

PRIX LITRA 2026: Scheduled Block Time Setting and Schedule Cost Optimization of European and U.S. Airlines *

Autor	Jakob Luca Deutschel
Hochschule	ETH Zürich, in Kooperation mit der University of California, Berkeley
Abschluss	Master of Science
Datum	9. März 2026

Die Masterarbeit, eingereicht an der ETH Zürich, untersucht, wie europäische und US-amerikanische Fluggesellschaften die geplante Gate-to-Gate-Flugdauer festlegen, und entwickelt dafür einen kostenbasierten Ansatz mit maschinellem Lernen und umfangreichen Betriebsdaten. Das Modell wägt vergeudete Pufferzeit gegen Verspätungs- und Folgekosten ab. Seine Vorhersagen liegen näher am wirtschaftlichen Optimum als heutige Flugpläne und Faustregeln; rechnerisch ergeben sich Einsparungen von bis zu 21 Prozent in Europa und bis zu fünf Prozent in den USA.

AUSGANGSLAGE

Fluggesellschaften müssen pro Flugverbindung eine einzige geplante Flugdauer publizieren, obwohl die tatsächliche Dauer von Tag zu Tag stark schwankt – beeinflusst durch Wetter, Verkehrslage am Himmel, Engpässe an den Flughäfen und betriebliche Eigenheiten. Setzt eine Airline die Zeit zu knapp an, häufen sich Verspätungen mit entsprechenden Kosten für Passagierentschädigungen und Betriebsstörungen. Setzt sie die Zeit zu grosszügig an, sinkt die Auslastung von Flugzeugen, Crew und Bodenpersonal. Europa und die USA setzen dabei sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen: In Europa sind viele Flughäfen streng koordiniert (Vergabe von Start- und Landerechten in festen Zeitfenstern), und die Passagierrechte (EU-Verordnung 261 / 2004) führen zu hohen Entschädigungspflichten bei Verspätungen. In den USA sind die Flughäfen meist nicht koordiniert, und die Passagierschutzregeln sind schwächer.

FORSCHUNGSFRAGE

Die Arbeit beantwortet drei Fragen: Wie legen Airlines in Europa und den USA die geplante Flugdauer heute in der Praxis fest, und welche Rolle spielen die unterschiedlichen Rahmenbedingungen? Wie lassen sich die Kosten einer zu früh oder zu spät angesetzten Flugdauer in Franken, beziehungsweise Euro beziffern? Und lässt sich daraus eine kostenoptimale Flugdauer berechnen und mit maschinellem Lernen so vorhersagen, dass sie besser ist als die heutigen Flugpläne und die in der Branche üblichen Faustregeln?

VORGEHEN

Die Arbeit kombiniert drei Bausteine.

- Erstens eine Analyse der gesetzlichen und institutionellen Rahmenbedingungen, ergänzt durch Interviews mit zehn Airlines zur heutigen Praxis.
- Zweitens ein Kostenmodell, das die Kosten der Airline in vier Bestandteile aufteilt – Flotte, Wartung, Crew und Passagiere – und unterscheidet, welche Kosten bei zu früher und welche bei zu später Ankunft anfallen. Das Modell ist nach Flugzeugtyp und Markt (Europa / USA) differenziert und stützt sich auf etablierte Referenzwerte der University of Westminster für EUROCONTROL sowie deren US-Adaption.
- Drittens werden moderne Algorithmen des maschinellen Lernens (Gradient-Boosting-Verfahren) eingesetzt, um die kostenoptimale Flugdauer aus historischen Daten und Flugmerkmalen vorherzusagen.

Datengrundlage sind die offiziellen Betriebsdaten von EUROCONTROL (Europa) und der US-Behörde BTS für die Flugplanperioden Sommer 2015–2019 und 2022–2025. Die COVID-Jahre wurden bewusst ausgeklammert. Flüge mit ähnlichen Merkmalen (Airline, Strecke, Tageszeit, Flugzeugtyp, Wochentag) werden zu Gruppen zusammengefasst. Als Vergleichsmassstab dienen der tatsächlich publizierte Flugplan der Airline sowie zwei gängige Faustregeln aus der Branche.

ERGEBNISSE

Die Interviews zeigen, dass die Airlines die geplante Flugdauer heute überwiegend nach festen Faustregeln festlegen – "Wähle einen Wert, den 80 Prozent der historischen Flüge eingehalten haben" – und diesen manuell anpassen. Kostenbewusste Entscheidungshilfen sind die Ausnahme. Die Arbeit definiert erstmals eine explizit kostenoptimale Zielgrösse und bewertet die Vorhersagen nicht nur in Minuten, sondern in Franken, beziehungsweise Euro. Die maschinellen Lernmodelle treffen die kostenoptimale Flugdauer in beiden Märkten zuverlässig besser als die heutigen Flugpläne und die Faustregeln. Übersetzt in Geld bedeutet das gegenüber dem heutigen Flugplan Einsparungen von rund 13 bis 21 Prozent in Europa und 3 bis 5 Prozent in den USA. Die deutlich grösseren Einsparungen in Europa erklären sich durch stärkere Abweichungen der heutigen Flugpläne vom Optimum und durch die hohen Passagierentschädigungen unter EU 261 / 2004. Damit bestätigt die Arbeit frühere Erkenntnisse zur Bedeutung historischer Daten, geht aber konzeptionell darüber hinaus.

WISSENSCHAFTLICHE BEURTEILUNG

Aus wissenschaftlicher Sicht überzeugt die Kombination aus wirtschaftlicher Modellierung, institutioneller Analyse, Industrie-Interviews und gründlicher Auswertung auf einer sehr grossen Datenbasis. Die Definition einer eindeutigen, kostenoptimalen Zielgrösse ist konzeptionell elegant und löst ein zentrales Problem früherer Forschung: Bisher wurden Vorhersagemodelle nur an der Genauigkeit in Minuten gemessen, nicht an ihrer wirtschaftlichen Wirkung. Grenzen liegen darin, dass die Kostenfunktion nach Flugzeugtyp gebildet wird und nicht nach einzelnen Strecken oder Anschlussintensitäten; Treibstoffkosten und Folgeverspätungen im Netz sind bewusst ausgeklammert. Der Autor weist selbst darauf hin, dass eine asymmetrische Trainingsfunktion für die Modelle vermutlich noch höhere Einsparungen liefern würde.

BEZUG ZUR ÖV-BRANCHE

Die Arbeit liefert Airlines, Flughäfen, Flugsicherungen und Regulatoren einen anwendungsbereiten Methodenbaukasten, um die saisonale Festlegung der Flugdauern systematisch wirtschaftlich zu begründen. Da sie auf öffentlich verfügbaren Daten basiert, ist sie auch für mittlere Airlines und Branchenorganisationen (EUROCONTROL, IATA, Slot-Koordinatoren) niederschwellig nutzbar. Die Arbeit liefert empirisch belastbare Argumente für die laufende Revision der EU-Verordnung 261 / 2004 und für eine stärker harmonisierte europaweite Vergabe von Flughafen-Slots. Methodisch zeigt die Arbeit beispielhaft, wie sich grosse Betriebsdatenmengen mit modernem maschinellen Lernen und wirtschaftlicher Optimierungslogik verbinden lassen – ein Vorbild für die zunehmend datengetriebene Planung im gesamten öV.

Die Grundproblematik – eine einzige Soll-Zeit publizieren, obwohl die Ist-Zeiten schwanken – kennt der Bahnverkehr ganz analog: bei Fahrplanstabilitätsreserven, Anschlusszeiten an Knotenbahnhöfen, Wendezeiten an Endbahnhöfen oder Pufferzeiten zwischen Trassen. Auch hier wird heute überwiegend nach Erfahrungswerten und Faustregeln geplant. Der Kerngedanke der Arbeit – eine wirtschaftliche Abwägung zwischen Pufferzeit und Verspätungsrisiko, ergänzt durch eine datenbasierte Vorhersage – lässt sich konzeptionell auch auf Bahnunternehmen und Infrastrukturbetreiber übertragen.

Insgesamt handelt es sich um eine inhaltlich anspruchsvolle, methodisch saubere und für die Praxis unmittelbar relevante Arbeit mit klarem Fortschritt gegenüber dem bisherigen Forschungsstand und konkreten Anknüpfungspunkten für die gesamte öV-Branche.