

Lösungsansätze zur Entwicklung neuartiger Beförderungssysteme in Gebäuden zukünftiger Megastädte

1. Die zu erwartende Entwicklung der Bevölkerungsverteilung und sich andeutende Konsequenzen

Die Verteilung der Weltbevölkerung auf unserem Planeten unterliegt einem unverkennbaren Wandel. Immer mehr Menschen zieht es in die Städte. Diese Urbanisierung genannte Tendenz führt vielerorts zur Verödung ländlicher Gebiete. An einigen Standorten kommt es bereits jetzt zur Bildung sog. Megacities mit einer Bevölkerungszahl im zweistelligen Millionenbereich. Bis zum Jahr 2050 werden voraussichtlich 70% der dann 9 Mrd. zählenden Weltbevölkerung in Städten leben.

Die Unterbringung solcher Menschenmassen auf engstem Raum stellt in vielerlei Hinsicht eine gewaltige Herausforderung dar. Allein die bisher dominierende zweidimensionale Bereitstellung der benötigten Unterkünfte für Wohn- und Arbeitszwecke stößt angesichts des dafür benötigten Flächenbedarfs schon derzeit an ihre Grenzen. Auch die Bewegung der Menschen innerhalb solcher Megacities sowie die Versorgung der Bevölkerung mit Waren und Dienstleistungen bewirken einen fortlaufenden Anstieg des Transportaufkommens, der absehbar zum Verkehrsinfarkt führen wird. Ein Beispiel dafür bietet **Abb.1**.



Abb.1

Verkehrsaufkommen während der Rush- Hour [1]

Somit ist einer Entwicklung entgegenzusehen, die mit den bisherigen städtebaulichen Konzepten nicht mehr zu bewältigen ist.

Um diese Probleme in den Griff zu bekommen, bleibt nur die Möglichkeit einer Verdichtung der Städte. Da die verfügbare Fläche begrenzt ist, gibt es in extremen Fällen nur eine Richtung einer möglichen Expansion: die verstärkte Nutzung der dritten Dimension.

Einen Vorgeschmack auf die zukünftig zu erwartende Entwicklung zumindest der prosperierenden Megacities und extremen Ballungsgebiete vermittelt bereits heutzutage das Beispiel des Stadtstaates Hong Kong (s. **Abb.2**).



Abb.2

Hong Kong als Beispiel einer kompakten städte-baulichen Lösung [2]

Mit der Ausdehnung der Immobilien zu Gebäudekomplexen unter Hinzunahme der dritten (vertikalen) Dimension kommen neue Komponenten ins Spiel, die erhebliche Herausforderungen an die urbane Gestaltung stellen. Das Hauptmerkmal der künftigen städtebaulichen Lösungen wird die zunehmende Verlagerung urbaner Funktionen vom Außenbereich in das Innere der ausgedehnten Gebäudekomplexe sein, woraus mehrere Konsequenzen resultieren. Zum einen sind verstärkt Aufgaben der Ver- und Entsorgung mit den verschiedenen Medien innerhalb der Gebäude zu übernehmen. Gegenüber den bisherigen Funktionen des Wohnens und ggfs. Arbeitens werden weitere Funktionen, die bisher in städtischer Hand waren, zukünftig innerhalb der Gebäude zu realisieren sein. Dazu zählen Angebote der Kultur, die Versorgung mit Lebensmitteln, das Shoppen, Restaurantbesuche, Möglichkeiten der Freizeitgestaltung, Erholung, Unterhaltung, Sport etc. Damit einhergehend wird sich auch das Verkehrsaufkommen innerhalb der Gebäude wesentlich erhöhen. Eine besondere Herausforderung wird hier die Bewältigung der dritten Dimension bei Überwindung u. U. großer Höhendifferenzen stellen. Außerdem werden auf verschiedenen Ebenen Querverbindungen nötig sein, sodass ganze Beförderungsnetze zu realisieren sind. Schließlich ist außer dem Personentransport auch die Bewegung von Gütern unterschiedlichster Art zu berücksichtigen.

2. Der derzeitige Wettlauf um die höchsten Gebäude der Welt

Die Leistungsfähigkeit bautechnischer Lösungen und der darin eingesetzten Vertikalaufzüge misst sich derzeit an der Errichtung und dem Betreiben immer höherer Bauwerke. Berücksichtigt man allein die höchsten Gebäude der Welt oberhalb einer Bauhöhe von 500 m, so ergibt sich die aus **Tab. 1** ersichtliche Aufstellung.

Gebäudename	Höhe	Stadt/Land	Nutzbare Etagen	Baujahr
Jeddah Tower	1007 m	Dschidda/Saudi-Arabien	210 Etagen	2019
Buri Khalifa	828 m	Dubai/VAR	163 Etagen	2010
Shanghai Tower	632 m	Shanghai/China	128 Etagen	2015
Mecca Royal Clock Tower	601 m	Mekka/Saudi-Arabien	120 Etagen	2012
International Finance Center	600 m	Shenzhen/China	115 Etagen	2016
Lotte World Premium Tower	555 m	Soul/Südkorea	123 Etagen	2016
One World Trade Center	541 m	NewYork/USA	104 Etagen	2014
Taipei 101	509 m	Taipei/Taiwan	101 Etagen	2004

Tab. 1 Auflistung der Welt-höchsten „Wolkenkratzer“ [3]

Hinsichtlich der Höhe der zu errichtenden Gebäude hat inzwischen ein Wettbewerb begonnen. Den Rekord als momentan welthöchstes Gebäude hält derzeitig der in Dubai errichtete *Burj*

Khalifa mit einer Höhe von 829 m (s. **Abb.3**). Es soll auch für Wohnzwecke genutzt und Zentrum eines neuen Stadtentwicklungsgebiets werden [4].



Abb. 3

das *Burj Khalifa* als Beispiel für superhohe Gebäude in zukünftigen Megacities [5]

Bereits jetzt ist jedoch schon erkennbar, dass die Spitzenposition dieses Towers voraussichtlich nur bis zum Jahr 2019 erhalten bleiben wird. Denn dann wird der *Jidda-Tower* von Saudi-Arabien die 1.000 m-Marke bezwingen. Wie zu erfahren war, bezog sich das Vorhaben ursprünglich auf die Errichtung eines sog. *Miles Towers* mit der äquivalenten Höhe von über 1.600 m. Da die dafür notwendigen Voraussetzungen für die Gründung des Bauwerkes nicht gegeben waren, reduzierte man später die Bauhöhe auf die schon genannte 1 km-Marke.

Die baulichen und technischen Leistungen solcher Turm-artigen Bauwerke von gigantischer Höhe sind sicherlich sehr beeindruckend. Man mag sich jedoch nicht vorstellen, welche Auswirkungen Brände oder terroristische Attacken in solchen Superbauwerken haben würden, wie sie bereits in kleineren Bauwerken schon aufgetreten sind. Erinnert sei beispielsweise an den verheerenden Hochhausbrand in London 2017 oder den heimtückischen Flugzeugangriff auf das World Trade Center in New York 2001.

3. Untersuchung der Eignung bekannter technischer Lösungen für Personenbeförderungsanlagen für die neuen Zwecke

Die vor allem von den zu Reichtum gelangten Wüstenstaaten finanzierten und auf ihrem Territorium errichteten Supergebäude werden wohl auch in Zukunft Extremfälle bleiben, selbst wenn die Ambitionen noch weiter gesteigert werden sollten. Die Skyline künftiger Megacities wird eher von Gebäuden bestimmt, die immer noch sehr hoch, aber vor allem kompakter sein werden. Aber auch die Bauwerke gemäßigter Höhe werden im Gebäudeinnern Beförderungssysteme benötigen, die völlig neuartige Anforderungen erfüllen müssen. Auch wenn auf diese Anforderungen nicht sofort eine umfassende Antwort gegeben werden muss, so stellt sich doch die Frage, ob man für diese auf uns zukommende Aufgaben hinreichend technisch gerüstet ist.

Schaut man sich im bekannten Umfeld nach geeigneten Lösungsmöglichkeiten um, so richtet sich der Blick zuerst auf die Eignung der bisher dominierenden Technologie des Seilzugs.

Diese bis in die Gegenwart hinein massenhaft verwendete technische Lösung geht vom Grundprinzip her auf eine Erfindung für sichere Personenaufzüge des US-Amerikaners *Elisha Graves Otis*, dem späteren Begründer der *Otis Elevator Comp.*, aus dem Jahr 1853 zurück [6]. Wesentliche Komponenten der vorwiegend genutzten Variante des sog. Treibscheibenaufzugs sind Schächte, in denen eine Einzelkabine abwechselnd in beide Richtungen verkehrt, die an einem Tragseil hängt, wobei das Seil über eine Umlenkrolle geführt und von einem zumeist elektrischen Motor bewegt wird. Bestandteil der Erfindung sind auch Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit der Insassen im Falle eines Seilrisses. Einen bildhaften Eindruck von der Erstauführung eines solchen Seilaufzugs vermittelt **Abb. 4**.



Abb. 4

Otis-Aufzug von 1856 in Glasgow [7]

Untersucht man die Einsatzmöglichkeiten dieser Ur-Lösung, so sind diese auf nicht zu große Höhendifferenzen begrenzt, allein schon deshalb, weil das Seil bei der Bewältigung großer Höhendifferenzen unter der Wirkung seines Eigengewichts reißen würde. Außerdem wäre die realisierbare Transportleistung angesichts der durch die Schachtweite vorgegebenen Begrenzung der Kabinengröße bei Weitem nicht ausreichend. Eine weitere Limitierung resultiert aus der verwendeten Betriebsart. Entsprechend dieser können im Normalfall pro Schacht gleichzeitig nur eine – in Sonderfällen vielleicht auch zwei – Kabinen verwendet werden. Diese können im Schacht je nach Beförderungswunsch entweder nach oben oder auch nach unten bewegt werden. Zum Betreten oder Verlassen von Personen muss die Kabine natürlich stillgesetzt werden. In dieser Halteposition verbleibt die Kabine im Schacht und blockiert somit möglicherweise andere Kabinenbewegungen. Schließlich trifft man auf Schwierigkeiten, wenn die Kabinen nicht nur vertikal, sondern auch horizontal bewegt werden sollen. Aus eben diesen Gründen scheiden somit Seil-geführte Aufzüge für den hier benötigten Einsatzfall aus.

Schaut man sich nach bekannt gewordenen Alternativen zur Personenbeförderung um, so trifft man auf eher exotische Konzepte [8]. Zu diesen zählen Hydraulikaufzüge, die eine Kabinenbewegung per Hubzylinder ermöglichen und die es in direkter und indirekter Ausführung gibt. Diese Technologie ist jedoch eher für kleine bis mittlere Förderhöhen verwendbar, deren Obergrenze bei 15-25 m liegt.

Ein weiteres für Aufzugszwecke genutztes Prinzip führt auf sog. Vakuumaufzüge. Auch diese scheiden nicht nur wegen der dabei auftretenden besonderen Beförderungsbedingungen, sondern auch der geringen Förderhöhe von maximal 10 m für unsere Zwecke aus.

Ernster zu nehmen sind hingegen seillose Aufzugsantriebe, denen das Zahnstangen-Ritzel-Prinzip zugrunde liegt. Bei dieser Technologie werden die Schächte mit aneinandergeschraubten Zahnstangen ausgerüstet, in welche die Kabinen über Ritzel eingreifen. Für den Antrieb der Ritzel sorgt dann ein mit der Kabine verbundener Elektromotor, sodass auch für eine Stromversorgung der Kabine gesorgt werden muss. Die

bisher bekannt gewordenen Einsatzfälle beziehen sich vorwiegend auf Aufzüge in Gittermasten oder ähnlichen Bauwerken, welche zur Durchführung von Inspektions- und Wartungsarbeiten genutzt werden. Hiermit können durchaus Höhendifferenzen bis in die Größenordnung von 100 m überbrückt werden.

Die besten Aussichten für eine Anwendung in Aufzügen extremer Höhe versprechen technische Lösungen auf der Basis spezieller elektromagnetischer Antriebe, worauf an späterer Stelle noch genauer eingegangen wird.

Der Antrieb von mit Personen besetzten Kabinen stellt jedoch für den hier betrachteten Einsatzfall nicht das einzige zu lösende Problem dar. Daher ist es sinnvoll, den weiteren Ausführungen die Gesamtheit der zu erfüllenden Forderungen voranzustellen.

4. Die neuen Anforderungen an Aufzugssysteme zur Personenbeförderung in Gebäuden zukünftiger Generation

Die wohl gravierendste Forderung an die gesuchte technische Lösung für den zukünftig anfallenden Personentransport innerhalb extrem hoher und komplexer Gebäude ist die Überbrückung einer über das bisher bekannte Maß weit hinaus reichenden Höhendifferenz. Stellt man dabei die Menschen in den Mittelpunkt, so sollen die anfallenden Beförderungsleistungen möglichst schnell, effizient, komfortabel, sicher und ohne lange vorherige Wartezeit erfüllt werden. Angesichts der zu erwartenden Länge der Transportwege leitet sich daraus ab, dass die Personenbeförderung mit möglichst hoher Geschwindigkeit zu erfolgen hat, wobei allerdings auch verträgliche Beschleunigungen und Verzögerungen gewährleistet sein müssen. Bei der Größe und Ausdehnung der Gebäude wird eine erhebliche Anzahl von Personen dort tätig sein, sodass die quantitativen Anforderungen an den Personentransport ein beträchtliches Ausmaß erreichen können. Somit werden besonders leistungsfähige und effiziente Transportsysteme benötigt. In den ausgedehnten Gebäuden wird es eine Vielzahl von verteilten Orten geben, die sämtlich erreichbar sein müssen. Daher wird eine alleinige vertikale Beförderung nicht ausreichend sein, sodass es ebenfalls horizontale Transportlinien und Umsteigestationen geben muss. Bei der Festlegung der Transportnetze sind auch Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen, um im Katastrophenfall möglichst viele Personen möglichst unbeschadet evakuieren zu können. Daher ist auch auf redundante Fluchtwege zu achten. Die Multifunktionalität der Gebäude wird auch den Bedarf an Transportleistungen einschließen, der sich nicht nur auf Personen beschränkt, sondern auch Güter unterschiedlichster Art einschließt. Wie man also sieht, besteht eine Fülle von Anforderungen, die weit über jene herkömmlicher Personenaufzüge hinausreichen.

5. Ansätze zur Lösung des Beförderungsproblems

Das vorstehend zusammengestellte Bündel an Anforderungen an die zukünftig benötigten Gebäude-internen Transportsysteme können offensichtlich mit den bisherigen Mitteln nicht erfüllt werden, sodass völlig neuartige Systemlösungen notwendig sind. Dazu beabsichtigen wir, einige Anregungen zu geben [9]. Angesichts der Komplexität der hier bestehenden Sachlage werden wir aus Gründen der Übersichtlichkeit eine Aufgliederung in Teilprobleme vornehmen und dazu jeweils geeignet erscheinende Lösungsvorschläge unterbreiten. Dabei kann es sich allerdings an dieser Stelle nur um die Vorstellung von Prinziplösungen handeln.

- **Vorschlag für Infrastrukturlösung**

Kern der hier vorgeschlagenen Infrastrukturlösung ist die durchgängige Verwendung von paarweise angeordneten Aufzugsschächten bzw. Transportkanälen, die von Kabinen, die von Personen besetzt oder auch unbesetzt sein können, in Gegenrichtung durchlaufen werden. Die Kanäle sind an den Enden miteinander verbunden, sodass ein zyklischer Durchlauf der Kabinen gewährleistet ist.

In die Kanäle sind auf Geschossebene eingerichtete Stationen eingebunden, auf denen transportwillige Personen bei stillstehenden Kabinen ein-, aus- oder ggfs. auch umsteigen können. In den Stationen können sich vertikale und horizontale Kanäle auch kreuzen, sodass Umsteigestationen entstehen. Dort können die Personen auch bedarfsweise die Kanäle und somit Fahrwege wechseln. Durch geeignete Kombination vertikaler und horizontaler Transportlinien mit paarweise angelegten Kanälen lassen sich auf diese Weise dreidimensionale Beförderungsnetze realisieren, deren Anordnung und Ausbau der vorgesehenen Gebäudestruktur und -nutzung entsprechen.

- **Vorschlag zur Antriebslösung**

Zu den wichtigsten Entwurfsaufgaben gehört nach dem zuvor begründeten Ausscheiden der Seilbeförderung die Bestimmung einer geeigneten Antriebsart. Dafür stehen entsprechend den bestehenden besonderen Anforderungen nur wenige Varianten zur Wahl [5], von denen die meisten bereits vorstehend ausgeschieden sind.

Für den vorliegenden Zweck am geeignetsten erscheinen Antriebe nach dem Prinzip der elektromagnetischen Synchron-Linearmotoren, wobei an der Entwicklung dieser Technologie weltweit gearbeitet wird [10], [11], [12]. Das Prinzip ist dadurch bestimmt, dass die Kabinen in den Kanälen durch ein Leitgestänge geführt und darin durch ein vertikal bewegliches Magnetfeld gehalten bzw. bewegt werden. Ein elektromagnetischer Antrieb zumindest ähnlicher Art wurde von ThyssenKrupp für den Einsatz in hochragenden Gebäuden entwickelt [13]. In diesem Fall handelt es sich um eine Modifikation des aus dem *Transrapid* bekannten Prinzips der Magnetschwebbahn. Auch hier schweben die Kabinen auf einem Magnetfeld, das sich bewegt.

- **Vorschlag zur Gewährleistung einer Personenbeförderung mit möglichst hoher Geschwindigkeit**

Die Transportwege zwischen den individuell gewählten Start- und Zielstationen können insbesondere in hochaufragenden Gebäuden eine größere Länge aufweisen, was wiederum dazu drängt, die Beförderungszeiten nicht zu lang werden zu lassen. Dafür werden zwei Lösungsmöglichkeiten gesehen.

Die eine Variante besteht darin, dass speziell bei den in große Höhe reichenden Aufzügen die Vielzahl der potenziell vorhandenen Haltemöglichkeiten beim Passieren von Etagen eingeschränkt wird, sodass nur die im oberen Bereich befindlichen Stationen angefahren werden können. Daraus resultiert die Möglichkeit, einen Großteil des Transportweges mit hoher Geschwindigkeit zu befahren, was die Reisezeit u. U. wesentlich verkürzen würde. Um jedoch alle auf den bestehenden Etagen befindlichen Stationen bedienen zu können, sind dann in den Gebäuden mehrere Aufzüge unterschiedlicher Reichweite erforderlich. Diese könnten dann nicht nur der Grob- und Feinverteilung im Gebäude genutzt, sondern auch der unterschiedlichen Stockwerksnutzung angepasst werden. Die Gesamtheit der im Gebäude eingerichteten Aufzüge ermöglicht einen unabhängigen Betrieb der einzelnen Linien, die jedoch geeignet miteinander durch horizontale Abzweige miteinander verlinkt sein sollten. Betrachtet man dazu beispielhaft das in **Abb. 3** veranschaulichte superhohe Gebäude des *Burj Khalifa*, so bietet die dort realisierte architektonische Lösung beste Voraussetzungen zur Verwendung einer Mehrzahl von Aufzügen unterschiedlicher Reichweite.

Eine andere Möglichkeit wäre die Einrichtung eines *Pipe-Line*-Betriebs. Dieses Prinzip erfordert eine Aufgliederung in einen Fahr- und Haltebetrieb. Im Modus des Fahrbetriebs erfolgt dann ein Hochgeschwindigkeitstransport der Kabinen zwischen der Start- und individuell gewählten Zielstation im Konvoi, sodass ein sog. *Pipe-Line*-Betrieb realisiert wird. Der Modus des Haltebetriebs ist notwendig, damit Personen, die ihr Ziel erreicht haben, aussteigen oder auch umsteigen und andere die Kabinen betreten können, wofür die betreffenden Kabinen in den Haltezustand versetzt werden müssen. Um dabei den Fahrbetrieb nicht zu behindern, müssen solche Kabinen vor Erreichen der betreffenden Stationen aus dem Kabinenstrom ausgekoppelt und an einem besonderen Platz in der betreffenden Station stillgesetzt werden. Nach Beendigung des Personenwechsels ist die betreffende Kabine dann wieder in den Strom einzukoppeln. Der Übergang zwischen den beiden Betriebszuständen verlangt allerdings eine Abbremsung bzw. Beschleunigung der Kabinen, wofür besondere Maßnahmen getroffen werden müssen. Diese zuletzt genannte Variante ist die bei weitem effektivste, da eine u. U. große Zahl von Kabinen, die belegt oder auch unbelegt sein können, mit durchaus unterschiedlicher Zielvorgabe zeitweise Bestandteil eines Kabinenstroms sind, der mit gleichbleibend hoher Geschwindigkeit verkehrt. Dafür verlangt die Umsetzung dieses Prinzips angesichts der Beherrschung der Aus- und Einkopplungsproblematik einen wesentlich erhöhten Steuerungsaufwand.

- **Vorschlag zur gesteigerten Personenbeförderung**

Die Erfüllung der quantitativen Anforderungen an die Personenbeförderung in ausgedehnten Gebäuden erfordert zunächst die Einrichtung einer hinreichenden Anzahl wohlplatzierte Aufzüge. Zur Bewältigung eines zeitweise bestehenden erhöhten Fahrgastaufkommens – etwa während der sog. *Rush Hour* oder beim Ansturm auf die *Sky Lobby* – sind jedoch noch weitere Maßnahmen zu treffen. Um solchen Belastungsspitzen zu begegnen, ist es dann zweckmäßig, gekoppelte Kabinen vorzusehen. Hierunter versteht man zwei oder auch mehrere fest miteinander verbundene Kabinen, mit denen gleichzeitig mehrere Stockwerke angefahren werden können. Der Vorteil der Verwendung solcher sog. Doppeldecker- bzw. Mehrfachkabinen besteht darin, dass eine erhöhte Transportkapazität zur Verfügung gestellt wird, ohne dass die Fläche der Kabinen bzw. die lichte Weite des Schachtes vergrößert werden muss.

- **Vorschlag zur minimalen Belastung der zu befördernden Personen**

Die Beförderung soll möglichst geringe Anforderungen an die in Anspruch nehmenden Personen stellen. Daher soll sich die Belastung bei Vorhandensein einer transportfähigen Kabine in der betreffenden Station auf das Ein- bzw. Aussteigen sowie die Eingabe der (codierten) Zieladresse beschränken. Dabei kann es auch vorkommen, dass der Beförderungswunsch mangels Vorhandensein einer belegbaren Kabine nicht sofort erfüllt werden kann. Dann soll es möglich sein, aus dem Kabinenstrom die nächste unbesetzte Kabine abzurufen. Alle übrigen Funktionen sollen einer Automatik übertragen werden. Diese Automatik wird mutmaßlich einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen, sodass deren Funktionsbeschreibung den hier bestehenden Rahmen übersteigt.

6. Ergebnis und Ausbau der Lösung

Die sich ausbreitende Tendenz der Urbanisierung wird zu einer Verdichtung unserer Lebensräume führen, deren äußeres Merkmal die Errichtung zunehmend höherer und kompakterer Gebäude mit Stadt-ähnlichem reichem Innenleben sein wird.

Entsprechend der damit verbundenen Menschenansammlungen ergibt sich ein erhöhter Bedarf an Beförderungskapazität, wobei auch sehr hohe und weitverzweigte Fahrwege zu bedienen

sind. Diesen Anforderungen ist nur durch komplett neuartige technische Lösungen zu begegnen. Mit dieser Aufgabe befasst sich der vorliegende Beitrag in seinem Kern. Zunächst werden die sich aus dem vorliegenden Einsatzfall stellenden Anforderungen bestimmt, welche den nachfolgend unterbreiteten Vorschlägen als Zielstellungen vorangestellt werden. Die Empfehlungen beziehen sich auf verschiedene Sachverhalte. Dazu zählen die Bestimmung einer vorteilhaften Infrastruktur, den Vorschlag einer den neuen Anforderungen entsprechenden Antriebsart sowie Kabinenführung, die Festlegung von Maßnahmen zur Realisierung einer möglichst hohen Beförderungsgeschwindigkeit und zur Bewältigung großer Beförderungsleistungen in Spitzenzeiten sowie auch zur Gewährleistung einer möglichst anforderungsarmen Bedienung der Anlage. Die Hauptlast der Prozessführung trägt eine intelligente Automatik, deren Komplexität hier nur erahnt werden kann.

Im Grunde betreffen die Darlegungen die Grobspezifikation eines komplexen Verkehrssystems, das – in verkürzter und veränderter Form – aus dem offenen Straßenraum nunmehr in großvolumige und vor allem recht hohe Gebäude verlagert wird. Somit müssen ähnliche Transportaufgaben nicht nur erfüllt, sondern nach Möglichkeit auch effizienter ausgeführt werden.

Da liegt es dann nahe, wenn in einer künftigen Weiterentwicklung auch geeignete Schnittstellen geschaffen werden, die eine Verknüpfung solcher Gebäude-internen, vorwiegend dreidimensionalen Transportsysteme mit den öffentlichen Verkehrsträgern ermöglichen, um auf diese Weise einen optimalen Verkehrsverbund zu erreichen. Dabei sollten sich die innerstädtischen Verkehrsträger ebenfalls einem Wandel unterwerfen, um den inzwischen erreichten technischen Entwicklungsstand zu verwerten. Denkbar wären hier auf speziellen Trassen verkehrende fahrerlose Kleinbusse mit E-Antrieb zur weitgehend individuellen Personenbeförderung, der Flotten-mäßige Einsatz selbstfahrender Fahrzeuge für Lieferzwecke und kommunale Dienste u. a. m.

Insgesamt glaubt der Autor, mit den vorstehenden Ausführungen einige Anregungen gegeben zu haben, die bei den entsprechend zu erwartenden Veränderungen und neuen Bedürfnissen zu schaffenden technischen Lösungen möglicherweise von Nutzen sein könnten.

Literaturverzeichnis

[1] <https://pixabay.com/en/traffic-jam-stop-and-go-rush-hour-143391/>

[2] https://pixabay.com/photos/hong_kong/skeeze

[3] https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_höchsten_Gebäude_der_Welt

[4] https://de.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa

[5] <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>

[6] https://de.wikipedia.org/wiki/Otis_Elevator_Company

[7] <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

[8] <https://de.wikipedia.org/wiki/Aufzugsanlage#H>

[9] Weller,W.: Beiträge zur Entwicklung neuartiger technischer Lösungen zur Personenbeförderung in hochragenden und ausgedehnten Gebäuden. Apr. 2017 (unveröffentlicht)

- [10] Lim, H. S.; Krishnan, R.: Ropeless Elevator With Linear Switched Reluctance Motor Drive Actuation Systems. IEEE Transact. on Industr. Electronics, vol. 54, no.4, pp. 2209-2218, 2007
- [11] Onat, A. et al.: Design and Implementation of a Linear Motor for Multicar Elevators. IEEE/ASME Transact. on Mechatronics, vol. PP, no. 99, pp. 1-9, 2009
- [12] Platen, M.: Entwicklung eines Synchron-Linearantriebs für ein vertikales Transportsystem. Diss. Inst. f. Elektr. Maschinen der RWTH Aachen, Shaker Verlag Aachen, Juli 2001, ISBN 978-38265-9011-5
- [13] <http://www.thyssenkruppelevator.com>