

DIN 45689-1

ICS 17.140.30; 49.020; 93.120

**Akustik –
Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Flugplätzen –
Teil 1: Berechnungsverfahren;
Text Deutsch und Englisch**

Acoustics –
Determination of aircraft noise immission at airports –
Part 1: Calculation method;
Text in German and English

Acoustique –
Détermination de l'exposition au bruit des avions aux aérodomes –
Partie 1: Méthode de calcul;
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 106 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
3.1 Luftverkehrsbegriffe	8
3.2 Begriffe zur Beschreibung der Flugbahn	10
3.3 Akustische Größen	12
4 Eingangsdaten	16
4.1 Allgemeines	16
4.2 Flugplatzdaten	16
4.3 Beschreibung von Flugstrecken	22
4.4 Berechnung von Flugprofilen	29
5 Berechnung der Emissionspegel	31
5.1 Oktav-Schallleistungspegel	31
5.2 A-bewerteter Schallleistungspegel	32
5.3 Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposition	32
5.4 Pegel der Schallleistungsexposition	33
6 Bestimmung der Immissions- kenngrößen	34
6.1 Segmentierung der Flugbahn	34
6.2 Immissionspunktbezogene Segmentierung (Teilstückverfahren)	38
6.3 Schallpegelminderung auf dem Ausbreitungsweg	40
6.4 Immissionsbeiträge von Einzelflügen	48
7 Ermittlung der kumulativen Geräuschbelastung durch Flugbewegungen	49
7.1 Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels	49
7.2 Berechnung von maximalen pegelbasierten Kenngrößen	50
8 Ermittlung der kumulativen Geräuschbelastung durch Bodenoperationen	54
8.1 Allgemeines	54
8.2 Beiträge zum Dauerschallpegel durch Rollvorgänge	55
8.3 Beiträge zum Dauerschallpegel durch Hilfstriebwerke	56
Anhang A (informativ) Spezifikation der akustischen Kenngrößen von Luftfahrzeugen	58
Anhang B (informativ) Operationelle	

Contents

	Page
Foreword	4
Introduction	5
1 Scope	6
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
3.1 Aviation terms and definitions	8
3.2 Terms and definitions for description of the flight path	10
3.3 Acoustic parameters	12
4 Input data	16
4.1 General	16
4.2 Airport data	16
4.3 Flight track descriptions	22
4.4 Calculation of flight profiles	29
5 Calculation of the emission levels	31
5.1 Octave sound power level	31
5.2 A-weighted sound power level	32
5.3 Length-related sound power exposure level	32
5.4 Sound power exposure level	33
6 Determination of the immission parameters	34
6.1 Segmentation of the flight path	34
6.2 Immission point related segmentation (section procedure)	38
6.3 Sound level decrease along the propagation path	40
6.4 Immission contributions of individual flights	48
7 Determination of the cumulative noise load by flight movements	49
7.1 Calculation of the equivalent continuous sound level	49
7.2 Calculation of maximum level-based characteristics	50
8 Determination of the cumulative noise load by ground operations	54
8.1 General	54
8.2 Contributions to the continuous sound level by taxiing	55
8.3 Contributions to the continuous sound level by auxiliary power units	56
Annex A (informative) Specification of the acoustic parameters of aircraft	58
Annex B (informative) Operational parameters of aircraft for calculating procedural profiles	60

Kenngrößen von Luftfahrzeugen zur Berechnung von prozeduralen Profilen.....	60	Annex C (informative) Calculation of procedural flight profiles	65
Anhang C (informativ) Berechnung von prozeduralen Flugprofilen.....	65	Annex D (informative) Operational datasets of aircraft as fixed point profiles	84
Anhang D (informativ) Operationelle Datensätze von Luftfahrzeugen als Fixpunktprofile	84	Annex E (informative) Concept of a partial sound source model	95
Anhang E (informativ) Konzept eines Teilschallquellenmodells	95	Annex F (informative) Calculation of the immission values using a time step procedure.....	97
Anhang F (informativ) Ermittlung der Immissionswerte nach einem Zeitschrittverfahren.....	97	Annex G (informative) Approximation function for the normal distribution	102
Anhang G (informativ) Näherungsfunktion für die Normalverteilung.....	102	Bibliography	103
Literaturhinweise.....	103	Supplementary literature	104
Ergänzende Literatur	104		

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Unterausschuss NA 001-01-02-01 UA „Fluggeräusche“ im Arbeitsausschuss NA 001-01-02 AA „Geräuschimmission — Grundlagen, Ermittlung, Beurteilung“ des DIN/VDI-Normenausschusses Akustik, Lärmminde- rung und Schwingungstechnik (NALS) erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass eini- ge Elemente dieses Dokuments Patentrechte be- rühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 45689 *Akustik — Ermittlung von Flugge- räuschimmissionen an Flugplätzen* besteht aus:

- *Teil 1: Berechnungsverfahren;*
- *Teil 2: Auswertung und Generierung von ergän- zenden Eingangsdaten für die Berechnung — Flugverlaufsdaten und Datenerfassungssystem.*

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument kön- nen über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Foreword

This document has been prepared by Unteraus- schuss NA 001-01-02-01 UA „Fluggeräusche“ (Sub- committee NA 001-01-02-01 UA “Aircraft Noise”) at Arbeitsausschuss NA 001-01-02 AA “Geräusch- immission — Grundlagen, Ermittlung, Beurteilung” (Working Committee NA 001-01-02 AA “Noise im- mission — Principles, determination, rating” of DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärmminde- rung und Schwingungstechnik (NALS) (DIN/VDI Standards Committee Acoustics, Noise Control and Vibration Engineering).

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. DIN shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

DIN 45689 *Acoustics — Determination of aircraft noise exposure at airports* consists of:

- *Part 1: Calculation method;*
- *Part 2: Evaluation and generation of additional input data for calculation — trajectory data and data acquisition system.*

For current information on this document, please go to DIN’s website (www.din.de) and search for the document number in question.

Einleitung

In DIN 45689-1 wird ein Verfahren zur Berechnung der durch Luftfahrzeuge hervorgerufenen Geräuschimmission festgelegt. Das Verfahren basiert auf einer Einteilung der Luftfahrzeuge in einzelne Luftfahrzeugkategorien. Damit ergibt sich die Möglichkeit, sowohl die durch Einzelflüge erzeugte Immission zu berechnen als auch die durch komplexe Flugbetriebsszenarien hervorgerufenen Geräuschimmissionen im Umfeld von Flugplätzen zu ermitteln.

In DIN 45689-2 werden Umfang und Format der für das Berechnungsverfahren benötigten Daten im Detail beschrieben. Dabei wird auch darauf eingegangen, wie ergänzende Angaben für das Datenerfassungssystem aus Flugverlaufsdaten gewonnen werden können.

In der Praxis des Fluglärmschutzes sind Berechnungsverfahren von großer Bedeutung. Sie werden insbesondere für folgende Aufgaben benötigt:

- Bauleitplanung,
- Planung von Flugplätzen,
- Auslegung von aktiven und passiven Lärminderungsmaßnahmen,
- Kontrolle der Geräuschbelastung.

Introduction

DIN 45689-1 specifies a method to calculate of the sound immission produced by aircraft. The method is based on a classification of aircraft into individual aircraft groups. This makes it possible to calculate the immission produced by individual flights but also to determine the noise immissions in the vicinity of airports produced by complex flight operation scenarios.

DIN 45689-2 describes in detail the volume and format of the data necessary for the calculation method. It also addresses how to gain supplementary information from the trajectory data for the data acquisition system.

Calculation methods are of major importance in practice of aircraft noise protection. They are particularly necessary for the following tasks:

- urban land-use planning,
- airport planning,
- design of active and passive noise reduction measures,
- noise load control.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Verfahren zur Berechnung der Fluggeräuschimmissionen in der Umgebung von Flugplätzen fest.

Dieses Dokument ist nicht anzuwenden für Landeplätze, die in den Anwendungsbereich der Normen-Reihe DIN 45684 fallen, und nicht für Wasserflugplätze.

Der Zweck dieses Dokuments ist es zum einen, die durch einzelne Luftfahrzeuge am Boden hervorgerufene Geräuschbelastung für vorgegebene operationelle Randbedingungen (Flugverfahren, meteorologische Situation) zu berechnen. Zum anderen stellt dieses Dokument ein Verfahren bereit, mit dem die Geräuschimmission in der Umgebung von bestehenden oder geplanten Flugplätzen berechnet und als Grundlage für eine spätere Beurteilung verwendet werden kann. Hierfür liefert das in diesem Dokument beschriebene Berechnungsverfahren als Ergebnis akustische Kennwerte an einem beliebigen Immissionspunkt in der Flugplatzumgebung.

Es ist nicht Zweck dieses Dokuments, Beurteilungsverfahren festzulegen oder Festlegungen für die Beurteilung von Fluggeräuschimmissionen an Flugplätzen zu treffen.

Dieses Dokument ist anzuwenden für folgende Anwendungsfälle:

- a) Erstellung von Datenerfassungssystemen für die Berechnung der Fluggeräuschimmissionen an Flugplätzen;
- b) Berechnungen der Fluggeräuschimmissionen;
- c) Berechnungen der durch bodengebundene Operationen von Luftfahrzeugen (Rollvorgänge, Betrieb von Hilfstriebwerken) hervorgerufenen Immissionen.

Dieses Dokument ist nicht anzuwenden für die Ermittlung von Geräusch-Emissionsdaten für Luftfahrzeuge.

1 Scope

This document specifies a method for calculating aircraft noise immissions in the vicinity of airports.

This document does not apply to airfields, which fall within the scope of the DIN 45684 standard series, nor to seaplane ports.

On the one hand, the purpose of this document is to calculate the noise immission on the ground produced by individual aircraft for given operational boundary conditions (flight procedure, meteorological condition). On the other hand, this document provides a method by which the noise immission in the vicinity of existing or planned airports can be calculated and used as the basis for later evaluation. For this purpose the calculation method described in this document yields resulting acoustic parameters at any immission point within the airport environment.

It is not the purpose of this document to specify assessment methods or to specify rules for the assessment of aircraft noise immissions around airports.

This document applies to the following application cases:

- a) preparation of data acquisition systems for the calculation of aircraft noise immissions on airports;
- b) aircraft noise immission calculations;
- c) calculation of the immissions produced by ground-based operations of aircraft (taxiing, operation of auxiliary power units).

This document does not apply to the determination of noise emission data for aircraft.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 45687, *Akustik — Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschmission im Freien — Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen*

DIN 45689-2, *Akustik — Ermittlung von Fluggeräuschmissionen an Flugplätzen — Teil 2: Auswertung und Generierung von ergänzenden Eingangsdaten für die Berechnung — Flugverlaufsdaten und Datenerfassungssystem*.¹

DIN ISO 9613-2:1999-10, *Akustik — Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien — Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996)*

ISO 9613-1, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*

ISO/TR 17534-3:2015-01, *Acoustics — Software for the calculation of sound outdoors — Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>
- DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

DIN 45687, *Acoustics — Software products for the calculation of the sound propagation outdoors — Quality requirements and test conditions*

DIN 45689-2, *Acoustics — Determination of aircraft noise exposure at airports — Part 2: Evaluation and generation of additional input data for calculation — trajectory data and data acquisition system*.¹

DIN ISO 9613-2:1999-10, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: General method of calculation (ISO 9613-2:1996)*

ISO 9613-1, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*

ISO/TR 17534-3:2015-01, *Acoustics — Software for the calculation of sound outdoors — Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

DIN and DKE maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- DIN-TERMinologieportal: available at <https://www.din.de/go/din-term>
- DKE-IEV: available at <http://www.dke.de/DKE-IEV>

¹ in Vorbereitung/under preparation.

3.1 Luftverkehrsbegriffe

3.1.1

Bahnbezugspunkt

Punkt, der die geographische Lage einer Start- und Landebahn bestimmt

3.1.2

Bezugsebene

<Fluggeräusche> Ebene mit konstanter Höhe über Meeresspiegel, in der sich der Flugplatzbezugspunkt befindet

3.1.3

Bodenoperation

Bewegung eines Luftfahrzeugs auf den Flugbetriebsflächen eines Flugplatzes oder Betrieb eines Hilfstriebwerks eines Luftfahrzeugs an der Abstellposition

3.1.4

Flight Management System

FMS

System an Bord eines Luftfahrzeugs zur Steuerung und Navigation

3.1.5

Flugbewegung

Start, Landung oder Platzrunde eines Luftfahrzeugs

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Platzrunde besteht aus einem Start-, einem Horizontalflug- und einem Landeteil und geht in die Berechnung als eine Flugbewegung ein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Start beginnt am Startpunkt, eine Landung endet am Abrollpunkt.

3.1.6

Flugplatz

festgelegtes Gebiet auf dem Land (einschließlich der Gebäude, Anlagen und Ausrüstung), das ganz oder teilweise für Ankunft, Abflug und Bewegungen von Luftfahrzeugen bestimmt ist

3.1.7

Flugplatzbezugspunkt

Punkt, der die geographische Lage eines Flugplatzes bestimmt

3.1 Aviation terms and definitions

3.1.1

runway reference point

point which determines the geographical position of a runway

3.1.2

plane of reference

<aircraft noise> plane with constant elevation containing the airport reference point

3.1.3

ground operation

movement of an aircraft on an airport's operational areas or operation of an aircraft's auxiliary power unit at the parking position

3.1.4

Flight Management System

FMS

system on board of an aircraft for control and navigation

3.1.5

flight movement

departure, approach or circuit pattern of an aircraft

Note 1 to entry: A circuit pattern consists of a departure, a horizontal flight and an approach and is considered as one flight movement in the calculations.

Note 2 to entry: A departure begins at the start of roll and an approach ends at the taxi-in point.

3.1.6

airport

specified area on land (including buildings, installations and equipment) which is entirely or partially assigned to arrival, departure and movement of aircraft

3.1.7

airport reference point

point which determines the geographical position of an airport

3.1.8**Flugverlaufsdaten**

von Radardaten abgeleitete zeitliche Abfolge von Positionsdaten eines Luftfahrzeuges, die einen Verarbeitungsprozess durchlaufen haben

Anmerkung 1 zum Begriff: Verarbeitungsprozesse sind z. B. Glättung, Zerlegung in neue Zeitschrittweiten und Kombination mit Sekundärinformationen.

3.1.9**Instrumenten-Landesystem****ILS**

elektronische Anflughilfe

3.1.10**Luftfahrzeug**

für die Benutzung des Luftraums bestimmtes Fluggerät mit Eigenantrieb

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele sind Flugzeug, Hubschrauber, Luftschiff, Motorsegler und Luftsportgeräte.

3.1.11**Radardaten**

von einer oder mehreren Radaranlagen bereitgestellte zeitliche Abfolge von Positionsdaten eines Luftfahrzeugs

Anmerkung 1 zum Begriff: Radardaten dienen primär Flugsicherungszwecken und als Beweismittel bei Luftverkehrsvorkommnissen.

3.1.12**Platzrunde**

Flugbewegung bestehend aus einem Start-, einem Horizontalflug- und einem Landeteil

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Platzrunde erfolgt auf einer festgelegten Platzrunden-Flugstrecke.

3.1.13**Start- und Landebahn**

festgelegte rechteckige Fläche auf einem Flugplatz, die für den Start und die Landung von Luftfahrzeugen hergerichtet ist

3.1.14**Surface Movement Radar****SMR**

System zur Erfassung und Darstellung der Bewegungen von Luftfahrzeugen auf den Flugbetriebsflächen eines Flugplatzes

3.1.8**trajectory data**

time sequence of aircraft position data derived from radar data, which have undergone a processing procedure

Note 1 to entry: Processing procedures are e.g. smoothing, decomposition into new time steps and combination with secondary information.

3.1.9**Instrument Landing System****ILS**

electronic landing aid

3.1.10**aircraft**

self-propelled aircraft, meant to be used in airspace

Note 1 to entry: Examples are airplane, helicopter, airship, motor glider and airport devices.

3.1.11**radar data**

time sequence of position data of an aircraft provided by one or more radar systems

Note 1 to entry: Radar data primarily serve air-traffic control purposes and as evidence of air traffic events.

3.1.12**circuit pattern**

flight movement consisting of a departure, a horizontal flight and an approach part

Note 1 to entry: A circuit pattern takes place on a specified circuit-pattern flight track.

3.1.13**runway**

defined rectangular area at an airport which has been prepared to accommodate the departure and approach of aircraft

3.1.14**Surface Movement Radar****SMR**

system to record and illustrate the movements of aircraft within the aircraft operation areas of an airport

3.2 Begriffe zur Beschreibung der Flugbahn

3.2.1

Flugbahn

<Fluggeräusche> Trajektorie des Luftfahrzeugs im dreidimensionalen Raum

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Flugbahn setzt sich aus mindestens zwei Bahnsegmenten zusammen.

3.2.2

Flugbahnsegment

durch Überlagerung des in der Vertikalebene durch Profilsegmente beschriebenen Flughöhenprofils und der durch Streckenteilsegmente in der Horizontalebene beschriebenen Flugstrecke entstehendes, geradliniges Segment der dreidimensionalen Flugbahn

3.2.3

Flugbahnsegment

durch Belegung eines Flugbahnsegments mit spezifischen Emissionen entstehendes, geradliniges Segment der dreidimensionalen Flugbahn

3.2.4

Teilstück

aus der auf einen spezifischen Immissionspunkt bezogenen Unterteilung resultierender Abschnitt eines Flugbahnsegmentes

3.2.5

Flugprofil

Satz von charakteristischen Daten als Funktion der längs eines Flugwegs zurückgelegten Bogenlänge, der als Grundlage für eine Berechnung der Geräuschbelastung herangezogen werden kann

3.2.6

Flughöhenprofil

Verlauf der Flughöhe als Funktion der längs eines Flugwegs zurückgelegten Bogenlänge

3.2.7

Profilsegment

geradliniges Segment des Flughöhenprofils

3.2.8

Fixpunktprofil

standardisiertes Flugprofil, das charakteristisch für ein bestimmtes Luftfahrzeug mit bekannter Masse ist bei bestimmten meteorologischen Bedingungen

3.2 Terms and definitions for description of the flight path

3.2.1

flight path

<aircraft noise> trajectory of an aircraft in the three-dimensional space

Note 1 to entry: A flight path is composed of at least two path segments.

3.2.2

flight path segment

straight segment of the three-dimensional flight path resulting from combining the altitude profile described in the vertical plane with the flight track segments described in the horizontal plane

3.2.3

flight path sub-segment

straight segment of the three-dimensional flight path resulting from allocating of a flight path segment with specific emissions

3.2.4

flight path section

part of a flight path sub-segment resulting from a subdivision of this sub-segment related to a specific immission point

3.2.5

flight profile

set of characteristic data as a function of the arc length travelled along a sub-track which can be used as the basis for a calculation of the noise load

3.2.6

altitude profile

course of the altitude as a function of the arc length travelled along a sub-track

3.2.7

profile segment

straight segment of the altitude profile

3.2.8

fixed point profile

standardized flight profile characteristic for a certain aircraft with known mass operating under defined meteorological conditions

3.2.9**prozedurales Profil**

eine Folge von Verfahrensschritten, die einen realen An- oder Abflug beschreiben

Anmerkung 1 zum Begriff: Prozedurale Profile werden unabhängig von Luftfahrzeugmasse, Flugstreckenverlauf und meteorologischen Bedingungen definiert.

3.2.10**Flugstrecke**

idealisierte Beschreibung einer Flugroutenführung in der Horizontalebene

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Flugstrecke kann entweder dem Luftfahrthandbuch entnommen oder aus Flugverlaufsdaten abgeleitet werden.

3.2.11**Flugstreckenabschnitt**

geradliniges oder kreisbogenförmiges Segment einer Flugstrecke

3.2.12**Flugstreckenteilabschnitt**

nach Unterteilung von kreisbogenförmigen Flugstreckenabschnitten in Sehnen entstehendes, geradliniges Segment einer Flugstrecke

3.2.13**Flugweg**

Projektion der Flugbahn auf die Bezugsebene

3.2.14**Flugkorridor**

Korridor, der die tatsächlichen Flugwege mit seitlicher Abweichung zur Flugstrecke einschließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Flugstrecke ist die Mittellinie des Flugkorridors.

3.2.15**Rollwegkoordinatensystem**

lokales Koordinatensystem bestehend aus einer entlang des Rollweges gemessenen, auf den Startpunkt bzw. den Abrollpunkt bezogenen Bogenlängenkoordinate σ und einer darauf senkrecht stehenden Lot-Koordinate ρ

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Hovering-Wegen wird die Bogenlängenkoordinate σ auf die Hubschauber-start/-landestelle bezogen.

3.2.9**procedural profile**

a sequence of procedural steps describing a real approach or departure

Note 1 to entry: Procedural profiles are defined independent of aircraft mass, course of the flight track and meteorological conditions

3.2.10**flight track**

idealized description of a flight route course on the horizontal plane

Note 1 to entry: The flight track can be found in the Aeronautical Information Publication or derived from the trajectory data.

3.2.11**flight track segment**

straight or circular segment of a flight track

3.2.12**flight track sub-segment**

straight segment of a flight track after subdivision of arc-shaped flight track segments into chords

3.2.13**sub-track**

projection of the flight path on the reference plane

3.2.14**flight corridor**

corridor enclosing the actual sub-tracks with lateral deviations to the flight track

Note 1 to entry: The flight track is the centre line of the flight corridor.

3.2.15**taxiway coordinate system**

local coordinate system consisting of an arc length coordinate σ that is measured along the taxiway originating from the start of roll or the taxi-in point and a vertical perpendicular coordinate ρ

Note 1 to entry: For hovering-ways, the arc length coordinate σ is originating from the helipad.

3.2.16

Streckenkoordinatensystem

lokales Koordinatensystem bestehend aus einer längs eines Flugwegs gemessenen, auf den Bahnbezugspunkt bezogene Bogenlängenkoordinate σ bzw. auf den Startpunkt oder die Landeschwelle bezogene relative Bogenlängenkoordinate σ' und einer darauf senkrecht stehenden Lot-Koordinate ρ

3.3 Akustische Größen

3.3.1

A-bewerteter Schallleistungspegel

L_{WA}

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der A-bewerteten Schallleistung zur Bezugsschallleistung $W_0 = 1 \text{ pW}$

[QUELLE: DIN 1320:2009-12, 4.2, modifiziert – ergänzt wurden „A-bewerteter“ beim Begriff und „ $W_0 = 1 \text{ pW}$ “ bei der Definition. Die ANMERKUNG wurde nicht übernommen.]

3.3.2

A-bewerteter Schallleistungsexpositionspegel

L_{WAE}

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der A-bewerteten, immissionspunktbezogenen, energieäquivalenten Schallleistungsexposition zur Bezugsschallleistungsexposition $W_{E0} = 1 \text{ pWs}$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Definitionsgleichung des A-bewerteten Schallleistungsexpositionspegels ist mit Gleichung (1) gegeben:

$$L_{WAE} = 10 \cdot \lg \left(\frac{W_{AE}}{W_{E0}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Dabei ist

W_{AE} die A-bewertete energieäquivalente Schallleistungsexposition der einzelnen Flugbewegung nach Gleichung (2):

$$W_{AE} = \int_T W_A dt \quad (2)$$

W_A die A-bewertete Schallleistung des Luftfahrzeugs, in W;

T die Dauer der einzelnen Flugbewegung, in s

3.2.16

flight track coordinate system

local coordinate system consisting of an arc length coordinate σ measured along the sub-track originating from the runway reference point or relative arc length coordinate σ' originating from the start of roll or the landing threshold and a vertical perpendicular coordinate ρ

3.3 Acoustic parameters

3.3.1

A-weighted sound power level

L_{WA}

ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the A-weighted sound power to the reference sound power $W_0 = 1 \text{ pW}$

[SOURCE: DIN 1320:2009-12, 4.2; modified – “A-weighted” was supplemented in the term and “ $W_0 = 1 \text{ pW}$ ” in the definition. The Note has not been included.]

3.3.2

A-weighted sound power exposure level

L_{WAE}

ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the A-weighted, receiver-based, energy equivalent sound power exposure to the reference sound power exposure $W_{E0} = 1 \text{ pWs}$

Note 1 to entry: The defining formula of the A-weighted sound power exposure level is given with Formula (1):

where

W_{AE} is the A-weighted energy-equivalent sound power exposure of the individual flight movement according to Formula (2):

W_A is the A-weighted sound power of the aircraft, in W;

T is the duration of the individual flight movement, in s

3.3.3**A-bewerteter Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposition** L'_{WAE}

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der A-bewerteten längenbezogenen Schallleistungsexposition zur auf die Einheitslänge $l_0 = 1$ m bezogenen Bezugsschallleistungsexposition

$$W'_{E0} = W_{E0}/l_0$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Kurvenintegral über die längenbezogene Schallleistungsexposition entlang der gesamten Flugbahn einer einzelnen Flugbewegung ist die unter 3.3.2 definierte Schallleistungsexposition nach Gleichung (3):

$$W_{AE} = \int_l W'_{AE}(l) dl \quad (3)$$

Anmerkung 2 zum Begriff: Die längenbezogene Schallleistungsexposition ist die immissionspunktbezogene, energieäquivalente differentielle Schallleistungsexposition der Flugbahn. Bei konstanter Schallleistung längs der Flugbahn ist sie identisch mit der Schallleistungsexposition eines Teilstückes von 1 m Länge.

3.3.4**maximaler AS-bewerteter Schalldruckpegel** $L_{pAS,max}$

Maximalwert des AS-bewerteten Schalldruckpegels

3.3.5**AS-bewerteter Schalldruckpegel** L_{pAS}

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Quadrates des Effektivwertes des Schalldruckes (bei Anwendung der Frequenzbewertung A und der Zeitbewertung S) zum Quadrat des Bezugsschalldruckes $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

3.3.6**A-bewerteter Schalldruckexpositionspegel** L_{pAE}

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der Schallexposition E zur Bezugsschallexposition $E_0 = (400 [\mu\text{Pa}]^2\text{s})$

Anmerkung 1 zum Begriff: Dabei ist die Schallexposition das Integral des zeitabhängigen Quadrates des frequenzbewerteten Momentanschalldrucks über eine gegebene Dauer T oder über ein Ereignis.

Anmerkung 2 zum Begriff: E_0 ist gleich dem Quadrat des Bezugsschalldrucks von $20 \mu\text{Pa}$ multipliziert mit der Dauer 1 s.

3.3.3**A-weighted level of the length-related sound power exposure** L'_{WAE}

ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the A-weighted length-related sound power exposure to the reference sound power exposure based on the unit length $l_0 = 1$ m

$$W'_{E0} = W_{E0}/l_0$$

Note 1 to entry: The line-integral over the length-related sound power exposure along the total flight path of an individual flight movement is the sound power exposure defined in 3.3.2 according to Formula (3):

Note 2 to entry: The length-related sound power exposure is the receiver-based, energy-equivalent differential sound power exposure of the flight path. During constant sound power exposure along the flight path, it is identical to the sound power exposure of a section of 1 m length.

3.3.4**AS-weighted maximum sound pressure level** $L_{pAS,max}$

maximum value of the AS-weighted sound pressure level

3.3.5**AS-weighted sound pressure level** L_{pAS}

ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the square of the root-mean-square of the sound pressure (when using frequency weighting A and time weighting S) to the square of the reference sound pressure $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

3.3.6**A-weighted sound pressure exposure level** L_{pAE}

ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the sound exposure E to the reference sound exposure $E_0 = (400 [\mu\text{Pa}]^2\text{s})$

Note 1 to entry: Here, the sound exposure is the integral of the time-dependent square of the frequency-weighted momentary sound pressure level over a given duration T or over a sound event.

Note 2 to entry: E_0 is equal to the square of the reference sound pressure level of $20 \mu\text{Pa}$, multiplied by the duration of 1 s.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Definitionsgleichung des A-bewerteten Schalldruckexpositionspegels ist mit Gleichung (4) gegeben.

Note 3 to entry: The defining formula of the A-weighted sound pressure exposure level is given with Formula (4).

$$L_{pAE} = 10 \cdot \lg \left(\frac{E}{E_0} \right) \text{ dB} \quad (4)$$

Dabei ist

where

$$E = \int_T p^2(t) dt \quad (5)$$

Anmerkung 4 zum Begriff: Der Schalldruckexpositionspegel wird in dB angegeben.

Note 4 to entry: The sound pressure exposure level is specified in dB.

Anmerkung 5 zum Begriff: Die Schalldruckexposition wird in Pa²s angegeben.

Note 5 to entry: The sound pressure exposure is specified in Pa²s.

3.3.7 äquivalenter Dauerschallpegel

$L_{pAeq,T}$
zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses eines über die Zeit T gemittelten Schalldruckquadrates zum Quadrat des Bezugsschalldruckes p_0

3.3.7 equivalent continuous sound level

$L_{pAeq,T}$
ten times the logarithm to the base 10 of the ratio of the sound pressure square determined over time T to the square of the reference sound pressure p_0

Anmerkung 1 zum Begriff: Der äquivalente Dauerschallpegel $L_{pAeq,T}$ wird für die Frequenzbewertung A nach Gleichung (6) gebildet:

Note 1 to entry: The equivalent continuous sound level $L_{pAeq,T}$ is depicted for the frequency-weighting A according to Formula (6):

$$L_{pAeq,T} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right] \text{ dB} \quad (6)$$

[QUELLE: DIN 1320:2009-12, 4.7, modifiziert – zugelassenen Benennung entfernt, „A“ zum Index hinzugefügt, die ANMERKUNG 2 entfernt]

[SOURCE: DIN 1320:2009-12, 4.7, modified – admitted term deleted, "A" added to index, Note 2 deleted]

3.3.8 Bodengeräusche

durch Bodenoperationen hervorgerufene Geräusche

3.3.8 ground noise

noise produced by ground operations

Anmerkung 1 zum Begriff: Bodenoperationen sind zum Beispiel Rollvorgänge oder der Betrieb von Hilfstriebwerken.

Note 1 to entry: Ground operations are i.e. taxiing or the operation of auxiliary power units.

3.3.9 Beurteilungszeit

T_r
<Fluggeräusche> innerhalb der Kennzeichnungszeit T_K wiederkehrendes Zeitintervall für das der äquivalente Dauerschallpegel L_{pAeq} bestimmt werden soll

T_r
<aircraft noise> recurring time interval within the characterisation time T_K for which the equivalent continuous sound level L_{pAeq} is to be determined

3.3.10**Erhebungszeit** T_E

<Fluggeräusche> bei der Berechnung erfasste Summe aller Tage

3.3.11**Fluggeräusche**

durch Flugbewegungen hervorgerufene Geräusche

Anmerkung 1 zum Begriff: Flugbewegungen sind zum Beispiel Starts, Landungen oder Platzrunden.

3.3.12**gewichtetes Integral einer Pegelverteilung** N_{GI}

Einzahlwert, der eine Expositions-Wirkungsbeziehung darstellt und durch gewichtete Integration einer Pegel-Häufigkeitsverteilung ermittelt wird

3.3.13**Kennzeichnungszeit** T_K

<Fluggeräusche> durch die Aufgabenstellung vorgegebener Zeitabschnitt, für den die Kenngrößen die Geräuschimmission beschreiben sollen

Anmerkung 1 zum Begriff: Kennzeichnungszeiten können z. B. sein:

- alle Kalendertage innerhalb eines Jahres;
- alle Tage tagsüber innerhalb der sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres;
- alle Nächte der sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres;
- alle Samstage tagsüber innerhalb der sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres;
- alle Sonn- und Feiertage innerhalb der drei verkehrsreichsten Monate des Jahres;
- alle Tage je Betriebsrichtung.

3.3.14**Schallleistung** W

zeitliche Ableitung der Schallenergie

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Schallleistung ist gleich dem Produkt aus Schalldruck und Schallfluss.

3.3.10**observation time** T_E

<aircraft noise> sum of all recorded days during calculation

3.3.11**aircraft noise**

noise caused by aircraft operations

Note 1 to entry: Aircraft operations are i.e. departures, approaches or circuit pattern.

3.3.12**weighted integral over level distribution** N_{GI}

single-number value which represents a exposition-effect relationship and is determined by a weighted integration of the level frequency distribution

3.3.13**characterization time** T_K

<aircraft noise> time period specified by the task in which the parameters describe the aircraft sound immission

Note 1 to entry: Characterization times can be e.g.:

- all calendar days within one year;
- the daytimes of all days within the busiest six months of the year;
- all nights of the busiest six months of the year;
- the daytimes of all Saturdays in the busiest six months of the year;
- all Sundays and bank holidays within the busiest three months of the year;
- all days per operation direction.

3.3.14**sound power** W

derivative of sound energy with respect to time

Note 1 to entry: The sound power is equal to the product of the sound pressure and sound flow.

4 Eingangsdaten

4.1 Allgemeines

Für die Berechnung der Fluggeräuschimmission in der Flugplatzumgebung werden detaillierte Eingangsdaten benötigt. Diese Daten lassen sich in zwei Kategorien einteilen:

- Flugplatzspezifische Daten: Diese beschreiben die Lage der Start- und Landebahnen und Rollwege auf dem Flugplatzgelände sowie die An- und Abflugstrecken und Platzrunden in der Flugplatzumgebung. Darüber hinaus gehören zu diesen Daten die luftfahrzeugspezifische Anzahl der Flugbewegungen auf den einzelnen Flugstrecken während bestimmter Kennzeichnungszeiten und ein digitales Geländemodell (DGM).
- Luftfahrzeugspezifische Daten: Diese umfassen die akustischen Daten und Flugleistungsdaten der Luftfahrzeuge und sind integraler Bestandteil des Berechnungsverfahrens.

Regeln zur Ermittlung der flugplatzspezifischen Daten und die hierfür zu verwendenden Datenformate sind in DIN 45689-2 angegeben. Die Formate der luftfahrzeugspezifischen Daten sind in den Anhang A und Anhang B beschrieben.

4.2 Flugplatzdaten

4.2.1 Koordinatensystem

Die Flugplatzdaten umfassen neben der Bezeichnung des Flugplatzes im Flugplatzcode der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation ICAO im Wesentlichen eine Beschreibung der vorhandenen oder geplanten Start- und Landebahnen sowie der Rollwege.

Die Start- und Landebahnen werden in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem (x, y, z) beschrieben. Dieses ergibt sich aus den UTM-Koordinaten $(E_{\text{UTM}}, N_{\text{UTM}})$ für das Datum ETRS89 und der Höhe H_{DGM} im digitalen Geländemodell DGM nach 6.3.1 als:

$$x = E_{\text{UTM}} \quad y = N_{\text{UTM}} \quad z = H_{\text{DGM}}(x, y) \quad (7)$$

4 Input data

4.1 General

Detailed input data are required to calculate the aircraft noise immission in the vicinity of airports. These data can be classified in two categories:

- Airport-specific data: They describe the location of the runways and taxiways in the airport area as well as the course of the arrival and departure tracks and circuit patterns in the airport area. Furthermore, these data include the aircraft-specific number of aircraft movements on the individual flight tracks during certain characterization times as well as a digital terrain model (DTM).
- Aircraft-specific data: They include the acoustic data and flight performance data of the aircraft and are an integral part of the calculation method.

Rules for determining airport-specific data and data formats to be used for this purpose are described in DIN 45689-2. The formats of the aircraft-specific data are described in Annex A and Annex B.

4.2 Airport data

4.2.1 Coordinate system

Basically the airport data contain in addition to the designation of the airport by the airport code of the International Civil Aviation Organization ICAO a description of the existing or planned runways as well as the taxiways.

The runways are described in a local Cartesian coordinate system (x, y, z) . This results from the UTM coordinates $(E_{\text{UTM}}, N_{\text{UTM}})$ for the date ETRS89 and elevation H_{DGM} in the digital terrain model DTM according to 6.3.1 as:

Da die für die Berechnung notwendigen Eingangsdaten im Regelfall nicht in diesem lokalen Koordinatensystem vorliegen, müssen sie zunächst transformiert werden. Hieraus resultieren geringfügige Änderungen bei der Abbildung von Richtungs- und Längenangaben. Die im Folgenden verwendeten Begriffe sind, sofern nicht anders angegeben, stets auf das lokale kartesische Koordinatensystem bezogen.

4.2.2 Start- und Landebahnen

Bild 1 zeigt die Lage einer Start- und Landebahn. Das geometrische Objekt „Start-/Landebahn“ kann vollständig durch die Koordinaten ihres Anfangspunktes P_A und ihres Endpunktes P_E sowie die Bahnbreite beschrieben werden. Daraus ergeben sich die Bahnlänge L , die Bahnrichtung ξ_0 sowie der Bahnmittelpunkt, dem der Bahnbezugspunkt P_B zugeordnet wird. Die Angaben dieser Punkte sind in demselben Bezugssystem wie die Angabe des Flugplatzbezugspunktes vorzunehmen. Die Abstände von Startpunkt P_S und Landeschwelle P_L vom Anfangspunkt P_A sind ebenfalls (ggf. durch den Wert 0) anzugeben.

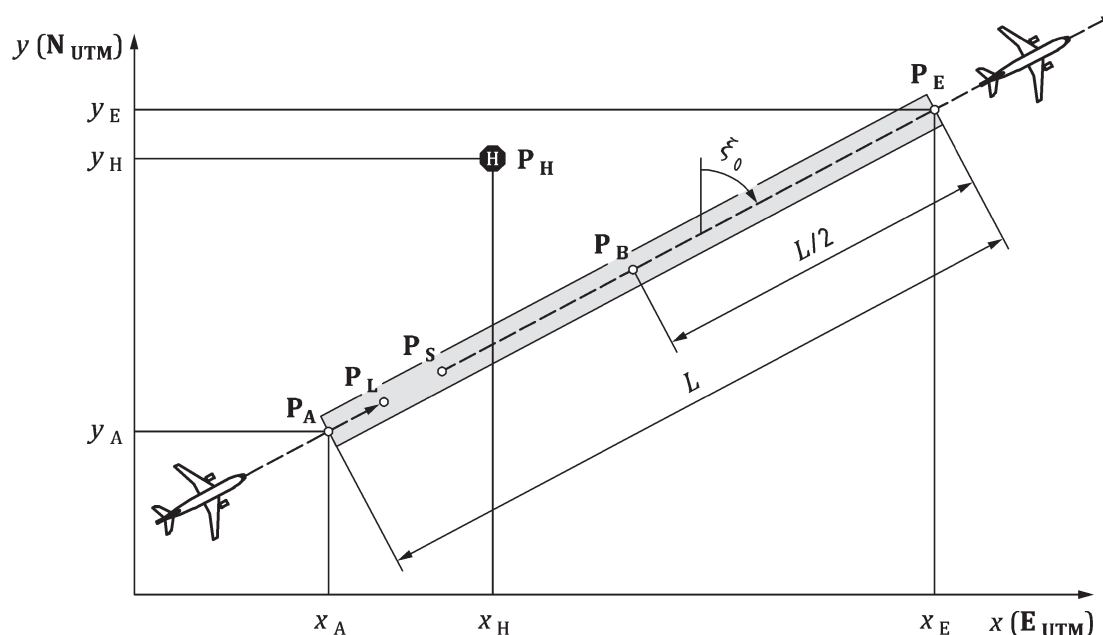
Die Koordinaten von Bahnanfang und -ende werden im Rahmen des Verfahrens zur Genehmigung eines Flugplatzes vermessen. Beide Punkte liegen auf der Bahnmittellinie. Wenn keine Vermessungsdaten vorliegen, können zur Bestimmung des Bahnmittelpunktes bzw. Bahnbezugspunktes auch die in das lokale Koordinatensystem transformierten Koordinaten von Landeschwelle und Startpunkt verwendet werden.

Since the necessary input data for this calculation do not usually exist in this local coordinate system, they shall be converted first. Usually, this results in minor changes in case of presentation of direction and length information. Unless otherwise specified, the terms used in the following are always related to the local Cartesian coordinate system.

4.2.2 Runways

Figure 1 shows the position of a runway. The geometric object “runway” can be completely described by the coordinates of its origin P_A , its end-point P_E and the width of runway. This results in the runway length L , the runway direction ξ_0 as well as the runway centre to which the runway reference point P_B is allocated. The locations of these points shall be specified in the same reference system as the information of the airport reference point. The distances of start of roll P_S and landing threshold P_L from the origin P_A shall also be specified (by value 0, if appropriate).

The coordinates of the start and end of the runway are measured during the approval procedures of an airport. Both points are located on the runway centreline. If no measurement data are available, the coordinates of landing threshold and start of roll (converted into the local coordinate system) can be used for the determination of the runway centre or the runway reference point.



Legende

P_A	Bahnanfang
P_E	Bahnende
P_B	Bahnbezugspunkt
P_L	Landeschwelle
P_S	Startpunkt
P_H	Hubschrauberstart-/Landestelle
x, y	UTM-Koordinaten (East, North)
L	Bahnlänge
ξ_0	Bahnrichtung

ANMERKUNG Die Bahnrichtung wird im Uhrzeigersinn gegen die Richtung der y -Achse (N_{UTM}) gemessen.

Key

P_A	start of runway
P_E	end of runway
P_B	runway reference point
P_L	landing threshold
P_S	start of roll
P_H	helipad
x, y	UTM coordinates (east, north)
L	length of runway
ξ_0	direction of runway

NOTE The runway direction is measured clockwise against the direction of the y -axis (N_{UTM})

Bild 1 — Beschreibung einer Start- und Landebahn im lokalen Koordinatensystem

Figure 1 — Description of a runway within the local coordinate system

ANMERKUNG 1 Die Breite der Start- und Landebahn wird lediglich benötigt, wenn die Bahn zeichnerisch dargestellt wird. Sie kann dem Luftfahrthandbuch entnommen werden.

NOTE 1 The width of the runway is only necessary if the runway is graphically depicted. It can be found in the Aeronautical Information Publication.

ANMERKUNG 2 Die Bezeichnung der Bahn enthält die Bahnrichtung. Sie wird durch eine zweistellige Ganzzahl $\xi_0/10$ angegeben, die mathematisch gerundet ist.

NOTE 2 The designation of the runway contains the runway direction. It is indicated by a mathematically rounded double-digit integer $\xi_0/10$.

Beispiel $\xi_0 = 18^\circ$ entspricht der Bahnrichtung 02, $\xi_0 = 234^\circ$ entspricht Bahnrichtung 23. Bei einem Parallelbahnsystem werden die Bahnen zusätzlich durch ihre Lage zueinander (rechts, links, center) gekennzeichnet. Beispiel 23R bezeichnet die rechte Bahn eines Parallelbahnsystems in Richtung 23 und 23L die linke Bahn.

Example $\xi_0 = 18^\circ$ corresponds to runway direction 02, $\xi_0 = 234^\circ$ to runway direction 23. For a parallel runway system the runways are additionally identified by their position relative to each other (right, left, centre). Example 23R describes the right runway of a parallel runway system in direction 23 and 23L describes the left runway.

ANMERKUNG 3 Eine Start- und Landebahn kann jeweils in der Bahnrichtung ξ_0 bzw. der Gegenrichtung ξ_0+180° betrieben werden.

Beispiel Eine in Ost-West-Richtung orientierte Bahn wird also durch Betriebsrichtungen 09 (Ost-Betriebsrichtung) bzw. 27 (West-Betriebsrichtung) charakterisiert. Dabei sind die Anfangs- und Endpunkte der Bahnen jeweils vertauscht. Der Anfangspunkt liegt an demjenigen Ende der Bahn, das einem in Betriebsrichtung anfliegenden Luftfahrzeug am nächsten ist.

Eine Immissionsberechnung für Fluggeräusche basiert immer auf einer Bewegung eines einzelnen Luftfahrzeugs auf einer festgelegten Flugstrecke. Diese wird einer Start-/Landebahn über das Objekt „bahnbezogene Betriebsrichtung“ zugeordnet. Dieses Objekt liefert folgende Informationen:

- Betriebsrichtung;
- Betriebsart „Start“ oder „Landung“;
- Lage des Startpunktes P_S für die Betriebsart „Start“ bzw. der Landeschwelle P_L für die Betriebsart „Landung“.

Die Anzahl der einem Objekt „Start-/Landebahn“ zuzuordnenden bahnbezogenen Betriebsrichtungen ergibt sich aus der Anzahl der möglichen Kombinationen von Betriebsrichtung, Betriebsart und Startpunkt bzw. Landeschwelle.

In der Regel besitzt eine Bahn vier bahnbezogene Betriebsrichtungen. Durch betriebliche Einschränkungen (z. B. Auslegung als reine Startbahn) können allerdings auch weniger als vier bahnbezogene Betriebsrichtungen festgelegt sein. Jeder zusätzliche Startpunkt (z. B. für sogenannte „Intersection-Takeoffs“) und jede zusätzliche Landeschwelle (z. B. beim Vorliegen von sogenannten „Displaced Thresholds“) legt eine zusätzliche bahnbezogene Betriebsrichtung fest.

4.2.3 Start- und Landestellen für Hubschrauber

Eine Start- und Landestelle für Hubschrauber (P_H in Bild 1) wird durch ihre UTM-Koordinaten (x_H, y_H) beschrieben.

NOTE 3 Runways can be operated in both, runway direction ξ_0 and in opposite direction ξ_0+180° .

Example A runway oriented to an east-west direction is characterized by the operation directions 09 (operation direction towards the east) or 27 (operation direction towards the west). For this purpose the start and end points of the runways are being interchanged, respectively. The runway start is at the end of the runway which is nearest to an approaching aircraft in operation direction.

An immission calculation for aircraft noise is always based on a movement of a single aircraft on a specified flight track. This is allocated to a runway via the object “runway operation direction”. This object provides the following information:

- operation direction;
- mode of operation “departure” or “approach”;
- position of the start of roll P_S for the mode of operation “departure” or landing threshold P_L for the mode of operation “approach”.

The number of the runway operation directions to be allocated to an object “runway” stems from the number of possible combinations of operation direction, mode of operation and start of roll or landing threshold.

A runway usually consists of four runway operation directions. However, due to operational restrictions (e.g. design as a pure departure runway) fewer than four runway operational directions can be specified, however. Each additional start of roll (e.g. for so-called “intersection takeoffs“) and each additional landing threshold (e.g. in the presence of so-called “displaced thresholds“) specifies an additional runway operation direction.

4.2.3 Helipads

A helipad (P_H in Figure 1) is described by its UTM coordinates (x_H, y_H).

4.2.4 Abstellpositionen für Luftfahrzeuge

Für die Berechnung der Immissionen durch boden-gebundene Operationen von Luftfahrzeugen (Betrieb von Hilfstriebwerken (Auxiliary Power Units, APU) sowie Rollvorgänge) werden die lokalen Koordinaten der Abstellpositionen P_P der Luftfahrzeuge benötigt. Diese werden durch ihre UTM-Koordinaten beschrieben und entsprechend den Vorgaben in DIN 45689-2 erfasst.

4.2.5 Beschreibung von Rollwegen

In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung kann es erforderlich sein, auch die Rollvorgänge auf dem Flugplatzgelände zu modellieren. Der Rollverkehr auf den Flugbetriebsflächen erfolgt in der Praxis für zum Start rollende Luftfahrzeuge von der Abstellposition zum Startpunkt (Taxi-Out) und für gelandete Luftfahrzeuge vom Abrollpunkt zur Abstellposition (Taxi-In). Bild 2 veranschaulicht die entsprechende Geometrie.

Rollwege werden in der Bezugsebene durch eine Abfolge von lokalen Punktkoordinaten (x_i, y_i) beschrieben. Diese Punktfolge ergibt sich entweder direkt aus einer für diesen Zweck aufbereiteten Aufzeichnung des Flugfeldüberwachungsradars (Surface Movement Radar, SMR) oder sie wird aus einer Abfolge von geraden Segmenten und Kreisbögen abgeleitet. Die zur 3-dimensionalen Beschreibung eines Emissionspunktes auf dem Rollweg benötigte z-Koordinate ergibt sich aus dem Digitalen Höhenmodell und der Höhe der Quelle über Grund.

Zur Beschreibung der Rollwege wird ein Rollwegkoordinatensystem (σ, ρ) verwendet, das aus einer Bogenlängenkoordinate σ und einer darauf senkrecht stehenden Lot-Koordinate ρ besteht. σ wird längs eines Rollweges ausgehend vom Startpunkt bzw. vom Abrollpunkt in Richtung auf die Abstellposition gemessen, kann also nur positiv werden (siehe Bild 2 (A)). Die Lot-Koordinate ρ wird auf die lokale Richtung des Rollweges bezogen und nach rechts positiv gerechnet.

Die Rollgeschwindigkeit V_{Roll} ist konstant. Sie ergibt sich aus dem Anflug-Datenblatt des zugehörigen Luftfahrzeugs. Die Emissionen werden längs des Rollweges ebenfalls als konstant angenommen. Sie ergeben sich aus dem akustischen Anflug-Datensatz des Luftfahrzeugs. Die entsprechenden Datenblattformate sind im Anhang A beschrieben.

4.2.4 Aircraft parking positions

The local coordinates of the parking positions P_P of the aircraft are necessary to calculate the immissions caused by ground-based operations of aircraft (operation of auxiliary power units (APUs) as well as taxiing). They are described by their UTM coordinates and recorded according to the specifications in DIN 45689-2.

4.2.5 Description of taxiways

Depending on the task it can be necessary to also model taxiing on the airport premises. In practice, the taxiing traffic in aircraft operation areas is due to aircraft taxiing from the parking position to the runway at start of roll (taxi-out) and landed aircraft from the taxi-in point to the parking position (taxi-in). Figure 2 shows an overview over the corresponding geometry.

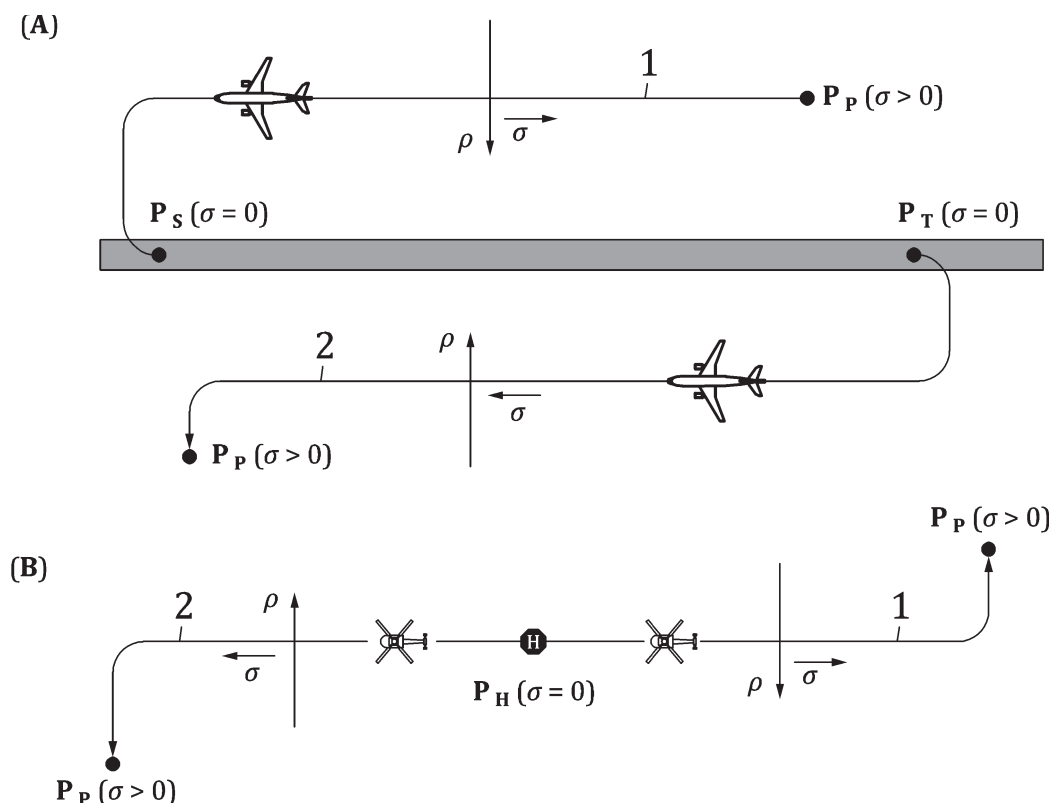
Taxiways are described by a sequence of local point coordinates (x_i, y_i) in the reference plane. This point sequence results either directly from a record of the surface movement radar (SMR) directly prepared for this purpose or is derived from a sequence of straight segments and arcs. The z-coordinate necessary for a 3 dimensional description of an emission point on the taxiway results from the digital elevation model and the height of the source above ground.

A taxiway coordinate system (σ, ρ) consisting of arc length coordinate σ and a vertical perpendicular coordinate ρ is used to describe of the taxiways. σ is measured along a taxiway starting from the start of roll or taxi-in point towards parking position, i.e. it can only yield a positive value (see Figure 2 (A)). The perpendicular coordinate ρ is based on the local direction of the taxiway and is calculated positively to the right.

The taxiing-speed V_{Roll} is constant. It results from the approach data sheet of the associated aircraft. The emissions along the taxiway are also presumed to be constant. They result from the acoustic approach dataset of the aircraft. The corresponding data sheet formats are described in Annex A.

ANMERKUNG Das Modellieren von Rollvorgängen kann bei großen Flughäfen sehr aufwändig und mit einem hohen Rechenaufwand verbunden sein. In vielen Fällen liefern Rollvorgänge aber nur einen vernachlässigbaren Beitrag zur Gesamtimmission.

NOTE The modelling of taxiing can be very complex at large airports and associated with a long computation time. In many cases taxiing only provides a negligible contribution to total immission, however.



Legende

- 1 Abflug-Rollweg / -Hovering-Weg
- 2 Anflug-Rollweg/ -Hovering-Weg
- σ Bogenlängenkoordinaten längs eines Rollwegs
- ρ Lot-Koordinate senkrecht zum Rollweg

P_P Abstellposition

P_T Abrollpunkt

P_S Startpunkt

P_H Hubschauberstart/-landestelle

Key

- 1 departure taxiway/ -hovering-way
- 2 approach taxiway/ -hovering-way
- σ arc length coordinates along a taxiway
- ρ perpendicular coordinate vertical to the taxiway

P_P parking location

P_T taxi-in point

P_S start of roll

P_H helipad

Bild 2 — Geometrische Beschreibung der Rollwege (A) und Hovering-Wege (B)

Figure 2 — Geometrical description of the taxiways (A) and hovering ways (B)

4.2.6 Hovering von Hubschraubern

Hubschrauber schweben oder rollen von ihren Abstellplätzen P_P bis zu den Hubschrauberstart/landestellen P_H , sogenannte Hovering-Flüge. Analog zur Beschreibung der Rollwege werden die Hovering-Wege durch ein Koordinatensystem (σ, ρ) beschrieben, das von der Hubschrauberstart/landestelle ausgeht (siehe Bild 2 (B)).

4.2.6 Hovering of helicopters

Helicopters are hovering or rolling from the parking positions P_P to the helipads P_H . The corresponding hovering ways are described analogous to the taxiways by a coordinate system (σ, ρ) with origin at the helipad (see Figure 2 (B)).

4.3 Beschreibung von Flugstrecken

4.3.1 Allgemeines

Es sind alle Ab- und Anflugstrecken sowie gegebenenfalls die Platzrunden zu beschreiben. Dabei ist jede Ab- und Anflugstrecke sowie Platzrunde einzeln zu erfassen. Die Beschreibung der Ab- und Anflugstrecken und der Platzrunden erfolgt abschnittsweise. Der erste Abschnitt beginnt jeweils am Bahnbezugspunkt; die weiteren Abschnitte beginnen jeweils am Ende des vorhergehenden Abschnitts. Der letzte Abschnitt endet beim Verlassen des Einflussbereiches des Flugplatzes bzw. bei Platzrunden am Ausgangspunkt (Bahnbezugspunkt). Bei Anflugstrecken und Platzrunden wird die lokale Richtung ξ der Flugstrecke entgegen der Flugrichtung beschrieben.

4.3.2 Streckenkoordinatensystem

Flugstrecken werden in der Bezugsebene durch eine Abfolge von lokalen Punktkoordinaten (x_i, y_i) beschrieben. Diese Punktfolge

- ergibt sich entweder aus einer für diesen Zweck aufbereiteten Flugverlaufsdaten oder
- wird aus einer Streckenbeschreibung in Form einer Abfolge von geraden Segmenten und Kreisbögen abgeleitet.

Die Datenformate für die Beschreibung von Flugstrecken sind in DIN 45689-2 angegeben.

4.3 Flight track descriptions

4.3.1 General

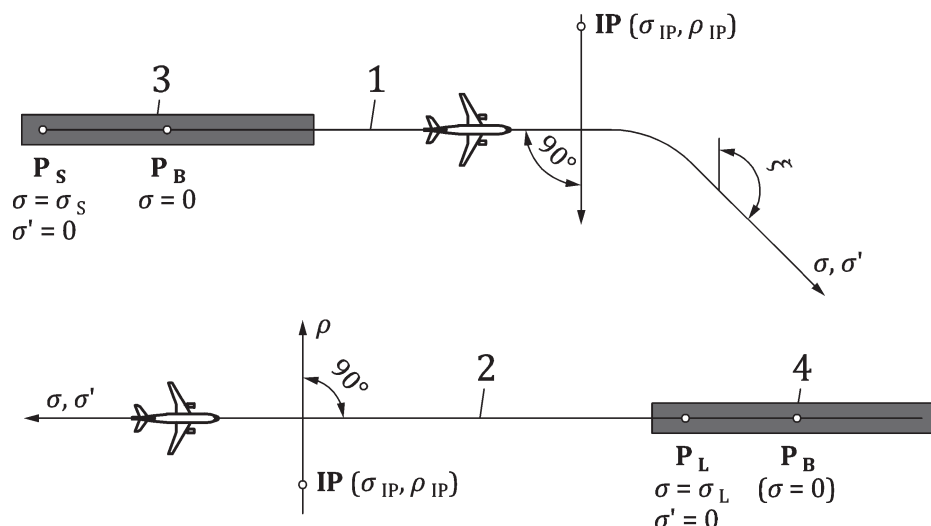
All departure and arrival tracks and circuit patterns, if appropriate, shall be described. For this purpose each departure and arrival track and circuit pattern shall be recorded individually. The description of the departure and arrival tracks and the circuit patterns is done in segments. In each case, the first segment begins at the runway reference point; each further segment begins at the end of the previous segment. The final segment ends upon exiting the area of influence of the airport or, for circuit patterns, at the point of origin (runway reference point). For arrival tracks and circuit patterns, the local direction ξ of the flight track is described against the flight direction.

4.3.2 Track coordinate system

Flight tracks are described in the reference plane by a sequence of local point coordinates (x_i, y_i) . This point sequence

- results either from trajectory data prepared for this purpose; or
- is derived from a track description by a sequence of straight segments and arcs.

The data formats for the description of flight tracks are specified in DIN 45689-2.



Legende

1	Abflugstrecke
2	Anflugstrecke
3	Startbahn
4	Landebahn
σ, σ'	Bogenlängenkoordinaten längs der Flugstrecke
ρ	Lot-Koordinate senkrecht zur Flugstrecke
ξ	Richtung der Flugstrecke
P_B	Bahnbezugspunkt
P_L	Landeschwelle
P_S	Startpunkt
IP	Immissionspunkt

ANMERKUNG Die Bahnrichtung wird im Uhrzeigersinn gegen die Richtung der y -Achse (N_{UTM}) gemessen.

Key

1	departure track
2	arrival track
3	departure runway
4	approach runway
σ, σ'	arc length coordinates along the flight track
ρ	perpendicular coordinate vertical to the flight track
ξ	direction of the flight track
P_B	runway reference point
P_L	landing threshold
P_S	start of roll
IP	immission point

NOTE The runway direction is measured clockwise against the direction of the y -axis (N_{UTM}).

Bild 3 — Streckenkoordinatensystem für An- und Abflugstrecken

Wird eine Flugstrecke durch eine Abfolge von Geraden und Kreisbögen beschrieben, so ergibt sich die Anfangsrichtung aus der Richtung der Start- und Landebahn. Für Hubschrauberstrecken ist die Abflugrichtung von der Hubschrauberstart- und -landestelle für jede Flugstrecke im Datenerfassungssystem explizit anzugeben; näheres siehe DIN 45689-2.

Zur Beschreibung der Lage eines Immissionspunktes $IP(x_I, y_I, z_I)$ relativ zu einer Flugstrecke wird das Streckenkoordinatensystem (σ, ρ) verwendet (siehe Bild 3). Dabei ist σ die ab Bahnbezugspunkt P_B längs der Flugstrecke gemessene Bogenlänge. Diese Koordinate wird in wegführender Richtung von der Start- und Landebahn positiv gezählt. Für Hubschrauberstrecken bezieht sich die Bogenlänge auf die Hubschrauberstart-/landestelle P_H .

Figure 3 — Flight-track coordinate system for arrival and departure tracks

If a flight track is described by a sequence of straight lines and arcs its initial direction results from the direction of the runways. For helicopter tracks the departure direction of the helicopter departure and approach point for each flight track shall be explicitly indicated in the data acquisition system, for more details, see DIN 45689-2.

The track coordinate system (σ, ρ) is used for the description of the position of an immission point $IP(x_I, y_I, z_I)$ relative to a flight track (see Figure 3). σ is the arc length measured along the flight track from runway reference point P_B . This coordinate is counted positively in a direction leading away from the runways. For helicopter tracks, the arc length coordinate σ is originating from the helipad P_H .

Die Lot-Koordinate ρ ergibt sich durch Fällen eines Lots auf die Flugstrecke. Sie wird auf die lokale Richtung der Flugstrecke bezogen und nach rechts positiv gezählt.

Der Immissionspunkt **IP** hat im Streckenkoordinatensystem die Koordinaten (σ_I, ρ_I, z_I) . Die z -Koordinate ergibt sich aus dem DGM und der Höhe des Immissionspunktes über Grund.

Bei der Segmentierung von Flugbahnen wird der Flugstrecke ein vertikales Höhenprofil überlagert. Dieses ist bei Abflügen auf den Startpunkt **P_S** und bei Anflügen auf die Landeschwelle **P_L** bezogen. Die zugehörigen Flugleistungsparameter werden bei Abflugstrecken auf eine relative Bogenlängenkoordinate $\sigma' = \sigma - \sigma_S$ und bei Anflugstrecken auf $\sigma' = \sigma - \sigma_L$ bezogen.

ANMERKUNG Da der Bahnbezugspunkt in Bahnmitte liegt, ist in der Regel der Wert σ_S negativ und der Wert σ_L positiv.

4.3.3 Modellieren der seitlichen Flugbahnstreuung durch standardisierte Flugkorridore

Die laterale Abweichung der Luftfahrzeuge von der vorgegebenen Flugstrecke wird durch einen Flugkorridor mit einer Korridorbreite $b(\sigma)$ modelliert. Die Korridorbreite ist eine stückweise lineare Funktion von σ .

Die Verteilung der Flugbewegungen über den Flugkorridor wird durch eine Aufteilung des Korridors in eine ungerade Anzahl von gleich breiten Teilkorridoren realisiert. Die Mittellinie eines Teilkorridors wird als Flugweg bezeichnet.

Die Flugwege und die zugehörigen Teilkorridore werden ausgehend von der Flugstrecke nach außen fortlaufend nummeriert: Die Flugstrecke als Korridormittellinie bekommt die Nummer 1, die links zur Richtung der Flugstrecke liegenden Flugwege erhalten geradzahlige, die rechts davon liegenden Flugwege ungeradzahlige Nummern. Bild 4 zeigt dies beispielhaft für eine Zerlegung in drei Teilkorridore.

Für das Modellieren des Flugkorridors müssen 15 Teilkorridore verwendet werden. Die Verteilung der Flugbewegungen auf die zugehörigen Flugwege ist in Tabelle 1 dargestellt

The perpendicular coordinate ρ is obtained by dropping a perpendicular on the flight track. It is based on the local direction of the flight track and is counted positively rightward.

The immission point **IP** has the coordinates (σ_I, ρ_I, z_I) in the track coordinate system. The z coordinate results from the DTM and the elevation of the immission point above ground.

When segmenting flight paths the flight track is superimposed by a vertical altitude profile. This is related to the start of roll **P_S** for departures and to the landing threshold **P_L** for approaches. The associated flight performance parameters are related to a relative arc length coordinate $\sigma' = \sigma - \sigma_S$ for departure tracks and to $\sigma' = \sigma - \sigma_L$ for arrival tracks.

NOTE Since the runway reference point is in the runway centre value σ_S is usually negative and value σ_L is positive.

4.3.3 Modelling of the lateral flight path spreading by standardized flight corridors

The lateral deviation of the aircraft from the idealized flight track is modelled by a flight corridor with a corridor width $b(\sigma)$. The corridor width is a piecewise linear function of σ .

The distribution of the flight movements across the flight corridor is realized by a subdivision of the corridor into an odd number of equally wide sub-corridors. The centre line of a sub-corridor is referred to as a sub-track.

The sub-tracks and the associated sub-corridors are consecutively numbered originating from the flight track going outward: the flight track as the corridor centre line receives the number 1, the sub-tracks located on the left in the direction of the flight track receive even numbers, and the sub-tracks located to the right receive odd numbers. Figure 4 depicts such an example for a subdivision into three sub-corridors.

For the modelling of the flight corridor 15 sub-corridors shall be used. The distribution of the aircraft movements on the corresponding 15 sub-tracks is shown in Table 1.

Tabelle 1 — Verteilung der Flugbewegungen auf 15 Flugwege
Table 1 — Distribution of aircraft movements on 15 sub-tracks

Flugweg Nr. / Sub-track No.	Anteil an Flugbewegungen / Percentage of aircraft movements
1	12,48 %
2 / 3	12,02 %
4 / 5	10,76 %
6 / 7	8,80 %
8 / 9	6,39 %
10 / 11	3,87 %
12 / 13	1,65 %
14 / 15	0,27 %

Die in Tabelle 1 ausgewiesenen Werte ergeben sich durch Integration der Funktion

The values depicted in Table 1 are the result of an integration of the function

$$v(\eta) = 30 \cdot \left(\frac{1}{4} - \eta^2 \right)^2 \quad (8)$$

über die Teilkorridor Grenzen. Dabei ist

over the sub-corridor boundaries, where

$v(\eta)$ die Verteilungsfunktion der Anzahl der Flugbewegungen im Flugkorridor;

$v(\eta)$ is the distribution function of the number of flight movements within the flight corridor;

η = ρ/b die mit der Korridorbreite normierte Längenkoordinate auf der Senkrechten zur Flugstrecke
 $(-1/2 \leq \eta \leq +1/2)$;

η = ρ/b is the length coordinate perpendicular to the flight track normalized with the corridor width
 $(-1/2 \leq \eta \leq +1/2)$;

b die Korridorbreite der Flugstrecke als Funktion der Bogenlängenkoordinate σ ;

b is the corridor width of the flight track as a function of the arc length coordinate σ ;

ρ die Längenkoordinate auf der Senkrechten zur Flugstrecke.

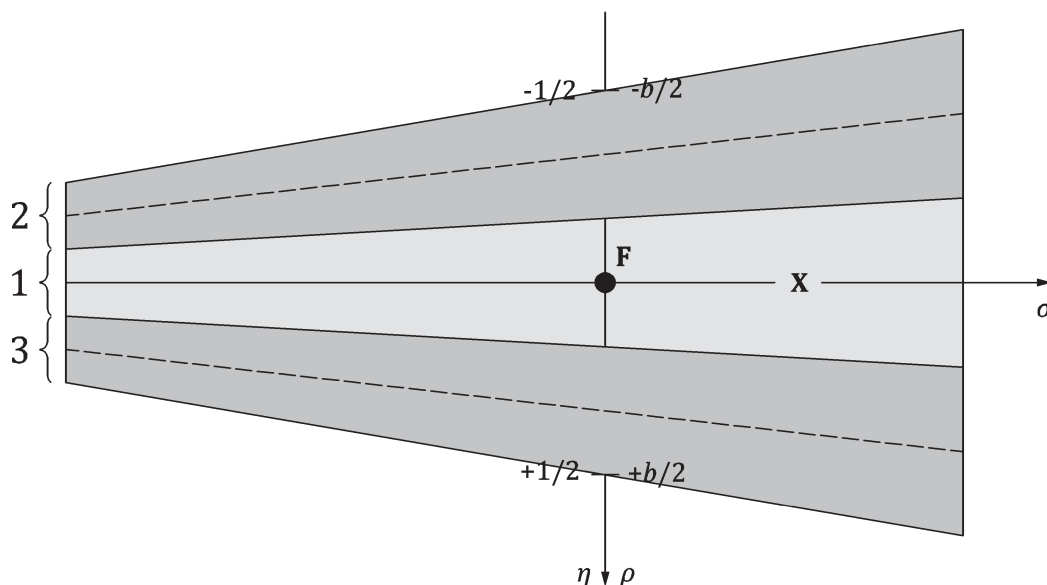
ρ is the length coordinate perpendicular to the flight track.

Diese Funktion approximiert eine Normalverteilung. Allerdings ergibt ihr Integral über den Korridor den Wert 1.

This function is an approximation of a normal distribution. However, its integral across the corridor yield a value of 1.

ANMERKUNG 1 Der prozentuale Anteil der Bewegungen auf Flugweg 1 wäre bei einer Genauigkeit von zwei Stellen 12,46 %. Damit die Summe über alle Teilkorridore 100 % ergibt, wurde der Wert auf 12,48 % gesetzt.

NOTE 1 The percentage of movements on sub-track 1 would be 12,46 % for an accuracy of two digits. It is set to 12,48 % to guarantee that the sum over all sub-corridors equals 100 %.



Legende

	Flugkorridor mit Teilkorridoren
1	Teilkorridor 1
2	Teilkorridor 2
3	Teilkorridor 3
X	Flugstrecke
F	Fußpunkt des vom Immissionspunkt auf die Flugstrecke gefällten Lots
σ	Bogenlänge der Flugstrecke
ρ	Längenkoordinate auf der Senkrechten zur Flugstrecke durch den Fußpunkt F
b	Korridorbreite
η	mit der Korridorbreite normierte Längenkoordinate auf der Senkrechten zur Flugstrecke

ANMERKUNG Gezeigt wird eine beispielhafte Zerlegung in drei Teilkorridore.

Key

	flight corridor with sub-corridors
1	sub-corridor 1
2	sub-corridor 2
3	sub-corridor 3
X	flight track
F	base point of the perpendicular dropped onto the flight track from the immission point
σ	arc length of the flight track
ρ	length coordinate perpendicular to the flight track through base point F
b	corridor width
η	the length coordinate perpendicular to the flight track normalized with the corridor width

NOTE Shown is an exemplary division in three sub-corridors.

Bild 4 — Beschreibung eines Flugkorridors durch Teilkorridore und Flugwege

Figure 4 — Description of a flight corridor by sub-corridors and sub-tracks

Die Verteilung der Flugbewegungen innerhalb des Flugkorridors und die Korridorbreite kann durch eine Analyse von Flugverlaufsdaten bestimmt werden. Im Fall von prognostizierten Flugbetriebsfällen kann auf repräsentative Radardaten aus vergangenen Jahren zurückgegriffen werden. Alternativ kann einen standardisierter Wert für die Korridoraufweitung verwendet werden, z. B. eine 20 %ige Aufweitung nach

The distribution of the flight movements within the flight corridor and the corridor width can be estimated by an analysis of flight trajectory data. In the case of forecasted air traffic scenarios representative radar data from previous years can be used. As an alternative a standardized value for the corridor expansion can be used, e.g. an expansion by 20 % according to

$$b(\sigma) = \begin{cases} 0,2 (\sigma - \sigma_0) & \text{für/for } \sigma > \sigma_0 \\ 0 & \text{für/for } \sigma \leq \sigma_0 \end{cases} \quad (9)$$

Die Korridoraufweitung beginnt bei der Bogenlängenkoordinate σ_0 . Diese liegt beim Start am Abhebe- und bei der Landung am Aufsetzpunkt.

Der Ansatz standardisierter Flugkorridore ist hauptsächlich dann zu verfolgen, wenn keine Flugverlaufsdaten verfügbar sind, mit deren Hilfe die seitliche Abweichung der Flüge von einer festgesetzten Flugstrecke modelliert werden kann. Das ist z. B. bei prognostizierten Flugbetrieben der Fall.

ANMERKUNG 2 Der beim Teilkorridorverfahren verwendete Ansatz einer linearen Korridoraufweitung führt in der Regel dazu, dass beim Übergang zwischen einzelnen Flugwegsegmenten Knicke auftreten, d. h. Sprünge in der Flugwegrichtung entstehen. Lediglich die Flugstrecke zeigt — bei sachgerechter Definition — einen stetigen Verlauf.

4.3.4 Modellieren der Flugbahnstreuung durch Flugverlaufsdaten

4.3.4.1 Eigenschaften von Radardaten

Flugverlaufsdaten werden durch Datensätze repräsentiert, die mindestens aus einer eindeutigen Kennung des Fluges sowie einer Abfolge von Parametersätzen bestehen, die jeweils einen Punkt auf der Flugbahn beschreiben. Ein solcher Parametersatz enthält mindestens drei räumliche Koordinaten (x , y , h) sowie eine Zeitkoordinate t . In der Regel sind noch redundante Informationen wie Geschwindigkeit V oder Steigrate dh/dt vorhanden, mit denen die Daten auf Konsistenz geprüft werden können.

Informationen über die Konfiguration des Luftfahrzeugs und die Triebwerksleistung sind derzeit in Flugverlaufsdaten nicht enthalten. Dies schränkt ihre Verwendbarkeit für Fluglärmrechnungen stark ein. Es werden nur geometrische Informationen bereitgestellt. Daher können die Emissionseigenschaften von Luftfahrzeugen nicht direkt aus den Flugverlaufsdaten bestimmt, sondern nur über flugmechanische Näherungsrechnungen abgeleitet werden. Diese erfordern aber zusätzliche Angaben, wie aerodynamische Beiwerte und die aktuelle Luftfahrzeugmasse, die in der Regel nicht bekannt sind.

ANMERKUNG In der Praxis kann häufig nicht jeder Flugbewegung ein Flugverlaufsdatensatz zugeordnet werden. In solchen Fällen werden die aus den Flugverlaufsdaten resultierenden Bewegungszahlen auf die realen Bewegungszahlen umgerechnet.

The corridor expansion starts at the arc length coordinate σ_0 . For the departure this is at the liftoff point and for the approach it is at the touch-down point.

The approach of standardized flight corridors is used primarily in those cases where no flight trajectory data are available that can aid in modelling the lateral deviation of the flights from a specified flight track. This is the case for e.g. forecasted flight operations.

NOTE 2 The approach of a linear corridor expansion used for the sub-corridor method usually results in the appearance of kinks at transitions between individual sub-track segments, i.e. discontinuities in the sub-track direction. When defined appropriately, only the flight track shows a continuous course.

4.3.4 Modelling of the flight path spreading by trajectory data

4.3.4.1 Characteristics of radar data

Flight trajectory datasets are represented by datasets consisting of at least one unique identifier of the flight operation as well as a sequence of parameter sets describing each point on the flight path. Such a parameter set contains at least three space coordinates (x , y , h) as well as a time coordinate t . Usually, redundant information such as speed V or climb rate dh/dt is available by which allows the data to be checked for consistency.

Information on the aircraft configuration and the engine power are currently not included in the trajectory datasets. This significantly reduces their usability for aircraft noise calculations. Only geometric information is provided. Therefore the emission characteristics of aircraft cannot be determined directly from the flight trajectory datasets but can only be derived via flight-mechanical approximations. These require additional data, however, such as aerodynamic coefficients and the actual aircraft mass which are usually unknown.

NOTE In practice, it is often not possible to assign a flight trajectory (record) to each flight movement. In such cases, the number of flight movements resulting from radar data is converted to the real number of movements.

4.3.4.2 Modellieren der Flugbahnstreuung durch 2D-Auswertung von Flugverlaufsdaten

Im einfachsten Fall werden lediglich die x - und y -Koordinaten der Flugverlaufsdaten ausgewertet. Aus diesen wird die Bogenlängenkoordinate σ im Streckenkoordinatensystem ermittelt. Die Werte für die Flughöhe und die Emissionseigenschaften charakterisierenden Parameter werden aus den An- und Abflugprofilen der Datengrundlage entnommen. Dabei können zwei Fälle unterschieden werden:

- a) jeder Flugverlaufsdatensatz geht separat als Flugprofil in die Berechnung ein, d. h. jeder Einzelflug wird modelliert;
- b) Flugverlaufsdaten werden für einzelne Luftfahrzeugtypen oder -gruppen zusammengefasst, d. h. entsprechend den in DIN 45689-2 beschriebenen Verfahren geeignet gruppiert. Dadurch ergibt sich eine luftfahrzeugspezifische Zerlegung in Flugwege bzw. Teilkorridore mit einer längs der Flugstrecke variablen Verteilungsfunktion $v(\eta, \sigma)$.

4.3.4.3 3D/4D-Modellieren von Einzelflügen

Bei der Verwendung von Flugverlaufsdaten ist es naheliegend, den räumlichen Verlauf der realen Flugbahn zu modellieren, also die Koordinaten x, y und h zu verwenden (3D-Modellieren). Wertet man zusätzlich die Fluggeschwindigkeit $V(\sigma)$ aus, so lässt sich der zeitliche Flugbahnverlauf beschreiben (4D-Modellieren).

Wie bei der 2D-Auswertung müssen auch hier Emission charakterisierende Parameter für Triebwerksleistung und ggf. Konfiguration aus entsprechenden Flugprofilen der Datengrundlage entnommen werden; im Fall der 4D-Modellieren zusätzlich der Verlauf der Fluggeschwindigkeit.

Ein Problem bei der Verwendung von Höhe und Geschwindigkeit aus Radardaten ist, dass diese in der Regel eine zeitliche Auflösung in der Größenordnung von etwa 5 s haben. Ein ziviles Strahlverkehrsflugzeug legt in diesem Zeitraum mehrere hundert Meter zurück. Damit können charakteristische Änderungen von Höhe und Geschwindigkeit, wie sie insbesondere während des Abflugs beim Übergang von Steig- zu Beschleunigungssegmenten auftreten, nur unzureichend modelliert werden.

4.3.4.2 Modelling of the flight path spreading by 2D evaluation of trajectory data

In the simplest case only the x - and y -coordinates of the trajectory data are analysed. From these data the arc length coordinate σ in the track coordinate system is determined. The values of altitude and the parameters defining the emission characteristics are taken from the arrival and departure profiles of the aircraft data base. Two cases can be distinguished here:

- a) each trajectory dataset is included separately in the calculation as a flight profile, i.e. each individual flight is modelled;
- b) flight trajectory data are clustered for individual aircraft types or groups, i.e. compiled in an appropriate way according to the methods described in DIN 45689-2. This results in an aircraft-specific decomposition in sub-tracks or sub-corridors with a variable distribution function $v(\eta, \sigma)$ along the flight track.

4.3.4.3 3D/4D modelling of individual flights

When using flight trajectory data it is obvious to model the spacial course of the real flight path, hence to use the coordinates x, y and h (3D modelling). If additionally the flight speed $V(\sigma)$ is analyzed the temporal flight path can be described (4D modelling).

As with the 2D-evaluation the parameters characterizing the emission, i.e. engine power and aerodynamic configuration, where appropriate, shall be taken from the corresponding flight profiles of the data base, in the case of 4D modelling additionally from the course of the flight speed.

One problem when using altitude and speed from radar data is that they usually have a temporal resolution in the order of approximately 5 s. A commercial jet aircraft travels several hundred meters in this period. As a result characteristic modifications of height and speed which occur in particular during departure at the transition from climb to acceleration segments can only be insufficiently modelled.

4.4 Berechnung von Flugprofilen

4.4.1 Grundlagen

Ein Flugprofil eines Luftfahrzeugs beschreibt den Verlauf von Flughöhe und -geschwindigkeit sowie Triebwerksleistung längs der relativen Bogenlängenkoordinate σ' . Der Höhenverlauf des Profils legt eine Abfolge von Punkten im Raum fest, die vom Luftfahrzeug passiert werden. Die Vertikal-komponente der Bahntrajektorie wird damit als eine Folge von linearen Segmenten beschrieben. Dieses Flughöhenprofil wird dann im Segmentierungsprozess mit dem segmentierten Flugstreckenverlauf zur segmentierten Flugbahn verschnitten (siehe 6.1).

Die einfachste Form eines Flughöhenprofils ist eine Abfolge von Segmenten, die bestimmte Flugphasen beschreiben (z. B. Beschleunigen auf der Startbahn, Steigflug, Sinkflug mit Leerlaufschub, Endanflug). Dabei ändern sich die Betriebsgrößen an den Segmentenden, längs des Segments werden sie linear interpoliert.

Je nach Art des verwendeten Berechnungsmodells kann noch die Angabe zusätzlicher Parameter, wie die Stellung der Hochauftriebshilfen oder des Fahrwerks, nötig sein (siehe Anhang E).

Berechnungsmodelle, die nach einem Zeitschrittverfahren arbeiten, zerlegen die Flugbahn in eine Abfolge von Punkten, die vom Luftfahrzeug in vorgegebenen Zeitintervallen passiert werden. Derartige Bahnen lassen sich auch aus segmentierten Flughöhenprofilen ableiten. Sie können allerdings auch auf andere Weise generiert werden, z. B. durch die Auswertung von Flügen in Flugsimulatoren oder die Analyse der Daten aus Flugschreibern (Flight Data Recorder, FDR).

4.4.2 Kategorien von Flugprofilen

Es werden zwei Kategorien von Flugprofilen unterschieden:

- a) *Fixpunktprofil*: Dies ist ein standardisiertes Flugprofil, das charakteristisch für ein bestimmtes Luftfahrzeug mit bekannter Masse ist. Es beschreibt einen Flug, der nach einer definierten Flugprozedur bei festen meteorologischen Randbedingungen auf einer geradlinig verlaufenden Flugstrecke durchgeführt wird. Fixpunktprofile setzen sich aus linearen Segmenten zusammen. Ein Beispiel für Fixpunkt-

4.4 Calculation of flight profiles

4.4.1 Principles

A flight profile of an aircraft describes the course of height and speed as well as the engine power along the relative arc length coordinate σ' . The altitude course of the profile specifies a sequence of points in space are being passed by an aircraft. The vertical component of the flight trajectory is thusly described as a succession of linear segments. In the segmentation process this altitude profile is then combined with the segmented flight track towards the segmented flight path (see 6.1).

The simplest form of an altitude profile is a sequence of segments describing certain flight phases (e.g. acceleration on the runway, climb, descent with idle thrust, final approach). These operational parameters change at the segment ends, and they are linearly interpolated along the segment.

Depending on the type of the used calculation model the specification of additional parameters, e.g. the position of the high-lift devices or of the landing gear, can be necessary (see Annex E).

Calculation models based on a time step procedure divide the flight path into a sequence of points which are passed by the aircraft in specified time intervals. Such paths can also be derived from segmented altitude profiles. They can also be generated in other ways, however, e.g. by evaluating data from flight simulators or through data analysis of flight data recorders (FDR).

4.4.2 Flight profile categories

Two flight profile categories are differentiated:

- a) *Fixed point profile*: This is a standardized flight profile characteristic for a certain aircraft with known mass. It describes a flight that is carried out according to a defined flight procedure under fixed meteorological conditions on a straight flight track. Fixed point profiles consist of linear segments. An example for fixed point profiles are the datasets used in the "Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen,

profile sind die in der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen, AzB“ verwendeten Datensätze.

- b) *Prozedurales Profil*: Es besteht ebenfalls aus Segmenten, die aber die Effekte der Luftfahrzeugmasse, der Flugstreckenführung sowie den Einfluss der Meteorologie auf die Flugbahn berücksichtigen. Das prozedurale Profil beschreibt eine Abfolge von Schritten bei der Durchführung eines Fluges. Jedes Segment wird — ausgehend vom Vorgängersegment — durch einen Zielwert beschrieben, z. B. eine zu erreichende Höhe oder Geschwindigkeit. Gleichzeitig werden Vorgaben für die Triebwerksleistung sowie die Konfiguration des Luftfahrzeugs gemacht.

Prozedurale Profile müssen mit Hilfe eines flugmechanischen Modells berechnet werden. Dafür werden eine Reihe von luftfahrzeugspezifischen Eingabedaten (z. B. aerodynamische Beiwerte) benötigt. Diese Daten können durch den Einsatz von Flugsimulatoren bestimmt oder aus dem Flight-Management-System (FMS) des Luftfahrzeugs abgeleitet werden. Dies ist allerdings mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

Vereinfachte prozedurale Profile für verschiedene Luftfahrzeuge liegen in der internationalen „Aircraft Noise and Performance Database“ (ANP) vor. Diese Daten werden auch für das vorliegende Dokument herangezogen. Datenformate für diese operationellen Kenngrößen werden im Anhang B beschrieben. Die Praxis hat in den letzten Jahren gezeigt, dass Ab- und Anflugprofile, die auf dieser Grundlage ermittelt werden, für Fluglärmrechnungen ausreichend sind. Wie beim Modellieren von Ab- und Anflügen durch prozedurale Profile vorzugehen ist, ist im Anhang C detailliert beschrieben.

Fixpunktprofile sind eine Untermenge der prozeduralen Profile, stellen also das Ergebnis einer prozeduralen Profilberechnung mit vorgegebenen Randbedingungen dar. Entsprechend können charakteristische Parameter eines Flugprofils für beide Varianten in den gleichen Datenformaten spezifiziert werden.

4.4.3 Luftfahrzeugfestes Koordinatensystem

Das luftfahrzeugfeste Koordinatensystem ist ein Polarkoordinatensystem, das die beiden Abstrahlwinkel ϑ und φ sowie die Ausbreitungsentfernung s festlegt (siehe Bild 5). In diesem System wird die

AzB“ (“Instructions on the Calculation of Noise Protection Areas”).

- b) *Procedural profile*: This also consists of segments, however, the effects of aircraft mass, flight track course, as well as the influence of meteorological conditions on the flight path are taken into account. The procedural profile describes a sequence of steps during the execution of a flight. Based on the previous segment, each following segment is described by a target value, e.g. a specific altitude or a speed that need to be reached. Simultaneously, specifications for the engine power as well as the configuration of the aircraft are set.

Procedural profiles shall be calculated with a flight-mechanical model. For this purpose a set of aircraft-specific input data (e.g. aerodynamic coefficients) is necessary. These data can be determined by using flight simulators or be derived from the flight management system (FMS) of the aircraft. This involves a considerable amount of effort, however.

Simplified procedural profiles for various aircraft are provided in the international “Aircraft Noise and Performance Database (ANP)”. These data are also used to support this document. Data formats for these operational parameters are described in Annex B. In recent years, practice has shown that departure and approach profiles, which are determined on such a basis, are sufficient for aircraft noise calculation purposes. Annex C describes in detail how to model departures and approaches using by procedural profiles.

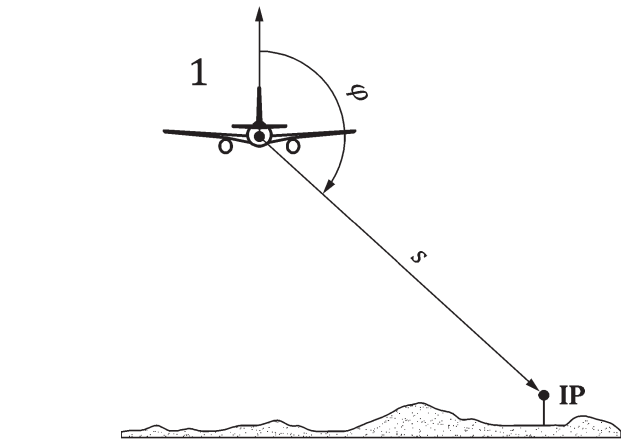
Fixed point profiles are a subset of the procedural profiles, therefore they represent the result of a procedural profile calculation with specified constraints. Accordingly characteristic parameters of a flight profile can be specified for both variants in the same data formats.

4.4.3 Aircraft body coordinate system

The aircraft-fixed coordinate system is a polar coordinate system specifying the two emission angles ϑ and φ as well as the propagation distance s (see Figure 5). Within this system the sound source

Schallquelle mit ihren Abstrahleigenschaften festgelegt.
Zur Ermittlung der beiden Abstrahlwinkel sind die Lage des Immissionspunktes sowie die Position und räumliche Orientierung des Luftfahrzeugs notwendig.

ANMERKUNG In die Ermittlung des Richtwirkungsmaßes nach 6.3.3 geht nur der longitudinale Abstrahlwinkel ϑ ein.



- Legende**
- 1 Luftfahrzeug
 - IP Immissionspunkt
 - ϑ longitudinaler Abstrahlwinkel
 - φ lateraler Abstrahlwinkel
 - s Ausbreitungsentfernung

Bild 5 — Luftfahrzeugfestes Koordinatensystem

5 Berechnung der Emissionspegel

5.1 Oktav-Schallleistungspegel

Der Schallleistungspegel $L_{W,n}$ für das n -te Oktavband ergibt sich für eine bestimmte Luftfahrzeugversion nach Gleichung (10) als

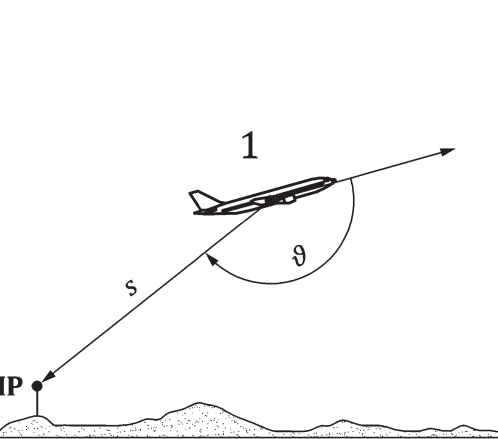
$$L_{W,n} = L_{W,ref,n} + \Delta L_{Subst} \tag{10}$$

Dabei ist

- $L_{W,ref,n}$ der Schallleistungspegel des Referenzluftfahrzeugtyps für die Oktavbandnummer n , in dB;
- ΔL_{Subst} die Substitutions-Pegelkorrektur für die betrachtete Luftfahrzeugversion und die betrachtete Betriebsart (Anflug oder Abflug) (siehe DIN 45689-2), in dB.

with its emission characteristics is specified.
The position of the immission point as well as the position and spatial orientation of the aircraft is necessary in order to determine both emission angles.

NOTE In the determination of the directivity correction according to 6.3.3, only the longitudinal emission angle ϑ is included.



- Key**
- 1 aircraft
 - IP immission point
 - ϑ longitudinal emission angle
 - φ lateral emission angle
 - s propagation distance

Figure 5 — Aircraft-fixed coordinate system

5 Calculation of the emission levels

5.1 Octave sound power level

The sound power level $L_{W,n}$ for the n th octave band pertaining to a certain aircraft version is a result according to Formula (10) of

where

- $L_{W,ref,n}$ is the sound power level of the reference aircraft type for octave band number n , in dB;
- ΔL_{Subst} is the substitution sound level correction for the considered aircraft version and the considered mode of operation (approach or departure) (see DIN 45689-2), in dB.

5.2 A-bewerteter Schallleistungspegel

Aus den Schallleistungspegeln der Oktavbänder nach Gleichung (10) ermittelt sich der A-bewertete Schallleistungspegel nach Gleichung (11) wie folgt:

$$L_{WA} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{n=1}^8 10^{(L_{W,n} + A_n)/10} \right) \text{ dB} \quad (11)$$

Dabei ist

- n die laufende Oktavbandnummer;
- $L_{W,n}$ der Schallleistungspegel für das n -te Oktavband, in dB;
- A_n die Frequenzkorrektur für die A-Bewertung für das n -te Oktavband (siehe Tabelle 2), in dB.

ANMERKUNG Der A-bewertete Schallleistungspegel wird nur zur Segmentierung der Flugbahn nach 6.1 benötigt.

5.3 Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposition

Der Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposition $L'_{WE,n}$ für das n -te Oktavband wird nach Gleichung (12) berechnet:

$$L'_{WE,n} = L_{W,n} + D_V(V) + Z(\sigma') \quad (12)$$

Dabei ist

- n die laufende Oktavbandnummer;
- $Z(\sigma')$ der Zusatzpegel als Funktion der relativen Bogenlängenkoordinate σ' , in dB;
- D_V das Geschwindigkeitsmaß, in dB.

Das Geschwindigkeitsmaß D_V nach Gleichung (13) beschreibt den Zu- bzw. Abschlag für die Abweichung der Fluggeschwindigkeit im Flugbahnteilsegment von einer Bezugsgeschwindigkeit V_0 .

$$D_V(V) = -10 \cdot \lg \left(\frac{V}{V_0} \right) \text{ dB} \quad (13)$$

5.2 A-weighted sound power level

The A-weighted sound power level is determined from the sound power levels of the octave bands according to Formula (10) according to Formula (11) as follows:

where

- n is the continuous octave band number;
- $L_{W,n}$ is the sound power level for the n th octave band, in dB;
- A_n is the frequency correction for the A-weighting for the n th octave band (see Table 2), in dB.

NOTE The A-weighted sound power level is only required for the segmentation of the flight path according to 6.1.

5.3 Length-related sound power exposure level

The length-related sound power exposure level $L'_{WE,n}$ for the n th octave band is calculated according to Formula (12):

where

- n is the continuous octave band number;
- $Z(\sigma')$ is the additional level as a function of the relative arc length coordinate σ' , in dB;
- D_V is the speed correction, in dB.

The speed correction D_V according to Formula (13) describes the addition or reduction accounting for the deviation of the flight speed along a flight path sub-segment from the reference speed V_0 .