

Zürcher Hochschule der Künste  
Vertiefung Industrial Design  
Ausstellungsstrasse 60  
8005 Zürich

Milan Rohrer  
Schaffhauserstrasse 151  
8057 Zürich  
design@milanrohrer.com  
+41 (0)78 677 42 73

# AUTONOMOUS TAXIING

## POTENTIAL EINES EMISSIONSARMEN ROLLSYSTEMS AUF FLUGHÄFEN

Bachelor Theoriearbeit 2014, 6. Semester  
BDE-BDE-T-VS-6001.14F.001  
Dozierende: Franziska Nyffenegger, Claude Lichtenstein

Abgabedatum: 26. Februar 2014  
Zeichenanzahl (inkl. Leerzeichen): 27'989



## Inhaltsverzeichnis

READY FOR PUSHBACK	Einleitende Worte	3
	Themenfeld	3
	Fragestellung	4
	Methodische Herangehensweise	4
FASTEN YOUR SEATBELT	Entwicklung der Flughäfen	5
	Trimmung auf Effizienz	6
	Pushback-Vorgang	7
TAKEOFF	Abbild der Quellenlage	7
	Analyse der bestehenden Lösungsansätze	8
	· Single Engine Taxi	8
	· Elektrisch betriebenes Fahrwerk (Wheeltug)	9
	· Full Towing	9
	· Autonomes Full Towing (Taxibot)	10
	· Pushback am Hauptfahrwerk (PowerPush)	11
	· Pushback durch Umkehrschub (PowerBack)	11
· Optimierung durch Planung	11	
CAPTAIN SPEAKING	Emissionsarmes Rollsystem	13
	Infrastrukturelle Massnahmen	13
TOUCHDOWN	Beantwortung der Forschungsfrage	14
	Ausblick	14
BIBLIOGRAFIE	Primärquellen	15
	Sekundärliteratur	15
	Internetquellen	16
	Videoquellen	17
	Abbildungsverzeichnis	17
ANHANG	Interview 1: Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport)	18
	Interview 2: Hersteller Pushback-Fahrzeuge (Goldhofer)	23
	Interview 3: Betreiber (Flughafen Zürich)	24

## Einleitende Worte

Vor ungefähr hundert Jahren suchten die ersten «abgebrühten Sportratten oder technische Spekulanten»<sup>1</sup>, wie Hermann Hesse sie betitelt, mit ihren Flugapparaten nach der Grenzenlosigkeit des Himmels. Ein Jahrhundert stetiger Triumphe und Weiterentwicklungen hat nun längst die Intelligenz über die Materie siegen lassen.<sup>2</sup> Nicht mehr grösser, schneller und bequemer, sondern effizienter, rentabler und umweltfreundlicher heissen die heutigen Fortschrittsziele der Luftfahrt. Entwicklungen werden vorwiegend von Ingenieursarbeit dominiert und designhistorisch ist die Passagierluftfahrt bisher kaum untersucht worden. Designer gewichten jedoch andere Aspekte, die das technische Denken zu neuen Ideen führen kann.<sup>3</sup> Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag, um die Luftfahrt effizienter zu gestalten und liefert die theoretische Grundlage, um im anschliessenden praktischen Teil einen konkreten Lösungsansatz auszuarbeiten.

## Themenfeld

«Ready for Pushback» erklingt im Kopfhörer des Chauffeurs eines 1360 PS starken Pushback-Fahrzeuges. Er hebt den 500 Tonnen schweren A-380 an, schiebt ihn rückwärts aus dem Standplatz und setzt ihn auf dem Rollfeld wieder ab.<sup>4</sup> Ein aufwendiges Spektakel, um diese kurze und simpel wirkende Aufgabe auszuführen. Der Grund dafür ist einfach: Flugzeuge können nicht selbständig rückwärts fahren und benötigen deshalb ein externes Hilfsmittel – ein Pushback-Fahrzeug. Sobald das Zurückstossen beendet ist, rollt das Flugzeug, angetrieben durch die Triebwerke, zur Piste. Je nach Grösse des Flughafens und Position des Standplatzes nimmt dieser Vorgang einige Zeit in Anspruch und verbraucht mit laufenden Triebwerken Unmengen an Treibstoff. Im Verhältnis zum gesamten Energieaufwand in der Luftfahrt<sup>5</sup> erscheint dies bedeutungslos, doch um dem Verlangen der CO<sup>2</sup>-Reduktion<sup>6</sup> nachzukommen, ist jede Einsparung förderlich. Ein übliches Passagierflugzeug ist pro Tag ungefähr dreieinhalb Stunden rollend unterwegs.<sup>7</sup> Summiert man diese Bewegungen aller Flughäfen und Fluggesellschaften, ergibt dies einen CO<sup>2</sup>-Ausstoss von jährlich 150 Millionen Tonnen.<sup>8</sup> Um diesen Emissionsausstoss zu senken, muss sich der bestehende Ablauf ändern und mit einem System ersetzt werden, das ein treibstoffärmeres Rollen ermöglicht.

---

1 Hesse 1994, S.29.

2 Hesse 1994, S.31.

3 Von Vegesack 2004, S.6.

4 Schweizer Radio und Fernsehen: Flughafen Zürich, Hochbetrieb zum Ferienstart, 5. Oktober 2013 (2:22:22).

5 Die Luftfahrt verbraucht weltweit jeden Tag ungefähr eine Milliarde Liter Treibstoff (Globo Meter: Die Welt in Zahlen).

6 Kohlenstoffdioxid (CO<sup>2</sup>) entsteht beim Verbrennen fossiler Brennstoffe und gilt, da es zum Treibhauseffekt beiträgt, als schädliche Emission. Fliegen zählt unter den Verkehrsmitteln zum grössten Verursacher von CO<sup>2</sup>-Emissionen.

7 Dies wurde anhand eines Airbus A-320 untersucht (Aviation Week, 01.04.2011, S.69).

8 Zu dieser Zahl existieren unterschiedliche Angaben: 18 Millionen Tonnen CO<sup>2</sup> (Ricardo 2009, S.2), 60 Millionen Tonnen CO<sup>2</sup> (Airbus) und 150 Millionen Tonnen CO<sup>2</sup> (Johnson).

## Fragestellung

Die vorliegende Arbeit untersucht die potentiellen Optimierungsmöglichkeiten, welche sich den Flughäfen und Fluggesellschaften anbieten, um in der kommerziellen Fliegerei Treibstoff einzusparen. Das Augenmerk liegt insbesondere auf der Effizienzsteigerung rollender Flugzeuge und der Optimierung von Taxiways<sup>9</sup>.

Diesen Prozess versuche ich entlang der folgenden Forschungsfrage zu analysieren: Inwiefern ist ein emissionsarmes Rollsystem sinnvoll und welche Anforderungen werden daran gestellt, um dem Ziel, die kommerzielle Luftfahrt umweltfreundlicher zu gestalten, näher zu kommen?

## Methodische Herangehensweise

Zu dieser Thematik existieren bereits unterschiedliche Lösungsansätze. Diese frage ich zusammen, um die Erkenntnis daraus zu gewinnen, welche Lösung am effektivsten Emissionen reduziert und optimal umsetzbar ist. Um anschliessend die Thematik aus möglichst unterschiedlichen Sichtweisen zu beleuchten, setze ich mich mit den Fluggesellschaften und den Flughafenbetreibern auseinander. Sie haben den grössten Einfluss auf potentielle Veränderungen. Aus der jeweiligen Sicht dieser Betrachtungsgruppen versuche ich, Optimierungspotential zu erkennen. Dazu dienen als Primärquellen qualitative Leitfadenterviews mit Vertretern der jeweiligen Bereiche.<sup>10</sup> Eine breite Anzahl einschlägiger Sekundärliteratur<sup>11</sup> half mir zudem, das Thema zu verstehen und auf bereits geleisteter Arbeit aufzubauen. Die einleitende thematische Verortung zeigt auf, wie die heutigen Vorgänge der Bodenabfertigung auf den Flughäfen entstanden sind. Anschliessend erläutere ich, gestützt auf bestehende Studien, mögliche Lösungsansätze und zeige deren Vor- und Nachteile auf. Die abschliessenden Erkenntnisse legen die Grundlage zur Umsetzung eines emissionsarmen Rollsystems im Hinblick auf den praktischen Teil dieser Arbeit.

---

9 Taxiway ist der englische Begriff für Rollfeld und bezeichnet die Strassen auf dem Flughafen, auf denen sich Flugzeuge bewegen. Taxi bedeutet Rollen auf dem Taxiway.

10 Vgl. Anhang, S.18.

11 Vgl. Bibliografie, S.15.

## Entwicklung der Flughäfen<sup>12</sup>

Flughäfen sind Orte, die sich ständig wandeln und versuchen, sich den verändernden, gegenwärtigen Bedürfnissen anzupassen. Eine optimale Flughafenstruktur, die allen Anforderungen gerecht wird, existiert jedoch bis heute nicht. Der Architekturhistoriker Koos Bosma schreibt dazu: «Eine ganz und gar adäquate Planung von Flughäfen ist unmöglich, nicht nur weil technische und logistische Aspekte die primären Determinanten sind, sondern auch weil sich unvorhersehbare geopolitische Komplikationen sowie wirtschaftliche Entwicklungen auf den Flughafenentwurf auswirken.»<sup>13</sup> Die Anordnung der Flugzeugstandplätze zeigt exemplarisch diese ständige Weiterentwicklung. Die Platzierung der Flugzeuge hat sich von anfänglich freistehenden zu immer komplexer werdenden Positionen an den Terminals verschoben. Auf grossen Flughäfen wird heute vorwiegend in der Nose-in-Position<sup>14</sup> parkiert, um ein schnelles Ankommen zu garantieren. Unabdingbar ist dazu ein Push-back-Fahrzeug, um das Flugzeug beim Abflug wieder aus der Standposition zu schieben.

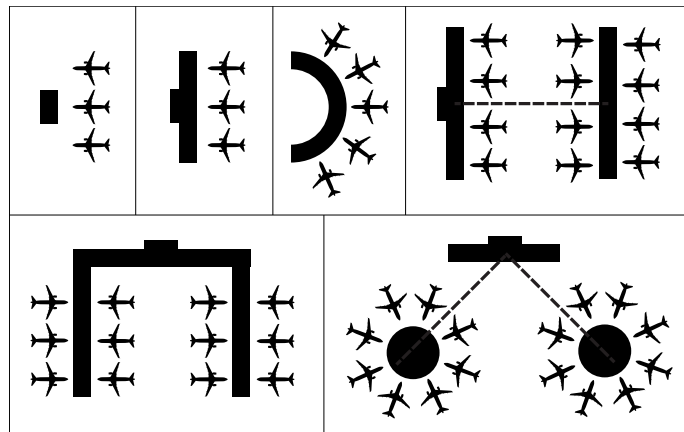


Abb. 1: Varianten von Terminals und deren Flugzeugpositionen.

12 Ein Flughafen ist ein Ort, an dem grosse Passagierflugzeuge Starten und Landen und die kommerzielle Fliegerei betrieben wird. Kleinere Orte, an denen Sport- und Militärfliegerei betrieben wird, nennt man Flugplätze.

13 Bosma 2004, S.64.

14 Nose-in-Position bedeutet aus dem Englischen übersetzt «mit der Nase voran». Damit wird die Position bezeichnet in der das Flugzeug am Gate steht.

## Trimmung auf Effizienz

Infolge kontinuierlicher Steigerung der Passagierzahlen verdichten sich zunehmend die Platzverhältnisse auf den Flughäfen und die dadurch entstehende Beschleunigung der Bodenabfertigung fordert eine zügige Abwicklung des Pushback-Vorgangs. Anfänglich ist das Flugzeug durch eine Stange mit dem Fahrzeug verbunden worden. Dieser Vorgang war umständlich, da einerseits jede Flugzeugklasse eine eigene Stange benötigte und andererseits das An- und Abkoppeln viel Zeit beanspruchte.<sup>15</sup> Im Gegensatz dazu werden seit 1987 die heute weit verbreiteten stangenlosen Flugzeugschlepper eingesetzt.<sup>16</sup> Diese verbinden sich mit dem Flugzeug, indem sie das Bugfahrwerk einklemmen und anheben, um rückwärts zu fahren. Seit dieser Innovation haben sich Pushback-Fahrzeuge kaum verändert und sehen noch immer gleich aus. Sie sind lediglich grösser und leistungsfähiger geworden, um der heutigen Flugzeuggeneration gerecht zu werden.



Abb. 2: Pushback-Traktor mit Stange, Kloten, 1983.



Abb. 3: Der erste stangenlose Prototyp von Goldhofer: AST-1, Kloten, 1992.

15 Salamone, Michael: Use of towbarless tractors at airports 2012. [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/acrp/acrp\\_rrd\\_015.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/acrp/acrp_rrd_015.pdf) (abgerufen am 25.02.2014).

16 Bammel 2005, S.14.

## Pushback-Vorgang

Der Vorgang des Pushbacks gehört zum kritischen Pfad der Bodenabfertigung. Während diesem Vorgang werden keine weiteren Arbeiten an der Flugzeugabfertigung vorgenommen, wodurch die benötigte Zeit einen direkten Einfluss auf die Effizienz hat. Sind alle Türen des Flugzeuges geschlossen, begibt sich das Pushback-Fahrzeug in Position, um bei der Startfreigabe sofort mit dem Zurückschieben zu beginnen. Das Bugfahrwerk wird vom Fahrzeug gepackt, wodurch der vordere Teil des Flugzeuges hydraulisch angehoben wird. Der Pilot erteilt dem Pushback-Fahrer per Funk die Rollfreigabe und übergibt ihm damit die Kontrolle über das Flugzeug. Das Flugzeug wird rückwärts auf das Rollfeld gestossen und vor dem Start der Triebwerke vom Fahrzeug wieder abgesenkt. Nach der Entkoppelung wird der Steering-pin<sup>17</sup> abgezogen und die Kontrolle dem Piloten zurückgegeben. Der Pushback-Vorgang ist nach durchschnittlich eineinhalb Minuten<sup>18</sup> beendet und das Flugzeug fährt angetrieben durch die Triebwerke zur Piste. Damit das Starten der Triebwerke im Zeitplan weiter nach hinten zu geschoben werden kann, um Treibstoff einzusparen, sind bereits verschiedene Lösungsansätze entwickelt worden. Untersucht wurde beispielsweise, wie und ob ein Starten der Triebwerke in Pistennähe möglich wäre und welche Konsequenzen daraus resultieren würden. In den 1980er-Jahren entwickelte die Air France einen Flugzeugschlepper, der die dreifache Geschwindigkeit der bisherigen Fahrzeuge erreichte. Bereits zu dieser Zeit existierte der Gedanke, Flugzeuge mit einem solchen Schlepper an den Start der Piste zu bringen, um Treibstoff einzusparen.<sup>19</sup> Aufgrund der dadurch entstehenden Investitionskosten wurde diese Idee bisher nie umgesetzt.

## TAKEOFF

### Abbild der Quellenlage

Die folgenden Beispiele legen eine seit Jahren andauernde Suche nach neuen Lösungen zu diesem Thema offen. Ich werde die jeweiligen Ansätze erläutern und mich dabei vorwiegend auf eine Forschungsarbeit der Hochschule für Angewandte Wissenschaft in Hamburg stützen. Mitarbeiter des Departements für Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau haben während drei Jahren zum Thema Flugzeugdesign für tiefe Kosten bei der Bodenabfertigung geforscht. Die grundlegende Erkenntnis aus dieser Arbeit lautet, dass Flugzeuge so kurz wie möglich auf dem Boden stehen sollen, denn mit stehenden Flugzeugen erwirtschaften Fluggesellschaften keine Einnahmen. Durch verkürzte Bodenabfertigungszeiten kann in der Luft langsamer geflogen werden, denn das Drosseln der Triebwerke hat enorme Auswirkungen auf den Treibstoffverbrauch. Alle Änderungsvorschläge dieser Studie versuchen diese Erkenntnis zu berücksichtigen.<sup>20</sup> Dwayne Raes untersuchte speziell den Pushback-Vorgang und fokussierte dabei auf die Machbarkeit einer jeweiligen Anpassung.

17 Der Steering Pin ermöglicht die freie Bewegung des Bugfahrwerkes durch das Pushback-Fahrzeug. Wird dieser nach dem Pushback nicht abgezogen, ist das Flugzeug für den Piloten nicht steuerbar.

18 Dwayne 2008, S.18.

19 Mouat, Lucia: Towing airplanes: Will it save fuel? The Christian Science Monitor 1981. <http://www.csmonitor.com/1981/0108/010857.html> (abgerufen am 16.12.2013).

20 Scholz, Dieter: ALOHA, Aircraft Design for Low Cost Ground Handling. <http://aloha.profscholz.de> (abgerufen am 18.02.2014).

Eine weitere Arbeit der amerikanischen Purdue University, die den autonomen<sup>21</sup> Betrieb von Pushback-Fahrzeugen untersucht hat, unterstützt mich vor allem im Hinblick auf den praktischen Teil dieser Arbeit. Das Konzept liefert relevante Details zur nötigen Ausstattung und den Anforderungen eines autonom betriebenen Pushback-Fahrzeuges.<sup>22</sup>

Um die Lösungsansätze bewerten und einschätzen zu können, habe ich Fachpersonal aus den jeweiligen Betrachtungsgruppen mit den Erkenntnissen konfrontiert. Zuerst analysierte ich den Betrieb der Swissport, dem grössten Anbieter eines Pushback-Services auf dem Flughafen Zürich, und führte mit dem zuständigen Betriebsleiter ein Interview. Beim süddeutschen Pushback-Fahrzeug-Hersteller Goldhofer blieben die erhofften Informationen aus, da das Unternehmen keine eigene Forschung betreibt. Dennoch konnte ich in Erfahrung bringen, welche Anforderungen an ein zukünftiges Fahrzeug gestellt werden. Als dritter und aufschlussreichster Interviewpartner traf ich den für die Abläufe und Systeme zuständige Projektmanager der Flughafen Zürich AG. Seine Informationen erweiterten meine Sichtweise mit neuen Aspekten.

## Analyse der bestehenden Lösungsansätze

### · Single Engine Taxi

Eine von diversen Fluggesellschaften bereits praktizierte Methode ist das Single Engine Taxi. Dabei wird nach der Landung ein Triebwerk ausgeschaltet und das Flugzeug bewegt sich auf dem Rollfeld mit nur einem laufenden Triebwerk. Die spanische Fluggesellschaft Iberia wendet dieses Prinzip an und spart laut eigenen Angaben bis 238 Kilogramm Treibstoff auf einem Flug.<sup>23</sup> Aussen Airlines geht sogar einen Schritt weiter und wendet das Rollen mit nur einem Triebwerk auch bei abfliegenden Maschinen an. Das zweite Triebwerk wird erst kurz vor dem Erreichen der Piste gestartet. Auch die Swiss wendet das Single Engine Taxi an, jedoch nur bei der Landung und erst nachdem die zu kreuzende Piste überquert wurde. So wird garantiert, dass nicht mehr angehalten werden muss, denn die Leistung, um das Flugzeug nach einem Stopp wieder in Bewegung zu bringen und um die Haftreibung zu überwinden, ist sehr hoch.<sup>24</sup>

### · Elektrisch betriebenes Fahrwerk (Wheeltug)

Wheeltug ist ein bereits existierendes System, bei dem ein elektrischer Motor in das Fahrwerk eingebaut wird. Das Flugzeug ist dadurch unabhängig von den Pushback-Fahrzeugen und kann sich selbständig vor- und rückwärts bewegen. Nachteile dieses Systems sind einerseits das zusätzliche Gewicht des

21 Autonom bedeutet eigenständig funktionierend. Im Zusammenhang mit Fahrzeugen ist das Fahren ohne menschlichen Einfluss gemeint.

22 Kim, Jin Young, Keaton Aktay, Kory Aktay: Automated NextGen Taxi System, West Lafayette, Indiana, Purdue University, 2009.

23 Diese Zahl entstand durch Messungen an einem Airbus A-340-600 (Aviation Pros 2011).

24 Interview Betreiber (Flughafen Zürich), 27:13.



Motors und die dadurch erforderliche Leistungssteigerung der Triebwerke.<sup>25</sup> Andererseits benötigt dieses System zusätzliche Energie, die vom APU<sup>26</sup> gespie- sen wird und ebenfalls zusätzlichen Treibstoff verbraucht.<sup>27</sup> Zudem erfordert dieses System einen beträchtlichen Personalaufwand, denn ein Flugzeug nur durch den Piloten gesteuert rückwärts zu bewegen, ist kaum vorstellbar. So werden mindestens zwei Wingwalker<sup>28</sup> und eine Person am Headset<sup>29</sup> benötigt, um das Geschehen zu kontrollieren. Gerade dieser intensive Personaleinsatz verursacht hohe Kosten im Pushback-Betrieb.<sup>30</sup> Weiter ist der Einsatz eines solchen Systems bei starkem Wettereinfluss problematisch, denn bereits mit heutigen Pushback-Fahrzeugen entstehen Komplikationen bei extremen Wit- terungsverhältnissen.<sup>31</sup> Es kann durchaus vorkommen, dass bei Schnee die zur Orientierung nötigen Bodenmarkierungen verdeckt sind und bei einer gefro- renen Rollbahn die erforderte Bodenhaftung fehlt. Flugzeugreifen besitzen lediglich Längsrillen und keine Querrillen, die zur Traktion des Rades mass- gebend sind.<sup>32</sup>

#### · Full Towing

Full Towing bedeutet, dass die Flugzeuge mit einem Fahrzeug den gesamten Rollweg bis zum Kopf der Piste geschleppt werden. Die Triebwerke starten erst dort, wodurch der Kerosinverbrauch<sup>33</sup> auf dem Rollfeld gänzlich eliminiert wird. Die Umsetzung dieser Idee erfordert infrastrukturelle Anpassungen, um die Flugzeuge an- und abzukoppeln. Starten zudem mehrere Flugzeuge gleich- zeitig, erfordert dies Wende- und Zurückfahrmöglichkeiten für Separationen im Fall von technischen Problemen.<sup>34</sup> Dieser Rückweg muss unabhängig von der entgegenkommenden Rollrichtung befahrbar sein. Für die Schleppfahr- zeuge sind zudem Strassen erforderlich, um nach dem Schleppvorgang vom abgehängten Flugzeug zum nächsten Einsatz zu gelangen. Bestenfalls werden dazu die bestehenden Strassen genutzt. Diese Massnahme erfordert weiter eine Zunahme der verfügbaren Fahrzeuge, da die grösseren Strecken länge- re Fahrzeiten bedeuten. Einer Schätzung zufolge muss zur Umsetzung dieser Methode die Anzahl der Fahrzeuge verdreifacht werden.<sup>35</sup> Die Bilanz dieser Idee wird getrübt, da der APU während diesem Vorgang trotzdem läuft, um die Bordelektronik und die Klimaanlage zu betreiben.<sup>36</sup> Zudem benötigt auch das Schleppfahrzeug Antriebsenergie. Diese ist jedoch mit einer zwölfwachen

25 Dwayne 2008, S.50.

26 Abkürzung für Auxiliary Power Unit. Das Hilfstriebwerk befindet sich meist im Heck des Flugzeuges und liefert Energie, um die Flugzeugausrüstung am Boden zu versorgen, wenn die Haupttriebwerke nicht laufen.

27 Dwayne 2008, S.30.

28 Wingwalker bezeichnet eine Person, die beim Bewegen eines Flugzeuges die Flügelspit- ze beobachtet und bei einer drohenden Kollision interveniert.

29 Ein Headset ist ein Kopfhörer mit einem Mikrophon, das den Kontakt zum Piloten er- möglicht.

30 Interview Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport), 10:14.

31 Interview Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport), 14:07.

32 Interview Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport), 22:12.

33 Kerosin ist der Treibstoff für Flugzeugtriebwerke und wird auch Flugpetrol genannt.

34 Kim 2009, S.6.

35 Dwayne 2008, S.38.

36 Dwayne 2008, S.22.

Reduktion gegenüber laufenden Triebwerken vertretbar.<sup>37</sup> Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass heutige Fahrzeuge die Geschwindigkeit, die ein Flugzeug üblicherweise auf dem Rollfeld fährt, nicht erreichen.<sup>38</sup> Um diesen Problemen entgegenzutreten ist zur Umsetzung des Full Towing eine Neuentwicklung des Pushback-Fahrzeuges notwendig.

#### Autonomes Full Towing (Taxibot)

Für die israelische Luftfahrtindustrie entwickelte die britische Firma Ricardo ein Fahrzeug, welches das Full Towing ermöglicht. Ein Prototyp existiert und wurde bereits getestet. Das Fahrzeug kann vom Piloten gesteuert werden, wobei es in Zukunft autonom fahren soll. Die Erfinder zielen dadurch auf die Minimierung von Treibstoff-, CO<sup>2</sup>- und Lärmemissionen.<sup>39</sup> Swissport reagiert auf die Realisierbarkeit eines fahrerlosen Fahrzeuges skeptisch und konstatiert: «[...] es braucht immer einen Menschen, der dort ist und das Ganze kontrolliert.»<sup>40</sup> Dies zeigt, dass der momentane Betrieb ausreichend funktioniert und eine Änderung viele Vorteile aufweisen muss, um sich durchzusetzen.

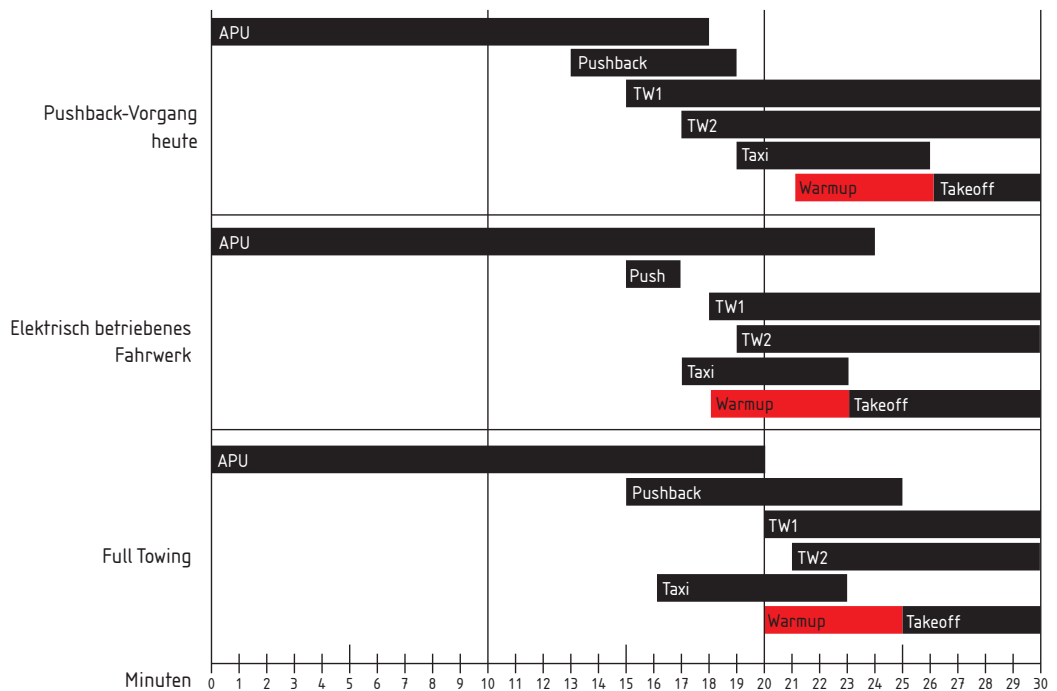


Abb. 4: Vergleich des Zeitbedarfes zwischen dem Ablauf heute, eines elektrisch betriebenen Fahrwerkes und dem Full Towing.

37 Diese Schätzung richtet sich am Treibstoffverbrauch einer Boeing 757 (Hilkevich, Chicago Tribune 2008).

38 Kim 2009, S.7.

39 Ricardo: Engineered vehicle concept aims to reduce aircraft fuel costs, CO<sub>2</sub> emissions - and noise 2009. <http://www.ricardo.com/en-GB/News-Media/Press-releases/News-releases1/2009/Ricardo-engineered-vehicle-concept-aims-to-reduce-aircraft-fuel-costs-CO2-emissions-and-noise/> (abgerufen am 16.12.2013).

40 Interview Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport), 28:24.

- Pushback am Hauptfahrwerk (PowerPush)

Schopf, eine Tochterfirma der Goldhofer, bietet ein Pushback-Fahrzeug an, das Flugzeuge nicht wie gewohnt am Bugfahrwerk, sondern am Hauptfahrwerk schiebt. Der Pilot lenkt das Flugzeug selbstständig und erhält vom Fahrzeug lediglich den Vorschub. Laut eigenen Angaben können dadurch Personalkosten um bis zu 70 Prozent gesenkt werden. Die Sicherheit wird durch dieses System erhöht und die Anschaffungs- und Betriebskosten sind deutlich geringer als bei bisherigen Pushback-Traktoren.<sup>41</sup> Auf den Ausstoss von CO<sup>2</sup> hat dieses System allerdings keine Auswirkungen. Das Prinzip ist in Zürich bereits getestet worden, erwies sich für diesen Flughafen jedoch als unbrauchbar.<sup>42</sup> Das Gefährt eignet sich lediglich für die Abfertigung kleiner Flugzeuge.<sup>43</sup>

- Pushback durch Umkehrschub (PowerBack)

Die PowerBack-Methode ist vorwiegend in den USA eingesetzt worden, findet heute jedoch keinen Einsatz mehr. Um die Gebühren des Pushback-Anbieters einzusparen, schob sich das Flugzeug durch den Umkehrschub der Triebwerke selbständig aus dem Standplatz.<sup>44</sup> Aufgrund hoher Lärm- und Umweltbelastungen wird diese Methode heute nicht mehr praktiziert.<sup>45</sup>

- Optimierung durch Planung

Ein Flughafen wird nach der Effektivität, der Reibungslosigkeit und der Geschwindigkeit, mit der man vom Land in die Luft befördert wird, beurteilt.<sup>46</sup> Es liegt also im Interesse aller Beteiligten, die Bodenabfertigungszeit möglichst kurz zu halten. Flughäfen, die als Drehkreuze funktionieren erleben schubhafte Zu- und Abnahmen von Flugbewegungen. Regionale Destinationen werden an den Hub<sup>47</sup> geflogen, um von dort die Passagiere auf die Langstreckenflüge zu verteilen. Um die Umsteigezeiten der Passagiere möglichst gering zu halten, kommen die regionalen Flieger zur gleichen Zeit an und die interkontinentalen starten kurz darauf miteinander.<sup>48</sup> Die Bodenabfertiger sind bei verkehrsarmen Zeiten trotzdem vor Ort und verursachen Kosten.<sup>49</sup> Ein weiteres Problem auf Flughäfen sind sich kreuzende Pisten. Diese können dazu führen, dass eine startende Maschine zehn bis fünfzehn Minuten mit laufendem Triebwerk zurückgehalten wird, da der landende Verkehr gegenüber dem startenden Vortritt hat.<sup>50</sup> Weiter wird vorgeschrieben, die Triebwerke fünf Minuten vor dem Abflug warmzulaufen, was bei kleinen Flughäfen dazu führen kann, dass auf die Startfreigabe gewartet werden muss, da diese Zeit noch nicht

---

41 Schopf: PowerPush, Die einzigartige Pushback-Lösung. <http://www.schopf-gse.com/Schopf-Flugzeugschlepper-PowerPush.html> (abgerufen am 18.02.2014).

42 Interview Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport), 20:58.

43 Interview Hersteller Pushback-Fahrzeuge (Goldhofer).

44 IATA, Reference Manual for Audit Programs (IRM), 4. Edition 2013, S.33.

45 Dwayne 2008, S.16.

46 Bosma 2004, S.37.

47 Hub ist die englische Bezeichnung für ein Luftfahrt Drehkreuz.

48 Vgl. Abb. 5.

49 Interview Betreiber (Flughafen Zürich), 7:04.

50 Interview Betreiber (Flughafen Zürich), 9:58.

erreicht ist.<sup>51</sup> Alle diese Probleme können durch bessere Planung umgangen werden. Der Flughafen Zürich besitzt seit kurzem das Koordinationssystem «Airport Collaborate Decision Making», um unnötige Wartezeiten zu verkürzen. Dieses funktioniert nicht wie bisher nach dem Prinzip «frist come, first served», sondern «best planed, best served».<sup>52</sup> Ein Flugzeug wird erst vom Gate<sup>53</sup> losgeschickt, wenn effektiv ein Slot<sup>54</sup> frei ist. Dabei werden alle Informationen, auch jene aus dem Luftraum und der Zielflughäfen, zentral gesammelt und ausgewertet. Dieses Rechen- und Optimierungssystem ist fähig, über den optimalen Prozessablauf zu informieren. Bei erwarteter Verspätung werden die Operationen zurückgehalten, um den weiteren Betrieb zu entlasten.<sup>55</sup> Momentan existiert dieses System lediglich für den abfliegenden Verkehr, doch der Einsatz für ankommende Flugzeuge ist bereits in Planung.<sup>56</sup>

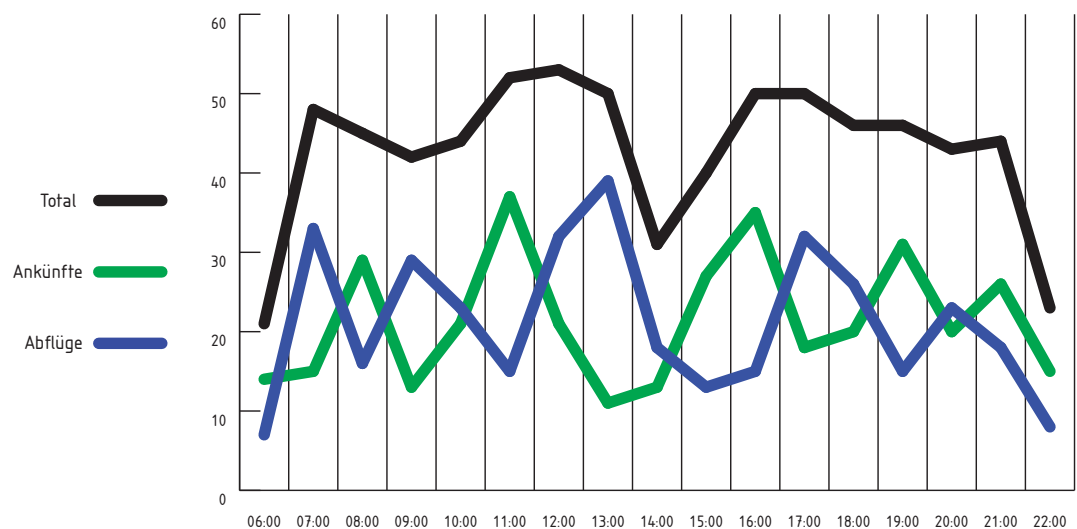


Abb. 5: Durchschnittliche Anzahl Flugbewegungen 2012 auf dem Flughafen Zürich. Erkennlich ist das Wellensystem an den schubhaften Zu- und Abnahmen und den versetzten Peaks der ankommenden und abfliegenden Flugzeuge.

51 Interview Betreiber (Flughafen Zürich), 18:37.

52 Interview Betreiber (Flughafen Zürich), 13:23.

53 Gate bedeutet aus dem Englischen übersetzt Tor. Im Zusammenhang mit dem Flughafen ist damit der Bereich gemeint, in dem die Passagiere das Flugzeug besteigen und verlassen.

54 Slot bedeutet aus dem Englischen übersetzt Schlitz. Damit ist ein vorgegebenes Zeitfenster gemeint, indem das Flugzeug eine gewisse Operation ausführen kann.

55 Kim 2009, S.5.

56 Interview Betreiber (Flughafen Zürich), 15:23.

## Emissionsarmes Rollsystem

Die aufgeführten Beispiele zeigen, dass eine kompromisslose Lösung noch nicht existiert und es nur selten zur Umsetzung möglicher Optimierungsansätze kommt. Die verheissungsvolle Idee, Flugzeuge mit einem Gefährt in Pistennähe zu bringen und die Triebwerke erst kurz vor dem Abflug zu starten, zieht zwar infrastrukturelle Anpassungen mit sich, senkt die Emissionen auf dem Rollfeld jedoch sehr effektiv. Wäre dieses Fahrzeug zudem autonom unterwegs, könnte der Personalaufwand drastisch reduziert werden. Denkbar ist auch der Einsatz bei ankommenden Flugzeugen, um so die Triebwerke nach der Landung möglichst rasch auszuschalten. Dies bedingt allerdings einen effizienten und fließenden Ablauf, um die Standzeiten sowie Leerfahrten der Fahrzeuge minimal zu halten. Die Erwartungen der Pushback-Betreiber sind hoch, denn ein neues Gerät soll robust und wartungsarm funktionieren, bei jeder Witterung einsetzbar und auf möglichst viele Flugzeugtypen anwendbar sein.<sup>57</sup> Der Hersteller der Fahrzeuge legt den Schwerpunkt hingegen auf kostengünstige, effiziente und sichere Mittel.<sup>58</sup> Gleichzeitig benötigt der Betreiber des Flughafens ein System, das intelligent, hochdynamisch und möglichst eigenständig funktioniert.<sup>59</sup> Würden die Fahrzeuge über das zentrale Rechen-system des Flughafens betrieben, könnten sämtliche Abläufe optimiert werden. Zusammen mit den Optimierungen an den Flugzeugen durch die Hersteller könnte ein enormer Schritt zur effizienteren Luftfahrt eingeleitet werden.

## Infrastrukturelle Massnahmen

Die zur Umsetzung eines Systems, das Flugzeuge zum Kopf der Piste schleppt, birgt infrastrukturelle und materielle Massnahmen<sup>60</sup> und dadurch grosse Hürden. Die Zurückhaltung gegenüber Innovationen widerspiegelt den fragilen Markt. Doch gerade die durch Investitionen entstehenden Einsparungen könnten die Ausgaben langfristig senken. Es soll daher im Interesse der Fluggesellschaften sein, ein neues System zu verwirklichen. Für den Flughafen Zürich hat das Argument der Treibstoffemissionsreduktion auf dem Rollfeld wenig Bedeutung, da die Rollzeiten zu kurz sind, um überhaupt Einsparungen zu erwirken. Erst auf grösseren Flughäfen mit Rollzeiten von über zehn Minuten wird dieses System wirkungsvoll.<sup>61</sup> Die Analyse zeigt aber, dass bisher kaum eine der beschriebenen Massnahme umgesetzt wurde.

---

57 Interview Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport), 10:41.

58 Interview Hersteller Pushback-Fahrzeuge (Goldhofer).

59 Interview Betreiber (Flughafen Zürich), 24:57.

60 Infrastrukturelle Massnahmen sind beispielsweise Platzausweitungen; materielle Massnahmen sind beispielsweise zusätzliche Fahrzeuganschaffung.

61 Dwayne 2008, S.41.

## Beantwortung der Forschungsfrage

Neuerungen in der Luftfahrtindustrie umzusetzen beansprucht viel Zeit. Etablierte Prozesse können nur durch eine in mehreren Aspekten vorteilhafte Lösung und mit dem Willen der Fluggesellschaften revolutioniert werden. Im Flugzeugbusiness ist die Reduktion der Kosten wichtiger als die der Umweltbelastung. Dies hat zur Folge, dass nicht die umweltfreundlichste Lösung als die Beste angesehen wird.<sup>62</sup> Vieles scheitert am Argument, das Alte sei besser, wodurch die Chancen reduziert werden, dass etwas Neues, Innovatives entsteht. Ein emissionsarmes Rollsystem besitzt genügend Potential, um den bestehenden Prozess abzulösen. Die Investitionskosten sind dabei allerdings möglichst klein zu halten. Die aus einem emissionsarmen Rollsystem folgenden Einsparungen sind zwar gering, doch durch die Summe aller Verbesserungen können die gewünschten Ziele erreicht werden. Um wirkungsvoll Emissionen einzusparen, soll nicht nur Bestehendes optimiert, sondern ganzheitlich gedacht werden. Immer noch funktionieren Abläufe nach teilweise 20-jährigen Mustern. Inwiefern allerdings dem Aspekt der Umweltfreundlichkeit in der Luftfahrt Relevanz zukommt, ist fragwürdig. Flugzeuge entwickeln sich mit jeder neuen Generation zu weniger schädlichen Verkehrsmitteln, wodurch die Umweltkomponente bedient wird.<sup>63</sup> Mein ursprünglicher Gedanke, durch eine Anpassung auf dem Rollfeld Treibstoff zu reduzieren, ist mit der Erkenntnis erweitert worden, dass dadurch auch Kosten reduziert werden können.

## Ausblick

Die gewonnenen Erkenntnisse haben mir geholfen, die Thematik zu verstehen und mögliche Probleme durch bereits gemachte Untersuchungen frühzeitig zu erkennen. Im Hinblick auf den praktischen Teil dieser Arbeit hat sich die Vorstellung eines solchen Systems geschärft und konkretisiert. Da dieses Thema sehr technisch anmutet, ist die Fragen nach dem Stellenwert des Designs gerechtfertigt. Ich bin überzeugt, dass der Einsatz von Design die bestehenden Lösungsansätze durch neue Ideen erweitern kann und durch das divergente Denken neue, innovative Ideen entstehen. Die visionäre Denkweise auf konzeptioneller Ebene bringt in jeglicher Hinsicht einen Mehrwert. Neben den genannten Aspekten gibt es auf Flughäfen noch weit mehr zu optimieren. Einen perfekten Aufbau gibt es nicht und wird es mit der stetigen Modernisierung der Technologien auch nie geben. Flughäfen bleiben im stetigen Wandel – und damit ein spannendes Arbeitsfeld für Designer.

---

62 Interview Hersteller Pushback-Fahrzeuge (Goldhofer).

63 Neuste Flugzeuge wie der Airbus A-350 oder die C Series des kanadischen Herstellers Bombardier verbrauchen pro Person ungefähr gleich viel Treibstoff wie ein Auto (Swiss Environmental care).

## BIBLIOGRAFIE

## Primärquellen

Rohrer, Milan: Interview 1: Betreiber Pushback-Fahrzeuge (Swissport) vom 29. Januar 2014.

Rohrer, Milan: Interview 2: Hersteller Pushback-Fahrzeuge (Goldhofer) vom 4. Februar 2014.

Rohrer, Milan: Interview 3: Betreiber (Flughafen Zürich) vom 7. Februar 2014.

## Sekundärliteratur

Aviation Week: Innovation Focuses on A320 Taxi Burn, Penton Media, Ausgabe 01. April, 2011.

Bammel, Michael: Die Goldhofer Geschichte, Memmingen, Heavy-Haulage-History, 2005.

Bosma, Koos: Auf der Suche nach dem perfekten Flughafen. In: Airworld, Design und Architektur für die Flugreise, Weil a.R., Vitra Design Museum, 2004.

Dwayne, Raes: Efficient autonomous pushback and taxiing- a step forward to reducing costs and pollution, Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaft, Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, 2008.

Hesse, Hermann: Luftreisen, Betrachtung, Gedichte und Bilder über das Fliegen, Frankfurt a. M., Leipzig, Insel Verlag, 1994.

IATA: Reference Manual for Audit Programs (IRM), 4. Edition, Montreal, Genf, International Air Transport Association, 2013.

Johnson, J.: Tow that jet. Virgin atlantic airways chief proposes emissions cutting ways. Waste News, 2006.

Kim, Jin Young, Keaton Aktay, Kory Aktay: Automated NextGen Taxi System, West Lafayette, Indiana, Purdue University, 2009.

Schier, Michael, Frank Rinderknecht, Andreas Brinner, Herbert Hellstern: High Integrated Electric Machine for Aircraft Autonomous Taxiing, Stuttgart, German Aerospace Center, Institute of Vehicle Concepts, 2011.

Von Vegesack, Alexander, Jochen Eisenbrand: Airworld, Design und Architektur für die Flugreise, Weil a.R., Vitra Design Museum, 2004.

## Internetquellen

Airbus: Ground Operations. <http://www.airbus.com/innovation/future-by-airbus/smarter-skies/low-emission-ground-operations/> (abgerufen am 16.12.2013).

Aviation Pros: Iberia Airlines Taxiing Program To Reduce Emissions At ORD. <http://www.aviationpros.com/article/10467486/single-engine-taxi-program-will-reduce-emissions-and-save-fuel> (abgerufen am 18.02.2014).

Flughafen Zürich. Pistenbenutzungskonzept. [http://www.zurich-airport.com/~media/FlughafenZH/Dokumente/Das\\_Unternehmen/Laerm\\_Politik\\_und\\_Umwelt/Pistenbenutzungskonzepte\\_2013.pdf](http://www.zurich-airport.com/~media/FlughafenZH/Dokumente/Das_Unternehmen/Laerm_Politik_und_Umwelt/Pistenbenutzungskonzepte_2013.pdf) (abgerufen am 18.02.2014).

Globo Meter: Die Welt in Zahlen. <http://de.globometer.com/flugzeug-kraftstoff.php> (abgerufen am 16.12.2013).

Hilkevitch, Jon: Fuel-saving idea puts airliners in tow. Chicago Tribune. [http://articles.chicagotribune.com/2008-09-19/news/0809180849\\_1\\_american-airlines-jet-fuel-mary-frances-fagan](http://articles.chicagotribune.com/2008-09-19/news/0809180849_1_american-airlines-jet-fuel-mary-frances-fagan) (abgerufen am 16.02.2014).

ICAO: Annual Report of the Council 2012. [http://www.icao.int/publications/Documents/10001\\_en.pdf](http://www.icao.int/publications/Documents/10001_en.pdf) (abgerufen am 16.12.2013).

Mouat, Lucia: Towing airplanes: Will it save fuel? The Christian Science Monitor 1981. <http://www.csmonitor.com/1981/0108/010857.html> (abgerufen am 16.12.2013).

Ricardo: Engineered vehicle concept aims to reduce aircraft fuel costs, CO2 emissions - and noise 2009. <http://www.ricardo.com/en-GB/News-Media/Press-releases/News-releases1/2009/Ricardo-engineered-vehicle-concept-aims-to-reduce-aircraft-fuel-costs-CO2-emissions-and-noise/> (abgerufen am 16.12.2013).

Salamone, Michael: Use of towbarless tractors at airports 2012. [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/acrp/acrp\\_rrd\\_015.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/acrp/acrp_rrd_015.pdf) (abgerufen am 25.02.2014).

Scholz, Dieter: ALOHA, Aircraft Design for Low Cost Ground Handling. <http://aloha.profscholz.de> (abgerufen am 18.02.2014).

Schopf: PowerPush, Die einzigartige Pushback-Lösung. <http://www.schopf-gse.com/Schopf-Flugzeugschlepper-PowerPush.html> (abgerufen am 18.02.2014).

Swiss Environmental care. [http://www.swiss.com/web/DE/about\\_swiss/environmental\\_affairs/Documents/SWISS\\_inside\\_Umweltbericht\\_DE\\_EN.pdf](http://www.swiss.com/web/DE/about_swiss/environmental_affairs/Documents/SWISS_inside_Umweltbericht_DE_EN.pdf) (abgerufen am 18.02.2014).



## Videoquellen

Schweizer Radio und Fernsehen: Flughafen Zürich, Hochbetrieb zum Ferienstart. Regie: Esther della Pietra (Aufzeichnung: 16.12.2013).

## Abbildungsverzeichnis

Titelseite: Pushback-Betrieb, Flughafen Zürich 2014.  
Foto: Milan Rohrer.

Abb. 1: Varianten von Terminals und deren Flugzeugpositionen.  
Grafik: Milan Rohrer, Quelle: Wikipedia. <http://de.wikipedia.org/wiki/Flughafenterminal> (abgerufen am 25.02.2014).

Abb. 2: Pushback-Traktor mit Stange, Kloten, 1983.  
ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz.

Abb. 3: Der erste stangenlose Prototyp von Goldhofer: AST-1, Kloten, 1992.  
ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv/Stiftung Luftbild Schweiz (eingefärbt).

Abb. 4: Vergleich des Zeitbedarfes zwischen dem Ablauf heute, eines elektrisch betriebenen Fahrwerkes und dem Full Towing.  
Grafik: Milan Rohrer, Quelle: Dwayne, Raes.

Abb. 5: Durchschnittliche Anzahl Flugbewegungen 2012 auf dem Flughafen Zürich.  
Grafik: Milan Rohrer, Quelle: Flughafen Zürich AG [http://www.flughafen-zuerich.ch/~media/FlughafenZH/Dokumente/Das\\_Unternehmen/Flughafen\\_Zuerich\\_AG/Broschuere\\_Zahlen\\_und\\_Fakten\\_2012\\_de.pdf](http://www.flughafen-zuerich.ch/~media/FlughafenZH/Dokumente/Das_Unternehmen/Flughafen_Zuerich_AG/Broschuere_Zahlen_und_Fakten_2012_de.pdf) (abgerufen am 26.02.2014).