

Untersuchungen zur nachträglichen Automatisierung bestehender U-Bahnen: Das Forschungsvorhaben STAR Berlin

H.-C. Kaiser^{a,1} und N. Ritter^{b,2}

^a Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), Anstalt des öffentlichen Rechts BU
Potsdamer Straße 188, 10783 Berlin, Germany)

^b Siemens Transportation Systems, Berlin / Braunschweig TS RA MT DA
Elsenstraße 87-96, 12435 Berlin, Germany

Kurzfassung: Am Ende des letzten Jahrhunderts stellte sich immer drängender die Frage, ob es auch gelingen würde, konventionelle U-Bahnen durch Nachrüstung den fahrer- und begleiterlosen automatischen Betrieb (Unattended Train Operation, UTO) zu überführen.

So war es Aufgabe des Forschungsvorhaben STAR, diesen Nachweis unter Beachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen zu erbringen und nach Möglichkeit eine Pilotanwendung bei der U-Bahn Berlin zu erreichen. Neben der rein technischen Machbarkeit war der Nachweis der Wirtschaftlichkeit, der Akzeptanz sowie der betrieblichen Machbarkeit zu erbringen. Als Voraussetzung galt, die Einführung des fahrerlosen automatischen Betriebes ohne wesentliche Störung des bestehenden Betriebes zu vollziehen. Dabei galt für die technische Auslegung, dass das Sicherheitsniveau der fahrerbedienten konventionellen Betriebsabwicklung mindestens erhalten bleiben musste.

Das Vorhaben konnte sich an den im Entstehen begriffenen Normen für Bahnanwendungen (EN 50126) ausrichten und somit zukunftsorientiert die künftige Qualität der Betriebsabwicklung beschreiben.

Schlagworte: Unattended Train Operation (UTO); Sicherheit; Akzeptanz; Europäische Normen für Bahnanwendungen;

¹E-mail: hans-christian.kaiser@bvg.de, URL: www.bvg.de

²E-mail: norbert.ritter@siemens.com, URL: www.siemens.com

1 Einleitung

Während der fahrer- und begleiterlose automatische U-Bahnbetrieb (Unattended Train Operation (UTO)) im Rahmen von Neubauvorhaben weltweit immer häufiger seine hohe Verfügbarkeit, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und vor allem seine überwältigende Akzeptanz bei Fahrgästen unter Beweis stellt, ist das gut ausgebaute schienengebundene Nahverkehrssystem Deutschlands noch immer von konventionellen fahrerbedienten Betriebsformen geprägt. Immer drängender stellte sich daher die Frage, ob es auch gelingen würde, konventionelle U-Bahnen durch Nachrüstung in den UTO-Betrieb zu überführen, zumal der technische Nachweis für das fahrerlose Fahren längst erbracht war und die rechtlichen Rahmenbedingungen nach Novellierung der Verordnung über den Bau- und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) im Gegensatz zur Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung (EBO) längst gegeben waren.

So galt es im Forschungsvorhaben „U-Bahn Berlin, Überführung des laufenden in den automatischen Betrieb“ (STAR) diesen Nachweis zu erbringen¹. Dabei stand für alle Beteiligten im Vordergrund, dass eine Automatisierung um der Automatisierung Willen nicht als Ziel gelten konnte. Vielmehr war der Nachweis

- der Wirtschaftlichkeit,
- der Akzeptanz,
- der betrieblichen Machbarkeit und
- zuletzt der technischen Machbarkeit

zu erbringen.

Voraussetzung war, dass für die Einführung des fahrerlosen automatischen Betriebes keine wesentliche Störung des bestehenden Betriebes zulässig sein sollte. Dabei galt für die technische Auslegung, dass das Sicherheitsniveau der fahrerbedienten konventionellen Betriebsabwicklung mindestens erhalten bleiben musste.

Hilfreich war, dass sich das Vorhaben an den im Entstehen begriffenen Normen für Bahnanwendungen (EN 50126) ausrichten und somit zukunftsorientiert die künftige Qualität der Betriebsabwicklung beschrieben werden konnte. Grundlegende Eingangsbedingungen für ein späteres Realisierungskonzept waren die Anforderungen

- zur Erfüllung des Fahrgastnutzens unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen des Betreibers sowie
- der rechtlichen Rahmenbedingungen mit den Anforderungen an Betriebsabwicklung und technische Gestaltung.

¹ Die Forschungsvorhaben zur Überführung des laufenden in den automatischen Betrieb bei der U-Bahn Berlin (STAR und STAR II), wurden gefördert vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, der Berliner Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr und der Technologiestiftung Berlin. Projektbeteiligte waren die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), Bombardier Transportation (Adtranz) und die SIEMENS AG Bereich Transportation Systems. Beide Vorhaben zusammen hatten eine Laufzeit von Herbst 1996 bis September 2002.

Im theoretischen Teil des Vorhabens wurden zunächst alle Anforderungen technischer und betrieblicher Art in einem Lastenheft niedergelegt, das von einer Risiko- und einer Verfügbarkeitsanalyse begleitet und einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung unterzogen wurde. Erst nach vollzogenem Nachweis, dass alle „Signale für den beschriebenen Machbarkeitsweg auf grün stehen“, der zum Teil durch unabhängige Prüfer erbracht wurde, ging es an die Durchführung eines Probebetriebes. Der nachfolgende Probebetrieb auf drei Bahnhöfen der Berliner U-Bahnlinie 5 erbrachte darüber hinaus den praktischen Nachweis der Einführung "unter rollendem Rad".

Im Sinne der EN 50126 gelten die Projektphasen 1.. 4 (Konzept, Systemdefinition, Risikoanalyse, Ermittlung der Anforderungen) als durchlaufen und von einem unabhängigen Gutachter geprüft. Im Zusammenhang mit dem Nürnberger Forschungsvorhaben SMARAGT konnte darüber hinaus die Umsetzbarkeit auf andere Verkehrsunternehmen verifiziert werden.

Auch wenn die Realisierung einer automatischen U-Bahn in Berlin noch fraglich ist, hat das Forschungsvorhaben STAR in enger Verknüpfung mit dem Forschungsvorhaben SMARAGT (Studie zur Machbarkeit und Realisierung eines AGT-Systems) einen Standard für den fahrerlosen automatischen Betrieb im deutschen Nahverkehr geschaffen, der als deutscher Beitrag auch in nationale Zulassungsrichtlinien und in die internationale Normung eingehen wird.

2 Herleitung der Anforderungen an die Betriebsform UTO

EN 50126 (Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS)) stellt die Qualität der von einem Bahnunternehmen zu erbringenden Betriebs- und Dienstleistung als Ergebnis von spezifizierten Eigenschaften des Systems und einer RAMS-Analyse in den Vordergrund. Die Ermittlung der Anforderungen an ein Automatisierungssystem zur Ertüchtigung eines konventionellen zu einem automatischen Betrieb konnten dem in EN 50126 beschriebenen Ablauf über den gesamten Lebenszyklus eines Projektes hinweg, grundsätzlich folgen.

So galt es auf Basis der europäischen Normen für Bahnanwendungen eine eng verzahnte Arbeitsweise zwischen

- RAMS-Anforderungen,
- dem Betriebskonzept des Betreibers und
- den funktionalen Anforderungen, die
 - zum einen die den in den „anderen Eigenschaften“ enthaltenen Nutzen der Automatisierung repräsentieren und
 - zum anderen die Erfüllung der erforderlichen Schutzziele sicherstellen zu gewährleisten.

Grundlegend wurde formuliert, dass sich Sicherheits- und Qualitätsstandards des automatischen Systems an der konventionellen Betriebsführung ausrichten sollen:

- die **Gesamtsicherheit** der Betriebsabwicklung darf nicht verschlechtert werden
 - jedoch Anwendung von abgestuften Sicherheitsstandards
- die **Gesamtverfügbarkeit** der Betriebsabwicklung darf nicht verschlechtert werden
 - jedoch Anwendung hinreichender Verfügbarkeitsstandards
- die **Verfahren** der **Betriebsabwicklung** müssen an das neue Umfeld angepasst werden
 - jedoch Ausrichtung der Funktionalität auf ein unbedingt notwendiges Maß

Aus diesen grundlegenden Anforderungen erwuchs die Verpflichtung abweichend von Automatisierungsvorhaben „auf der grünen Wiese“ alle Maßnahmen und Standards am konventionellen Betrieb zu spiegeln und nur die zwingend erforderlichen Anpassungen, die in der künftigen Nichtanwesenheit des Fahrers begründet waren, vorzunehmen.

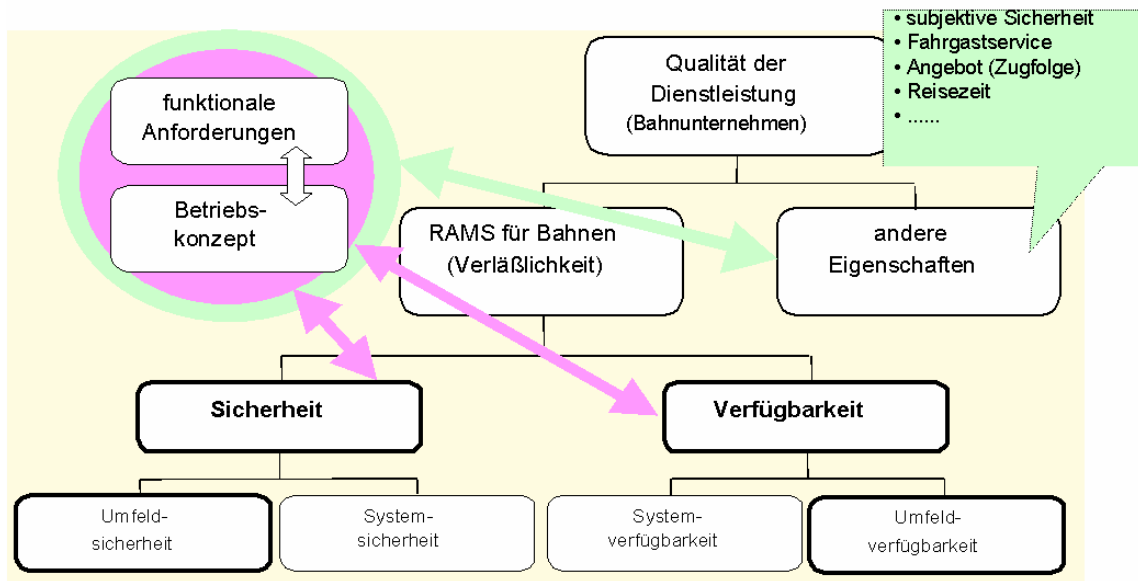


Abbildung 1: Herleitung der Anforderungen auf Basis EN 50126

2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Anforderungen

Unabhängig von den europäischen Normen für Bahnanwendungen galt es zunächst eine Analyse der gesetzlichen Grundlagen der Bundesrepublik Deutschland durchzuführen, um die Funktionalität des Systems zunächst auf das vom Gesetzgeber vorgesehene unbedingt notwendige Maß zu beschränken.

In der Neufassung der „*Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)*“ vom 11. Dezember 1987 wurde die Betriebsform des fahrerlosen, automatischen Betriebes auf gesetzlicher Ebene verankert und im Januar 1997 in den „*Vorläufigen Richtlinien für den Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen*“ (*RL FoF*) konkretisiert.

Im Rahmen der Analyse wurden alle sich aus diesen gesetzlichen Anforderungen ergebenden Schutzziele und Funktionen herausgearbeitet. Diese konkretisieren insbesondere

- die Anforderungen an die Einrichtungen in Haltestellen,
- an die Überprüfung des lichten Raumes,
- an Einrichtungen in Fahrzeugen sowie

- an die Abgrenzung des Bahnkörpers unter der Rahmenbedingung, dass gegenüber dem konventionellen Betrieb kein Fahrer mehr den Fahrerstand besetzt hält und nicht mehr für Störungsdiagnose sowie in Bergungs- und Rettungsfällen bereitsteht.

Aufgrund des besonderen Bedarfes zur Konkretisierung von Anforderungen an Einrichtungen zur Sicherung des Bahnsteiggleises in Haltestellen wurde im Rahmen der Projekte SMARAGT (Nürnberg) und STAR (Berlin) die Notwendigkeit der Erstellung einer ergänzenden Regel der Technik gesehen. Nach Abschluss des Einspruchsverfahrens hat diese Schrift den Status einer „Regel der Technik“ für den Geltungsbereich der BOStrab eingenommen.

In Abbildung 2 ist dargestellt, auf welchen Ebenen die gesetzlichen Grundlagen formuliert und durch „Regeln der Technik“ oder Lastenhefte ergänzt sind.

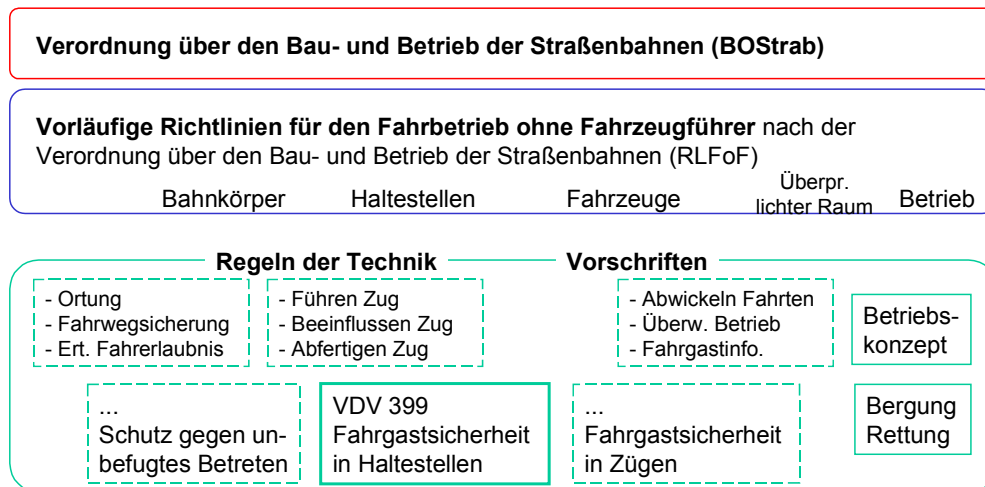


Abbildung 2: Anforderungen aufgrund gesetzlicher Grundlagen und Auswirkungen auf Regeln der Technik und Dienstvorschriften

2.2 Nutzenanalyse

Zur Auslegung des Systemkonzeptes galt es in erster Linie den stets prognostizierten Nutzen des automatischen Betriebes zu verifizieren. Zielstellung war es, ergänzend zu den gesetzlichen Anforderungen diejenigen Funktionen und Rahmenbedingungen herauszuarbeiten, die für das Verkehrsunternehmen neben den gesetzlichen Lasten den größtmöglichen Nutzen bei der Betriebsabwicklung hervorrufen, also die „anderen Eigenschaften“ nach EN 50126 zu beschreiben.

Die Nutzenanalyse wurde nach der Methode des „ganzheitlichen Denkens und Handelns“ durchgeführt. Die Methode erlaubt grundsätzlich die Darstellung von komplexen Prozessen und der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilprozessen, insbesondere zur Analyse der Auswirkung von Organisationsänderungen oder der Umstellung von Produktionsprozessen in Großunternehmen. Mit der Methode lassen sich also auch die Wechselwirkungen der Einführung des fahrerlosen automatischen Betriebes auf den Prozess U-Bahn darstellen und zunächst qualitativ bewerten.

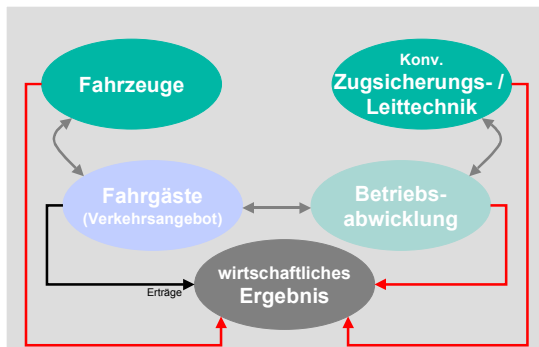


Abbildung 3: Prozess U-Bahn, Grobdarstellung konventioneller Betrieb

Die zu betrachtenden Teile des Prozesses U-Bahn sind geprägt durch vorhandene Fahrzeuge und die vorhandene konventionelle Zugsicherungs- und Betriebsleittechnik in Verbindung mit der konventionellen Betriebsabwicklung und ihren Wechselwirkungen. Alle vorgenannten Komponenten des Prozesses stellen grundsätzlich Kostenfaktoren sowohl in der Anschaffung (fixe Kosten) als auch beim Betreiben (variable Kosten) dar, die sich negativ auf das wirtschaftliche Ergebnis auswirken. Als Binsenweisheit, jedoch vielfach nicht herausgearbeitet, lässt sich feststellen, dass einzig die Fahrgäste mit Erträgen positiv zum wirtschaftlichen Ergebnis beitragen. Ein Nutzen für das Verkehrsunternehmen lässt sich zunächst über den Fahrgastzuwachs und erhöhte Erträge darstellen. Dies setzt die Akzeptanz

der Fahrgäste und ein nutzerfreundliches Verkehrsangebot voraus, was als oberstes Ziel der Automatisierung zum Entstehen des Nutzens betrachtet werden muss.

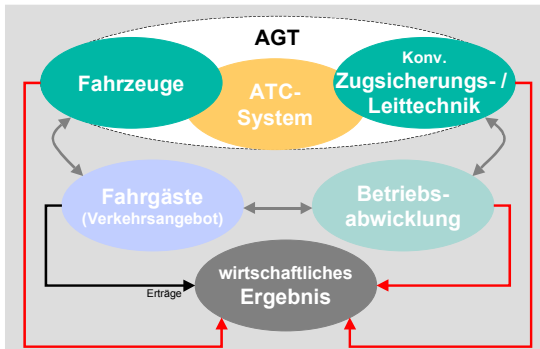


Abbildung 4: Prozess U-Bahn Grobdarstellung automatischer Betrieb

Die Einführung des fahrerlosen automatischen Betriebes erfordert als Last den Aufbau eines Automatisierungssystems (ATC-System) sowie die Ertüchtigung der vorhandenen Fahrzeuge und der vorhandenen Zugsicherungs- und Leittechnik (sowie weiterer peripherer Einrichtungen) zu einem AGT-System (Automated Guided Transit). Dieses Erfordernis generiert zusätzliche Kosten, die durch die vorgenannten attraktivitätssteigernden Maßnahmen im Sinne der Erzielung eines Nutzens und durch Minimierung der Betriebskosten überkompensiert werden müssen.

Als Fazit lässt sich postulieren, dass sich der größte Nutzen für den Fahrgast durch Bereitstellung des Beförderungsangebotes ergibt, wenn es benötigt wird. Dies betrifft sowohl die Spitzenzeiten, die verkehrsschwachen Zeiten, als auch den außerplanmäßigen Spitzenbedarf (z.B. Veranstaltungsverkehr). Die Attraktivität des ÖPNV gewinnt entscheidend, wenn sich für den Fahrgast kurze Wartezeiten ergeben und daraus eine Reisezeitverkürzung entsteht. Voraussetzung hierfür ist ein dichter Fahrplankontakt. Dieser soll unter Bereitstellung variabler Zuglängen durchgeführt werden, um auch in Schwachverkehrszeiten ein wirtschaftliches Angebot mit kurzen Zugfolgen aufrecht erhalten zu können. Der Nutzen für den Betreiber besteht darin, dass das verbesserte Angebot für den Fahrgast ohne zusätzlichen Personalaufwand hergestellt werden kann und sich die täglichen Spitzenzeiten mit stets gleichem Personalstand bedienen lassen. Diese Flexibilisierung der Betriebsführung lässt zum einen die Betriebskosten sinken, zum anderen einen Fahrgastzuwachs erwarten, der sich in erhöhten Erlösen niederschlägt.

Kosten und Nutzen können nach dieser Voruntersuchung unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen des Betreibers in einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung gegenübergestellt werden.

2.3 Betriebskonzept

In enger Abstimmung zwischen Industriepartner und Betreiber BVG wurden die Grundsätze des Betriebskonzeptes zur Durchführung des fahrerlosen automatischen Betriebes auf Basis der bis dahin bekannten Anforderungen definiert. Im Sinne einer strukturierten Vorgehensweise wurden basierend auf den Aufgaben des Fahrers im konventionellen Betrieb, die Aufgaben des übrigen Betriebspersonals und das Zusammenwirken mit technischen Einrichtungen analysiert. Gerade der engen Verzahnung technischer Lösungen und ergänzender betrieblicher Vorschriften muss zur Gewährleistung lückenloser Abläufe eine große Bedeutung beigemessen werden.

Darüber hinaus waren die Belange weiterer am Prozess U-Bahn beteiligter Personen (z.B. Reinigungskräfte von Fremdfirmen), aber auch spezifischer Fahrgastgruppen, wie geh- oder sehbehinderte Fahrgäste zu berücksichtigen.

Im einem zweiten Schritt wurde dargestellt, welche Verfahren des Störfallmanagements durch die Entsendung von Betriebspersonal angewandt werden sollen, falls eine Rückkehr in den Regelbetrieb von der Leitstelle aus nicht möglich ist.

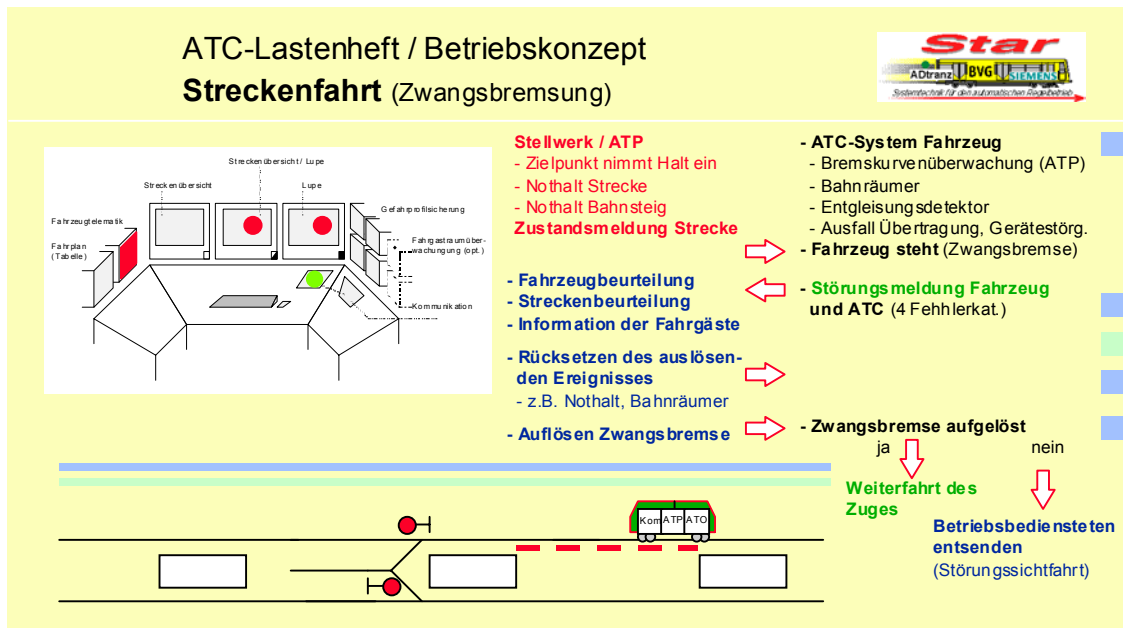


Abbildung 5: Verzahnung Betriebskonzept / funktionale Anforderungen (Beisp. Streckenfahrt mit Zwangsbremse)

Da die BOStrab in den §§ 53 und 56 die Bergung von Fahrgästen sowohl im Notfall als auch aus liegengebliebenen Zügen grundsätzlich fordert, wird dies in der Richtlinie für den Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer konkretisiert und der Betreiber aufgefordert hierfür ein Konzept zu erstellen. Diese Forderung fand im Forschungsvorhaben ihren Niederschlag in der Erstellung eines Bergungs- und Rettungskonzeptes durch die BVG als Teil des Betriebskonzeptes.

3 Systemanforderungsspezifikation

3.1 Funktionale Anforderungsspezifikation

Nach Abschluss der konzeptionellen Phase (Phasen 1 und 2 nach EN 50126) galt es detailliert die Funktionsanforderungen des automatischen Betriebes unter Berücksichtigung der

spezifischen Bedingungen des Mischbetriebes mit fahrerbedienten Zügen zu beschreiben. Aufgrund der definierten Rahmenbedingungen des laufenden Betriebes wurde deutlich, dass die installierte Infrastruktur im Detail die Anforderungen an die zu ertüchtigenden Teilsysteme und ggf. an die Ausprägung der neu zu installierenden Teilsysteme prägt.

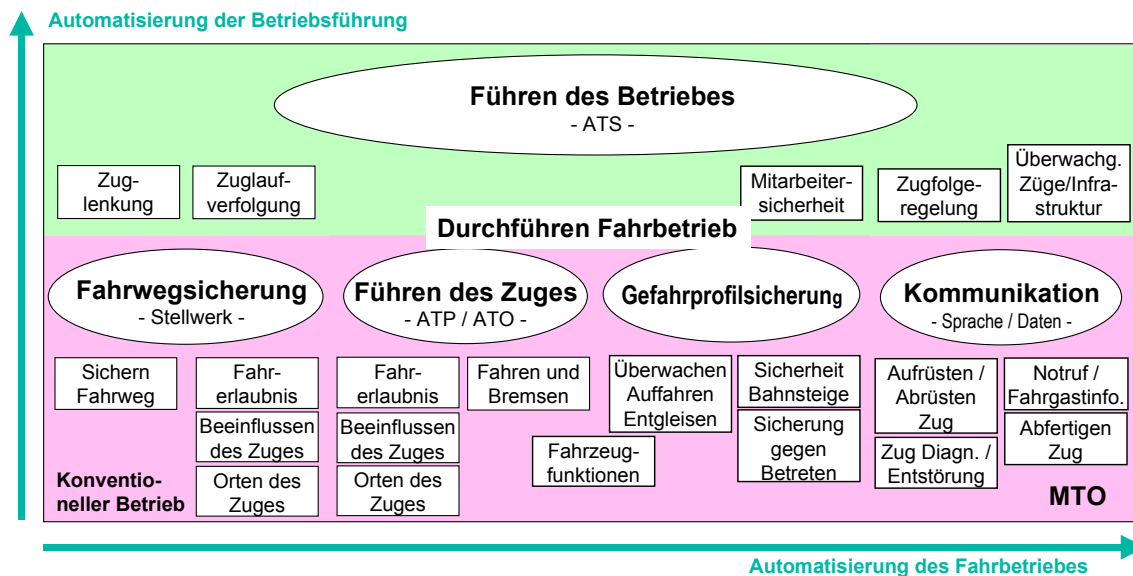


Abbildung 6: Systematik der Grundfunktionen der Automatisierung des Fahrbetriebes

Grundsätzlich wurde mit der Beschreibung der funktionalen Anforderungen eine Migrationstrategie entworfen, die eine Überführung vom konventionellen Betrieb über halbautomatische Betriebsformen (STO² bzw. DTO³) bis zum Automatisierungsgrad UTO⁴ ermöglicht.

So entstand eine Systematik **Grundfunktionen des Fahrbetriebes** als Ergänzungen des konventionellen Zugsicherungssystems um die erforderlichen Funktionen zum Führen des Zuges (ATC-System) als Ergänzungen bestehender Funktionen und neu hinzukommende Funktionen auf Basis der gesetzlichen Anforderungen der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) und der Rahmenbedingungen der BVG. Die hier beschriebene Funktionalität wurde ständig mit dem zeitgleich durchgeführten Forschungsvorhaben SMARAGT (Nürnberg) abgeglichen, so dass sich ein hohes Maß an Gemeinsamkeiten ergab. Als gemeinsames Ergebnis wurde das Kapitel „Fahrgastsicherheit in

² STO = Semi Automatted Train Operation

³ DTO = Driverless Train Operation

⁴ UTO = Unattended Train Operation

Haltestellen“ ausgegliedert und gemeinsam mit anderen VDV-Unternehmen zur VDV-Schrift 399 „Anforderungen an Einrichtungen zur Gewährleistung der Fahrgastsicherheit in Haltestellen“ zusammengefasst, die nach durchgeführtem Gelbdruckverfahren den Stand der Technik zu diesem Thema repräsentiert.

3.2 Risikoanalyse

Um die Sicherheit der einzelnen ATC-Funktionen des Systems U-Bahn betrachten zu können, wurde eine Risikoanalyse nach VDV-Schrift 331 auf Basis der DIN V 19250 durchgeführt.

Mit Hilfe von Risikoparametern wurden Anforderungsklassen für die in der funktionalen Anforderungsspezifikation beschriebenen Funktionen und Unterfunktionen festgelegt. Die Anforderungsklassen wurden in Übereinstimmung mit den einschlägigen Sicherheitsgrundnormen (IEC 61508) in Safety Integrity Level (S.I.L.) übersetzt. Die so ermittelten S.I.L. stellen zunächst die qualitativen Sicherheitsziele der Funktionen dar und bestimmen gemäß EN 50126 die Maßnahmen gegen systematische Fehler.

Durch Anwendung der SIL-Tabelle (EN 50129) wurden den Funktionen die „Tolerierbaren Gefährdungsraten“ (THR) als quantitative Sicherheitsziele zugeordnet. Das so bestimmte quantitative Sicherheitsziel soll die Maßnahmen gegen zufällige Ausfälle EN 50129 bestimmen.

Es werden in der Risikoanalyse nur ATC-Funktionen betrachtet, die durch die Einführung des automatischen Betriebes neu entstehen bzw. sich verändern. Bei der vorliegenden Sicherheitsanalyse wird vorausgesetzt, dass die vorhandenen Funktionen des laufenden Betriebes den geltenden Sicherheitsanforderungen entsprechen.

4 Realisierung des Probetriebes

Nach Abschluss der Definition der Anforderungen wurde ein interner Meilenstein zu Feststellung der Machbarkeit in das Vorhaben eingezogen. Ziel war es - unabhängig von der praktischen Erprobung - bereits zu einem früheren Zeitpunkt Aufschluss über eine spätere Realisierbarkeit zu erlangen und daraus die weitere Vorgehensweise im Vorhaben abzuleiten.

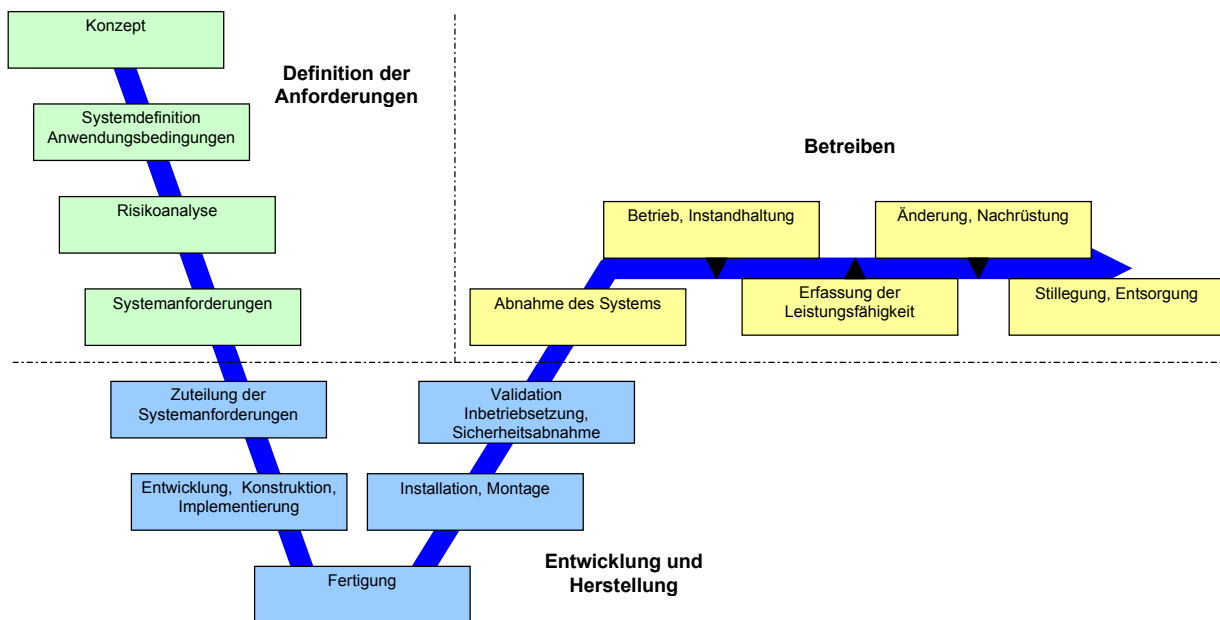


Abbildung 7: Darstellung der Lebenszyklusphasen (EN 50126)

Nach positiver Feststellung der Machbarkeit konnte in Übereinstimmung mit EN 50126 in die Realisierung eines Probetriebes gegangen werden (Lebenszyklusphasen 5...9).

Vorrangiger Schwerpunkt des Probetriebes war es,

- der BVG die Durchführung eines Probetriebes mit dem Ziel des Nachweises der betrieblichen Machbarkeit,
- den Industriepartnern den Nachweis der technischen Machbarkeit der Überführung eines konventionellen Betriebes in den fahrerlosen automatischen Betrieb unter praxisgerechten Rahmenbedingungen

zu ermöglichen.

Als Erprobungsabschnitt war bereits zu Beginn des Vorhabens der Bereich zwischen Friedrichsfelde und Biesdorf-Süd auf der Referenzstrecke U5 ausgewählt worden. Der Bereich wird vollständig durch ein Stellwerk der WSSB-Bauform GS II Sp64c gesichert, das durch einen örtlichen Weichensteller bedient wird. Die Zugbeeinflussung erfolgt punktförmig über magnetische Fahrsperrern. Weitergehende Ausstattungen der Leit- und Sicherungstechnik waren zum Zeitpunkt der Aufnahme des Probetriebes nicht vorhanden.

Der Erprobungsabschnitt erfüllte Voraussetzungen für einen

- Dauerbetrieb der automatischen Züge (Fahrten von Bü Gl.3 oder 4, Kehren in Fi Gl 1, Rückkehr nach Bü Gl 3 oder 4),

- Durchfahrtbetrieb der automatischen Züge (manuelle Einfahrt der Züge in Bü Gl. 1 bzw. Fi Gl. 2, automatische Fahrt durch den Erprobungsabschnitt, manuelle Ausfahrt in Fi Gl.1 bzw. Bü Gl. 2).

Betrieblich galt der Grundsatz, dass die automatischen Züge weiterhin von einem Zugfahrer zu begleiten waren, dem die Streckenbeobachtung oblag. Zur Gewährleistung seiner Aufmerksamkeit sollte die Sicherheitsfahrerschaltung (Totmann) auch im automatischen Betrieb aktiv geschaltet bleiben. Zusätzlich blieb die fahrzeugseitige magnetische Fahrsprenausrüstung aktiv geschaltet. Die Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen war Voraussetzung für die Zustimmung des Betriebsleiters zur Durchführung automatischer Fahrten zwischen regulären Fahrgastzügen der U5 ohne vorausgegangene Sicherheitsabnahme. Die Mitnahme von Fahrgästen in automatischen Zügen war nicht zugelassen.

Zur Durchführung des Probebetriebes waren folgende Maßnahmen erforderlich:

- Adaption des vorhandenen Stellwerkes über eine Fernsteuerung (Siemens)
- Aufbau der streckenseitigen Datenversorgung und Leitstelleneinrichtung als Ersatzmaßnahme für den noch nicht vorhandene Betriebsleitertechnik und streckenseitige ATC-Ausrüstung (Siemens),
- Aufbau eines gemeinsam genutzten Funk - Übertragungsmediums (Funk - LAN) für die Datenkommunikation mit den Fahrzeugen auf ERTMS-Basis (Adtranz),
- Aufbau von Ortsmarken zur Wegsynchronisation (Matra- und Eurobalise),
- Aufbau eines kompletten Systems zur Gewährleistung der Fahrgastsicherheit in Haltestellen gemäß VDV 399 im Bahnsteiggleis 3 in Biesdorf-Süd (Adtranz),
- Ertüchtigung zweier Fahrzeugen der Baureihe H mit fahrzeugseitigen Zusatzsystemen (z.B. Bahnräumer) in Kooperation mit dem Fahrzeughersteller (BVG)
- Ausrüstung je eines Fahrzeuges mit einem ATC-Fahrzeugsystem zur Durchführung eines interoperablen Betriebes am gemeinsam genutzten Funk – LAN (Siemens / Adtranz)

Die Ausführung aller Gerätekomponenten erfolgte im Sinne einer Demonstrationsanlage in nicht signaltechnisch sicherer Ausführung.

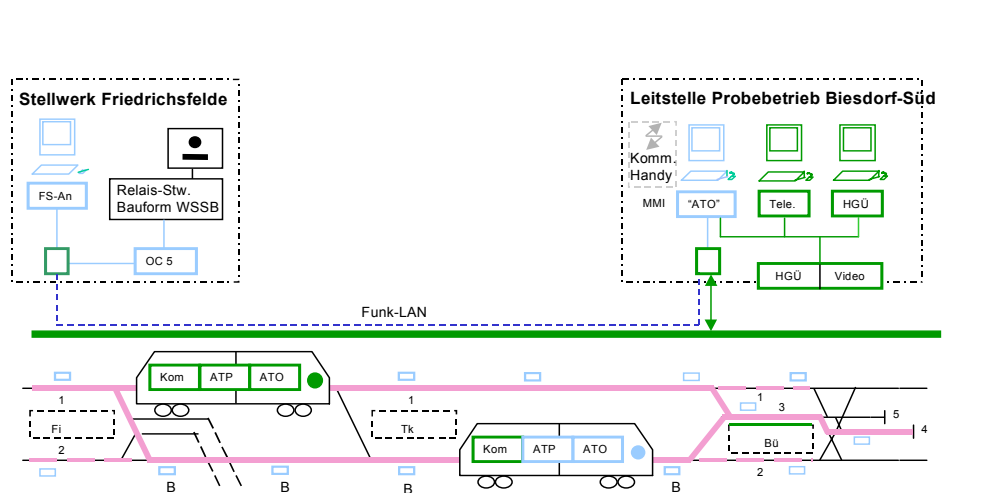


Abbildung 8: Konfiguration für die Durchführung des Probebetriebes

Abbildung 9 zeigt die Grundfunktionalität des Probebetriebes unter den Rahmenbedingungen des Mischbetriebes. Neben dem Erteilen der sicherungstechnischen Fahrerlaubnis durch das Stellwerk, ist es erforderlich, den automatischen Zügen zusätzliche dispositive Fahraufträge (wie Haltestellenaufenthaltszeiten, Durchfahrten, Wenden, ...) zu erteilen.

Darüber hinaus wurden im streckenseitigen System die wichtigsten nach BOStrab und RLföF geforderten Bedienungen und Anzeigen sowie Systemreaktionen realisiert, wie u.a.

- Vorgabe von Langsamfahrstellen (Bedieneingabe)
- Nothalt (Bedieneingabe)
- Schutzfahrt bei Bauarbeiten (Bedieneingabe)
- Zug in Haltestelle blockieren (Bedieneingabe oder Systemreaktion)
- Nothalt Haltestelle (Systemreaktion bei Beanspruchung Bahnsteiggleisüberwachung, Eindringüberwachung oder Bahnsteigabschlusstür).

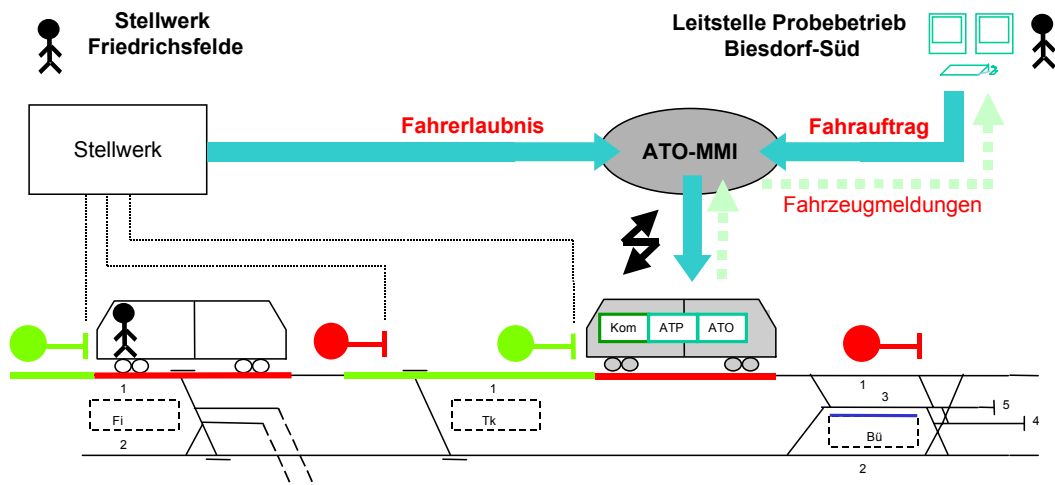


Abbildung 9: Funktionen des Probetriebes (ATO-MMI)

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Forschungsvorhaben „U-Bahn Berlin, Überführung des laufenden in den automatischen Betrieb“ hat die Industriepartner in die Lage versetzt ihr Produktspektrum an den Anforderungen der Betriebsform UTO (Unattended Train Operation) für Nachrüstvorhaben auszurichten, so dass eine grundsätzliche Lieferfähigkeit gegeben ist. Die Machbarkeit einer Automatisierung unter „rollendem Rad“ gilt als erbracht und Betreiber konventionell betriebener Systeme wurden in die Lage versetzt ihre Anforderungen zu formulieren und in Realisierungsvorhaben einzutreten. Auf Basis des zeitgleich unter Beteiligung der VAG Nürnberg, Bombardier und Siemens durchgeführten Forschungsvorhabens SMARAGT wird es zu einer ersten derartigen Anwendung in Deutschland und weltweit kommen, wenn auch Berlin aufgrund der politisch ungeklärten Verlängerung der Linie U5 noch in Wartestellung verharret.

Das Forschungsvorhaben endete in einer Zeit, da die behütete Zugsicherungstechnik deutscher Ausprägung angesichts im Entwurf befindlicher europäischer und weltweiter Normungsbestrebungen vor einem Umbruch steht. Genannt seien hier die Normentwürfe IEC 62290 Urban Guideway Transport Management Command and Control System sowie IEC 62267 Automated Urban Guideway Transit. Da über das eigentliche Forschungsziel hinaus eine Systematik der Zugsicherungstechnik des Nahverkehrs erarbeitet wurde, sind die Ergebnisse des Vorhabens unter Berücksichtigung zahlreicher VDV-Publikationen geeignet die internationale Normung zu beeinflussen, was aktuell auch mit verhältnismäßig gutem Erfolg gelingt.

Über den Nachweis der Machbarkeit hinaus konnte eine breite Öffentlichkeit für moderne Betriebsführungsverfahren im öffentlichen Nahverkehr gewonnen werden. So wurde über ein spezifisches Arbeitspaket Akzeptanz der Grundstein für eine öffentliche Diskussion fahrgastfreundlichen schienengebundenen Nahverkehrs gelegt, das den Fahrgast in den Mittelpunkt der Bemühungen stellt, während die uns Ingenieure interessierende Herausforderung einer Automatisierung in einem zunehmend technikfeindlichen Umfeld in den Hintergrund tritt.

Die Forschungspartner danken dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, der Berliner Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr und der Technologiestiftung Berlin für die Förderung des Vorhabens.