

# EASA-Zertifizierung von Flugplätzen – ein Safety Case

## Flugbetriebliche Risiken durch unzureichend befestigte Start- und Landebahnstreifen

### Ausgangssituation – Zertifizierung von Flug- plätzen gemäß EASA

Mit Erlassung der Verordnung (EU) 139/2014<sup>[1]</sup> durch die Europäische Kommission und Inkrafttreten hierauf aufbauender, jedoch konkretisierter Richtlinien und Vorgaben der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA), sind nunmehr gemeinsame Standards für die Planung, den Betrieb und die Erhaltung sicherer Flughäfen in Europa vorgesehen, die von allen Mitgliedsstaaten verbindlich umzusetzen sind. Bis zum 31. Dezember 2017 muss demnach für jeden im Zuständigkeitsbereich der EASA liegenden Flugplatz eine Zertifizierung vorliegen<sup>1</sup>, die von der zuständigen Aufsichtsbehörde, in Deutschland die jeweilige Luftfahrtbehörde auf Länderebene, gemäß dieser Verordnungen erteilt wird. Demnach sind insbesondere die Verkehrsflughäfen in Deutschland verpflichtet, den Nachweis auf Konformität mit den EASA-Regularien zu erbringen. Historisch bedingt gelingt es natürlich nicht immer, voll-

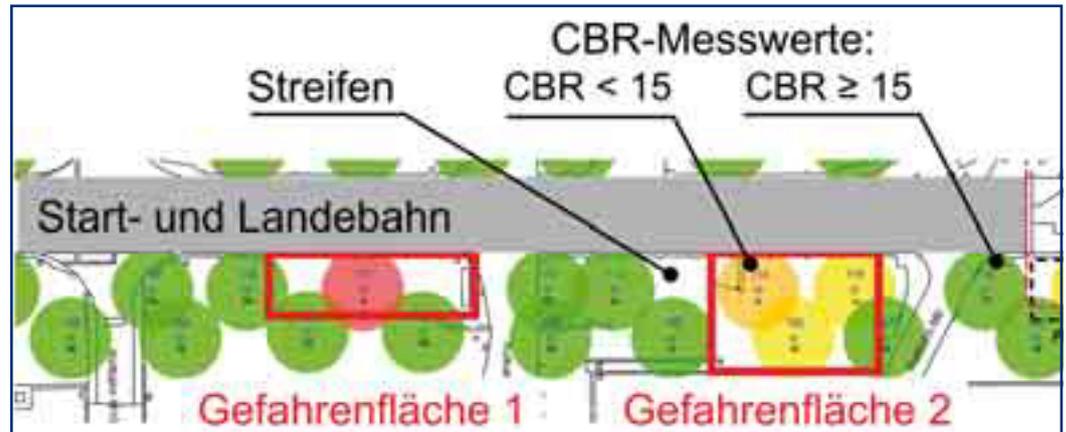


Abbildung 2: Beispielhaftes CBR-Messraster und Verortung von Gefahrenflächen

ständige Konformität mit den Vorgaben für Infrastruktur oder Organisations- und Betriebsstrukturen zu erreichen. Für diese Fälle wird seitens EASA die Möglichkeit eingeräumt, äquivalente Sicherheit (*Equivalent Level Of Safety*, ELOS) bspw. mittels luftfahrttechnischer Untersuchungen nachzuweisen. Auf derartige Nachweise hat sich die Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbh (GfL) spezialisiert. Im vorliegenden Artikel wird ein exemplarisches, bei GfL entwickeltes ELOS-Verfahren für den Bereich Infrastruktur vorgestellt.

### Anforderungen an Streifen – Tragfestigkeit

Auf Grundlage des Annex 14 der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO)<sup>[3]</sup> und hierauf aufbauend ICAO *Aerodrome Design Manual* Doc. 9157<sup>[4]</sup> wurden u. a. die sog. *Certification Specifications (CS) and Guidance Material (GM) for Aerodromes Design (CS-ADR-DSN)*<sup>[5]</sup> durch die EASA erarbeitet, die spezifische Standards für die infrastrukturelle Auslegung der Flugplatzanlage festlegen. Hierin sind u. a. konkrete Anforderungen an die Streifen von Start- und Landebahnen (SLB) enthalten. Neben der grundlegenden Dimensionierung ist weiterhin eine ausreichende Tragfestigkeit des Untergrundes gefordert. Diesbezüglich ist vorgegeben, dass ab einer Bodentiefe von 15 cm ein minimaler sog. CBR-Wert (*California Bearing Ratio*, Prüfverfahren zur Ermittlung der Bodendruckfestigkeit) von 15 bis 20 einzuhalten ist. Bodenschichten oberhalb 15 cm dürfen hingegen von geringerer Tragfestigkeit sein. Luftfahrzeuge (LFZ), die die SLB im Rahmen einer Harvarie ungewollt seitlich verlassen (sog. *Veer-Off*-Unfälle), sol-

len so einerseits vor schwerwiegenden Strukturschäden (im Wesentlichen Bruch des Bugfahrwerkes, siehe Abbildung 1) geschützt und andererseits eine ausreichend hohe Verzögerung zur Eingrenzung des Unfallfolgegebietes erfahren<sup>[5]</sup>.

### ELOS-Verfahren für Streifen mit unzureichender Tragfestigkeit

Die GfL hat u. a. ein Analyseverfahren zur Bewertung jener flugbetrieblichen Risiken entwickelt, die aus unzureichend befestigten Streifen resultieren. Grundlage der Methodik ist die Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und im Folgenden Schadensausmaßen unter Berücksichtigung der lokalen Infrastruktur und flugbetrieblicher Randbedingungen. Im Rahmen einer Bestandsanalyse werden zunächst mittels geeigneter Messverfahren (typischerweise mit sog. dynamischen Kegelrammsonden) die CBR-Werte im Streifenbereich mit adäquater Auflösung erfasst. Zusätzlich werden anhand von entnommenen Bodenproben im Labor weitere bodenmechanische und bautechnische Eigenschaften



Abbildung 1: Bruch des Bugfahrwerkes nach Veer Off in den Streifen der SLB. Quelle: BEA, 2013

<sup>1</sup> Freistellungen sind im Einzelfall für Flugplätze möglich, die nicht mehr als 10.000 Fluggäste und nicht mehr als 850 Flugbewegungen pro Jahr abfertigen (vgl. Verordnung (EG) Nr. 216/2008, Artikel 4, Absatz 3b<sup>[2]</sup>)

(bspw. Korngrößenverteilung und Wassergehalt) bestimmt, die im Weiteren zur Abschätzung der möglichen Schadensausmaße herangezogen werden. Auf Basis der Messergebnisse werden sodann jene Streifenbereiche mit CBR-Werten < 15 identifiziert und, sofern erkannt, als Gefahrenflächen verortet (siehe Abbildung 2).

Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgt unter Anwendung eines ebenfalls bei GfL entwickelten statistischen Modells, mit dem Vorfalldichte (Eintreten eines *Veer Off*) und Unfallverteilung (als bedingte Wahrscheinlichkeitsdichte bei Eintreten eines *Veer Off*) auf Basis fortlaufend aktualisierter, empirischer Flugunfalldaten bestimmt werden. Im Ergebnis liegen die Eintrittswahrscheinlichkeiten für das Eintreten eines *Veer Off* pro Flugbewegung bzw. Jahr in den identifizierten Gefahrenflächen vor.

Die weitere Bestimmung der Schadensausmaße zur Ableitung des Risikos erfolgt differenziert nach Personen- und Sachschäden. Mögliche Personenschäden werden hierbei qualitativ und mit Fokus auf Insassenbelastungen aufgrund der erhöhten, zu erwartenden Verzögerungsbeschleunigungen analysiert. Die Analyse möglicher Sachschäden erfolgt hingegen quantitativ durch Nachweis auftretender Rollwiderstandskräfte sowie Einsinktiefen und deren Auswirkungen auf die Bugfahrwerksstruktur. Hierfür wird ein hochauflösendes flugmechanisches Modell eingesetzt, das konstruktive Eigenschaften des LFZ, die vorab gewonnenen Ergebnisse zur Bodenbeschaffenheit berücksichtigt und die komplexen Wechselwirkungen der Reifen-Untergrundinteraktion abbildet<sup>[6]</sup>. Die angewandten Modellierungsgrundlagen haben ihren Ursprung in wissenschaftlichen Untersuchungen und empirischen Feldversuchen<sup>[7],[8],[9]</sup>,

die zur Ermittlung der Eigenschaften von militärischem Fluggerät beim Betrieb auf unbefestigten Start- und Landebahnen dienen. Obgleich diese Modellansätze mit anderem Fokus entwickelt wurden, sind die Formelapparate zur Abbildung der physikalisch-mechanischen Wirkprinzipien auf das flugmechanische Modell im Rahmen der Risikoanalyse vollständig übertragbar: Im Fokus stehen die Modellierung des pneumatischen Reifens und des unbefestigten Untergrundes anhand spezifischer Parameter (bspw. Reifendurchmesser, Länge/Fläche des Reifenabdrucks, Anzahl/Anordnung der Reifen, Bodenart und -eigenschaften etc.). Aufgrund der relativ hohen Geschwindigkeit des LFZ (25 – 75 m/s) im Falle einer Havarie während Start bzw. Landung treten dynamische Wechselwirkungen zwischen Reifen und Untergrund, wie Entstehung einer Bugwelle vor den Reifen oder Aufschwimmeffekte vergleichbar mit Aquaplaning auf, die berücksichtigt werden müssen<sup>[6]</sup> (siehe Abbildung 3).

So werden Einsinktiefe und Rollwiderstandskräfte für die lokal gegebenen Bodenarten und -festigkeiten unter Berücksichtigung der LFZ-Eigenschaften errechnet. Die ermittelten Rollwiderstandskräfte werden sodann den rechnerischen Belastungsgrenzen (Bruchfestigkeit) der Fahrwerkskonstruktion gegenübergestellt und geprüft, ob von einem Versagen auszugehen ist.

Anhand der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten und des Schadensausmaßes erfolgt abschließend die Bestimmung des flugbetrieblichen Risikos und dessen Gegenüberstellung zu den Risikogrenzwerten nach ICAO *Safety Management Manual*<sup>[10]</sup> bzw. EASA CS-25<sup>[11]</sup>. Wird ein akzeptabler Zustand festgestellt, ist der ELOS-Attest erbracht und damit doch Konformität nach EASA gegeben. Andernfalls werden gezielte Risikominderungsmaßnahmen bspw. in Form lokaler Bodenverdichtung formuliert, mit dem Ziel, einen ELOS-Zustand zumindest möglichst kostengünstig zu erreichen.

## Vorteile gegenüber anderen Verfahren und weiterführende Untersuchungsschwerpunkte

Die von GfL entwickelte Methodik zur Risikobewertung unzureichend befestigter Streifen hat gegenüber anderen Bewertungsverfahren, die quasistatischen Ansätzen unterliegen (bspw. Plattendruckversuche oder reale Feldversuche mittels *Single Wheel Load Test*<sup>[5]</sup>), den Vorteil der Erfassung wesentlicher dynamischer Effekte der Reifen-Untergrund-Interaktion bei hier zu erwartenden Geschwindigkeitsbereichen. Zudem sind allenfalls begrenzte Messungen erforderlich; sonstige Versuche, die üblicherweise den Flugbetrieb temporär einschränken und darüber hinaus u. U. die Streifenbeschaffenheit gar erheblich schädigen könnten, entfallen. Des Weiteren ist das vorgestellte ELOS-Verfahren in der Lage, auch singuläre Inhomogenität in der Bodenbeschaffenheit, wie sie auf Flugplatzanlagen typischerweise vorkommende unterirdische Bauwerken im Streifen (Fundamente von Schachtbauwerken, Drai-

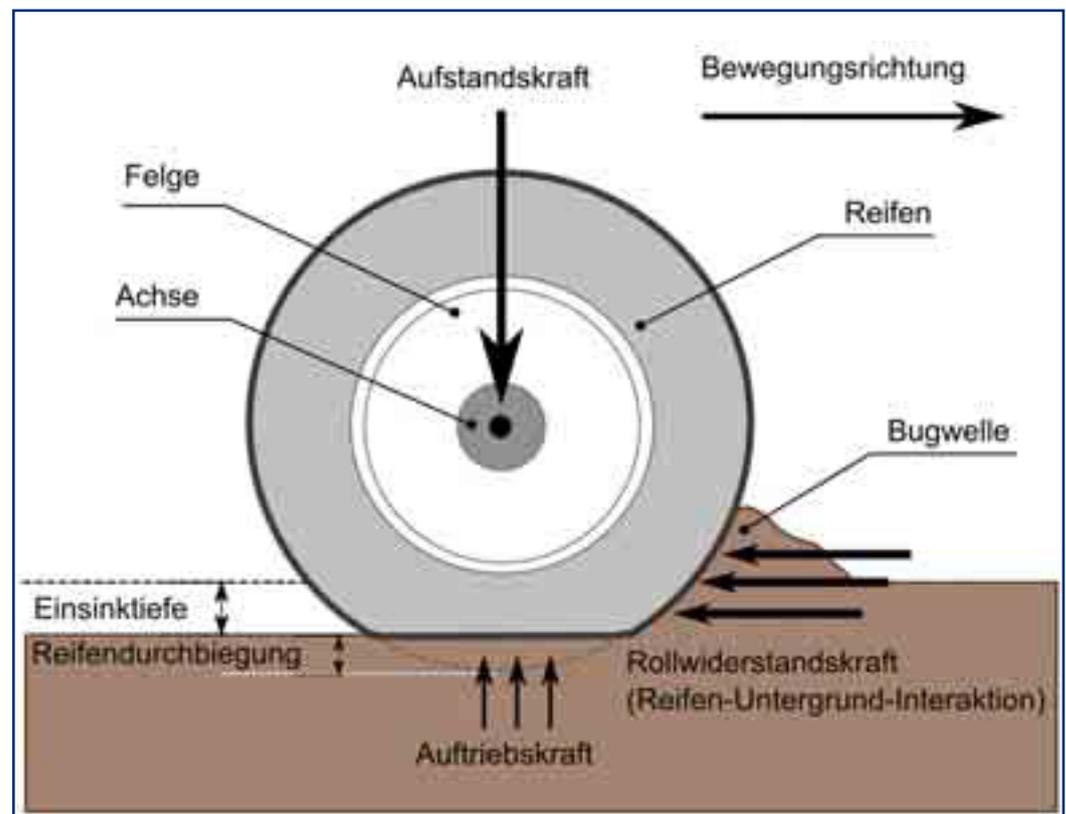


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Reifen-Untergrund-Interaktionsmodellierung

nagegräben etc.) induzieren, gegenüber EASA-Vorgaben zu bewerten.

Im Rahmen von zahlreichen Projekten für kleine bis sehr große Flughäfen wie Frankfurt/Main wurden bei GfL nach diesem konzeptionellen Ansatz zahlreiche weitere ELOS-Verfahren entwickelt, um den Sicherheitsnachweis für Flugplatzanlagen nach EASA objektiv und gleichermaßen ökonomisch attraktiv führen zu können.

*Dipl.-Ing. Martin Schlosser*  
[schlosser@gfl-consult.de](mailto:schlosser@gfl-consult.de)

*Prof. Dr.-Ing. Hartmut Fricke*  
[fricke@gfl-consult.de](mailto:fricke@gfl-consult.de)

*Gesellschaft für*  
*Luftverkehrsforschung mbH*

[www.gfl-consult.de](http://www.gfl-consult.de)

## Literatur

- [1] Europäische Kommission: „Verordnung (EU) Nr. 139/2014 zur Festlegung von Anforderungen und Verwaltungsverfahren in Bezug auf Flugplätze gemäß der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates“, Brüssel, 2014
- [2] Europäische Kommission: „Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit, zur Aufhebung der Richtlinie 91/670/EWG des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 und der Richtlinie 2004/36/EG“, Brüssel, 2008 (zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 6/2013 der Kommission vom 8. Januar 2013)
- [3] International Civil Aviation Organization: „Annex 14: Aerodromes, Volume 1: Aerodrome Design and Operations“, 6<sup>th</sup> Edition, Montreal, 2013
- [4] International Civil Aviation Organization: „Aerodrome Design Manual, Part 1: Runways, Doc 9157“, 3<sup>rd</sup> Edition, Montreal, 2006
- [5] European Aviation Safety Agency: „Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design CS-ADR-DSN“, Issue 2, Köln, 2015
- [6] M. Schlosser: „Auswirkungen geringverdichteten Bodens im Streifen einer Start- und Landebahn auf Unfallortverteilung und Schadensausmaß von Luftfahrzeugen im Falle des seitlichen Verlassens im Rahmen einer Havarie“, TU Dresden, 2011
- [7] D. Kraft, R. Hoppenjans, H. Luming: „Multiwheel Landing Gear-Soils Interaction and Flotation Criteria – Phase III Part I“, Technical Report AFFDL-TR-71-12, Dayton/Ohio, 1971
- [8] D. Kraft, D. Kahle, H. Luming: „Landing Gear/Soil Interaction: Development of Criteria for Aircraft Operation on Soil During Turning and High Speed Straight Roll“, Technical Report AFFDL-TR-74-6, Dayton/Ohio, 1974
- [9] A. Sharp: „Computer Programs for the Prediction of Aircraft Take-Off Performance on Clay and Sand Airfields“, Technical Report AFFDL-TR-68-115, Dayton/Ohio, 1969
- [10] International Civil Aviation Organization: „Safety Management Manual (SMM)“, Doc 9859, 3<sup>rd</sup> Edition, Montreal, 2013
- [11] European Aviation Safety Agency: „Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25“, Amendment 17, Köln, 2015