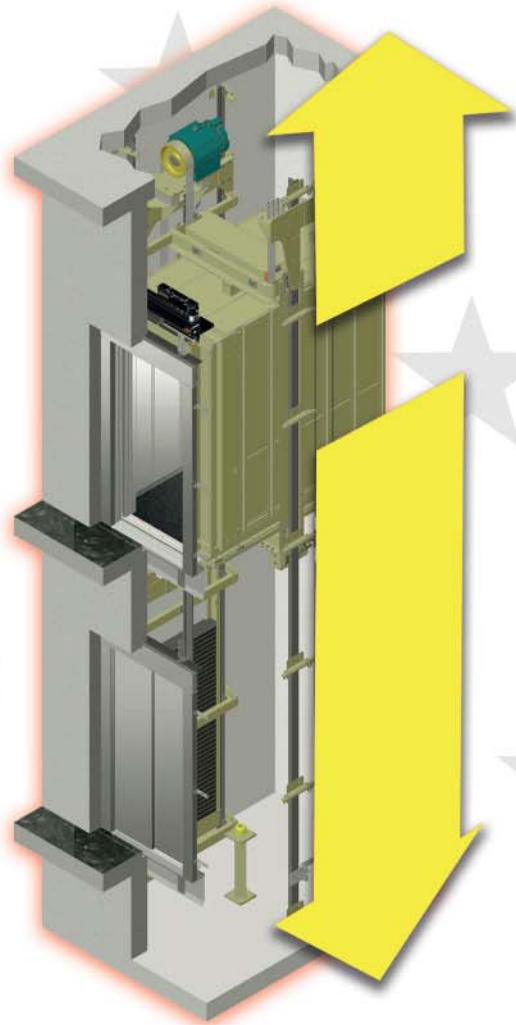




OPTIMIERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ BEI AUFZÜGEN



E4 – ENERGY-EFFICIENT ELEVATORS & ESCALATORS

OPTIMIERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ BEI AUFZÜGEN

2010 ENEA
Italian National Agency for New Technologies, Energy and
Sustainable Economic Development
Lungotevere Tahon di Revel, 76
00196 Roma Italy

Deutsche Übersetzung: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung

Über diese Broschüre

Aufzüge und Fahrtreppen sind ein zentrales Element, um das Leben und Arbeiten in mehrstöckigen Gebäuden angenehm und praktisch zu gestalten.

Für behinderte und ältere Personen sind Aufzüge auch in kleineren mehrgeschossigen Gebäuden die Voraussetzung für einen bequemen Zugang zu Büros und Wohnungen. Angesichts einer alternden Bevölkerung in Europa wird der Bedarf an Anlagen zur Personenbeförderung weiter zunehmen.

Derzeit sind in den Ländern der EU-27, in Norwegen und der Schweiz mehr als 4,8 Millionen Aufzüge in Betrieb. Diese tragen wesentlich zum Gesamtstrombedarf des jeweiligen Gebäudes bei (3 bis 8 %).

Im Rahmen des E4-Projekts wurde der Gesamtverbrauch elektrischer Energie durch Aufzüge für die EU-27, Norwegen und die Schweiz hochgerechnet.

Das Hauptergebnis ist dabei ein hoher Verbrauch im Stillstand (Standby): er macht zwischen 5-90 % des Gesamtverbrauchs aus – im Mittel liegt er bei Wohngebäuden bei rund 70 %.

Unter der Annahme, dass die beste am Markt verfügbare Technologie eingesetzt würde, wären vergleichsweise hohe Einsparungen möglich (etwa 60 %), wenn alle 4,8 Millionen bestehende Anlagen in Europa modernisiert oder ersetzt würden.

Die erreichbaren Einsparungen im Stillstand sind besonders erwähnenswert: Standard-Lösungen könnten hier eine Verringerung der Leistungsaufnahme von über 80 % herbeiführen.

Die vorliegende Broschüre soll Architekten, Designern, Gebäudebesitzern und Gebäudebetreibern, Installateuren und Wartungsunternehmen dabei helfen, optimale Entscheidungen für eine höhere Energieeffizienz bei Aufzügen zu treffen. Sie zeigt auf, welche Verbesserungen möglich sind, und wo diese Verbesserungen am relevantesten sind.



Aufzugsarten

Hydraulikaufzüge

Bei dieser Bauart wird ein hydraulischer Zylinder genutzt, um den Fahrkorb zu bewegen.

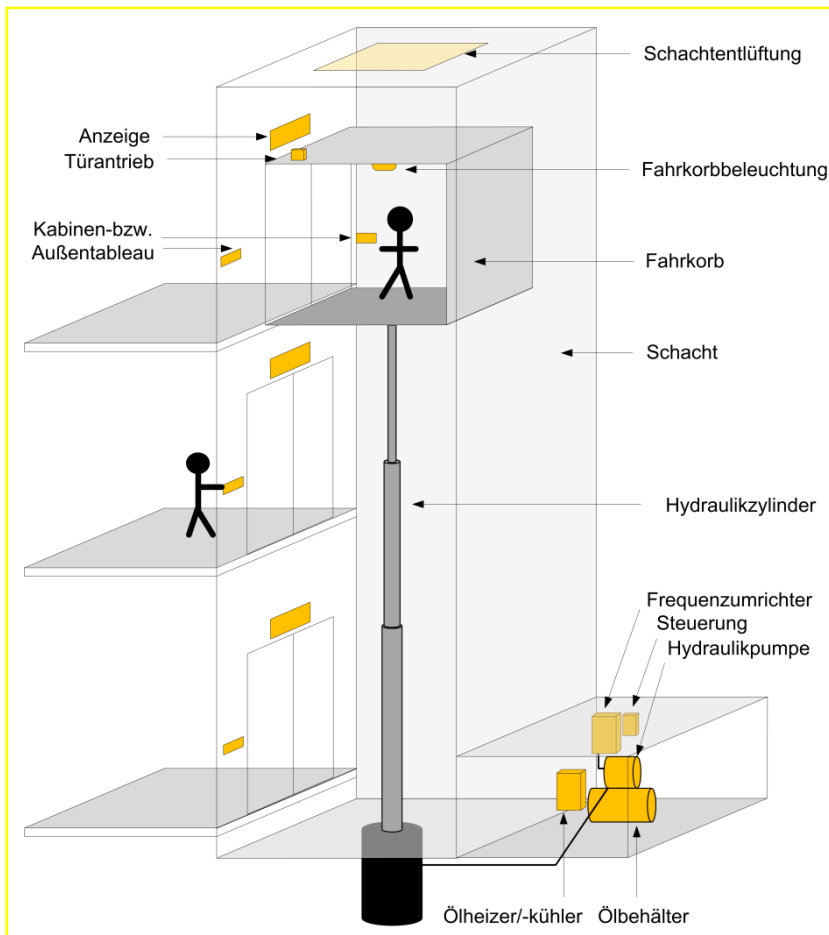
Eine motorgetriebene Pumpe treibt hierfür Hydraulikflüssigkeit in einen Hydraulikzylinder.

Ventile regulieren den Fluss der Hydraulikflüssigkeit (in der Regel Öl) und er-

möglichen ein sanftes Absinken des Fahrkorbs, wobei die Hydraulikflüssigkeit dabei zurück in einen Tank fließt.

In Europa werden Hydraulikaufzüge gewöhnlich mit Teleskopzylindern oder als indirekte Hydraulik genutzt.

- Geringe Geschwindigkeit: $< 1 \text{ m/s}$
- Maximale Förderhöhe: 20 m

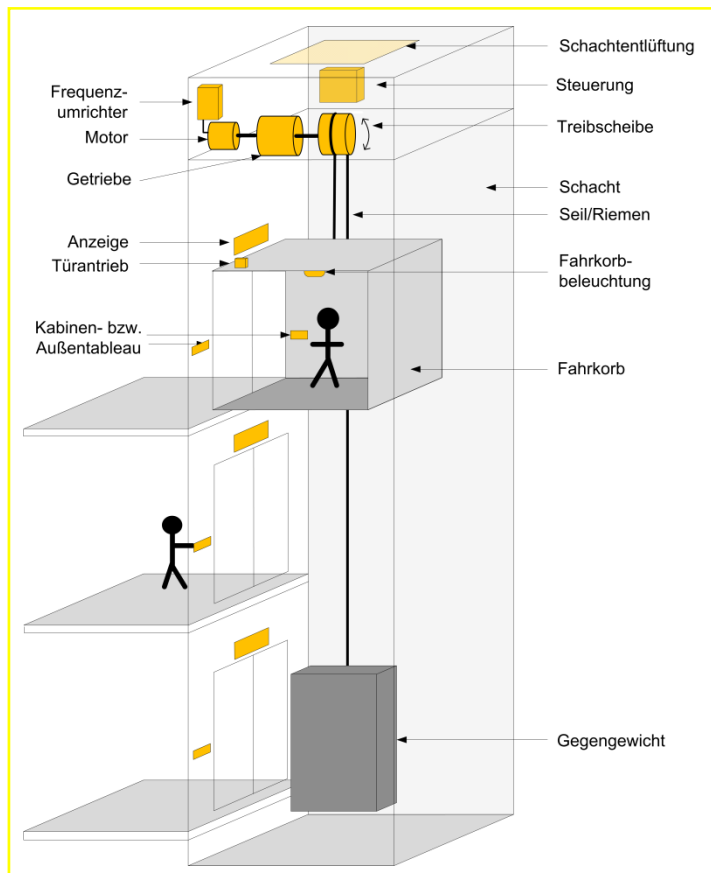


Hydraulik-
aufzug
(Quelle:
Fraunhofer
ISI)

Seilauzüge

Bei Seilauzügen ist der Fahrkorb über Drahtseile (oder Riemen) aufgehängt, die über eine elektromotorisch betriebene Treibscheibe bewegt werden. Die Masse des Gegengewichts ist üblicherweise gleich dem Leergewicht des Fahrkorbs zuzüglich 45 bis 50 % der Nutzlast. Durch das Gegengewicht wird eine ausreichende Spannung in der Aufhängung sichergestellt, um zwischen Seil/Riemen und Treibscheibe die notwendige Reibung für den Betrieb zu gewährleisten. Daneben kann durch das Gewicht ein nahezu konstantes Niveau an potentieller Energie erreicht werden, was den Energiebedarf deutlich reduziert. In der Vergangenheit wurden Seilauzüge aufgrund der einfachen Steuer-

barkeit mit Gleichstrommotoren ausgestattet; allerdings hat die Entwicklung von frequenzvariablen Antrieben zur Nutzung der heutzutage dominierenden Wechselstrom-Induktionsmotoren sowie Permanentmagnet-Synchronmotoren geführt. Diese Antriebe liefern hervorragende Fahreigenschaften mit sanften Beschleunigungs- und Abbremsvorgängen bei hoher Haltegenauigkeit.



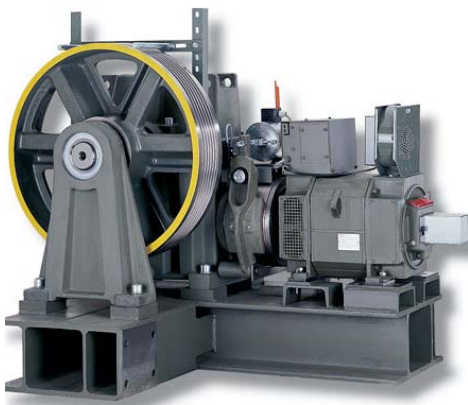
Seilauzug
(Quelle: Fraunhofer ISI)

Seilaufzüge können wie folgt unterschieden werden:

Bei **Aufzügen mit Getriebe** wird die Geschwindigkeit des Fahrkorbs durch ein Getriebe reduziert. Anlagen mit Getriebe werden typischerweise in Gebäuden mittlerer Höhe (7 bis 20 Stockwerke) verwendet, in denen üblicherweise einer hohen Geschwindigkeit keine entscheidende Rolle zukommt (typische Geschwindigkeiten reichen von 0,1 m/s bis 2,5 m/s). Das Getriebe erlaubt es, das notwendige Drehmoment mit kleineren

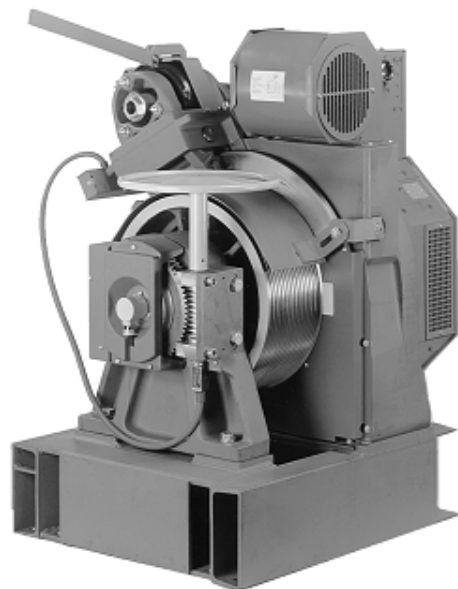
und effizienteren Motoren bei höheren Motorgeschwindigkeiten bereit zu stellen.

Bei **getriebelosen Aufzügen** wird die Treibscheibe direkt vom Motor angetrieben, und damit werden Verluste im Getriebe vermieden. Getriebelose Aufzüge werden in zahlreichen Anwendungsbereichen eingesetzt. Die Nenngeschwindigkeiten reichen von 0,63 m/s bis 10 m/s und darüber hinaus. Heutzutage ist dies die führende Technologie.



Antrieb mit Getriebe

Getriebeloser Antrieb



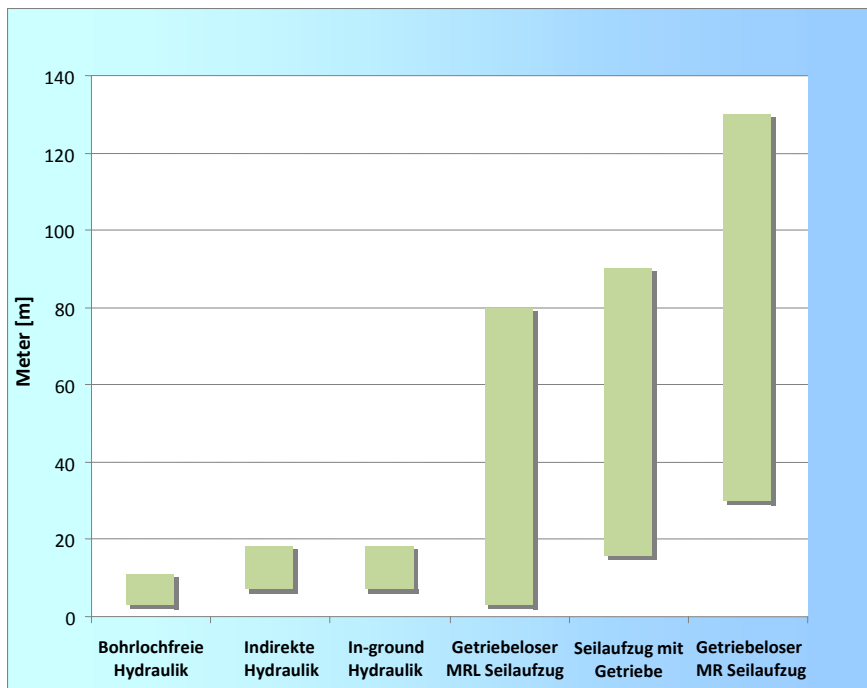
Aufzüge ohne Maschinenraum (MRL).

Die Einsparung von wertvollem Bauraum war stets ein Anliegen für Aufzugsdesigner und hat einige sehr innovative technische Lösungen hervorgebracht.

Üblicherweise benötigen alle Aufzüge, sowohl Seil- als auch Hydraulikaufzüge, einen Maschinenraum (MR), in dem sich der Motor bzw. im Fall des Hydraulikaufzugs eine Pumpe und die Steuerung befinden. Dieser Maschinenraum ist bei Seilaufzügen in der Regel über dem Auf-

zugsschacht und bei Hydraulikaufzügen unterhalb des Schachtes platziert.

Fortschritte in der Permanentmagnet-Motoren-Technologie und der Antriebstechnik führten zu einer deutlichen Reduzierung der Größe und Änderung der Form dieser Komponenten. Diese ermöglichen, alle Komponenten innerhalb des Schachts unterzubringen. Üblicherweise sind solche Aufzüge mit hocheffizienten, getriebelosen Permanentmagnet-Motoren ausgestattet.

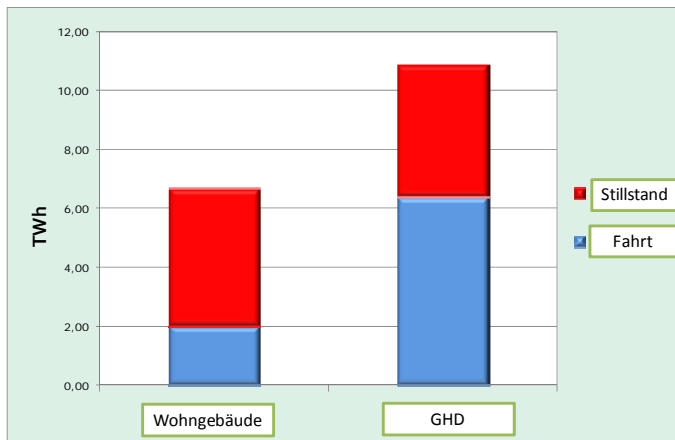


Typische Förderhöhen für übliche Aufzugstechnologien
(Quelle: de Almeida et al. 2009: Technology assessment)

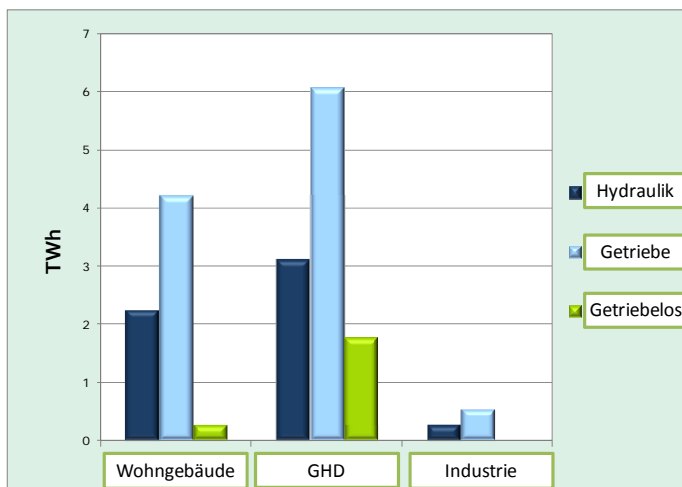
Energieverbrauch von Aufzügen in Europa

Insgesamt verbrauchen Aufzüge in der EU-27, in Norwegen und der Schweiz zusammen jährlich 18,4 TWh Strom; davon entfallen 6,7 TWh auf Aufzüge im Wohngebäudebereich, 10,9 TWh auf den Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) und nur 810 GWh auf die Industrie. Der Gesamtenergieverbrauch

von Aufzügen entspricht damit der Energieproduktion von zwei großen Kohlekraftwerken oder Kernkraftwerken. Obwohl es anteilig weniger Aufzüge im tertiären Sektor gibt, ist ihr Energieverbrauch aufgrund der intensiveren Nutzung größer als im Wohngebäudebereich.



Jährlicher Gesamtenergieverbrauch nach Sektoren, EU-27 + NO + CH
(Quelle: de Almeida et al. 2009: Technology assessment)



Jährlicher Gesamtenergieverbrauch nach Technologien, EU-27 + NO + CH
(Quelle: de Almeida et al. 2009: Technology assessment)

Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz

Bislang war das Hauptaugenmerk im Aufzugsdesign auf Sicherheit, Geschwindigkeit, Geräuscharmheit, Fahrkomfort und Platzbedarf gerichtet.

In den vergangenen Jahren hat sich die Nachfrage nach energieeffizienten Produkten und nach umweltfreundlichen Gebäuden jedoch verstärkt, u.a. durch die verbesserte Kosteneffizienz entsprechender Maßnahmen aufgrund steigender Energiepreise. Die Aufzugsindustrie hat schnell auf die gestiegene Nachfrage reagiert und setzt neuentwickelte, energieeffizientere Technologien für existierende Anlagen sowie Neuanlagen ein.

rende Anlagen sowie Neuanlagen ein.

Würden die besten verfügbaren Technologien im Anlagenbestand eingesetzt, könnte über alle Aufzüge und Fahrtreppen hinweg schätzungsweise 60 % der eingesetzten Energie eingespart werden (Tabelle 1).

Die Umsetzung dieses Einsparpotentials würde nicht nur den Stromverbrauch und die damit verbundenen negativen Auswirkungen von Aufzügen und Fahrtreppen auf die Umwelt reduzieren, sondern auch zu niedrigeren Energiekosten führen.

Tabelle 1 – Geschätzte Energienachfrage für Aufzüge und Fahrtreppen in der EU-27 + NO + CH (Quelle: de Almeida et al. 2009: Estimation of saving potentials)

		Fahrt (TWh)	Stillstand (TWh)	Summe (TWh)	Einsparungen (%)
Anlagenbestand	Aufzüge	8,7	9,7	18,4	
	Fahrtreppen	0,8	0,1	0,9	
	Beide	9,5	9,8	19,3	
Beste verfügbare Technologie	Aufzüge	4,3	2,7	6,9	63
	Fahrtreppen	0,4	0,2	0,6	28
	Beide	4,7	2,9	7,5	61

Aufzüge verbrauchen auch dann Energie, wenn sie keine Lasten aufwärts oder abwärts bewegen. Dieser Stillstands-Verbrauch kann bei Anlagen mit geringen täglichen Fahrtanzahlen mehr als 90 % des gesamten Stromverbrauchs ausmachen und wird durch dauerhaft eingeschaltete Komponenten wie Steuerung, Beleuchtung, Lüftung, Anzeigen und Bedientableaus (auf den Stockwerken und im Fahrkorb) verursacht.

Energieeffiziente Aufzugstechnologien

Beleuchtung

Die Fahrkorbbeleuchtung ist bei Aufzügen einer der Verbraucher mit dem größten Anteil am Stillstandsverbrauch und bietet somit große Einsparmöglichkeiten, für die heute Standard-Lösungen verfügbar sind.

Normalerweise beleuchten Glühlampen oder Leuchtstofflampen den Fahrkorb. Ein Vergleich unterschiedlicher Beleuchtungsmittel ist in Tabelle 2 dargestellt.

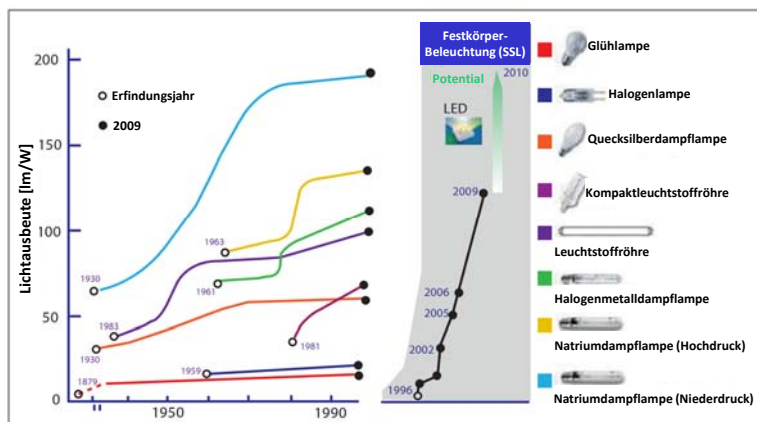
Bei der LED-Technologie hat man in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt.

Obwohl LED-Lampen noch immer teuer sind im Vergleich zu anderen Beleuchtungsmitteln, wird der Preis durch die steigenden Stückzahlen voraussichtlich sinken; zudem zeichnen sich diese Lampen durch eine sehr lange Lebensdauer von bis zu 50.000 Stunden aus. Ihre Lebensdauer sinkt nicht durch regelmäßiges Ein- und Ausschalten.

LEDs sind darüber hinaus sehr effiziente Lösungen für die Beleuchtung von Anzeigen, die zudem zur Reduzierung des Verbrauchs gedimmt oder ohne Einfluss auf die Lebensdauer ein- und ausgeschaltet werden können.

Tabelle 2 – Gegenüberstellung unterschiedlicher Beleuchtungsmittel
(Quelle: de Almeida et al. 2009: Technology assessment)

Art	Lebensdauer (h)	Lichtausbeute (lm/W)
Glühlampe	750-2.000	10-18
Halogenlampen	3.000-4.000	15-20
Kompaktleuchtstofflampen	8.000-10.000	35-60
Leuchtstoffröhren	20.000-30.000	50-100
Weißer Hochleistungs-LEDs	35.000-50.000	30-150



Entwicklung der Lichtausbeute unterschiedlicher Beleuchtungsmittel (Quelle: de Almeida et al. 2009: Technology assessment)

Abschaltung von Komponenten

Neben der Nutzung effizienter Komponenten kann Energie eingespart werden, indem Komponenten abgeschaltet oder in einen niedrigeren Verbrauchsmodus umgeschaltet werden, wenn der Aufzug nicht genutzt wird.

In Zeiten geringer Nutzung kann es zur Energieeinsparung auch sinnvoll sein, einen oder mehrere Aufzüge einer Aufzugsgruppe abzuschalten, ohne dass die Verfügbarkeit beeinträchtigt wird.

Alternativ ist denkbar, unterschiedliche Stillstandsmodi zu verwenden, die je nach Situation eingeschaltet werden.

Im *Schlafmodus* werden ausschließlich Komponenten teilweise oder komplett abgeschaltet, die sofort nach dem Einschalten wieder zur Verfügung stehen, wie beispielsweise die Kabinenbeleuchtung, die Lüftung, Anzeigen in den Fahrkörben (Richtungsanzeigen, Stockwerksanzeigen, etc.) oder auf den Stockwerken. In diesem Modus wird die Wartezeit nicht erhöht.

Im *Tiefschlafmodus* werden weitere Komponenten abgeschaltet; das System braucht dann möglicherweise länger für einen Neustart der abgeschalteten Komponenten wie der Antriebseinheit, Türantrieben, Fahrkorbelektronik oder Lichtvorhängen.

Der Neustart kann bis zu 30 Sekunden dauern. Dieser Tiefschlafmodus ist daher primär für Zeiträume mit geringer Nutzung geeignet.



Stockwerk- und Fahrtrichtungsanzeige

Hocheffiziente Induktionsmotoren

Diese Motoren zeichnen sich durch geringere Verluste und höhere Effizienz aufgrund verbesserter Eigenschaften der magnetischen Materialien und der Optimierung des Designs und der Bauweise aus.

Die Anschaffungskosten sind höher als bei herkömmlichen Motoren, allerdings führen die Einsparungen über die Lebensdauer hinweg zu Energie- und Kosteneinsparungen. Aufgrund geringerer Verlustleistungen kann die Betriebstemperatur sinken, was mit einer erhöhten Zuverlässigkeit einhergeht.

Daher ist es sinnvoll, bei allen Motorbeschaffungen hocheffiziente Motoren zu wählen.

Fortschrittliche Antriebslösungen

Antriebssysteme sind oft für Spitzenlasten zuzüglich eines Sicherheitsaufschlages ausgelegt. Dies führt bei häufigem Teillastbetrieb oft zu ineffizienten Lösungen mit Blick auf den Energieverbrauch. Eine Anpassung der Motorgeschwindigkeit kann dazu beitragen, die Leistung des Antriebs besser an die jeweilige Lastsituation anzupassen, was oft zu Energieeinsparungen führt. Antriebe mit variabler Geschwindigkeit werden eingesetzt,

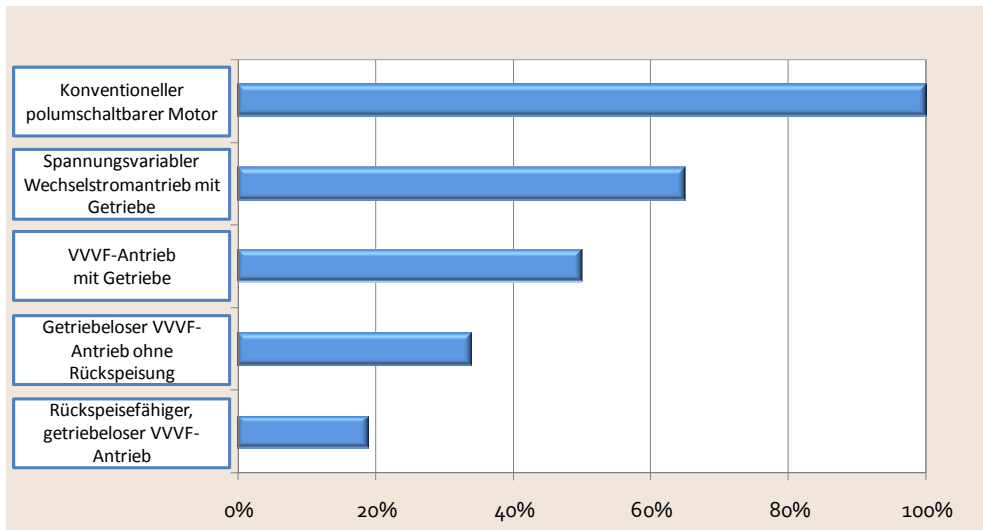
- um die Effizienz motorgetriebener Komponenten zu erhöhen, indem die Geschwindigkeit an die wechselnden Lastsituationen angepasst wird
- um eine genaue und kontinuierliche Prozesssteuerung über ei-

nen großen Regelbereich zu erreichen.

Das heute meistgenutzte Antriebssystem ist der frequenz- und spannungsvariable Antrieb (Variable Voltage Variable Frequency - VVVF).

Diese Antriebe verbessern die Energieeffizienz, den Fahrkomfort sowie die Haltegenauigkeit und erlauben, die Hauptstromversorgung aufgrund geringerer Spitzenlasten kleiner zu dimensionieren.

Getriebelose Antriebe dieser Art mit Rückspeisung können den Energieverbrauch um bis zu 80 % im Vergleich zu konventionellen polumschaltbaren Antrieben (Induktionsmotor mit zwei Geschwindigkeiten) reduzieren, wie aus der unten stehenden Abbildung ersichtlich ist.



Energiebedarf von Aufzügen, durchschnittlicher Verbrauch, prozentual
(Quelle: Flender-ATB-Loher, Systemtechnik)

Verkehrsmanagement

Aufzugssteuerungen sorgen dafür, dass Aufzüge passend auf den Transportbedarf reagieren, Türen zum richtigen Zeitpunkt öffnen und schließen, usw.

Bei mehreren parallel zueinander betriebenen Aufzügen in einem Gebäude werden die Steuerungen der Aufzüge oft im Verbund betrieben, um den Betriebsablauf zu optimieren.

Moderne Verkehrsregelungen nutzen Techniken aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz (künstliche neuronale Netzwerke, Fuzzy logic und/oder genetische Algorithmen), um Energieeffizienz und die Effizienz des Transports zu verbessern.

Indem Passagiere mit der geringsten Anzahl von Fahrten, Starts und Stopps und der minimalen Anzahl von Aufzügen zu ihrem Ziel gebracht werden, wird der Energieverbrauch deutlich reduziert.



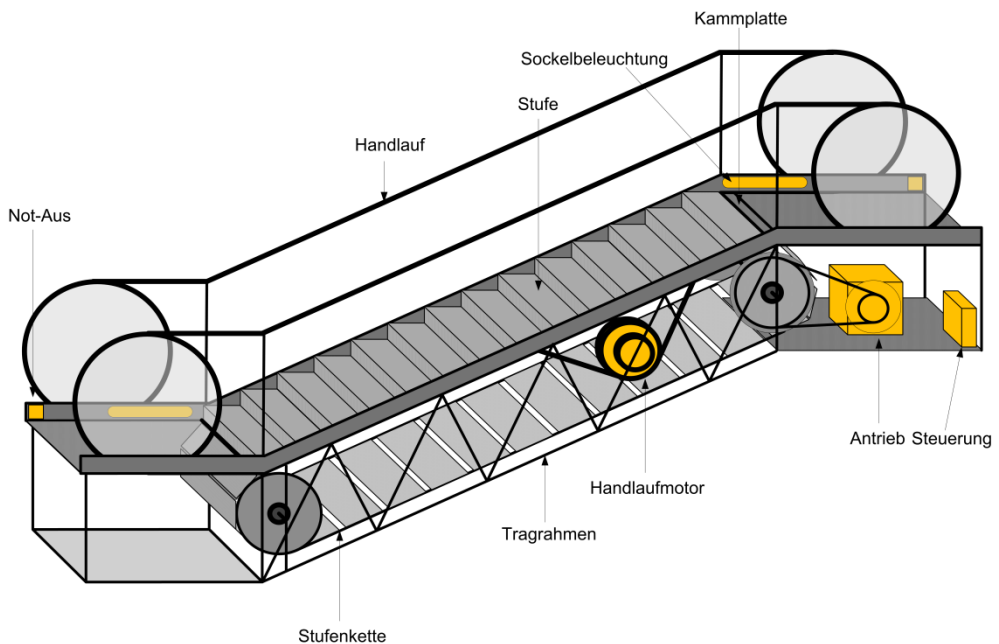
Energieeffiziente Fahrtreppen und Fahrsteige

Wie bei Aufzügen ist die Effizienz von Fahrtreppen-Komponenten sehr wichtig. Hocheffiziente Motoren, Getriebe, Lager, usw. können zu deutlichen Einsparungen führen und lohnen sich in den meisten Fällen auch finanziell.

Beispielsweise sind Planetengetriebe, Stirnradgetriebe und Hypoidgetriebe mit Effizienzniveaus von 96 % Prozent bei vielen Herstellern verfügbar und können als Alternative zu Schneckengetrieben mit geringerer Effizienz genutzt werden.

Die angemessene Wartung und Schmierung der Komponenten hilft darüber hinaus, die maximale Effizienz der Komponenten zu erhalten.

Fahrtreppen sollten nicht laufen, wenn sie nicht benutzt werden. Es ist zudem möglich, die Geschwindigkeit an die Nachfrage anzupassen, um den Energieverbrauch durch die Nutzung von frequenzvariablen Antrieben zu reduzieren; frequenzvariable Antriebe bieten dabei die Möglichkeit, Geschwindigkeitsübergänge sehr sanft und beinahe unmerkbar zu gestalten.



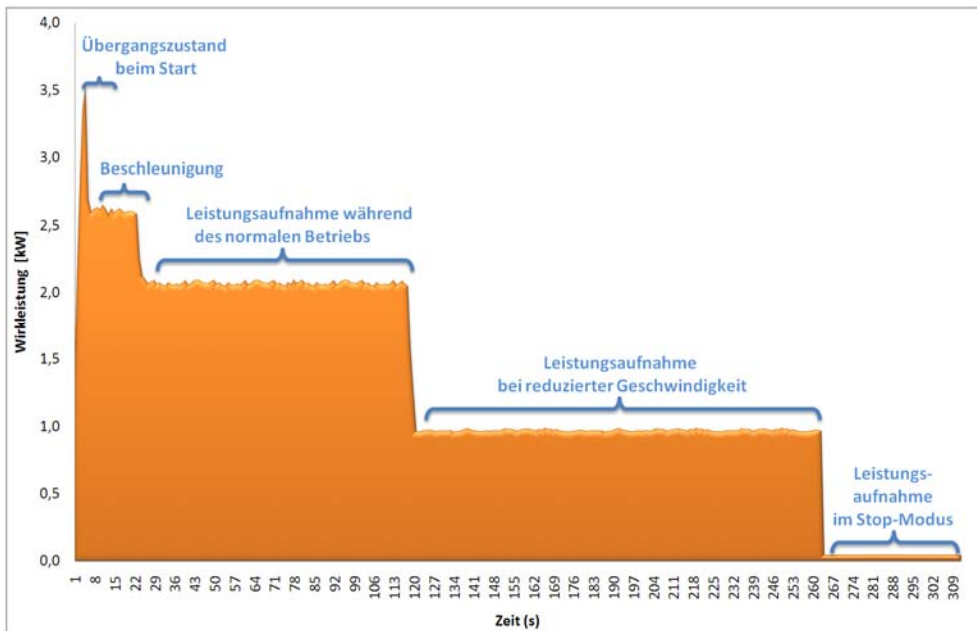
Fahrtreppe (Quelle: Fraunhofer ISI)

Üblicherweise werden drei Betriebsarten bei Fahrtreppen mit variabler Geschwindigkeit angeboten. Nach einer vordefinierten Zeit ohne Nutzung reduzieren die Fahrtreppen ihre Geschwindigkeit von der normalen Geschwindigkeit auf eine geringere Geschwindigkeit.

Der Verbrauch in dieser Betriebsart beträgt ungefähr die Hälfte des Verbrauchs im normalen Betrieb. Nach einer bestimmten Zeitspanne in dieser Betriebsart geht die Fahrttreppe in den Stop-Modus über. Hierbei bleiben ausschließlich die Steuerung und die Komponenten

für die Überwachung von Passagieren (Druckmatten, Photozellen oder Infrarot-Sensoren) in Betrieb. Sobald ein Passagier registriert wird, beginnt die Fahrttreppe, sich unter sanfter Beschleunigung wieder in Bewegung zu setzen.

Abhängig von der Intensität der Nutzung der Fahrttreppe kann diese Maßnahme den Energieverbrauch um bis zu 40% reduzieren. Die unten stehende Abbildung zeigt die Leistungsaufnahme einer Fahrttreppe in den unterschiedlichen Betriebsarten.



Leistungsaufnahme (Wirkleistung) einer Fahrttreppe in verschiedenen Betriebsarten
(Quelle: ISR-UC)

Das E₄-Projekt

Das E₄-Projekt (Energy Efficient Elevators and Escalators, www.e4project.eu) zielt auf die Verbesserung der Energieeffizienz von Aufzügen und Fahrtreppen in Gebäuden (Hotels, Krankenhäuser, Schulen, Einkaufszentren, Bürogebäuden usw.) des tertiären Sektors (GHD) und in Wohngebäuden. Im Projekt decken Partner aus Deutschland, Italien, Polen und Portugal die verschiedenen Regionen der Europäischen Union ab. Der Europäische Aufzugsverband ELA (European Lift Association) mit seinen Mitgliedsorganisationen in vielen EU-Ländern nimmt ebenfalls an diesem Projekt teil.

Hauptziele des Projekts sind

- die Charakterisierung des Stromverbrauchs von Anlagen zur Personenbeförderung (Aufzüge und Fahrtreppen) im tertiären Sektor (GHD) und in Wohngebäuden in der Europäischen Union und
- die effiziente Nutzung elektrischer Energie in Aufzügen und Fahrtreppen voranzutreiben, indem Informationen über verfügbare und rentable Energieeffizienzmaßnahmen bereitgestellt werden.



ISR – University of Coimbra



Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development



unterstützt durch

Intelligent Energy  Europe

Diese Broschüre wurde im Rahmen des E₄-Projekts (Energy Efficient Elevators and Escalators; Grant Agreement - EIE/07/111/SI2.466703) mit Unterstützung der Europäischen Kommission erstellt. Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Die dargestellten Inhalte entsprechen nicht notwendigerweise den Ansichten der Kommission. Die Kommission ist für jedwede Nutzung der hier enthaltenen Informationen nicht verantwortlich.