

WAS BENÖTIGT EIN VOLLAUTOMATISCHER U-BAHN-BETRIEB?

WHAT DOES A FULLY AUTOMATED SUBWAY OPERATION NEED?

Markus Rubner, Elisabeth Luchini & Michael Rathbauer (Wiener Linien)

KEYWORDS

Automatisierungsgrad; Vollautomatisierung; GoA4; X-Wagen; Mobilität; U-Bahn-Betrieb.

KURZFASSUNG

Vollautomatischer U-Bahn-Betrieb wurde in einigen Städten der Welt bereits zur Realität. Mit dem Bau der Wiener Linie U5 und der Entwicklung des neuen X-Wagens werden auch die Wiener Linien ab dem Jahr 2026 die erste vollautomatische U-Bahn in Österreich betreiben. Dieser Beitrag beschreibt die technischen und betrieblichen Änderungen, die notwendig sind, um den Umstieg vom bereits bewährten halbautomatisierten Fahrbetrieb (Grade of Automation 2 – GoA2) auf den vollautomatisierten Betrieb (GoA4) zu bewältigen.

ABSTRACT

Fully automated subway operations are internationally already reality in several cities worldwide. With the implementation of the U5 line in Vienna and the development of the new X-train the Wiener Linien will operate from 2026 on the first fully automated subway in Austria. This paper describes the technical and operational changes needed to achieve the transition from the already proven semi-automated operation (Grade of Automation 2 – GoA2) to the fully automated operation (GoA4).

1. GRUNDLEGENDES

Der Schienenverkehr spielt für die klimafreundliche Mobilität eine wesentliche Rolle. Automatisiertes Fahren ist heute nicht mehr wegzudenken. Mehr Flexibilität, bessere Energieeffizienz und Verfügbarkeit sowie hohe Sicherheit – selbstfahrende Bahnen bieten Lösungen für die Herausforderungen der Verkehrswende. Vollautomatisches Fahren ist auch bei den Wiener Linien ein zentrales Innovationsthema. Mit der Entscheidung zum Bau der Linie U5 wurde auch der Beschluss zur Automatisierung dieser Linie gefasst. Damit war der Grundstein für ein neues Kapitel in der U-Bahn-Erfolgsgeschichte gelegt und die Planungsphase des vollautomatischen Systems der Wiener U-Bahn gestartet (siehe Abbildung 1).

Bereits seit dem Jahr 2021 werden auf einer für den Fahrgast nicht zugänglichen Strecke Testfahrten im vollautomatischen Betrieb durchgeführt. Bis zur Inbetriebnahme im Jahr 2026 werden zusätzlich alle Szenarien eines vollautomatischen U-Bahn-Betriebs auch auf der ersten Teilstrecke der U5 von Karlsplatz bis Frankhplatz durchgeführt. Was vollautomatischer U-Bahn-Betrieb bedeutet, welche technischen und betrieblichen Voraussetzungen dafür notwendig sind und wie der Schritt vom halbautomatischen Betrieb hin zum vollautomatischen Betrieb bei den Wiener Linien erfolgt, wird in der Folge einer näheren Betrachtung unterzogen.

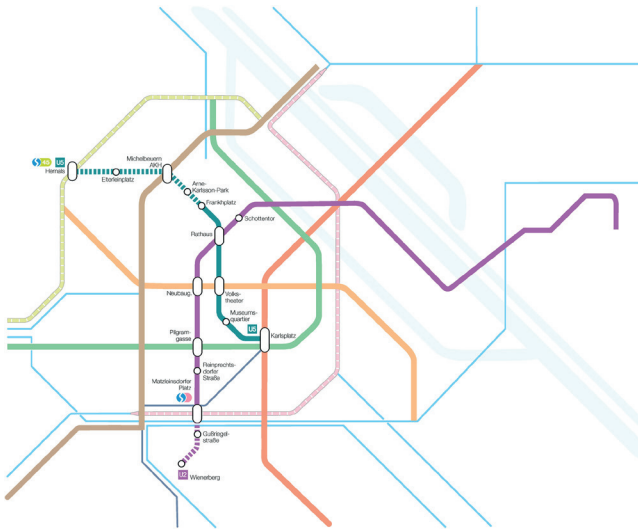


Abbildung 1: Linienführung der neuen U5 (türkis) und Änderungen der U2 (violett) (© Wiener Linien)

2. AUTOMATISIERUNGSGRADE

Automatisiertes Fahren wird im Bahnsektor in vier Stufen der Automatisierung unterteilt, die in der Norm EN 62267:2010 als GoA1 bis GoA4 (Grade of Automation) definiert sind. Je nachdem, welche Abläufe automatisch ausgeführt werden, ergibt den Automatisierungsgrad (siehe Abbildung 2).

- » GoA1 (nichtautomatisierter Zugbetrieb): Bei dieser Stufe überwacht die Zugsicherungsanlage die Maximalgeschwindigkeit und sichert den Fahrweg, sodass es zu keinen Kollisionen der Züge kommt.
- » GoA2 (halbautomatischer Zugbetrieb): In der Stufe fährt und hält der Zug automatisch mit dem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil zur bzw. an der nächsten Station. Die Abfertigung, der Befehl zum Anfahren des Zugs sowie die Störungsbehebungen obliegen dem Fahrpersonal.
- » GoA3 (fahrerloser Zugbetrieb): Hier fährt der Zug automatisch. Personal, das die Abfertigung überwacht und gegebenenfalls Störungen behebt, befindet sich im Fahrzeug.
- » GoA4 (unbegleiteter Zugbetrieb): In dieser Stufe ist keine betriebliche Person mehr an Bord. Um einen reibungslosen Betrieb gewährleisten zu können, muss neben allen Hauptfunktionen eine hohe Zuverlässigkeit und eine Störungsbehebung des Fahrzeugs aus der Leitstelle ermöglicht werden.

Die Wiener Linien sind bereits auf allen U-Bahnen-Linien mit Stromschienen (U1 bis U4) im GoA2-Betrieb unterwegs. Der

Schritt zu GoA4 benötigt jedoch aufgrund der hohen technischen Anforderungen (hochverfügbare Kommunikation zwischen Zug und Landseite, neue Funktionalitäten in der Zugbeeinflussung, hohe Zuverlässigkeit, Bahnsteigsicherheit sowie betriebliche Rückfallszenarien) und der notwendigen Anpassungen der betrieblichen Rahmenbedingungen auch neue Funktionen im und um das Fahrzeug.

3. VORTEILE EINER VOLLAUTOMATISIERTEN U-BAHN

Dem Aufwand vom GoA2- zum GoA4-Betrieb stehen neben dem technischen und zukunftsweisenden Fortschritt auch weitere Vorteile sowohl für die Wiener Linien als auch für deren Kund:innen gegenüber.

3.1. Flexibilität

Neben dem bedarfsorientierten Zugverkehr wird die Abhängigkeit von Personal an Bord der Fahrzeuge reduziert. Dadurch kann eine bedarfsorientierte Anpassung der Anzahl der eingesetzten Züge zu Spitzenzeiten oder bei erhöhtem Fahrzeugbedarf erfolgen. Damit können im Bedarfsfall zusätzliche Züge in den Fahrplan eingeplant werden, ohne die reguläre Personalplanung anpassen zu müssen. Diese Aspekte erhöhen zudem die Flexibilität im Störfall.

3.2. Pünktlichkeit

Die bereits jetzt hohe Pünktlichkeit kann durch die zentrale Steuerung und Überwachung der Züge noch weiter verbessert werden. In Kombination mit dem berechneten Fahrweg ist es möglich, die Intervalltreue zu erhöhen sowie die Ankunfts- und Abfahrzeiten verbessert einzuhalten.

3.3. Energieeffizienz

Beim automatisierten Fahren kann, unter Berücksichtigung der Strecke, das zu fahrende Geschwindigkeitsprofil genau vorgegeben und der Energiebedarf verringert werden. Optimierte Beschleunigen und Bremsen senken nicht nur den Energiebedarf, sondern verringern den Verschleiß und reduzieren damit die Instandhaltungskosten. Der vollautomatische Betrieb kann hier Vorgaben aus der Leitstelle effizienter umsetzen.

3.4. Verfügbarkeit

Im vollautomatischen Betrieb muss sichergestellt werden, dass kein Zutritt zum Gleisbereich vom Stationsbereich möglich ist. Dies kann durch eine physische Barriere mittels

Automatisierungsgrad (GoA)	Betriebsform	Anfahren	Fahren, Bremsen und Anhalten	Abfertigung	Abwicklung von Störungen
GoA1	ATP Automatische Zugsicherung	Fahrer*in	Fahrer*in	Fahrer*in	Fahrer*in
GoA2	STO Halbautomatischer Zugbetrieb	Fahrer*in Automatik	Automatik	Fahrer*in	Fahrer*in
GoA3	DTO Fahrerloser Zugbetrieb	Automatik	Automatik	Automatik Zugbegleiter*in	Zugbegleiter*in
GoA4	UTO Unbegleiteter Zugbetrieb	Automatik	Automatik	Automatik	Automatik

Abbildung 2: Automatisierungsgrade im Bahnsektor (© Wiener Linien)

Bahnsteigtüren gewährleistet werden. Eine solche Maßnahme verhindert betriebliche Störungen durch in den Gleis-/Tunnelbereich eingedrungene Fahrgäste oder Gegenstände und vermeidet somit längere Streckensperren zur Vorfallobehandlung. Diese Maßnahme und z.B. der Einsatz redundanter und zuverlässiger Systeme führen zu einer Erhöhung der Verfügbarkeit der vollautomatischen Linie. Im Fall einer Störung kann der Wagenlauf ebenfalls rasch angepasst werden.

3.5. Sicherheit

Die Maßnahmen für einen reibungsfreien automatischen Betrieb sorgen gleichzeitig auch für eine Erhöhung der Sicherheit der Fahrgäste im Stationsbereich. Durch die geschlossenen Bahnsteigtüren ist mit einer geringeren Verschmutzung des Gleisbereichs in den Stationen und dadurch mit einer Reduktion möglicher Brandlasten zu rechnen.

4. ANFORDERUNGEN AN EINEN VOLLAUTOMATISCHEN BETRIEB

Der vollautomatische Betrieb bringt neben den neuen technischen Anforderungen auch neue betriebliche Anforderungen mit sich.

4.1. Technische Anforderungen

Seitens der Technik ist nicht nur ein neues, hochmodernes Fahrzeug erforderlich, sondern es benötigt neue Funktionen in der Zugsicherungsanlage sowie die Ausrüstung der Bahnsteige, im Fall der Wiener Linien mit Bahnsteigtüren, um den vollautomatischen U-Bahn-Betrieb zu ermöglichen. Damit der Betrieb reibungslos funktioniert, sind die Gewerke miteinander vernetzt. Zusätzlich zu den Aufgaben wie Beschleunigen und Verzögern des Fahrzeugs erfolgen unter anderem die Freigabe des Fahrgastwechsels und die Abfertigung der Züge vollautomatisch. Der gesamte Betrieb der Linie wird von der zentralen Leitstelle vollautomatisch gesteuert. Dadurch braucht es eine zuverlässige technische Interaktion zwischen dem Fahrzeug und der Infrastruktur.

4.1.1. Fahrzeugtechnik

Der GoA4-Betrieb verlangt eine hochverfügbare kontinuierliche Kommunikation zwischen dem Fahrzeug, der Leitstelle und dem Stellwerk. Dabei überträgt das Fahrzeug mit einer Vielzahl von Sensoren nicht nur seine genaue Position an das Stellwerk, sondern auch den vollständigen Fahrzeugstatus und seine Diagnosedaten. Ebenso werden Notrufe aus dem Fahrzeug direkt in die Leitstelle übertragen. Um die Situation aus der Ferne genau beurteilen zu können, sendet das Fahrzeug Live-Videos vom Fahrzeuginneren. Diese Anforderungen werden mit dem neu entwickelten X-Wagen der Wiener Linien abgedeckt (siehe Abbildung 3).

Der X-Wagen ist mit zwei Zugbeeinflussungssystemen ausgestattet, die entsprechend dem verwendeten Automatisierungsgrad umgeschaltet werden können. Das ermöglicht das Fahren auf den konventionellen Strecken U1 bis U4, aber auch auf der vollautomatischen Strecke U5. Im konventionellen Betrieb kommt die bewährte Linienzugbeeinflussung (LZB) mittels Linienleiter zum Einsatz. Für den vollautomatischen Betrieb ist eine bidirektionale Kommunikation CBTC (Communication Based Train Control) zwischen Fahrzeug und Landseite erforderlich.



Abbildung 3: X-Wagen – der erste vollautomatisierte U-Bahn-Zug Wiens (© Wiener Linien)

Aufgrund des hohen Grads an Vernetzung zwischen dem Fahrzeug und der Infrastruktur sind leistungsfähige und zuverlässige Datenverbindungen notwendig. Für die Zugsicherung stehen getrennte Funkverbindungen am Zug zur Verfügung.

Zudem verlangt der vollautomatische Betrieb weitere Überwachungseinrichtungen. Die Züge sind am führenden Fahrwerk mit einer Hindernis- und einer Entgleisungsdetektion ausgestattet. Größere Gegenstände im Gleisbereich werden durch einen aktiven Bahnräumer über einen Kraftsensor erkannt. Entgleisungen des führenden Drehgestells werden durch Beschleunigungssensoren erkannt. Im Fall einer durch die Sensoren erkannten Störung, wird der Zug sofort sicher bis zum Stillstand eingebremst.

4.1.2. Zugsicherungssystem

Die neue Betriebsart verlangt neue Funktionen im Stellwerk und am Zug. Um Züge vollautomatisiert fahren lassen zu können, benötigen die Züge auf der Strecke Fahraufträge, die vom Stellwerk als Fahrstraßen über die Streckeneinrichtungen übertragen werden. Die Zuglenkung, gemeinsam mit dem zugrunde liegenden Fahrplan, fordert automatisch die entsprechenden Fahrstraßen an, die nach stellwerkstechnischer Prüfung auf Zulässigkeit vom Stellwerk eingestellt werden. Über die Rückmeldung der genauen Position der Züge hat das Stellwerk die Gesamtübersicht, wo sich welcher Zug befindet. Erst die Rückmeldung der genauen Position der Züge auf der Strecke sowie der Betriebszustände des Zugs an das Stellwerk ermöglicht den GoA4-Betrieb.

Neben dem Stellwerk mit der genauen Rückmeldung der Position des Zugs sind die Zugbeeinflussung, die automatische Zugsicherung (Automatic Train Protection – ATP) und die automatische Zugsteuerung (Automatic Train Operation – ATO) wesentliche Komponenten. Auch diese erhalten gegenüber dem GoA2-Betrieb neue Funktionen. Während die Zugsicherung die jeweiligen Zugabstände und Geschwindigkeiten errechnet und überwacht, ist die Zugsteuerung für das vollautomatische Fahren zuständig. Die ATO steuert den Zug anhand der hinterlegten Fahrprofile (Train Database) und gibt nur gültige Befehle an die Fahrzeugsteuerung weiter, die diese in weiterer Folge mit ihrer Antriebs- und Bremssteuerung umsetzt (siehe Abbildung 4).

In der Projektierungsdatenbank des Stellwerks für den GoA2-Betrieb (in Abbildung 4 gelb dargestellt) sind die Haltepunkte, Geschwindigkeiten und Fahrmöglichkeiten hinterlegt und werden beim Stellen der Fahrstraßen berücksich-

schätzung der Situation können aus dem Zuginneren mit-übertragen werden.

4.2.2. Betriebsführung

Ein GoA2-Betrieb kann nicht direkt auf einen GoA4-Betrieb umgelegt werden. Dazu braucht es neue Arbeitsabläufe und Betriebsvorschriften auf der Grundlage entsprechender Sicherheitsanalysen und Nachweise zur Gewährleistung der Sicherheit.

Weiters erfordert der GoA4-Betrieb ein Umdenken am Betriebshof, in den Abstellhallen und beim Betreten der Strecke. Im GoA2-Betrieb kann bei bestimmten betrieblichen Anforderungen auf Sicht gefahren werden. In GoA4-Modus ist dies nicht mehr möglich.

5. START DES VOLLAUTOMATISCHEN FAHRGASTBETRIEBS

Der vollautomatische Betrieb auf der Linie U5 wird mit 2026 starten. Der dafür entwickelte X-Wagen wird jedoch schon früher im konventionellen Fahrgastbetrieb eingesetzt. Durch den vollwertigen Fahrerstand bietet der X-Wagen die Möglichkeit, das Fahrzeug bereits im GoA2-Betrieb einzusetzen. Bereits Ende des Jahres 2022 wird der X-Wagen im Fahrgastbetrieb starten, wodurch wertvolle Erfahrungen gesammelt werden können. Der X-Wagen weist einige technologische Innovationen gegenüber seinem Vorgänger, dem V-Zug, auf:

5.1. Videoüberwachungssystem

Das Fahrzeug ist mit einer Videoüberwachungsanlage mit Aufzeichnungsfunktion ausgerüstet. Neu ist, dass die Anlage die Übertragung von Live-Videos und aller im Fahrzeug aufgezeichneten Videobilder mittels Breitbandkommunikationssystem zur Leitstelle bzw. Landseite unterstützt.

5.2. Innovative Fahrgastinfo

Der X-Wagen ist weltweit der erste U-Bahn-Zug des Herstellers Siemens, der mit dem neuen Fahrgastinformations-

system „Plus“ ausgestattet sein wird (siehe Abbildung 6). Bildschirme über den Türen werden den Fahrgästen künftig bereits vor Ankunft in der Station den nächstgelegenen Ausgang, die Richtung, in die sie gehen müssen sowie die aktuellen Abfahrtszeiten von Anschlussverbindungen anzeigen. Der dynamische Netzplan wird zudem nicht nur die kommenden Stationen anzeigen, sondern auch die aktuelle Position und Fahrtrichtung des Zugs.

5.3. Umweltfreundliche Bauweise und Ausstattung

Die Züge sind in ressourceneffizienter Leichtbauweise ausgeführt und die eingesetzten Materialien zu über 90 % wiederverwertbar. Die Sitze bestehen aus hochwertigem Schichtholz. Der Einsatz von LED-Beleuchtung und einer besonders energiesparenden Heizungs- und Klimatechnik sorgen für einen niedrigen Energieverbrauch der Züge.

5.4. Mehr Raum

Der Innenraum der Fahrzeuge ist großzügig und geräumig gestaltet. Um das Ein- und Aussteigen zu erleichtern sowie noch besser auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzer:innen eingehen zu können, gibt es erstmals eine Kombination aus den gewohnten Quersitzen mit Längs- und Klappsitzen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Ausbau der Wiener U-Bahn-Linie U5 und dem neuen X-Wagen startet eine neue Generation des U-Bahn-Betriebs der Wiener Linien. Ab dem Jahr 2026 wird die erste vollautomatische U-Bahn Wiens mit einer höheren Verfügbarkeit und verbesserter Sicherheit unterwegs sein.

Der Umstieg vom halbautomatischen Zugbetrieb (GoA2) zum vollautomatischen Betrieb (GoA4) bringt technologische und betriebliche Herausforderungen am Fahrzeug, der Zugsicherung, der Absicherung der Bahnsteige und der Betriebsführung mit sich. Um einen zuverlässigen und störungsfreien Betrieb ohne Personal im Zug sicherstellen zu können, ist eine ständige Kommunikation und Vernetzung aller beteiligten Systeme notwendige Voraussetzung.

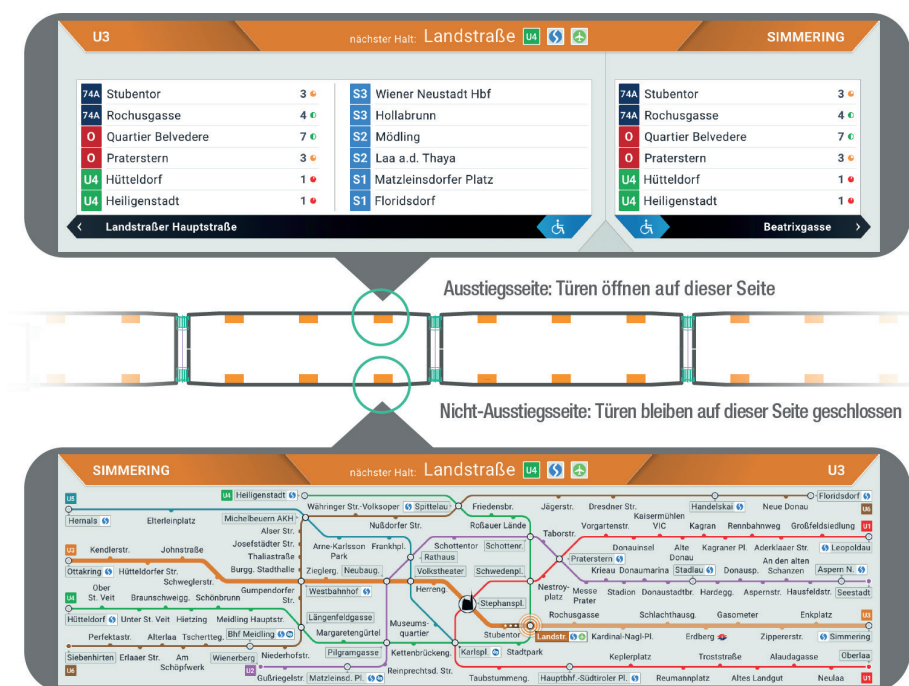


Abbildung 6: Innovatives Fahrgastinformationssystem (oben: Umsteigemöglichkeiten und nächstgelegener, barrierefreier Ausgang; unten: dynamischer Netzplan) (© Wiener Linien)

Durch zahlreiche Testfahrten wurde der vollautomatische Betrieb bereits intensiv getestet und der X-Wagen auf seinen offiziellen Start vorbereitet. Mit dem X-Wagen ist in Zukunft sowohl ein GoA4- als auch ein GoA2-Betrieb möglich. Somit wird das Fahrzeug mit Ende 2022 bereits auf den Linien U1 bis U4 den Kund:innen der Wiener Linien zur Verfügung stehen und durch ein innovatives Fahrgastinformationssystem mit dynamischem Netzplan und Informationen zu Umsteigemöglichkeiten, zum nächsten barrierefreien Ausgang und zu Abfahrtszeiten überzeugen.

AUTOR:INNEN

Ing. **Markus Rubner**, MSc. MSc.
Projektleiter X-Wagen bei den Wiener Linien
Erdbergstraße 202
1030 Wien
markus.rubner@wienerlinien.at

Dr. techn. **Elisabeth Luchini**

Future Leader Fahrzeugtechnik bei den Wiener Linien
Erdbergstraße 202
1030 Wien
elisabeth.luchini@wienerlinien.at

Ing. **Michael Rathbauer**

Koordinator vollautomatischer U-Bahn-Betrieb bei den Wiener Linien
Erdbergstraße 202
1030 Wien
michael.rathbauer@wienerlinien.at

