



KURZFASSUNG

Der Flughafenvorfeldverkehr setzt sich aus Luftfahrzeugen und bodengebundenen Kraftfahrzeugen zusammen. Auf die Vorfeldverkehrsabwicklung nehmen die Vielfalt der Verkehrsteilnehmer, das hohe Verkehrsaufkommen sowie die räumliche und geometrische Gestaltung der luftseitigen Flughafeninfrastruktur einen großen Einfluss, was zur Erhöhung der Komplexität des Vorfeldverkehrsbetriebes beiträgt. Die Planung, Umsetzung und Überwachung der Vorfeldverkehrsführung und -abwicklung erweisen sich als schwierig, ihre richtige Durchführung kann aber einen reibungslosen Flughafenbetriebsablauf gewährleisten.

Die Kapazität des Vorfeldfahrstraßennetzes wird auch durch den Einfluss des Luftfahrzeugrollverkehrs maßgebend bestimmt. Der Luftfahrzeugrollverkehr hat immer Vorrang gegenüber dem bodengebundenen Kraftfahrzeugverkehr und er darf nicht durch ihn behindert werden. Konkrete Sicherheitsabstände von Kraft- zu Luftfahrzeugen auf Rollbahn-Straßen-Kreuzungen, die nicht alle Situationen beschreiben, werden grob in den Verkehrs- und Zulassungsregeln des Frankfurter Flughafens definiert. Die angegebenen Sicherheitsabstände können von den Kraftfahrzeugführern aber nur geschätzt werden, die daher für sich die Einschätzung vornehmen müssen, wann sie eine Rollbahn-Straßen-Kreuzung nicht befahren dürfen. (Rollbereichsstraßensperrung.) Die existierenden Regelungen sind aus diesen Gründen zur genauen Quantifizierung der Rollwegkreuzungskapazität nicht ausreichend. Für Fachplanungen und Simulationen ist eine Quantifizierung von durch Rollverkehr bedingten Rollbereichsstraßensperrungen unerlässlich, um die Kapazität für Planungsszenarien beurteilen zu können.

Ziel dieser Arbeit ist es, Konfliktsituationen zwischen Luftfahrzeugen und bodengebundenen Kraftfahrzeugen auf dem Flughafenvorfeld zu klassifizieren und zu quantifizieren, um auf diese Weise zum einen die Modellierungsgrundlagen für Kapazitäten von Konfliktflächen auf dem Flughafenvorfeld zu verbessern und zum anderen eine Erhöhung der Sicherheit auf dem Flughafenvorfeld durch eine Anpassung der Verkehrsregeln zu ermöglichen. Der Verkehrsablauf an Stellen des Flughafenvorfeldes, an denen der Rollverkehr in direktem Konflikt mit dem bodengebundenen Kraftfahrzeugverkehr kommt, soll analytisch beschrieben werden, um die Parameter, die eine entscheidende Rolle bei seiner Abwicklung spielen, zu identifizieren und zu verstehen. Als Fallbeispiel wurde im Rahmen dieser Arbeit das Vorfeld des Flughafens Frankfurt Main verwendet.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden das System der luftseitigen Flughafeninfrastruktur und dessen Kapazität sowie die Subsysteme der Verkehrsinfrastruktur auf dem Flughafenvorfeld näher betrachtet und nach der bestehenden Literatur definiert. Auf dieser Basis wurden die Vorfeldverkehrsteilnehmer, die sich in zwei Gruppen nämlich Luftfahrzeuge und bodengebundene Kraftfahrzeuge unterteilen lassen, und ihre Anforderungen an die Vorfeldverkehrsabwicklung analysiert, wobei eine kurze Darstellung der auf dem Frankfurter Flughafenvorfeld zu implementierenden und von Verkehrsteilnehmern zu befolgenden Verkehrsregeln notwendig war. Darauf aufbauend ließen sich die unterschiedli-

Fachgebiet Verkehrsplanung
und Verkehrstechnik

Chair of Transport Planning
and Traffic Engineering



Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze

Petersenstr. 30
64289 Darmstadt

Tel. +49 6151 16 - 2025
Fax +49 6151 16 - 4625
fgvv@verkehr.tu-darmstadt.de

Datum

02. Dezember 2009

chen Problemsituationen an den Konfliktstellen der Vorfeldverkehrsakteure (Behinderung, Gefährdung oder Schädigung) und die zu definierenden Konfliktkenngrößen (Sperrzeiten) systematisch darstellen. Anschließend wurde das Vorfeldstraßennetz und die existierenden Konfliktstellen bzw. -fälle auf dem Vorfeld des Frankfurter Flughafens analytisch präsentiert. In diesem Rahmen wurden auch die Ergebnisse einer kurzen Unfall- und Vorfeldverkehrsverstoßanalyse (anhand der Dokumentationsbasis des Frankfurter Flughafens) dargestellt, die zur Identifizierung der Hauptprobleme bei der Vorfeldverkehrsabwicklung sowie der kritischsten bzw. gefährlichsten Stellen auf dem Frankfurter Flughafenvorfeld beigetragen haben.

Nach der analytischen Darstellung der Arbeitsgrundlagen wurde eine intensive Literaturrecherche zur Thematik durchgeführt, um den aktuellen Fortschritt der Forschung auf dem konkreten Gebiet festzustellen und ihre Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zugrunde zu legen. Dabei handelte es sich einerseits um eine zusammenfassende Darstellung bisheriger wissenschaftlicher Versuche zur Lösung der Bodenverkehrsproblematik und andererseits um die Prüfung der Übertragbarkeit bestehender Richtlinien aus anderen Verkehrsräumen in den Vorfeldstraßenraum bzw. um die notwendige Angrenzung gegenüber den bereits vorhandenen Grundlagen. Hauptergebnis dieser Recherche war die Tatsache, dass das Interesse bei der Analyse der Verkehrskonflikte auf dem Flughafenvorfeld hauptsächlich auf die Konflikte zwischen rollenden Luftfahrzeugen und die Erzielung einer effizienten Rollführung gelenkt wird, wobei die Konflikte zwischen Luft- und Kraftfahrzeugen an Rollbahn-Vorfeldfahrstraßen-Kreuzungen aufgrund der „Nachrangigkeit“ des Kraftfahrzeugverkehrs unberücksichtigt bleiben. Aus diesem Grund wäre der Beitrag der vorliegenden Arbeit dazu, die Bodenverkehrsproblematik, nämlich das Problem der Lösung der Konflikte zwischen Roll- und Kraftfahrzeugverkehr sowie der Verkehrskapazitäts- und -sicherheitserhöhung an den genannten Konfliktstellen, aufzuzeigen, sehr bedeutsam. Die leistungsfähige und sichere Abwicklung des Kraftfahrzeugverkehrs auf dem Flughafenvorfeldstraßennetz bewirkt nicht nur die leistungsfähige und sichere Abwicklung des Rollverkehrs an den Stellen, an denen sich beide Verkehrsflüsse miteinander verflechten, sondern sie beeinflusst maßgebend auch den gesamten Flughafenbetrieb, indem leistungsfähige und sichere und somit möglichst schnelle (luftfahrzeugabfertigungsbedingte) Kraftfahrzeugverkehrsabläufe auf dem Flughafenvorfeld zur schnellen Luftfahrzeugabfertigung beitragen und somit die Durchführungsgeschwindigkeit aller davon abhängenden Prozesse maßgebend beeinflussen.

Auf Basis eines Vergleiches zwischen unterschiedlichen Verkehrskonfliktfällen, nämlich an Straßenknotenpunkten, Eisenbahn-Straßen-Kreuzungen und Rollbahn-Vorfeldfahrstraßen-Kreuzungen, dessen Ergebnisse der späteren Entwicklung eines übergeordneten Konfliktmodells zugrunde gelegt werden könnten, wurde festgestellt, dass trotz der erwarteten Grundähnlichkeiten zwischen ihnen, die Eigenschaften jeder Konfliktsituation sind, die Verkehrskonflikte zwischen Luft- und Kraftfahrzeugen auf dem Flughafenvorfeld einen ganz besonderen Konfliktfall aufgrund der höheren Sicherheitsanforderungen und der Besonderheiten der Verkehrsakteure darstellen, was die Übertragung von Richtlinien oder Verkehrsregelungstechniken aus den beiden anderen Gebieten auf dem Flughafenvorfeldraum erschwert. Aus diesem Grund wurde das Thema der Verkehrskonflikte

wurde das Thema der Verkehrskonflikte zwischen Roll- und Kraftfahrzeugverkehr auf dem Flughafenvorfeld in dieser Arbeit auf eine ganz besondere Betrachtungsweise im Vergleich zur Analyse anderer Konfliktfälle berührt.

Zur Beschreibung der Verkehrsabwicklung an Rollbahn-Vorfeldfahrstraßen-Kreuzungen und zur Kennzeichnung sowohl der auf sie Einfluss nehmenden Faktoren als auch der dabei auftretenden Probleme wurde auf der Basis der eigenen Vorarbeiten sowie weiterer vorhandener Arbeiten ein auf allgemeinen mathematisch-physikalischen Prinzipien beruhendes Grundkonfliktmodell entwickelt, dessen Spektrum aufgrund seiner Orientierung auf die Beschreibung des Verkehrsteilnehmerverhaltens im allgemeinen möglichst groß bleibt. Durch die Modellentwicklung wurde die große Vielfalt der Faktoren, die den Verkehrsablauf und somit Verkehrsqualität und -sicherheit im Konfliktbereich beeinflussen, im Fall der Verkehrskonflikte auf dem Flughafenvorfeld festgestellt. Durch die Integration eines geeigneten Klassifizierungskonzeptes ins entwickelte Konfliktmodell, auf dessen Basis sich Rollverkehrssituationen, Rollbahn-Straßen-Kreuzungstypen und Verkehrakteure klassifizieren lassen, wurden potenzielle Einflussfaktoren auf einer ersten Ebene der Modellentwicklung berücksichtigt, während weitere den Verkehrsablauf und somit die Verkehrsqualität und -sicherheit beeinflussende Faktoren auf einer zweiten Ebene als Parameter der dem Modell zugrunde liegenden Gleichungssysteme aufgenommen wurden. Durch Variation der Werte aller dieser Modellparameter wurde die Abbildung unterschiedlicher Verkehrskonfliktsituationen ermöglicht, was dazu beitragen könnte, die Konflikte zwischen Luft- und Kraftfahrzeugen und die daraus resultierenden Probleme, die Verkehrsqualität und -sicherheit verschlechtern können, besser zu verstehen.

Jedoch wären die Überprüfung der Geeignetheit bzw. Richtigkeit (Realitätstreue) und die anschließende Anpassung bzw. Kalibrierung und ggf. Erweiterung des entwickelten Modellansatzes sowie der erarbeiteten Klassifizierung ohne die Durchführung von Vorfeldmessungen nicht möglich, durch die der Verkehrsablauf an den genannten Konfliktstellen in der Praxis beobachtet werden könnte und anschließend die komplexen Zusammenhänge mit den Einflussfaktoren sowie die auftretenden Probleme praktisch erfasst werden könnten. Für den Abgleich mit den realen Gegebenheiten wurden die maßgeblichen Kenngrößen (Sperrzeiten) unterteilt nach der erarbeiteten Klassifizierung systematisch gemessen. Wie bei der Modellentwicklung wurde auch bei den Vorfeldmessungen als Fallbeispiel der Frankfurter Flughafen verwendet, indem die geplanten Messungen an vorsichtig gewählten Stellen auf dem Frankfurter Flughafenvorfeld durchgeführt wurden, die ein großes Spektrum der modellierbaren Konfliktfälle abdecken und maßgebend für das entwickelte Modell sind. Auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Vorfeldmessungen wurde der erarbeitete Modellansatz kalibriert, indem seine Parameter (und ihre Wertebereiche) den Messergebnissen entsprechend genauer bestimmt bzw. angepasst wurden, wobei seine Erweiterung aufgrund seiner gezielten Allgemeingültigkeit („verhaltensorientiert“) nicht nötig war. (Sperrzeiten lassen sich aufgrund einer vorgegebenen Situation berechnen und somit auch für noch nicht vorhandene geometrische Situationen - Planungsvariante - ermitteln.) Dabei wurde die erarbeitete Klassifizierung ebenfalls angepasst, indem weitere Klassifizierungskriterien in sie integriert wurden.

Jedoch wäre die Durchführung weiterer Vorfeldmessungen desselben Messkonzeptes bzw. derselben Philosophie unumgänglich, die zur weiteren Konkretisierung der Modellparameter und ihrer Wertebereiche bzw. zur weiteren und genaueren Anpassung des erarbeiteten Modellansatzes und der dazugehörigen Klassifizierung beitragen könnten. Auf diese Weise könnte der Einfluss weiterer Faktoren (beispielsweise Witterungsbedingungen) bei der Modellentwicklung berücksichtigt und anschließend ins Modell aufgenommen werden. Die genaue Konzeption weiterer Vorfeldmessungen könnte jedoch Gegenstand einer selbstständigen wissenschaftlichen Arbeit sein.

Auf den durch die vor Ort Beobachtung des Verkehrsablaufs an Rollbahn-Straßen-Kreuzungen (Vorfeldmessungen) gewonnenen Erkenntnissen aufbauend haben sich ebenfalls die auf dem Frankfurter Flughafenvorfeld implementierten Verkehrsregeln anpassen bzw. weiterentwickeln lassen. Diese Regeln, die auch bei der Modellentwicklung berücksichtigt worden sind, lassen sich als zu einfach und sehr allgemein ausgedrückt charakterisieren, was dazu führt, dass die einzuhaltenden Sicherheitsabstände, die sie vorschreiben, in einigen Fällen zu groß und in anderen Fällen zu niedrig sind. Aus diesem Grund war ihre auf den Messergebnissen basierende Anpassung erforderlich. Jedoch wären zusätzliche Vorfeldmessungen, die ausschließlich zur Anpassung der Verkehrsregeln durchgeführt würden, erforderlich. Solche Messungen, die Gegenstand einer selbstständigen wissenschaftlichen Arbeit sein könnten, würden zur genaueren Anpassung und vollständigeren Weiterentwicklung der bestehenden Vorfeldverkehrsregeln beitragen.

Anschließend wurde das Ergreifen konkreter infrastruktureller bzw. betrieblicher Maßnahmen zur Überwindung der identifizierten Probleme bei der Verkehrsabwicklung an Rollbahn-Straßen-Kreuzungen auf dem Frankfurter Flughafenvorfeld vorgeschlagen, die auf einer ersten Ebene auf die Verringerung der Anzahl der genannten Konfliktstellen und auf einer zweiten Ebene auf die reibungslose Abwicklung des Verkehrsablaufs (Verkehrqualitäts- und -sicherheitserhöhung) an den unvermeidbaren Konfliktstellen abzielen. Diese Maßnahmen (z.B. Förderung der Höhenfreiheit der Rollbahn-Straßen-Kreuzungen, Umformung des bestehenden Vorfeldstraßennetzes oder Einführung von GPS-Kraftfahrzeugführungssystemen) sind als allgemeine Handlungsempfehlungen anzusehen, die nicht auf die Darstellung eines vollständigen Lösungskonzeptes sondern auf die Generierung einer allgemeinen Lösungsfindungsdiskussion orientiert wurden. Müsste ein vollständiges Lösungskonzept entwickelt und vorgeschlagen werden, dann sollten die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Prüfung ihrer Implementierbarkeit unter der Begleitung geeigneter Nutzen-Kosten-Analysen weiter konkretisiert werden. In ihre Weiterentwicklung bzw. Kombination zu einem vollständigen Lösungskonzept könnte sich eine selbstständige wissenschaftliche Arbeit vertiefen.

Die Verkehrskonflikte zwischen Luft- und Kraftfahrzeugen auf dem Flughafenvorfeld weisen extrem hohe Komplexität auf, wobei zahlreiche Faktoren hoher Vielfältigkeit Einfluss auf die Verkehrsabwicklung an diesen Konfliktstellen nehmen und somit der Verkehrsablauf große Heterogenität aufweist, die sich auf die Varianz der Merkmale der unterschiedlichen Konfliktsituationen zurückführen lässt. Die Lösung solcher Verkehrskonflikte

stellt unentbehrliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Flughafenplanung und einen reibungslosen Flughafenbetrieb dar. Als Grundlagen dafür können das entwickelte Grundkonfliktmodell, das durch seine Weiterentwicklung jeder Modellierung zugrunde gelegt werden könnte, sowie die allgemeinen Handlungsempfehlungen (Weiterentwicklung der Vorfeldverkehrsregeln und infrastrukturelle und betrieblichen Maßnahmen) dienen. Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, die Notwendigkeit zur Intensivierung der Forschung auf diesem Gebiet, die zugunsten der Forschung auf dem Gebiet der Entwicklung effizienter Rollführungssysteme vernachlässigt worden ist, aufzuzeigen.