

FAHRERLOSE U-BAHNEN: 30 JAHRE VORSPRUNG IM ÖFFENTLICHEN VERKEHR

Tanja Illetits-Motta



Teil 3 von Digital Business für Verkehr und Mobilität
Ist die Zukunft autonom und digital?

Institut für Digital Business

Digital Business für Verkehr und Mobilität

Ist die Zukunft autonom und digital?

Herausgeber: Johann Höller; Tanja Illetits-Motta; Stefan Küll;
Ursula Niederländer; Martin Stabauer

ISBN: 978-3-9504630-4-0 (eBook)
2020

Johannes Kepler Universität
Institut für Digital Business
A-4040 Linz, Altenberger Straße 69
<https://www.idb.edu/>

Detailliertere bibliographische Daten, weitere Beiträge,
sowie alternative Formate finden Sie unter

<https://www.idb.edu/publications/>

Bildquelle Titelbild: <https://pixabay.com/de/photos/bahnhof-moderne-u-bahn-4884923/>



Dieser Beitrag unterliegt den Bestimmungen der Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 4.0 International-Lizenz.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Technische Voraussetzungen für autonomes Fahren auf Schienen	3
2.1	Signaltechnik	3
2.2	Fahrzeugtechnik	4
2.3	Bahnanlagen	4
3	Das Internationale U-Bahn Netz	5
4	Automatisierungsgrad	6
5	Vorteile des autonomen Fahrens auf der Schiene	7
6	Fallbeispiel: U-Bahn Wiener Linien	9
7	Trends und Ausblick	10
	Literaturverzeichnis	12

FAHRERLOSE U-BAHNEN: 30 JAHRE VORSPRUNG IM ÖFFENTLICHEN VERKEHR

Tanja Illetits-Motta

Dieser Beitrag gibt zunächst einen allgemeinen Überblick über die Entwicklung der autonomen U-Bahnen und deren technische Grundvoraussetzungen. Im Anschluss wird noch genauer auf die Automatisierungsgrade sowie Vorteile der autonomen Bahnen eingegangen. Abschließend wird ein Praxisbeispiel der Wiener Linien angeführt, deren erste autonom fahrende Linie im Jahr 2024 starten soll.

1 Einleitung

Das Schlagwort „Autonomes Fahren“ ist seit einigen Jahren in aller Munde. Aufgrund der Medienberichte werden jedoch die meisten von uns diesen Begriff vor allem mit der Autoindustrie verbinden. Führt man die Recherche jedoch etwas weiter, so ergibt sich eine gesamte Branche, in der das autonome, fahrerlose Fahren bereits seit über 30 Jahren Usus ist.

Denn genau gesagt gingen in Frankreich bereits vor mehr als 30 Jahren die ersten fahrerlosen U-Bahnen in Betrieb (Allianz pro Schiene 2017). Somit hat die Bahn in Sachen autonomes Fahren tatsächlich mehr als 30 Jahre Vorsprung auf die Automobilindustrie.

Aber nicht nur U-Bahnen werden heute im Rahmen des öffentlichen Bahnverkehrs im automatisierten Fahrbetrieb betrieben, es gibt auch einige Flughafenbahnen und Stadtbahnen. Der klare Vorteil dieser Bahnen ist die Einfachheit des Netzes. Auch auf Eisenbahnstrecken wäre ein vollautomatischer fahrerloser Betrieb denkbar, dieser kann aber aufgrund der Komplexität des Netzes wahrscheinlich nur in ferner Zukunft auch umgesetzt werden.

Wenn man die Systembeschaffenheit von U-Bahn bzw. Metro-systemen vergleicht, wird schnell klar, warum ein automatisierter Betrieb im direkten Vergleich hier leichter umzusetzen ist (Zukunft Mobilität 2014):

- U-Bahn- und Metronetze sind einfacher in ihrer Struktur und verfügen nicht über einen so komplexen Integrationsgrad wie konventionelle Schienennetze.
- Die Netze sind isoliert und um ein Vielfaches kleiner. Die Infrastruktur und der Betrieb werden zumeist durch ein Unternehmen durchgeführt.
- Die Strecken verlaufen zum Großteil in einer geschlossenen und geschützten Umgebung, wie zum Beispiel einem Tunnel oder sind aufgeständert.
- Auf den Linien bzw. sogar im gesamten Netz ist die Baureihe der Fahrzeuge ident.
- Stationen, Bahnsteige und Gleisanlagen sind oftmals gleichartig in ihrer Bauweise, wie auch die einzelnen Strecken dem gleichen technischen Standard mit identischer technischer Ausrüstung entsprechen.
- Damit die Gleise nicht unerlaubt betreten werden können, sind in den Stationen Bahnsteigtüren installiert, die bündig mit der Strecke abschließen.
- Aufgrund einer hohen Frequenzauslastung werden Instandhaltungs- und Baumaßnahmen oftmals außerhalb der Betriebszeiten durchgeführt.

Dieser Beitrag gibt zunächst einen allgemeinen Überblick über die Entwicklung der autonomen U-Bahnen und deren technische Grundvoraussetzungen. Im Anschluss wird noch genauer auf das Praxisbeispiel der Wiener Linien eingegangen, deren erste autonom fahrende Linie bereits im Jahr 2024 starten soll.

2 Technische Voraussetzungen für autonomes Fahren auf Schienen

Eine wichtige Voraussetzung für autonomes Fahren auf Schienen ist die Digitalisierung, dank dieser Entwicklungen kommen immer leistungsfähigere Systeme zum Einsatz. Denn sämtliche Abläufe, die ein Zugführer bei der Fahrt ausüben muss, werden im vollautomatischen Betrieb von der Technik übernommen. Das verlangt natürlich auch eine dementsprechende Ausrüstung der Bahnanlagen, Fahrzeuge sowie der Strecke selbst mit besonderen Technikkomponenten (Allianz pro Schiene 2016 a).

2.1 Signaltechnik

Eine selbstfahrende Bahn muss mit einer Fülle an Informationen versorgt werden. Insbesondere Daten

- über die Strecken auf denen sie verkehrt,
- über ihre eigene Position
- der anderen Bahnen im Netz

sind essentiell.

Sämtliche dieser Daten werden mit Hilfe von Sensoren und Signalen entlang der Gleise gesammelt. Der Zugabstand zum Beispiel ist eine Kerninformation für autonomes Fahren und ermöglicht eine engere Taktung der Züge.

Auch für die Steuerung der Züge müssen entsprechende Systeme auf den Strecken verbaut werden. Die Gleisanlagen selbst benötigen eine angepasste Infrastruktur, das bedeutet, eine ausreichende Beleuchtung und einen sicheren Seitenzugang, damit im Störfall ein sicherer Ausstieg aus der Bahn gewährleistet ist. Fluchtwege zum nächsten Notausgang dürfen maximal 400 Meter betragen (Allianz pro Schiene 2016 a).

2.2 Fahrzeugtechnik

Sollten Fahrzeuge nicht direkt für den autonomen Verkehr konzipiert worden sein, müssen diese mit speziellen Systemen nachgerüstet werden. Eine zentrale Recheneinheit steuert den Verkehr im Streckennetz.

Hierbei können zwei Systeme unterschieden werden (Zukunft Mobilität 2014):

- die automatische Zugsicherung (ATP) und
- die automatische Zugsteuerung (ATO).

Die Zugsteuerung ist für das eigentliche autonome Fahren zuständig, während die Zugsicherung Zugabstände und Geschwindigkeiten berechnet und kontrolliert. Bei all diesen Vorgängen werden auch Informationen zwischen den fahrerlosen Bahnen ausgetauscht, weshalb man das gesamte System auch „Communication Based Train Control“ nennt (UITP 2012).

2.3 Bahnanlagen

Da bei selbstfahrenden Bahnen für den betrieblichen Ablauf kein Personal benötigt wird, ist das Zu- und Aussteigen der Fahrgäste ein wichtiger Moment. Denn hierbei können mitunter auch gefährliche Situationen entstehen. Hier kommen unterschiedliche Überwachungsmöglichkeiten der Bahnsteige zum Einsatz.

Während die meisten Städte darauf setzen ein doppeltes Schließsystem der Türen einzuführen und die Bahnsteigtüren vor der Abfahrt des Zuges schließen, werden zum Beispiel in Nürnberg die Bahnsteige per Radar überwacht, um für die Sicherheit der Fahrgäste zu sorgen (Initiative für eine zukunftsfähige Infrastruktur 2019).

3 Das Internationale U-Bahn Netz

Sieht man sich die internationale Verteilung von selbstfahrenden U-Bahnen an, so kann auf ein großes existierendes Netz verwiesen werden. Im März 2018 wurde die 1000-km-Marke der autonomen Metrolinien weltweit geknackt und annähernde ein Viertel aller U-Bahn-Netze weltweit besitzen zumindest eine Linie, die autonom fährt (UTTP 2016).



Abbildung 3-1: Städte mit autonomen U-Bahn Linien (UTTP 2016)

Die oben angeführte Graphik verdeutlicht die Verteilung der autonom fahrenden U-Bahnen weltweit. Während die grün markierten Orte Metrosysteme mit Zügen von geringer Kapazität beschreiben (bis 300 Personen), umfassen die Züge in Orten mit oranger Schrift bereits 300-700 Personen. Die Farbe Violett beschreibt Linien mit großer Kapazität von mehr als 700 Personen pro Zug.

Vergleicht man nun anhand dieser Kapazitäten die Systemleistungsfähigkeit mit anderen, teilweise autonomen öffentlichen Verkehrsmitteln, so liegt die kuppelbare Seilbahn im Bereich von 2000 bis 6000 Personen pro Stunde, die Straßenbahn bei 4000 bis 15 000, der Bus bei 2400 bis 6000. Der Schnellverkehr (U- und S-Bahn) liegt mit bis zu 70 000 deutlich darüber (Anderhub et al. 2008).

Was die Verteilung autonom fahrender U-Bahnen weltweit anbelangt, so entfallen mehr als 50% der Gesamtkilometer auf Bahnen in Asien (vor allem in Korea, Malaysia und China). Europa ist mit ca. 30% der Bahnkilometer auf Platz 2 gefolgt von Nordamerika mit 11% und dem mittleren Osten mit 8% (UITP 2016).

4 Automatisierungsgrad

Der Internationale Verband für öffentliches Verkehrswesen (franz.: Union Internationale des Transports Publics (UITP)) hat vier Automatisierungsgrade (GoA – Grades of Automation) bestimmt (UITP 2012) und diese in folgende Stufen eingeteilt:

GoA 1: Der Fahrzeugführer beschleunigt und stoppt den Zug, er kontrolliert die Türsteuerung und ist für die Bewältigung von Notfallsituationen oder ungeplanten Umleitungen verantwortlich (manueller Betrieb), automatische Zugsicherung (ATP) an Bord.

GoA 2: Die Beschleunigungs- und Bremsvorgänge sind automatisiert, der Fahrzeugführer kontrolliert die Türsteuerung, kann bei Bedarf den Zug selbst steuern und ist für die Bewältigung von Notfallsituationen oder ungeplanten Umleitungen verantwortlich (halbautomatischer Betrieb, semi-automatic train operation (STO)). Die Bahn verfügt über eine automatische Zugsicherung (ATP) und automatische Zugsteuerung (ATO).

GoA 3: Der Zugbetrieb ist automatisiert, es gibt keinen Fahrzeugführer, der Zugbegleiter kontrolliert jedoch die Türsteuerung und ist für die Bewältigung von Notfallsituationen oder ungeplanten Umleitungen verantwortlich (driverless train operation (DTO)).

GoA 4: Vollkommen automatisierter Zugbetrieb, automatisierte Türsteuerung und automatisierte Bewältigung von Notfällen. Im Zug befindet sich kein Personal (unattended train operation (UTO)).

Die unten angeführte Grafik verdeutlicht nochmals die einzelnen Abstufungen der Automatisierung mit den jeweiligen Zuständigkeiten.

Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 1 	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2 	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3 	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4 	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP - Automatic Train Protection
ATO - Automatic Train Operation

Abbildung 3-2: Automatisierungsgrad nach UITP (UITP 2012)

5 Vorteile des autonomen Fahrens auf der Schiene

Die Vorteile des autonomen Fahrens auf Schiene haben sich über viele Jahre hin bewährt und können wie folgt zusammengefasst werden (Allianz pro Schiene 2016 a):

Flexibilität: Innerhalb vollautomatischer U-Bahn-Systeme kann sehr schnell auf variables Fahrgastaufkommen reagiert werden. Bei Großveranstaltungen können zum Beispiel flexibel und unkompliziert zusätzliche Züge in den Fahrplan eingespeist werden, unabhängig von der regulären Personalplanung. Aber auch die alltäglichen Stoßzeiten können mit autonomen Bahnen besser abgefedert werden.

Pünktlichkeit: Die zentrale Steuerung und Überwachung der Züge mittels ATP und ATO, mit berechenbaren Beschleunigungs- und Fahrkurven ermöglichen auch eine weitere Verbesserung der Pünktlichkeit der Bahnen. Ankunfts- und Abfahrzeiten können genauer berechnet werden – ja sogar bis auf die Sekunde genau. Einige Stationen verfügen bereits über elektronische Anzeigen mit einem Sekunden-countdown für die die Ankunft der Züge.

Kapazität: Weil selbstfahrende Bahnen in einem ständigen gegenseitigen Austausch stehen, können bisher statische Sicherheitsabstände kleiner werden. Damit kommt es zu einer höheren Auslastung des Netzes und die Taktung wird enger. Daraus resultierend fahren mehr Bahnen, die mehr Fahrgäste befördern können und diese auch noch schneller ans Ziel bringen. Eine Verkürzung der Sicherheitsabstände bedeutet dabei jedoch kein Sicherheitsrisiko, selbstfahrende Bahnen berechnen stets in Echtzeit den benötigten Bremsweg.

Verfügbarkeit und Verlässlichkeit: Das autonome Fahren auf Schienen kann auch als besonders ressourcenschonend bewertet werden. Sensoren messen kontinuierlich die Daten der Züge und können so – auch im Betrieb – Verschleiß oder Defekte feststellen und diese können dann frühzeitig behoben werden. Generell entsteht weniger Verschleiß dadurch, dass die Züge gleichmäßig beschleunigen und abbremsen. Das spart natürlich Kosten und verkürzt die Wartungszeiten und das Risiko von Ausfällen.

Energieeffizienz: Mit Hilfe unterschiedlicher Sensordaten wie dem Gewicht der Fahrgäste, Informationen zur Strecke wie Steigung, Kurven, Geschwindigkeitsbegrenzungen kann die optimale Beschleunigung des Zuges berechnet werden. Autonome Bahnen können, in Kombination mit der Rückgewinnung von Energie beim Bremsen bis zu 30 Prozent Energie einsparen (Allianz pro Schiene 2016 b).

6 Fallbeispiel: U-Bahn Wiener Linien

Schon jetzt ist das U-Bahn-Sicherheitssystem der Wiener Linien so ausgelegt, dass der Zug anhält, sobald das System einen Fehler wahrnimmt. Zumeist entsteht folgende Situation: Die U-Bahn bleibt im Tunnel kurze Zeit stehen, und fährt gleich darauf weiter. Zumeist handelt es sich hier um eine minimale Geschwindigkeitsüberschreitung, oder der Mindestabstand zum Vorderzug wurde unterschritten und verhindert die Weiterfahrt. Das System ist streng und restriktiv.

Bis 2024 soll dann der Schritt zu einer vollkommen autonomen Linie gemäß GoA 4 vollzogen werden. „Fahrerlos heißt auf keinen Fall menschenlos“, wird seitens der Wiener Linien betont. In der Leitstelle werden nach wie vor Menschen die Zugbewegungen kontrollieren. Aber auch in den Stationen und auf der Strecke werden weiterhin MitarbeiterInnen eingesetzt werden, um Kunden weiterzuhelfen. Im Bereich technische Entwicklung, Wartung und im Servicebereich können neue Aufgabenfelder entstehen.

Was die Vorteile der Automatisierung anbelangt verweisen auch die Wiener Linien auf bereits erwähnte Vorteile. Es kann schnell auf einen geänderten Bedarf reagiert werden, so können Stoßzeiten zum Beispiel besser abgefedert werden. Des Weiteren können Intervalle im automatisierten Fahrbetrieb verkürzt und die Taktung und Fahrgastanzahl kann insgesamt erhöht werden. Auch auf die MitarbeiterInnen muss

weniger Acht genommen werden, da keine Pausen bzw. Nachtdienstzeiten berücksichtigt werden müssen.

7 Trends und Ausblick

Aktuell sind nur 7% aller Metrolinien weltweit autonom. Das scheint ein vergleichsweise geringer Anteil zu sein, man muss sich jedoch vor Augen halten, dass die U-Bahn Technologie bereits seit 150 Jahren existiert und der Ausbau autonomer Linien erst vor 37 Jahren startete. Mit jeder Dekade wurde die Ausbreitung der automatisierten Metrolinien beschleunigt und die unten angeführte Graphik sagt laut UITP (Union Internationales des Transports Publics) ein exponentielles Wachstum bis 2030 voraus. Während im Jahr 2018/2019 1026 Bahnkilometer autonom befahren wurden, sollen es im Jahr 2030 bereits 4007 km sein (UITP 2019).



Abbildung 3-3: Wachstum Automatisierte Metros in km (UITP 2019)

Blickt man auf die angeführten Großprojekte dieser Graphik, kann man auch einen ersten Eindruck über die geographische Verteilung der automatisierten Metros gewinnen. In Beijing und Shanghai wurden alleine in den Jahren 2017 und 2018 Projekte in Angriff genommen, die in Zukunft mehr als 2000 km der autonomen Bahnen schaffen.

In der nächsten Graphik, die den zukünftigen Ausbau bis 2028 darstellt, wird der Abstand von Asien zu den anderen Regionen sehr deutlich, gefolgt von Europa, wo auch ein großes Wachstum prognostiziert wird, scheint die autonome Metro in Nord- sowie Südamerika wenig Bedeutung zu haben. In Südamerika gibt es jedoch, gemessen an der aktuellen km Anzahl große Ausbaupläne. Auch in Nahost und Nordafrika ist der Anteil an autonomen U-Bahnen im Moment noch verschwindend klein, hier geht man jedoch ebenfalls von einem erheblichen Wachstum aus (UITP 2019).

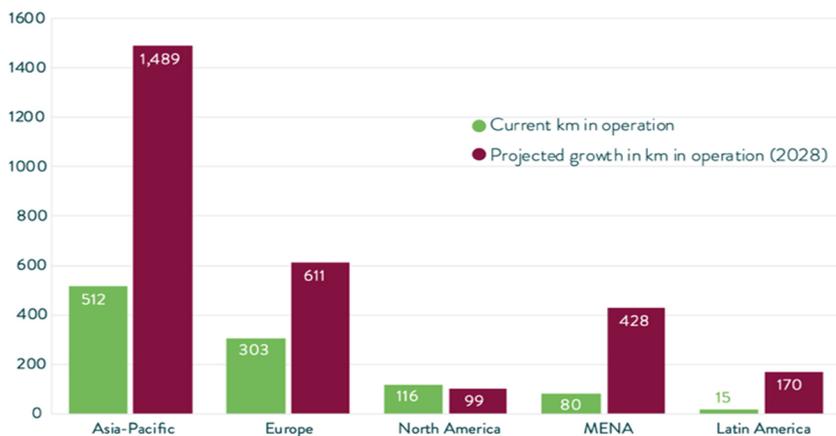


Abbildung 3-4: Aktuelle km Anzahl automatisierter Metros und Ausblick auf die nächste Dekade unterteilt nach Regionen (UITP 2019)

Aufgrund der aktuellen Situation der Corona-Pandemie in Verbindung mit einer Rezession der Wirtschaft bleibt abzuwarten, in welchem Ausmaß die angestrebten Projekte tatsächlich umgesetzt werden können.

Literaturverzeichnis

- Allianz pro Schiene (2016a). Autonomes Fahren auf der Schiene, 29. November, 2016. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/autonomes-fahren-auf-der-schiene/> [17.12.2020].
- Allianz pro Schiene (2016b). Selbstfahrende Metros in Europa, 30. November, 2016. <https://www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemittelungen/uebersicht-selbstfahrende-metros-europa/> [17.12.2020].
- Allianz pro Schiene (2017). Fahrerloses Fahren – die Schiene hat mehr als 30 Jahre Vorsprung, 21. Juli, 2017. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/fahrerloses-fahren-schiene-hat-30-jahre-vorsprung/> [17.12.2020].
- Anderhub G., Dorbritz R. & Weidmann U. (2008). Leistungsfähigkeitsbestimmung öffentlicher Verkehrssysteme: Institutsbericht.
- Initiative für eine zukunftsfähige Infrastruktur (2019). Nürnbergs U-Bahn fährt auf 2 Linien ganz ohne Fahrer. <https://www.damit-deutschland-vorne-bleibt.de/Blickpunkt/Infrastruktur-aktuell/04493/Artikel/Nuernbergs-U-Bahn-faehrt-auf-zwei-Linien-ganz-ohne-Fahrer/04106> [17.12.2020].
- UITP (2012). Metro Automation Facts, Figures and Trends. <http://metroautomation.org/wp-content/uploads/2012/12/Automated-metros-Atlas-General-Public-2012.pdf> [17.12.2020].
- UITP (2016). World Report on Metro Automation. <http://metroautomation.org/about-the-report/> [17.12.2020].
- UITP (2019). World report on Metro Automation. <https://www.uitp.org/publications/world-report-on-metro-automation/> [17.12.2020].
- Wiener Linien (2018). Fahrerlos ist das Gegenteil von menschenlos. <https://blog.wienerlinien.at/fahrerlos-ist-das-gegenteil-von-menschenlos/> [17.12.2020].
- Zukunft Mobilität (2014). Automatisierter Bahnbetrieb und führerlose Züge. <http://www.zukunft-mobilitaet.net/90799/schienerverkehr/eisenbahn/fuehrerlose-zuege-technik-zulassung-vorteile-nachteile-streik/> [17.12.2020].