

Diploma Thesis

Historical development and comparison of vertical means of transport

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Entwicklungsgeschichte und Vergleich von vertikalen Transportmitteln

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs / Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Patrick Meinhart

Matr.Nr.: 01125092

unter der Anleitung von

Em.O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Hermann Knoflacher**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Technische Universität Wien,
Gußhausstraße 30/230, A-1040 Wien

Wien, im Mai 2020

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen Dank an jene Personen ausdrücken, die mich auf meinem Weg zum Studienabschluss begleitet haben.

Besonderer Dank gebührt Em. O. Univ. Prof. DI Dr. techn. Hermann Knoflacher für die Möglichkeit meine Diplomarbeit unter seiner Aufsicht und Mithilfe zu schreiben.

Weiters danke ich Mario Ruschitzka von der Firma Schindler und Gernot Jung, Center Manager des Shopping-Centers Q19, welche mir mit Rat und Tat zur Seite standen sowie konkrete Daten und Fakten aus der Realität zur Verfügung stellten. Ebenfalls möchte ich Frau Pinther und Herrn Ehn, Mitarbeiter der Wiener Linien, für deren Mithilfe und Engagement danken.

Zuletzt danke ich meiner Freundin und meinen Eltern, welche mich bei meinem Studium immer unterstützt haben.

Kurzfassung

Menschen bewegen sich nicht nur in der Ebene, sondern müssen auch Höhenunterschiede überwinden. Personenbeförderungsanlagen in der Vertikalen umfassen Treppen, Aufzüge und Fahrteppen. Täglich werden Sie so gut wie von jedem von uns benützt. Es gibt zahlreiche Normen, Richtlinien und Regelwerke, welche die technischen Eigenschaften dieser Transportmittel beschreiben.

Im ersten Teil dieser Arbeit wird die geschichtliche Entwicklung des vertikalen Verkehrs mit besonderem Bezug zu Österreich beschrieben, gefolgt von der Ermittlung des Energieverbrauchs von Personenbeförderungsanlagen mit unterschiedlichen Methoden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeiten zur Reduzierung des Stromverbrauches sowie die Verfügbarkeit und Wartung darzustellen. Dabei konnte festgestellt werden, dass die großen vier Hersteller Schindler, Otis, Kone und ThyssenKrupp versuchen die Energiekosten deren Aufzugs- und Fahrtreppenanlagen auf ein Optimum zu minimieren.

Weiters wurde eine empirische Auswertung in unterschiedlichen Gebäuden durchgeführt, um den Modal-Split des vertikalen Verkehrs zu ermitteln. Diese Verteilung der Benützung wurde mit den Lebenszykluskosten der einzelnen Anlagen verglichen und die Wirtschaftlichkeit bestimmt.

Im Laufe dieser Forschung konnte festgestellt werden, dass die Aufzugsanlage vorwiegend der Barrierefreiheit dient und erst ab großen Förderhöhen wirtschaftlich ist. Die Treppenanlage ist aufgrund der geringen Lebenszykluskosten bereits bei geringer Verwendung sehr wirtschaftlich. Fahrtreppen können bei hoher Frequenz ebenfalls sehr wirtschaftlich sein und sind der Treppe aufgrund deren Fahrkomfort zu bevorzugen.

Zur Verbesserung der Gesundheit und der Lebensqualität wurde noch ein kurzer Beitrag zur Steigerung der Attraktivität der Aktiven Mobilität in der Vertikalen verfasst.

Ein Ausblick auf aktuelle und zukünftige Forschungsprojekte im Bereich der vertikalen Personenbeförderung schließt diese Arbeit ab.

Abstract

People not only move in the plain, they also must overcome some differences in height. Vertical passenger transport systems include stairs, elevators and escalators. Nearly every one of us must use them daily. There are numerous standards, guidelines and regulations that describe the technical characteristics of these means of transport.

The first part of this work describes the historical development of vertical transport with reference to Austria, followed by the determination of the energy consumption of passenger transport systems using different methods.

The aim of this work is to present the possibilities for reducing power consumption as well as availability and maintenance. As a result, it is detected that the big four manufacturers Schindler, Otis, Kone and ThyssenKrupp are trying to minimize the energy costs of their elevator and escalator systems to the optimum.

Furthermore, an empirical evaluation was made in different buildings in order to determine the modal split of vertical traffic. This distribution of use was compared with the life cycle costs of the individual constructions and defined the profitability.

In the course of research, it could be established that the elevator system is primarily used for accessibility and is only economical for large conveying heights. Due to the low life cycle costs, the stairway system is very economical even with low use. Escalators can also be very economical at high frequency and are preferable to the stairs due to their driving comfort.

In order to improve health and quality of life, a short contribution has been made to increase the attractiveness of active mobility in vertical movement.

An outlook on current and future research projects in the field of vertical passenger transport completes this thesis.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Danksagung | II |
| Kurzfassung | IV |
| Abstract | V |
| Inhaltsverzeichnis | VII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Problemstellung | 1 |
| 1.2 Ziel der Arbeit und Definition der Forschungsfragen | 1 |
| 1.3 Aufbau der Arbeit..... | 2 |
| 2 Geschichtliche Entwicklung vertikaler Transportmittel | 3 |
| 2.1 Geschichtliche Entwicklung der Treppe / Leiter | 3 |
| 2.2 Geschichtliche Entwicklung des Flaschenzuges | 6 |
| 2.3 Geschichtliche Entwicklung des Aufzuges..... | 8 |
| 2.4 Geschichtliche Entwicklung der Rolltreppe | 14 |
| 2.5 Geschichtliche Entwicklung des Paternosters | 15 |
| 2.6 Geschichtliche Entwicklung des Treppenliftes | 17 |
| 2.7 Geschichtliche Entwicklung des Kranes | 18 |
| 3 Energieeffizienzvergleich von Aufzügen und Fahrtreppen | 24 |
| 3.1 Messung des Energieverbrauches von Aufzügen und Fahrtreppen | 26 |
| 3.1.1 Methode von Schröder | 26 |
| 3.1.2 Messungen von Doolard | 26 |
| 3.1.3 ÖNORM EN ISO 25745 Teil 1 – Energiemessung und Überprüfung... 26 | |
| 3.1.3.1 Messverfahren für eine Aufzugsanlage | 28 |
| 3.1.3.1.1 Messgeräte | 28 |
| 3.1.3.1.2 Prüfanordnung | 28 |
| 3.1.3.1.3 Verfahren zur Energiemessung Antriebsenergie – Fahren 28 | |
| 3.1.3.1.4 Verfahren zur Überprüfung des Energieverbrauchs | 29 |
| 3.1.3.2 Messverfahren für Fahrtreppen und Fahrsteige | 29 |
| 3.1.3.2.1 Messgeräte | 29 |
| 3.1.3.2.2 Prüfanordnung | 29 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.1.3.2.3 | Verfahren zur Leistungsmessung | 30 |
| 3.1.3.3 | Bericht | 30 |
| 3.1.4 | ÖNORM EN ISO 25745 Teil 2 – Energieberechnung und Klassifizierung von Aufzügen..... | 31 |
| 3.1.4.1 | Berechnen des Energieverbrauches für das Fahren je Tag | 31 |
| 3.1.4.2 | Berechnung des täglichen Energieverbrauchs im Stehen (Bereitschaft / Stillstand)..... | 33 |
| 3.1.4.3 | Gesamter täglicher Energieverbrauch | 34 |
| 3.1.4.4 | Gesamter jährlicher Energieverbrauch | 34 |
| 3.1.4.5 | Klassifizierung der Energieeffizienz von Aufzügen | 34 |
| 3.1.5 | ÖNORM EN ISO 25745 Teil 3 – Energieberechnung und Klassifizierung von Fahrtreppen und Fahrsteigen | 35 |
| 3.1.5.1 | Abschätzung des Energieverbrauches | 36 |
| 3.1.5.2 | Klassifizierung Energieeffizienz | 37 |
| 3.1.5.2.1 | Normalisierung der berechneten oder gemessenen Leistungsaufnahme: | 37 |
| 3.1.5.2.2 | Berechnung oder Messung der Leistungsaufnahme der spezifischen Anlage..... | 37 |
| 3.1.5.2.3 | Berechnung des Energieeffizienzverhältnisses | 37 |
| 3.1.5.2.4 | Berechnung des Verhältnisses zur Referenz-Betriebsart .. | 38 |
| 3.1.5.3 | Klassifizierung der Energieeffizienz | 38 |
| 3.2 | Reduktion des Energieverbrauches von Fahrtreppen | 39 |
| 3.2.1 | Firma Schindler Fahrtreppeneffizienz | 40 |
| 3.2.2 | Firma Otis Fahrtreppeneffizienz | 42 |
| 3.2.3 | Firma Kone Fahrtreppeneffizienz | 42 |
| 3.2.4 | Firma ThyssenKrupp Fahrtreppeneffizienz..... | 43 |
| 3.2.5 | Überblick Energieeffizienzmöglichkeiten Fahrtreppe..... | 43 |
| 3.3 | Reduktion des Energieverbrauches von Aufzügen..... | 44 |
| 3.3.1 | Firma Schindler Aufzugseffizienz..... | 45 |
| 3.3.2 | Firma Otis Aufzugseffizienz | 46 |
| 3.3.3 | Firma Kone Aufzugseffizienz | 46 |
| 3.3.4 | Firma ThyssenKrupp Aufzugseffizienz | 47 |
| 3.3.5 | Überblick der Energieeffizienzlösungen Aufzug | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3 Datenerhebung und Methodik | 68 |
| 5.3.1 Durchführung und Darstellung der Erhebung | 69 |
| 5.3.1.1 Messstellen U-Bahnstationen | 70 |
| 5.3.1.2 Messstellen Einzelhandel | 75 |
| 5.3.1.3 Einkaufszentrum | 76 |
| 5.3.1.4 Wohn-, Bürogebäude..... | 77 |
| 5.3.2 Auswertung der Erhebung | 81 |
| 5.3.2.1 Auswertung U-Bahnstationen | 81 |
| 5.3.2.2 Auswertung Einzelhandel | 83 |
| 5.3.2.3 Einkaufszentrum | 83 |
| 5.3.2.4 Wohn-, Bürogebäude..... | 84 |
| 5.3.2.5 Modal-Split gesamt | 85 |
| 5.4 Durchführen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | 86 |
| 6 Beantwortung der Forschungsfragen | 92 |
| 6.1 Welche Möglichkeiten der Reduzierung des Stromverbrauchs gibt es und wie unterscheiden sich die großen Hersteller von Aufzügen und Fahrtreppen diesbezüglich voneinander? | 92 |
| 6.2 Wie hoch ist die Verfügbarkeit von Fahrtreppen und Aufzügen und wie verändert sich die Verteilung bei Ausfall eines Transportmittels?..... | 93 |
| 6.3 Wie hoch ist die Wirtschaftlichkeit der Beförderung eines Fahrgastes in der vertikalen Ebene bei unterschiedlichen Benützungszwecken?..... | 94 |
| 7 Wirkung aktiver und passiver Mobilität im vertikalen Verkehr | 95 |
| 7.1 Vor- und Nachteile des Treppensteigens..... | 96 |
| 7.2 Vor- und Nachteile des Aufzugs- und Fahrtreppenfahrens..... | 97 |
| 7.3 Resümee | 97 |
| 8 Ausblick in die Zukunft..... | 98 |
| 8.1 Innovation Aufzug..... | 98 |
| 8.1.1 PORT Technologie Firma Schindler | 98 |
| 8.1.2 Cloud-basierte Service- und Wartungslösungen | 99 |
| 8.1.3 TWIN-Personenaufzug Firma ThyssenKrupp Elevator..... | 99 |
| 8.1.4 Energierückspeisung E.COR BLUE und ReGen | 99 |
| 8.1.5 UltraRope – Kone | 99 |

| | |
|---|------------|
| 8.1.6 MULTI – ThyssenKrupp Elevator..... | 100 |
| 8.2 Innovation Fahrtreppe..... | 100 |
| 8.2.1 SmartStep – ThyssenKrupp..... | 101 |
| 8.2.2 ESCALITE – UVIS UV..... | 101 |
| 8.2.3 Spiral-Fahrtreppen..... | 102 |
| 8.2.4 Fahrtreppe für Rollstuhlfahrer..... | 102 |
| Literaturverzeichnis | 103 |
| Abbildungsverzeichnis | 107 |
| Tabellenverzeichnis | 108 |
| Anhang..... | 111 |
| Anhang 1: Betriebskostenermittlung Fahrtreppe..... | 111 |
| Anhang 2: Messprotokolle | 112 |

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Vertikale Transportmittel kommen zum Einsatz, um Höhenunterschiede in Gebäuden und auch unter freiem Himmel zu überwinden. Am Anfang unserer Geschichte waren Hebewerkzeuge handbetrieben und Treppen dienten vor allem zu Repräsentationszwecken. In der heutigen Zeit erfolgen Hubarbeiten elektrisch und Personen benötigen meist täglich Beförderungsmittel um in die oberen Stockwerke eines Gebäudes ohne große Schwierigkeiten zu gelangen. Mit zunehmender Technik nahm der Strombedarf immer weiter zu und so wurden Möglichkeiten zur Reduzierung der Betriebs- und Stillstandskosten entwickelt.

Vorhandene Studien liefern bereits Erkenntnisse zu Lebenszykluskosten und Leistungsfähigkeiten der einzelnen Transportmittel. Die Wirtschaftlichkeit zu ermitteln und diese mit unterschiedlichen Gebäudeanforderung zu vergleichen, wurde bisher kaum Beachtung geschenkt.

1.2 Ziel der Arbeit und Definition der Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit ist es die Wirtschaftlichkeit vertikaler Transportmittel in Gebäuden zu analysieren, um daraus für zukünftige Bauvorhaben entsprechende Einsparungspotenziale zu erhalten.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie der Modal-Split auf Treppen-, Fahrtreppenanlage und Personenaufzug aussieht. Nachfolgend wird dieser mithilfe der Lebenszykluskosten analysiert.

Daraus haben sich mehrere Fragestellungen abgeleitet:

1. Welche Möglichkeiten der Reduzierung des Stromverbrauchs gibt es und wie unterscheiden sich die großen Hersteller von Aufzügen und Fahrtreppen diesbezüglich voneinander?
2. Wie hoch ist die Verfügbarkeit von Fahrtreppen und Aufzügen und wie verändert sich die Verteilung bei Ausfall eines Transportmittels?
3. Wie hoch ist die Wirtschaftlichkeit der Beförderung eines Fahrgastes in der vertikalen Ebene bei unterschiedlichen Benützungszwecken?

1.3 Aufbau der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit wird die geschichtliche Entwicklung vertikaler Transportmittel mit besonderem Bezug auf Österreich geschildert.

Im folgenden Kapitel werden Möglichkeiten der Energiereduzierung sowie die Ermittlung der Energieeffizienz beschrieben. Es werden Varianten der Messung des Energieverbrauches vorgestellt und die genaue Vorgangsweise laut ÖNORM dargestellt. Mittels der vier großen Aufzugs- und Fahrtreppenhersteller Schindler, Otis, Kone und ThyssenKrupp wird ein Vergleich der Möglichkeiten zur Minimierung des Energieverbrauches hergestellt.

Im vierten Kapitel wird die Verfügbarkeit, die Wartung und Reparatur von Aufzügen und Fahrtreppen recherchiert sowie beschrieben. Mithilfe der Datenerfassung im nachfolgenden Kapitel werden mögliche Ausfälle betreffend des Modal-Splits analysiert.

Im empirischen Teil der Arbeit erfolgen mehrere Zählungen an unterschiedlichen Standorten sowie Nutzungstypen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden niedergeschrieben und mithilfe der zugehörigen Kostengrundlagen in Bezug gesetzt. Die Wirtschaftlichkeitsdaten der einzelnen Verkehrsmittel werden anschließend zusammengefasst und die Forschungsfragen beantwortet.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Auswirkungen vertikaler Personenbeförderungsanlagen werden deren Vor- und Nachteile auf die Gesundheit sowie Umwelt niedergeschrieben.

Den Abschluss der Arbeit bildet ein Ausblick in die Zukunft des vertikalen Verkehrs.

2 Geschichtliche Entwicklung vertikaler Transportmittel

Wachsende Städte, mangelnder Platzbedarf und steigende Menschenmengen erforderten bereits vor langer Zeit ein Erhöhen der Bauwerke in den Zentren. Diese Faktoren machten die Weiterentwicklung des vertikalen Transportes von Lasten und Personen immer wichtiger.

Auf den kommenden Seiten wird ein geschichtlicher Überblick der verschiedenen Transportmittel von der Steinzeit bis heute mit besonderem Augenmerk auf Wien bzw. Österreich gegeben.

2.1 Geschichtliche Entwicklung der Treppe / Leiter

Bereits in der Steinzeit mussten Höhenunterschiede durch Stufen überwunden werden. Die ersten Funde waren Baumstämme mit Einkerbungen, sogenannten Steigbäumen, mit denen die Menschheit in die Höhe steigen konnte. Als Gestaltungselemente wurden Treppen voraussichtlich erst ca. 10.000 v. Christus gebaut. Dies bestätigt der Fund auf dem höchsten Punkt der Bergkette von Germus in der Türkei. [2]

Ein Höhepunkt war der Bau des Zikkurats ca. 5.000 Jahre v. Christus. Hierbei handelt es sich um eine steile Stufenanlage an deren Ende sich Tempeltürme befinden. Das Zikkurat befindet sich in Mesopotamien. [2]

3.000 v. Christus konnten zahlreiche Steighilfen entdeckt werden. Auch sogenannte Sprossenladern (Sprossenleitern) waren zu dieser Zeit in Verwendung. Der Vorteil war, dass diese bei Gefahr eingezogen werden konnten. Es wurden zwei dünne Bäume an den Sprossen befestigt, auf welchen man emporsteigen konnte. [2]

Die älteste gefundene Holzterasse befindet sich im Hallstätter Salzbergwerk in Österreich. Die Treppe konnte aufgrund ihrer Breite auch für den Materialtransport genutzt werden und stammt aus der Bronzezeit. In Betrieb wurde die Anlage ca. 1.344 v. Christus und war etwa 100 Jahre in Benützung. [1]

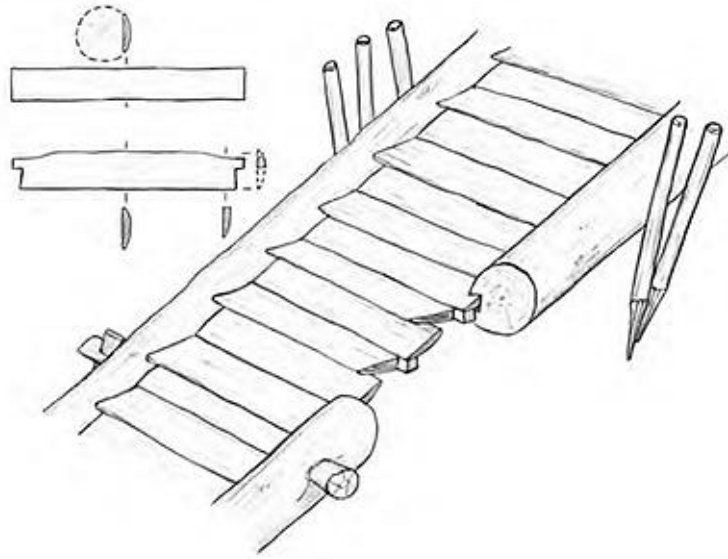


Abbildung 1: Konstruktionszeichnung älteste Treppe [1]

Zu diesem Zeitpunkt wurden im Bergbau hauptsächlich eine Art von Leitern verwendet. Diese waren für jede Neigung brauchbar, hingegen war die Treppe aufgrund des fixierten Neigungswinkels unflexibel und somit lange Zeit nicht nützlich. Fachleute haben eine Konstruktion von Trittstufen erfunden, welche sich durch Zapfen bewegen ließen und somit die Anpassung an verschiedene Neigungen ermöglichte. Damit ergaben sich Vorteile, da man nun beide Hände für den Materialtransport frei hatte. [1]

In der Antike war die Treppe ein fester Bestandteil des Städtebaus. Bei heiligen und religiösen Bauwerken symbolisierte Sie die Verbindung zwischen Erde und Himmel. Zum Einsatz kam die Treppe sowohl bei griechischen wie auch römischen Tempeln. Der Einsatz von Stufen erhöhte das Gebäude und stellte es noch mehr in den Mittelpunkt des Geschehens. Stufen wurden aber nicht nur zum Überwinden von Höhen verwendet, sondern dienten auch zur Aussicht und zum Sitzen, wie das Kolosseum zeigt. [1]

Im Mittelalter wurde die mehrgeschoßige Bebauung immer beliebter. Auch mehrgeschoßige Dachstühle, welche zur Lagerung dienten, wurden gebaut. Um die Höhenunterschiede im privaten Lebensraum auszugleichen, kam es zur Entwicklung der Wendeltreppe. Eine der bedeutsamsten architektonischen Erfindungen dieser Zeit. Aufgrund des geringen Flächenbedarfes war Ihr Anwendungsbereich riesig und streckte vom Kirchenbau bis hin zur Verteidigung der Burg. Für den Bau einer solchen Treppenanlage war sehr hohes Können

notwendig und der Bau benötigte Jahre bis Jahrzehnte. Mit einer Wendeltreppe können sehr große Steighöhen bei geringem Flächenbedarf bewältigt werden. Zusätzlich konnte sich Feuer nicht so rasch ausbreiten. Bei der Burgverteidigung hatte der Burgherr bei der Verteidigung einen enormen Vorteil. Zu dieser Zeit wurden Wendeltreppen immer rechtsherum hergestellt. Die Ausholbewegung des Angreifers mit dem Schwert wurde so behindert. [1]

In der Zeit des Barocks diente die Treppe vor allem zur Repräsentation. Sie wurde prunkvoll und üppig verziert hergestellt. Ein Beispiel hierfür ist die 68 Meter lange Spanische Treppe in Rom. Der Ort repräsentiert einen Ort des Niederlassens und der Erholung. [1]



Abbildung 2: Spanische Treppe [1]

In Italien wurde um 1600 die Urform der Klappleiter erfunden. Im Jahre 1761 wurde die erste Schiebeleiter hergestellt. [3]

Anfang des 19. Jahrhunderts begann man mit dem Bau von Gusseisentreppen. Bis dahin kamen vor allem Holztreppen zum Einsatz. Anfangs wurde das kalte Material von der Bevölkerung abgelehnt. Durch die Industrialisierung und dem Platzmangel in den Städten kam es zu Vorschriften des Treppenbaues, welche nichtbrennbare Unterkonstruktionen forderten. [1]

In der Nachkriegszeit gab es einige Fortschritte in der Materialtechnologie sowie in der Fertigung. Aufgrund dieser Weiterentwicklung war der Einsatz neuer Formen und Materialien möglich. Durch den Computer und die Digitalisierung am Ende des 20. Jahrhunderts konnte die Genauigkeit der Stufenanlagen deutlich erhöht werden. [1]

Bis zur zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden Leiter hauptsächlich handwerklich aus Holz hergestellt. In den 1960er Jahren begann die Herstellung von Aluminiumleitern. Diese sind deutlich haltbarer und leichter beim Transport und sind heutzutage fast ausschließlich in Verwendung. Elektriker verwenden aufgrund der Leitfähigkeit oftmals noch Holzleitern. [3]

Die Treppe steht in der Geschichte als Symbol für das Weiterkommen, für Rangunterschiede in jeglicher Form, für Erfolg als auch für den Auf- und Abstieg. Die Treppe wird häufig in Bildern, Gemälden, in der Literatur sowie in Filmen als verbindendes und erhöhendes Element thematisiert und verwendet. Sogar eine eigene Wissenschaft zwischen Menschen und Treppe hat sich entwickelt, die sogenannte Scalologie oder Treppenkunde. [1]

Bis heute konnte die Treppe nicht durch ein fortschrittlicheres Transportmittel ersetzt werden. In Hochhäusern sind Aufzüge die bequemere Variante und auch das Thema Barrierefreiheit rückt die Treppe mehr und mehr in den Hintergrund, jedoch verschwunden ist Sie bis heute aus keinem Hochhaus. Im privaten Wohnhaus steht die Treppe immer mehr im Mittelpunkt des Wohnens. Sie entwickelt sich in Richtung eine Art Möbelstück und dient bei weitem nicht mehr nur zum Überwinden von Höhenunterschieden. Der Platz unter der Treppe dient als Stauraum oder Bücherregal sowie als Büro. Die Beleuchtung als auch die Leichtigkeit und Offenheit der Konstruktion gewinnen an Bedeutung. Die Ansprüche an den Treppenbau sind enorm gestiegen. Die Steigungsverhältnisse, welche sich aus Steigungswinkel und Schrittlänge ergeben, haben sich seit der Erfindung der Schrittmaßregel des Mathematikers Francois Blondel aus dem Jahre 1683 kaum verändert. [2]

2.2 Geschichtliche Entwicklung des Flaschenzuges

Durch die Erfindung des Rades konnten die Römer und Griechen bereits vor tausenden von Jahren große Massen in der Horizontalen bewegen. Der Transport solcher Massen in die Höhe stellte bis zur Erfindung des Flaschenzuges große Probleme dar. Der Flaschenzug beruht auf einem einfachen Prinzip, dessen Erfinder ungeklärt ist. Archimedes schrieb auf einem assyrischen Relief das Prinzip im Jahre 970 vor Christus nieder. Auch Vitruv, ein römischer Architekt schrieb dieses Prinzip nieder. Jedoch waren die Materialien für dieses Funktionsprinzip im ersten Jahrhundert vor Christus zu teuer bzw. noch

gar nicht vorhanden. Die Weiterentwicklung erfolgte durch Heron von Alexandria. Ohne diese Erfindung konnten Bauwerke wie das Kolosseum bzw. ähnliche Gebäude des alten Roms niemals erbaut werden. Steinblöcke bis zu 7 Tonnen konnten mit Hilfe des Seilzuges in die Höhe gehieft werden. [4]

Im Mittelalter beschäftigte sich Leonardo da Vinci mit der Weiterentwicklung.

In der Renaissance konnten Obelisken, welche bis zu 330 Tonnen wiegen mit Hilfe von 220 Meter langen Seilen, 75 Pferden, 907 Arbeitern und 40 Flaschenzügen aufgerichtet werden. [4]

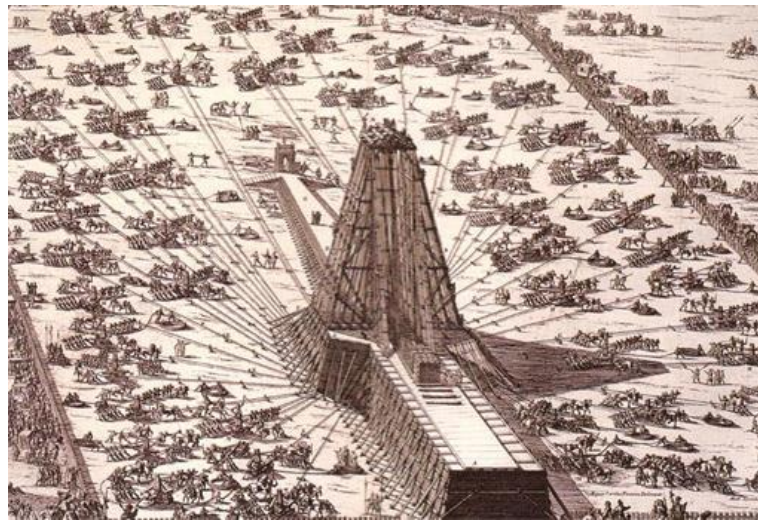


Abbildung 3: Flaschenzug Obelisk [38]

1861 konnten durch die Erfindung des Differentialflaschenzuges, Massen bis zum 1000fachen Gewicht des angewandten Kraftaufwandes in die Höhe befördert werden. [4]

Der Flaschenzug besteht hauptsächlich aus 3 Komponenten, den Flaschen bzw. Rollen sowie den Seilen. Die Flaschen waren früher aus Hartholz, die Seile aus Haaren bzw. Hanf. Heutzutage sind die Seile aufgrund der besseren Haltbarkeit sowie Belastbarkeit aus Stahl. [4]

Im Jahre 1711 wurde die Pummerin des Stephansdomes mit einem Gewicht über 20 Tonnen aus türkischen Kanonen gegossen und mit vier Flaschenzügen auf den Südturm gehoben. Die Erfindung des Seilzuges war einer der wichtigsten Erfindungen in Österreich für die architektonische Blütezeit während der Gotik und Renaissance. [4]

2.3 Geschichtliche Entwicklung des Aufzuges

Laut Historie gab es bereits im 3. Jahrhundert vor Christus erste Aufzüge und auch beim Bau der Pyramiden im alten Ägypten gab es mögliche vertikale Aufzüge. Als Erfinder gilt inoffiziell Archimedes, welcher ein Seil durch eine Winde um eine Wickeltrommel wickelte. Der Antrieb erfolgte durch Menschen, Tiere oder Wasser. Diese ersten Hebeanlagen wurden vor allem für den Materialtransport verwendet. [8]

Etwa 500 vor unserer heutigen Zeitrechnung gab es die ersten handbetriebenen Aufzüge. Zur Personen- und Tierbeförderung kam es erstmals im römischen Kolosseum, in welchem wilde Tiere und Gladiatoren in die Arena transportiert wurden. [8]

Um das griechische Kloster in St. Barlaam auf einer Anhöhe in rund 60m zu erreichen wurden Hebelifte im Mittelalter errichtet. Der Vorläufer des Prinzips des Aufzugs ist der Flaschenzug. [8]

Für König Louis XV wurde im Jahr 1743 der erste reine Personenlift hergestellt. Durch das Ziehen an einer Schnur betätigte man den Seilzug. Durch die Erfindung der Dampfmaschine im Jahr 1765 konnten deutlich höhere Lasten gehoben werden. [8]

1772 ließ sich Kaiserin Maria Theresia im Westflügel des Schloss Schönbrunn eine Holzkonstruktion, welche mit einem Rad durch Hand angetrieben wurde, einbauen, da Treppensteigen Ihrer Meinung nach zu anstrengend war. [7]

Elisha Graves Otis, der Erfinder der ersten modernen Aufzugsanlage mit Fangvorrichtung stellte seine Sicherheitsbremse unter dem Motto „All Safe“ 1853 auf der Weltausstellung vor.

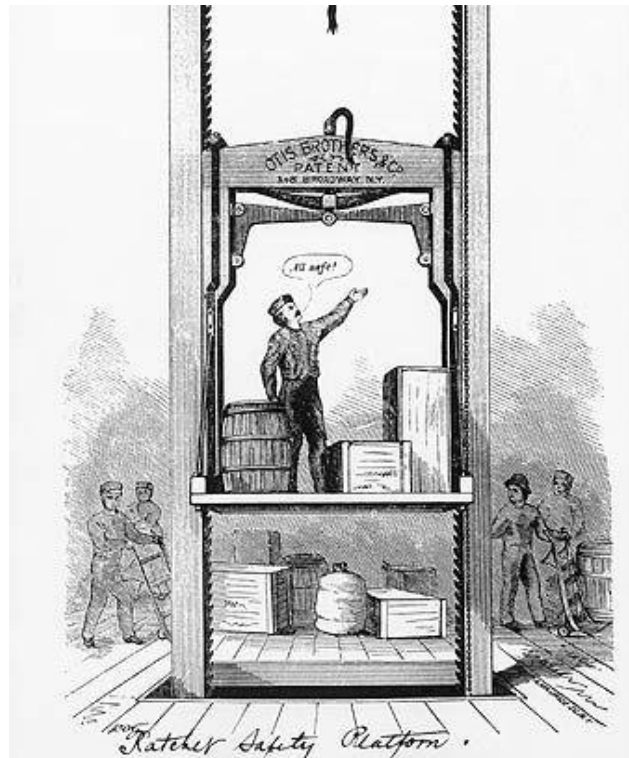


Abbildung 4: Otis Sicherheitsbremse "All Safe" [8]

Der Verkauf verlief sehr schleppend und steigerte sich erst durch den Hochhausboom. Er gründete die Firma Otis Elevator Company im Jahr 1853. Der erste kommerzielle Aufzug wurde 4 Jahre später in einem New Yorker Kaufhaus zur Erleichterung des Arbeitslebens eröffnet. Der heutige Weltmarktführer Otis stellte im Jahr 1867 seinen ersten Hydraulikaufzug vor, schaffte die Durchsetzung in Europa jedoch erst in den 1870er Jahren. Der Erfinder schaffte es Menschen davon zu überzeugen mit dem Aufzug sowohl hinauf als auch hinunter zu fahren, ohne abzustürzen. [8]

In den folgenden Jahren kam es vor allem zu einer Weiterentwicklung des Fahrkomforts sowie der Sicherheit. In Wien gab es zu dieser Zeit einen Mangel an Luxushotels, welcher 1872 und 1873 durch zahlreiche Neueröffnungen beseitigt wurde. In jedem dieser Hotels wurden Hydraulikaufzüge eingebaut, um die bequeme Kommunikation der Etagen zu steigern. Die Anschaffung sowie der Betrieb waren sehr kostspielig und aufwändig jedoch war so eine bessere Verwertung der oberen Geschoße möglich. Durch die Inbetriebnahme der ersten Hochquellenwasserleitung in Wien konnte die Wasserversorgung in den oberen Etagen ebenfalls gewährleistet werden. Durch unterschiedliche Wasserdrücke konnten die Plattformen der Stempelaufzüge in die Höhe befördert werden. Trotz

des Benützungsentgeltes, der langen Stillstandszeiten, der ungleichmäßigen Fahrt sowie etlichen technischen Problemen war der Hydraulikaufzug ein Erfolg. Die Aufzugskabinen hatten eine repräsentative Funktion und wurden luxuriös sowie mit Spiegelwänden ausgestattet. [7]

Der erste elektrische Aufzug wurde von Werner von Siemens 1880 entwickelt. Ein Elektromotor mit Getriebe und Zahnradgewinde konnte die Plattform durch das dynamoelektrische Prinzip anheben. Diese Erfindung war ein riesiger Erfolg und die Nachfrage stieg stetig. Siemens fokussierte sich anschließend jedoch auf die Verbreitung der Elektrifizierung in weiteren Lebensbereich und nicht auf den Verkauf von Aufzügen. [8]

In Österreich wurde die 3 PS starke Gramm`sche dynamoelektrische Anlage für bis zu 4 Personen von Anton Freissler im Jahre 1883 eröffnet. Die elektrische Versorgung war zu dieser Zeit noch nicht ausreichend und so mussten die Aufzüge oft im Handbetrieb bewegt werden. [7]

Zahlreiche Stadtaufzüge, welche eine Sehenswürdigkeit darstellten, wurden in den 1980er Jahren erbaut. Der wohl berühmteste ist der Eiffelturm in Paris. Einige Türme dienten nur zur Aussicht andere überbrückten Niveauunterschiede. In Wien stand ein solcher Stadtaufzug aufgrund des 1897 gebauten Riesenrades nicht zur Diskussion.

Ende des 19. Jahrhunderts kam es zur horizontalen und vertikalen Verdichtung durch Intensivierung von Wien zur Großstadt. 1910 hatte Wien über 2 Millionen Einwohner. Von 1880 bis 1910 kam es zu einer Verdreifachung der Gebäude auf 41.000 Stück. 75% der vor 1840 gebauten Gebäude wurden abgerissen und neu aufgebaut. In der Innenstadt kamen keine Gebäude hinzu, sondern wurden um je ein Geschoß aufgestockt. Die urbane Höhenentwicklung wurde in der Bauordnung festgeschrieben und laufend ergänzt. 1829 waren 4 Stockwerke erlaubt, 1868 4 Stockwerke mit ca. 25m Höhe und 1893 gab es gestaffelte Angaben zu den Gebäudehöhen mit einem Bauzonenplan sowie funktionaler Zonierung. [7]

1889 ist das erste Aufzugsgesetz für die Herstellung und den Betrieb von Aufzügen in Kraft getreten. Wien legt größten Wert auf Sicherheit und der Bau einer Aufzugsanlage ist nur mit baubehördlicher Genehmigung inkl. Planung möglich. Fangvorrichtungen, geschützte Gegengewichte und eine 20fache

Sicherheit ließen die Angst der Wiener Einwohner trotzdem nicht verschwinden. Zum damaligen Zeitpunkt sprach man von der Aufzugskrankheit, welche mit der Seekrankheit vergleichbar war. Immer wieder berichtete die Zeitung von Unfällen und Toten. Aufzugswärter, welche das rechtzeitige Anhalten und Beschleunigen durchführten, konnten die Angst der Bürger vermindern. Gegen den Aufzugswärter sprach die Abhängigkeit, die Kosten für Trinkgeld und die nicht ständige Verfügbarkeit. Durch den Bau von Kraftwerken ab 1890 war eine ausreichende Energieversorgung sichergestellt und der elektrisch betriebene Aufzug konnte sich im Wohnungsbau durchsetzen. Im Jahr 1900 gab es 412 Personenaufzüge in Wien. 13 Jahre später waren bereits 2.586 Anlagen in Betrieb. Ein ähnliches Verhältnis gab es auch bei Lastenaufzügen von 2.193 auf 7.046. Zuerst erfolgte der Ausbau vor allem in den inneren Bezirken durch den Ausbau des Stromnetzes auch in den Außenbezirken. Entlang der Gürtelstraße wurden überwiegend Lastenaufzüge verbaut. In diesem Jahr wurde auch die elektrische Druckknopfsteuerung veröffentlicht, welche den Aufzugswärter verschwinden ließ. Durch diese Entwicklung fuhr man aufgrund der nicht mehr räumlichen Erfahrung, wie beim Treppensteigen, auch mit dem Lift hinab. [7]

Die Wohnungen in den oberen Geschoßen wurden durch die Weiterentwicklung des Aufzuges interessanter, konnten teurer vermietet werden und heute zählen das Penthouse zu den teuersten Wohnungen. Die Beletage, zu diesem Zeitpunkt der 1.Stock war aus gesundheitlicher Sicht, jenes Stockwerk mit der geringsten Sterblichkeitsrate. Der Aufzug gab den Wohnhäusern eine bessere Struktur in den einzelnen Etagen. Die damaligen Modekrankheiten, wie Ermüdung und Nervenschwäche, gaben der Erfindung Aufzug einen weiteren Schub zur Verbreitung.[7]

Wien nahm sich New York als Vorbild und entwickelte sich zur „Hochhausstadt“. Amerika war Europa in dieser Zeit einige Schritte voraus. Das New Yorker Woolworth Building ist zu dieser Zeit mit 241 Meter das höchste Gebäude der Welt. 27 Liftanlagen befördern die Menschenmassen von einer Verkehrsebene in die andere. [7]

Die vertikale Erschließung war in Wien durch das Treppenhaus bestimmt, in dessen Erscheinungsbild der Aufzug integriert wurde. Zumeist wurde die Anlage in den Lichtschacht der Treppe verbaut. Der Aufzug sollte anders als in Amerika

nicht nur sicher sein, sondern auch ein ästhetisches Gesamtkunstwerk darstellen. In Reiseführern und Hotelbeschreibungen galten Aufzüge für Wohlstand, Luxus und Bequemlichkeit. Gerade in der Hotelbranche rückte die Treppenanlage immer mehr in den Hintergrund ebenso bei mehrgeschoßigen Warenhäusern. Der Lift gab Aufschluss über die Bevölkerung die dort lebten, jedoch egal ob schlicht oder pompös, die Menschen waren eng beieinander und wussten nicht wohin sie schauen sollten. Blickkontakt ohne miteinander zu reden war zu dieser Zeit unvorstellbar und so beschränkte man sich auf das Zuhören der Aufzugsmaschinen. [7]

Die wichtigsten Aufzugsunternehmen in Wien waren Anton Freissler und Franz Wertheim. [7]

1928 wurde erstmals Aufzugsmusik in Anlagen in den USA eingebaut, um den Mangel an Reiseeindrücken auszugleichen. Bis 1918 kam die Aufzugsindustrie fast vollkommen zum Stillstand. Nur wenige Lastenaufzüge wurden produziert, da die Rüstungsindustrie im Vordergrund stand. Einige Aufzugsfirmen schlossen in dieser Zeit Ihr Unternehmen. Bis nach dem Zweiten Weltkrieg gibt es kaum statistische Aufzeichnungen aus der Aufzugsbranche. Die Firma Sowitsch etablierte sich in den 1930er Jahren zu den führenden Aufzugsherstellern mit einer eigenen Produktion in Wien. Freissler, Wertheim und D`Ester erhielten somit Konkurrenz und schlossen sich Anfang der 1920er Jahre zusammen. Mitte der 1920er Jahre kam es zu Streiken aufgrund der Arbeiterlöhne, welche den privatwirtschaftlichen Wohnbau zum Erliegen brachten und auch im kommunalen Wohnbau wurden keine neuen Anlagen verbaut. Die bereits verbauten Lifte machten den Herstellern aufgrund der Weiterentwicklung des Stromnetzes von Gleich- auf Wechselstrom erhebliche Probleme. [7]

Erst nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges konnten sich die Aufzugsfirmen wieder am Markt etablieren. Der Großwohnbau wurde durch eine offene Bauweise mit großen Wohnungen ersetzt. Ab den 1950er Jahren wurden diese mit WC und eigenem Bad ausgestattet. Ab 4 Stockwerken wurde standardmäßig ein Aufzug eingebaut. Die endgültige Umrüstung von Gleich- auf Wechselstrom erfolgte aufgrund der hohen Kosten erst Ende der 50er Jahre. [7]

In dieser Zeit entstanden zahlreiche Entwürfe für Hochhäuser in Wien. Das erste Hochhaus entstand in der Herrengasse mit einer Höhe von 53m, 16

Stockwerken und 10 Aufzügen. Die Meinungen waren zwiegespalten. Der Vorteil des Hochhauses liegt darin, dass viele übereinanderliegende Räume durch Liftanlagen rascher und bequemer miteinander verbunden werden als dieselbe Anzahl nebeneinander liegender Räume über lange Korridore. Wohnungen in Geschoßbauten mit Aufzügen waren um knapp 60 Prozent teurer als Wohnbauten ohne Liften. Bei Hochhäusern spielten die Kosten oft nur eine Nebenrolle, da diese Bauwerke zur Repräsentation dienten. Schnellaufzüge, welche nicht in allen Stockwerken stehen blieben wurden stetig beliebter. [7]

Der Nordturm des Stephansdomes erhielt einen Aufzug der Firma Sowitsch und auch der Donauturm wurde mit mehreren Personen- und Lastenaufzügen ausgestattet. Bis zu 800 Personen konnten je Stunde auf das Erkennungskennzeichen jenseits der Donau transportiert werden. Die hohen Kosten des Turmes mit etwa 80 Millionen Schilling standen dem Erfolg der Millionen von beförderten Besuchern entgegen.

In den 1960er Jahren betrug der Marktanteil der führenden Wiener Unternehmen bis zu 80%, jedoch drängten sich die internationalen Großkonzerne wie Otis, Schindler, Kone und Thyssen Krupp in den heimischen Markt. So schlossen sich die Wiener Unternehmen, um mehr Gegenwehr leisten zu können zusammen, scheiterten aber einige Jahre später. Die Firma Freissler schaffte den Wiederaufbau und stellte anschließend über 600 Anlage je Jahr her. Otis wurde 1969 Mehrheitseigentümer von Freissler, wessen Namen 1991 vollkommen verschwand. Auch die Firma Sowitsch expandierte und wurde 1975 von dem Konzern Kone übernommen. Auch dieser Namen verschwand im Jahr 2000 vom Markt. Die Firma Schindler übernahm das Unternehmen Wertheim und spezialisierte sich vor allem auf Rolltreppen im U-Bahnbau. 1996 entwickelte das Unternehmen Kone den maschinenraumlosen Fahrstuhl, welches eine Verkleinerung des Antriebs mit sich zog. Am Ende des 20ten Jahrhunderts setzte sich der Aufzug endgültig als das vertikale Massenbeförderungsmittel durch. [7]

2003 stellte die Firma Thyssen Krupp Ihre Weiterentwicklung TWIN vor. Zwei bzw. mehrere unabhängige Aufzugskabinen werden in einem Schacht situiert. Diese Erfindung bietet eine Platzeinsparung von ca. 30 Prozent sowie geringere Wartezeiten von etwa 65 Prozent. [8]

Zur weiteren Minimierung des Unfallrisikos und der Einbindung von Notrufsystem sowie punktgenauen Haltepunkten ohne Stolperstufen kam 2007 eine neue Sicherheitsrichtlinie heraus. Da der Umbau der alten Anlagen meist teurer als ein Neubau war, wurden durch diese Novelle etliche historische Aufzugsanlagen stillgelegt.

2019 wurde der bislang höchste Aufzug von der Firma Kone im Jeddah Tower mit einer Höhe von 660m fertiggestellt. [8]

2.4 Geschichtliche Entwicklung der Rolltreppe

Die ersten Vorreiter, die sogenannten „Moving Sidewalks“, der heutigen Rolltreppe wurden im Jahr 1893 in Chicago entwickelt. 1900 wurden die stufenlosen Rollbänder erstmals in Europa (Paris) vorgestellt. Der 3,8km lange rollende Gehsteig konnte eine Geschwindigkeit von bis zu 8 km/h erreichen. [7]

Da sich mit den stufenlosen Steigbändern nur geringe Steigungen durchführen ließen, erwarb die Firma Otis erste Patente für bewegliche Treppenstufen von den Technikern, George A. Wheeler und Charles D. Seeberger und entwickelte diese weiter. Auf der Pariser Weltausstellung wurde ebenfalls die erste moderne Rolltreppe „Escalator“ vorgestellt. Mit diesem Transportmittel konnten große Menschenmengen befördert werden und trotzdem war die europäische Bevölkerung dieser neuartigen Entwicklung noch sehr skeptisch. [7]

Aufgrund des Themas Sicherheit war die Rolltreppe nur eine Ergänzung zum Aufzug und kein Ersatz. Der Einsatz dieses förderbandähnlichen Transportmittels wurde zuerst in Fabriken, Bahnhöfen und später in Warenhäusern eingesetzt. Zur besseren Vorstellung des kontinuierlichen Verkehrsflusses sowie der noch nicht ausgereiften Technik blieben die Rolltreppe vorerst stufenlos. 1904 wurde im Modehaus A. Gerngroß in Wien der „erste rollende Teppich“ von der Firma Leipziger Maschinenfabrik Unruh&Liebig eröffnet. Das 75cm breite Steigband bot Platz für mehrere Personen nebeneinander und wurde mit einem Elektromotor mit 0,5 m/s fortbewegt. An den beiden Seiten gab es einen Rahmen mit einer Glasfüllung und einer mit Plüsch überzogenen Handleiste. Es konnten bis zu 3.000 Personen/h mit dieser Fahrband befördert werden. [7]

In den 1920er Jahren waren die gestuften Rolltreppen technisch ausgereift und nahmen den Platz der einst repräsentativen Freitreppe als Massentransportmittel

in Warenhäusern der USA ein. In Wien war lange Zeit das Warenhaus A. Gerngroß der einzige Anwendungsort, welcher erst 1940 auf die erste gestufte Rolltreppe umstellte. Dieser hölzerne Stufenteppich setzte die Personen gefahrlos ab und konnte auch auf Abwärtsfahren umgestellt werden. Anfangs wurden uniformierte Helferinnen eingesetzt, welche Anweisungen der richtigen Benützung des Transportmittels gaben. Der Fahrkomfort und die Sicherheit ließen noch zu wünschen übrig. Nach dem Zweiten Weltkrieg gab es eine weitere Verbreitung an der Wiener Börse sowie in den Passagen unter der Ringstraße. Die wichtigsten Produzenten zu dieser Zeit waren die Firma Freissler sowie Wertheim. Die Rolltreppe war eine Attraktion und galt als billigstes Ringelspiel Wiens. Es stand für Fortschritt und Modernität. [7]

In den folgenden Jahren wurden sämtliche Bahnhöfe, Flughäfen und stark frequentierte Verkehrsknoten mit Rolltreppen ausgestattet. In den 1980er Jahren wurden Rolltreppen zur Lenkung der Verkehrsströme in den U-Bahnen eingesetzt. Der Fahrkomfort stieg und das Fahrerlebnis zur Gewohnheit. [7]

Auf dem Hauptbahnhof befinden sich 29 Anlagen, welche mit der modernsten Technik ausgestattet sind. Die längste Rolltreppe Wiens befindet sich bei der U-Bahnstation U3 Zippererstraße mit einer Länge von 53m. Die steilste Fahrtreppe, welche vom Weltmarktführer Schindler hergestellt wurde, befindet sich bei der U-Bahnstation U1 Altes Landgut. Derzeit gibt es in Wien rund 1.000 Fahrtreppen. Die Europäische Union bemüht sich derzeit um eine Vereinheitlichung der Fahrgeschwindigkeiten. Die ÖBB fährt derzeit mit 1,8 km/h, die Wiener Verkehrsbetriebe mit 2,3 km/h und in Hong Kong und Prag werden Geschwindigkeiten zwischen 2,7 und 3,2 km/h erreicht. [7]

2.5 Geschichtliche Entwicklung des Paternosters

Zur Steigerung der Transportkapazitäten in Büro und Amtsgebäuden wurden im 19. Jahrhundert Pasternosteraufzüge entwickelt. Im Jahre 1876 gab es das erste Vorläufermodell im General Post Office von London, welches jedoch nur zur Beförderung von Paketen Verwendung fand. Der erste Paternosteraufzug bzw. Cycling Elevator wurde 1883 in London in Betrieb genommen. Hamburg entwickelte sich in den kommenden Jahren zum Paternoster-Zentrum Europas. 1906 wurde der erste Paternoster, welcher von der Firma Wertheim hergestellt wurde in Wien eröffnet. Dieser war mit 12 offenen Coupes über 4 Stockwerke

ausgestattet. Diese hingen an zwei Gallischen Ketten und die Geschwindigkeit von 20 cm/s konnte ebenfalls überzeugen. Der 7 PS starke Elektromotor befand sich im Keller und das Hängewerk am Dachboden. 1907 waren bereits 120 Anlagen in den Geschäftshäusern Dovenhof eingebaut. Die Vorteile dieses Transportmittels waren die dauerhafte Verfügbarkeit, die geringen Wartezeiten und keine Platzangstgefühle. Die Nachfrage stieg bis zum Ersten Weltkrieg und vor allem die Produzenten Wertheim, DÈster und Freissler profitierten davon sehr. Die Anlagen waren in der Anschaffung zwar teurer als herkömmliche Aufzüge zu dieser Zeit, jedoch konnten sie durch die einfache Technik der Fangvorrichtung und das Wegfallen des Aufzugswärters im Betrieb punkten. Amtsgebäude, Banken, Versicherungen, Büro- und Geschäftshäuser waren zum Transport von Last und Personen mit einem Paternoster ausgestattet. Die Sicherheit war enorm hoch obwohl es immer wieder zu leichten Unfällen, wie Quetschungen und Knochenbrüchen kam. [7]



Abbildung 5: Paternoster v. Anton Freissler im Wiener Haus der Industrie [7]

Durch die Verschärfung der Sicherheitsvorschriften am Anfang der 1970er Jahre wurden keine neuen Anlagen mehr in Österreich und Deutschland in Betrieb genommen. Nach und nach verschwanden bestehende Anlagen

aufgrund der hohen Kosten für Betrieb, Wartung und Reparatur. Derzeit sind in Wien noch 7 Anlagen in Betrieb, eine davon im Wiener Rathaus. [7]

2.6 Geschichtliche Entwicklung des Treppenliftes

Die Geschichte des Treppenliftes geht bis in das 16. Jahrhundert zurück. König Heinrich VIII, welcher im Alter von 45 Jahren bei einem Turnierunfall schwer verletzt wurde, benötigte ab diesem Zeitpunkt einen Rollstuhl zur Fortbewegung. Um sich auch auf den unterschiedlichen Ebenen frei bewegen zu können, wurde der erste Vorgänger des Treppenliftes konstruiert. Ein Stuhl wurde durch eine Seilzugkonstruktion und einem Gegengewicht durch seine Diener in die Höhe befördert. [5]

Der erste moderne Treppenlift wurde in Pennsylvania, USA durch den Ingenieur C.C. Crispen im Jahr 1920 entwickelt. Seine Intention für die Erfindung war der Wunsch eines behinderten Freundes zur Fortbewegung in seinem Eigenheim. Der Stuhl mit Liftantrieb konnte Treppen überwinden, er nannte seine Erfindung Inclinator. Erst Ende der 30er Jahre etablierte sich die Firma Inclinator Company am amerikanischen Markt und wurde vor allem für an Kinderlähmung erkrankten Menschen verwendet. [5]

Die bereits 1886 gegründete Liftfabrikfirma Jan Hamer erhielt einige Jahre später Verstärkung durch Geschäftspartner Mulder und wurde anschließend zu Jan Hamer & Co umbenannt. Die europäische Firma entwickelte Sitzlifte mit einfachen Holzkonstruktionen. Komfort spielte zur damaligen Zeit keine Rolle und auch die Stabilität ließ zu wünschen übrig. Erst im Jahre 1962 übernahm Gerrit Pieter Mulder Junior die amerikanische Technik in sein Unternehmen. Die neuartige Technologie mit Antriebsmotoren war sehr beliebt und das Unternehmen wuchs stetig, doch anfangs hatten die Maschinen noch große Antriebssysteme und fehlende Sicherheitseinrichtungen. [5]

Erst 1977 wurden erste Treppenlifte in Deutschland von dem Familienunternehmen L. Kopmann Maschinenfabrik GmbH verkauft, welche sich davor mit dem Vertrieb Sackwinden und Aufzügen beschäftigte. Der erste Prototyp wurde durch den Gründer bereit Ende der 60er Jahre für seine Schwiegermutter entwickelt. Der Verkauf verlief im ersten Jahr sehr schleppend und es konnten gerade einmal neun Stück an die Bevölkerung vertrieben werden.

1997 verlegte die Firma Lifta Treppenlift GmbH Ihren Sitz nach Wien, Österreich. Die Firma konnte bereits auf enorme Erfahrung und Kompetenz der Schwesterfirma zurückgreifen und wurde zum Spezialisten für Treppenlifte in Österreich. Heute befinden sich etwa 130.000 Anlagen in Deutschland in Betrieb und es werden etwa 7.000 Neuanlagen jährlich in Österreich neu installiert. Durch die konsequente Weiterentwicklung konnten Sie das Vertrauen der Kunden gewinnen und sich an der Spitze des Marktes etablieren.[5]

Treppenlifte sind heutzutage hauptsächlich elektromotorische Sitz- bzw. Plattformlifte, welche sich entlang einer Fahrschiene durch eine Zahnstange in die Höhe bewegen. Dieser Antrieb benötigt kaum Wartung und hat keinen Verschleiß von Belägen. [6]

Durch den hohen Einsatz von Treppenliften in Einfamilienhäuser steigt die Lebensqualität für ältere Leute, welche in deren gewohnter Umgebung weiterhin leben können. Seit 1993 werden regelmäßige Überprüfungen durch den TÜV durchgeführt. Diese Anlagen sind maßgeschneiderte Lösungen, welche sich an so gut wie jeder Treppe montieren lassen. [6]

2.7 Geschichtliche Entwicklung des Kranes

Die vermutlich älteste Darstellung eines Hebezeuges ist das thebanische Grab aus der ägyptischen Residenzzeit. Dieses diente zur Bewässerung eines Gartens mit Schaduf. Das Schaduf ist ein um ca. 3.000 vor Christus weit verbreiteter Hebebalken zum Wasserschöpfen. [9]



Abbildung 6: Schaduf zum Wasserschöpfen [39]

Diese Erfindung spielte eine wesentliche Rolle in der Entwicklungsgeschichte zur vertikalen Verlagerung von Baumaterialien. Bereits vor 5.000 Jahren konnten Lasten über 400 to in die Höhe befördert werden. Ähnlich schwere Lasten konnten erst wieder im späten 20. Jahrhundert gehoben werden. [9]

Erste Überlieferungen der griechischen Krankonstruktionen fand man aus dem 5. Jahrhundert vor Christus durch Herodot. Knapp 300 Jahre später durch Heron von Alexandria. In seiner Schrift „Über das Lastenheben“ notiert Heron fünf einfache Maschinen zum Bewegen einer Last. Mit der Bezeichnung Haspel, Hebebaum, Keil, Rolle und endlose Schraube. [9]

In arabischen Abschriften wird von einer 200-fach vergrößerten Hebekraft geschrieben. Mittels Schneckengetriebe, Flaschenzug und Winde wurden Steinblöcke in die Höhe befördert. Auch ein erster Mastkran, welcher auf eine Fundamentplatte platziert wurde wird erwähnt. Der Mast ist neigbar und mit Seilen gesichert. Die Fundamentplatte wurde laut deutscher Übersetzung auf Rollen befestigt und so wurde dieser Kran als erste Mobilkran bezeichnet. [9]

Für höhere Lasten diente der Zweimast-Portalkran mit leicht nach vorne geneigten Masten zur besseren Stabilität. [9]

In der griechischen Architektur sind Säulen das wichtigste Element. Diese bestehen aus rund behauenen aufeinander gestapelten Steinblöcken. Da für diese Arbeiten eine enorme Präzision notwendig ist, jedoch der Abstand der Säulen sehr gering ist war das Aufstellen von Gerüsten und Verheben der Steine mit Menschenkraft nicht möglich. Aufgrund dieser Problematik kam es zur Entwicklung des Kranes. [9]

Marcus Vitruvius Pollio ein römischer Ingenieur und Baumeister unter der Führung von Julius Cäsar sowie Kaiser Augustus beschreibt in seinen „Zehn Büchern über die Architektur“ die in Griechenland verwendeten Krane. Diese Bücher erlangten große Verbreitung und wurden häufig bis in das Mittelalter zitiert. [9]

Am bekanntesten waren Einmastkräne mit abgespannten Seilen zur Schwenkbarkeit. Das Heben der Lasten übernahmen mehrere Arbeiter in einem hölzernen Tretrad und zwei weitere Arbeiter überwachen die Befestigungen am Mastende. [9]

Fehlende Sicherheitsvorschriften und zahlreiche Unfälle sowie herabstürzende Steinblöcke und plötzlich umschlagende Kranstrukturen waren keine Seltenheit. Die Konstruktionen waren sehr weit gespannt und aus dem Material Holz hergestellt. [9]

Bis heute sind viele Fragenstellungen, wie z.B.: der Bau der Riesenbauten der Inkas und Mayas, der großen Menhir oder Steinfiguren auf den Südseeinseln ungeklärt. [9]

Bis zum Mittelalter gibt es nur sehr wenige Überlieferungen zur Konstruktion von Kranen. Aufgrund der Baukunst wurden in dieser Zeit Krane verwendet, jedoch spielte das Berufsgeheimnis eine große Rolle wodurch auch in dieser Epoche technische Zeichnungen der Konstruktionen Mangelware waren. Die Pest reduzierte die Einwohnerzahlen in den Städten um fast die Hälfte und trotzdem wurden Kathedralen in der Zeit zwischen 1.100 und 1.400 nach Christus überall gebaut. Der Bau dauert oft mehrere Jahrzehnte. Grund dafür waren die geringen Arbeiterzahlen. Dies erforderte ein sehr großes Geschick des Baumeisters sowie das Erfordernis von Kranen. [9]

Da kaum Platz auf den schmalen Türmen der Kathedralen war, wurden Auslegerkrane auf fertiggestellten Bauteilen oder Gerüsten aufgestellt. Die

Baumaterialien wurden mit Treträdern und Flaschenzügen in die Höhe befördert. Das Material wird in einen Korb gefüllt und nach der Entleerung am hängenden Seil heruntergezogen. [9]

Im 14. Jahrhundert gab es die ersten Vorläufer der Kletterkrane. Die Anwendung von Treträdern wird erst im 19. Jahrhundert abgelöst. Ein sehr bekannter Turmkran befand sich auf dem Kölner Dom. Die bis zu 2,5 to schweren Figuren und Steine wurden mit diesem Drehkran befördert. Die Mechanik und Statik des Kranes basiert weitgehend auf den altdeutschen Hafenkranen. [9]

Ein italienischer Militäringenieur beschreibt 1449 einen Kran mit Radfahrgestell ausgestatteten Kran mit Hauptmast und absenkbaaren Ausleger. Am Ende des Auslegers befindet sich ein Haken, an dem ein Korb oder Behälter befestigt werden kann. [9]

In der Renaissance und dem Barock erfolgt eine Weiterentwicklung der Krane. Durch die neue Architektur entwickelt sich das Stadtbild in eine neue Richtung. Krane werden mit Zahnradgetriebe ausgestattet. In dieser Epoche wurden die Konstruktionen dokumentiert und Krane konnten Materialien bis 350 to mittels Hanfseile und Ketten heben. Eisenketten haben ein sehr hohes Eigengewicht, welche die Hubkraft schmälern. [9]

Im 16. Jahrhundert wurden die Krane transportabler und konnten an dem in die Höhe wachsendem Rohbau aufgestellt werden. Der Ausleger war um die vertikale Säule drehbar, mit Tretrad und Überdachung ausgestattet. [9]

Durch den Einsatz eines Schneckenantriebes konnten Lasten ohne aufwendige Brems- und Feststelleinrichtungen beliebig lang gehalten werden. Drehkrane mit Gegengewichten und feststellbarer Laufkatze zur beliebig verstellbaren Ausladung erfolgte in den nächsten Jahren. [9]

1589 bis zum Ende des 18. Jahrhunderts wurden etliche Obelisken mit bis zu 510 to und Hilfe von 900 Personen sowie 75 Pferden, 40 Hebewinden und Tretmühlen aufgestellt. [9]

Im 17. Und 18. Jahrhundert waren 360° drehbare, mobile, französische Krane von Jacob Leupold sehr populär. [9]

1834 wurde der erste gusseiserne Kran vorgestellt. Vor allem durch den Schiffsbau gelangte man an die Grenzen der Hubkraft. Im selben Jahr wurde das

Drahtseil, welches sehr viel biegsamer war und eine höhere Festigkeit aufweist vorgestellt. [9]

Die Leistung war bis in das 19. Jahrhundert aufgrund des menschlichen Antriebes sehr beschränkt, welcher durch die Dampfmaschine ersetzt wurde. 1846 wurde der erste brauchbare Druckwasserkran vorgestellt. Kolben heben die Last über einen Kettenrollenzug in die Höhe, ein weiterer Druckzylinder übernimmt das Schwenken. [9]

Am Ende des 19. Jahrhunderts waren die Hochbaukrane in ihrer Leistungsfähigkeit noch recht bescheiden. Bei Höhen bis 24m und einer Hubfähigkeit von ca. 20 to waren die Grenzen ausgeschöpft. Leistungen wurden aufgrund des fehlenden Lastmomentbegrenzers überschätzt. [9]

Die Entwicklung im Hochbau war sehr zurückgeblieben. Die meisten Arbeiten erfolgten händisch und Kraneinsätze beschränkten sich auf Industrie, Hafen, Werften und den Brückenbau. Mobilität war zu dieser Zeit von enormer Wichtigkeit und so wurden Raupenkrane entwickelt. Durch den beginnenden Stahlbetonbau werden leistungsfähigere Hebezeuge im Hochbau benötigt. Die Lösung ist der sogenannte Turmkran, wessen Entdecke jedoch unbekannt ist. Am Mast befindet sich das Kranführerhaus, welches sich mit dem Mast beim Schwenken mitbewegt. Der Windenantrieb konnte bis zu 5 to verheben und wurde elektrisch betrieben. Drei Elektromotoren für das Heben / Senken, das Schwenken und das Fahren wurden auf solche Turmkrane benötigt. Nachteilig waren die sehr hohen Kosten sowie der lange Aufbau, welche zwischen 6 und 10 Tagen benötigte. Der Einsatz kam daher nur auf Großbaustellen in Frage. [9]

1936 kam in Deutschland die erste Norm für Berechnungsgrundlagen der Stahlbauteile von Kranen heraus. Während des Krieges kommt die Kranindustrie fast vollständig zum Erliegen. In der Nachkriegszeit sind Turmdrehkrane weiterhin schwerfällige Biegebalkenkonstruktionen aus Walzeisen, wessen Transport sich auf den Straßen als schwierig herausstellt. Im Jahre 1949 stellt die Firma Liebherr den ersten selbstaufbauenden Kran vor. [9]

Der geringe Platzbedarf erfordert wie in der Renaissance die Weiterentwicklung von Kletterkranen. Das Angebot von Nadel- und Katzausleger und Kombinationen davon werden angeboten. Eine stetige Steigerung der Hubhöhe sowie Lasten sind die Erfolge der nachfolgenden Jahre. Am Ende der 60er Jahre

treibt ein Motor eine oder mehrere Hydraulikpumpen, der sogenannte hydrostatische Antrieb an. Zu dieser Zeit tummeln sich fast unüberschaubar viele Kranhersteller am europäischen Markt.

Teleskopierbare Türme, neue Steuerungen, neuartige Klettermechanismen, schnelleres Aufstellen sind die Schlagworte der Turmdrehkranszene. In den 1970er Jahren wurde erstmals die 1.000 to Traglast bei mobilen Kranen erreicht. In diesen Jahren verschwindet der untendrehende Nadelauslegerkran und wird durch Knickausleger für größere Höhen ersetzt. Ebenfalls wird der ACS – Lastmomentbegrenzer zur Serienreife entwickelt. Das Handling und die Sicherheit werden deutlich verbessert. [9]

In den 80er Jahren gibt es Entwicklungen im Bereich Gewichtsoptimierung und hochfesten Werkstoffen. Der Kranverkauf in Europa sinkt um bis 90% und etliche Firmen müssen schließen. Jeder Hersteller versucht sich durch patentierte Auslegerprofile einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen. Da Achsen, Motoren, Getriebe, Zylinder, die Sicherheitstechnik sowie die Hydraulikkomponenten aus denselben Quellen stammen. [9]

In den 90er Jahren kommt es zur zunehmenden elektrischen Weiterentwicklung. Stützdrucküberwachung, Arbeitsbereichüberwachung, Lastmomentbegrenzer, Sicherheitseinrichtungen zur Ferndiagnose sind nur ein kleiner Auszug der Erfindungen der Kranindustrie.

3 Energieeffizienzvergleich von Aufzügen und Fahrtreppen

Das Thema Energie ist in aller Munde. Die steigenden Energiekosten sollten uns motivieren so viel Energie wie möglich einzusparen. Jedoch nicht nur die Kosten, sondern auch der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) sollte unsere Motivation zur geringeren Umweltverschmutzung steigern. [10]

In Europa sind knapp 5.000.000 Aufzüge installiert und jährlich werden es knapp 120.000 mehr. Etwa 75.000 Fahrtreppen sind derzeit im Betrieb. Diese Anzahl überzeugt und kann durch Minimierung der Energie die Ziele des Kyoto – Protokolls erfüllen. [10]

Hebezeuge verbrauchen zwischen 3 und 15 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs eines Gebäudes. In den letzten Jahren stieg der Energieverbrauch aufgrund von gesteigerten Komfortbedingungen stark an. Es gibt einige Einsparpotenziale durch energieeffiziente Geräte, welche die Investitionsentscheidungen und Verhaltenssätze positiv beeinträchtigen sollen. Da Aufzugs- und Fahrtreppensysteme aus mehreren Teilen bestehen kann der effektivere Einsatz jedes einzelnen Gerätes zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen. Ohne moderne Technik benötigen hydraulische Aufzugsanlagen etwa dreimal so viel Energie wie elektrische Aufzüge. Zusätzlich sind Hydrauliklifte mit Geschwindigkeit von 1 m/s sowie einer Hubhöhe von knapp 20 Metern beschränkt. Grund für die Beschränkung der Höhe ist der größere Kolbendurchmesser zum Ausgleich der Instabilitätskräfte. Dieser Kolben erhöht die Kosten der Ausrüstung enorm ist und ist ab etwa 7 Geschoßen nicht mehr wirtschaftlich. Derzeit werden noch etwa zwei Drittel aller Aufzüge hydraulisch betrieben, sodass auch hier die Weiterentwicklung im Bereich Nachhaltigkeit sinnvoll ist. [10]

Ebenfalls gibt es bei den elektrischen Aufzügen enorme Effizienzunterschiede in einer Größenordnung zwischen 30 und 40 Prozent. Bei Gleichstrommotoren mit Generator gibt es in beiden Antriebssystemen hohe Energieverluste. Die elektrische Energie wird in mechanische Energie umgewandelt und wieder zurück in elektrische Energie. Dieser Prozess weist einen sehr niedrigen Wirkungsgrad auf und der Motor muss im Leerlauf weiterlaufen. [10]

Wechselstrommotoren verbrauchen vier- bis sechsmal mehr Strom beim Beschleunigen und Abbremsen als bei der normalen Fahrt. Das Getriebe sowie die Schwungradeisen / Gusseisen tragen zur geringen Effizienz bei. [10]

AC-1, AC-2, VVVF Elektromotoren finden bei Fahrtreppen Ihre Verwendung und bewegen Stufen wie auch Handläufe mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,5 m/s. Das Antriebssystem läuft ständig und unabhängig vom Ladezustand der Fahrtreppen. Strom wird kontinuierlich verbraucht und schlägt sich daher bei schwankenden Fahrgastzahlen besonders negativ nieder. [10]

Die am wenigsten effizienten Aufzüge verwenden Elektro- oder Induktionsmotoren als Gleichstrommotoren sowie elektromechanischen Relais zur Steuerung. Heutzutage sind diese Steuerungssysteme durch elektrische Bedienfelder ersetzt. Der Gesamtenergieverbrauch für Aufzüge und Fahrtreppen entspricht ca. 0,5 Prozent des Landes. [10]

Eine lange Zeit stand die Fahrgeschwindigkeit, die akustischen Geräusche, der Fahrkomfort sowie der Platz im Vordergrund der Verbesserung. Bei Neuinstallationen ist es wichtig die Kosten des Energieverbrauches mit hinreichender Genauigkeit vorherzusagen. Die größten drei Nationen der Aufzugsindustrie sind Italien, Spanien und Deutschland. [10]

Die Aufzugsindustrie hat auf den Umweltschutztrend reagiert und entsprechende Lösungen präsentiert. Die technologischen Entwicklungen lassen sich in direkte und indirekte unterteilen. Mit direkten Verlusten spricht man von Reibungs-, Übertragungs-, Motorverluste sowie dem Bremswiderstand. [10]

In einer idealen Welt ohne Reibungsverluste wird Energie niemals in einem Aufzug verbraucht. Ein Seilaufzug und ein Gegengewicht dienen als Speicher der Energie. Leider befinden wir uns in keiner idealen Welt und es finden Verluste in Form von Wärme statt. [10]

Als nächstes schauen wir uns die Vorgänge während eines Fahrzyklus an. Vor der Fahrt wird nur Energie für die Steuerung verbraucht. Während der Beschleunigung wird Energie absorbiert, um den bewegten Massen kinetische Energie zuzuführen. Am Ende der Beschleunigung ist die kinetische Energie nicht mehr erforderlich, da die Geschwindigkeit konstant ist. Am Ende der konstanten Geschwindigkeit beginnt der Aufzug langsamer zu werden und es

wird kinetische Energie zurückgeführt. Ab dem Stillstand wird wie zu Beginn nur Energie zur Steuerung benötigt. [10]

3.1 Messung des Energieverbrauches von Aufzügen und Fahrtreppen

Zur Messung des Energieverbrauches gibt es unterschiedliche Methoden. Diese werde ich auf den nachfolgenden Seiten vorstellen.

3.1.1 Methode von Schröder

Dies ist eine einfache Methode zur Berechnung des Energieverbrauchs anhand einer Tabelle mit Grundformeln. In der Tabelle wird die typische Dauer einer Fahrt mit einem Aufzug anhand der Anzahl der Stockwerke des Gebäudes und der Geschwindigkeit des Aufzugs geschätzt. Unter Verwendung der Anzahl der Startbewegungen pro Tag und unter der Annahme, dass der Motor während der Ausführung mit voller Kapazität verwendet wurde, wird der tägliche Energieverbrauch des Aufzugs geschätzt. Multipliziert man dies mit der Anzahl der Arbeitstage pro Jahr und dividiert diesen Wert durch die Fläche des Gebäudes ergibt sich die Möglichkeit, einen Wert für die Bewertung des Energieverbrauches der Aufzüge des Gebäudes pro m² und Jahr zu berechnen. [10]

3.1.2 Messungen von Doolard

Doolard hat eine große Anzahl von Messungen anhand von 30 Aufzügen durchgeführt. Er hat den Energieverbrauch jedes Aufzugs bei einer dreistöckigen Rundfahrt gemessen. Die Aufzüge waren während der Durchführung leer. Die Ergebnisse wurden in Bezug auf die Masse des Aufzugs normalisiert und in Bezug auf die Nenngeschwindigkeit aufgetragen. An sich waren die Messungen von Doolard kein Mittel zur Berechnung des Energieverbrauchs anderer Aufzugsanlagen, sondern ein Vergleich zwischen den verschiedenen Arten von Aufzügen.

3.1.3 ÖNORM EN ISO 25745 Teil 1 – Energiemessung und Überprüfung

Diese Norm wurde zur Sicherstellung und Unterstützung einer effizienten und effektiven Verwendung von Energie verfasst. Sie dient zur einheitlichen Messung des tatsächlichen Energieverbrauchs von Aufzügen, Fahrtreppen und Fahrsteigen sowie zur regelmäßigen Überprüfung des Energieverbrauchs

vorhandener Anlagen. Der gesamte Energieverbrauch für den Lebenszyklus von Aufzügen, Fahrtreppen und Fahrsteigen besteht aus den für die Herstellung, den Einbau, den Betrieb und die Entsorgung verbrauchte Energie. Diese Norm dient jedoch nur zur Beurteilung und Überprüfung des Energieverbrauchs jedoch nur für die Leistungsaufnahme von Aufzügen, Fahrtreppen und Fahrsteigen während des Betriebs. [11]

Nicht berücksichtigt bleiben Komponenten der Beleuchtung, der Heizung sowie Kühlung, nicht aufzugsrelevante Anzeige- und Überwachungssysteme, der Energieverbrauch von Steckdosen und Gruppensteuerungen, Alarminrichtungen und Versorgung der Notstrombatterie. [11]

Die Messungen können nach der Inbetriebnahme, während dem Betrieb und nach Modernisierung durchgeführt werden. Diese sollten praktikabel vor Ort durchführbar, wiederholbar sein und von sachkundigen Personen durchgeführt werden.

Es gibt unterschiedliche Messungen und Überprüfungen, welche in der nachfolgenden Tabelle angeführt sind.

Tabelle 1: Messung und Überprüfung des Energieverbrauches [11]

| | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Aufzug | Energiesmessung | Antriebsenergie | Fahrt Bereitschaft, Stillstand |
| | | Zusatzenergie | Fahrt Bereitschaft, Stillstand |
| | Überprüfung des Energieverbrauches | Antriebsenergie | Fahrt Bereitschaft, Stillstand |
| | | Zusatzenergie | Fahrt Bereitschaft, Stillstand |
| Fahrtreppe | Leistungsmessung | Leistungsaufnahme | Stillstand |
| | | | Autostart-Modus |
| | | | Schleichfahrt- Modus |
| | | | Nulllast-Modus |
| | Zusatzverbraucher | | |
| Überprüfung Energiesmessung | Leistungsaufnahme | Nulllast-Modus | |

3.1.3.1 Messverfahren für eine Aufzugsanlage

3.1.3.1.1 Messgeräte

Die Messgeräte müssen Strom- und Spannungsmessgeräte für die Messung der Effektivwerte oder Energiemessgeräte für die Messung der Energie für ungleichmäßige Lasten genügen. Sie sollen eine Messgenauigkeit von $\pm 10\%$ aufweisen.

3.1.3.1.2 Prüfanordnung

Für die Durchführung der Messung ist die Aufzeichnung der Modellnummer des Messgerätes notwendig. Weiters dürfen für die Vergleichbarkeit keine Änderungen an den Parameter des Aufzuges durchgeführt werden. Der öffentliche Zugang bzw. die öffentliche Nutzung müssen verhindert werden. Der Triebwerksraum sollte seine normale Betriebstemperatur aufweisen und keine Last im Fahrkorb beinhalten.

3.1.3.1.3 Verfahren zur Energiemessung Antriebsenergie – Fahren

Dient zur Ermittlung und Aufzeichnung des Energieverbrauches eines Zyklus durch Anschluss des Energiemessgerätes am Messpunkt für die Antriebsleistung.

Antriebsenergie – Bereitschaft und Stillstand

Dient zur Ermittlung und Aufzeichnung der Energie nach Beendigung eines Referenzzyklus sowie zur Aufzeichnung der Stillstandsenergie nach einer 5-minütigen Wartezeit nach dem Schließen der Fahrkorbtüren. Der Anschluss des Energiemessgerätes erfolgt am Messpunkt für die Antriebsleistung.

Zusatzenergie – Fahren

Dient zur Ermittlung und Aufzeichnung des Energieverbrauches eines Zyklus durch Anschluss des Energiemessgerätes am Messpunkt für die Zusatzleistung.

Zusatzenergie – Bereitschaft und Stillstand

Dient zur Ermittlung und Aufzeichnung der Energie nach Beendigung eines Referenzzyklus sowie zur Aufzeichnung der Stillstandsenergie nach einer 5-minütigen Wartezeit nach dem Schließen der Fahrkorbtüren. Der Anschluss des Energiemessgerätes erfolgt am Messpunkt für die Zusatzleistung.

3.1.3.1.4 Verfahren zur Überprüfung des Energieverbrauchs

Antriebsstrom – Fahren

Dient zur Messung und Aufzeichnung der Betriebsstromversorgung an der unteren Endhaltestelle, zur Ermittlung des Stromprofils an einer Auf- und Abwärtsfahrt oder der Messung des Stroms bei der Hälfte der Auf- und Abwärtsfahrt. Das Strommessgerät wird am Messpunkt für die Antriebsleistung angeschlossen.

Antriebsstrom – Bereitschaft und Stillstand

Dient zur Messung und Aufzeichnung des Stillstandsstromes, des Wertes des Stroms im Bereitschaftsmodus sowie der Spannungen der Betriebsstromversorgung des leeren Fahrkorbes in der unteren Endhaltestelle. Das Strommessgerät wird im Messpunkt für die Betriebsleistung angeschlossen.

Zusatzstrom – Fahren

Dient zur Messung und Aufzeichnung der Betriebsstromversorgung an der unteren Endhaltestelle, zur Ermittlung des Stromprofils an einer Auf- und Abwärtsfahrt oder der Messung des Stroms bei der Hälfte der Auf- und Abwärtsfahrt. Das Strommessgerät wird am Messpunkt für die Zusatzleistung angeschlossen.

Zusatzstrom – Bereitschaft und Stillstand

Dient zur Messung und Aufzeichnung des Stillstandsstromes, des Wertes des Stroms im Bereitschaftsmodus sowie der Spannungen der Betriebsstromversorgung des leeren Fahrkorbes in der unteren Endhaltestelle. Das Strommessgerät wird im Messpunkt für die Zusatzleistung angeschlossen.

3.1.3.2 Messverfahren für Fahrtreppen und Fahrsteige

3.1.3.2.1 Messgeräte

Die Messgeräte müssen die Wirkleistung und mindestens drei Messwerte je Sekunde liefern. Weiters sollen sie einen ausreichenden Messbereich für die unterschiedlichen Betriebszustände aufweisen. Die Möglichkeit der Messung der generatorischen Leistungsabgabe sollte bestehen. Sie sollen eine Messgenauigkeit von $\pm 10\%$ aufweisen.

3.1.3.2.2 Prüfanordnung

Für die Durchführung der Messung ist die Aufzeichnung der Modellnummer des Messgerätes notwendig. Weiters dürfen für die Vergleichbarkeit keine Änderungen an den Parameter der Fahrtreppe durchgeführt werden. Der öffentliche Zugang bzw. die öffentliche Nutzung müssen verhindert werden. Der Antrieb sollte seine gleichbleibende Temperatur aufweisen und keine Last auf der Fahrtreppe beinhalten. Alle Hilfseinrichtungen müssen während des Prüfvorganges ausgeschaltet sein.

3.1.3.2.3 Verfahren zur Leistungsmessung

Betriebsleistung – Fahren

Dient zur Messung und Aufzeichnung der Wirkleistung in Watt. Der Anschluss des Messgerätes erfolgt am Messpunkt für die Betriebsleistung.

Messung der Leistungsaufnahme im Stillstands-Modus

Die Fahrtreppen bzw. Fahrsteige müssen sich im Stillstands-Modus befinden.

Messung der Leistungsaufnahme im Autostart-Modus

Die Fahrtreppen bzw. Fahrsteige müssen sich im Autostart-Modus befinden.

Messung der Leistungsaufnahme im Schleichfahrt-Modus

Die Fahrtreppen bzw. Fahrsteige müssen sich im Schleichfahrt-Modus befinden. Die Durchführung des Verfahrens muss für mindestens einen vollständigen Umlauf des Stufenbandes erfolgen.

Messung der Leistungsaufnahme im Nulllast-Modus

Die Fahrtreppen bzw. Fahrsteige müssen sich im Nulllast-Modus befinden. Die Durchführung des Verfahrens muss für mindestens drei vollständige Umläufe des Stufenbandes erfolgen.

Messung der Leistungsaufnahme von Zusatzverbrauchern

Dient zur Messung und Aufzeichnung der Wirkleistung in Watt. Der Anschluss des Messgerätes erfolgt am Messpunkt für des Zusatzstroms.

Verfahren zur Überprüfung der Leistungsaufnahme

Die Anforderungen von 3.1.3.2.3.5 müssen erfüllt sein.

3.1.3.3 Bericht

Jeder Bericht muss nachfolgende Informationen enthalten:

- Versorgungsspannungen
- Typ, Genauigkeit, Modellnummer, Einstellungen des Messgerätes

- Datum, Uhrzeit und Namen der durchführenden Person, Name des Gebäudes, Ort der Anlage sowie Datum der Installation
- Stillstands-Modus
- Aufzüge: Nennlast, Nenngeschwindigkeit, Förderhöhe, Gegengewicht, Technologie und Zustände aller Komponenten
- Fahrtreppen / Fahrsteige: Stufenbreite, Förderhöhe / Fahrweg, Nenngeschwindigkeit, Neigungswinkel

3.1.4 ÖNORM EN ISO 25745 Teil 2 – Energieberechnung und Klassifizierung von Aufzügen

Diese Norm beinhaltet ein Verfahren zur Schätzung des Energieverbrauches auf Grundlage gemessener, berechneter oder simulierter Werte. Weiters wird ein System zur Klassifizierung von neuen, bestehenden und modernisierten Aufzugsanlagen für Personen- und Lastenaufzügen mit einer Nenngeschwindigkeit über 0,15 m/s während der Betriebsphase beschrieben.

3.1.4.1 Berechnen des Energieverbrauches für das Fahren je Tag

Dieser Wert kann durch eine Zählung oder durch Beobachtung und anschließender Kategorisierung nachfolgender Tabelle erfolgen.

Tabelle 2: Kategorisierte Anzahl der Fahrten je Tag [12]

| Nutzungskategorie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Nutzungsintensität/ Häufigkeit | sehr niedrig | niedrig | mittel | hoch | sehr hoch | äußerst hoch |
| Anzahl der Fahrten je Tag (n_d) (typischer Bereich) | 50 (< 75) | 125 (75 bis < 200) | 300 (200 bis < 500) | 750 (500 bis $< 1\ 000$) | 1 500 (1 000 bis $< 2\ 000$) | 2 500 ($\geq 2\ 000$) |

Die durchschnittliche Fahrstrecke ist von der jeweiligen Nutzungskategorie sowie den angefahrenen Stockwerken abhängig.

Tabelle 3: Prozentualer Anteil der durchschnittlichen Fahrstrecke [12]

| Nutzungskategorie | 1–3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------------|--|------|------|------|
| Anzahl der angefahrenen Stockwerke | Prozentualer Anteil der durchschnittlichen Fahrstrecke | | | |
| 2 | 100 % | | | |
| 3 | 67 % | | | |
| > 3 | 49 % | 44 % | 39 % | 32 % |

Durchschnittlicher Energieverbrauch je Meter Fahrt:

$$E_{rm} = \frac{1}{2} * \left(\frac{E_{rc} - E_{sc}}{s_{rc} - s_{sc}} \right)$$

Dabei ist:

E_{rc} der Energieverbrauch für eine Fahrt im Referenzzyklus nach ISO 25745-1 (Wh)

E_{sc} der Energieverbrauch für eine Fahrt im kurzen Zyklus (Wh)

s_{rc} eine Fahrstrecke im Referenzzyklus nach ISO 25745-1 (m)

s_{sc} eine Fahrstrecke im kurzen Zyklus (m)

Energieverbrauch beim Starten / Anhalten:

Es wird jener Energieverbrauch gemessen, der zum Beschleunigen auf Nenngeschwindigkeit, zum Abbremsen aus der Nenngeschwindigkeit, zum Öffnen sowie Schließen der Türen und der Energie, die im Bereitschaftsmodus benötigt wird. Abgezogen wird die Energie, die bei Nenngeschwindigkeit in der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase zurückgelegten Fahrstrecke verbraucht wird.

$$E_{ssc} = \frac{1}{2} * (E_{rc} - 2 * E_{rm} * s_{rc})$$

Energieverbrauch für Fahrt im durchschnittlichen Zyklus mit leerem Fahrkorb:

$$E_{rav} = 2 * E_{rm} * s_{av} + 2 * E_{ssc}$$

E_{rm} der durchschnittliche Energieverbrauch je Meter Fahrt (Wh/m)

s_{av} die durchschnittliche einfache Fahrstrecke für spezifische Anlage (m)

E_{ssc} der Energieverbrauch beim Starten / Anhalten je Fahrt (Wh)

Täglicher Energieverbrauch für das Fahren:

$$E_{rd} = \frac{k_L * n_d * E_{rav}}{2}$$

E_{rav} der Energieverbrauch für eine Fahrt im durchschnittlichen Zyklus (Wh)

n_d die Anzahl der Fahrten je Tag in Übereinstimmung mit der ausgewählten Nutzungskategorie

k_L Lastfaktor

E_{rd} tägliche Energieverbrauch für das Fahren (Wh)

Für Seilaufzüge mit 50 % Gegengewichtsausgleich gilt:

$$k_L = 1 - (\%Q \cdot 0,0164) \quad (6)$$

Für Seilaufzüge mit 40 % Gegengewichtsausgleich gilt:

$$k_L = 1 - (\%Q \cdot 0,0192) \quad (7)$$

Für Seilaufzüge mit 30 % Gegengewichtsausgleich gilt:

$$k_L = 1 - (\%Q \cdot 0,0197) \quad (8)$$

Für Hydraulikaufzüge ohne Ausgleich gilt:

$$k_L = 1 + (\%Q \cdot 0,0071) \quad (9)$$

Für Hydraulikaufzüge, mit 35 % Ausgleich des Fahrkorbgewichts gilt:

$$k_L = 1 + (\%Q \cdot 0,0100) \quad (10)$$

Für Hydraulikaufzüge, mit 70 % Ausgleich des Fahrkorbgewichts gilt:

$$k_L = 1 + (\%Q \cdot 0,0187) \quad (11)$$

ANMERKUNG 1 Für dazwischenliegende Ausgleichswerte kann k_L durch Interpolation ermittelt werden.

Abbildung 7: Ermittlung des Lastfaktors [12]

Tabelle 4: durchschnittliche prozentuale Beladung im Fahrkorb [12]

| Nutzungskategorie | 1–3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|--|-------|--------|--------|
| Nennlast (kg) | Prozentualer Anteil der Nennlast (Q) | | | |
| ≤ 800 | 7,5 % | 9,0 % | 13,0 % | 19,0 % |
| 801 bis ≤ 1 275 | 4,5 % | 6,0 % | 8,2 % | 13,5 % |
| 1 276 bis ≤ 2 000 | 3,0 % | 3,5 % | 5,0 % | 9,0 % |
| > 2 000 | 2,0 % | 2,2 % | 3,0 % | 6,0 % |

3.1.4.2 Berechnung des täglichen Energieverbrauchs im Stehen (Bereitschaft / Stillstand)

Die gesamte Fahrzeit je Tag, t_{rd} , wird in Stunden wie folgt angegeben:

$$t_{rd} = n_d * \frac{t_{av}}{3600}$$

t_{av} die Zeit für die durchschnittliche Fahrstrecke einschließlich Türöffnungs- und Schließzeiten

Um den täglichen Energieverbrauch im Bereitschafts- und Stillstandsmodus zu berechnen wird die Zeit, in der der Aufzug nicht fährt, ermittelt.

$$t_{nr} = 24 - t_{rd}$$

Der tägliche Energieverbrauch beim Stehen besteht aus drei Phasen. Einerseits der Zeit zwischen dem Anhalten des Aufzuges und dem Beginn des 5-minütigen Stillstandsmodi. Andererseits der Zeit zwischen dem 5-minütigen

Stillstandsmodi und dem 30-minütigen Stillstandsmodus. Die dritte Phase ist die Zeit nach Ablauf der 30 Minuten.

Die Zeitanteile in der der Aufzug nicht fährt, werden nachfolgender Abbildung entnommen.

Tabelle 5: Zeitanteile im Bereitschafts- und Stillstandsmodus [12]

| Nutzungskategorie | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5-6 |
|-------------------|------------|----|----|----|----|-----|
| Zeitanteil (%) | R_{id} | 13 | 23 | 36 | 45 | 42 |
| | R_{st5} | 55 | 45 | 31 | 19 | 17 |
| | R_{st30} | 32 | 32 | 33 | 36 | 41 |

Der tägliche Energieverbrauch bei Bereitschaft / Stillstand wird wie folgt berechnet:

$$E_{nr} = \frac{t_{nr}}{100} * (P_{id} * R_{id} + P_{st5} * R_{st5} + P_{st30} * R_{st30})$$

P_{id} die Leistungsaufnahme im Bereitschafts-Modus (W);

P_{st5} die Leistungsaufnahme im Stillstand nach 5 min (W);

P_{st30} die Leistungsaufnahme im Stillstand nach 30 min (W);

R_{id} der Zeitanteil der im Bereitschafts-Modus aufgenommenen Leistung P_{id} (%);

R_{st5} Zeitanteil der im Stillstand nach 5 Minuten aufgenommenen Leistung P_{st5} (%);

R_{st30} Zeitanteil der im Stillstand nach 30 Minuten aufgenommenen Leistung P_{st30} (%);

E_{nr} der tägliche Energieverbrauch beim Stehen (Bereitschaft/Stillstand) (Wh).

3.1.4.3 Gesamter täglicher Energieverbrauch

$$E_d = E_{rd} + E_{nr}$$

3.1.4.4 Gesamter jährlicher Energieverbrauch

$$E_y = E_d * d_{op}$$

d_{op} die Anzahl der Betriebstage je Jahr

3.1.4.5 Klassifizierung der Energieeffizienz von Aufzügen

Die Klassifizierung erfolgt bei neuen, bestehenden, aber auch modernisierten Anlagen lt. nachfolgenden Schritten. Die Werte können aus Messungen, durch Simulationen oder durch Berechnungen des Herstellers entnommen werden. Um

unterschiedliche Aufzugsanlagen miteinander vergleichen zu können, werden die Energieverbräuche normalisiert.

Ermittlung der Leistungsstufe für das Fahren:

$$E_{spc} = \frac{1000 * k_L * E_{rav}}{2 * Q * s_{av}}$$

Q Nennlast (kg)

| Der spezifische Energieverbrauch des durchschnittlichen Fahrzyklus (mWh/kgm) | ≤0,72 | ≤1,08 | ≤1,62 | ≤2,43 | ≤3,65 | ≤5,47 | >5,47 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Leistungsstufe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Abbildung 8: Energieverbrauch Fahrzyklus Aufzug

Ermittlung der Leistungsstufe bei Bereitschaft / Stillstand:

| Leistung bei Bereitschaft / Stillstand (W) | ≤50 | ≤100 | ≤200 | ≤400 | ≤800 | ≤1600 | >1600 |
|--|-----|------|------|------|------|-------|-------|
| Leistungsstufe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Abbildung 9: Leistungsstufe Bereitschaft / Stillstand Aufzug [12]

Klassifizierung der Energieeffizienz:

| Energieeffizienzklasse | Täglicher Energieverbrauch (Wh) |
|------------------------|---|
| A | $E_d \leq 0,72 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 50 * t_{st}$ |
| B | $E_d \leq 1,08 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 100 * t_{st}$ |
| C | $E_d \leq 1,62 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 200 * t_{st}$ |
| D | $E_d \leq 2,43 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 400 * t_{st}$ |
| E | $E_d \leq 3,65 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 800 * t_{st}$ |
| F | $E_d \leq 5,47 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 1600 * t_{st}$ |
| G | $E_d > 5,47 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 1600 * t_{st}$ |

Abbildung 10: täglicher Energieverbrauch Aufzug [12]

Spezifischer Energieverbrauch für eine Fahrt im Referenzzyklus:

$$E_{spr} = \frac{1000 * E_{rc}}{2 * Q * s_{rc}}$$

3.1.5 ÖNORM EN ISO 25745 Teil 3 – Energieberechnung und Klassifizierung von Fahrtreppen und Fahrsteigen

Diese Norm beinhaltet ein Verfahren zur Schätzung des Energieverbrauches auf Grundlage gemessener, berechneter oder simulierter Werte. Weiters wird ein System zur Klassifizierung von neuen, bestehenden und modernisierten

Fahrtreppen und Fahrsteigen und ein Leitfaden zur Reduzierung des Energieverbrauches vorgestellt.

3.1.5.1 Abschätzung des Energieverbrauches

Die gemessene oder berechnete Leistungsaufnahme wird zur Ermittlung des Energieverbrauches herangezogen.

Typische Werte können den nachfolgenden Abbildungen entnommen werden.

Tabelle 6: Typische Nutzung und Einbauorte sowie der Energieverbrauch von Anlagen [12]

| Nutzer/Tag (<i>N</i>) | Typische Einbauorte |
|-------------------------|--|
| < 3 000 | Geschäfte, Museen, Bibliotheken, Freizeiteinrichtungen, Stadion |
| bis 10 000 | Kaufhäuser, Einkaufszentren, regionale Flughäfen, regionale Bahnhöfe |
| bis 20 000 | Große Flughäfen, große Bahnhöfe, große U-Bahnstationen |
| > 20 000 | Großflughäfen, Großbahnhöfe, U-Bahnstationen in Großstädten |
| Energieverbrauch (kW) | Typische Standardwerte (wie in Tabelle A.3 verwendet) |
| P_{still} | 0,2 kW |
| P_{auto} | 0,3 kW |
| P_{leer} | nach Tabelle A.2. |
| P_{bereit} | $P_{\text{leer}} \times 0,5$ |

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{Antrieb}} + E_{\text{Zus}}$$

$$E_{\text{Antrieb}} = E_{\text{still}} + E_{\text{auto}} + E_{\text{bereit}} + E_{\text{leer}} + E_{\text{Last}}$$

E_{still} der Energieverbrauch der Fahrtreppe im Stillstand = 0,2 kW × Stillstandsdauer im Beobachtungszeitraum;

ANMERKUNG 1 0,2 kW ist ein Standardwert für die Leistung im Stillstand. Sie beträgt 50 % von $E_{\text{leer control}}$, da Bremsen, Schütze und andere Verbraucher nicht eingeschaltet sind.

E_{auto} der Energieverbrauch der Fahrtreppe im Autostart-Modus) = 0,3 kW × Dauer des Autostart-Modus im Beobachtungszeitraum;

ANMERKUNG 2 0,3 kW ist ein Standardwert für die Leistung im Autostart-Modus. Sie beträgt 75 % von $E_{\text{leer Control}}$, da Bremsen, Schütze und andere Verbraucher nicht eingeschaltet, jedoch die Fahrtrichtungsanzeige;

$E_{\text{leer Control}}$ der Energieverbrauch der Steuerung der Fahrtreppe im Nulllast-Modus) = $P_{\text{leer Control}}$ (siehe Tabelle 2) × zugehörige Zeitspanne;

E_{bereit} der Energieverbrauch der Fahrtreppe im Betriebsbereitschafts-Modus) = $P_{\text{leer}}/2$ (Tabelle A.2) × Dauer des Betriebsbereitschafts-Modus im Beobachtungszeitraum;

E_{leer} der Energieverbrauch der Fahrtreppe im Nulllast-Modus) = P_{leer} (Tabelle A.2) × Dauer des Nulllast-Modus im Beobachtungszeitraum;

E_{Last} der Energieverbrauch der Fahrtreppe beim Personentransport entspricht Tabelle A.1 und Tabelle A.3.

3.1.5.2 Klassifizierung Energieeffizienz

3.1.5.2.1 Normalisierung der berechneten oder gemessenen Leistungsaufnahme:

Berechnung der Referenz-Leistungsaufnahme:

$$P_{Leer,ref} = P_{Leer,Handlauf} + P_{Leer,Stufe/Palette} + P_{Leer,Control}$$

$$P_{Leer,Handlauf} = \frac{2 * \cos\alpha * \left(A * \frac{H}{\tan\alpha} + B \right) * v}{1000 * \eta_{leer}}$$

$$P_{Leer,Stufe/Palette} = \frac{\left(2 * \left(\frac{m_{SB}}{D} + 2 * m_{Kette} \right) * \frac{9,81}{1000} * \mu_{SB/PB} * \frac{H}{\tan\alpha} + C \right)}{\eta_{leer}} * v$$

Tabelle 7: Referenzwerte [13]

| | Fahrtreppe $v < 0,65$ m/s alle Neigungen | Fahrtreppe $v \geq 0,65$ m/s ^a alle Neigungen | Geneigter Fahrsteig $\alpha > 3^\circ$ bis 12° | Horizontaler Fahrsteig $\alpha = 0^\circ$ bis 3° | Einheit |
|---------------------|--|--|---|---|---------|
| <i>A</i> | 9 | 5 | 4 | 5 | N/m |
| <i>B</i> | 400 | 400 | 400 | 300 | N |
| <i>C</i> | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | kN |
| <i>D</i> | 0,405 | 0,405 | 0,405 | 0,405 | m |
| η_{leer} | 0,3 | 0,25 | 0,34 | 0,4 | — |
| $\mu_{SB/PB}$ | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | — |
| $m_{SB/PB}$ | 14 | 14 | 14 | 14 | kg |
| m_{Kette} | 5,5 | 7 | 5,5 | 5,5 | kg/m |
| $P_{leer\ Control}$ | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | kW |

^a Fahrtreppen mit einer Geschwindigkeit $\geq 0,65$ m/s und $0,75$ m/s, wie sie üblicherweise im öffentlichen Transportwesen eingesetzt werden

3.1.5.2.2 Berechnung oder Messung der Leistungsaufnahme der spezifischen Anlage

Die Messung sollte nach dem Ende der Einlaufzeit von 1.000 Stunden, einer mindestens 30-minütigen ununterbrochenen Fahrt sowie bei einer Umgebungstemperatur zwischen 10 und 30° erfolgen. Das Ergebnis wird als $P_{Leer,spez}$ bezeichnet.

3.1.5.2.3 Berechnung des Energieeffizienzverhältnisses

Dieses ergibt sich aus $\frac{P_{Leer,spez}}{P_{Leer,net}}$.

3.1.5.2.4 Berechnung des Verhältnisses zur Referenz-Betriebsart

Für die Berechnung wird ein Referenz-Nutzungsprofil nach Abbildung 9 verwendet.

Tabelle 8: Referenz-Nutzungsprofile [13]

| Betriebsart | Abschaltung | Betriebsbereitschaft | Autostart | Dauerbetrieb |
|---|----------------------------|----------------------|------------|--------------|
| Spezifikation der Anlage | Nach Anhang A, Tabelle A.3 | | | |
| | Referenz-Nutzungsprofil | | | |
| t_{ges} | 24 h | 24 h | 24 h | 24 h |
| t_{nenn} | 12 h | 10 h | 10 h | 12 h |
| t_{still} | 0 h | 12 h | 12 h | 12 h |
| t_{stromlos} | 12 h | — | — | — |
| t_{bereit} | — | 2 h | — | — |
| t_{auto} | — | — | 2 h | — |
| Energieverbrauch ^a | 30,1 kWh/d | 30,0 kWh/d | 28,1 kWh/d | 32,5 kWh/d |
| Energieeffizienzverhältnis | 93 % | 92 % | 86 % | 100 % |
| ANMERKUNG Die Kombination von Betriebsbereitschafts- und Autostart-Modus führt zu einem anderen Nutzungsprofil und wird nicht berücksichtigt. | | | | |
| ^a Ohne Energieverbrauch beim Personentransport (E_{Last}) | | | | |

3.1.5.3 Klassifizierung der Energieeffizienz

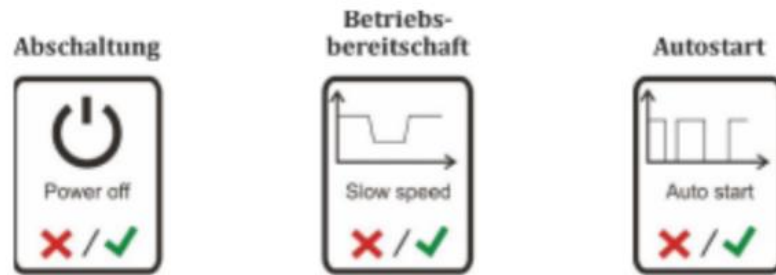
Angabe der Energieeffizienzklasse:

Tabelle 9: Energieeffizienzklassen [13]

| Energieeffizienzverhältnis | ≤55% | ≤60% | ≤65% | ≤70% | ≤80% | ≤90% | ≤100% | >100% |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Energieeffizienzklasse | A+++ | A++ | A+ | A | B | C | D | E |

Angabe über die Betriebsart:

Diese Angabe beschreibt die Möglichkeit die Anlage, in einer oder mehreren Modi betreiben zu können.



Ist eine bestimmte Möglichkeit vorhanden, wird das Logo abgehakt ✓ oder ✗ durchgestrichen.

Abbildung 11: Angaben zur Betriebsart [13]

3.2 Reduktion des Energieverbrauches von Fahrtreppen

Auf den nachfolgenden Seiten wird versucht einen Einblick in die Verbrauchsdaten von Fahrtreppen zu geben und anschließend Lösungsmöglichkeiten zur Minimierung der Betriebskosten zu erläutern. Am Ende dieses Kapitels wird ein Vergleich der vier größten Hersteller von Fahrtreppen zu dem Thema energieeffiziente Fahrtreppen dargestellt.

Der überwiegende Teil des Energieaufwandes entfällt auf die Betriebsphase. Hier spielen effiziente Antriebssysteme, Komponenten mit niedrigem Energieverbrauch sowie intelligente Steuerungssysteme eine große Rolle zur Einsparung. [14]

Fahrtreppen werden von Elektromotoren in Kombination mit einem Schneckengetriebe angetrieben. Entscheidend für die Effizienz eines Antriebes ist sein Wirkungsgrad. Dieser lässt sich in dreiverschiedene Wirkungsgradklassen einteilen. Nach der IEC Norm 60034 wird in standard, hoher und premium Wirkungsgrad unterschieden. Diese befinden sich in einem Wirkungsgrad zwischen 68 und 91%. Durch den Austausch des Antriebes lassen sich auch ältere Anlagen deutlich verbessern. [14]

Ein Großteil der Fahrtreppen ist dauerhaft im Betrieb, wird jedoch nie komplett ausgelastet. Gerade in Bahnhöfen und U-Bahn-Stationen kommt es zu stoßweisen hohen Auslastungen mit dazwischenliegenden Pausen. Diese unterschiedlichen Auslastungsspitzen lassen sich durch Powermanagement-Systeme effizient betreiben. Diesbezüglich haben die Hersteller Lösungen von der Reduzierung der Geschwindigkeit bis zum vollkommenen Aussetzen der Treppenanlage entwickelt. [14]









3.2.1 Firma Schindler Fahrtreppeneffizienz

Die Firma Schindler versucht seine Fahrtreppen so energieeffizient wie möglich zu gestalten. Dies betrifft die Verwendung keiner schädlichen Substanzen und einen niedrigen Energieverbrauch. Dadurch werden die Umweltauswirkungen und damit verbundenen Treibhausgasemissionen minimiert. Der Einsatz von effizienten Antriebssystemen emittiert etwa 85% der Treibhausgase. Besonderes Augenmerk wird auf die Verwendung umweltfreundlicher Materialien ohne gefährliche Stoffe, hauptsächlich aus Nichteisenmetallen, wie Aluminium und Kupfer sowie aus Eisenmetallen, wie Stahl und Gusseisen gelegt. Die Wiederverwendbarkeit der verbrauchten Materialien liegt bei etwa 90%. [15]

Die Firma Schindler setzt auf 3-Wege zur Energieminimierung, den sogenannten E³-Ansatz. Die Verwendung leistungsfähigerer Antriebssysteme, die Verwendung von Komponenten, die weniger Energie benötigen und die Anwendung intelligenter Powermanagement-Systeme. [15]

Der Fokus liegt bei der Maximierung des Wirkungsgrades nicht nur auf dem Getriebe, sondern auf dem Zusammenspiel von Getriebe und Motor. Dieser Hersteller bietet ein Premium Power Package für optimierte Umwelteigenschaften an. Fahrtreppen auf dem Markt, ohne einem optimierten Antrieb haben einen Wirkungsgrad von etwa 68%. Die Schindler Standard Fahrtreppe mit einem optimierten Standardmotor und Schneckengetriebe inklusive Cavex Technologie besitzt einen Wirkungsgrad von 79%. Das Premium Power Package mit einem 91% Wirkungsgrad wurde nach neuestem Stand der Technik konstruiert und mit einem hocheffizienten Getriebe sowie einem IE3-Motor ausgestattet. [15]

Zur Anpassung an das tatsächliche Passagieraufkommen beschäftigt sich Schindler seit mehr als 20 Jahren mit mikroprozessorgesteuerten Powermanagementsystemen, länger als jeder andere Mitbewerber. Die MICONIC F 5 Steuerung ist die Standardausführung und befindet sich bereits in der fünften Generation. Die Weiterentwicklung forderte eine Optimierung, ohne den Passagierfluss negativ zu beeinflussen. Dadurch lässt sich der Energieverbrauch um bis zu 36% gegenüber einem kontinuierlichen Betrieb reduzieren. [15]

| ECOLINE Power Management Packages* | | | | |
|------------------------------------|---|---|---|--|
| ECOLINE | ECO | ECO Plus | ECO Premium | ECO Premium Plus |
| |  |  |  |  |
| Energieverbrauch* | -3001 kWh -25% | -4273 kWh -36% | -3888 kWh -32% | -4196 kWh -35% |
| |  |  |  |  |
| Betriebsart | Dauerbetrieb mit dem ECO-Power-Feature: Die Motorleistung richtet sich an der Passagierlast aus. | «Stop-and-go»-Betrieb mit dem ECO-Power-Feature: Die Fahrtrepp e stoppt, wenn sich keine Personen darauf befinden. | «Slow-speed»-Betrieb mit dem ECO-Power-Feature: Die Fahrtrepp e läuft langsamer, wenn sich keine Personen darauf befinden. | «Stop-and-go»-Betrieb und Fahrt mit kleiner Geschwindigkeit mit ECO-Power-Feature: Die Fahrtrepp e stoppt nach einer einstellbaren Fahrzeit mit kleiner Geschwindigkeit. |
| Anwendung | Für kontinuierliches mittleres bis hohes Passagieraufkommen | Intermittierender Fluss einschließlich der Perioden ohne Passagierfluss | Intermittierender Fluss einschließlich der Perioden ohne Passagierfluss | Intermittierender Fluss einschließlich der Perioden ohne Passagierfluss |
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • Erhält den Passagierfluss aufrecht • Energieverbrauch um bis zu 25% verringert • Verringerte CO₂-Emissionen bei den Kraftwerken • Kurze Amortisationszeit | <ul style="list-style-type: none"> • Energieverbrauch um bis zu 36% verringert • Verringerte CO₂-Emissionen bei den Kraftwerken • Erhöhte Lebensdauer der Fahrtrepp e | <ul style="list-style-type: none"> • Passagierfluss bleibt erhalten, da die Fahrtrepp e in Bewegung ist, wenn sich Passagiere nähern • Energieverbrauch um bis zu 32% verringert • Verringerte CO₂-Emissionen bei den Kraftwerken • Verringerter Verschleiß an den Komponenten | <ul style="list-style-type: none"> • Passagierfluss bleibt erhalten, da die Fahrtrepp e in Bewegung ist, wenn sich Passagiere nähern • Energieverbrauch um bis zu 35% verringert • Verringerte CO₂-Emissionen bei den Kraftwerken • Verringerter Verschleiß an den Komponenten • Erhöhte Lebensdauer der Fahrtrepp e |
| CO₂-Fußabdruck | Minus 4500 kg pro Jahr | Minus 6410 kg pro Jahr | Minus 5830 kg pro Jahr | Minus 6290 kg pro Jahr |
| Amortisierung* | Weniger als ein 1/2 Jahr | Weniger als 1 1/2 Jahre | Weniger als 2 Jahre | Weniger als 2 Jahre |

*) Die Werte basieren auf theoretischen Berechnungen für eine Schindler Fahrtrepp e 9300AE-10. Durchschnittswert für ein aufwärts und abwärts laufendes Fahrtrepp enpaar: 4,5 m. Stufenbreite: 1000 mm. Geschw.: 0,5 m/s. Lastprofil: 11 Std. pro Tag, 365 Tage pro Jahr, 2,5 Std. – 0%. 7 Std. – 25%. 1 Std. – 50%. 0,5 Std. – 75%. 0 Std. – 100%.

*) Standard- Betriebsart: 11967 kWh, 100% Dauerbetrieb

*) Amortisation abhängig von den nationalen Energiekosten.

Abbildung 12: ECOLINE Powermanagementsystem Firma Schindler

Als dritten wesentlichen Punkt für die Energiereduktion kommt der Einsatz von Niedrigenergiekomponenten zum Einsatz. Durch die Anwendung der leichtesten Aluminiumstufen in der Branche kann das Gesamtgewicht um etwa 40% im Verhältnis zu Stahlstufen minimiert werden und es erfolgt eine Verbesserung der Fahrtreppenleistung von ca. 5%. Weiters haben Aluminiumstufen eine längere Lebenszeit und einen flacheren CO₂-Fußabdruck. Die Verwendung von LED-Leuchten verringert den Energieverbrauch um bis zu 80% zu herkömmlichen

Lichtquellen. Auch hier ist die längere Lebenszeit ein weiteres positives Kriterium. [15]

3.2.2 Firma Otis Fahrtreppeneffizienz

Die Firma Otis verspricht Effizienz, Verlässlichkeit und größtmögliche Nachhaltigkeit. Die Verwendung des selbstentwickelnden Schmiermittelsystems verbraucht bis zu 98% weniger Öl als herkömmliche Systeme. Die Anwendung der Energiesparschaltung ETA+ und einer LED-Beleuchtung reduzieren den Energieverbrauch zusätzlich. Der ReGen-Antrieb speist die Bremsenergie beim Abwärtsfahren in das Stromnetz zurück. Die Wiederverwertbarkeit der eingesetzten Werkstoffe spielt auch bei der Firma Otis eine wichtige Rolle und kann zu 90% recycelt werden.[16]

3.2.3 Firma Kone Fahrtreppeneffizienz

Die Firma Kone entwickelt seit Jahrzehnten Transportlösungen zur Senkung des Energieverbrauchs von Gebäuden. Die Ökobilanz zeigt, dass der Betrieb die größten Einsparungspotenziale beinhaltet. Deshalb liegt auch in dieser Phase das Hauptaugenmerk in der Weiterentwicklung. Über 86% aller CO₂-Emissionen von Rolltreppen werden im Betrieb erzeugt, ca. 11% bei der Rohstoffproduktion und nur 3% bei der Herstellung der Komponenten, dem Transport, der Montage, der Wartung sowie der Entsorgung. [17]

Kone setzt auf vier Wege zu einer umwelteffizienteren Rolltreppe. Der Einsatz von schmiermittelfreien Stufenketten führt zu einer geringeren Abnutzung der Kettenglieder und Buchsen sowie zu keinem Ölverbrauch, was zu einer Einsparung von 1-5 Liter Öl je Monat je nach Auslastung führt. Durch den Einsatz eines Umrichters kann beim Abwärtsfahren durch den wärmeerzeugenden Bremswiderstand zur Energierückgewinnung genutzt werden. Die verwendete Technologie wird für stark frequentierte Fahrtreppen eingesetzt und kann in den Hauptverkehrszeiten bis zu 7.100 kWh/Jahr einsparen. Im Betrieb kommen weitere 4 Betriebsarten zum Einsatz. Der Stop-and-Go-Betrieb kommt bei geringem Verkehr und langen verkehrsfreien Intervallen zum Einsatz. Hier sind Einsparpotenziale je nach Passagieraufkommen von bis zu 50% möglich. Bei mittlerem Verkehrsaufkommen bzw. bei häufigen Spitzen- und verkehrssarmen Zeiten kommt die Stand-by-Geschwindigkeit mit Frequenzumrichter zum Einsatz.

Durch die Reduzierung der Geschwindigkeit bei keinem Passagieraufkommen kann eine Einsparung von bis zu 40% erreicht werden. Eine weitere Möglichkeit ist die standardmäßige Energiesparfunktion durch Umschalten des Motors von dem Dreieck- auf den Sternbetrieb bei geringer Auslastung. Bei dieser Entwicklung können bis zu 25% an Energiekosten eingespart werden. Der Einsatz einer automatischen wechselnden Fahrtrichtung kann zwar nur bei sehr geringem Verkehrsaufkommen angewandt werden, erspart jedoch den Bau einer zweiten Rolltreppe. Auch Kone setzt auf den Einsatz von LED-Leuchten, welchen die Betriebskosten um 80% minimieren und eine Lebensdauer von bis zu 50.000 Stunden. [17]

3.2.4 Firma ThyssenKrupp Fahrtreppeneffizienz

In Sachen Energieeffizienz lässt auch die Firma ThyssenKrupp nichts anbrennen. Mit dem Slogan „Sparen Sie nicht am System. Lassen Sie das System sparen.“ Ist so gut wie alles bereits gesagt. Die integrierten Energiesparfunktionen sowie die Zuverlässigkeit sind entscheidende Wirtschaftsfaktoren. ThyssenKrupp hat ebenfalls vier verschiedene Energiesparfunktionen im Angebot. Das „Star drive“ Paket ist ein Zweistufensystem mit gleichbleibender Geschwindigkeit, welches bei Anlauf und Leerlauf in die ökonomische Sternschaltung schaltet und so etwa 30 Prozent an Energie einspart. Das „Stop-and-Go“-Paket stoppt die Fahrtreppe bei Nichtbelastung und nimmt bei Betreten den Betrieb wieder auf. Bei längeren Stillstandszeiten wird zusätzlich zur Stromersparnis, das Material geschont. Das „Two-speed“-Paket arbeitet mit zwei festen Parametern. Der Bereitschaftsfahrt bei Nichtbelastung und Nenngeschwindigkeit bei Vollbelastung. Der polumschaltbare Motor schafft eine Einsparung von bis zu 50%. Zuletzt gibt es noch das „Variable speed“-Paket, bei welchem der Frequenzumwandler bei Belastung sanft von Bereitschaftsfahrt auf Nenngeschwindigkeit beschleunigt. Bei diesem Paket ist eine bis zu 60 prozentige Einsparung des Stromverbrauches möglich. [18]

3.2.5 Überblick Energieeffizienzmöglichkeiten Fahrtreppe

Die Tabelle 10 zeigt einen Überblick der Energiesparmöglichkeiten der vier größten Firmen am Markt für Fahrtreppen. Eine fehlende Markierung in der

Tabelle bedeutet nicht, dass das Unternehmen diese Möglichkeit nicht in Verwendung hat, sondern nur nicht explizit damit wirbt.

Laut eigener Recherchen versuchen alle Hersteller die Energiekosten so weit wie möglich zu reduzieren und die Vorgangsweise ist im Großen und Ganzen ident.

Tabelle 10: Übersicht Energieeffizienz Fahrtrepe

| | Schindler | Otis | Kone | ThyssenKrupp |
|--|------------------|-------------|-------------|---------------------|
| LED-Beleuchtung | x | x | x | |
| leistungsfähiger Antrieb | x | | | |
| Gewichtsreduktion | x | | | |
| Energiesparfunktionen | x | | x | x |
| Schmiermittelfreie Stufenketten | | x | x | |
| Energierückgewinnung beim Bremsen | | x | x | |
| Ökobilanz | | x | x | |

3.3 Reduktion des Energieverbrauches von Aufzügen

Die durchschnittliche Lebensdauer eines Aufzugs bei sachgemäßem Gebrauch und richtiger Wartung liegt bei 20 bis 30 Jahren. Aufgrund dieser langen Lebensdauer ist die Forderung nach Nachhaltigkeit in den letzten Jahren stetig gewachsen. Bis zu zehn Prozent der Gebäudeenergie entfallen auf den Aufzugsantrieb, wobei mit modernen Energieeffizienzmaßnahmen eine Halbierung möglich ist. Auf den nachfolgenden Seiten wird ein Einblick über die Möglichkeiten der Verminderung der Energiekosten anhand der vier großen Hersteller von Aufzügen gegeben. Abschließend wird eine Übersichtstabelle der Lösungsvorschläge verfasst. Anhand mehrerer Studien konnte gezeigt werden, dass der Stand-by-Verbrauch einen sehr hohen Anteil, zwischen 25 und 80 % des Gesamtverbrauches ausmacht. Bemerkenswert ist, dass moderne Hydraulikaufzüge dank Gegengewicht bzw. Energiespeicher ebenso effizient wie Seilaufzüge sein können. Heutzutage kommen Hydraulikaufzüge jedoch nur mehr selten, z.B. bei Lastenaufzügen, vor. Der Stand-by-Verbrauch setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Der größte Anteil bezieht sich auf die Steuerung, gefolgt vom Frequenzumrichter sowie Anzeige und Druckknopf auf den Etagen, Kabinentableau und Lichtvorhang an der Kabinentüre. Verminderungen des Stand-by-Verbrauchs wären durch effizientere Netzteile, ausschalten der Frequenzumrichtersteuerung und anderer Steuerungsfunktionen bei Stillstand sowie durch den Einsatz von LED-Leuchten möglich. Ein idealer

Aufzugsantrieb würde bei der Aufwärtsfahrt gleich viel Energie in das Netz einspeisen, wie er zuvor bei der Abwärtsfahrt benötigt hat. Ein realer Aufzug benötigt jedoch zum Beschleunigen, Bremsen, für Motorverluste und zur Überwindung der Reibung ebenfalls Energie, welche sich nicht rekuperieren lässt. Bei großen Aufzügen mit einer sehr hohen Anzahl von Fahrten ist ein rückspeisefähiger Umrichter energetisch und wirtschaftlich sinnvoll. Aufzüge werden im Durchschnitt nur zu ca. 20% ausgelastet. Die Gegengewichte sind hingegen für ca. 50% Auslastung ausgelegt. Eine Optimierung würde zur Verbesserung der Balance sowie zu Einsparungen der Energie führen. Bereits in der Planung sollte der Bedarf der Transportkapazität genauestens eruiert werden. Mit einer optimalen Planung lässt sich die eine oder andere Aufzugsanlage einsparen oder zumindest kleiner dimensionieren. Durch den Einsatz von reibungsarmen Führungselementen sowie Motoren mit kleineren Verlusten lassen sich weitere Kosten im Betrieb einsparen. [19]

3.3.1 Firma Schindler Aufzugseffizienz

Mit einem geringen Energieverbrauch werden natürliche Ressourcen gespart und die Gesamtkosten des Gebäudes gesenkt. Schindler hat bei der Konzipierung seiner Aufzüge versucht alle Komponenten, vom Antrieb über die Steuerung bis hin zu den Türen und Kabinen, optimal aufeinander abgestimmt. Durch die Vernetzung mehrerer Aufzugsanlagen kann die Effizienz des Transportes gesteigert werden. Ein hocheffizienter Permanent-Magnet-Antrieb ohne Getriebe sorgt für eine direkte Kraftübertragung ohne Kraftverlust und Vibrationen. Da er ohne Stromspitze anläuft besitzt er einen sehr geringen Stromverbrauch. Diese Antriebstechnologie lässt bis zu 30% der Energiekosten gegenüber einem herkömmlichen Antrieb einsparen. Die Mikroprozessor-Steuerung schaltet sowohl die Kabinenbeleuchtung wie auch die Belüftung bei Nichtbenützung in den Stand-by-Modus, was bis zu 40% Einsparung bringt. Der Einsatz von Zielrufsteuerung können eine bessere Abwicklung des Verkehrsaufkommens sowie eine Energieeinsparung hervorrufen. Hier zu erwähnen ist das Transit Management System für ein intelligentes, sicheres und personalisiertes Transit-Erlebnis namens PORT Technologie. Um den Nutzern ein überragendes Nutzererlebnis, einen besseren Komfort und eine größere Effizienz zu bieten wurde dieses System stetig weiterentwickelt. Ein hoch

fortschrittlicher Algorithmus, welcher das Verkehrsmuster bewertet und systematisch optimal und effizient abwickelt, wurde in der Zielrufsteuerung verarbeitet. Durch den Einsatz wird die Verkehrsleistung gesteigert, die Fahrtenanzahl der Aufzüge und die Fahrtendauer minimiert. Trotz gleichbleibendem Servicelevels kann durch eine Vielzahl von Optimierungsmaßnahmen Energie eingespart werden. Weiters bringt der Einsatz von LED-Leuchtmittel eine Verlängerung der Lebensdauer sowie eine Reduzierung der Energiekosten mit sich. [20]

3.3.2 Firma Otis Aufzugseffizienz

Die Firma Otis hat Ihr Gen2-System entwickelt, um die Energieeffizienz zu maximieren und den Nachhaltigkeitsaspekt zu steigern. Durch den Einsatz von LED-Leuchten kann der Energieverbrauch im Gegensatz zu herkömmlichen Leuchtstofflampen deutlich minimiert werden und die Lebensdauer verzehnfacht werden. Die Entwicklung des Schlafmodi schaltet die Leuchten und den Lüfter bei Nichtbenützung ab und starten nahtlos mit dem Betätigen der Ruftaste. Der ReGen-Antrieb, welcher sauberen Strom für andere Gebäudesysteme herstellt, spart bis zu 40% an Energie und arbeitet um bis zu 75% effizienter. Die PU-Gurte und die Gen2-Maschine benötigen keine zusätzliche Schmierung wodurch die schmierungsbedingte Lagerung, Reinigung und Entsorgung von Sondermüll entfällt. Der Einsatz von Niederspannung bei der Steuerung ist eine Standardfunktion, schützt die Servicetechniker bei der Wartung und reduziert den Standby-Verbrauch um bis zu 50%. [21]

3.3.3 Firma Kone Aufzugseffizienz

Die Firma Kone setzt neue Maßstäbe im Bereich ökoeffiziente Aufzugstechnologien und konnte seit 2008 die Energieeffizienz seiner Aufzüge mit der MonoSpace-Technologie um bis zu 70% steigern. Deren Unternehmensziel ist Ihren Carbon Footprint jährlich um 3% zu reduzieren, dies geschieht durch nachfolgende vier Erfolgsfaktoren. Der hocheffiziente Antrieb namens EcoDisk verbessert die Energieeffizienz und die CO₂ Bilanz der Gebäude. Ebenfalls setzt Kone auf die sparsame LED-Technik und zusätzlich auf dimmbares Kabinenlicht, welches nach dem Verlassen der Kabine gedimmt wird. Die Thematik Standby-Betrieb wird ständig weiterentwickelt und schaltet

Stromverbraucher bei Nichtgebrauch ab. Optional können regenerative Systeme zur Erzeugung von elektrischer Energie eingebaut werden. [22]

3.3.4 Firma ThyssenKrupp Aufzugseffizienz

Der maschinenlose Aufzug „synergy“ der Firma ThyssenKrupp Elevator setzt Maßstäbe in der Umweltverträglichkeit sowie in der Planung. Bei Einstufung nach Richtlinie VDI 4707 konnte die Energieeffizienzklasse „A“ erreicht werden. Nicht nur bei der Neuherstellung, sondern auch bei Bestandsanlagen werden tolle Ergebnisse erzielt. Durch entsprechende Modernisierungsmaßnahmen der Steuerung und des Antriebs können Energieeinsparungseffekte erzielt werden. Ziel ist es, durch energieeffiziente Gestaltung der Aufzüge einen nachhaltigen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten. ThyssenKrupp beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Thematik Nachhaltigkeit im Bereich der Produkte sowie der Fertigung. Es konnte bereits ein neues Nachhaltigkeitsprogramm namens „sustainable efficiency“ auf den Markt gebracht werden. Das Ziel ist die Abbildung des Zyklus der gesamten Produktpalette von der Materialwahl über die Fertigung, den Betrieb, den Service bis hin zum Recycling. Es sollen Energie- und CO₂-Einsparungen anhand von emissionsarmen Fertigungsmethoden, der Qualifikation der Mitarbeiter, dem sozialen Engagement des Unternehmens sowie der nachhaltigen Dokumentation erreicht werden. Die Aufzugsanlagen der „synergy“-Serie verfügen über einen getriebelosen Antrieb, welcher eine konstante Leistung, eine hohe Effizienz, einen geringeren Energieverbrauch aufweist und keine zusätzlichen Schmierstoffe benötigt. Durch die leistungsfähigen Türen lassen sich die Öffnungs- und Schließgeschwindigkeiten der Türen an das Fahrgastaufkommen im Gebäude anpassen und sich so eine Effizienzsteigerung erzielen. Die Entwicklung der CMC4+ 20/50 Steuerung passt sich ebenfalls an das Fahrgastaufkommen an und vermindert den Energiebedarf entscheidend. [23]

3.3.5 Überblick der Energieeffizienzlösungen Aufzug

Die Tabelle 11 zeigt einen Überblick der Energiesparmöglichkeiten der vier größten Firmen am Markt für Aufzüge. Eine fehlende Markierung in der Tabelle bedeutet nicht, dass das Unternehmen diese Möglichkeit nicht in Verwendung hat, sondern nur nicht explizit damit wirbt.

Laut eigener Recherchen versuchen alle Hersteller die Energiekosten so weit wie möglich zu reduzieren und die Vorgangsweise ist im Großen und Ganzen ident.

Tabelle 11: Übersicht Energieeffizienz Aufzug

| | Schindler | Otis | Kone | ThyssenKrupp |
|--|------------------|-------------|-------------|---------------------|
| LED-Beleuchtung | x | x | x | |
| leistungsfähigere Komponenten | x | | | x |
| Zielrufsteuerung | x | | | x |
| Energiesparfunktionen | x | x | x | x |
| Schmiermittelfreie Gurte | | x | | x |
| Energierückgewinnung beim Bremsen | | x | x | |
| Ökobilanz | | | x | x |

4 Instandhaltung und Verfügbarkeit von Fahrtreppen und Aufzügen

Um einen sicheren Betrieb der Anlagen und eine hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten ist eine korrekte und vorbeugende Instandhaltung durch kompetente, sachkundige Personen durchzuführen. Unter dem Begriff Instandhaltung wird die Reinigung, das Schmieren, die Personenbefreiung, Einstell- und Nachstellarbeiten, Kontrollen, Abnutzungs- oder verschleißbedingte Reparaturarbeiten sowie der Austausch von Komponenten, die nicht die Eigenschaften der Anlage verändern, verstanden. [24]

Die Instandhaltungsanweisung für Sicherheitskomponenten müssen dem Montagebetrieb vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden. Die Instandhaltungsanweisungen für Anlagen werden als Ergebnis einer Risikobeurteilung zur Verfügung gestellt. Die Beschreibung muss möglichst einfach und eindeutig formuliert werden. [24]

Der Instandhaltungs- /Wartungsumfang und -zyklus ist für jede Aufzugsanlage individuell zu ermitteln, da dieser von der Fahrtenzahl, den Betriebsbedingungen, der technischen Ausstattung und Umgebung der Anlage und dem Alter sowie Zustand der Anlage abhängt. Ein Aufzugsbuch, indem alle Prüfaufzeichnungen wie auch Abnahme-, Wartungsunterlagen und Notbefreiungsanlagen, technische Dokumentation uvm. enthalten sind, wird empfohlen zu führen. [25]

Die EN 13015 legt fest, wie eine zuverlässige Wartung von Aufzügen und Fahrtreppen durchgeführt werden muss und welche Anforderungen an das Wartungsunternehmen zu stellen sind. Grundsätzlich wird zwischen zwei Wartungsmodellen unterschieden, der sogenannten Basis- und Vollwartung. Die Basiswartung umfasst die fachmännische Wartung und Inspektion gemäß EN 13015 sowie in regelmäßigen Abständen zusätzliche Sicherheitschecks. Kosten für die Beseitigung von Störungen, Reparaturen und Ersatzteile müssen bei diesem Wartungsvertrag separat beauftragt und verrechnet werden. Mit einem Vollwartungsvertrag hat der Betreiber der Anlage einen All-Inclusive-Vertrag, welcher neben der Wartung sowie Inspektionen sämtliche Reparaturkosten inkl. Ersatzteile beinhaltet. Der Kunde erhält jährlich eine Rechnung und das Aufzugsunternehmen kümmert sich um die Zuverlässigkeit sowie die Sicherheit der Anlagen. Ein weiteres Modul ist das Notrufsystem, welche eine 24/7

Soforthilfe auf Knopfdruck zur Verfügung stellt. Um ein umfassendes Paket aus einer Hand zu erhalten bieten die Aufzugsfirmen ein Gesamtservice an, bei welchem die erforderlichen Prüfungen, elektrischen Messungen, Gefährdungsbeurteilung, Anmeldung der Anlage sowie die Dokumentation beinhaltet sind. Wünschen Sie eine Störungsbeseitigung mitten in der Nacht bzw. außerhalb der regulären Betriebszeiten kann dieses Paket ebenfalls optional hinzugefügt werden. Die Aufzugshersteller garantieren bei Ihren Rund-um-Paketen mit Verfügbarkeiten zwischen 97,0 und 99,5%. Als Betreiber eines Aufzuges bzw. einer Fahrtreppe sind Sie für einige Dinge verantwortlich soweit Sie nicht über einen Vollwartungsvertrag verfügen. Laut Betriebssicherheitsverordnung müssen Aufzugsanlagen einmal im Jahr von zugelassenen Überwachungsstellen (ZÜS) überprüft werden. Sollte der Aufzug über kein Notrufsystem verfügen ist für jede Aufzugsanlage eine „Beauftragte Person“, die regelmäßig die Funktionstüchtigkeit der Anlage kontrolliert und ständig anwesend sein muss, um bei einem Notfall den eingeschlossenen Personen helfen zu können. [24, 25]

Die Wiener Linien führen genaue Aufzeichnungen über die Verfügbarkeit Ihrer Aufzugs- und Fahrtreppenanlagen. Im Jahr 2019 konnte eine Verfügbarkeit von 98,10 % bei Aufzugs- und 97,53% bei Fahrtreppenanlagen dokumentiert werden. Dieses Ergebnis entspricht den garantierten Verfügbarkeiten der Hersteller.

Mit insgesamt 296 Aufzügen und 352 Rolltreppen stellt dieses Ergebnis der Wiener Linien eine gute Stichprobe dar. [40]

Die Personenbefreiung muss gesetzlich in unter 30 Minuten erfolgen. Ein Aufzug gilt als Problemaufzug, wenn dieser mehr als eine Störung je Jahr hat. Eine Inspektion dauert ca. eine Stunde, bei welcher nur kurze Tests durchgeführt werden. Die jährlich notwendige Wartung ist umfangreicher und dauert ca. 2 Stunden. [20]

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von vertikalen Personenbeförderungsanlagen

5.1 Literaturrecherche bereits durchgeführter Studien zum Thema vertikaler Transportmittel

In diesem Kapitel werden bisherige Erkenntnisse aus vergangenen Studien erläutert.

5.1.1 Leistungsfähigkeit von Aufzugsanlagen von Markus Baumgartner, 2016

In dieser Arbeit wurde der tatsächliche Auslastungsgrad von Aufzugsanlagen festgestellt. Bei der Untersuchung wurde eine eigene Datenerhebung in U-Bahnstationen und Bahnhöfen durchgeführt, bei welcher 31,5% die Stiege, 2,5% den Aufzug und 66,1% die Rolltreppe zum Aufstieg verwendeten. Es wurden Auswertungen in Bezug auf die Personen hinsichtlich Alter, Geschlecht, Mobilitätseinschränkungen und Gepäcksaufkommen durchgeführt, welcher für diese Studie nicht berücksichtigt werden. Der Personenauslastungsgrad wurde ebenfalls ermittelt und in knapp 70% der Liftfahrten wird ein Auslastungsgrad von 20% nicht überschritten. In 25% der Liftfahrten wird ein Auslastungsgrad bis max. 40% erreicht und der maximale Auslastungsgrad ist mit 70% begrenzt. Der niedrige Personenauslastungsgrad spielt bei Aufzügen eine untergeordnete Rolle, da die überwiegende Mehrzahl der Personen Treppen und Fahrtreppen zum raschen Transport wählen. Aufzugsanlagen dienen vorwiegend zur Barrierefreiheit. [31]

5.1.2 Leistungsfähigkeitsbestimmung von Fahrtreppen von Akpınar Özgür, 2017

In dieser Arbeit wurde die Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen in Einkaufszentren sowie im öffentlichen Verkehr analysiert und versucht jene

Rahmenbedingungen zu erörtern, welche die Leistungsfähigkeit beeinflussen. Die theoretische Leistungsfähigkeit ist in nachfolgender Tabelle dargestellt. [32]

Tabelle 12: theoretische Leistungsfähigkeit einer Fahrtreppe [32]

| Stufen-/Plattenbreite [m] | Nenngeschwindigkeit v [m/s] | | |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| | 0,50 | 0,65 | 0,75 |
| 0,60 | 4.500 Personen/h | 5.850 Personen/h | 6.750 Personen/h |
| 0,80 | 6.750 Personen/h | 8.775 Personen/h | 10.125 Personen/h |
| 1,00 | 9.000 Personen/h | 11.700 Personen/h | 13.500 Personen/h |

Jeder Hersteller hat seine eigene Darstellung zwischen rechnerischer und tatsächlicher Förderleistung. Es wurde eine Fallstudie an verschiedenen Standorten zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt. Hierbei konnte festgestellt werden, dass eine Lenkung der Fahrgastströme sowie das Verhalten der Benutzer auf der Fahrtreppe die Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Weiters muss das gesamte Verkehrsbauwerk die entsprechende Leistung bewältigen können, da eine noch so leistungsfähige Fahrtreppe keinen nennenswerten Beitrag dazu leisten kann. Es konnte festgestellt werden, dass die Grenzleistungsfähigkeit in der Realität teilweise die Leistungsfähigkeit nach Norm überschritten hat, da die örtlichen Gegebenheiten einen enormen Einfluss haben. [32]

5.1.3 Studie zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Dimensionierungsgrundlagen von Treppenanlagen in Verkehrsstationen von Benjamin Svoboda, 2015

Das Ziel dieser Arbeit war es die Leistungsfähigkeit von Treppenanlagen in Abhängigkeit von baulichen Kriterien und personenbezogenen Faktoren zu untersuchen und mittels empirischer Daten/ zu vergleichen. Ein Verhältnis von Fahrtreppe und Treppe wurde hier lt. Literaturrecherche zwischen 52/48 (Abwärts) und 65/35 (Aufwärts) angegeben. Dies konnte mittels Datenerhebung weitestgehend bestätigt werden. Beim Aufwärtsbewegen tendierte das Verhältnis sogar noch deutlicher in Richtung der Fahrtreppe, da die aufwärtsgehenden Personen durch abwärtsgehende Personen beeinträchtigt wurden. [33]

5.1.4 Verhaltensuntersuchung von Fernverkehrsreisenden auf Personenbeförderungsanlagen, 2018

Für diese Arbeit konnte nachfolgende Werte ermittelt werden. Die Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen liegt zwischen 1,06 und 1,24 Personen / Sekunde. Dieser Schwankungsbereich ist durch die unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten von 0,5-0,65 m/s zu erklären. Bei der Verwendung von Fahrtreppe und Treppenanlagen wurde ein ähnliches Verhältnis wie bei der Arbeit von Herrn Svoboda festgestellt. Liftanlagen werden nur in zwei Prozent aller Fälle im Verhältnis zu Treppe und Fahrtreppe benützt. In 87% aller Liftfahrten blieb mindestens eine Person zurück und wartete auf die nächste Fahrt. Der Auslastungsgrad im Aufzug lag in 80% aller Fahrten bei unter 40%. [34]

5.1.5 Lebenszykluskosten von U-Bahnstationen von Andreas Makovec

Für diese Arbeit sind nur einige ausgewählte Kapitel von Interesse. Aufgrund unzähliger Daten der Wiener Linien konnte der Autor eine Formel für die Neubaukosten einer Aufzugs- und Fahrtreppenanlage in Abhängigkeit der Hubhöhe ermitteln. Die Wartungskosten der Aufzugsanlagen wurden entsprechend der Vertragsdauer und der Hubhöhe ermittelt. Bei Fahrtreppen wurde ein zusätzlicher Indikator der Tag- oder Nachtwartung berücksichtigt. Die Stromkosten wurden mittels eines LCC-Berechnungstools ermittelt. [35]

5.1.6 Stairmotion-Ohrwurm zum Mitgehen von Julia Hecht und Stephanie Wypchlo, 2018

In dieser Arbeit wurde mittels Beobachtungen und Befragungen versucht die Stiegennutzung durch Interventionen zu erhöhen. Die Datenerhebungen fanden in drei U-Bahnstationen statt. Etwa 5% nutzten den Aufzug, zwischen 7 und 26% die Treppen und 69-90% die Fahrtreppe. Die Interventionsmaßnahmen konnten die Treppennutzung um 2-4 Prozent steigern.

5.2 Kostendarstellung vertikaler Transportmittel

Zur Bewältigung von Höhenunterschieden in Gebäuden werden hohe Investitionen getätigt und der Hauptfokus liegt auf den Kosten der Errichtung. Die Herstellungsphase ist über den gesamten Lebenszeitraum der Anlagen jedoch

eine relativ kurze. Die Nutzungsphase ist im Normalfall ein Vielfaches länger als die Errichtungsphase. Im nachfolgenden Kapitel werden die Lebenszykluskosten von Aufzugs-, Treppen- und Fahrtreppenanlagen in unterschiedlichen Gebäuden und mit unterschiedlichen Höhen ermittelt.

Die Lebenszykluskosten umfassen die Baukosten, Betriebskosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten sowie die Entsorgungskosten. Weiters werden äußere Einflüsse in der weiteren Berechnung berücksichtigt. Diese Einflüsse können die Inflation, die Energiepreise sowie die Verzinsung der Finanzierung betreffen.

5.2.1 Herstellungskosten

Die Herstellungskosten umfassen die Planung, Fertigung, Lieferung und Montage sowie Installation der Anlage.

5.2.1.1 Aufzug

Die Kosten für eine Aufzugsanlage wurden anhand von Daten der Firma Schindler ermittelt. Weiters wurde das Modell der Anschaffungskosten aus der Diplomarbeit von Andreas Makovec angepasst.

Nach mehreren Telefonaten mit Herrn Ruschitzka, Mitarbeiter der Firma Schindler im Bereich Verkauf, konnte ein Ausgangswert von 80.000,00 € für eine typische Aufzugsanlage der nachfolgenden Messungen durch ihn bekanntgegeben werden. Als Preisbasis wurde April 2020 vereinbart. In Einzelhandelsgeschäften kommen meist verglaste Konstruktionen, welche in der Anschaffung etwas höher sind, mit einer Nutzlast von etwa 1.000 kg zum Einsatz. In U-Bahn-Stationen sind meist Stahlkonstruktionen mit Glaselementen verbaut mit Nutzlasten je nach Stationsgröße zwischen 1.200 und 1.600 kg. Diese Konstruktion ist etwas günstiger jedoch aufgrund der höheren Nutzlast in etwa gleichpreisig. In Einkaufszentren werden höhere Nutzlasten bzw. Aufzugsdimensionen bevorzugt.

Die im nachfolgenden Kapitel durchgeführten Zählungen fanden an unterschiedlichen Standorten statt. Um die Kosten an diese Standortbedingungen anzupassen wurde das Modell von Herrn Makovec, welches die Hubhöhe in den Anschaffungskosten berücksichtigt, adaptiert.

Das Modell lt. Herrn Makovec lautet:

$$\text{Neubaukosten Aufzug} = 159.216 + 1.214 * h \quad [35]$$

$$h \dots \text{Hubhöhe [m]}$$

Leider war aus diesem Modell nicht ersichtlich, welche Anschaffungskosten genau berücksichtigt wurden. In dieser Arbeit werden die reinen Aufzugskosten berücksichtigt und der Ausgangswert von 80.000 € bezieht sich auf eine Förderhöhe von 5m, womit sich dieses Modell ergibt:

$$\text{Neubaukosten Aufzug} = 77.062 + 588 * h$$

In der nachfolgenden Tabelle sind die Herstellungskosten in Abhängigkeit der Förderhöhe ersichtlich. Der Einfluss der Hubhöhe ist sehr gering, da die Hauptkomponenten, wie Antrieb und Liftkabine, den größten Anteil der Herstellungskosten ausmachen.

Tabelle 13: Herstellungskosten Aufzug

| Nutzungstyp | Förderhöhe [m] | Herstellungskosten |
|-------------------------------|----------------|--------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 12,2 | 84 235,60 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 12,5 | 84 412,00 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 7,2 | 81 295,60 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 3,5 | 79 120,00 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 4,8 | 79 884,40 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 2,8 | 78 708,40 € |
| Einkaufszentrum | 4,75 | 79 855,00 € |
| Einzelhandel Textil | 6 | 80 590,00 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 12 | 84 118,00 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 8,55 | 82 089,40 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 18 | 87 646,00 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 30 | 94 702,00 € |
| Bürogebäude | 15 | 85 882,00 € |

5.2.1.2 Fahrtreppe

Die Herstellungskosten von Fahrtreppen wurden ebenfalls von Herrn Ruschitzka unter Berücksichtigung der Randbedingungen der örtlichen Gegebenheiten bekanntgegeben. Laut Telefonat mit Herrn Ruschitzka am 24.03.2020 ist für die Ermittlung der Herstellungskosten von Fahrtreppen die Hubhöhe sowie die Fahrtreppenbreite und der Fahrtreppentyp ausschlaggebend. Unter Berücksichtigung der Hubhöhe wurde auch hier die Modellbildung von Herrn Makovec an die aktuellen Daten angepasst.

Modellbildung von Herrn Makovec:

$$\text{Neubaukosten Fahrtreppe} = 272.670 + 19.122 * h \text{ [35]}$$

$$h \dots \text{Hubhöhe [m]}$$

Bei Verkehrsstationen handelt es sich um Hochleistungsfahrtreppen, welche wesentlich höhere Anschaffungskosten als Fahrtreppen in Einkaufszentren oder Einzelhandelsgeschäften haben.

Für Hochleistungsfahrtreppen mit einer Hubhöhe von 5m und Fahrbreite von 100cm wurde ein Verkaufspreis von 150.000 € bekanntgegeben. Für eine Fahrtreppe im Einzelhandel bzw. Einkaufszentrum wurde ein Verkaufspreis in Höhe von 50.000 € bei einer Hubhöhe von 5m und einer Fahrbreite von 100cm bekanntgegeben. Diese Werte stammen von Herrn Ruschitzka, Mitarbeiter der Firma Schindler im Bereich Verkauf mit Preisbasis April 2020.

Aufgrund dieser Berücksichtigung, hat der Autor dieser Arbeit zwei Modellbildungen konstruiert.

$$\text{Neubaukosten Fahrtreppe Verkehrsstation} = 111.058 + 7.788 * h$$

$$\text{Neubaukosten Fahrtreppe EKZ, Einzelhandel} = 37019 + 2596 * h$$

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht der Herstellungskosten von Fahrtreppen der ausgewählten Standorte.

Tabelle 14: Herstellungskosten Fahrtreppe

| Nutzungstyp | Förderhöhe [m] | Herstellungskosten |
|-----------------------------|----------------|--------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 12,2 | 206 071,60 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 12,5 | 208 408,00 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 7,2 | 167 131,60 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 3,5 | 138 316,00 € |
| Einkaufszentrum | 4,75 | 49 350,00 € |
| Einzelhandel Textil | 6 | 52 595,00 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 12 | 68 171,00 € |

Vergleicht man die Modellbildung des Aufzuges und der Fahrtreppen miteinander sieht man, dass die Förderhöhe bei der Fahrtreppe deutlich stärker einhergeht als beim Aufzug.

5.2.1.3 Treppenhaus

Die Baukosten der Treppenanlagen wurden durch eine entsprechende Kalkulation bzw. durch den Vergleich von Angeboten ermittelt. Als wesentlicher Parameter ging die Treppenzahl und die Treppenbreite in die Berechnung ein. In Tabelle 15 sind die Abmessungen der Treppenanlagen der einzelnen Messstellen ersichtlich.

Tabelle 15: Abmessungen Treppe

| Nutzungstyp | Treppenbreite | Stufenverhältnis b/h |
|-------------------------------|---------------|----------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 350 cm | 33/15 cm |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 200 cm | 33/15 cm |
| U-Bahnstation, Meidling | 310 cm | 33/15 cm |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 240 cm | 33/15 cm |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 270 cm | 33/15 cm |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 270 cm | 33/15 cm |
| Einkaufszentrum | 170 cm | 28/18,5 cm |
| Einzelhandel Textil | 250 cm | 30/18 cm |
| Einzelhandel Buchhandel | 190 cm | 30/18 cm |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 150 cm | 30/15 cm |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 150 cm | 30/15 cm |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 140 cm | 30/15 cm |
| Bürogebäude | 160 cm | 30/15 cm |

In Abbildung 13 ist eine Kostenschätzung einer Treppenanlage dargestellt. Unter der Berücksichtigung, dass das Steigungsverhältnis annähernd gleich ist wird in der nachfolgenden Berechnung nur eine Unterscheidung der Stufenanzahl sowie Treppenbreite getroffen. Die Preise in der Kostenschätzung sind exkl. Mehrwertsteuer und daher mit 20% zu beaufschlagen. Für 20 Stufen entfällt daher ein Preis von 12.976,80 € für die Herstellung einer Treppenanlage aus Beton inkl. Verfliesung. Dividiert man diesen Preis durch die Anzahl der Stufen und durch die Treppenbreite erhält man 360, 47 € je Stufe und Meter Treppenbreite.

SWIETELSKY AG

Angebot / EURWohnhaus Wien
Betonarbeiten

| Positionsnummer | Positionstext Menge EH | Einheitspreis | P Z Z V W G K V Positionspreis |
|-----------------|---------------------------|---------------|-----------------------------------|
|-----------------|---------------------------|---------------|-----------------------------------|

Kostenschätzungs LV / Geschlossenes LV (LT n.b. Lücken u. Z-Pos.)

| | | | |
|-----------------|---|--------------|-----------|
| 01 | Treppenanlage | | Z |
| 01 01 | gerade Treppe inkl. Podest herstellen | | Z |
| 01 01 01 | Treppe lt. Beschreibung und Plan herstellen | | Z |
| | 20 Stg 15/30 Breite= 180cm Laufplattenstärke=20cm gerade Stiege mit einem Podest Betongüte C30/37/B7 Bewehrung gesondert Tritt- und Setzstufen schalrein Fase: 10/10mm Untersicht händisch geglättet | | |
| | exkl. Bewehrung | | |
| | 1,00 PA EP : | 6.650,00 EUR | 6.650,00 |
| 01 01 02 | Bewehrung liefern und einbringen | | Z |
| | Annahme: 75 kg/m ³ 480,00 kg EP : | 1,80 EUR | 864,00 |
| 01 01 03 | Fliesen auf Treppe verlegen | | Z |
| | Standard, Tritt- und Setzstufe Materialpreis bis 45 Euro 20,00 Stk EP : | 165,00 EUR | 3.300,00 |
| 01 01 | gerade Treppe inkl. Podest herstellen | | 10.814,00 |
| 01 | Treppenanlage | | 10.814,00 |

Abbildung 13: Kostenschätzung Treppe

Diese Kosten beinhalten die Herstellung der Treppe inkl. Bodenbeschichtung bzw. Verfliesung.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Herstellungskosten einer Treppenanlage in Abhängigkeit der Stufenanzahl und Treppenbreite.

Tabelle 16: Herstellungskosten Treppe

| Nutzungstyp | Treppenbreite | Stufenanzahl | Herstellungskosten |
|-------------------------------|---------------|--------------|--------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 350 | 84 | 105 978,18 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 200 | 86 | 62 000,84 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 310 | 50 | 55 872,85 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 240 | 24 | 20 763,07 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 270 | 33 | 32 117,88 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 270 | 19 | 18 492,11 € |
| Einkaufszentrum | 170 | 27 | 16 545,57 € |
| Einzelhandel Textil | 290 | 38 | 39 723,79 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 190 | 66 | 45 202,94 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 150 | 57 | 30 820,19 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 150 | 120 | 64 884,60 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 140 | 200 | 100 931,60 € |
| Bürogebäude | 160 | 100 | 57 675,20 € |

5.2.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten beinhalten die Stromkosten der einzelnen Anlagen. Leider werden diesbezüglich keine gesonderten Verbrauchsdaten der Betreiber aufgezeichnet. Daher wurden diese anhand vorhandener Daten der einzelnen Hersteller und von Studien sowie unter Berücksichtigung der Normen ermittelt. Die Stromkosten werden mit 0,16 € je kWh angenommen.

5.2.2.1 Aufzug

Die Ermittlung der Stromkosten für Aufzugsanlagen wurde anhand der Studie zum Thema Personenaufzügen von Markus Blepp, Maurice Marquardt und Dr. Dietlinde Quack durchgeführt. Da die Studie im Jahr 2011 verfasst wurde und die Stromkosten nicht explizit angeführt wurden mussten einige Anpassungen durchgeführt werden.

Der Energiebedarf während der Referenzfahrt und des Stand-by-Betriebs wurde für zwei Energieeffizienzklassen aus der VDI Richtlinie 4707, welche der ÖNORM EN 25745 sehr ähnelt, ermittelt.

Tabelle 17: Jährliche Stromkosten für Aufzugsanlagen

| Nutzlast | Energieklasse | Nutzungskategorie | | | | |
|----------|---------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1000 | B | 264 € | 342 € | 600 € | 987 € | 1 762 € |
| | C | 501 € | 615 € | 999 € | 1 573 € | 2 722 € |
| 1600 | B | 295 € | 422 € | 840 € | 970 € | 1 800 € |
| | C | 549 € | 735 € | 1 359 € | 1 517 € | 2 753 € |
| 3000 | B | 370 € | 608 € | 1 401 € | 1 712 € | 3 284 € |
| | C | 661 € | 1 016 € | 2 201 € | 2 630 € | 4 978 € |

Tabelle 17 zeigt die jährlichen Stromkosten für den Betrieb einer Aufzugsanlage anhand der Nutzungskategorie, der Energieklasse sowie der Nutzlast. Die Aufzugsgeschwindigkeit wurde mit 1 m/s in allen Gebäudetypen angenommen. Die aus dieser Tabelle ermittelten Werte wurden mit den Informationen der Hersteller verglichen und es konnten nur geringe Abweichungen festgestellt werden. Die Nutzungskategorie gibt die Nutzungsintensität einer Anlage an. Die Tabelle 18 gibt einen Überblick der fünf verschiedenen Nutzungskategorien für Aufzüge an.

Tabelle 18: Nutzungskategorie Aufzug nach VDI Richtlinie 4707 Blatt 1

| Nutzungskategorie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|--|--|--|---|
| Nutzungsintensität/-häufigkeit | sehr gering sehr selten | gering selten | mittel gelegentlich | stark häufig | sehr stark sehr häufig |
| Durchschnittliche Fahrzeit in Stunden pro Tag ²⁶⁾ | 0,2 ($\leq 0,3$) | 0,5 ($> 0,3-1$) | 1,5 ($> 1-2$) | 3 ($> 2-4,5$) | 6 ($> 4,5$) |
| Durchschnittliche Stillstandszeit in Stunden pro Tag | 23,8 | 23,5 | 22,5 | 21 | 18 |
| Typische Gebäude – und Verwendungsarten | <ul style="list-style-type: none"> Wohnhaus mit bis zu 6 Wohnungen kleines Büro- und Verwaltungsgebäude mit wenig Betrieb | <ul style="list-style-type: none"> Wohnhaus mit bis zu 20 Wohnungen kleines Büro- und Verwaltungsgebäude mit 2 bis 5 Geschossen kleine Hotels Lastenaufzug mit wenig Betrieb | <ul style="list-style-type: none"> Wohnhaus mit bis zu 50 Wohnungen mittleres Büro- und Verwaltungsgebäude mit bis zu 10 Geschossen mittlere Hotels Lastenaufzug mit mittlerem Betrieb | <ul style="list-style-type: none"> Wohnhaus mit mehr als 50 Wohnungen hohes Büro- und Verwaltungsgebäude mit über 10 Geschossen großes Hotel kleines bis mittleres Krankenhaus Lastenaufzug in Produktionsprozess bei einer Schicht | <ul style="list-style-type: none"> Büro- und Verwaltungsgebäude über 100 m Höhe großes Krankenhaus Lastenaufzug in Produktionsprozess bei mehreren Schichten |

Nutzungskategorie wird sehr selten genutzt und steht zu über 23,8 Stunden je Tag still.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die jährlichen Betriebskosten in Abhängigkeit der Nutzungskategorie, der Energieklasse und der Nutzlast. Den größten Einfluss hat die Energieklasse gefolgt von der Nutzungskategorie. Die Nutzlast hat einen wesentlich kleineren Einfluss.

Tabelle 19: Betriebskosten Aufzug je Jahr

| Nutzungstyp | E-Klasse | Nutz-Kategorie | Nutzlast [kg] | Stromkosten/a |
|-------------------------------|----------|----------------|---------------|---------------|
| U-Bahnstation, Simmering | B | 3 | 1600 | 840,00 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | B | 2 | 1600 | 422,00 € |
| U-Bahnstation, Meidling | B | 3 | 1000 | 600,00 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | B | 4 | 1600 | 970,00 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | B | 3 | 1000 | 600,00 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | B | 3 | 1600 | 840,00 € |
| Einkaufszentrum | B | 4 | 3000 | 1 712,00 € |
| Einzelhandel Textil | B | 2 | 1000 | 342,00 € |
| Einzelhandel Buchhandel | B | 2 | 1000 | 342,00 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | C | 2 | 1000 | 615,00 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | C | 2 | 1000 | 615,00 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | C | 2 | 1000 | 615,00 € |
| Bürogebäude | C | 2 | 1000 | 615,00 € |

5.2.2.2 Fahrtreppe

Die Ermittlung der Stromkosten für den Fahrtreppenbetrieb erfolgt anhand der ÖNORM EN ISO 25745-3:2005.

Folgende Messwerte wurden für die Berechnung angenommen:

- Gemessene Leistung Stillstand= 0,15kW
- Gemessene Leistung Autostart-Modus= 0,28kW
- Gemessene Leistung Nulllast= 1,8kW
- Gemessene Leistung Betriebsbereitschaftsmodus= 0,8kW
- Gemessene Leistung Zusatzverbraucher= 0,3kW

Die Stromkosten wurden für jeden Standort anhand der ortsabhängigen Faktoren, wie Kundenzahlen, Förderhöhe und Betriebszeiten individuell ermittelt. Die entsprechenden Annahmen bzw. Kennwerte befinden sich im Anhang 1. In der Tabelle 20 sind die Energiekosten pro Jahr und Fahrtrichtung ersichtlich. Die Kosten bei der Abwärtsfahrt sind aufgrund der Rückgewinnung der Bremsenergie wesentlich geringer als bei der Aufwärtsfahrt. Aufgrund der deutlich längeren Betriebszeiten von Fahrtreppen in U-Bahnstationen lassen sich die hohen Kostenunterschiede zum Einzelhandel und Einkaufszentrum feststellen. Die

Öffnungszeiten von Einzelhandel und Einkaufszentrum sind in etwa gleich, wobei hier die Personenanzahl und Förderhöhe den Unterschied ausmachen.

Tabelle 20: Betriebskosten Fahrtreppe je Jahr

| Nutzungstyp | Energiekosten je Jahr | |
|-----------------------------|-----------------------|------------|
| | Aufwärts | Abwärts |
| U-Bahnstation, Simmering | 4 331,31 € | 1 456,14 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 4 770,85 € | 1 928,70 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 5 274,21 € | 1 045,77 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 3 629,33 € | 2 023,56 € |
| Einkaufszentrum | 1 708,27 € | 1 410,27 € |
| Einzelhandel Textil | 1 077,23 € | 1 022,10 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 1 237,01 € | 1 137,51 € |

5.2.2.3 Treppe

Da bei den Stromkosten nur die direkten Kosten der Anlage berücksichtigt werden, fallen bei der Treppe keine Stromkosten an.

5.2.3 Wartungskosten

In Kapitel 4 wurden zwei Wartungsmodelle vorgestellt die Basis- und Vollwartung. Um eine Vergleichbarkeit zu schaffen werden die Kosten für alle Gebäude mit Vollwartungsverträgen berechnet. Die Daten stammen einerseits vom Hersteller direkt und andererseits vom Betreiber der Anlage. Die Kosten wurden anschließend miteinander verglichen und die Herstellereinstellungen waren deutlich über denen der Betreiber. Diese große Differenz besteht aufgrund der Weitergabe der Listenpreise des Herstellers ohne Abzug der Rabatte. Um eine reale Kostenvergleichbarkeit zu schaffen wurde dieser Rabatt berücksichtigt. Die Kosten der Wartungsverträge der einzelnen Gebäudetypen unterscheiden sich lt. Tabelle 21 nur geringfügig.

Die monatlichen Kosten der Wartung für einen durchschnittlichen Aufzug einer U-Bahnstation betragen lt. Herrn Ehn, Abteilung Elektro- und Maschinentechnik der Wiener Linien, 700,00 €. Die monatlichen Kosten der Wartung für eine durchschnittliche Fahrtreppe einer U-Bahnstation betragen lt. Herrn Ehn, Abteilung Elektro- und Maschinentechnik der Wiener Linien, 800,00 €.

Tabelle 21: Kosten Vollwartungsverträge Aufzug, Fahrtreppe

| | Aufzug (ohne Notruf) | Fahrtreppe |
|------------------------|----------------------|------------|
| U-Bahn | 700,00 € | 800,00 € |
| Einkaufszentrum | 630,00 € | 850,00 € |
| Einzelhandel | 750,00 € | 900,00 € |

Es wird angenommen, dass die Beschichtung der Treppe aufgrund der meist geringen Benützung im Betrachtungszeitraum nicht erneuert werden muss. Aufgrund dieser Annahmen fallen keine Wartungskosten für Treppenanlagen an.

5.2.4 Entsorgungskosten

Dieser Lebenszyklusabschnitt wird nicht berücksichtigt, da nach dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren bei allen drei Transportmitteln kein Abbruch, sondern nur eine Modernisierung bzw. Sanierung stattfindet.

5.2.5 Lebenszykluskostenanalyse

In diesem Abschnitt werden die zuvor ermittelten Kosten über einen Zeitraum von 20 Jahren hochgerechnet. In der Berechnung wird eine Energiepreis- sowie Instandhaltungssteigerung von 2% je Jahr berücksichtigt. Etwaige Finanzierungskosten bleiben unberücksichtigt. Anschließend werden die Lebenszykluskosten für jedes Transportmittel laut obiger Berechnungen zusammengestellt.

5.2.5.1 Kostenanalyse Aufzug

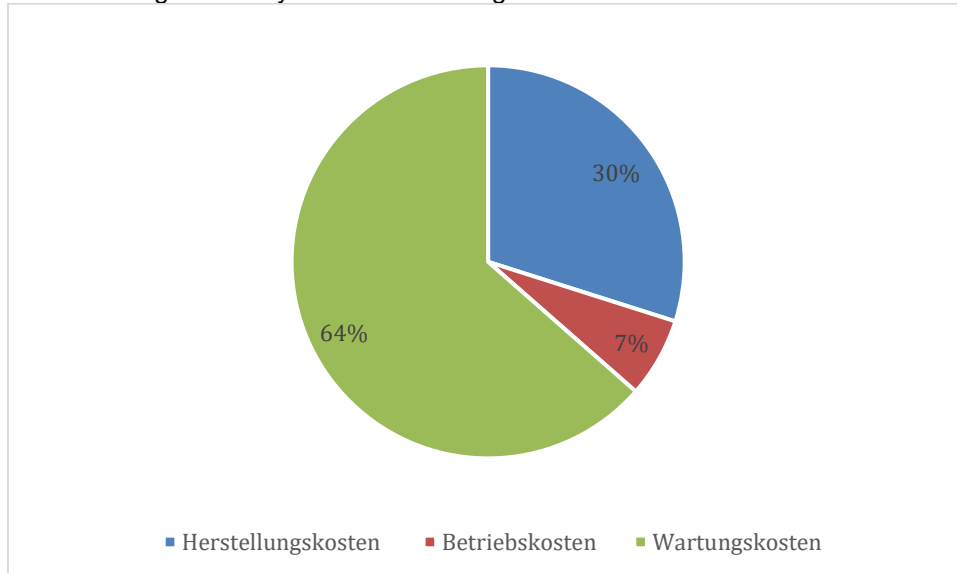
Die Lebenszykluskosten von Aufzugsanlagen sind bei allen Nutzungstypen nahezu ident. Die Schwankungsbreite beträgt ca. 10 Prozent zwischen der Anlage des 11-geschoßigen Wohnhaus und der U-Bahnstation Rochusgasse.

Tabelle 22: Lebenszykluskosten Aufzug

| Nutzungstyp | Herstellungskosten | Betriebskosten | Wartungskosten | Anzahl | Lebenszykluskosten |
|-------------------------------|--------------------|----------------|----------------|--------|--------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 84 235,60 € | 24 963,92 € | 171 360,00 € | 1 | 280 559,52 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 84 412,00 € | 12 541,40 € | 171 360,00 € | 1 | 268 313,40 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 81 295,60 € | 17 831,37 € | 171 360,00 € | 1 | 270 486,97 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 79 120,00 € | 28 827,38 € | 171 360,00 € | 1 | 279 307,38 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 79 884,40 € | 17 831,37 € | 171 360,00 € | 1 | 269 075,77 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 78 708,40 € | 24 963,92 € | 171 360,00 € | 1 | 275 032,32 € |
| Einkaufszentrum | 79 855,00 € | 50 878,84 € | 154 224,00 € | 3 | 854 873,52 € |
| Einzelhandel Textil | 80 590,00 € | 10 163,88 € | 183 600,00 € | 1 | 274 353,88 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 84 118,00 € | 10 163,88 € | 183 600,00 € | 1 | 277 881,88 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 82 089,40 € | 18 277,15 € | 183 600,00 € | 1 | 283 966,55 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 87 646,00 € | 18 277,15 € | 183 600,00 € | 1 | 289 523,15 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 94 702,00 € | 18 277,15 € | 183 600,00 € | 1 | 296 579,15 € |
| Bürogebäude | 85 882,00 € | 18 277,15 € | 183 600,00 € | 1 | 287 759,15 € |

Sieht man sich die einzelnen Kostenanteile Herstellung, Betrieb und Wartung an, erkennt man ebenfalls eine sehr ähnliche Verteilung, welche in Tabelle 23 ersichtlich ist.

Tabelle 23: Verteilung Lebenszykluskosten Aufzug



Fast zwei Drittel der anfallenden Kosten fallen auf den Wartungsaufwand und weniger als 7 Prozent auf die Betriebskosten. Diese Grafik zeigt, dass die Reduzierung des Stromverbrauches wichtig ist, jedoch nicht ausschlaggebend über den Lebenszeitraum. Die Herstellungs- und Wartungskosten von Aufzugsanlagen haben einen Schwankungsbereich von 20%. Die Betriebskosten sind von den Nutzlasten, der Energieklasse sowie der Nutzungskategorie abhängig. Die Betriebskosten sind bei dem Einkaufszentrum aufgrund der hohen Nutzlasten fünf Mal höher als bei den beiden Einzelhandelsgeschäften.

5.2.5.2 Kostenanalyse Fahrtreppe

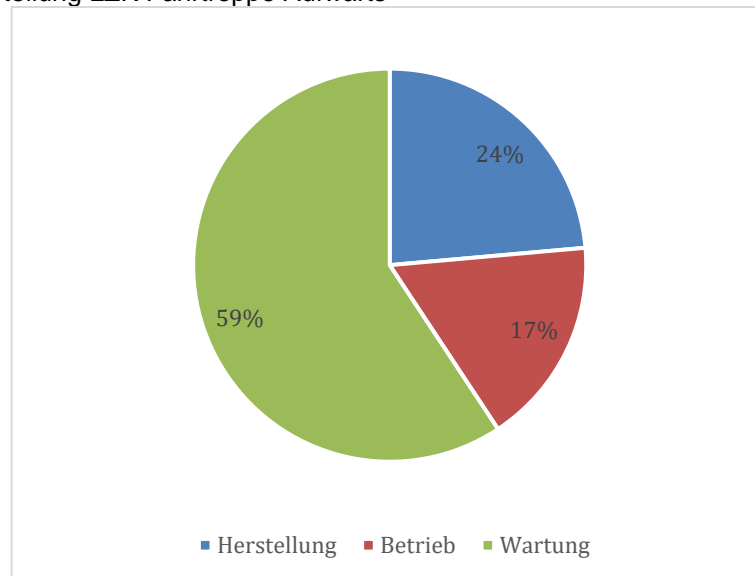
In nachfolgender Tabelle wurden die Lebenszykluskosten der Fahrtreppen in den einzelnen Gebäuden ermittelt. Die größte Differenz besteht bei den U-Bahnstation und den Einzelhandelsgeschäften. Bei den U-Bahnstationen machen die Herstellungskosten ein Drittel der Gesamtkosten aus. Hingegen bei den Einzelhandelsgeschäften nur ca. 15 Prozent. Die Betriebskosten bei der Abwärtsfahrt sind ähnlich verteilt, bei der Aufwärtsfahrt sind diese bei U-Bahnstation ca. doppelt so hoch. Die Wartungskosten sind recht unabhängig vom Standort und bei sämtlichen Anlagen in derselben Größenordnung mit einer Schwankungsbreite von rund 10 Prozent.

Tabelle 24: Lebenszykluskosten Fahrtreppe

| Nutzungstyp | Herstellungskosten | Betriebskosten [€] | | Wartungskosten | Anzahl | Lebenszykluskosten |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------------|----------------|--------|--------------------|
| | | Aufwärts | Abwärts | | | |
| U-Bahnstation, Simmering | 206 071,60 € | 128 721,84 € | 43 274,88 € | 285 301,90 € | 3 | 1 732 115,58 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 208 408,00 € | 141 784,79 € | 57 318,82 € | 285 301,90 € | 2 | 1 186 523,41 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 167 131,60 € | 156 744,02 € | 31 079,08 € | 285 301,90 € | 2 | 1 092 690,10 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 138 316,00 € | 107 859,92 € | | 285 301,90 € | 1 | 531 477,82 € |
| Einkaufszentrum | 49 350,00 € | 50 767,96 € | 41 911,66 € | 303 133,27 € | 2 | 797 646,16 € |
| Einzelhandel Textil | 52 595,00 € | 32 014,00 € | 30 375,78 € | 267 470,53 € | 2 | 702 520,84 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 68 171,00 € | 36 762,72 € | 33 805,70 € | 267 470,53 € | 6 | 2 225 554,44 € |

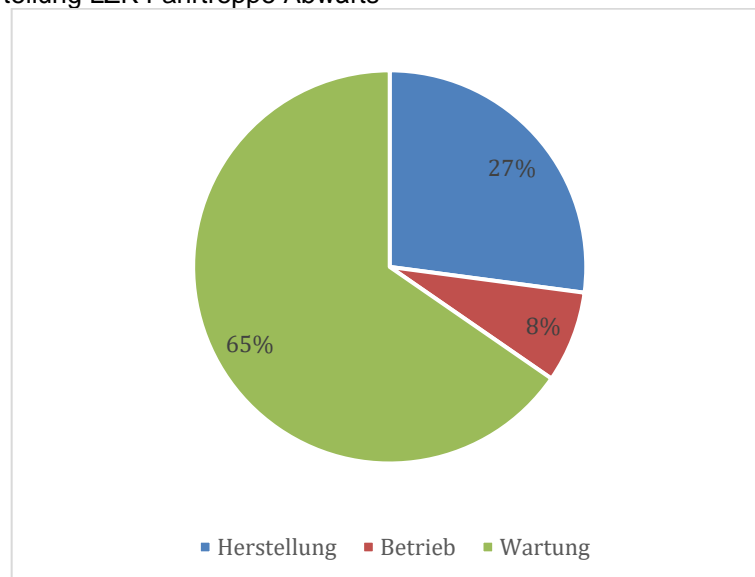
In den beiden Kreisdiagrammen sieht man die Verteilung der einzelnen Kostengruppen nach der Fahrtrichtung getrennt.

Tabelle 25: Verteilung LZK Fahrtreppe Aufwärts



Die Herstellungskosten bei der aufwärtsfahrenden Fahrtreppe machen knapp ein Viertel, die Wartungskosten 59 Prozent und die Betriebskosten 17% aus.

Tabelle 26: Verteilung LZK Fahrtreppe Abwärts



Bei der Abwärtsfahrt machen die Wartungskosten 65%, die Herstellungskosten 27% und die Betriebskosten nur 8% aus. Je länger die Fahrtreppe und höher die zu befördernde Personenanzahl ist, desto höher ist das Einsparungspotenzial bei der Abwärtsrichtung.

Die Wartungskosten sind mit einer Schwankungsbreite von ca. 10 Prozent von der Nutzung ziemlich unabhängig. Durch die höhere Belastung der Fahrtreppen in U-Bahnen sind die Herstellungskosten ca. 300 Prozent höher. Die Betriebskosten sind aufgrund der wesentlich längeren Öffnungszeiten bei den U-Bahnstationen in etwa doppelt so hoch.

5.2.5.3 Kostenanalyse Treppe

Tabelle 27 zeigt eine Übersicht der Lebenszykluskosten, welche ident mit den Herstellungskosten sind und nur durch die Anzahl erhöht werden.

Tabelle 27: Lebenszykluskosten Treppe

| Nutzungstyp | Herstellungskosten | Anzahl | Lebenszykluskosten |
|-------------------------------|--------------------|--------|--------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 105 978,18 € | 1 | 105 978,18 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 62 000,84 € | 2 | 124 001,68 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 55 872,85 € | 1 | 55 872,85 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 20 763,07 € | 1 | 20 763,07 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 32 117,88 € | 1 | 32 117,88 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 18 492,11 € | 1 | 18 492,11 € |
| Einkaufszentrum | 16 545,57 € | 1 | 16 545,57 € |
| Einzelhandel Textil | 39 723,79 € | 1 | 39 723,79 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 45 202,94 € | 1 | 45 202,94 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 30 820,19 € | 1 | 30 820,19 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 64 884,60 € | 1 | 64 884,60 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 100 931,60 € | 1 | 100 931,60 € |
| Bürogebäude | 57 675,20 € | 1 | 57 675,20 € |

5.2.5.4 Lebenszykluskostenvergleich

Abschließend wird noch ein Kostenvergleich von Aufzug, Fahrtreppe und Treppe dargestellt.

Tabelle 28: Kostenvergleich vertikale Verkehrsmittel

| Nutzungstyp | Lebenszykluskosten | | |
|-------------------------------|--------------------|----------------|--------------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| U-Bahnstation, Simmering | 280 559,52 € | 1 732 115,58 € | 105 978,18 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 268 313,40 € | 1 186 523,41 € | 124 001,68 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 270 486,97 € | 1 092 690,10 € | 55 872,85 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 279 307,38 € | 531 477,82 € | 20 763,07 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 269 075,77 € | n.v. | 32 117,88 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 275 032,32 € | n.v. | 18 492,11 € |
| Einkaufszentrum | 854 873,52 € | 797 646,16 € | 16 545,57 € |
| Einzelhandel Textil | 274 353,88 € | 702 520,84 € | 39 723,79 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 277 881,88 € | 2 225 554,44 € | 45 202,94 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 283 966,55 € | n.v. | 30 820,19 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 289 523,15 € | n.v. | 64 884,60 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 296 579,15 € | n.v. | 100 931,60 € |
| Bürogebäude | 287 759,15 € | n.v. | 57 675,20 € |

Tabelle 29 zeigt noch eine prozentuale Verteilung der gesamten Kosten für vertikale Transportmittel in Gebäuden.

Tabelle 29: prozentuale Verteilung der Kosten vertikaler Transportmittel

| Nutzungstyp | Lebenszykluskosten | | |
|-------------------------------|--------------------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| U-Bahnstation, Simmering | 13% | 82% | 5% |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 17% | 75% | 8% |
| U-Bahnstation, Meidling | 19% | 77% | 4% |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 34% | 64% | 2% |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 89% | | 11% |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 94% | | 6% |
| Einkaufszentrum | 51% | 48% | 1% |
| Einzelhandel Textil | 27% | 69% | 4% |
| Einzelhandel Buchhandel | 11% | 87% | 2% |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 90% | | 10% |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 82% | | 18% |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 75% | | 25% |
| Bürogebäude | 83% | | 17% |

Anhand dieser Tabelle erkennt man, dass die Gesamtkosten für die Beförderung von Personen in die Höhe zu über 75% durch Fahrtreppen entstehen. Ausnahme ist das Einkaufszentrum wobei dieses aufgrund der örtlichen Gegebenheiten durch eine hohe Anzahl von Aufzügen nicht exakt vergleichbar ist und der Reumannplatz, da dieser nur eine aufwärtsfahrende Fahrtreppe besitzt. Die Kosten einer Treppenanlage sind bei Vorhandensein von Aufzug und Fahrtreppe bei maximal 8% der Gesamtkosten.

Mit diesem Kapitel wurde versucht das Kostenbewusstsein für zukünftige Planungen zu steigern. Das Thema Energieeffizienz hat einen hohen Stellenwert und soll auch weiterhin im Fokus liegen, jedoch gibt es viele weitere Einflüsse zur Minimierung der Kosten. Durch die genaue Planung der Anzahl und Erfordernis von vertikalen Transportmitteln können Kosten eingespart werden. Hierzu sind Untersuchungen an bestehenden Standorten notwendig, welche im nächsten Kapitel durchgeführt worden sind.

5.3 Datenerhebung und Methodik

Die Datenerhebungen und Auswertungen wurden an 13 Standorten durchgeführt und es konnte eine Stichprobe in Höhe von 8.047 Personen zur Auswertung herangezogen werden. Insgesamt wurden 642 Personen im Aufzug, 5.646 Personen auf der Fahrtreppe und 1.759 Personen auf der Treppe beobachtet. Die Messstellen wurden nach mehreren Randbedingungen ausgewählt. Einerseits sollten die Standorte mindestens eine Fahrtreppe, einen Aufzug und ein Treppenhaus besitzen. Zur Ermittlung des Modal-Splits wurden die Personen nach der Fahr- bzw. Gehrichtung und der Benützung des Transportmittels ausgewertet. Weiters wurden die Parameter der einzelnen Beförderungsmittel dokumentiert. Diese Parameter waren die Abmessungen, Nutzlasten, Förderhöhen, Beförderungszeiten und Anzahl der Anlagen. Die Messungen wurden in 15 Minuten Intervallen notiert und je Messstelle wurde ein Durchführungszeitraum von 2 Stunden gewählt. Zur weiteren Auswertung wurden auch Zählstandorte gewählt, welche das Fehlen einer Beförderungsanlage aufweisen. Dadurch konnte die Umverteilung ermittelt werden.

Tabelle 30: Anzahl Stichprobe

| | Modalsplit gesamt [Anzahl] | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppenhaus |
| U-Bahnstation, Simmering | 12 | 784 | 29 |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 6 | 425 | 1 |
| U-Bahnstation, Meidling | 31 | 1527 | 144 |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 176 | 805 | 733 |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 44 | 0 | 288 |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 36 | 0 | 180 |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 15 | 0 | 15 |
| Bürogebäude | 42 | 0 | 38 |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 35 | 0 | 27 |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 119 | 0 | 28 |
| Einkaufszentrum | 67 | 1166 | 0 |
| Einzelhandel, Textil | 8 | 170 | 26 |
| Einzelhandel, Buchhandel | 51 | 769 | 250 |
| Gesamt | 642 | 5646 | 1759 |

5.3.1 Durchführung und Darstellung der Erhebung

Die Durchführung der Erhebung erfolgte zu den Spitzenzeiten der jeweiligen Standorte. Durch Rücksprache mit den Betreibern an den einzelnen Standorten wurde die Anzahl jener Personen ermittelt, welche die vertikalen Beförderungsmittel in einem Jahr benützen. Die genaue Anzahl der täglichen Ein- und Aussteiger für jede U-Bahnstation erhielt ich von Frau Pinther, Mitarbeiterin der Wiener Linien. Die Anzahl der Kunden der beiden Einzelhandelsgeschäfte erhielt ich unter der Bedingung der Anonymisierung der Geschäfte von der Filialleitung. Die Kundenfrequenz des Einkaufszentrums erhielt ich durch Herrn Jung, Center-Manager Q19. Anhand des Modal-Splits der Stichprobe und der Kundenzahlen konnte eine Hochrechnung durchgeführt werden. Die Messstellen wurden in vier Überkategorien eingeteilt. In U-Bahnstationen, Wohn- und Bürogebäude, Einzelhandel und Einkaufszentrum. Die Randbedingungen und örtlichen Gegebenheiten werden auf den nachfolgenden Seiten näher beschrieben. Die Messungen erfolgten teilweise mithilfe meiner Freundin, da nicht immer alle Ein- und Ausstiege von einem Punkt ersichtlich waren.

Aufgrund der in dem Durchführungszeitraum der Messungen vorherrschenden COVID-19-Pandemie auf der gesamten Welt, entspricht die Auslastung der U-Bahnstationen nicht dem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen. Es wurden

gering frequentierte U-Bahnstationen ausgewählt, da bei diesen auch bei Normalauslastung kein Rückstau bei den vertikalen Transportmitteln stattfindet. Daher sollte die schwächere Frequenz während dieser Zeit keine großen Auswirkungen auf den Modal-Split haben. In der Kategorie Wohn- und Bürogebäude gab es keine Einschränkung, da die Personen trotz der Krise Ihre Wohneinheiten verlassen und betreten haben. Das ausgewählte Bürogebäude war während der Zählung nahezu voll besetzt. Das Einkaufszentrum war während dem Messzeitraum bis auf ein Geschäft vollständig geöffnet. Die Anzahl der Kunden im Textilhandel ist deutlich geringer als jene in den U-Bahnstationen oder im Einkaufszentrum, wurde durch die Pandemie jedoch nicht beeinträchtigt. Der Verkaufsraum ist ausreichend groß, wodurch keine Kundenanzahlbeschränkung notwendig war.

Tabelle 31: Dokumentation Zählung

| Nutzungstyp | Datum der Messung | Durchführungszeitraum |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 28.04.2020 | 07:00-09:00 |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 28.04.2020 | 07:00-09:00 |
| U-Bahnstation, Meidling | 29.04.2020 | 07:00-09:00 |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 30.04.2020 | 07:00-09:00 |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 05.05.2020 | 07:00-09:00 |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 06.05.2020 | 07:00-09:00 |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 04.05.2020 | 07:00-09:00, 17:00-19:00 |
| Bürogebäude | 06.05.2020 | 11:00-13:00 |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 07.05.2020 | 07:00-09:00, 17:00-19:00 |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 08.05.2020 | 07:00-09:00; 17:00-19:00 |
| Einkaufszentrum | 08.05.2020 | 14:00-16:00 |
| Einzelhandel, Textil | 09.05.2020 | 09:00-11:00 |
| Einzelhandel, Buchhandel | 09.05.2020 | 12:00-14:00 |

5.3.1.1 Messstellen U-Bahnstationen

Die sechs Zählungen erfolgten von 28.04-06.05.2020 in unterschiedlichen Wiener U-Bahnstationen in der Zeit von 07:00-09:00. Jede dieser Verkehrsstationen ist unterschiedlich aufgebaut und weist seine eigene Charakteristik auf. U-Bahnstationen besitzen mindestens einen Aufzug und ein Treppenhaus. In den meisten U-Bahnstationen gibt es auch Fahrtreppenanlagen, um die Menschenmengen abfertigen zu können und den Komfort zu steigern.

U-Bahnstation Simmering

Hierbei handelt es sich um eine Endstation der Linie U3. Täglich gibt es an dieser Station im Durchschnitt 13.687 Einsteiger und 13.022 Aussteiger. Somit handelt es sich hier um eine sehr ausgeglichene Verteilung.



Abbildung 14: U-Bahnstation Simmering

In Abbildung 14 erkennt man drei Fahrtreppen, die Treppenanlage sowie der Aufzug befindet sich dahinter in Höhe der Anzeigetafel. Aufgrund dieser Anordnung konnte bei der Auswertung festgestellt werden, dass die Fahrtreppe zu über 95% aller Personen benutzt wird.

Randbedingungen:

- Förderhöhe 12,2m
- Nutzlast Aufzug 1600 kg
- Stufenanzahl 84
- Betriebstage 365

U-Bahnstation Rochusgasse

Eine weitere Station der Linie U3 wurde in der Ermittlung berücksichtigt. Bei dieser Station handelt es sich um eine Mittelstation mit zwei Treppenhäusern, je einer auf- und abwärtsfahrenden Fahrtreppe und einem Aufzug. Auch hier ist die Situierung der Treppe sowie des Aufzuges hinter der Fahrtreppe, was nur zu

einer sehr geringen Benützung führt. Je Tag steigen im Durchschnitt 15.126 Personen bei dieser Station ein und 14.525 Personen aus.



Abbildung 15: U-Bahnstation Rochusgasse

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 12,5m
- Nutzlast Aufzug 1600 kg
- Stufenanzahl 86
- Betriebstage 365

U-Bahnstation Meidling

Diese Station der Linie U4 besitzt einen Aufzug, eine auf- und abwärtsfahrende Fahrtreppe mit dazwischenliegenden Treppen. Diese Anordnung bewirkt eine erhöhte Nutzung der Treppenanlage.



Abbildung 16: U-Bahnstation Meidling

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 7,2m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 50
- Betriebstage 365

Meidling ist von den ausgewählten Stationen die am meist frequentierte mit 38.106 ein- und 33.525 aussteigenden Personen je Tag.

U-Bahnstation Reumannplatz

Die in Wien 10 situierte Station besitzt beim Ausstieg Quellenstraße eine Treppe, einen Aufzug und eine aufwärtsfahrende Fahrtreppe. Täglich steigen bei dieser Station 26.345 Personen aus und 34.068 Personen ein.



Abbildung 17: U-Bahnstation Reumannplatz 1

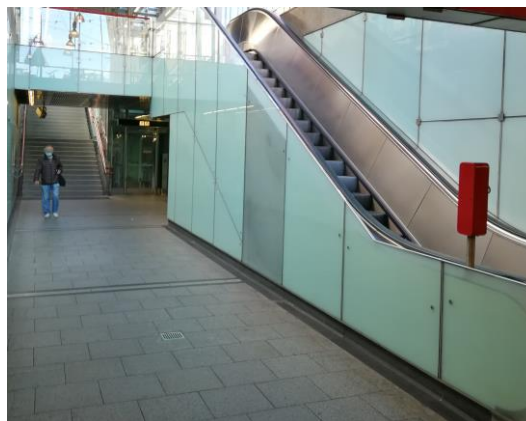


Abbildung 18: U-Bahnstation Reumannplatz 2

Die Situierung der Fahrtreppe ist ähnlich zur Station Simmering und Rochusgasse. Durch diese Anordnung wird die Benützung der Fahrtreppe gesteigert. Da es jedoch keine abwärtsfahrende Rolltreppe gibt wird die Aufzugs- und Treppenanlage deutlich öfter als in den beiden anderen Stationen genutzt.

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 3,5m
- Nutzlast Aufzug 1600 kg
- Stufenanzahl 24
- Betriebstage 365

U-Bahnstation Perfektastraße

Diese Station weist je zwei Aufzüge und Treppenanlagen auf und befindet sich in Hochlage. Die Frequenz bei dieser Station ist deutlich geringer mit 3.069 Ein- und 4.506 Aussteigern.



Abbildung 19: U-Bahnstation Perfektastraße

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 4,8m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 33
- Betriebstage 365

Beide Beförderungsmittel sind nahezu gleich gut ersichtlich, die exakte Verteilung wird im nachfolgenden Kapitel ausgewertet.

U-Bahnstation Siebenhirten

Die Endstation der Linie U6 weist die geringste Förderhöhe aller durchgeführten Messstellen auf. Auch hier befindet sich die Station in Hochlage. Die Fahrrichtungen sind von zwei Bahnsteigen zu erreichen. Bei der Messung

konnte nur die Fahrtrichtung nach Floridsdorf gemessen werden. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird die gleiche Verteilung in Richtung Siebenhirten aufgrund derselben Anordnung der Verkehrsmittel angenommen.

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 2,8m
- Nutzlast Aufzug 1600 kg
- Stufenanzahl 19
- Betriebstage 365

Mit 5.712 Ein- und 5.282 Aussteigern befindet sich diese Verkehrsstation an vorletzter Stelle der Personenanzahlen.



Abbildung 20: U-Bahnstation Siebenhirten

5.3.1.2 Messstellen Einzelhandel

Es wurden mehrere Einzelhandelsgeschäfte beobachtet und zwei Messungen durchgeführt. Bei meinen Beobachtungen konnte festgestellt werden, dass in den meisten Einzelhandelsgeschäften die Treppe nur als Fluchtweg abgetrennt situiert ist. Der Aufzug ist meist nur bei näherem Betrachten aufzufinden. Bei Vorhandensein einer Fahrtreppe wird auch diese in den meisten Fällen benutzt.

Einzelhandel Textil

Aufgrund sensibler Daten der Kundenfrequenz der Betreiber muss auf Fotos und eine namentliche Nennung des Textilhandels verzichtet werden. Der

Einzelhandel besitzt einen Aufzug, eine Treppe und zwei Fahrtreppen. Nach dem Eintreten steht man fast direkt vor der Fahrtreppe, wodurch die Benützung fast vorgegeben wird. Die Treppe und der Aufzug sind trotzdem gut ersichtlich und werden auch teilweise benutzt. Die Frequenz ist im Verhältnis zur U-Bahn deutlich geringer. Etwa 600 Kunden betreten täglich das Geschäft.

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 6m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 38
- Betriebstage 300

Einzelhandel Buchhandel

Aufgrund sensibler Daten der Kundenfrequenz der Betreiber muss auf Fotos und eine namentliche Nennung des Buchhandels verzichtet werden. Der Buchhandel besitzt insgesamt sechs Fahrtreppen, einen Aufzug und eine Treppe. Das Gebäude verfügt über insgesamt 4 Geschoße. Bei der Messung konnten drei der vier Geschoße beobachtet und ausgewertet werden. Die Verteilung des Modal-Splits in das Untergeschoß wird als gleich mit denen in den Obergeschoßen angenommen. Mit einer Kundenanzahl von knapp unter 5.000 je Öffnungstag ist dieses Geschäft deutlich höher frequentiert als der Textilhandel.

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 12m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 66
- Betriebstage 300

5.3.1.3 Einkaufszentrum

Einkaufszentren bestehen unter anderem aus mehreren Einzelhandelsgeschäften trotzdem gibt es Unterschiede in der Anordnung und im Modal-Split. Das in Wien 19 situierte Einkaufszentrum verfügt über insgesamt 4 Fahrtreppen und 7 Liftanlagen sowie einer Fluchtstiege. Das Treppenhaus ist für den Besucher kaum ersichtlich und nur schwer zu erreichen, daher wurde dieses bei der gesamten Messung nicht einmal verwendet. Das Gebäude verfügt

über insgesamt 8 Etagen, wobei 6 davon Parkgarage sind und nur zwei Verkaufsebenen. Es wurden bei diesem Gebäude mehrere Messungen durchgeführt. Für die Ermittlung der Lebenszykluskosten und die anschließende Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden 2 Fahrtreppen und 3 Aufzugsanlagen betrachtet. Abbildung 17 zeigt den Messpunkt von welchem alle Beförderungsmittel betrachtet werden konnten. Die Personen zur Ermittlung des Modal-Splits wurden im Aufzug nur gezählt, wenn sie sich innerhalb der Ebenen 0 und 1 bewegten. Zusätzlich wurde eine weitere Messung der gesamten Aufzugsfahrten unterteilt nach Fahrtrichtung durchgeführt. In etwa 9.700 Personen werden im Durchschnitt an jedem Öffnungstag befördert.

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 4,75m
- Nutzlast Aufzug 3000 kg
- Stufenanzahl 27
- Betriebstage 300



Abbildung 21: Einkaufszentrum Q19

5.3.1.4 Wohn-, Bürogebäude

In der letzten Kategorie wurden insgesamt drei Wohnhäuser und ein Bürogebäude mit unterschiedlichen Geschoßen untersucht. Jedes Objekt besitzt

eine Aufzugsanlage und ein Treppenhaus somit ist eine gute Vergleichbarkeit des ausgewerteten Modal-Splits gewährleistet.

Wohngebäude 11 Geschoße

Treppe und Aufzug sind gleich gut nach dem Betreten des Gebäudes zu erreichen. Das Gebäude befindet sich in 1020 Wien und verfügt über einem Untergeschoß, einem Erdgeschoß und 9 Obergeschoßen. Insgesamt besitzt das Gebäude knapp 100 Wohneinheiten. Es wurde angenommen, dass jede Person in der Früh das Haus verlässt, dazwischen nach Hause kommt und das Gebäude anschließend noch einmal verlässt sowie wieder betritt. Pro Wohneinheit wurden 2,5 Personen angenommen, dies entspricht somit einer zu transportierenden Personenanzahl von 1.000 Personen je Tag.



Abbildung 22: Wohngebäude 11 Geschoße

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 30m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 200
- Betriebstage 365

Wohnhaus 7 Geschoße

Das Gebäude verfügt über einem Untergeschoß, einem Erdgeschoß und 5 Obergeschoßen. Der Lift ist in der Spindel der Treppenanlage situiert. Der Wiener

Gemeindebau befindet sich in Simmering und besteht aus 48 Wohneinheiten. Die Annahmen bzgl. der Häufigkeit und der Personenanzahl je Wohneinheit wurde aus dem vorherigen Wohngebäude übernommen, woraus 480 zu befördernden Personen je Tag ermittelt wurden.

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 18m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 120
- Betriebstage 365

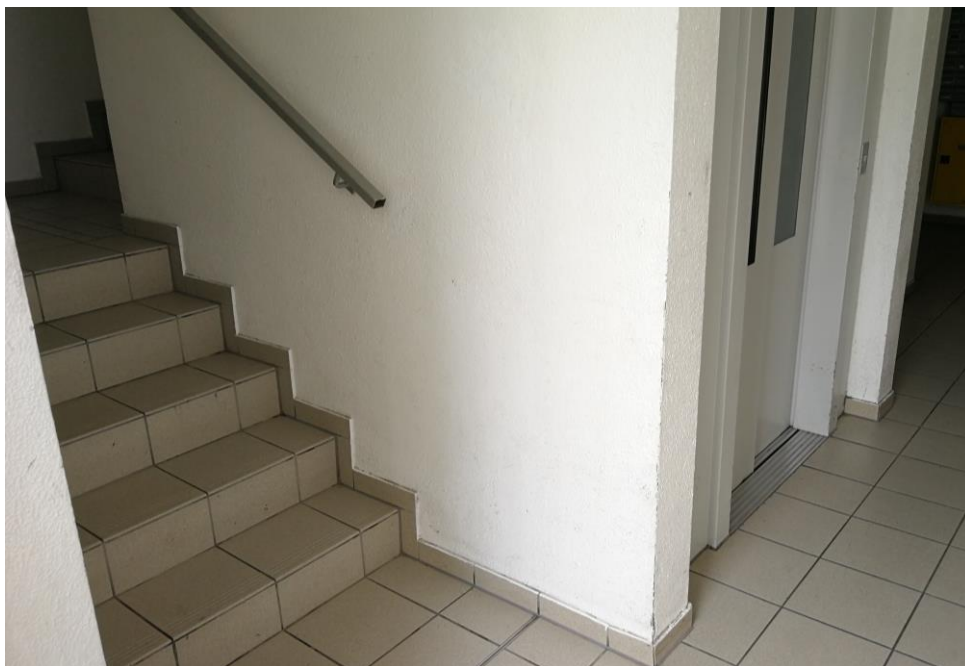


Abbildung 23: Wohnhaus 7 Geschoße

Wohnhaus 4 Geschoße

Das Objekt befindet sich in 2533, Klausen-Leopoldsdorf und besitzt ein Untergeschoß, ein Erdgeschoß und zwei Obergeschoße. Insgesamt 24 Wohneinheiten, eine Treppenanlage und einen Lift besitzt das Wohnhaus. Dieselben Annahmen wie bei den beiden anderen Wohnhäusern wurden bzgl. der zu transportierenden Personen getroffen. Täglich gehen somit ca. 120 Personen abwärts und 120 Personen aufwärts.

Randbedingungen:

- Förderhöhe: 18m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 57
- Betriebstage 365



Abbildung 24: Wohnhaus 4 Geschoße

Bürogebäude

Das Bürogebäude befindet sich in Wien Simmering und besteht aus einem Erdgeschoß und 5 Obergeschoßen. Aufgrund des Datenschutzes wird auch bei diesem Gebäude auf Fotos der Liegenschaft verzichtet. Das Gebäude besitzt einen Lift, welcher sich in der Spindel der Treppe befindet und eine Treppe.

- Förderhöhe: 15m
- Nutzlast Aufzug 1000 kg
- Stufenanzahl 100
- Betriebstage 250

Es befinden sich in etwa 100 Mitarbeiter täglich im Gebäude. Unter der Annahme, dass der Mitarbeiter in der Früh kommt, zu Mittag das Gebäude verlässt, anschließend wieder betritt und abends verlässt werden an den Betriebstagen 400 Personen befördert.

5.3.2 Auswertung der Erhebung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Messungen dargestellt und anschließend ausgewertet. Die Auswertung des Modal-Splits erfolgt nach Fahrtrichtung und den Nutzungen der Gebäude.

In Tabelle 32 sind die gezählten Personen nach Fahrtrichtung und gewähltem Verkehrsmittel erfasst worden.

Tabelle 32: Messdaten nach Fahrtrichtung und Verkehrsmittelwahl

| Nutzungstyp | Modalsplit aufwärts [Anzahl] | | | Modalsplit abwärts [Anzahl] | | |
|-------------------------------|------------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppenhaus | Aufzug | Fahrtreppe | Treppenhaus |
| U-Bahnstation, Simmering | 4 | 243 | 6 | 8 | 541 | 23 |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 0 | 296 | 0 | 6 | 129 | 1 |
| U-Bahnstation, Meidling | 11 | 880 | 100 | 20 | 647 | 44 |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 26 | 805 | 75 | 150 | n.v. | 658 |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 25 | n.v. | 95 | 19 | n.v. | 193 |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 36 | n.v. | 180 | n.g. | n.v. | n.g. |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 12 | n.v. | 10 | 3 | n.v. | 5 |
| Bürogebäude | 23 | n.v. | 17 | 19 | n.v. | 21 |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 22 | n.v. | 16 | 13 | n.v. | 11 |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 72 | n.v. | 12 | 47 | n.v. | 16 |
| Einkaufszentrum | 33 | 581 | 0 | 34 | 585 | 0 |
| Einzelhandel, Textil | 4 | 96 | 4 | 4 | 74 | 22 |
| Einzelhandel, Buchhandel | 29 | 392 | 114 | 22 | 377 | 136 |
| Gesamt | 297 | 3293 | 629 | 345 | 2353 | 1130 |

5.3.2.1 Auswertung U-Bahnstationen

Bei den sechs Messungen an den Wiener U-Bahnstationen wurden insgesamt 5.221 Personen erfasst. Davon bewegten sich 53% aufwärts und 47% abwärts.

Tabelle 33: Modal Split U-Bahn Aufwärts

| Nutzung | Aufwärts | | |
|--------------------------------|----------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| U-Bahn-Station Simmering | 2% | 96% | 2% |
| U-Bahn-Station Rochusgasse | 0% | 100% | 0% |
| U-Bahn-Station, Meidling | 1% | 89% | 10% |
| U-Bahn-Station, Reumannplatz | 3% | 89% | 8% |
| U-Bahn-Station, Perfektastraße | 21% | n.v. | 79% |
| U-Bahn-Station, Siebenhirten | 17% | n.v. | 83% |

In Tabelle 33 ist die Verteilung der Personen für die Überwindung des Höhenunterschiedes von unten nach oben ersichtlich. Bei Vorhandensein aller drei Transportmitteln sieht man eine Nutzung des Aufzuges von max. 3%. Dieser Wert spiegelt sich in der Diplomarbeit von Herrn Baumgartner wider. Die Treppe wird laut seiner Stichprobe zu 31,5% genutzt hingegen bei diesen Zählungen nur zu maximal 10%. Sieht man sich in Tabelle 34 den Modal-Split bei der

Abwärtsbewegung an, erkennt man, dass die Fahrtreppe noch häufiger zu Lasten der Treppe genutzt wird. Bei Nichtvorhandensein einer Fahrtreppe wird die Treppe in 4 von 5 Fällen verwendet.

Tabelle 34: Modal-Split U-Bahn Abwärts

| Nutzung | Abwärts | | |
|--------------------------------|---------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| U-Bahn-Station Simmering | 1% | 95% | 4% |
| U-Bahn-Station Rochusgasse | 4% | 95% | 1% |
| U-Bahn-Station, Meidling | 3% | 91% | 6% |
| U-Bahn-Station, Reumannplatz | 19% | n.v. | 81% |
| U-Bahn-Station, Perfektastraße | 9% | n.v. | 91% |
| U-Bahn-Station, Siebenhirten | 7% | n.v. | 93% |

In den beiden Stationen Perfektastraße und Siebenhirten ist die Förderhöhe sehr gering und der Austritt der Treppe vom Eintritt ersichtlich. Somit wird der Aufzug der Beobachtung nach hauptsächlich von Personen verwendet, die ihn aufgrund ihres körperlichen Zustandes benötigen. Weiters wurde der Zeitbedarf für jedes Verkehrsmittel bestimmt. Dabei konnte für Fahrtreppe und Treppe, bei Voraussetzung einer durchschnittlich fitten Person, kein Zeitunterschied festgestellt werden. Der Aufzug benötigt bei Förderhöhen um 8m in etwa gleich lang. Bei höheren Förderhöhen ergibt sich sogar ein Zeitvorteil gegenüber den anderen Transportmitteln.

Tabelle 35: Zeitbedarf Verkehrsmittel U-Bahn

| Nutzungstyp | Zeitbedarf [sek] | | |
|-------------------------------|------------------|------------|-------------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppenhaus |
| U-Bahnstation, Simmering | 34,5 | 45 | 38 |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 46,5 | 50 | 50 |
| U-Bahnstation, Meidling | 37 | 35 | 35 |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 30 | 15 | 13 |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 30 | n.v. | 25 |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 27 | n.v. | 15 |

Der Zeitbedarf für den Aufzug wurde zweimal gestoppt und anschließend gemittelt. Das erste Mal erfolgte die Zeitmessung ab dem Rufen des Aufzuges bei Vorhandensein im Einstiegsgeschoß und einmal im Ausstiegsgeschoß. Diese beiden Zeiten wurden anschließend gemittelt.

5.3.2.2 Auswertung Einzelhandel

Bei den beiden Messungen konnte ein Modal-Split lt. Tabelle 36 und 37 ermittelt werden. Die Stichprobe umfasst insgesamt 1.274 Personen mit einer annähernd ausgeglichen Verteilung von auf- und abwärtsfahrenden Personen.

Tabelle 36: Modal-Split Einzelhandel Aufwärts

| Nutzung | Aufwärts | | |
|-------------------------|----------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Einzelhandel Textil | 4% | 92% | 4% |
| Einzelhandel Buchhandel | 5% | 73% | 21% |

Tabelle 37: Modal-Split Einzelhandel Abwärts

| Nutzung | Abwärts | | |
|-------------------------|---------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Einzelhandel Textil | 4% | 74% | 22% |
| Einzelhandel Buchhandel | 4% | 70% | 25% |

Die Nutzung des Aufzuges ist ähnlich gering wie bei der U-Bahn. Hingegen wurde die Treppe vor allem bei der Abwärtsbewegung von bis zu 25% der Kunden verwendet. Bei der Aufwärtsbewegung im Textilhandel wird die Treppe nur in 4% aller Fälle verwendet, dies lässt sich durch die zentrale Lage der Fahrtreppen direkt vor dem Eingang erklären. Wenn man sich im Obergeschoß befindet ist die Treppe besser ersichtlich und wird daher auch öfters genutzt. Der Zeitbedarf im Textilhandel ist für den Aufzug um etwa 50% höher als mit der Fahrtreppe oder der Treppe. Im Buchhandel ist dies bei Überwindung von nur einem Geschoß ähnlich, jedoch kann dieser Zeitnachteil bei zwei oder drei Geschoßen egalisiert werden.

Tabelle 38: Zeitbedarf Transportmittel Einzelhandel

| Nutzungstyp | Zeitbedarf [sek] | | |
|--------------------------|------------------|------------|-------------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppenhaus |
| Einzelhandel, Textil | 35 | 25 | 25 |
| Einzelhandel, Buchhandel | 45 | 20 | 20 |

5.3.2.3 Einkaufszentrum

Im Einkaufszentrum wurden 614 aufwärts- und 619 abwärtsfahrende Personen gezählt. Bei dieser Stichprobe konnte keine Person festgestellt werden, welche das Treppenhaus verwendete.

Tabelle 39: Modal-Split Einkaufszentrum Aufwärts

| Nutzung | Aufwärts | | |
|-----------------|----------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Einkaufszentrum | 5% | 95% | 0% |

Tabelle 40: Modal-Split Einkaufszentrum Abwärts

| Nutzung | Abwärts | | |
|-----------------|---------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Einkaufszentrum | 5% | 95% | 0% |

Bei dieser Auswertung wurden nur jene Personen berücksichtigt, welche sich von Geschoß 0 in das Geschoß 1 bewegten bzw. umgekehrt. Da sich in den darüber- und darunterliegenden Geschoßen die Parkebenen befinden wurden weitere Messungen durchgeführt. In derselben Zeit wurden alle mit dem Aufzug fahrenden Personen nach Ihrer Fahrtrichtung notiert. In Tabelle 41 erkennt man, dass der Aufzug über 7-mal öfters in Verwendung war als lt. der ersten Auswertung.

Tabelle 41: Anzahl Personen Aufzug nach Geschoßen

| Personen gesamt | | Personen zw Geschoß 0-1 | |
|-----------------|---------|-------------------------|---------|
| Aufwärts | Abwärts | Aufwärts | Abwärts |
| 245 | 243 | 33 | 34 |

Verwendet man diese Werte zur Auswertung des Modal-Splits ergeben sich nachfolgende Ergebnisse.

Tabelle 42: Modal-Split Einkaufszentrum Gesamtfahrten Aufwärts

| Nutzung | Aufwärts | | |
|-----------------|----------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Einkaufszentrum | 30% | 70% | 0% |

Tabelle 43: Modal-Split Einkaufszentrum Gesamtfahrten Abwärts

| Nutzung | Abwärts | | |
|-----------------|---------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Einkaufszentrum | 30% | 70% | 0% |

Da jedoch keine Fahrtreppe in die Parkhäuser führt, ist dieses Ergebnis nicht mit den anderen Gebäuden vergleichbar und wird daher nicht für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung herangezogen.

5.3.2.4 Wohn-, Bürogebäude

In den Wohn- und Bürogebäuden wurden insgesamt 319 Personen erfasst. In den Tabellen 44 und 45 ist der Modal-Split je Fahrtrichtung ausgewertet worden.

Tabelle 44: Modal-Split Wohn-, Bürogebäude Aufwärts

| Nutzung | Aufwärts | | |
|----------------------|----------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Wohnhaus 11 Geschoße | 86% | n.v. | 14% |
| Wohnhaus 7 Geschoße | 58% | n.v. | 42% |
| Wohnhaus 4 Geschoße | 55% | n.v. | 45% |
| Bürogebäude | 57% | n.v. | 43% |

Tabelle 45: Modal-Split Wohn-, Bürogebäude Abwärts

| Nutzung | Abwärts | | |
|----------------------|---------|------------|--------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| Wohnhaus 11 Geschoße | 75% | n.v. | 25% |
| Wohnhaus 7 Geschoße | 54% | n.v. | 46% |
| Wohnhaus 4 Geschoße | 38% | n.v. | 63% |
| Bürogebäude | 48% | n.v. | 53% |

Anhand dieser beiden Tabellen erkennt man, dass mit zunehmender Höhe des Gebäudes die Benützung des Aufzuges zunimmt. Im niedrigsten Wohnhaus ist die Verteilung zwischen Aufzug und Treppe noch ausgeglichen wobei beim 11-geschoßigen Wohnbau bereits 75 bis 86% aller Bewohner den Aufzug nutzen. Je höher die Anzahl der überwindenden Stockwerke sind desto höher wird die Zeitersparnis bei der Fahrt mit dem Aufzug. Weiters ist die Bewältigung von 8-10 Stockwerken auch eine körperliche Herausforderung. In den beiden Tabellen erkennt man außerdem, dass Personen die Treppe beim Abwärtsgehen deutlich häufiger verwenden als beim Aufwärtsgehen.

5.3.2.5 Modal-Split gesamt

Zur Ermittlung des gesamten Modal-Splits wurde das Verhältnis der auf- und abwärtsbefördernden Personen berücksichtigt.

Tabelle 46: Modal-Split gesamt

| Nutzung | Personen je Tag | | Gesamt | | |
|--------------------------------|-----------------|---------|--------|------------|--------|
| | Aufwärts | Abwärts | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe |
| U-Bahn-Station Simmering | 51% | 49% | 1% | 95% | 3% |
| U-Bahn-Station Rochusgasse | 51% | 49% | 2% | 97% | 0% |
| U-Bahn-Station, Meidling | 53% | 47% | 2% | 90% | 8% |
| U-Bahn-Station, Reumannplatz | 44% | 56% | 12% | 39% | 50% |
| U-Bahn-Station, Perfektastraße | 41% | 59% | 14% | n.v. | 86% |
| U-Bahn-Station, Siebenhirten | 52% | 48% | 12% | n.v. | 88% |
| Einkaufszentrum | 50% | 50% | 5% | 95% | 0% |
| Einzelhandel Textil | 50% | 50% | 4% | 83% | 13% |
| Einzelhandel Buchhandel | 50% | 50% | 5% | 72% | 23% |
| Wohnhaus 11 Geschoße | 50% | 50% | 81% | n.v. | 20% |
| Wohnhaus 7 Geschoße | 50% | 50% | 56% | n.v. | 44% |
| Wohnhaus 4 Geschoße | 50% | 50% | 46% | n.v. | 54% |
| Bürogebäude | 50% | 50% | 52% | n.v. | 48% |

In Tabelle 46 ist ersichtlich, dass bei Vorhandensein einer Fahrtreppe in beiden Fahrrichtungen, diese zumindest zu 83% benützt wird, mit Ausnahme des Buchhandels mit nur 72%. Bei Nichtvorhandensein sieht die Verteilung im öffentlichen Raum und im Privatbereich komplett konträr aus. Im Wohnbau nimmt die Zunahme der Liftbenützung mit der Förderhöhe drastisch zu, beginnend bei einem ausgeglichenen Verhältnis. Im U-Bahnbereich wird der Aufzug trotz des Fehlens der Fahrtreppe in nur 12-14 Prozent genutzt.

5.4 Durchführen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

„Wirtschaftlichkeit ist eine betriebswirtschaftliche Kennzahl, deren Maß Effizienz ist. Sie beschreibt das Verhältnis zwischen dem erreichten Erfolg und dem dafür erforderlichen Aufwand (Kosten.)“ [37]

In dieser Arbeit wird unter dem Erfolg, die Anzahl der befördernden Personen über den Lebenszyklus verstanden. Der erforderliche Aufwand entspricht den Lebenszykluskosten.

Nachfolgend werden die zu befördernden Personen über einen Zeitraum von 20 Jahren anhand der Daten der Betreiber bzw. eigener Messungen und Berechnungen ermittelt.

Tabelle 47: Ermittlung Personenanzahl über den Lebenszyklus

| Nutzung | Personen je Tag | Betriebstage | jährliche Veränderung |
|--------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------|
| U-Bahn-Station Simmering | 26 709 | 365 | -0,71% |
| U-Bahn-Station Rochusgasse | 29 651 | 365 | -0,71% |
| U-Bahn-Station, Meidling | 71 631 | 365 | -0,71% |
| U-Bahn-Station, Reumannplatz | 60 413 | 365 | -0,71% |
| U-Bahn-Station, Perfektastraße | 7 575 | 365 | -0,71% |
| U-Bahn-Station, Siebenhirten | 10 994 | 365 | -0,71% |
| Einkaufszentrum | 9 700 | 300 | 2,00% |
| Einzelhandel Textil | 1 200 | 300 | 1,50% |
| Einzelhandel Buchhandel | 9 500 | 300 | 1,50% |
| Wohnhaus 11 Geschoße | 1 000 | 365 | 0,00% |
| Wohnhaus 7 Geschoße | 480 | 365 | 0,00% |
| Wohnhaus 4 Geschoße | 240 | 365 | 0,00% |
| Bürogebäude | 400 | 250 | 0,00% |

Tabelle 47 zeigt die zu befördernden Personen je Tag, die Anzahl der Betriebstage je Jahr und die jährliche Veränderung der Frequenz. Die Veränderung der Kundenfrequenz der U-Bahnstationen stammt direkt von den Wiener Linien, gleiches gilt für die Veränderung der Kundenzahlen des Einkaufszentrums und der Einzelhandelsgeschäfte, welche direkt vom Center Manager bzw. Filialleiter stammen. Die Anzahl der Wohneinheiten bzw. Büroräume verändern sich über die Zeit nicht, daher bleibt diese Frequenz über den Zeitraum von 20 Jahren unverändert.

Tabelle 48: Beförderte Personen über den gesamten Lebenszyklus

| Nutzung | beförderte Personen |
|--------------------------------|---------------------|
| U-Bahn-Station Simmering | 8 453 970 |
| U-Bahn-Station Rochusgasse | 9 385 176 |
| U-Bahn-Station, Meidling | 22 672 744 |
| U-Bahn-Station, Reumannplatz | 19 122 007 |
| U-Bahn-Station, Perfektastraße | 2 397 650 |
| U-Bahn-Station, Siebenhirten | 3 479 836 |
| Einkaufszentrum | 4 324 107 |
| Einzelhandel Textil | 484 868 |
| Einzelhandel Buchhandel | 3 838 537 |
| Wohnhaus 11 Geschoße | 365 000 |
| Wohnhaus 7 Geschoße | 175 200 |
| Wohnhaus 4 Geschoße | 87 600 |
| Bürogebäude | 100 000 |

Tabelle 48 zeigt, dass über einen Zeitraum von 20 Jahren bei größeren Verkehrsstationen mehr als 20 Millionen Personen befördert werden. Im

Buchhandel und Einkaufszentrum werden auch in etwa 4 Millionen Kunden transportiert.

Im nächsten Schritt werden die beförderten Personen für jedes Gebäude durch die gesamten Lebenszykluskosten der vertikalen Transportmittel dividiert und die Kosten je beförderte Person ermittelt.

Tabelle 49: Lebenszykluskosten vertikaler Verkehr

| Nutzungstyp | Lebenszykluskosten | | | Gesamtkosten vertikaler Verkehr |
|-------------------------------|--------------------|----------------|--------------|---------------------------------|
| | Aufzug | Fahrtreppe | Treppe | |
| U-Bahnstation, Simmering | 280 559,52 € | 1 732 115,58 € | 105 978,18 € | 2 118 653,27 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 268 313,40 € | 1 186 523,41 € | 124 001,68 € | 1 578 838,49 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 270 486,97 € | 1 092 690,10 € | 55 872,85 € | 1 419 049,92 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 279 307,38 € | 531 477,82 € | 20 763,07 € | 831 548,27 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 269 075,77 € | n.v. | 32 117,88 € | 301 193,65 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 275 032,32 € | n.v. | 18 492,11 € | 293 524,43 € |
| Einkaufszentrum | 854 873,52 € | 797 646,16 € | 16 545,57 € | 1 669 065,25 € |
| Einzelhandel Textil | 274 353,88 € | 702 520,84 € | 39 723,79 € | 1 016 598,51 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 277 881,88 € | 2 225 554,44 € | 45 202,94 € | 2 548 639,26 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 283 966,55 € | n.v. | 30 820,19 € | 314 786,74 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 289 523,15 € | n.v. | 64 884,60 € | 354 407,75 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 296 579,15 € | n.v. | 100 931,60 € | 397 510,75 € |
| Bürogebäude | 287 759,15 € | n.v. | 57 675,20 € | 345 434,35 € |

In Tabelle 50 werden die Kosten / beförderte Person je Gebäude bzw. Nutzungstyp ermittelt.

Tabelle 50: Kosten / beförderte Person und Gebäude

| Nutzungstyp | Kosten /beförderte Person je Nutzung |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| U-Bahnstation, Simmering | 0,25 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 0,17 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 0,06 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 0,04 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 0,13 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 0,08 € |
| Einkaufszentrum | 0,39 € |
| Einzelhandel Textil | 2,10 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 0,66 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 3,59 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 2,02 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 1,09 € |
| Bürogebäude | 3,45 € |

Die Kosten variieren zwischen 4 und 345 Cent für die Beförderung einer Person. Dies ist ein Faktor von 86,25 und somit eine sehr hohe Schwankungsbreite. Die Verkehrsstationen weisen aufgrund der hohen Frequenz die niedrigsten Kosten und somit die beste Wirtschaftlichkeit auf. Der

Buchhandel hat trotz der höchsten Lebenszykluskosten der Messstellen, eine noch im Mittelfeld liegende Wirtschaftlichkeit. Als nächstes wird die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Transportmittel in Abhängigkeit des Modal-Splits betrachtet.

Tabelle 51: Wirtschaftlichkeit des Aufzugs

| Nutzungstyp | Kosten /beförderte Person je Nutzung |
|-------------------------------|---|
| U-Bahnstation, Simmering | 2,28 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 2,06 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 0,65 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 0,14 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 0,85 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 0,47 € |
| Einkaufszentrum | 3,64 € |
| Einzelhandel Textil | 14,43 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 1,52 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 6,48 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 2,93 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 1,00 € |
| Bürogebäude | 5,48 € |

Die Kosten der Aufzugsanlage für den Transport eines Kunden schwanken zwischen 0,14 € und 14,43 €. Der Textilhandel sticht bei dieser Betrachtung besonders aus der Reihe aufgrund der sehr geringen Personenfrequenz über den gesamten Zeitraum. Das 4-geschoßige Wohngebäude und der Bürobau sind, wie auch bei der gesamten Wirtschaftlichkeit des vertikalen Verkehrs, am unwirtschaftlichsten.

Tabelle 52: Wirtschaftlichkeit der Fahrtreppe

| Nutzungstyp | Kosten /beförderte Person je Nutzung |
|-----------------------------|---|
| U-Bahnstation, Simmering | 0,22 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 0,13 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 0,05 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 0,06 € |
| Einkaufszentrum | 0,20 € |
| Einzelhandel Textil | 1,74 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 0,81 € |

Aufgrund der hohen Auslastung der Verkehrsstationen sind die Kosten umgelegt auf die einzelne Person sehr wirtschaftlich. Da die Benützung im Textilhandel für eine Fahrtreppe sehr gering ist, ist dieser wesentlich unwirtschaftlicher.

Zuletzt ist die Wirtschaftlichkeit der Treppe in Tabelle 53 ersichtlich. Aufgrund der schlechten Sichtbarkeit der Treppenanlage und der hohen Förderhöhe in der U-Bahnstation Rochusgasse wurde diese kaum verwendet. Da die Anschaffungskosten einer Treppe sehr gering sind und keine weiteren Kosten über den Betrachtungszeitraum anfallen, ist die Wirtschaftlichkeit bereits bei geringer Benützung sehr hoch. Bei Nichtvorhandensein einer Fahrtreppe sind die Kosten bei unter 10 Cent für den Transport einer Person über die gesamte Förderhöhe.

Tabelle 53: Wirtschaftlichkeit der Treppe

| Nutzungstyp | Kosten /beförderte Person je Nutzung |
|-------------------------------|---|
| U-Bahnstation, Simmering | 0,36 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 5,71 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 0,03 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 0,0025 € |
| U-Bahnstation, Perfektastraße | 0,02 € |
| U-Bahnstation, Siebenhirten | 0,0064 € |
| Einkaufszentrum | #DIV/0! |
| Einzelhandel Textil | 0,64 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 0,05 € |
| Wohnhaus, 4 Geschoße | 0,70 € |
| Wohnhaus, 7 Geschoße | 0,85 € |
| Wohnhaus, 11 Geschoße | 1,45 € |
| Bürogebäude | 1,21 € |

Vergleicht man nun die Tabellen 50 bis 53 miteinander erkennt man, dass die U-Bahnstation Reumannplatz in allen Kategorien der Wirtschaftlichkeit die geringsten Kosten für den Transport einer einzelnen Person aufweist. Ausgenommen in der Kategorie Fahrtreppe liegt diese Station knapp hinter der Verkehrsstation Meidling.

Mit dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung konnte festgestellt werden, dass die Wiener Linien, welche als einzige Nutzungskategorie die Beförderung von Personen als Hauptgeschäft haben, auch die höchste Wirtschaftlichkeit und somit die geringsten Kosten erreichen. Bei allen anderen Gebäuden steht die Beförderung nicht im Vordergrund, sondern dient nur zur Zweckerreichung des eigentlichen Tätigkeitsfeldes. Trotz des Fehlens einer Fahrtreppe im Wohn- und Bürogebäude sind die Kosten für die vertikale Beförderung aufgrund der geringen Personenfrequenz am höchsten.

Die Kosten für den Transport mittels Aufzugs sinken stark mit Zunahme der Förderhöhe. Im Einkaufszentrum ist die Wirtschaftlichkeit des Aufzuges unter Berücksichtigung der Benützung des Parkhauses wesentlich höher und man sollte, diesen Wert nicht überbewerten. Weiters zeigt sich, dass der Aufzug vor allem zur Gewährleistung der Barrierefreiheit dient und nicht in allen Fällen wirtschaftlich.

Für zukünftige Planungen könnte versucht werden den Einsatz von Aufzugs- und Fahrtreppenanlagen soweit wie möglich zu minimieren und so die Kosten über den gesamten Lebenszyklus zu senken. Zur Steigerung des Komforts ist das Vorhandensein einer Fahrtreppenanlage trotzdem zu empfehlen und bei entsprechender Auslastung ist diese ähnlich wirtschaftlich wie eine Treppenanlage.

6 Beantwortung der Forschungsfragen

6.1 Welche Möglichkeiten der Reduzierung des Stromverbrauchs gibt es und wie unterscheiden sich die großen Hersteller von Aufzügen und Fahrtreppen diesbezüglich voneinander?

Bei Aufzugsanlagen fällt ein sehr hoher Anteil des Energieverbrauches auf den Stand-by-Modus. Durch effiziente Netzteile, Abschaltung der Anzeige, des Kabinentableau und der Lüftung bei Stillstand können Kosten eingespart werden. Durch den Einsatz von LED-Leuchten, welche sich ebenfalls bei Nichtbenützung abschalten kann die Lebensdauer erhöht und der Energieverbrauch gesenkt werden. Durch den Einsatz einer Zielrufsteuerung, können die Wartezeiten verkürzt und die Anzahl der Fahrten minimiert werden. Diese ist erst bei Vorhandensein mehrerer Aufzugsanlagen mit einer großen Förderhöhe sinnvoll. Doch nicht nur mit modernsten Techniken kann Energie eingespart werden, sondern auch bei der Planung sollte die genaue Transportkapazität analysiert werden, da eine zu geringe, wie auch zu hoher Auslastung zu einem höheren Stromverbrauch führt. Bei hoher Frequenz und großen Förderhöhen kann die Überlegung eines rückspeisefähigen Umrichters sinnvoll werden. Durch den Einsatz dieser Lösungsmöglichkeiten kann der Energieverbrauch um 50% reduziert werden.

Fahrtreppen können sehr hohe Personenströme bewältigen, diese fallen jedoch nur selten über den gesamten Tagesverlauf an. Der Einsatz von Powermanagementsystemen zur Reduzierung der Geschwindigkeit bzw. Stillstand nach längerem nichtbenützen der Anlage führt zur Einsparung von bis zu 40% an Energiekosten. Durch den Einsatz effizienter Antriebssysteme mit einem hohen Wirkungsgrad sowie Komponenten mit niedrigem Energieverbrauch kann der hohe Energieverbrauch von Fahrtreppen minimiert werden. Weiters versuchen die Hersteller das Gewicht stetig zu reduzieren ohne Verlust der Qualität. Bei großen Förderhöhen kann der Einsatz einer Energierückgewinnung bei der Abwärtsfahrt sinnvoll werden.

Die vier großen Hersteller Schindler, Otis, Kone und ThyssenKrupp forschen alle an der Optimierung des Energieverbrauches. Jeder Hersteller hat seine

eigens entwickelten Lösungsansätze, welche jedoch den oben beschriebenen Möglichkeiten entsprechen.

6.2 Wie hoch ist die Verfügbarkeit von Fahrtreppen und Aufzügen und wie verändert sich die Verteilung bei Ausfall eines Transportmittels?

Jeder kennt es, den handgeschriebenen Zettel auf der Aufzugsanlage mit den Worten „Außer Betrieb“. Ähnliches wird an Fahrtreppen festgestellt und die Bewältigung der hohen stehenden Stufen der Anlage sind alles andere als bequem. Doch wie hoch ist die Verfügbarkeit von Aufzügen und Fahrtreppen in der Realität? Mit dieser Frage habe ich mich während meiner Ausarbeitung beschäftigt und konnte feststellen, dass Fahrtreppenhersteller eine Verfügbarkeit zwischen 97 und 99 Prozent garantieren. Die Wiener Linien haben im Jahr 2019 eine Aufzugsverfügbarkeit von 98,10% und bei Fahrtreppenanlagen eine Verfügbarkeit von 97,53% nachweisen können. Bei Aufzugsanlagen die mehr als einmal im Jahr stecken bleiben spricht der Hersteller bereits von einem Problemaufzug, welcher genauer beobachtet wird.

Besitzt das Gebäude mindestens eine Treppe, einen Aufzug und eine Fahrtreppe wird die Fahrtreppe laut der durchgeführten Zählung zu über 80% verwendet. Sollte der Aufzug ausfallen bleibt das Verhältnis zwischen Fahrtreppe und Treppe gleich, da die Benützung des Aufzuges deutlich unter 10% ist. Bei den Beobachtungen konnte festgestellt werden, dass es nur einem sehr geringen Anteil, der schon wenigen Aufzugsfahrer nicht möglich war, ein anderes Verkehrsmittel aufgrund des körperlichen Zustands zu wählen. Bei Ausfall oder Nichtvorhandensein einer Fahrtreppe sieht die Verteilung je nach Gebäudetyp unterschiedlich aus. Bei U-Bahnstation wird in 80 Prozent aller Fälle die Treppe bevorzugt. Im Wohnhaus und Bürogebäude ist dieses Verhältnis bei Gebäudehöhen von ca. 10m ausgeglichen und nimmt mit zunehmender Höhe in Richtung Aufzugsanlage zu. Bei einer Förderhöhe von ca. 30m wird der Aufzug zu 80% verwendet. Somit lässt sich sagen, dass Personen bei geringen Höhenunterschieden die Treppe bevorzugen und bei großen Höhen den Aufzug.

6.3 Wie hoch ist die Wirtschaftlichkeit der Beförderung eines Fahrgastes in der vertikalen Ebene bei unterschiedlichen Benützungszwecken?

Zur Überwindung von Höhenunterschieden in Gebäuden werden hohe Kosten in Kauf genommen. Doch ist die günstige Treppe wirtschaftlicher als die teure Fahrtreppe? Diese Fragestellung habe ich in Kapitel 5 versucht zu klären.

Zur Berücksichtigung der Lebenszykluskosten der vertikalen Personenbeförderungsmittel wurden die Herstellungs-, Betriebs- und Wartungskosten ermittelt. Durch empirische Zählungen konnte der Modal-Split in der vertikalen Ebene ermittelt werden und mithilfe von Kundenzahlen der einzelnen Betreiber bzw. eigenen Berechnungen konnte die beförderte Personenanzahl über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren berechnet werden.

Mittels Division der Kosten durch die transportierten Personen konnte die Wirtschaftlichkeit für jedes Gebäude bzw. jedes Transportmittel ermittelt werden. Die Aufzugsanlage dient in erster Linie zur Gewährleistung der Barrierefreiheit und ist in keinem modernen mehrgeschoßigen Gebäude wegzudenken. Trotzdem ist der Einsatz zu hinterfragen und die Kapazität in der Planung genau zu analysieren. Die Kosten für den Transport einer Person mit dem Aufzug sind in allen Gebäudetypen, mit Ausnahme des 11-geschoßigen Wohnbaus, am höchsten. Mit zunehmender Förderhöhe werden Aufzugsanlagen wirtschaftlicher, da die Ausnutzung zunimmt. Fahrtreppen werden in allen Gebäudetypen bei Vorhandensein am meisten bevorzugt. Gerade bei U-Bahnstationen werden sie in über 90 % aller Höhenüberwindungen verwendet. Aufgrund dieser guten Auslastung lassen sich die hohen Kosten der Anschaffung und Wartung wirtschaftlich gut auf die einzelne Person umlegen. Die Kosten für die Herstellung einer Treppe sind im Vergleich zu den anderen Anlagen gering und es fallen auch keine weiteren Kosten während der Nutzung an. Bei Fehlen der Fahrtreppe ist die Treppe bei Förderhöhen bis 20m im Gegensatz zum Aufzug sehr wirtschaftlich. Ist die Fahrtreppe aufgrund Ihrer Situierung im Gebäude so stark bevorzugt, dass die Treppe nur kaum benutzt wird, sind die Kosten in einem vergleichbaren Rahmen. Unter Berücksichtigung des Fahrkomforts auf der Rolltreppe ist diese bei gleichen Kosten zu Gunsten der Kunden zu bevorzugen.

7 Wirkung aktiver und passiver Mobilität im vertikalen Verkehr

In Österreich steigen die CO₂-Emissionen des Verkehrs jährlich an. Um die Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen zu erreichen, bietet die Aktive Mobilität ein großes Potenzial. [41]

„Die Aktive Mobilität umfasst alle Fortbewegungsarten, die ganz oder teilweise auf Muskelkraft basieren.“ [42]

Die passive Mobilität umfasst die Fortbewegung mit technischen Verkehrsmitteln, welche durch Fremdenergie angetrieben werden. [43]

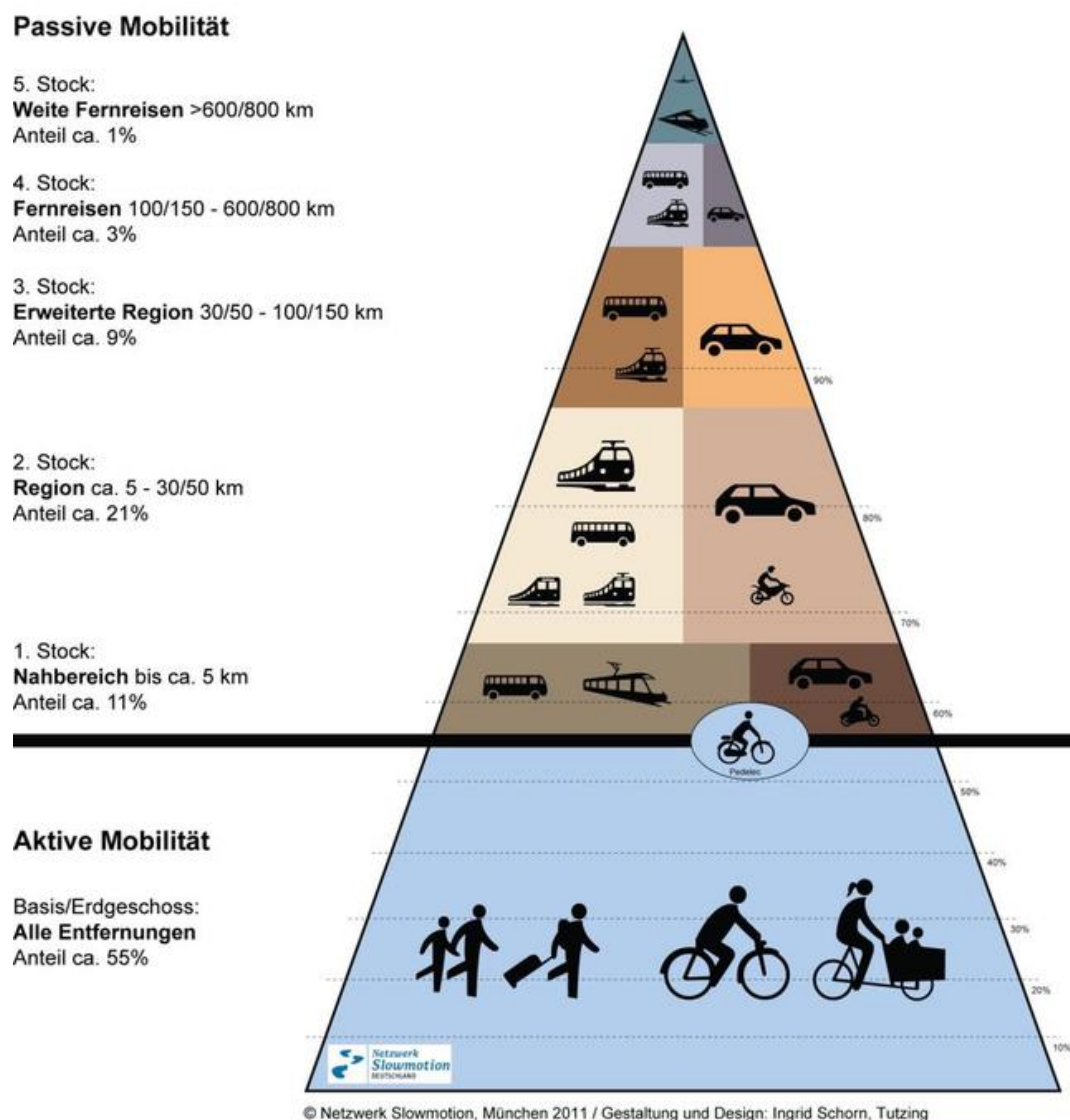


Abbildung 25: Mobilitätspyramide

Die Mobilitätspyramide ist eine Ableitung der Ernährungspyramide. Als Fundament dient die Aktive Mobilität. Auf der Ordinate sind Stockwerke definiert,

welche jedoch nicht vertikal, sondern in der horizontalen Distanz definiert sind. Es sollte zumindest die Hälfte des Mobilitätszeitbudgets durch aktive Mobilität verbraucht werden, um gesundheitsfördernd durchs Leben zu schreiten. Zur Förderung bedarf es aber nicht nur die einzelne Person, sondern auch die politische und planerische Unterstützung. Bereits seit den 1990er Jahren gibt es zukunftsweisende Mobilitätskampagnen zur Steigerung der Aktiven Mobilität. [43]

Ausgangspunkt jedes zurückgelegten Weges ist das Gehen, wobei die passive Mobilität zumeist bevorzugt wird. Ein hoher Anteil an Aktiver Mobilität fördert die Gesundheit und Lebensqualität, doch welche Nachteile bringt diese Art der Fortbewegung mit sich und für wen ist Sie nicht geeignet. [41]

In dieser Arbeit wird unter Aktiver Mobilität in der vertikalen Ebene das Treppensteigen und unter passiver Mobilität, das Lift- und Fahrtreppenfahren verstanden.

7.1 Vor- und Nachteile des Treppensteigens

Entschließt man sich zur Höhenüberwindung die Treppe zu verwenden birgt diese Entscheidung eine Vielzahl von Vorteilen aber auch einige Nachteile mit sich.

Die Treppe im Alltag zu verwenden ist einfach, verbessert die körperliche Ausdauer und verbraucht mehr Kalorien als eine Aufzugs- oder Fahrtreppenfahrt. Weiters wird die Atmung trainiert, das Herz-Kreislaufsystem gestärkt, der Stoffwechsel angeregt und die Po-, Oberschenkel- sowie Wadenmuskulatur gestärkt. [44]

Weiters wird die Umwelt geschont, Kosten können durch das Nichtbenützen von Fremdenergie eingespart werden und das Gesundheitssystem wird weniger belastet. [41]

Jedoch lastet beim Treppensteigen das gesamte Körpergewicht auf der Kniescheibe. Diese Belastung kann vor allem bei einer Vorschädigung zu Lasten der Knochengesundheit gehen. Geht man die Stufen hinab, ist die Belastung zwar anders jedoch teilweise noch schädlicher. [45]

Die Unfallhäufigkeit durch Treppenstürze ist nicht zu unterschätzen. Laut Kuratorium für Verkehrssicherheit stirbt pro Woche mindestens ein Senior nach einem Sturz über eine Treppe. Im Jahr 2005 wurden 42.300 Menschen durch

Treppenstürze im Krankenhaus behandelt. Vor allem Senioren und Frauen über 60 Jahre sind gefährdet. Ca. 66 % aller Treppenstürze geschehen in der Wohnung bzw. im Wohnhaus und weitere 10 % in der näheren Wohnumgebung. Zur Verhinderung von Treppenstürzen ist auf die Oberflächenbeschaffenheit der Stufe, die Beleuchtung und das Vorhandensein eines Handlaufes zu achten. [46]

7.2 Vor- und Nachteile des Aufzugs- und Fahrtreppenfahrens

Der Aufzug zählt zu den sichersten Verkehrsmitteln mit nur etwa 100 Schadensfällen in Österreich pro Jahr. Seit 2010 gab es keinen Todesfall durch eine Aufzugsanlage. [47]

Im Jahr 2007 wurden knapp 400 Unfälle bei Aufzügen und Fahrtreppen registriert. Davon wurden 339 durch Stürze auf Fahrtreppen gemeldet. [48]

Diese Unfallzahlen zeigen, dass die passive Mobilität in der Vertikalen deutlich sicherer ist als das Treppensteigen.

Nachteilig sind der hohe Energieverbrauch, die hohen Wartungs- und Herstellungskosten sowie die mangelnde Bewegung.

Die Schaffung von Arbeitsplätzen kann als positives Argument für den Einbau und Betrieb von Aufzugs- und Fahrtreppenanlagen eingebracht werden.

Der Aufzug ist das einzige der drei Verkehrsmittel, welches eine barrierefreie Beförderung ermöglicht.

7.3 Resümee

Zur Erhöhung der körperlichen Fitness ist die Verwendung von Treppen für junge Personen bestens zu empfehlen. Für ältere Personen ist diese Aussage mit Vorsicht zu betrachten, da das Unfallrisiko mit dem Alter stark zunimmt. Durch eine gute Ausleuchtung, rutschhemmende Oberflächen und einem technisch ordnungsgemäß angebrachten Handlauf kann das Verletzungsrisiko bereits in der Planung stark reduziert werden. Unter Berücksichtigung der Ziele zur Senkung der CO₂-Emissionen und zur Erreichung der Klimaziele ist die Benützung der Treppenanlage ein erster Schritt in die richtige Richtung.

Durch eine bessere Positionierung und Erkennbarkeit der Treppenanlage lässt sich die Benützung erhöhen. Während des Betriebs lässt sich die Auslastung durch Plakate bzw. Aufkleber mit Werbesprüchen zur Stärkung des Gesundheitsbewusstseins an der jeweiligen Anlage maximieren.

8 Ausblick in die Zukunft

In diesem Kapitel will der Autor den aktuellen Stand der Aufzugs- und Fahrtreppenentwicklung und mögliche Weiterentwicklungen in der Zukunft aufzeigen.

8.1 Innovation Aufzug

Aufzüge werden immer komplexer und die Entwicklung der Aufzugstechnik immer schneller. Innovationen finden wir in den Bereichen Leistung, Steuerung und Energieeinsparung. Jede große Aufzugsfirma setzt Ihren Schwerpunkt der Weiterentwicklungen beim Verbrauch und der Umweltverträglichkeit. Es gibt verschiedene Aufzugstypen grundsätzlich ist jeder Einbau eine Maßanfertigung. Nahezu jeder Planungswunsch der Architekten ist heutzutage umsetzbar, egal ob Glas, gebogen oder Edelstahl. Mit modernsten Materialien werden die Massen minimiert und somit die Lebensdauer, wie auch die Energieeffizienz gesteigert.

8.1.1 PORT Technologie Firma Schindler

Hochhäuser werden immer höher, daher muss die Geschwindigkeit erhöht sowie ein intelligentes Verkehrsmanagementsystem konzipiert werden. Dies hat die Firma Schindler mit Ihrem intelligenten Transit Management System PORT gelöst.

Diese Technologie wurde erstmals in den 1990er Jahren entwickelt und diente zur Steigerung der Verkehrsleistung. Die zweite Entwicklung im Jahr 2000 wurde ein RFID Kartenleser inkludiert, welcher die Zugangsrechte der Passagiere prüfte. Im Jahr 2009 kam die 3.Generation die PORT Technologie auf den Markt, welche ständig weiterentwickelt wird. Diese enthält eine Menge an leistungsfähigen Zugangs- und Kommunikations-, Sicherheits- und Energiesparmöglichkeiten. Der Einsatz von fortschrittlichen Algorithmen reduziert die Fahrtenanzahl und überflüssige Aufzugsstopps. Im Notfall dient es zur schnellen und direkten Kommunikation, um klare Instruktionen für die richtige Verhaltensweise anzuzeigen. Schindler bietet eine App an, welche die Nutzung der vielseitigen Möglichkeiten vereinfachen soll. [15]

8.1.2 Cloud-basierte Service- und Wartungslösungen

Zur Reduzierung von Ausfallzeiten hat der deutsche Aufzugshersteller ThyssenKrupp Elevator eine Cloud-basierte Service- und Wartungslösung im Jahr 2015 vorgestellt. Die Anlagen senden in Echtzeit Informationen über erforderliche Reparaturen bzw. den notwendigen Austausch von Komponenten. Die gesammelten Daten, der vernetzten Aufzüge, werden durch die IoT-Lösung „MAX“ mithilfe von Algorithmen ausgewertet. Es können Komponenten bereits bevor es zu einem Ausfall kommt ausgetauscht bzw. repariert werden. Mit zunehmender Anzahl von Daten lassen sich die Service- und Reparaturzyklen immer besser voraussagen.

8.1.3 TWIN-Personenaufzug Firma ThyssenKrupp Elevator

Der TWIN-Personenaufzug ist das erste System mit zwei unabhängigen Kabinen, die übereinander im gleichen Schacht fahren. Bei gleicher Förderkapazität können ca. 25% Platz eingespart werden. Jede Kabine verfügt über einen eigenen Antrieb, Steuerung, Seile, Gegengewichte und Sicherheitsvorrichtungen. Gemeinsam haben Sie die Führungsschienen und Türen. Mit dem sogenannten DSC (Destination Selection Control System), werden Personen mit demselben Stockwerksziel gruppiert.

8.1.4 Energierückspeisung E.COR BLUE und ReGen

Durch diese beiden Entwicklungen kann Energie die normalerweise als Wärme verschwindet, aufgenommen und als saubere Energie an Ihr Gebäude zurückgegeben werden.

8.1.5 UltraRope – Kone

Diese Entwicklung ist mehr als nur ein Seil. Auf den ersten Blick sieht es nach keiner wirklichen Innovation aus, jedoch wiegt der Kohlefaserkern des Seils, welcher von einer einzigartigen Ummantelung mit hohem Reibungskoeffizienten ausgestattet ist, nur etwa ein Fünftel des Gewichts eines gewöhnlichen Stahlseils. Mit dieser Reduktion sind Gebäude mit bis zu 1.000 m Höhe mit einem Aufzug erreichbar. Die Verminderung der Energiekosten betragen bei 800m bis zu 40%. Gebäudeschwingungen werden durch das UltraRope besser aufgenommen, wodurch es bei Unwettern und Stürmen zu weniger Ausfällen

kommt. Das Seil nutzt sich nicht ab, rostet nicht, hängt sich nicht aus und hat eine längere Lebensdauer. Aufgrund der speziellen Ummantelung ist keine Schmierung notwendig. [22]

8.1.6 MULTI – ThyssenKrupp Elevator

Ende des 21. Jahrhunderts werden mehr als zwei Drittel der Weltbevölkerung in Städten leben, um diesem Trend gerecht zu werden muss eine Umgestaltung der Städte mit dem Augenmerk auf Aufzügen geschehen. Mit der Entwicklung MULTI gibt es für die planerische Gestaltung der Fortbewegung in Gebäuden keine Grenzen mehr. In der Höhe fast uneingeschränkt können die bis heute auf 600m begrenzten Höhen ohne Probleme übertroffen werden. Nicht nur die Reise innerhalb eines Gebäudes soll in Zukunft mit dieser Innovation ein Erlebnis werden, sondern auch der Transport vom Flughafen zum Bahnhof, weiter ins Einkaufszentrum und Büro soll sowohl in horizontaler wie auch vertikaler Ebene geschehen. Leistung, Platzersparnis und der Einsatz von künstlicher Intelligenz optimieren seine Effizienz auf ein Maximum.

MULTI ist weltweit der erste seillose Aufzug, der sich dank der Linearmotor-Technologie nicht nur vertikal, sondern auch horizontal und geneigt bewegen kann. Die Verbindung in mehrere Richtungen erfolgt durch den X-Changer. Diese Technologie soll in bereits bestehenden unterirdischen Strecken eingesetzt werden, um die Strecken effizient zu modernisieren und erweitern. Die Vernetzung der Gebäude mit Skybridges wird die Mobilität der Bewohner und Angestellten in Wolkenkratzern auf ein vollkommen neues Niveau heben. Die Sicherheit kann durch alternative Fluchtwege ebenfalls gesteigert werden.

Zur Zertifizierung des seillosen MULTI-Aufzugssystem wurde ein 246m hoher Testturm mit Besucherplattform und mehreren Schächten in Deutschland hergestellt. [27]

8.2 Innovation Fahrtreppe

Die stetige Weiterentwicklung einzelner Komponenten schafft es die Funktionalität, das Design und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Zur Bewältigung von großen Menschenmengen wurden Sie entwickelt und durch die Einbindung in die Haustechnik kann die Verfügbarkeit, die Sicherheit und die Energieeffizienz gewinnbringend gesteigert werden. Jeder Hersteller von

Fahrtreppen hat meist mehrere Modelle im Sortiment, jedoch ist jede Lösung an die örtlichen Gegebenheiten maßangefertigt. Großartige Neuentwicklungen kommen bei Fahrtreppen aufgrund der bewährten Technik selten vor, bleiben aber nicht vollkommen aus.

Anschließend werden der derzeitige Entwicklungsstand und neueste Innovationen vorgestellt.

8.2.1 SmartStep – ThyssenKrupp

Die erste Kunststoffstufe der Welt namens „Smartstep“ brachte die Firma ThyssenKrupp auf den Markt. Herkömmliche Stufen wurden aus Aluminium hergestellt, nun haben Architekten einen größeren Gestaltungsspielraum. Die Farbe war auf silbergrau limitiert, da die lackierten Varianten unter der dauernden Belastung litten. Der glasfaserverstärkte Werkstoff lässt sich durch Beigabe von Farbpigmenten in jeglicher Farbe herstellen. Zur Aussteifung sowie zur Gewichtsreduzierung wird an der Hinterkante ein dünnes Stahlrohr eingesetzt. Das Spritzgießverfahren erzeugt eine porenfreie Oberfläche, welche die Reinigungskosten reduziert und die Rutschfestigkeit erhöht. Weiters werden Geräusche besser gedämpft und der Brandschutz ist aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit und der Beigabe von Brandschutzmitteln erfüllt. Das Gewicht ist geringer, die Genauigkeit höher und die Haltbarkeit länger und somit hat ThyssenKrupp ein sehr wirtschaftliches Produkt mit hohem Potential auf den Markt gebracht. [18]

8.2.2 ESCALITE – UVIS UV

Nicht nur im Bereich Energieeffizienz und Design wird geforscht, auch das Thema Sauberkeit und maximale Sicherheit, gerade in der derzeitigen Zeit aufgrund der Covid 19 Pandemie wird diese Thematik an Bedeutung stark zulegen. Das Escalite UVC Desinfektionsmodul für Fahrtreppenhandläufe reinigt schnell und verlässlich. Das Modul lässt sich an Neu- und Bestandsanlagen im verschlossenen Bereich verbauen und passt an allen Handläufen. Drei Hochleistungs-UV Lampen bringen mithilfe von Reflektoren die UVC-Strahlung auf den Handlauf auf. Diese Strahlung zerstört Mikroorganismen, sodass ein Anhalten ohne Infektionsrisiko möglich ist. Dies reduziert die Unfallhäufigkeit und erhöht das Wohlbefinden bei der Fahrt. [28]

8.2.3 Spiral-Fahrtreppen

Wendel- oder Spiralfahrtreppen sind keine neue Erfindung. Die erste Ihrer Bauart wurde im Jahr 1985 ausgeliefert, seitdem wurde die Technologie stark verbessert. Wendelfahrtreppen kommen nur sehr selten zum Einsatz aufgrund einiger Schwierigkeiten. Durch die stetige Krümmung muss sich die außenliegende Seite der Stufen schneller als die Innenseite bewegen. Dieses Problem wird meist durch unterschiedlich große Räder bewerkstelligt. Dadurch ergibt sich aber ein ungleichmäßiger Verschleiß, was den Wartungsaufwand erhöht und somit die Wirtschaftlichkeit minimiert. Der große Wenderadius bietet momentan auch noch keinen Platzvorteil. Die Forschung versucht ein einfaches Prinzip, dass weniger anfällig und kostengünstiger ist zu entwickeln. Durch die kompakte Bauweise könnten Fahrtreppen auch im Eckbereich angeordnet werden und so eine freiere Raumgestaltung zulassen. Die Lösung könnte die Anpassung des Prinzips an das natürliche Gehen sein. Bei dieser Fortbewegung besteht zu jedem Zeitpunkt mindestens ein Bodenkontakt, das neue Prinzip erinnert an den menschlichen Fuß beim Treppensteigen, aber im Untergrund. Die zwei Treppenbaugruppen bestehen aus einer großen Anzahl von Lamellen, die ineinandergreifen und wechselweise agieren. [29]

8.2.4 Fahrtreppe für Rollstuhlfahrer

Ein spanischer Student hat eine Fahrtreppe entwickelt, die auch für Rollstuhlfahrer und Kinderwagen leicht benutzbar ist. Bei Bedarf können mehrere Treppenstufen zu einer Plattform zusammengebildet werden. Die Nutzung einer Treppenschlaufe für beide Fahrtrichtungen soll kostengünstiger und energieeffizienter sein als herkömmliche Rolltreppen. Durch einen einfachen Knopfdruck richten sich drei Stufen so aus, dass Sie eine Plattform bilden. Das System besitzt für Notfälle eine Notfallbatterie, um bei Stromausfall nicht auf der Anlage verweilen zu müssen. Weiters sollen Licht- und Tonsignale als Hilfestellung für Personen mit Seh- und Hörschwäche vorgesehen werden. Der Treppengurt funktioniert ähnlich einem Gepäckträger an Flughäfen, welches die Umschaltbarkeit von Auf- und Abwärtsfahrt erleichtert. [30]

Literaturverzeichnis

- [1] Scalalogie (Treppenforschung), http://treppenforschung.de/stile_1/;
03.03.2020
- [2] Stairway to heaven, Rhein Exklusiv Lifestyle Magazin,
<https://www.rheinexklusiv.de/treppe/>; 03.03.2020
- [3] Leiter (Gerät), [https://de.wikipedia.org/wiki/Leiter_\(Ger%C3%A4t\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Leiter_(Ger%C3%A4t))
- [4] Geschichte Österreich, <https://www.geschichte-oesterreich.com/erfindungen/flaschenzug.html>; 10.03.2020
- [5] Die Geschichte des Treppenliftes – Die Entwicklung der ursprünglichen Version zu den Modellen dieser Zeit, <https://treppenliftvergleich.de/die-geschichte-des-treppenlift>, Treppenlift-zentrum; 11.03.2020
- [6] Treppenlifte, Die Bibliothek der Technik 177, 1999, Bachmann Oliver, Moderne Industrie; 11.03.2020
- [7] Auf und Ab – Eine Kulturgeschichte des Aufzugs in Wien, 2018, Peter Payer, Brandstätter
- [8] Zur Geschichte des Aufzugs – von Otis bis Twin,
<https://www.aufzug24.net/aufzug-geschichte-525.html>; 02.04.2020
- [9] Krantechnik – Faszination Baumaschinen, 2005, Bachmann / Cohr / Whiteman / Wislicki, Motorbuchverlag
- [10] Energy efficient elevators escalators and regeneration, June 2012,
<https://ascensoriscalemobili.wordpress.com/energy-efficient-elevators-escalators-and-regeneration/>; 02.04.2020
- [11] Energieeffizienz von Aufzügen, Fahrtreppen und Fahrsteigen ÖNORM EN ISO 25745 Teil 1-Energiemessung und Überprüfung, Ausgabe 2013-02-01
- [12] Energieeffizienz von Aufzügen, Fahrtreppen und Fahrsteigen ÖNORM EN ISO 25745 Teil 2-Energieberechnung und Klassifizierung von Aufzügen, Ausgabe 2016-04-15
- [13] Energieeffizienz von Aufzügen, Fahrtreppen und Fahrsteigen, ÖNORM EN ISO 25745 Teil 3-Energieberechnung und Klassifizierung von Fahrtreppen und Fahrsteigen, Ausgabe 2015-08-01
- [14] Energieeffiziente Fahrtreppen, optimaler Passagierfluss, niedrige Energiekosten, https://www.facility-management.de/artikel/fm_Energieeffiziente_Fahrtreppen_2655540.html, 05/2016

- [15] Effizienz und Ökologie von Fahrtreppen und Fahrsteigen, Firma Schindler
- [16] Gen2SilentLine, Die neue Generation Aufzugsmodernisierung – OTIS, United Technologies Company, 2018 Otis Elevators
- [17] KONE Eco-efficient Lösungen, Produktbroschüre, https://www.kone.de/Images/download-kone-rolltreppe-energieeffizienz-rolltreppen_tcm26-22566.pdf; 05.04.2020
- [18] ThyssenKrupp Elevator, Produktbroschüre, https://www.thyssenkrupp-aufzuege.at/fileadmin/at/downloads/Velino_0000.pdf; 05.04.2020
- [19] Energieverbrauch und Einsparpotenziale bei Aufzügen, 2006, Jürg Nipkow
- [20] Schindler Aufzüge und Fahrtreppen GmbH, Produktbroschüren, <https://www.schindler.com/at/internet/de/schindler-oesterreich/downloads.html>; 07.04.2020
- [21] Otis Elevator Company, Produktbroschüre, <https://www.otis.com/de/de/produkte/aufzuege/gen2/gen2-life/>; 07.04.2020
- [22] Kone GmbH, Produktbroschüre, https://www.kone.de/Images/kone-monospace-dx-digitale-aufzuege-personenbefoerderung_tcm26-88547.pdf; 11.04.2020
- [23] ThyssenKrupp Elevator, Produktbroschüre, <https://www.thyssenkrupp-aufzuege.at/neuanlagen/aufzuege/personenaufzuege/synergy-300/>; 12.04.2020
- [24] Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen – Regeln für Instandhaltungsanweisungen, ÖN EN 13015 Ausgabe 2017-03-15
- [25] <https://aufzugsberatung.com/artikel/vertragsarten/>; 13.04.2020
- [26] ThyssenKrupp Elevator, Produktbroschüre, <https://www.thyssenkrupp-elevator.com/de-de/produkte/aufzuege/twin/>; 13.04.2020
- [27] ThyssenKrupp Elevator, Produktbroschüre, <https://www.thyssenkrupp-elevator.com/de-de/produkte/multi/>; 14.04.2020
- [28] UVIS UV-Innovative Solutions GmbH, <https://www.uv-is.com/>; 14.04.2020
- [29] Helyvator UG, <https://www.helyvator.com/>; 14.04.2020
- [30] Universitat Politecnica de Catalunya, Diplomarbeit, <https://www.diepresse.com/487869/student-entwickelt-rolltreppe-fur-rollstuhlfahrer>; 16.04.2020
- [31] Leistungsfähigkeit von Aufzugsanlagen, Markus Baumgartner, 2016, Diplomarbeit

- [32] Leistungsfähigkeitsbestimmung von Fahrtreppen, Akpinar Özgür, 2017, Diplomarbeit
- [33] Studie zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Dimensionierungsgrundlagen von Treppenanlagen in Verkehrsstationen, Benjamin Svoboda, 2015, Diplomarbeit
- [34] Verhaltensuntersuchung von Fernverkehrsreisenden auf Personenbeförderungsanlagen, Martin Lampel, 2018, Diplomarbeit
- [35] Lebenszykluskosten von U-Bahnstationen, Andreas Makovec, Diplomarbeit
- [36] PROSA Kurzstudie Personenaufzüge, Entwicklung der Vergabekriterien für ein Klimaschutzbezogenes Umweltzeichen, Studie im Rahmen des Projekts „Top 100-Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“, 2011, Markus Blepp, Maurice Marquardt, Dr. Dietlinde Quack
- [37] Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Wirtschaftlichkeit>, 02-2020
- [38] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d3/1586_Rome_obelisk_erection.jpg/220px-1586_Rome_obelisk_erection.jpg; 13.05.2020
- [39] Alamy Stock Foto, <https://www.alamy.de/stockfoto-schaduf-136604011.html>; 13.05.2020
- [40] Wiener Linien Fahrgastinformationen; <https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeld/66526/channelld/-58157>; 14.05.2020
- [41] VCÖ – Mobilität mit Zukunft, Valentina Kofler, Factsheet Aktive Mobilität als Säule der Mobilitätswende
- [42] Wikipedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Aktive_Mobilit%C3%A4t; 15.05.2020
- [43] Heft movum, Ausgabe 9, Dezember 2015 zum Thema Mobilität, Martin Held, Jörg Schindler, Manfred Neun
- [44] M.A. Peter Ostermayer, 27.01.2015, Treppensteigen: Gesunde und wirkungsvolle Fitnessübung; <https://www.fitundgesund.at/treppensteigen-fitness-im-alltag-artikel-1725>
- [45] FITBOOK, Wer auf Treppensteigen unbedingt verzichten sollte; 06.02.2018; <https://www.fitbook.de/health/treppensteigen-ist-gar-nicht-so-gesund>

[46] Cornelia Schobesberger, März 2007, Sturz über Treppen: Senioren überdurchschnittlich betroffen;

<https://www.sozialversicherung.gv.at/cdscontent/?contentid=10007.689128>

[47] Wiener Zeitung, Neue Aufzugsnorm verursacht Millionenkosten;

<https://www.wienerzeitung.at/nachrichten/chronik/wien/2037414-Neue-Aufzugsnorm-bringt-Wien-Millionenkosten.html>

[48] TÜV Sicherheitsbericht 2008 über Aufzüge und Fahrtreppen, TÜV Austria Akademie GmbH,

https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20080312_OTS0270/tuev-sicherheitsbericht-2008-ueber-aufzuege-und-fahrtreppen

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Konstruktionszeichnung älteste Treppe [1] | 4 |
| Abbildung 2: Spanische Treppe [1] | 5 |
| Abbildung 3: Flaschenzug Obelisk [38] | 7 |
| Abbildung 4: Otis Sicherheitsbremse "All Safe" [8] | 9 |
| Abbildung 5: Paternoster v. Anton Freissler im Wiener Haus der Industrie [7]. | 16 |
| Abbildung 6: Schaduf zum Wasserschöpfen [39]..... | 19 |
| Abbildung 7: Ermittlung des Lastfaktors [12] | 33 |
| Abbildung 8: Energieverbrauch Fahrzyklus Aufzug..... | 35 |
| Abbildung 9: Leistungsstufe Bereitschaft / Stillstand Aufzug [12]..... | 35 |
| Abbildung 10: täglicher Energieverbrauch Aufzug [12] | 35 |
| Abbildung 11: Angaben zur Betriebsart [13]..... | 39 |
| Abbildung 12: ECOLINE Powermanagementsystem Firma Schindler | 41 |
| Abbildung 13: Kostenschätzung Treppe | 58 |
| Abbildung 14: U-Bahnstation Simmering | 71 |
| Abbildung 15: U-Bahnstation Rochusgasse | 72 |
| Abbildung 16: U-Bahnstation Meidling | 72 |
| Abbildung 17: U-Bahnstation Reumannplatz 1 | 73 |
| Abbildung 18: U-Bahnstation Reumannplatz 2 | 73 |
| Abbildung 19: U-Bahnstation Perfektastraße | 74 |
| Abbildung 20: U-Bahnstation Siebenhirten | 75 |
| Abbildung 21: Einkaufszentrum Q19..... | 77 |
| Abbildung 22: Wohngebäude 11 Geschoße | 78 |
| Abbildung 23: Wohnhaus 7 Geschoße..... | 79 |
| Abbildung 24: Wohnhaus 4 Geschoße..... | 80 |
| Abbildung 25: Mobilitätspyramide | 95 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Messung und Überprüfung des Energieverbrauches [11] | 27 |
| Tabelle 2: Kategorisierte Anzahl der Fahrten je Tag [12] | 31 |
| Tabelle 3: Prozentualer Anteil der durchschnittlichen Fahrstrecke [12]..... | 31 |
| Tabelle 4: durchschnittliche prozentuale Beladung im Fahrkorb [12] | 33 |
| Tabelle 5: Zeitanteile im Bereitschafts- und Stillstandsmodus [12] | 34 |
| Tabelle 6: Typische Nutzung und Einbauorte sowie der Energieverbrauch von Anlagen [12]..... | 36 |
| Tabelle 7: Referenzwerte [13] | 37 |
| Tabelle 8: Referenz-Nutzungsprofile [13]..... | 38 |
| Tabelle 9: Energieeffizienzklassen [13]..... | 38 |
| Tabelle 10: Übersicht Energieeffizienz Fahrtreppe | 44 |
| Tabelle 11: Übersicht Energieeffizienz Aufzug..... | 48 |
| Tabelle 12: theoretische Leistungsfähigkeit einer Fahrtreppe [32] | 52 |
| Tabelle 13: Herstellungskosten Aufzug..... | 55 |
| Tabelle 14: Herstellungskosten Fahrtreppe | 56 |
| Tabelle 15: Abmessungen Treppe | 57 |
| Tabelle 16: Herstellungskosten Treppe..... | 59 |
| Tabelle 17: Jährliche Stromkosten für Aufzugsanlagen | 60 |
| Tabelle 18: Nutzungskategorie Aufzug nach VDI Richtlinie 4707 Blatt 1 | 60 |
| Tabelle 19: Betriebskosten Aufzug je Jahr..... | 61 |
| Tabelle 20: Betriebskosten Fahrtreppe je Jahr..... | 62 |
| Tabelle 21: Kosten Vollwartungsverträge Aufzug, Fahrtreppe | 63 |
| Tabelle 22: Lebenszykluskosten Aufzug | 63 |
| Tabelle 23: Verteilung Lebenszykluskosten Aufzug | 64 |
| Tabelle 24: Lebenszykluskosten Fahrtreppe..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 25: Verteilung LZK Fahrtreppe Aufwärts | 65 |
| Tabelle 26: Verteilung LZK Fahrtreppe Abwärts | 65 |
| Tabelle 27: Lebenszykluskosten Treppe | 66 |
| Tabelle 28: Kostenvergleich vertikale Verkehrsmittel | 67 |
| Tabelle 29: prozentuale Verteilung der Kosten vertikaler Transportmittel | 67 |
| Tabelle 30: Anzahl Stichprobe | 69 |
| Tabelle 31: Dokumentation Zählung | 70 |
| Tabelle 32: Messdaten nach Fahrtrichtung und Verkehrsmittelwahl | 81 |
| Tabelle 33: Modal Split U-Bahn Aufwärts | 81 |
| Tabelle 34: Modal-Split U-Bahn Abwärts | 82 |
| Tabelle 35: Zeitbedarf Verkehrsmittel U-Bahn | 82 |
| Tabelle 36: Modal-Split Einzelhandel Aufwärts | 83 |
| Tabelle 37: Modal-Split Einzelhandel Abwärts | 83 |
| Tabelle 38: Zeitbedarf Transportmittel Einzelhandel | 83 |
| Tabelle 39: Modal-Split Einkaufszentrum Aufwärts | 84 |
| Tabelle 40: Modal-Split Einkaufszentrum Abwärts | 84 |
| Tabelle 41: Anzahl Personen Aufzug nach Geschoßen | 84 |
| Tabelle 42: Modal-Split Einkaufszentrum Gesamtfahrten Aufwärts | 84 |
| Tabelle 43: Modal-Split Einkaufszentrum Gesamtfahrten Abwärts | 84 |
| Tabelle 44: Modal-Split Wohn-, Bürogebäude Aufwärts | 85 |
| Tabelle 45: Modal-Split Wohn-, Bürogebäude Abwärts | 85 |
| Tabelle 46: Modal-Split gesamt | 86 |
| Tabelle 47: Ermittlung Personenanzahl über den Lebenszyklus | 87 |
| Tabelle 48: Beförderte Personen über den gesamten Lebenszyklus | 87 |
| Tabelle 49: Lebenszykluskosten vertikaler Verkehr | 88 |
| Tabelle 50: Kosten / beförderte Person und Gebäude | 88 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 51: Wirtschaftlichkeit des Aufzugs..... | 89 |
| Tabelle 52: Wirtschaftlichkeit der Fahrtreppe..... | 89 |
| Tabelle 53: Wirtschaftlichkeit der Treppe..... | 90 |

Anhang

Anhang 1: Betriebskostenermittlung Fahrtreppe

| Nutzungstyp | Nab | Förderhöhe | Energieverbrauch [kWh] | | | | Energieverbrauch je Tag [kWh] | | Betriebsstage je Jahr | Energiekosten je Jahr | | | | |
|-----------------------------|--------|------------|------------------------|------|---------|---------------|-------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|---------|----------|------------|------------|
| | | | Still | Null | Betrieb | Last aufwärts | Last abwärts | Zusatz | | Aufwärts | Abwärts | Aufwärts | Abwärts | |
| U-Bahnstation, Simmering | 12 501 | 13 003 | 12,2 | 0,6 | 30,6 | 2,4 | 45 | -11 | 6 | 85 | 28 | 365 | 4 331,31 € | 1 456,14 € |
| U-Bahnstation, Rochusgasse | 14 525 | 14 521 | 12,5 | 0,6 | 30,6 | 2,4 | 54 | -2 | 6 | 93 | 38 | 365 | 4 770,85 € | 1 928,70 € |
| U-Bahnstation, Meidling | 29 837 | 34 676 | 7,2 | 0,6 | 30,6 | 2,4 | 64 | -19 | 6 | 103 | 20 | 365 | 5 274,21 € | 1 045,77 € |
| U-Bahnstation, Reumannplatz | 30 321 | | 3,5 | 0,6 | 30,6 | 2,4 | 31 | 0 | 6 | 71 | 40 | 365 | 3 629,33 € | 2 023,56 € |
| Einkaufszentrum | 4 607 | 4 607 | 4,75 | 1,65 | 19,8 | 1,6 | 6 | 1 | 3,9 | 33 | 28 | 300 | 1 708,27 € | 1 410,27 € |
| Einzelhandel Textil | 552 | 444 | 6 | 2,1 | 12,6 | 2,4 | 1 | 0 | 3 | 21 | 20 | 300 | 1 077,23 € | 1 022,10 € |
| Einzelhandel Buchhandel | 3 468 | 3 325 | 4 | 2,1 | 12,6 | 2,4 | 4 | 2 | 3 | 24 | 22 | 300 | 1 237,01 € | 1 137,51 € |

| Uhrzeit: | Fahrtreppe | | Treppe | | Aufzug | |
|----------|------------|----------|---------|----------|---------|----------|
| | Abwärts | Aufwärts | Abwärts | Aufwärts | Abwärts | Aufwärts |
| 7:00- | | | | | | |
| 7:15 | | | | | | |
| 7:30- | | | | | | |
| 7:45 | | | | | | |
| 8:00- | | | | | | |
| 8:15 | | | | | | |
| 8:30- | | | | | | |
| 8:45 | | | | | | |
| 9:00 | | | | | | |

Handwritten notes:
 U-Bahnstation Wien Rembrandtstr. / 30.04.2020
 29 Stufen, 240cm Treppenhöhe
 75sek
 75.3.30
 30sek
 nicht vorhanden