

Ulrich Hüp
Christina Pastor Brandt

Luftverkehrsanlagen

Planung, Konfiguration und
Dimensionierung von Flugbetriebsflächen

Luftverkehrsanlagen

Ulrich Hüp · Christina Pastor Brandt

Luftverkehrsanlagen

Planung, Konfiguration und
Dimensionierung von Flugbetriebsflächen

Ulrich Hüp
igr Aerodrome Engineering GmbH
Hamburg, Deutschland

Christina Pastor Brandt
igr Aerodrome Engineering GmbH
Hamburg, Deutschland

ISBN 978-3-658-30033-3 ISBN 978-3-658-30034-0 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-30034-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Frieder Kumm

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die COVID-19-Pandemie hat zu Beginn des Jahres 2020 den weltweiten Luftverkehr fast vollständig zum Erliegen gebracht. Die teilweise noch andauernden Reise- warnungen, Reisebeschränkungen sowie Quarantänebeschränkungen beeinträchtigen die Erholung und das Hochfahren des Luftverkehrs nach wie vor.

Es ist zu hoffen, dass durch das Abflauen der Pandemie und die damit verbundenen allgemeinen Lockerungen die Voraussetzungen für das erneute Wachstum geschaffen werden. Die führenden Flugzeughersteller Boeing und Airbus prognostizieren eine vollständige Erholung des weltweiten Passagier-Luftverkehrs auf den Vor-Corona-Stand bis zum Jahr 2025.

Eine weitere Herausforderung stellt der weltweite Kampf gegen den Klimawandel dar. Der weltweite Flugverkehr hat zwar mit knapp 3 % nur einen im Vergleich kleinen Anteil am weltweiten CO₂-Ausstoß, doch beeinflusst er das Klima eindeutig negativ. Das Ziel der Luftverkehrsbranche ist der CO₂-neutrale Luftverkehr. Ein Zeithorizont bis ins Jahr 2050 erscheint derzeit möglich. U. a. werden folgende konkrete Maßnahmen von der Wirtschaft und Politik forciert:

- Erneuerung der Flotten und der dementsprechende Einsatz emissionsärmerer Flugzeugmuster,
- Kerosinersatz durch den Einsatz von synthetischen und „grün“ erzeugten Flugkraftstoffen,
- Serienreifmachung von elektrischen und hybrid-elektrischen Antrieben sowie der Wasserstofftechnologie,
- Realisierung eines CO₂-neutralen Flughafensbetriebes,
- Reduzierung weiterer Klimawirkungen (non-CO₂-Effekte).

Inwieweit sich der Krieg in der Ukraine auf den weltweiten Luftverkehr auswirkt, kann noch nicht beurteilt werden.

Wie dem auch sei, der Bedarf an einer funktionierenden Luftverkehrsinfrastruktur ist vorhanden und diesem Bedarf muss auch in Zukunft entsprochen werden, um die geforderte Mobilität zu ermöglichen.

Die Flugbetriebsflächen (FBF) stellen dabei wesentliche Elemente der Luftverkehrsinfrastruktur dar, die an deutschen Flugplätzen in der Regel für eine Nutzungsdauer von mindestens 25 Jahren geplant und realisiert werden.

Dieses Fachbuch umfasst dabei sämtliche Planungsaspekte zur Realisierung von FBF gem. der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) im Leistungsbild Verkehrsanlagen. Die Leistungsbilder Ingenieurbauwerke und Technische Anlagen werden nicht betrachten. Dementsprechend werden keine näheren Ausführungen bzgl. der Oberflächenentwässerung sowie der Befeuerungs- und Navigationsanlagen getätigt. Es ist beabsichtigt, diese beiden Leistungsbilder in einer späteren Auflage zu integrieren.

Dieses Fachbuch soll Interessierten aus der Infrastrukturplanung, Studenten und Quereinsteigern als Nachschlagewerk dienen, um einen Überblick über die Randbedingungen und Kriterien bei der Planung, Konfiguration und Dimensionierung von FBF zu erhalten. Dabei wird sich auf wesentliche Parameter beschränkt, um die allgemeine Verständlichkeit zu erhalten.

Weiterhin wird eine möglichst umfassende Gültigkeit der Aussagen und Beschreibungen angestrebt. Deshalb stehen die Standards und Empfehlungen der ICAO im Vordergrund. Diese entsprechend nahezu vollständig den Regeln und Vorgaben der EASA. Nichtsdestotrotz muss im Zuge einer Planung ein Abgleich der Regelwerke durchgeführt werden.

Der Ausblick auf die absehbare Implementierung von Vertiports in die Luftverkehrsinfrastruktur zur Abwicklung von Drohnen rundet dieses Fachbuch ab.

Wir bedanken uns bei allen Unterstützern und Helfern, die bei der Fertigstellung geholfen haben und hoffen, auch in Zukunft noch viele Projekte mit ihnen umsetzen zu können.

Hamburg
März 2022

Dr. Ulrich Häp
Christina Pastor Brandt

Inhaltsverzeichnis

1	Entwicklung im Luftverkehr	1
1.1	Allgemeine historische Entwicklung	1
1.2	Entwicklung der Flughafeninfrastruktur	7
1.3	Allgemeine Planungsgrundlagen	11
1.3.1	Begriffsdefinitionen und Kategorien	11
1.3.2	Organisationen im Luftverkehr	17
1.3.3	Resultierende Vorschriften und Richtlinien	24
2	Planung von Flugplätzen	27
2.1	Generelle Planungsebenen	27
2.1.1	Bundesebene	27
2.1.2	Landesebene	29
2.1.3	Raumordnungsverfahren	30
2.1.4	Planfeststellungsverfahren	34
2.2	Masterplanung	37
2.3	Honorar und Leistungsphasen gem. HOAI	38
3	Konfiguration von Flugbetriebsflächen	43
3.1	Flughäfen und Landeplätze	44
3.1.1	Start- und Landebahnen	44
3.1.2	Rollbahnsysteme	87
3.1.3	Vorfelddesigns	102
3.1.4	Sonderflächen (Wartebuchten, Bypässe, Enteisungsflächen)	123
3.2	Hubschrauberflugplätze	133
3.2.1	Planungsgrundlagen	133
3.2.2	Konfigurationsparameter	136
3.3	Militärische Flugbetriebsflächen	153
4	Dimensionierung	157
4.1	ACN/PCN-Methode	157
4.2	Bauweisen und Baustoffe	161

4.2.1	Starre Tragsysteme (Betonbauweise)	167
4.2.2	Flexible Tragsysteme (Asphaltbauweise)	172
4.3	Berechnungsgrundlagen	175
4.3.1	Neubau von Flugbetriebsflächen	175
4.3.2	Bewertung von bestehenden Flugbetriebsflächen	177
4.3.3	PCN-Berechnung	179
4.4	Einbauten	181
4.5	Oberflächeneigenschaften	184
5	Realisierung von Flugbetriebsflächen	187
5.1	Baulogistik (Landseite-Luftseite)	187
5.2	Bau unter laufendem Betrieb	188
5.3	Infrastrukturelle Abnahmen und Inbetriebnahme	190
6	Erhaltung von Flugbetriebsflächen	193
6.1	Ausgangssituation	193
6.2	Vorschriften und Anleitungen	193
6.3	Pavement Management-Systeme (PMS)	195
6.3.1	Ziele von PMS	196
6.3.2	Bestandteile eines PMS	197
6.3.3	Pavement Management Systeme in der Praxis	207
6.4	Praxisbeispiel: PAVER™	209
6.4.1	Flächenaufteilung	209
6.4.2	Zustandsaufnahme	210
6.4.3	Zustandsbewertung und -prognose	212
6.4.4	Resultierende M&R-Maßnahmen	215
6.5	Militärische Verfahren in der BRD	217
7	Ausblick	221
7.1	Alternative Antriebsarten/-techniken	222
7.1.1	Luftfahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb	223
7.1.2	Luftfahrzeuge mit Batterie-hybrid-elektrischem Antrieb	223
7.1.3	Luftfahrzeuge mit Brennstoffzellen-hybrid-elektrischen Antrieben	224
7.2	Vertiports	225
7.2.1	Vehikel-Konzepte	227
7.2.2	Planung von Vertiports	229
	Literatur	233

Abkürzungsverzeichnis

AC	Advisory Circular
ACI	Airports Council International
ACN	Lastwirkungsklassifikationszahl (engl.: Aircraft Classification Number)
ACR/PCR	Aircraft Classification Rating / Pavement Classification Rating
ADM	Aerodrome Design Manual
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen
AIP	Luftfahrthandbuch Deutschland (engl.: Aeronautical Information Publication)
AMC	Annehmbare Nachweisverfahren (engl.: Acceptable Means of Compliance)
Annex	Anhang
ARC	Flughafenbezugscode (engl.: Aerodrome Reference Code)
ArL	Ämter für regionale Landesentwicklung
ASDA	Accelerate Stop Distance Available
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATAG	Air Transport Action Group
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BARIG	Board of Airline Representatives in Germany e. V.
BDL	Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft
BDLI	Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e. V.
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz e. V.
BVF	Bundesvereinigung gegen Fluglärm e. V.
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
Bw	Bundeswehr

CBR	California Bearing Ratio
CS	Certification Specifications
CTOL	Conventional Take-Off and Landing
CWY	Clearway
DAL	Deutsche Aero Lloyd AG
DELAG	Deutsche Luftschiffahrt Aktiengesellschaft
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DWD	Deutscher Wetterdienst
EASA	Europäische Agentur für Flugsicherheit (engl.: European Aviation Safety Agency)
ECAC	European Civil Aviation Conference
EMAS	Engineered Materials Arrestor System
eVTOL	Electric Vertical Take-Off and Landing
FAA	Federal Aviation Administration
FATO	Endanflug- und Startfläche (engl.: Final Approach and Take-Off Area)
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FIS	Forschungs-Informations-System
FLK	Flugleistungsklassen
FluLärmG	Gesetz zum Schutz gegen den Fluglärm
FOD	Foreign Object Damage
FRA	Flughafen Frankfurt (IATA-Code: FRA)
FSS	Frostschuttschicht
FWD	Falling Weight Deflectometer
GA	Allgemeine Luftfahrt (engl.: General Aviation)
GIS	Geoinformationssystem
GM	Guidance Material
HGT	Hydraulisch gebundene Tragschicht
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IATA	Internationale Luftverkehrs-Vereinigung (engl.: International Air Transport Association)
ICAO	Internationale Zivilluftfahrtorganisation (engl.: International Civil Aviation Organization)
IFR	Instrumentenflugregeln (engl.: Instrument Flight Rules)
ILA	Internationale Luftschiffahrtsausstellung
ILS	Instrumentenlandesystem (engl.: Instrument Landing System)
IMC	Instrumentenflugbedingungen (engl.: Instrument Meteorological Conditions)
JAA	Joint Aviation Authorities
JAR	Joint Aviation Requirements
JAR-OPS	Joint Aviation Requirements Operations
kt	Knoten
LCCA	Life-Cycle Cost Analysis

LDA	Landing Distance Available
LDAH	Landing Distance Available at Heliports
LEP	Landesentwicklungsprogramm Bayern
lfm	laufende Meter
LFZ	Luftfahrzeug
LROP	Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
LuftSiG	Luftsicherheitsgesetz
LuftVZO	Luftverkehrszulassungsordnung
L-Bahn	Landebahn
MCT	Mindestumsteigezeit (engl.: Minimum Connecting Time)
MPW	Maximum Permissible Weight
MSL	Mittlerer Meeresspiegel (engl.: Mean Sea Level)
M&R	Erhaltung und Sanierung (engl.: Maintenance & Rehabilitation)
NfL	Nachrichten für Luftfahrer
NKA	Nutzen-Kosten-Analysen
NN	Normalnull (Höhe über dem Meeresspiegel)
NROG	Niedersächsisches Raumordnungsgesetz
OMGWS	Hauptfahrwerksspannweite (engl.: Outer Main Gear Wheel Span)
PAX	Anzahl Passagiere
PCI	Pavement Condition Index
PCN	Tragfähigkeitsklassifikationszahl (engl.: Pavement Classification Number)
PEM	Proton Exchange Membrane-Brennstoffzelle
PMS	Pavement Management-System
PPR	Vorherige Genehmigung erforderlich (engl.: Prior Permission Required)
RD	Rotordurchmesser (engl. Rotor Diameter)
RESA	Runway End Safety Area
ROG	Raumordnungsgesetz
ROV	Raumordnungsverfahren
RStO	Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
RTODAH	Verfügbare Startabbruchstrecke auf der Endanflug- und Startfläche (eng.: Rejected Take-Off Distance Available)
SERA	Standardised European Rules of the Air
S/L-Bahn	Start- und Landebahn
S-Bahn	Startbahn
SKM	Seitenkraftmessverfahren
STOL	Short Take-Off and Landing
SWY	Stopway
THR	Schwelle (engl.: Threshold)
TLOF	Aufsetz- und Abhebefläche (engl.: Touchdown and Lift-Off Area)
TODA	Take-Off Distance Available
TODAH	Take-Off Distance Available at Heliports

TORA	Take Off Run Available
UAM	Urban Air Mobility
UAV	Unbemannte Drohne (engl.: Unmanned Aerial Vehicle)
UCW	Breite Hubschrauberrumpf (engl.: Undercarriage Width)
USACE	US Army Corps of Engineers
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VB	Vordringlicher Bedarf
VFR	Sichtflugregeln (engl.: Visual Flight Rules)
VLP	Verkehrslandeplatz
VMC	Sichtflugbedingungen (engl.: Visual Meteorological Conditions)
VTOL	Senkrechtstart- und landung (engl.: Vertical Take-Off and Landing)
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WB	Weiterer Bedarf
ZTV	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen
ZÜP	Zuverlässigkeitsüberprüfung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Ganzmetallflugzeug Junkers F13	2
Abb. 1.2	Weltweites Luftverkehrswachstum der letzten 70 Jahre bis Corona gem. ICAO	3
Abb. 1.3	Reisedistanz und Marktanteile der Verkehrsträger	4
Abb. 1.4	Überschallverkehrsflugzeug Concorde	4
Abb. 1.5	Szenario Luftverkehrsentwicklung im Passagierverkehr	6
Abb. 1.6	Richtlinien für die Anlegung von Flughäfen und Landeplätzen vom 20. August 1925.	8
Abb. 1.7	S/L-Bahn-Längen an Verkehrsflughäfen in Deutschland, Stand; 01.01.1939.	9
Abb. 1.8	Terminalvarianten	10
Abb. 1.9	Prinzipdarstellung der Land- und Luftseite eines Flugplatzes	12
Abb. 1.10	Differenzierung der Flugplätze gem. LuftVG sowie NATO-Kategorien	13
Abb. 1.11	ADV-Mitgliedergruppen, Stand: 02/2021	15
Abb. 1.12	Vergleich von Hub-and-Spoke-System und Direktverbindungen	16
Abb. 1.13	Luftverkehrsallianzen, Stand: vor der Corona-Pandemie	19
Abb. 2.1	Bundesverkehrswegeplan 2030.	28
Abb. 2.2	Zuständigkeitsbereiche der Ämter für regionale Landesentwicklung Niedersachsen	31
Abb. 2.3	Amtsbezirke ArL Lüneburg.	32
Abb. 2.4	Ablauf eines ROV im Land Niedersachsen.	33
Abb. 2.5	Schematische Darstellung des Verfahrensablaufs eines Planfeststellungsverfahrens	36
Abb. 2.6	Honorartafel gem. § 48 HOAI, Honorare für Grundleistungen bei Verkehrsanlagen.	40
Abb. 2.7	Ausschnitt der Objektliste Verkehrsanlagen	41
Abb. 3.1	Kategorisierung nach dem Aerodrome Reference Code (ARC) gem. EASA/ICAO.	45
Abb. 3.2	Flugplatzkarte Hannover (EDDV), Luftfahrthandbuch Deutschland ...	48

Abb. 3.3	Flugplatzkarte Köln/Bonn (EDDK), Luftfahrthandbuch Deutschland.	49
Abb. 3.4	Windrichtungs- und Windstärkenverteilungen am Flughafen Köln/Bonn (EDDK)	50
Abb. 3.5	Ausschnitt Flugplatzkarte VLP Straubing (EDMS), Stand: 12/2006 Ausdruck Software JEPPESEN	51
Abb. 3.6	Ausschnitt Flugplatzkarte VLP Straubing (EDMS), Stand: 08/2020 (DFS 2020a).	52
Abb. 3.7	Flugplatzkarte Atlanta Airport (ATL)	53
Abb. 3.8	Prinzipskizze Achsabstand und Schwellenversatz	54
Abb. 3.9	Prinzipskizze Schwellenversatz; Bsp.: Notwendige Vergrößerung des Parallelabstandes.	55
Abb. 3.10	Prinzipskizze Schwellenversatz; Bsp.: Mögliche Reduzierung des Parallelabstandes.	55
Abb. 3.11	Prinzipskizze Kreuzungs-, V- u. Kombinierte Bahnsysteme.	57
Abb. 3.12	„Beanspruchungsprofil“ des Flughafens Boston/Logan (USA)	58
Abb. 3.13	Bezeichnungen der S/L-Bahn-Strecken	60
Abb. 3.14	Breite der S/L-Bahn im Sichtflugbetrieb (VFR) gem. NfL 94/03.	63
Abb. 3.15	Breite der S/L-Bahn gem. ICAO, ADM Part 1	64
Abb. 3.16	Systemskizze einer S/L-Bahn der Code-Zahl 3 oder 4.	64
Abb. 3.17	EMAS vor der Schwelle 05 am West Virginia International Yeager Airport (CRW).	65
Abb. 3.18	Gesamtbreite einer S/L-Bahn zzgl. Schultern; Bsp. Code-Buchstabe F.	66
Abb. 3.19	Darstellung der graded portion für L-Bahnen für Präzisionsanflüge der Code-Zahl 3 oder 4	67
Abb. 3.20	Typisches Design einer Wendefläche an einer S/L-Bahn	70
Abb. 3.21	Mindestabstände des Hauptfahrwerks zum Rand der Wendefläche	70
Abb. 3.22	Schematische Darstellung der Hindernisbegrenzungsfläche.	74
Abb. 3.23	Schematische Darstellung: innere Anflugfläche, innere Übergangsfläche und Durchstartfläche	76
Abb. 3.24	Maße und Winkel für die Hindernisbegrenzungsfläche – L-Bahn	77
Abb. 3.25	Maße und Winkel für die Hindernisbegrenzungsfläche – S-Bahn	78
Abb. 3.26	Markierungsvorgabe: Form und Größe der Buchstaben und Zahlen	80
Abb. 3.27	Markierungsvorgabe: S/L-Bahn-Bezeichnung, Schwelle und Mittellinie.	81
Abb. 3.28	Markierungsvorgabe: Temporäre und dauerhaft Versetzte Schwelle	82
Abb. 3.29	Markierungsvorgabe: Sperrkreuzmarkierung auf einer S/L-Bahn	83
Abb. 3.30	Markierungsvorgabe: Winkelmarkierung als Vorschwellenmarkierung.	84
Abb. 3.31	Markierungsvorgabe: Zielhaltepunktmarkierung	84

Abb. 3.32	Markierungsvorgabe: Aufsetzzonenmarkierung und Zielhaltepunktmarkierung	86
Abb. 3.33	Elemente eines Rollbahnsystems	87
Abb. 3.34	Abhängigkeit zwischen Rollgeschwindigkeit und Kurvenradius	88
Abb. 3.35	Entwicklungsschritte eines Rollbahnsystems	89
Abb. 3.36	Lageplandarstellung der Mindestabstände innerhalb eines Rollbahnsystems	90
Abb. 3.37	Mindestabstände innerhalb eines Rollbahnsystems	91
Abb. 3.38	Abstände zwischen Hauptfahrwerk und Rand des Rollweges bzw. der Rollgasse	91
Abb. 3.39	Empfohlene Standardrollwegbreiten	92
Abb. 3.40	Beispiel einer Filletkonstruktion	93
Abb. 3.41	Bemessungskriterien: Längs- und Querneigungen für Rollwege	94
Abb. 3.42	Prinzipskizze eines Schnellabrollweges	95
Abb. 3.43	Ausführung der Rollhaltemarkierungen vor einer S/L-Bahn	98
Abb. 3.44	Rollwegmarkierungen im Bereich der S/L-Bahn und von Kreuzungsbereichen	99
Abb. 3.45	Markierungsvorgaben für eine erweiterte Mittellinienmarkierung	100
Abb. 3.46	Informationszeichen	101
Abb. 3.47	Gebots-/Verbotszeichen	102
Abb. 3.48	Positionierung von Gebots-/Verbotsmarkierungen	103
Abb. 3.49	Markierungsvorgabe: Sperrkreuzmarkierung auf einem Rollweg	103
Abb. 3.50	Vorfeldlayout, Aufstellungsoptionen in Abhängigkeit des Ein- und Ausrollens	105
Abb. 3.51	Erforderliche Hindernisfreiheit im Vorfeldbereich	106
Abb. 3.52	Erforderliche Mindestabstände der Position zu Rollwegen und -gassen	107
Abb. 3.53	Fallbeispiel Senkrechtaufstellung: Prüfung des Einrollvorgangs, Nachweis der Notwendigkeit eines Oversteers	108
Abb. 3.54	Fallbeispiel Schrägaufstellung: Prüfung des Einrollvorgangs, Nachweis der Notwendigkeit eines Oversteers	108
Abb. 3.55	Darstellung des standardmäßigen Service-Equipments am Beispiel Boeing B737 Max	109
Abb. 3.56	Beispiel der Führung von Betriebsstraßen	111
Abb. 3.57	Beispiel: Rollleitlinien-/Mittellinienmarkierung	112
Abb. 3.58	Konfigurationskriterien Pfeilmarkierung Rollleitlinie	113
Abb. 3.59	Farbcodierung alternativer Rollleitlinien	113
Abb. 3.60	Markierung max. zulässige Spannweite	114
Abb. 3.61	Konfigurationskriterien Vorfeld- und Rollwegrandmarkierung	115
Abb. 3.62	Konfigurationskriterien Positionshinweismarkierung	115
Abb. 3.63	Beispiel: Positionierung einfache Positionshinweismarkierung	116
Abb. 3.64	Beispiel: Positionierung doppelte Positionshinweismarkierung	116

Abb. 3.65	Konfigurationskriterien Informations- und Standortmarkierungen	117
Abb. 3.66	Konfigurationskriterien Positionsbezeichnung auf Abstellposition	118
Abb. 3.67	Konfigurationsoptionen Haltebalkenmarkierungen	119
Abb. 3.68	Konfigurationskriterien Haltebalkenbenennung	120
Abb. 3.69	Konfigurationskriterien Positionsbegrenzungslinie	121
Abb. 3.70	Konfigurationskriterien Zuständigkeitsgrenzlinie	121
Abb. 3.71	Darstellung einer Standplatzsicherheitslinie	122
Abb. 3.72	Konfigurationskriterien einer eingeschränkten Bereitstellungsflächenmarkierung	123
Abb. 3.73	Konfigurationskriterien Pushback-Hilfslinien	124
Abb. 3.74	Konfigurationskriterien Abstellflächenmarkierung	124
Abb. 3.75	Konfigurationskriterien Sperrflächenmarkierung	125
Abb. 3.76	Konfigurationskriterien Betriebsstraßenmarkierungen	125
Abb. 3.77	Beispiellayout Vorfeld	126
Abb. 3.78	Beispielkonfigurationen von Wartebuchten	127
Abb. 3.79	Detaildarstellung einer Wartebucht	128
Abb. 3.80	Beispielkonfigurationen von dualen Aufroll-Rollwegen	129
Abb. 3.81	Mindestabstände zwischen stehendem und rollendem LFZ bei einer Wartebucht bzw. einem Bypass	130
Abb. 3.82	Mindestabstände zwischen einer S/L-Bahn-Achse und einer Wartebucht	130
Abb. 3.83	Enteisungsfläche im Zuge eines Rollweges	131
Abb. 3.84	Konfigurationsbsp.: Enteisungsfläche zwischen zwei Parallelrollwegen	132
Abb. 3.85	Hubschrauber mit Tandemrotor, Typ Kamov KA 32	134
Abb. 3.86	Bemessungshubschrauber: Eurocopter EC 145	135
Abb. 3.87	Schematische Darstellung der Elemente eines Hubschrauberlandeplatzes	136
Abb. 3.88	Konfigurationsparameter für eine Sicherheitsfläche	139
Abb. 3.89	Geradlinige An- und Abflugflächen für Hubschrauberflugplätze	140
Abb. 3.90	Gebogene An- und Abflugflächen für Hubschrauberflugplätze	142
Abb. 3.91	Hindernisbegrenzungsfläche mit einer Nichtpräzisionsanflug-FATO und einer Freifläche	143
Abb. 3.92	Abmessungen einer Hubschrauber-Rollbahn	145
Abb. 3.93	Vorfeldlayouts, Bsp.: Standplätze mit Nutzung im Schwebeflug	146
Abb. 3.94	Hubschrauberflugplatz-Erkennungsmarkierung	147
Abb. 3.95	Ausführung eines FATO-Randmarkers	148
Abb. 3.96	FATO-Bezeichnungsmarkierung	149
Abb. 3.97	Kombinierte Markierung: Erkennungs-, Zielpunkt- und FATO-Markierung	150
Abb. 3.98	Hubschrauberstandplatzmarkierung: Konfiguration für Schwebeflug und Dreh-/Wendemanöver	151

Abb. 3.99	Hubschrauberlandedecke: Markierung für den hindernisfreien Sektor	152
Abb. 3.100	Konfigurationskriterien Schwebeflugwegmarker und Versetzwegkennzeichen	152
Abb. 3.101	Prinzipdarstellung der Nutzungsklassen auf einem Militärflugplatz der Bundeswehr.	154
Abb. 3.102	Definition der Bereiche der Nutzungsklassen.	155
Abb. 3.103	Referenzluftfahrzeuge der Bundeswehr	155
Abb. 4.1	Ausschnitt der Sichtflugkarte des Verkehrsflughafens Bremen.	159
Abb. 4.2	Struktur der ACN/PCN-Methode sowie Einstufungsgrenzen.	162
Abb. 4.3	Schlitzrinnenkörper vor und nach dem Einbau.	164
Abb. 4.4	Bauweisen mit Asphaltdecke für Fahrbahnen auf F2- und F3-Untergrund/Unterbau	165
Abb. 4.5	Bauweisen mit Betondecke für Fahrbahnen auf F2- und F3-Untergrund/Unterbau	166
Abb. 4.6	Beispiele für eine Pressfugenausbildung.	171
Abb. 4.7	Ausführungsdetail: Scheinfuge verdübelt.	172
Abb. 4.8	Verankerung von Randplatten	173
Abb. 4.9	Asphaltmischgutarten/-sorten in Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatzort und -zweck	174
Abb. 4.10	Zusammenhang zwischen Bodenklassifizierung, CBR-Wert und Bettungsmodul k	176
Abb. 4.11	Äquivalenzfaktoren gem. der „Canadian practice“	177
Abb. 4.12	Ergebnisse der Untersuchung von Betonbohrkernen	178
Abb. 4.13	Sieblinie und Einstufung einer untersuchten Asphaltenschicht	179
Abb. 4.14	Auswertung der Flugbewegungszahlen für eine PCN-Berechnung	180
Abb. 4.15	Bespielauswertung FAARFIELD Asphaltbauweise	181
Abb. 4.16	PCN-Ermittlung gem. ADV	182
Abb. 4.17	Belastungsklassen für Einbauten.	183
Abb. 4.18	Beispielkonfiguration für einen Einbauten in Betondecken	183
Abb. 4.19	Beispielkonfiguration für Einbauten an Kreuzungspunkten von Längs- u. Querscheinfugen.	184
Abb. 4.20	Beispiel eines Schachteinbaus der Belastungsklasse F 900	185
Abb. 4.21	Surface Friction Tester der Firma Saab.	185
Abb. 4.22	Reibbeiwert auf vereisten und/oder zugeschnitten S/L-Bahnen.	186
Abb. 4.23	Grooving und Grinding von Flugbetriebsflächen	186
Abb. 5.1	Baustellenzaun zur Trennung der Landseite-Luftseite (sog. § 8-Zaun)	189
Abb. 5.2	Flughafenkehrmaschine.	190
Abb. 6.1	Typischer Lebenszyklus einer Flugbetriebsfläche.	196
Abb. 6.2	Bestandteile eines PMS.	198
Abb. 6.3	Vergleich von Kriterien bzgl. der Ebeneheit von FBF	202

Abb. 6.4	Mögliche Kriterien für Bildung von Families.....	204
Abb. 6.5	Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen.....	205
Abb. 6.6	Schemaskizze – Einteilung von FBF gem. ASTM D5340	210
Abb. 6.7	Beispiel Begehungsplan	211
Abb. 6.8	Beispiele für Kantenabplatzungen (L, M).....	213
Abb. 6.9	Beispiele für Eckabbrüche (L, M und H)	213
Abb. 6.10	Beispielhafte Darstellung eines Pavement Family Models.....	214
Abb. 6.11	Zustandsprognose anhand einer Family Curve.....	215
Abb. 6.12	Zustandsgrößen für die Groberfassung von Beton- und Asphaltdecken	218
Abb. 6.13	Normierung von Zustandsgrößen	219
Abb. 7.1	Konzept der elektrisch angetriebenen „Wright 1“ von Wright Electric (Handelsblatt).....	223
Abb. 7.2	Vehikeltypen der Kategorie VTOL	226
Abb. 7.3	eVTOL „Volocity“ der Volocopter GmbH	227
Abb. 7.4	eVTOL Joby S. 4 der Joby Aviation	228
Abb. 7.5	Lilium Jet der Lilium GmbH.....	229
Abb. 7.6	Bsp.: Vertiport Konfigurationen mit einer FATO.....	230
Abb. 7.7	Bsp.: Vertiport Konfigurationen mit zwei unabhängigen FATOs	231

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1	Luftverkehrsbehörden der einzelnen Bundesländer	23
Tab. 3.1	Streifenanzahl der Schwellenmarkierung	79
Tab. 3.2	Aufsetzzonenmarkierung gem. ICAO	85
Tab. 3.3	Konfigurationsparameter für eine Aufsetz- und Abhebefläche (TLOF)	136
Tab. 3.4	Konfigurationsparameter für eine Endanflug- und Startfläche (FATO)	137
Tab. 3.5	Mindestabstände FATO-Rand und S/L-Bahn- o. Rollbahnrand	138
Tab. 3.6	Konfigurationsparameter für Hubschrauber-Rollbahnen, Schwebeflug- und Versetzwege	144
Tab. 6.1	Oberflächenschäden nach Befestigungsart	212
Tab. 6.2	Zustandskategorien PCI	214



1.1 Allgemeine historische Entwicklung

Unter Luftverkehr versteht man allgemein die Beförderung von Personen, Gütern und Informationen mit Luftfahrzeugen. Die Ursprünge des Luftverkehrs reichen bis in das 18. Jahrhundert zurück und umfassen die Epoche der Ballone, Luftschiffe und Zeppeline.

Der erste erfolgreich durchgeführte Motorflug wird den Gebrüdern Wright (Orville und Wilbur Wright) zugeschrieben und fand offiziell am 17.12.1903 am Strand von Kitty Hawk in North Carolina (USA) statt.

In den Folgejahren bauten Flugpioniere, sog. Aviatiker, weltweit ihre zunächst abenteuerlichen Konstruktionen von Fluggeräten. Aufgrund der technischen Fortschritte, insbesondere im Bereich der Motorisierung, wurden die Luftfahrzeuge zunehmend leistungsfähiger und auch zuverlässiger.

Dass ein Luftverkehrsmarkt vorhanden ist, wurde bereits im Rahmen der „Internationalen Luftschiffahrts-Ausstellung“ (ILA) vom 10.07. bis 17.10.1909 in Frankfurt a. M. offensichtlich. Der damalige Frankfurter Oberbürgermeister Dr. Franz Adickes erkannte dies vorausschauend und setzte sich für die Gründung einer Luftverkehrsgesellschaft ein, sodass bereits einen Monat nach der ILA die erste Luftverkehrsgesellschaft der Welt, die DELAG (Deutsche Luftschiffahrt Aktiengesellschaft), gegründet wurde. Zunächst wurde der sog. Liniendienst von Luftschiffen geplant und noch in demselben Jahr erfolgte die Beförderung von Passagieren auf der Fluglinie Frankfurt – Baden-Baden – Düsseldorf.

Aufgrund des I. Weltkrieges veränderten sich die Rahmenbedingungen für den Luftverkehr drastisch. Militärische Anforderungen bestimmten einerseits die Luftverkehrsinfrastruktur hinsichtlich der Lage und Konfiguration eines Flugplatzes, andererseits mussten die Luftfahrzeuge permanent leistungsfähiger werden. Besonders im Bereich der Flugzeugentwicklung wurden kriegsbedingt extreme Fortschritte gemacht.

Am Ende des I. Weltkrieges (Waffenstillstand von Compiègne am 11.11.1918) standen eine Vielzahl an Militärflugzeugen zur Verfügung, die nach geringfügigen Umbauten als Verkehrsflugzeuge eingesetzt werden konnten. Um den neuen Verkehrsträger im Deutschen Reich zu ordnen, wurde am 07.12.1918 das Reichsluftamt in Berlin gegründet.

Der erste offizielle Luftlinienverkehr in Deutschland fand am 06.04.1919 auf der Luftpoststrecke Berlin – Weimar (Tagungsort der Nationalversammlung) statt. Es folgte im Jahr 1919 der Bau des ersten, nur für den zivilen Luftverkehr konstruierten Ganzmetallflugzeugs, der Junkers F 13 (s. Abb. 1.1).

Eine wichtige Entscheidung und ein weiterer Wachstumseffekt für den Luftverkehr in Deutschland stellte der Zusammenschluss der Deutschen Aero Lloyd AG (DAL) mit der Junkers-Luftverkehrs AG am 06.01.1926 dar. Es entstand die "Deutsche Luft Hansa Aktiengesellschaft" (ab 1933 „Lufthansa“). In den folgenden Jahren wurde durch die Lufthansa das Streckennetz ausgebaut und umfasste bald auch außereuropäische Ziele im Nahen Osten, Asien, Süd- und Nordamerika.

Der II. Weltkrieg führte zur nahezu vollständigen Einstellung des Zivilluftverkehrs. Militärische Anforderungen hatten wiederum Vorrang. Ein Großteil der Flugplätze wurde durch die Luftwaffe übernommen und die Luftverkehrsinfrastruktur wurde dementsprechend an den militärischen Bedarf angepasst. Abermals wurden weitreichende Fortschritte in allen Bereichen des Luftverkehrs erzielt. Insbesondere ist die Serienreife von sog. Strahltriebwerken (ugs. Düsenantrieben) zu nennen.

Das aufgrund dieser Neuerungen ausschöpfbare Potenzial im Bereich des Luftverkehrs führte nach dem Ende des II. Weltkrieges zu einem stetigen weltweiten Wachstum, sowohl absolut als auch im Vergleich zu allen anderen Verkehrsarten.



Abb. 1.1 Ganzmetallflugzeug Junkers F13 (Flug Revue 2020)

Das allgemeine Wachstum verlief bislang exponentiell, wobei die Verdoppelungsrate bei ca. 15 bis 20 Jahren lag. Krisen, Kriege, Terroranschläge o.ä. konnten dieses Wachstum bislang nur für einen relativ kurzen Zeitraum stoppen bzw. verzögern (Abb. 1.2).

Das allgemeine Bestreben zu expandieren, die zunehmende Globalisierung sowie das Mobilitätsbedürfnis der Menschen haben dazu geführt, dass der Bedarf im Güter- und Personenverkehr mit immer größeren Transportentfernungen, kontinuierlich zugenommen hat.

Dabei spielt die Reise- bzw. Transportzeit in der Verkehrsmittelwahl eine wesentliche Rolle. Darin liegt der maßgebliche Vorteil des zivilen Luftverkehrs gegenüber den anderen Verkehrsarten. Der im Vergleich zu den anderen Verkehrsarten erzielbare Zeitgewinn wird in der Regel höher bewertet als eventuelle Mehrkosten gegenüber anderen Verkehrsmitteln und kommt besonders im Lang- und Mittelstreckenbereich zum Tragen. Dementsprechend dominiert der Anteil des Luftverkehrs gegenüber den übrigen Verkehrsträgern ab einer Reiseentfernung von über 500 km (vgl. Abb. 1.3).

Parallel dazu wird permanent die Leistungsfähigkeit und Effizienz, sowohl der eingesetzten Flugzeuge als auch der Luftverkehrsinfrastruktur, fortlaufend gesteigert und somit an den gestiegenen Bedarf angepasst. Eine Folge dieses Prozesses ist die Anbindung bisher nicht oder schlecht erschlossener Gebiete an das Luftverkehrsnetz und damit die Erschließung neuer potenzieller Nutzergruppen bzw. Märkte.

Mit dem Bau der ersten Überschallverkehrsflugzeuge, der sowjetischen Tupolew Tu 144 und der englisch-französischen Concorde, sollte wiederum eine neue Ära im Luftverkehr beginnen. Der erste Linienverkehr wurde am 21.01.1976 mit einer Concorde

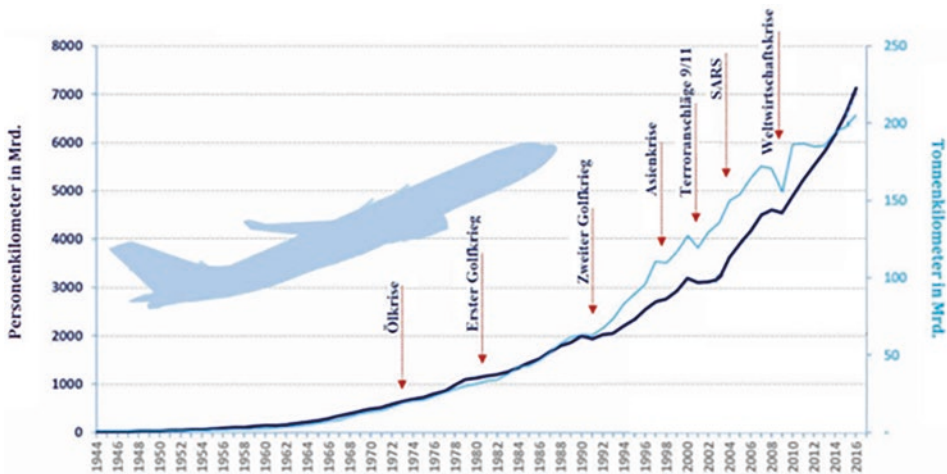


Abb. 1.2 Weltweites Luftverkehrswachstum der letzten 70 Jahre bis Corona gem. ICAO (Umweltbundesamt 2019)

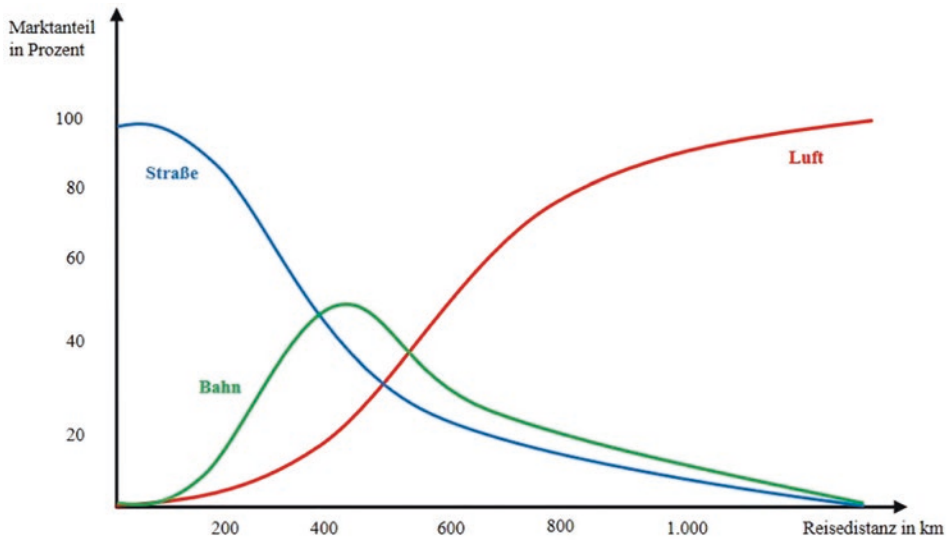


Abb. 1.3 Reisedistanz und Marktanteile der Verkehrsträger (Pompl 2007; zitiert nach John 2019, S. 84)

der Fluggesellschaft British Airways zwischen London – Bahrain/Paris – Rio de Janeiro über Dakar aufgenommen. Insgesamt wurden jedoch lediglich 16 Maschinen dieses Flugzeugtyps ausgeliefert, da sich einerseits die wirtschaftlichen Erwartungen aufgrund des vergleichsweise hohen Kerosinverbrauchs nicht erfüllt haben und andererseits die Concorde an einer Vielzahl von Flughäfen wegen der Lärmemission keine Landegenehmigung erhielt (Abb. 1.4).



Abb. 1.4 Überschallverkehrsflugzeug Concorde (Aeroflight 2016)

Der Absturz einer Concorde der Air France am 25.07.2000 in Paris besiegelte das derzeitige Ende des Linienflugbetriebs von Überschallverkehrsflugzeugen. Der bis dato letzte Linienflug einer Concorde der British Airways fand am 24.10.2003 statt.

Mit der Indienstellung des Airbus A380 am 25. Oktober 2007 auf der Strecke Singapur – Sydney wurde die max. Sitzplatzkapazität eines Verkehrsflugzeuges auf bis zu 850 Passagiere nochmals erhöht. Es wurde seitens des Flugzeugherstellers Airbus davon ausgegangen, dass durch den Einsatz zwischen Luftverkehrsdrehkreuzen (Hubs) eine wirtschaftliche Auslastung erreicht werden könnte und ein grundsätzlicher Bedarf von mehr als 250 Flugzeugen bestehen würde. Diese Annahmen haben sich in den vergangenen Jahren nicht bewahrheitet, sodass die Produktion des Airbus A380 Anfang des Jahres 2021 eingestellt wurde.

Flugzeugtypen, wie die Boeing B777, Boeing 787 sowie der Airbus A350, die eine Sitzplatzkapazität von ca. 300 Plätzen aufweisen, eine Reichweite von ca. 12.000 km besitzen und Direktverbindungen (Point-to-Point) auch zwischen kleineren Verkehrsflughäfen ermöglichen, haben sich im Wettbewerb durchgesetzt.

Weiterhin zielt die derzeitige Entwicklung von Luftfahrzeugen mit alternativen Antrieben und/oder Senkrechtstart- und -landefähigkeiten (VTOL) darauf ab, auch den regionalen und urbanen Raum für den Luftverkehr zu erschließen. Eine Vielzahl an Prototypen befindet sich in der Erprobung, sodass sich bereits erste Ideen für einen autonomen Flugtaxibetrieb konkretisieren (s. Kap. 5).

Die weltweite **COVID-19-Pandemie** (ugs. Corona-Pandemie) hat seit März 2020 den Passagierluftverkehr fast zum vollständigen Erliegen gebracht und einen historischen Tiefstand bewirkt. Mehrere sog. Corona-Wellen führten zu Einreisebeschränkungen, Quarantänebestimmungen, Reisewarnungen o.ä. und machten die freie und gewohnte Mobilität unmöglich bzw. schränkten diese erheblich ein.

Im ersten Halbjahr 2020, in dem 2,5 Monate noch nicht von pandemiebedingten Einbrüchen gekennzeichnet waren, hat sich die Passagiernachfrage bei den deutschen Fluggesellschaften um ca. 65 % reduziert. Im Jahr 2021 beläuft sich diese Reduktion auf ca. 85 % (BDL 2021a, S. 5).

Sowohl die Flugzeughersteller Boeing und Airbus als auch die Fluggesellschaften und Flughafenbetreiber rechnen erst mit einer vollständigen Erholung im Passagierluftverkehr ab dem Jahr 2025 (Airbus 2021). Inwieweit sich dies Prognosen bewahrheiten werden, ist abhängig von der Pandemieentwicklung.

Unabhängig davon entwickelt sich der weltweite Frachtverkehr positiv, obwohl Frachtkapazitäten aus dem Bereich der Passagierflugzeuge fehlen. Die durchschnittliche weltweite Auslastung im Luftfrachtbereich stieg von ca. 46 % im ersten Halbjahr 2019 auf ca. 58 % im ersten Halbjahr 2021 an (BDL 2021a) (Abb. 1.5).

Ein weiterer Aspekt für die zukünftige Entwicklung des Luftverkehrs stellt die allgemeine **Problematik des Klimawandels** dar. Die zusätzliche Bepreisung des Luftverkehrs durch die Umlage von externen Kosten (z. B. CO₂-Ausstoß) ist deshalb absehbar.

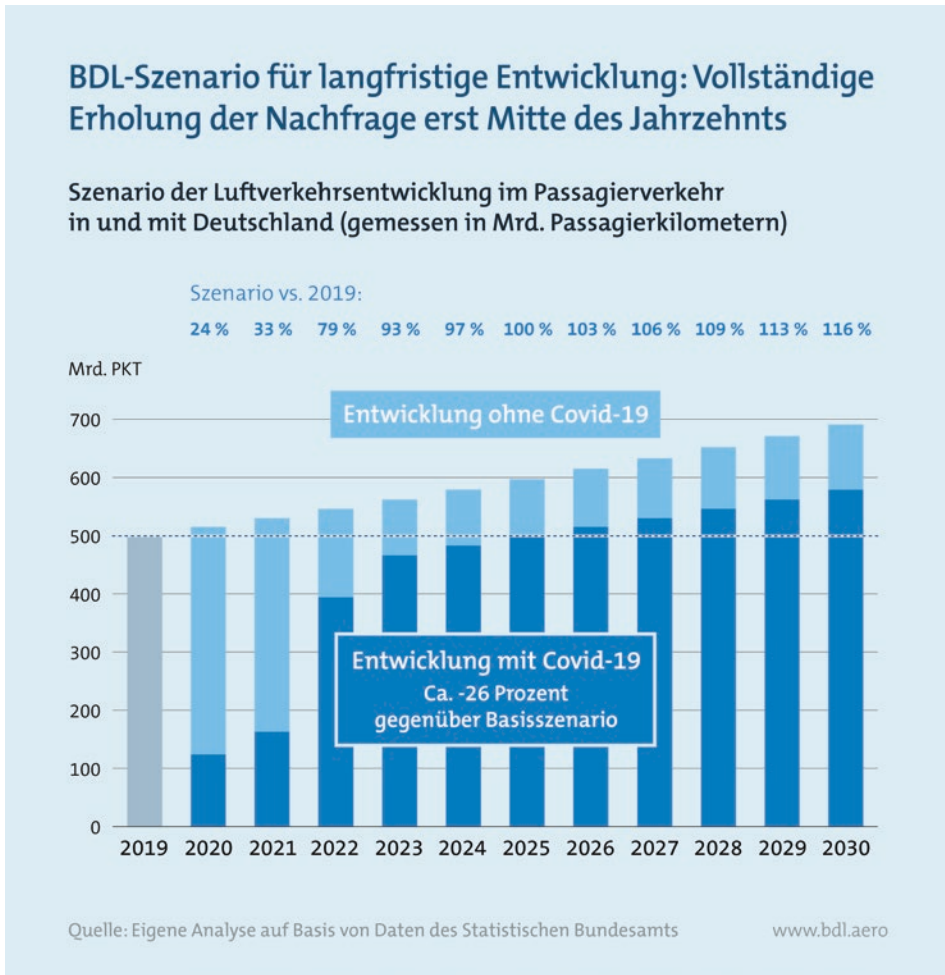


Abb. 1.5 Szenario Luftverkehrsentwicklung im Passagierverkehr (BDL 2021a)

Dabei hat der Luftverkehr an den weltweiten CO₂-Emissionen einen Anteil von ca. 2,8 %. Bezogen auf die weltweite Klimaerwärmung ist der globale Luftverkehr für ca. 3 bis 5 % dieser Erwärmung verantwortlich (BDL 2022).

Langfristiges Ziel ist es, einen CO₂-neutralen Luftverkehr zu erreichen. Dazu sind u. a. folgende konkreten Maßnahmen anvisiert:

- Flottenerneuerung (Einsatz emissionsärmerer Flugzeuge)
- Verwendung nachhaltiger „grüner“ Kraftstoffe
- Realisierung eines CO₂-neutralen Flughafenbetriebes
- Optimierung der Flugführung im europäischen Luftraum („Single European Sky“)