Hochautomatisierte Systeme im Nahverkehr und ihre Inbetriebnahme

Fahrerlose U-Bahnsysteme gewinnen weltweit zunehmend an Bedeutung. Neben der technischen Realisierung solcher Systeme sind die betriebliche Einführung, insbesondere bei der Umstellung konventioneller U-Bahnen und eine stringente Planung der Zulassungsprozesse ein entscheidender Faktor für den Erfolg eines Bahnautomatisierungsprojekts. Dieser Beitrag beleuchtet technische und zulassungsbezogene Aspekte hochautomatisierter Systeme im Nahverkehr.

Dr.-Ing. Lars Schnieder
Seit 2016 in der ESE Engineering und Software Entwicklung GmbH verantwortlich für den Geschäftsbereich Sicherheitsbegutachtung
lars.schnieder@ese.de

1. EINFÜHRUNG

Das Stichwort Digitalisierung ist in aller Munde. Auch im Straßen- und Schienenverkehr findet die Digitalisierung im Sinne von Assistenz und Automation zunehmend Einzug. Internationale Normen [1] definieren für Nahverkehrssysteme, welche Anforderungen für einen sicheren Betrieb eines schienengebundenen und hochleistungsfähigen Nahverkehrssystems (UGTS, urban guided transport systems) erfüllt sein müssen. Je nachdem, welcher Umfang an Steuerungs- und Überwachungsfunktionen von technischen Systemen übernommen wird, werden unterschiedliche Automatisierungsstufen (GOA, Grades of Automation) unterschieden. Die Definition beginnt mit dem Sichtfahrbetrieb (GOA 0) über den nicht automatischen Fahrbetrieb (GOA 1) bis hin zu den automatischen Betriebsarten (GOA 2 bis 4). Mit höheren Automatisierungsgraden wird der Fahrer entweder zunehmend unterstützt (GOA 2, semi-automated train operation, STO), ist für die Erfüllung der Fahraufgabe komplett entbehrlich aber nach wie vor an Bord (GOA 3, driverless train operation, DTO) und ist im höchsten ausgeprägten Automatisierungsgrad letztlich gar nicht mehr an Bord des Fahrzeugs erforderlich (GOA 4, unattended train operations, UTO). In diesem Fall werden alle für einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb erforderlichen Funktionen entweder von technischen Systemen oder von Bedienern der Leitstelle übernommen.

Triebfedern der Einführung hochautomatisierter Systeme sind:

→ *Steigerung der Leistungsfähigkeit:* Die zugseitige Positionsbestimmung ermöglicht mit einem CBTC-System (CBTC, communication-based train control), sich von der ortsfesten Gleisfreimeldung zu lösen. Damit wird das „Fahren im wandernden Raumabstand" möglich. Hieraus resultiert eine deutliche Erhöhung der Streckenkapazität gegenüber konventionellen Systemen mit festen Blockabschnitten [2].

→ *Höhere Flexibilität:* Der Fahrzeugeinsatz wird vom Personaleinsatz entkoppelt. Der Fahrzeugeinsatz kann nunmehr durch spontanes Ein- und Aussetzen von Fahrzeugen der tatsächlichen Verkehrsnachfrage nachgeführt werden [3].

→ *Verbesserung der Wirtschaftlichkeit:* Personaleinsparungen und eine mögliche energiesparende Fahrweise führen langfristig zu erheblichen Einsparungen in den Betriebskosten, welche erhöhte Investitionen in die aufwändigere technische Ausstattung langfristig kompensieren.

BILD 1: Studie zur Ausgestaltung der Haltestelle Arne-Carlsson-Park der geplanten fahrerlosen Linie U5 in Wien (Bildnachweis: Wiener Linien)

Die zuvor genannten Vorteile und die weltweit zu beobachtende Verdichtung urbaner Räume [4] haben im letzten Jahrzehnt zu einer deutlichen Zunahme von GOA 4-Systemen geführt [5]. Dieser Trend hält weltweit an. Im deutschsprachigen Raum ist mit dem Bau der Linie U5 bei den Wiener Linien fast zehn Jahre nach der Betriebsaufnahme der fahrerlosen U-Bahn in Nürnberg das zweite Referenzprojekt in der konkreten Umsetzung (vgl. Bild 1). Die Betriebsaufnahme ist für das Jahr 2023 geplant. Dieser Beitrag stellt die zulassungsbezogenen Aspekte der Einführung hochautomatisierter Systeme im Nahverkehr dar. »

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

BILD 2:
Bahnsteigtüren an der geplanten U-Bahn-Station „Altes Allgemeines Krankenhaus" der Linie U5 in Wien

(Bildnachweis: Wiener Linien)

2. RECHTLICHE ANFORDERUNGEN AN DIE SYSTEMTECHNIK

Definiert man den schienengebundenen Nahverkehr als „Prozess zur Beförderung von Fahrgästen mit systemeigenen Fahrzeugen zwischen Haltestellen und auf systemeigenem Fahrweg ergeben sich hieraus die zur Abwicklung des Prozesses essentiell erforderlichen strukturellen Teilsysteme. Für jedes dieser strukturellen Teilsysteme bringt die Automatisierung des Betriebs spezielle – auch in den rechtlichen Grundlagen für den Bau und Betrieb von U-Bahnen verankerte - Anforderungen mit sich. Die Anforderungen werden nachfolgend umrissen.

2.1. ANFORDERUNGEN AN BETRIEBSANLAGEN (FAHRWEGE UND HALTESTELLEN)

Für einen automatischen Betrieb sind insbesondere die Betriebsanlagen (Fahrwege und Haltestellen) wegen des Zugangs von Reisenden neuralgische Punkte. Hier sind beispielsweise Maßnahmen zur Verhinderung des unbefugten Betretens, Befahrens oder Benutzens des Bahnkörpers erforderlich. So lassen sich gegebenenfalls vorhandene Fahrzeugtüren nur dann öffnen, wenn korrespondierende Bahnsteigtüren dies erlauben (vgl. § 16 StrabVO in Österreich, bzw. § 16 Abs. 6 BOStrab in Deutschland, bzw. Bild 2). Des Weiteren sehen die Rechtsverordnungen vor, dass spezielle nachrichtentechnische Anlagen, eine vorrangige Sprachverbindung zwischen Fahrgästen und einer Betriebsstelle ermöglichen (vgl. § 22 StrabVO, bzw. § 23 Abs. 3 BOStrab). Auch müssen besondere Vorkehrungen in Haltestellen getroffen werden, die einer Gefährdung von Personen durch fahrende Züge entgegenwirken. Hierfür werden beispielsweise Nothaltschalter vorgesehen, die von anderen Reisenden betätigt werden können (vgl. § 30 StrabVO, bzw. § 31 Abs. 4 BOStrab).

2.2. ANFORDERUNGEN AN FAHRZEUGE

Auch Fahrzeuge müssen für einen hochautomatisierten Betrieb spezielle Anforderungen erfüllen. Beispielsweise müssen – wie auch in den Haltestellenbereichen – auch aus den Fahrzeugen heraus Sprechverbindungen zwischen Fahrgästen und einer besetzten Betriebsstelle möglich sein. Notrufe müssen vorrangig durchgegeben werden können (vgl. § 48 StrabVO, sowie §§ 46 Abs. 6 BOStrab und § 53 Abs. 2 BOStrab).

Ein weiterer Anforderungskomplex ist Verminderung und die Erkennung von Entgleisungen. Nach § 49 BOStrab müssen Fahrzeuge vor dem in Fahrtrichtung ersten Radsatz Bahnräumer haben, die eine durch Hindernisse hervorgerufene Entgleisungsgefahr vermindern. Aktive Bahnräumer erkennen beispielsweise über Endlagenschalter Gegenstände und lösen so eine nicht aufhebbare Bremsung bis zum Stillstand aus [6]. Auch bei einer erkannten Entgleisung ist gefordert, dass bei einem Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer im Fall einer Entgleisung das Fahrzeug unmittelbar selbsttätig bis zum Stillstand abbremsen kann (vgl. § 36 Abs. 11 BOStrab, keine Entsprechung in StrabVO). Hierfür können beispielsweise an Radsatzlagergehäusen jeweils Entgleisungsdetektoren zum Einsatz kommen. Diese nehmen Bewegungen des Rades auf und lösen bei einer für Entgleisungen charakteristischen Beschleunigung eine nicht aufhebbare Bremsung bis zum Stillstand aus [6].

Für die sichere Abfertigung von Fahrgästen ohne Fahrzeugführer kommt der Steuerung und Überwachung der Türen des Fahrzeugs eine hohe Bedeutung zu. In Personenfahrzeugen müssen Einrichtungen vorhanden sein, die bei Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer sicherstellen, dass Züge nur bei geschlossenen Türen anfahren können, d.h. der Fahrgastwechsel ordnungsgemäß abgeschlossen ist (§ 43 Abs. 5 Nr. 3 BOStrab, keine Entsprechung in StrabVO). Hierzu kommen Türen mit Schiebetritten zur Spaltüberbrückung zwischen Fahrzeug und Bahnsteig zum Einsatz. Auch verfügen die Türen über einen Einklemmschutz in Form einer Motorstromüberwachung mit Teilreversion, die auf Einklemmen einer Person oder eines Gegenstandes reagiert und einen erneuten Schließversuch übernimmt, wenn das Hindernis entfernt ist. Zusätzlich sind die Türen mit einem Einklemmerkennungssystem ausgestattet. Die Einklemmerkennung wird erst bei geschlossener Tür aktiviert und ist auch noch beim Anfahren eingeschaltet, um ein Mitschleifen von Personen zu verhindern [6].

2.3. ANFORDERUNGEN AN DEN BETRIEB

Mit der Einführung fahrerloser Fahrzeuge müssen auch die betrieblichen Abläufe bedacht werden. Hierbei sind insbesondere betriebliche Maßnahmen zu beleuchten, die sich aus der konkreten Realisierung des Automatisierungssystems durch den Hersteller

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

ergeben. Beispielsweise müssen instandhaltungsbezogene Abläufe geplant werden, welche die einwandfreie Funktion von Zugsicherungsanlagen (vgl. § 56 Abs. 2 Nr. StrabVO und § 53 Abs. 2 Ziffer 1 BOStrab) und der selbsttätigen Fahrzeuge und Betriebsanlagen (§ 56 Abs. 2 Nr. 1 StrabVO, bzw. § 52 Abs. 3 BOStrab) zum Inhalt haben. Weitere betriebliche Besonderheiten umfassen die Abweichungen vom Regelbetrieb. Konkret muss die unverzügliche Bergung von Fahrgästen aus liegengebliebenen Fahrzeugen (vgl. § 59 StrabVO, bzw. § 56 Abs. 3 BOStrab) in den Dienstvorschriften [7] genauso Berücksichtigung finden wie die Möglichkeit einer unverzüglichen Bergung von Fahrgästen im Notfall (vgl. § 56 Abs. 2 Nr. 4 StrabVO, bzw. § 53 Abs. 2 Ziffer 5 BOStrab).

3. ERMITTLUNG DER GEBRAUCHSFÄHIGKEIT VON BETRIEBSANLAGEN UND FAHRZEUGEN

Die Ermittlung der Gebrauchsfähigkeit umfasst den Nachweis aller zuvor genannten Schutzfunktionen. Dies ist auf Grund der hohen Komplexität hochautomatisierter Bahnsysteme ein mehrstufiger Prozess (vgl. [8] und [9]), der sich über mehrere Phasen des Lebenszyklus gemäß DIN EN 50126 erstreckt. Mit fortschreitender Reife der Planung, bzw. Umsetzung werden die Tests schrittweise konkretisiert und münden am Ende in der Inbetriebnahmegenehmigung.

3.1. GENERISCHE ANWENDUNGEN ALS GRUNDLAGE

Hochautomatisierte Nahverkehrssysteme sind elektrische, elektronische oder programmierbare elektronische Systeme. Diese sind üblicherweise in verschiedene Teilsysteme aufgeteilt. Für jedes dieser Teilsysteme werden in Übereinstimmung mit den einschlägigen europäischen Normen funktionale und sicherheitsgerichtete Anforderungen aufgestellt. Auf dieser Ebene der Begutachtung und Zulassung werden alle vom Einsatzort unabhängigen Prüfungen durchgeführt (Fabriktest). Da diese zwangsläufig zu diesem Zeitpunkt nur unvollständig sein können, kommt jedes der auf dieser Ebene betrachteten Systeme mit spezifisch nachzuweisenden sicherheitsbezogenen Anwendungsregeln. Diese werden eindeutig an verschiedene Zielgruppen zugewiesen. Diese Anwendungsregeln müssen später in der voranschreitenden Realisierung der spezifischen Anwendung (z.B. im Rahmen der anwendungsspezifischen Projektierung von Hard- und Software) sukzessive geschlossen und nachgewiesen werden. Weitere Anwendungsregeln können erst deutlich später im Zuge von Installation und Tests auf der Baustelle geschlossen werden. Verbleibende Anwendungsregeln fließen in die vom Betreiber zu erstellenden Dienstvorschriften ein [7].

3.2. ZULASSUNG SPEZIFISCHER ANWENDUNGEN

Zulassungsprozesse für konkrete Betriebsanlagen sind gekennzeichnet durch ein schrittweises Vorgehen. Dieses erstreckt sich von der bauaufsichtlichen Freigabe der Ausführungsunterlagen über die Anlagenprüfung bis zur Erteilung der Inbetriebnahmegenehmigung. »

Planprüfung: bauaufsichtliche Freigabe der Ausführungsunterlagen

Vor der Durchführung einer Baumaßnahme (z. B. Neu- oder Umbau eines U-Bahnsystems) werden die Ausführungsunterlagen durch die Aufsichtsbehörde geprüft und zur Ausführung freigegeben (Planprüfung gemäß § 60 BOStrab in Deutschland). In Deutschland geht dem noch der Schritt der Planfeststellung, bzw. in vereinfachten Verfahren der Plangenehmigung voraus. Die Aufsichtsbehörde ist idealerweise frühzeitig eingebunden und bestätigt auch die in der weiteren Implementierung des Systems zu berücksichtigenden Systemanforderungen. Hierbei wird die vollständige, eindeutige und widerspruchsfreie Festlegung der erwarteten Funktionalität von der Aufsichtsbehörde bestätigt und über einen längeren Zeitraum konkret zugesichert (vgl. § 62 BOStrab). Diese Festschreibung des Standes der zu berücksichtigenden anerkannten Regeln der Technik stellt die Grundlage für eine spätere reibungslose Inbetriebnahmegenehmigung dar. Gleichfalls werden auch schon in dieser Phase Bauprovisorien und Bauphasen, die der Aufrechterhaltung des Betriebs der U-Bahn während der teilweise mehrjährigen Baurbeiten dienen, mit der Zulassungsbehörde abgestimmt (vgl. § 6 Abs. 3 lit. f der österreichischen Eisenbahn-Bauentwurfsverordnung).

Anlagenprüfung: Tätigkeiten zur Ermittlung Gebrauchsfähigkeit

Die Automatisierung einer Linie „unter rollendem Rad" ist immer mit besonderen Herausforderungen für den laufenden Betrieb verbunden. In der Regel wird zunächst eine Rahmenterminplanung für die betrachtete Strecke aufgestellt. Ziel ist es hierbei, vorgezeichnete Ressourcenkonflikte rechtzeitig zu erkennen und zu entschärfen. Der Systemhersteller erstellt für die Test- und Inbetriebsetzungsaktivitäten wöchentlich aktualisierte stundengenaue Planungen, die laufend mit dem Systembetreiber abgestimmt und verfeinert werden [10]. Hierbei werden die verschieden aufeinander aufbauenden Tätigkeiten zur Herstellung der Funktionsfähigkeit bzw. zur Ermittlung der Gebrauchsfähigkeit geplant.

- **Statische Tests:** Prüfung der Übereinstimmung der vor Ort aufgebauten Anlage mit den nach § 60 geprüften Unterlagen (§ 62 Abs. 2 Satz 1). Der erfolgreiche Abschluss der statischen Tests (u. a. Übereinstimmungsprüfungen) ist die Voraussetzung für die Durchführung nachfolgend dargestellter dynamischer Tests.
- **Dynamische Tests:** Die dynamischen Tests werden in den nächtlichen Sperrpausen durchgeführt. Da die meisten Einführungsprojekte Umbauten bestehender Linien sind, wird über Umschaltvorrichtungen die Steuerung von Weichenantrieben und anderer Außenanlagenelemente auf die neue Innenanlage umgeschaltet. Nach den nächtlichen Tests wird die sicherheitsrelevante Steuerung wieder an das ursprüngliche System übergeben [11]. Hierbei werden in der Regel zunächst Fahrten mit einzelnen Zügen durchgeführt (single train test), ehe komplexe betriebliche Szenarien mit mehreren Fahrzeugen getestet werden (multiple train test).
- **Erprobungsbetrieb:** Je nach Ausgestaltung des Migrationskonzepts kann auch ein Erprobungsbetrieb vorgesehen werden. Der Erprobungsbetrieb dient dem Test des vorgesehenen Echtbetriebs mit allen Randbedingungen und ist somit die Bewährungsprobe für das Zusammenspiel von Technik und betrieblichen Abläufen. Der einzige Unterschied zum Echtbetrieb ist, dass die Züge noch keine Fahrgäste mitnehmen [10].

Nachdem alle dynamischen Tests und ggf. auch ein Erprobungsbetrieb erfolgreich durchgeführt wurden, kann der Fahrgastbetrieb aufgenommen werden, da nunmehr der Nachweis des sicheren Betriebs unter örtlichen Bedingungen in vollem Umfang erbracht worden ist. (§ 62 Abs. 2 Satz 1) [11]. Der Nachweis der Sicherheit des Betriebs unter örtlichen Bedingungen schließt mit einer Betrachtung der verbleibenden Anwendungsbedingungen ab. Insbesondere der Festlegung des erforderlichen menschlichen Handelns in Bedienungs- und Dienstanweisungen [7] kommt für den sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb eine große Bedeutung zu. Ist die Feststellung hinsichtlich der Betriebssicherheit getroffen, darf die Betriebsanlage oder das erste Fahrzeug einer Serie vor der Genehmigung der Inbetriebnahme in Deutschland durch den Betriebsleiter vorläufig in Betrieb genommen werden (vgl. § 62 Abs. 7 BOStrab), bis die abschließende Genehmigung der Inbetriebnahme durch die Aufsichtsbehörde eintritt.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Weltweit wird die Abnahme und Zulassung von Nahverkehrssystemen äußerst unterschiedlich gehandhabt. Dies betrifft vor allem unterschiedliche Regelwerke und Anforderungen sowie unterschiedliche Methoden, Rollen und Verantwortlichkeiten. Derzeit gibt es in Europa keine standardisierte Vorgehensweise zur Abnahme, Zulassung und Inbetriebnahme von Nahverkehrssystemen. Es gibt keine standardisierten Sicherheitsanforderungen, sondern jeder Europäische Mitgliedsstaat nutzt seine eigenen Regeln für die Bewertung der Einhaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen. Selbst innerhalb Deutschlands finden sich Unterschiede durch föderale Zuständigkeiten (vgl. Artikel 74 GG). Eine frühzeitige und verbindliche Abstimmung des Zulassungsprozesses ist daher in Anlagenprojekten für Betreiber und Hersteller unverzichtbar. Zukünftig ist verstärkt eine gegenseitige Akzeptanz von technischen Systemen, Prozessen und Zulassungen zum Vorteil aller Beteiligten – seien es Hersteller, Betreiber und Aufsichtsbehörden – gefordert. ◀

Literatur

[1] IEC 62290-1:2014: Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts. Genf (2014)

[2] Pachl, Jörn: Sicherungstechnik für Bahnen im Stadtverkehr. Springer (Berlin) 2017.

[3] Schnieder, Lars: Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr. Springer (Berlin) 2015.

[4] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2012: World Urbanization Prospects: The 2011 Revision, CD-ROM Edition. New York.

[5] Hernández, Miryam: Metro automation: a proven and scalable solution. In: eurotransport 1/2014, S. 30 – 32

[6] May, Andreas; Luber, Thomas; Meier-Alt, Bernd: Aktuelle Entwicklungen im Nürnberger U-Bahn-System. In: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 61 (2012) 1+2, S. 40 – 48.

[7] Schroeter, Reinhold: Dienstanweisungen nach BOStrab. In: Der Nahverkehr 28 (2008) 7+8, S. 29 – 36.

[8] Wigger, Peter: Generische Zulassung für Bahnsysteme. In: EIK 2017, S. 152-162.

[9] Wigger, Peter: Verantwortlichkeiten bei Neubau, Erweiterung oder Modernisierung eines Nahverkehrssystems. In: Signal + Draht 108 (2016) 3, S. 49 – 59.

[10] Trapp, Oliver: Die betriebliche Einführung eines fahrerlosen U-Bahn-Systems. In: Der Nahverkehr 22 (2004) 11, S. 15 – 18.

[11] Arpaci, Melih; Schwarte, Andreas: Refurbishment of metro and commuter railways with CBTC to realize driverless systems. Signal + Draht 105 (2013) 7+8, S. 42 – 47.

▶ **SUMMARY**

Highly automated systems in the public transport and their implementing process

This article presents the fundamental technical requests on highly-automated systems in the public transport. Based on this, the process of implementation according to existing legal basics from Germany and Austria and the generally accepted technical rules in terms of international standards for railway applications are discussed.

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de