

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl FKZ 3712 55 100  
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

## **Bewertung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten**

von

Sebastian Eggers  
Oliver Riek  
LÄRMKONTOR GmbH, Hamburg

Bettina Bachmeier  
Margit Bonacker  
konsalt GmbH, Hamburg

Sebastian Ibbeken  
Wölfel Engineering GmbH + Co. KG, Höchberg

Hartmut Leive  
Christian Schäffer  
OTSD GmbH, Bremen

LÄRMKONTOR GmbH  
Altonaer Poststraße 13 b  
22767 Hamburg

konsalt GmbH  
Altonaer Poststraße 13  
22767 Hamburg

Wölfel Engineering GmbH + Co. KG  
Max-Planck-Straße 15  
97204 Höchberg

OTSD - Optimized Traffic Systems Development GmbH  
Anne-Conway-Straße 2  
28359 Bremen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Abschlussdatum 05/2016

## Kurzbeschreibung

Bei der Festlegung von Flugverfahren ist die Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) nach dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG) gehalten, auf den Schutz der Bevölkerung vor unzumutbarem Fluglärm hinzuwirken. Durch eine Änderung des § 32 des Luftverkehrsgesetzes wurde 2007 die Beteiligung des Umweltbundesamtes (UBA) bei der Festlegung von Flugrouten beschlossen (Benehmensregelung). Mit der Einbindung des Umweltbundesamtes wurden auch lärmwirkungsbezogene Aspekte in das Bewertungsverfahren eingebracht (Hotes et al. 2010).

Die Beurteilung und Rangbildung von Flugrouten bewegt sich in einem übergeordneten Kontext von Grundsatzfragen der Lärmverteilung (Barth et. al. 2014). Die Bewertungsfunktion der Varianten-Prüfwerte basiert auf den in der VDI 3722-2 veröffentlichten Verfahren zur Bestimmung des Anteils der „Belästigten“ (%A) sowie der „Schlafgestörten“ (%SD). Der Vergleich der resultierenden Gesundheitseffekte wird anhand der u. a. von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) angewandten „Population-Attributable-Fraction“ (PAF) durchgeführt (WHO 2011).

Auf Grundlage der entwickelten Ansätze wurde das Bewertungsverfahren konkretisiert und mit den Varianten-Prüfwerten in eine anwendbare Fassung mit Einzahl-Indizes für den Tag und die Nacht überführt. Mit dem gestuften Bewertungsverfahren wird dem Umstand Rechnung getragen, dass kleinräumige Änderungen an Flugroutenvarianten zu geringen relativen Änderungen in der Gesamtbelastung führen können, die statistisch nicht unterscheidbar sind.

Die Bewertungsergebnisse zeigen, dass sich mit dem Verfahren klare Präferenzen für Flugroutenvarianten hinsichtlich der Lärmbelastung der Bevölkerung ergeben, die vor dem Hintergrund einer Unsicherheitsbetrachtung statistisch unterscheidbar sind.

## Abstract

When it comes to determining flight procedures, the Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) is obligated to consider the protection of the population from unacceptable aircraft noise according to the Luftverkehrsgesetz (Air Traffic Act – LuftVG). Due to the changes made with respect to § 32 of the Air Traffic Act (LuftVG), it was decided in 2007 to include the Federal Environment Agency (UBA) in the establishment of flight routes. Including the Federal Environment Agency into the process has also led to the consideration of aspects related to noise effects within the evaluation procedure (Hotes et al. 2010).

The assessment and ranking of flight routes is part of a superordinate context of key questions regarding the distribution of noise (Barth et. al. 2014). The assessment function of the variation test values is based on procedures for the determination of the amount of “affected parties” (%A) as well as those “suffering from sleeping disorders” (%SD) published in the VDI 3722-2. The comparison of the resulting health effects is conducted based on the “Population Attributable Fraction” (PAF) which is utilized by the WHO (WHO 2011).

The assessment procedure was substantiated and, through the implementation of variation test values, transformed into a practical version including singular indexes for day and night based on the previously developed approaches. The graded assessment procedure addresses the fact that small-scale changes to flight route variations can lead to slight relative changes with respect to the total load that cannot be distinguished statistically.

The assessment results show that the procedure reveals clear preferences with respect to flight route variations regarding the noise load affecting the population which are statistically distinguishable against the backdrop of an uncertainty evaluation.



## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	11
Tabellenverzeichnis .....	13
Abkürzungsverzeichnis .....	14
1 Zusammenfassung .....	17
1.1 Einleitung .....	17
1.2 Entwicklung eines Beurteilungsverfahrens.....	17
1.2.1 Existierende Bewertungsverfahren.....	17
1.2.2 Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung .....	18
1.2.3 Leitgrößen einer Bewertung .....	19
1.2.4 Weitere Aspekte.....	19
1.3 Bewertungsverfahren .....	20
1.3.1 Prüfung Gesundheitsrisiko .....	20
1.3.2 Variantenprüfwert Belästigung.....	20
1.3.3 Fluglärmrechnung .....	21
1.3.4 Gestuftes Bewertungsverfahren .....	22
1.4 Minderungsmaßnahmen .....	22
1.5 Anwendung an einem Modellflughafen .....	25
1.5.1 Grundlagen eines Modellflughafens .....	25
1.5.2 Untersuchungsvarianten.....	25
1.5.3 Berechnung und Anwendung des Bewertungsverfahrens .....	26
1.5.4 Ergebnis.....	26
1.6 Fazit.....	26
2 Summary.....	28
2.1 Introduction .....	28
2.2 Developing an assessment procedure.....	28
2.2.1 Existing assessment procedures .....	28
2.2.2 Noise effect research findings.....	29
2.2.3 Command variables of an assessment.....	30
2.2.4 Additional aspects .....	30
2.3 Assessment procedures .....	31
2.3.1 Assessing health risks .....	31
2.3.2 Disturbance as a variation test value .....	31
2.3.3 Aircraft noise calculation.....	32
2.3.4 Graded assessment procedure .....	32

2.4	Mitigation measures .....	33
2.5	Application with a model airport .....	36
2.5.1	Basics of a model airport .....	36
2.5.2	Examination variations .....	36
2.5.3	Calculation and application of the assessment procedure .....	36
2.5.4	Result .....	37
2.6	Conclusion .....	37
3	Einleitung .....	39
4	Verfahren zur Bewertung von Flugrouten .....	41
4.1	Existierende Bewertungsverfahren .....	41
4.1.1	NIROS .....	41
4.1.2	Frankfurter Fluglärmindex .....	41
4.1.3	Züricher Fluglärmindex .....	41
4.1.4	UBA-Bewertungsverfahren BER .....	42
4.1.5	Bewertungsverfahren des brandenburgischen Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz .....	43
4.2	Entwicklung eines neuen Bewertungsverfahrens für Flugrouten .....	44
4.3	Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung .....	44
4.3.1	Fluglärm und Belästigung .....	44
4.3.2	Fluglärm und Gesundheit .....	45
4.3.3	DALYs: Verlorene Lebensjahre .....	47
4.4	Leitgrößen für die Bewertung .....	48
4.4.1	Gesundheitsbeeinträchtigung oder Belästigung .....	48
4.4.2	Change Effekt und Änderungen der Lärmempfindlichkeit .....	49
4.4.3	Expositions-Wirkungskurven für besondere Bevölkerungsgruppen oder Nutzungen .....	50
4.4.4	Belästigt oder stark belästigt als Auswahlkriterium .....	51
4.4.5	Bewertung von Flugrouten für die Tag- und Nachtzeit .....	51
4.4.6	Definition des Untersuchungsgebiets .....	52
4.5	Weitere Einflussgrößen hinsichtlich der Lärmwirkung .....	53
4.5.1	Zeitstruktur von Lärmereignissen / Lärmsensible Tageszeiten .....	53
4.5.2	Baulicher Schallschutz .....	54
4.5.3	Betroffenheit durch mehrere gleichzeitig einwirkende Lärmquellen .....	55
4.5.4	Bahnnutzungskonzepte: Wechselseitige Bahnnutzung .....	56
4.5.5	Einzelfreigaben .....	58
4.5.6	Bewertung von Erholungsgebieten .....	59

4.5.7	Information und Beteiligung der Öffentlichkeit.....	61
4.6	Zwischenfazit .....	62
5	Weiterführende Verfahrensaspkte.....	64
5.1	Verfahren zur Festlegung von Flugrouten .....	64
5.1.1	Öko-Institut .....	64
5.1.2	Sachverständigenrat für Umweltfragen.....	64
5.2	Beschreibung und Beurteilung verschiedener Flugbetriebsverfahren.....	65
5.2.1	Luftraumnutzung.....	65
5.2.2	Vertikale Optimierung von Abflugverfahren.....	66
5.2.2.1	Kurzbeschreibung	66
5.2.2.2	Bewertung	66
5.2.2.3	Lärminderungspotenzial	67
5.2.3	Erhöhung der zulässigen Rückenwindkomponente.....	67
5.2.4	Segmented RNAV(GPS)-Approach .....	68
5.2.5	GBAS (Ground Based Augmentation System).....	71
5.2.6	Dedicated Runway Operations.....	72
5.2.7	Continuous Descent Approach.....	73
5.2.8	Anhebung des Anfluggleitwinkels.....	75
5.2.9	Point-Merge-Verfahren.....	77
5.2.10	Berücksichtigung der flugbetrieblichen Maßnahmen in Berechnungsverfahren.....	79
6	Praxisgerechtes Verfahren zur wirkungsgerechten Beurteilung von Flugrouten .....	81
6.1	Bewertungsverfahren .....	81
6.1.1	Einführung.....	81
6.1.2	Beeinträchtigungskenngrößen .....	81
6.1.2.1	Beurteilung des Gesundheitsrisikos	81
6.1.2.2	Variantenprüfwert Belästigung	83
6.1.3	Fluglärmrechnung .....	85
6.1.4	Unsicherheitsbetrachtung.....	86
6.1.5	Grundgesamtheit .....	86
6.1.6	Gestuftes Bewertungsverfahren .....	87
6.1.6.1	Fallunterscheidung	87
6.1.6.2	Varianten einer Flugroute	87
6.1.6.3	Varianten von Flugroutensystemen oder Flugrouten-Teilsystemen	87
6.1.6.4	Einzelfallbetrachtung	88
6.2	Entwicklung eines Modellflughafens .....	89

6.2.1	Grundlage Flugbetrieb .....	89
6.2.2	Untersuchungsvarianten .....	92
6.2.2.1	Modellierungsansatz .....	92
6.2.2.2	Abflüge Startbahn 27, Variante VS1: Verlagerung von Abflügen .....	92
6.2.2.3	Anflüge Startbahn 27, Variante VL1: Erhöhung des ILS-Gleitwinkels auf 3,5 Grad .....	93
6.2.2.4	Anflüge Startbahn 27, Variante VL2: Point-Merge-Anflugverfahren .....	93
6.2.2.5	Anflüge Startbahn 27, Variante VL3: Segmented RNAV-Approach .....	94
6.3	Anwendung des Bewertungsverfahrens auf den Modellflughafen .....	96
6.3.1	Berechnung der Fluglärmpegel .....	96
6.3.2	Beurteilung der Gesundheitsrisiken bei der Flugroutenfestlegung .....	102
6.3.3	Berechnung der Varianten-Prüfwerte .....	104
6.3.4	Diskussion der Berechnungsergebnisse .....	112
6.3.5	Belastete Personen in Pegelbereichen .....	113
6.3.6	Sonderbetrachtung Erholungsgebiete .....	114
6.4	Zwischenfazit .....	116
6.5	Empfehlungen für die lärmfachliche Bewertung von Flugrouten .....	116
7	Handlungsanleitung .....	119
7.1	Eingang der Benehmensanfrage .....	119
7.1.1	Flugroutensystem als DES .....	119
7.1.2	Bevölkerungsdaten .....	120
7.1.3	Geländemodell .....	121
7.2	Grundlagen des Bewertungsverfahrens .....	121
7.2.1	Fluglärmberechnung .....	121
7.2.2	Bewertungsgrößen .....	121
7.2.2.1	Gesundheitsrisiken .....	121
7.2.2.2	Varianten-Prüfwerte .....	122
7.3	Prüfungsablauf .....	122
7.3.1	Uneingeschränktes Untersuchungsgebiet .....	123
7.3.2	Eingeschränktes Untersuchungsgebiet .....	123
7.3.3	Prüfung PAF .....	123
7.3.4	Prüfung VPT/VPN .....	123
7.3.5	Einzelfallprüfung .....	124
7.4	Beurteilung der Ergebnisse .....	124
7.4.1	Auswahl einer Vorzugsvariante .....	124
7.4.2	Zusätzliche Bewertungskriterien .....	124

7.5	Dokumentation der Ergebnisse .....	126
7.6	Grafische Zusammenfassung des Vorgehens .....	126
8	Gesamtfazit.....	129
9	Quellenverzeichnis.....	131



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geschätzte durch Umweltlärm in Westeuropa bedingte DALYs (nur Straßenverkehrslärm, nur Belastungen, die in Stufe 1 der Lärmkartierung der EU-Umgebungslärmrichtlinie erfasst wurden)...	47
Abbildung 2: Saisonale Nutzung öffentlicher Grünanlagen in Berlin .....	53
Abbildung 3: Besuch öffentlicher Grünanlagen in Berlin nach Tageszeiten .....	54
Abbildung 4: Lateraler Flugweg des Segmented RNAV (GPS)-Approach am Flughafen Frankfurt/Main bei Westbetrieb .....	69
Abbildung 5: Lateraler Flugweg des Segmented RNAV (GPS)-Approach am Flughafen Frankfurt/Main bei Ostbetrieb .....	70
Abbildung 6: Continuous Descent Approach.....	73
Abbildung 7: Stufenförmiges Anflugprofil.....	74
Abbildung 8: Seitenansicht der Anfluggleitwinkel 3,0, 3,2 und 3,5 Grad.....	76
Abbildung 9: Point-Merge-Verfahren.....	77
Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der „Population Attributable Fraction“ PAF für verschiedene Flugroutenvarianten.....	83
Abbildung 11: Exemplarische Darstellung von Varianten-Prüfwerten VPT und VPN für verschiedene Flugroutenvarianten.....	85
Abbildung 12: Flugspurdaten für den Flughafen Bremen (EDDW) .....	89
Abbildung 13: Flugspurdaten für den Modellflughafen (EDXX) .....	90
Abbildung 14: DES-Flugstreckenmodell für den Modellflughafen (EDXX) .....	90
Abbildung 15: Anflüge auf RWY 27 im Referenzszenario (Variante VL0).....	92
Abbildung 16: ILS-Anflüge am Modellflughafen EDXX mit 3,0 Grad .....	92
Abbildung 17: Verlagerung von Abflügen am Modellflughafen EDXX (Variante VS1) .....	93
Abbildung 18: ILS-Anflüge am Modellflughafen EDXX mit 3,0 und 3,5 Grad (Variante VL1) .....	93
Abbildung 19: Point-Merge-System am Modellflughafen EDXX (Variante VL2) .....	94
Abbildung 20: Segmented RNAV Approach am Modellflughafen EDXX (Variante VL3) ...	95
Abbildung 21: Anzahl der Personen pro Rasterzelle beim Modellflughafen EDXX.....	96
Abbildung 22: Variante VS0, VL0, Dauerschallpegel Tag.....	97
Abbildung 23: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Dauerschallpegel Tag.....	97
Abbildung 24: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Dauerschallpegel Tag.....	98
Abbildung 25: Variante VL2 (Point Merge), Dauerschallpegel Tag .....	98
Abbildung 26: Variante VL3 (Segmented Approach), Dauerschallpegel Tag .....	99
Abbildung 27: Variante VS0, VL0, Dauerschallpegel Nacht.....	99
Abbildung 28: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Dauerschallpegel Nacht .....	100
Abbildung 29: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Dauerschallpegel Nacht.....	100

Abbildung 30: Variante VL2 (Point Merge), Dauerschallpegel Nacht .....	101
Abbildung 31: Variante VL3 (Segmented Approach), Dauerschallpegel Nacht.....	101
Abbildung 32: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction, PAF <sub>Ges</sub> .....	102
Abbildung 33: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction, PAF <sub>Teil</sub> .....	103
Abbildung 34: Variante VS0, VL0, Belastung N x %A (Tag) .....	104
Abbildung 35: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Belastung N x %A (Tag) .....	104
Abbildung 36: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Belastung N x %A (Tag) .....	105
Abbildung 37: Variante VL2 (Point Merge), Belastung N x %A (Tag).....	105
Abbildung 38: Variante VL3 (Segmented Approach), Belastung N x %A (Tag).....	106
Abbildung 39: Variante VS0, VL0, Belastung N x %SD (Nacht) .....	106
Abbildung 40: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Belastung N x %SD (Nacht) .....	107
Abbildung 41: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Belastung N x %SD (Nacht) ....	107
Abbildung 42: Variante VL2 (Point-Merge-Verfahren), Belastung N x %SD (Nacht).....	108
Abbildung 43: Variante VL3 (Segmented Approach), Belastung N x %SD (Nacht).....	108
Abbildung 44: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Tag, VPT <sub>Ges</sub> .....	109
Abbildung 45: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Nacht, VPN <sub>Ges</sub> .....	109
Abbildung 46: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Tag, VPT <sub>Teil</sub> .....	111
Abbildung 47: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Nacht, VPN <sub>Teil</sub> .....	111
Abbildung 48: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Tag.....	113
Abbildung 49: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Nacht.....	114
Abbildung 50: Lage der exemplarischen Erholungsgebiete .....	115
Abbildung 51: Darstellung der verwendeten Expositions-Wirkungs-Beziehungen für belästigte bzw. schlafgestörte Personen.....	117
Abbildung 52: Flussdiagramm des Bewertungsverfahrens - Teil 1 .....	127
Abbildung 53: Flussdiagramm des Bewertungsverfahrens - Teil 2 .....	128

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über mögliche Gewichtungsfaktoren für den Tag.....	42
Tabelle 2: Lärmsensible Tageszeiten .....	51
Tabelle 3: Hinweise für die Berechnung von Flugverfahren nach AzB.....	79
Tabelle 4: Exemplarische Verteilung der Bevölkerung (Ausschnitt für drei Lärmpegel)...	82
Tabelle 5: Exemplarische Aufstellung der „Population Attributable Fraction“ PAF mit relativer Änderung zu Flugroutenvariante 0 .....	83
Tabelle 6: Exemplarische Aufstellung von Varianten-Prüfwerten VPT und VPN mit relativer Änderung zu Variante 0.....	85
Tabelle 7: Flugbewegungszahlen aus Flugspuraufzeichnungen am Flughafen Bremen ...	91
Tabelle 8: Flugbewegungszahlen im Referenz-DES für den Modellflughafen EDXX .....	91
Tabelle 9: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction, PAF <sub>Ges</sub> .....	102
Tabelle 10: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction, PAF <sub>Teil</sub> .....	103
Tabelle 11: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwerte VPT <sub>Ges</sub> und VPN <sub>Ges</sub> .....	110
Tabelle 12: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Varianten- Prüfwerte VPT <sub>Teil</sub> und VPN <sub>Teil</sub> .....	111
Tabelle 13: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Tag.....	113
Tabelle 14: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Nacht.....	114

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AD</b>	Aerodrome
<b>ADSB</b>	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
<b>AIP</b>	Aeronautical Information Publication (Luftfahrthandbuch)
<b>ANASE</b>	Attitudes to Noise from Aviation Sources in England (Lärmwirkungsstudie)
<b>APU</b>	Auxiliary Power Unit (Hilfstriebwerk)
<b>ATS</b>	Air Traffic Service (Luftverkehrsdienste)
<b>ARP</b>	Aerodrome Reference Point (Flugplatzbezugspunkt)
<b>AzB</b>	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
<b>AzD</b>	Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb
<b>BAF</b>	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
<b>BER</b>	Flughafen Berlin-Brandenburg (IATA-Code)
<b>BImSchG</b>	Bundes-Immissionsschutzgesetz
<b>B-RNAV</b>	Basic Area Navigation
<b>CAT</b>	Category (Betriebsstufe)
<b>CDA</b>	Continuous Descent Approach
<b>CDO</b>	Continuous Descent Operation
<b>DALY</b>	Disability Adjusted Life Year („Verlorenes Lebensjahr“ nach WHO)
<b>dB(A)</b>	A-bewerteter Schalldruckpegel
<b>DES</b>	Datenerfassungssystem
<b>DFS</b>	Deutsche Flugsicherung [GmbH]
<b>DGPS</b>	Differential Global Positioning System
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
<b>Doc</b>	Document
<b>DROps</b>	Dedicated Runway Operations
<b>EDDW</b>	Flughafen Bremen (ICAO-Code)
<b>EHAM</b>	Flughafen Amsterdam Schiphol (ICAO-Code)
<b>ENR</b>	Enroute
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>FFI</b>	Frankfurter Fluglärmindex
<b>FNI</b>	Frankfurter Nachtindex
<b>FSAV</b>	Flugsicherungs-ausrüstungsverordnung
<b>ft</b>	feet/Fuß; 1 ft = 0,3048 m
<b>FTI</b>	Frankfurter Tagindex

<b>FL</b>	Flight Level (Flugfläche)
<b>GBAS</b>	Ground Based Augmentation System
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organisation
<b>ILS</b>	Instrument Landing System (Instrumentenlandesystem)
<b>kt</b>	knots = NM/h (Knoten)
<b>L<sub>AES</sub></b>	Substitutionspegel nach VDI 3722-2
<b>L<sub>dn</sub></b>	Tag-Nacht-Pegel bezogen auf 24 Stunden
<b>L<sub>DEN</sub></b>	Lärmindex für Tag-Abend-Nacht (Day-Evening-Night) nach EU-Umgebungslärmrichtlinie mit einer Gewichtung für den Abend- und Nachtzeitraum
<b>L<sub>Aeq</sub></b>	Äquivalenter Dauerschallpegel
<b>L<sub>Night</sub></b>	Lärmindex für die Nachtzeit von 22 bis 6 Uhr nach EU-Umgebungslärmrichtlinie
<b>LuftVG</b>	Luftverkehrsgesetz
<b>LuftVO</b>	Luftverkehrs-Ordnung
<b>NADP</b>	Noise Abatement Departure Procedure
<b>NIROS</b>	Noise Impact Reduction and Optimization System
<b>NM</b>	Nautische Meile, 1 NM = 1.852 m
<b>NORAH</b>	<b>Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health</b> (Lärmwirkungsstudie)
<b>PAF</b>	Population Attributable Fraction
<b>PAF<sub>Ges</sub></b>	Population Attributable Fraction, gesamtes Untersuchungsgebiet
<b>PAF<sub>Teil</sub></b>	Population Attributable Fraction, eingeschränktes Untersuchungsgebiet
<b>PMS</b>	Point-Merge-System (Anflugverfahren)
<b>P-RNAV</b>	Precision Area Navigation
<b>RNAV</b>	Area Navigation (Flächennavigation)
<b>RWY</b>	Runway (Start- und Landebahn)
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>USA</b>	Vereinigte Staaten von Amerika
<b>UVP</b>	Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>UVPG</b>	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>VPN</b>	Varianten-Prüfwert Nacht
<b>VPT</b>	Varianten-Prüfwert Tag
<b>VPN<sub>Ges</sub></b>	Varianten-Prüfwert Nacht, gesamtes Untersuchungsgebiet
<b>VPT<sub>Ges</sub></b>	Varianten-Prüfwert Tag, gesamtes Untersuchungsgebiet
<b>VPN<sub>Teil</sub></b>	Varianten-Prüfwert Nacht, eingeschränktes Untersuchungsgebiet

<b>VPT<sub>Teil</sub></b>	Varianten-Prüfwert Tag, eingeschränktes Untersuchungsgebiet
<b>WHO</b>	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
<b>ZFI</b>	Züricher Fluglärmindex

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Einleitung

Fluglärm ist mit einer Vielzahl von Beeinträchtigungen assoziiert. Von den verschiedenen Verkehrsträgern ist der Luftverkehr nach dem Straßenverkehr die bedeutendste Ursache für die Lärmbelastigung der Bevölkerung. Durch den Luftverkehr wurden laut der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland 2014“ 21 % der Befragten belästigt (UBA 2014). Lärm als psychosozialer Stressfaktor beeinträchtigt das subjektive Wohlempfinden, die Lebensqualität und die Gesundheit der Betroffenen. Wesentliche Auswirkungen von Lärm liegen – neben der Belästigung und gesundheitlicher Beeinträchtigung – in der Behinderung der Kommunikation, der Beeinträchtigung der Erholung und des Schlafes, der Minderung des psychischen Wohlbefindens, der Beeinträchtigung kognitiver Entwicklung von Kindern sowie der Beschränkung des Wohnverhaltens. Prognosen gehen davon aus, dass der Personenluftverkehr auch in den kommenden Jahren weiter wachsen wird.

Bei der Festlegung von Flugverfahren ist die Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) nach dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG) gehalten, auf den Schutz der Bevölkerung vor unzumutbarem Fluglärm hinzuwirken, Aspekte des Lärmschutzes haben dabei jedoch keinen Vorrang. Durch eine Änderung des § 32 des Luftverkehrsgesetzes wurde 2007 die Beteiligung des Umweltbundesamtes bei der Festlegung von Flugrouten beschlossen. Bis dahin hatte sich die Bewertung von Flugrouten primär an Sicherheitsaspekten und operationellen Kriterien orientiert. Das Umweltbundesamt (UBA) hat im Zuge der sogenannten Benehmensregelung die Aufgabe, zu prüfen, ob die von der DFS ausgewählte Vorzugsvariante diejenige Flugroute ist, die die geringste Lärmbelastigung der Bevölkerung nach sich zieht, oder ob nicht andere Flugrouten bevorzugt werden sollten. Mit der Einbindung des Umweltbundesamtes wurden auch lärmwirkungsbezogene Aspekte in das Bewertungsverfahren eingebracht (Hotes et al. 2010). „Damit soll ein Ausgleich zwischen den teilweise gegensätzlichen ökonomischen und ökologischen Interessen geschaffen und die Bevölkerung besser von Fluglärm geschützt werden.“ (Hotes et al. 2010).

## 1.2 Entwicklung eines Beurteilungsverfahrens

Für die Bewertung von neuen oder geänderten Flugrouten oder Flugverfahren stellt sich die Frage, wie diese hinsichtlich ihrer Lärmauswirkung auf die betroffene Bevölkerung beurteilt werden können. Ziel sollte es sein, das am wenigsten beeinträchtigende Flugverfahren auszuwählen. Weil nach Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung nur ein Teil der Lärmbelastigung durch physikalische Indikatoren wie unterschiedliche Geräuschpegel verursacht wird (unter anderem Finke et al. 1980, Brink et al. 2005), spielen bei der Bewertung und Gewichtung von Flugroutensystemen weitere Faktoren mit Blick auf die persönlich erlebte Lärmbelastigung eine wichtige Rolle.

Die Bewertung von Flugrouten unter der Einbeziehung von Expositions-Wirkungskurven auf der Basis der Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung zielt darauf ab, die durch Flüge auf den jeweiligen Flugroutensystemen ausgelöste Lärmbetroffenheit der Bevölkerung zu minimieren. Anhand von Expositions-Wirkungsbeziehungen ist es möglich, die Reaktion der Bevölkerung auf Geräuschsituationen abzuschätzen und darauf aufbauend Vergleiche und Bewertungen unterschiedlicher Flugrouten vorzunehmen.

### 1.2.1 Existierende Bewertungsverfahren

Für die lärmfachliche Bewertung des Flugroutensystems am geplanten Flughafen Berlin-Brandenburg (BER) hat das UBA ein spezielles Beurteilungsverfahren für die Benehmensbeteiligung nach § 32 Luftverkehrsgesetz entwickelt (UBA 2012). Dieses erstmals in Deutschland angewandte Verfahren sieht einen Variantenvergleich mit dem Ziel einer möglichst geringen Lärmbetroffenheit vor. Angesichts der dichten Besiedlung in der Umgebung des BER wurde mit der lärmfachlichen Beurteilung ein Ansatz

mit dem Ziel entwickelt, die Anzahl der von Fluglärm betroffenen Personen und die Auswirkungen auf die Umwelt so niedrig wie möglich zu halten.

Das Vorgehen bei der lärmfachlichen Bewertung erfolgte zunächst in der Betrachtung von einzelnen Flugrouten einschließlich einer Lärmbewertung. Die Lärmbewertung wurde mithilfe lärmwirkungsorientierter Verfahren geprüft, um nicht ausschließlich akustische Kriterien heranzuziehen, da diese nur einen geringen Teil der Lärmbelastigung Betroffener erklären. Mithilfe unterschiedlicher Gewichtungskurven wurden die jeweiligen Flugrouten wirkungsbezogen bewertet.

Neben dieser Lärmbewertung durch das UBA werden für die Bewertung von Flugrouten unter Lärmaspekten bereits verschiedene Methoden unterschiedlicher zuständiger Stellen genutzt. Hierzu gehört das Verfahren NIROS (Noise Impact Reduction and Optimization System) der Deutschen Flugsicherung GmbH (DFS), das einen Variantenvergleich von Abflugrouten anhand eines „Gütwerts“ erlaubt. Der am Flughafen Frankfurt/Main eingesetzte Frankfurter Fluglärmindex (FFI) besteht hingegen aus einem wirkungsorientierten Tag- und einem Nachtindex, der die Anzahl hoch fluglärmbelastigter Personen beziehungsweise die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen berücksichtigt. Der Züricher Fluglärmindex (ZFI) besteht ebenfalls aus einem Tag- und einem Nachtindex. Der ZFI berechnet sich dabei aus der Addition der hochbelasteten Wohnbevölkerung und der Bevölkerung mit starker (aufwachbedingter) Schlafstörung. Ende 2015 wurde vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg ein Verfahren veröffentlicht, das die „Bewertung flugbetrieblicher Maßnahmen anhand Belästigung, Schlafstörung sowie der koronaren Herzerkrankungen auf der Grundlage der verkehrsbedingten Gesamtlärmbelastung“ auf Grundlage der anhand der VDI 3722-2 ermittelten Gesamtlärmbelastung aus Straßen-, Schienen- und Luftverkehrslärm beschreibt.

### 1.2.2 Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung

Die Untersuchung der Wirkung von Lärm auf die Belästigung von Menschen begann in den 1950er Jahren, ausgelöst durch die steigende Lärmbelastung durch Luftverkehr (Giering 2010). Belästigung ist ein Begriff, der sowohl vom Erinnerungsvermögen als auch von der Einstellung der Befragten gegenüber Lärmquellen stark abhängig ist. Die Lärmwirkungsforschung hat in zahlreichen empirischen Untersuchungen gezeigt, dass nur ein vergleichsweise geringer Teil der auftretenden Lärmbelastigung durch akustische und somit physikalisch messbare Größen bestimmt wird. Vielmehr spielen sowohl psychologische Faktoren wie Vermeidbarkeit des Lärms, das Gefühl des Ausgeliefertseins, persönliche Befindlichkeiten, aber auch die Tages- beziehungsweise Nachtzeit eine wichtige Rolle für die erlebten Auswirkungen des Lärms (vgl. Finke et al. 1980; Guski 1987; Giering 2010). Als wesentliche Auswirkungen werden die Behinderung der Kommunikation, Beeinträchtigung der Rekreation (tags, nachts), Minderung des psychischen Wohlbefindens sowie Beschränkung des Wohnverhaltens (Finke et al. 1980) aufgeführt. Gesundheitlich angegriffene Personen fühlen sich stärker subjektiv durch Lärm beeinträchtigt als gesundheitlich stabile Personen (Kastka et al. 1999).

Aktuellere Untersuchungen lassen eine gestiegene Empfindlichkeit der Bevölkerung gegenüber Lärmbelastungen vermuten, so dass im Vergleich zu früheren Jahren bereits deutlich geringere Dauerschallpegel ausreichen, um vergleichbare Belästigungsreaktionen auf Seiten Betroffener hervorzurufen (Guski 2013; Wirth et al. 2004; Guski / Schreckenbergs 2015).

Bereits Ende der 1970er Jahre wurde in mehreren Untersuchungen gezeigt, dass Fluglärm zu einem erhöhten Krankheitsrisiko bei Herz- und Kreislauferkrankungen führen kann (Meecham / Shaw 1979; Andren 1982; Dejoy 1984, Brenner et al. 1993; Jarup et al. 2008). Zum Zusammenhang zwischen Verkehrslärm (Straße, Schiene, Luftverkehr) und gesundheitlichen Auswirkungen, darunter Bluthochdruck beziehungsweise Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs, sind eine Vielzahl von Übersichtsarbeiten und Meta-Analysen erschienen (u. a. Babisch 2014). Nach den Ergebnissen der HYENA-Studie (Hypertension and Exposure to Noise Near Airports) fand sich bereits als Folge einer Belastung



mit nächtlichem Fluglärm eine Erhöhung des Risikos für Bluthochdruck (Jarup et al. 2008). Babisch und van Kamp (2009) kommen in einer Meta-Analyse im Jahre 2009 zu dem Schluss, dass der Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem Erkrankungsrisiko für Bluthochdruck ausreichend belegt sei.

### 1.2.3 Leitgrößen einer Bewertung

Da nach Auffassung der Lärmwirkungsforschung die Belästigung die Hauptwirkung des Umweltlärms darstellt, soll diese im zu entwickelnden Bewertungsverfahren als Hauptgröße für die Beurteilung der Betroffenheit im Tagzeitraum verwendet werden. Für ein solches Vorgehen spricht die Tatsache, dass die Belästigungsreaktion bereits vor dem Auftreten beobachtbarer fluglärmbedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen auf negative Lärmauswirkungen umfassend hinweisen kann. Für die Belästigung in der Nacht sollen die selbstberichteten Schlafstörungen herangezogen werden.

Grundsätzlich soll durch die Belästigung die „Gesundheit“ auch im Vorfeld – vor dem Entstehen manifester, beobachtbarer Gesundheitsbeeinträchtigungen – implizit berücksichtigt werden. Im Rahmen einer Bewertung sollen jedoch die Gesundheitseffekte nicht vollständig ausgeschlossen werden. Bei einer Bewertung durch eine Expositions-Wirkungskurve für Belästigung oder selbstberichtete Schlafstörung ist es denkbar, dass eine Gesamtverbesserung der Situation bei einer geringen Entlastung sehr vieler Personen bei gleichzeitiger Mehrbelastung gerade der Hochbelasteten eintritt. Um eine solche Situation auszuschließen, sollten die Auswirkungen auf die Gesundheit im Rahmen der Bewertung berücksichtigt werden. In dem hier zu entwickelnden Konzept soll die Bewertung der Gesundheitseffekte aber nur entscheiden „ob“ eine Variante besser ist als eine Ausgangsvariante, jedoch nicht in welchem Maße.

Für die Bestimmung eines geeigneten Gewichtungsmodells zum Vergleich der Güte verschiedener Varianten wurde der Fokus auf Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Fluglärmbelastung einerseits und Belästigungsreaktion beziehungsweise selbstberichteten Schlafstörungen andererseits gelegt. Für eine objektive Bewertung von Flugroutenalternativen wird die Anzahl fluglärmbelasteter Personen in den verschiedenen Lärmbelastungsstufen mit einer geeigneten Expositions-Wirkungskurve verschnitten. Hierdurch erfolgt eine Gewichtung, bei der höher fluglärmbelastete Personen – je nach verwendeter Gewichtungskurve – stärker gewichtet werden als geringer Belastete. Mit geeigneten Gewichtungskurven lässt sich auch die Frage beantworten, ob eine Bündelung der Belastung (wenige Betroffene, dafür aber stärker belastet) oder eine Verteilung (viele Belastete, dafür aber weniger belastet) vorzuziehen ist. Diese Frage wird im Rahmen von Lärminderungsmaßnahmen im Straßenverkehr gelegentlich diskutiert, ist aber auch im Luftverkehr dann von Bedeutung, wenn durch die Wahl und Festlegung von Flugrouten Einfluss auf die Lärmbetroffenheit der Bevölkerung genommen werden kann.

### 1.2.4 Weitere Aspekte

Neben der Festlegung einer Gewichtung existieren noch weitere Aspekte, die Auswirkungen auf die Belästigungswirkung haben können. Hierzu gehört zum Beispiel der Change-Effekt, der eine überproportional höhere Belästigung nach einer Erweiterung erwarten lässt. Hinsichtlich des Change-Effekts soll bedacht werden, dass Flugrouten in der Regel über mehrere Jahre Bestand haben sollten. Nach einer „Eingewöhnungszeit“, während derer die Bevölkerungsreaktionen heftiger ausfallen dürften, setzt „Gewöhnung“ ein, so dass hier Kurven verwendet werden können, die eine eingeschwungene Belastungssituation zur Grundlage haben.

Auch besondere Benutzergruppen, wie beispielsweise ältere oder kranke Menschen (Krankenhäuser), Kinder (Schulen, Kindergärten) oder sozial und ökonomisch ohnehin benachteiligte Bevölkerungsgruppen könnten in einem Bewertungsmodell berücksichtigt werden. Es wird jedoch empfohlen, keine Differenzierungen der betroffenen Bevölkerung beziehungsweise hinsichtlich besonderer Einrichtungen vorzunehmen.

Den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung zufolge unterscheiden sich die Reaktionen auf Lärm in Art und Stärke auch deutlich für Lärmereignisse, die am Tag oder in der Nacht auftreten. Die Belastungen sollten deshalb grundsätzlich getrennt betrachtet werden. Es wird empfohlen, für die Flughäfen, die einen nennenswerten Nachtflugbetrieb aufweisen, eine gesonderte Bewertung für die Nacht durchzuführen, und dementsprechend Expositions-Wirkungskurven für getrennte Bewertungen von Flugrouten für den Tag- und für den Nachtzeitraum heranzuziehen. Das kann zum Ergebnis haben, dass eine Flugroute am Tag in einer anderen Routenvariante zu bevorzugen ist als in der Nacht. Eine weitere Unterteilung der Belastungssituation anhand von lärmsensiblen Tageszeiten oder anhand von Jahreszeiten soll nicht erfolgen.

Das vorgeschlagene Verfahren, das eine Bewertung nach VDI 3722-2 vorsieht, bietet die Möglichkeit, eine ergänzende Bewertung der Gesamtlärmsituation mit weiteren Lärmquellenarten wie Straßen- und Schienenverkehr vorzunehmen. Aufgrund der derzeitigen Datenlage und dem Ziel des Verfahrens, eine zügige Bewertung zu ermöglichen, wird eine Gesamtlärmbetrachtung nicht empfohlen.

### 1.3 Bewertungsverfahren

Für das Bewertungsverfahren werden Prüfwerte (Beeinträchtigungskenngrößen) für den Tag und die Nacht eingeführt, die die Lärmbelastung eines Flugroutensystems auf der Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen in einem großen Untersuchungsgebiet beschreiben. Diese Vorgehensweise schließt zunächst Lösungen nicht aus, die eine Entlastung einer großen Anzahl gering lärmbelasteter Personen bei gleichzeitiger Zusatzbelastung Hochbelasteter als „günstig“ im Sinne eines niedrigen Prüfwertes erscheinen lassen. Ergänzend wird daher für hoch lärmbelastete Bereiche des Untersuchungsgebietes der rechnerische Einfluss auf das Gesundheitsrisiko geprüft und bei der Wahl einer Vorzugsvariante des Flugroutensystems berücksichtigt.

Grundsätzlich ist bei der Bewertung von Flugrouten und -systemen jeweils der Gesamt-Fluglärm, bestehend aus den Immissionen sämtlicher An- und Abflüge, die für den Untersuchungsbereich relevant sind, zu berücksichtigen. Im abgestuften Verfahren ist auch die Betrachtung von Flugrouten-Teilsystemen in einem eingeschränkten Untersuchungsgebiet möglich. Isolierte Flugroutenvarianten (ohne sonstigen Luftverkehr) werden nur im Zusammenhang mit Einzelfallbetrachtungen untereinander ähnlicher Routen untersucht.

#### 1.3.1 Prüfung Gesundheitsrisiko

Die Einführung einer großflächig zu bevorzugenden Flugroutenvariante soll keine Anhebung des Gesundheitsrisikos im hoch belasteten Bereich zur Folge haben. Zur Prüfung des Gesundheitsrisikos wird auf die auch von der WHO angewandte „Population-Attributable-Fraction“ (PAF) zurückgegriffen (WHO 2011). Derzeit liegen in der Literatur jedoch keine einheitlichen Risikoschätzer vor, die mögliche Risikoerhöhungen umfänglich abbilden können. Ersatzweise wird das Verfahren mit den von der WHO im Jahr 2011 veröffentlichten Odds-Ratios für Herzinfarkte durch Straßenverkehrslärm angewandt.

Die PAF soll für den Vergleich der einzelnen Flugroutenvarianten herangezogen werden. Sie weist als Indikatorgröße den Anteil der Fälle aus, die vermieden werden können, wenn die Exposition des Risikofaktors entfällt (Erdmann 2006; WHO 2011).

#### 1.3.2 Variantenprüfwert Belästigung

Die Abwägung der zu untersuchenden Flugroutenvarianten oder -systeme erfolgt über Varianten-Prüfwerte. Der Prüfwert ist ein Einzahl-Index, der getrennt für den Tag und die Nacht die Fluglärm-betroffenheit der Bevölkerung durch eine Flugroutenvariante beschreibt. In den Prüfwert gehen folgende Werte ein:

- ▶ äquivalenter Dauerschallpegel ( $L_{Aeq}$ ) des gesamten relevanten Luftverkehrs

- ▶ Zahlen der von diesen Pegeln betroffenen Personen (NP)
- ▶ Expositions-Wirkungsbeziehungen für belästigte Personen am Tag (%A)
- ▶ Expositions-Wirkungsbeziehungen für schlafgestörte Personen in der Nacht (%SD)

Für jede Rasterzelle beziehungsweise jedes Gebäude im Untersuchungsgebiet werden die Anteile belästigter beziehungsweise schlafgestörter Personen ermittelt und jeweils zu einem Varianten-Prüfwert-Tag (VPT) beziehungsweise Varianten-Prüfwert-Nacht (VPN) aufsummiert.

### 1.3.3 Fluglärmrechnung

In der vorliegenden Untersuchung wird eine Fluglärmrechnung nach AzB durchgeführt. Die Ermittlung von Prüfwerten ist jedoch nicht zwingend an Berechnungen nach AzB gebunden. Damit ist es möglich, Prüfwerte auch auf Basis anderer Fluglärmrechnungsverfahren zu berechnen, sofern diese geeignet und validiert sind.

Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an die AzB in vier Meter Höhe über dem Boden an Berechnungspunkten in besiedelten Bereichen, für die Einwohnendenzahlen bekannt beziehungsweise zu beschaffen sind.

Da gebäudescharfe Einwohnendenzahlen für den Großraum um Flugplätze häufig nicht vollständig und aktuell verfügbar beziehungsweise aus Datenschutzgründen nicht frei zugänglich sind, wird daher empfohlen, kommerzielle Rasterdaten mit jahresaktuellen Einwohnendenzahlen zu verwenden. Die Rasterschrittweite sollte 125 x 125 Meter nicht überschreiten.

Wegen der Unsicherheiten in den Eingangsdaten (Bevölkerungsmodell und Pegelberechnungen) ist für relevante Änderungen der Prüfwerte und Gesundheitsrisiken ein Unsicherheitsbereich zu definieren. Änderungen des Prüfwertes der Belästigung müssen danach mehr als 5 % unter der Vergleichsvariante und Änderungen des Gesundheitsrisikos mehr als 15 % darunter oder darüber liegen, um als relevant eingestuft zu werden. Kleinere Änderungen sind auf Basis der Fehlerbetrachtung statistisch nicht unterscheidbar.

Das Untersuchungsgebiet ist zunächst auf einen Bereich festgelegt, der Fluglärmbeurteilungspegel des gesamten Flugroutensystems einschließlich sämtlicher Untersuchungsvarianten von  $L_{Aeq, Tag} \geq 45$  dB(A) und  $L_{Aeq, Nacht} \geq 40$  dB(A) umhüllt. Dafür ist das Datenerfassungssystem (DES) des gesamten Flughafens zu erstellen und zu berechnen.

Bei nur geringfügigen Änderungen kann aus zweierlei Gründen eine Beurteilung ausschließlich im Einwirkungsbereich der Flugroutenänderung sinnvoll sein: Zum einen ist bei einem reduzierten Untersuchungsgebiet nicht das vollständige DES mit allen Flugbewegungen zu erstellen, zum anderen wird die relative Änderung der Prüfwerte in einem reduzierten Untersuchungsgebiet größer ausfallen und damit eher die geforderte Abnahme um 5 % oder mehr erreichen.

Bei der Untersuchung von Flugroutenvarianten oder Flugrouten-Teilsystemen, die nur eine Teilfläche des Untersuchungsgebietes beeinflussen, ist das Untersuchungsgebiet einzuschränken, und zwar auf einen Bereich, der durch die zu untersuchenden Varianten eine Änderung des Beurteilungspegels erfährt.

Bei mehreren eingeschränkten Untersuchungsgebieten (zeitlich oder räumlich getrennt) ist zu beachten, dass relative Änderungen der Prüfwerte nicht miteinander vergleichbar sind. Sofern diese Vergleichbarkeit gewünscht ist, beispielsweise für die Dokumentation einer langfristigen Entwicklung am Flughafen, sollte das Untersuchungsgebiet nicht eingeschränkt werden.

### 1.3.4 Gestuftes Bewertungsverfahren

Das Bewertungsverfahren für Flugrouten ist abgestuft und differenziert zwischen lokalen Flugroutenvarianten bzw. Varianten von Flugrouten-Teilsystemen und Varianten eines kompletten Flugroutensystems. Flugroutensysteme beschreiben den kompletten Luftverkehr eines Flugplatzes und sind meist nur im Zusammenhang mit Neuplanungen vollständig zu untersuchen.

Varianten von Flugrouten oder Flugrouten-Teilsystemen können isoliert von anderen Flugrouten untersucht werden, sofern diese keinen relevanten Anteil an den Beurteilungspegeln im Untersuchungsgebiet haben.

#### Varianten einer Flugroute oder eines Flugrouten-Teilsystems

Für jede Variante der Flugroute werden die „Population Attributable Fraction“ PAF berechnet und das Minimum des PAF aller Varianten bestimmt. Sämtliche Varianten mit einem PAF von mehr als 15 % über dem ermittelten Minimalwert scheidet aus Gründen des Gesundheitsschutzes aus.

Für die verbleibenden Varianten werden die Variantenprüfwerte Tag (VPT) und Nacht (VPN) berechnet und in ihrer Rangfolge analysiert. Eine Variante einer Flugroute ist dabei nur dann statistisch unterscheidbar und im Sinne der Lärmbetroffenheit weniger oder mehr belastend, wenn sich der Prüfwert um mindestens 5 % von der Vergleichsvariante unterscheidet.

Bei Vorliegen eines Datenerfassungssystems (DES) für das gesamte Flugroutensystem wird empfohlen, die o. g. Untersuchung zunächst im uneingeschränkten Untersuchungsgebiet durchzuführen. Sind statistisch unterscheidbare Vorzugsvarianten im Gesamtsystem nicht zu identifizieren, so ist das Untersuchungsgebiet einzuschränken.

Bei größeren Flugplätzen und bei Nichtverfügbarkeit eines DES für das gesamte Flugroutensystem kann eine Einschränkung des Untersuchungsgebiet gleich zu Beginn vorgenommen werden, sofern der Bereich aufgrund von zu erwartenden Änderungen des Beurteilungspegels ausreichend bekannt ist.

Für ein neues Flugroutensystem müssten theoretisch sämtliche Kombinationen von Routenvarianten berechnet und verglichen werden, was praktisch nicht möglich ist. Es wird empfohlen, ein Flugroutensystem aus Vorzugsvarianten zusammenzustellen und wechselweise jede Vorzugsvariante einmal durch die zweitplatzierte Variante zu ersetzen. In besonderen Fällen können auch drittplatzierte Varianten einbezogen werden.

Die Berechnung von PAF, VPT und VPN erfolgt analog zum zuvor genannten Vorgehen. Wenn dabei eine Gruppe von mehreren Varianten um mindestens 5 % von einer anderen Gruppe unterscheidbar ist, untereinander aber nicht, dann sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Varianten der Gruppe beeinflussen sich gegenseitig.  
Hier müssen andere Kriterien wie Ruhige Gebiete, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklungen, Vorbelastungen u. ä. zur Wahl der Vorzugsvariante herangezogen werden.
2. Die Varianten der Gruppe beeinflussen sich nicht (siehe Beispiel in Abschnitt 6.1.5).  
Diese Flugroutenvarianten können gemäß Abschnitt 6.1.6.2 isoliert voneinander untersucht werden. Tritt eine Unterscheidbarkeit ein, kann danach entschieden werden, andernfalls ist nach Fall 1 vorzugehen.

## 1.4 Minderungsmaßnahmen

Eine Möglichkeit zur Minderung des Fluglärms ist die Anwendung alternativer flugbetrieblicher Verfahren. Eine Recherche fasst aktuelle luftfahrtbezogene und im Internet verfügbare Materialien zusammen. Die Recherche bezieht sich ausschließlich auf lärmindernde Flugverfahren für den Instrumentenflugbetrieb.

## **Vertikale Optimierung von Abflugverfahren**

Von der vertikalen Optimierung eines Abflugverfahrens wird gesprochen, wenn die Steigrate des Luftfahrzeugs unmittelbar nach dem Start durch geeignete Maßnahmen erhöht wird (Steiles Starten).

Durch die vertikale Optimierung (Anhebung) von Abflugverfahren werden größere Überflughöhen über Siedlungsgebieten erreicht. Der größere Abstand führt rechnerisch – unter Annahme unveränderter Flugleistungsdaten – zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich des Abflugpfades. Die tatsächlich erforderlichen Schubanpassungen mit entsprechender Änderung der Geräuschemission erfordern, zur Vermeidung von ungewünschten Lärmzunahmen am Boden, eine Optimierung von Steigrate und Geschwindigkeit. In der Studie „Leiser Flugverkehr“ (DLR2) wird im Zusammenhang mit Zwischenbeschleunigungsphasen über einem Bereich von 4 bis 15 km nach dem Startpunkt gesprochen, in dem verminderte Lärmimmissionen am Boden zu erwarten sind.

## **Erhöhung der zulässigen Rückenwindkomponente**

Das maßgebliche Kriterium zur Festlegung der tatsächlich genutzten Start-/ Landebahn (Runway in Use) ist die Windrichtung.

Durch die notwendige Begrenzung auf eine maximal zulässige Rückenwindstärke wird die Nutzung von Bahnbetriebsrichtungen, die aus Lärmschutzsicht zu bevorzugen sind, eingeschränkt. Eine Anhebung der zulässigen Rückenwindkomponente ermöglicht somit die häufigere und längere Nutzung von lärmoptimalen Bahnbetriebsrichtungen.

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf einer Lärmverlagerung/-umverteilung. Bei unterschiedlicher Siedlungsdichte im Bereich der Verlängerungen von Start-/ Landebahnen können dichter besiedelte Gebiete zu Ungunsten weniger dicht besiedelter Gebiete entlastet werden. Für den Flughafen Frankfurt/Main wird das Minderungspotenzial des Verfahrens im ersten Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz mit einer Reduktion hochbetroffener Personen um 3 % beschrieben (Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz 2010).

## **Segmented RNAV(GPS) Approach**

Beim Segmented RNAV(GPS) Approach wird der Anflug über eine durch Wegpunkte definierte Strecke so spät wie gemäß gültiger Vorschriften möglich, mindestens jedoch später als bei anderen Anflügen, auf den geraden Endanflug geführt.

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf einer Lärmverlagerung /-umverteilung. Flugstrecken können differenziert zwischen Siedlungsgebieten hindurchgeführt werden und gleichzeitig wird eine genauere Befolgung der Strecken durch die Luftfahrzeuge ermöglicht (Bündelung). Die Verlagerung über gering besiedelte Gebiete führt dort zu einer höheren Lärmbelastung zu Gunsten der umflogenen Siedlungsbereiche.

## **GBAS (Ground Based Augmentation System)**

GBAS (Ground Based Augmentation System) ist ein mögliches Nachfolgeverfahren des ILS für Präzisionsanflüge. Unter dem Aspekt des Lärmschutzes bietet ein GLS (GBAS Landing System) folgende Vorteile:

- ▶ Es sind gekurvte Anflugverfahren möglich, sodass auch im Endanflug das Umfliegen von lärm-sensiblen Gebieten möglich wäre. Dies ist bisher aber noch nicht in veröffentlichten Verfahren realisiert, wäre aber eine konsequente Fortsetzung des Segmented RNAV(GPS) Approach.
- ▶ Es sind unterschiedliche gleichzeitig nutzbare Anfluggleitwinkel möglich, was dem Verfahren „Anhebung des Gleitwinkels“ neue Realisierungsmöglichkeiten gibt.



Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf der Umverteilung des Lärms und ist mit dem Potenzial des Segmented RNAV(GPS) Approach vergleichbar.

### **Dedicated RWY Operations (DROps)**

Bei Dedicated Runway (RWY) Operations (DROps) werden mindestens zu festgelegten Zeiten bevorzugt die Start-/Landebahnen genutzt, die die wenigsten Fluglärmbeeinträchtigungen auslösen oder bei deren Nichtnutzung in Teilen der Umgebung eines Flughafens Lärmpausen bewirkt werden..

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf der temporären Lärmverlagerung /-umverteilung zur Schaffung von Lärmpausen. Diese Lärmpausen sind ausschließlich mit Lärmwirkungskriterien zu bewerten. Mit Berechnungsverfahren, die über längere Zeiträume mitteln, wie z. B. die sechs verkehrsreichsten Monate eines Jahre, sind kurzzeitige Lärmpausen nicht abbildbar. Ein geringer rechnerischer Einfluss mit möglicher Pegelanhebung besteht jedoch über die vergrößerte Streuung der Bahnbetriebsrichtungsverteilung (Sigma-Regelung).

### **Continuous Descent Approach (CDA)**

Der Continuous Descent Approach (CDA) ist ein im ökologischen und ökonomischen Sinne optimierter Sinkflug zum Endanflug. Das Luftfahrzeug sinkt möglichst im Leerlauf oder mit minimaler Triebwerksleistung. Idealerweise beginnt ein CDA in der Reiseflughöhe und es werden Horizontalflüge während des Sinkflugs vermieden.

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht im Wesentlichen auf der Rücknahme des Triebwerksschubs und einer damit verbundenen Reduzierung der Geräuschemission des Luftfahrzeugs. Durch eine zusätzliche Verkürzung oder Vermeidung von horizontalen Zwischenanflugsegmenten werden Überflüge in geringer Höhe verkürzt und der für den Horizontalflug erforderliche Triebwerksschub vermieden. Größere Flughöhen führen zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich des Anflugpfades. Das Verfahren ist nur bis zum Beginn des Endanfluges anwendbar. Im Bereich des Endanfluges (etwa 20 km bis zur Landeschwelle) ist dadurch keine Lärmentlastung möglich.

### **Anhebung des Anfluggleitwinkels**

Bei der Anhebung des Anfluggleitwinkels wird der Endanflug der veröffentlichten Instrumentenanflugverfahren steiler. Dadurch kann ein Horizontalflugteil vor dem Endanflug in größerer Höhe erfolgen oder der Sinkflug später beginnen.

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf der Anhebung der Überflughöhe auch im Nahbereich der Landebahn. Die größere Flughöhe führt zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich des Anflugpfades. Es ist allerdings für einen Teil von Luftfahrzeugen nicht auszuschließen, dass die höhere Sinkrate durch geräuschintensive Bremsmaßnahmen (Landeklappen, Fahrwerk) kompensiert werden muss und das Lärminderungspotenzial dadurch vermindert wird. Ein von 3,0 auf 3,5 Grad angehobener Anfluggleitwinkel führt zu einer Anhebung der Überflughöhe um rund 17 %. Damit sind Pegelminderungen (nach AzB berechnet) am Boden in der Größenordnung von 1 dB(A) möglich.

### **Point-Merge-Verfahren**

Das Point-Merge-Verfahren beschreibt einen lateral und vertikal definierten Trichter, in den die Luftfahrzeuge geführt werden. Innerhalb dieses Trichters bewegen sich die Luftfahrzeuge auf den Merge Point (Sammelpunkt) zu. Nach dem Passieren des Merge Points wird der Flug auf einer festgelegten Flugroute bis zum Erreichen des Endanfluges fortgesetzt. Der Endanflug erfolgt dann über ein anderes Anflugverfahren, z. B. ILS.

Durch das Point-Merge-Verfahren werden die anfliegenden Luftfahrzeuge bereits in größerer Entfernung vom Flughafen und in größeren Höhen stärker kanalisiert. Der Flugweg zum Endanflug ist also unter Lärmschutzaspekten detailliert beeinflussbar, anders als bei dem heute zumeist praktizierten Verfahren der von Fluglotsen individuell radargeführten Flugwege zum Endanflug.

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht in der Anhebung von Flugrouten und der Verlagerung von flugplatznahen Sammelbereichen (z. B. Transitions) in größere Entfernungen und Höhen. Die größere Flughöhe führt zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich der Anflugpfade.

### **Berücksichtigung der Maßnahmen in Berechnungsverfahren**

Die zu entwickelnde Bewertung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten erfolgt auf der Grundlage der untersuchten Gewichtungsmo- delle für Dauerschallpegel des Fluglärms. Im Rahmen dieses Vorhabens wird die Berechnung dieser Pegel an einem Modellflughafen in Anlehnung an die Berechnungsvorschrift der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen, AzB“ (AzD/AzB 2008) nach dem Fluglärmschutzgesetz vorgenommen.

Die AzB beschreibt Geräuschemissions-Kennwerte für Luftfahrzeugklassen in Abhängigkeit von der Entfernung zur Start-/ Landebahn. Für den Modellflughafen werden auch aktive Schallschutzmaßnahmen modelliert, deren Flugverfahren in der AzB nicht vorgesehen sind. Für diese Flugverfahren wird nachfolgend auf mögliche Einschränkungen bei Fluglärm-berechnungen in Anlehnung an die AzB hingewiesen (siehe Tabelle 3).

Das Bewertungsverfahren wird für zukünftige Fluglärm-Berechnungsverfahren offen gehalten und nicht streng an die AzB gebunden. Mit entsprechender Anpassung des Berechnungsverfahrens (gegebenenfalls auch der Parameter der AzB-Luftfahrzeugklassen) wird das Bewertungsverfahren somit auch die Minderungswirkung neuartiger Flugverfahren berücksichtigen können.

## **1.5 Anwendung an einem Modellflughafen**

### **1.5.1 Grundlagen eines Modellflughafens**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Modellflughafen (EDXX) modelliert und in Form eines Referenz-DES beschrieben. Als Basis für die Modellierung wurde der Flughafen Bremen (EDDW) mit rund 10.000, in einem Zeitraum von fünf Monaten aufgezeichneten, Flugspuren verwendet. Die Flugspuraufzeichnungen wurden entlang einer West-Ost-Achse durch den Bahnmittelpunkt gespiegelt. Aus den Flugspuraufzeichnungen wurde ein AzD-konformes Datenerfassungssystem erstellt.

Der Modellflughafen beschreibt ein realistisches Szenario eines Flughafens mit einer Start- und Landebahn und guter flugbetrieblicher Auslastung der vorhandenen Infrastruktur. Die angenommene Flugbewegungsanzahl liegt in etwa in der Größenordnung des heutigen Flughafens Berlin-Schönefeld. Auch der angenommene Anteil der Nachtflugbewegungen wurde in Anlehnung an existierende Flughäfen (wie z. B. Hannover) gewählt.

### **1.5.2 Untersuchungsvarianten**

Für den Modellflughafen wurden sowohl für Starts als auch Anflüge Flugrouten-Teilsysteme mit verschiedenen Minderungskonzepten erstellt. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Varianten der beiden Teilsysteme nicht gegenseitig beeinflussen.

Untersucht wurden folgende Varianten:

- ▶ Verlagerung von Abflügen auf bestehenden Routen
- ▶ Erhöhung des ILS-Gleitwinkels
- ▶ Point-Merge-Anflugverfahren
- ▶ Segmented RNAV Approach

### 1.5.3 Berechnung und Anwendung des Bewertungsverfahrens

Die Berechnung der Fluglärmpegel  $L_{Aeq, Tag}$  und  $L_{Aeq, Nacht}$  erfolgt in einem Einwohnenden-Raster mit 125 m Rasterschrittweite. Berechnet werden nur Zellen mit einer Einwohnendenzahl  $\geq 1$ . Der Modellflughafen liegt am Rande einer dichten aber heterogenen Siedlungsstruktur. In Verlängerung der Start- und Landebahn befinden sich teilweise ebenfalls dicht besiedelte Gebiete.

Zur Beurteilung der Gesundheitsrisiken bei der Flugroutenfestlegung wird zunächst für das gesamte Untersuchungsgebiet die Population Attributable Fraction  $PAF_{Ges}$  beziehungsweise für ein eingeschränktes Untersuchungsgebietes die  $PAF_{Teil}$  berechnet und dargestellt.

Anschließend erfolgt die Berechnung der Varianten-Prüfwerte VPT und VPN zunächst im gesamten Untersuchungsgebiet. Es zeigt sich, dass in der Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebietes des Modellflughafens die Tag-Varianten statistisch nicht unterscheidbar sind, der geforderte Abstand von 5 % wird von keinem Prüfwert der Variante erreicht. Eine Nacht-Variante hingegen ist als Vorzugsvariante zu identifizieren.

Zur weiteren Differenzierung der Varianten - hier insbesondere für den Tag - wird das Untersuchungsgebiet eingeschränkt. Für die Bildung der Prüfwerte  $VPT_{Teil}$  und  $VPN_{Teil}$  ist dabei nur die Teilmenge des eingeschränkten Gebietes zu summieren.

Für den Tag sind in der Teilbetrachtung des Modellflughafens zwei Varianten von der Ausgangsvariante statistisch zu unterscheiden. Untereinander sind sie mit einem Abstand von nur 2 % nicht zu unterscheiden. Die Population Attributable Fraction  $PAF_{Teil}$  dieser Varianten sind nicht schlechter als für die Ausgangsvariante. Sie sind damit gemeinsam als Vorzugsvarianten für den Tag zu identifizieren.

### 1.5.4 Ergebnis

Es zeigt sich, dass das Bewertungsmodell eine klare Unterscheidung der einzelnen Flugroutenvarianten des Modellflughafens über die Prüfwerte zulässt. Das große Untersuchungsgebiet und der maßgebliche Einfluss hoher Dauerschallpegel von unveränderten Flugrouten in Flughafennähe führen jedoch zu vergleichsweise geringen Änderungen der Prüfwerte für die untersuchten Flugroutensysteme. Selbst die größten Prüfwert-Abweichungen zur Ausgangsvariante betragen hier weniger als 5 %. Erst in einem eingeschränkten Untersuchungsgebiet sind Vorzugsvarianten mit einer Verbesserung von mehr als 5 % gegenüber der Ausgangsvariante statistisch unterscheidbar.

Bei den betrachteten Varianten zeigt sich für den Modellflughafen, dass sowohl eine Anhebung des Anflugwinkels, ein Point-Merge-System als auch ein Segmented RNAV Approach die Lärmsituation verbessern. Die in einer Variante untersuchte Verlagerung der Abflüge hingegen führt besonders am Tag zu höheren Prüfwerten mit einer höheren Gesamt-Fluglärmbelastung.

## 1.6 Fazit

Die Beurteilung und Rangbildung von Flugrouten bewegt sich in einem übergeordneten Kontext von Grundsatzfragen der Lärmverteilung (Barth et. al. 2014). Der konkrete Umgang mit diesen Fragestellungen sollte neben den fachlichen Erwägungen auch unter Berücksichtigung der tatsächlich empfundenen Wirkung erfolgen. Anhand des Flugbetriebs eines zu beurteilenden Flughafens soll im entwickelten Verfahren die Fluglärmbelastung der Bevölkerung mit Hilfe von Prüfwerten unter Vermeidung des Anstiegs potenzieller Gesundheitsrisiken bei Hochbelasteten wirkungsorientiert bewertet werden. Auf eine Berücksichtigung verschiedener demographischer Spezifika und Personengruppen (z. B. Schulkinder, Kranke, Senioren) des Untersuchungsgebiets wird dabei verzichtet.

Die Bewertungsfunktion der Varianten-Prüfwerte basiert auf den in der VDI 3722-2 veröffentlichten Verfahren zur Bestimmung des Anteils der „Belästigten“ (%A) sowie der „Schlafgestörten“ (%SD).



Diese Funktionen sind als etablierter Standard zu betrachten. Zudem ermöglichen sie, wenn eine ausreichende Datenbasis vorliegt, eine spätere Öffnung des Beurteilungsverfahrens für die Berücksichtigung von Vorbelastungen. Der Vergleich der resultierenden Gesundheitseffekte wird anhand der u. a. von der WHO angewandten „Population-Attributable-Fraction“ (PAF) durchgeführt (WHO 2011).

Auf Grundlage der zuvor entwickelten Ansätze zur Bewertung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten wurde das Bewertungsverfahren konkretisiert und mit den Varianten-Prüfwerten in eine anwendbare Fassung mit Einzahl-Indizes für den Tag- und den Nachtzeitraum überführt. Mit dem gestuften Bewertungsverfahren wird dem Umstand Rechnung getragen, dass kleinräumige Änderungen an Flugroutenvarianten zu geringen relativen Änderungen in der Gesamtbelastung führen können, die statistisch nicht unterscheidbar sind.

Zur Validierung des beschriebenen Bewertungsverfahrens wurde ein realitätsnaher Modellflughafen mit Flugrouten-Varianten über typischen Siedlungsstrukturen modelliert und entsprechend bewertet. Die Bewertungsergebnisse zeigen, dass sich mit dem Verfahren klare Präferenzen für Flugroutenvarianten hinsichtlich der Lärmbelastung der Bevölkerung ergeben, die vor dem Hintergrund einer Unsicherheitsbetrachtung statistisch unterscheidbar sind.

## 2 Summary

### 2.1 Introduction

Aircraft noise is associated with an extensive number of disturbances. Among the various carriers, air traffic is the second most important source of noise impacting the population after road traffic. According to the representative survey “Environmental Awareness in Germany 2014” 21% of participants felt affected by air traffic (UBA 2014). As a psycho-social stress factor, its noise has a negative impact on the subjective wellbeing, quality of life and health of those exposed to it. In addition to the disturbance and the detrimental health effects, major noise effects include communication difficulties, reduced sleep recovery, reduced mental wellbeing, a negative impact on the cognitive development of children as well as restricted living behavior. The amount of passenger air traffic is expected to increase further in the coming years.

When it comes to determining flight procedures, the Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) is obligated to consider the protection of the population from unacceptable aircraft noise according to the Luftverkehrsgesetz (Air Traffic Act – LuftVG). However, aspects concerning noise protection do not constitute a priority. Due to the changes made with respect to § 32 of the Air Traffic Act (LuftVG), it was decided in 2007 to include the Federal Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA) in the planning of air routes. Until then, the evaluation of air routes had been based primarily on safety and operational criteria. Now, as part of the so-called conduct regulations, the Federal Environment Agency has to evaluate whether the route selected by the DFS is the one that causes the least amount of noise affecting the population or if another route might be preferable. Including the Federal Environment Agency into the process has also led to the consideration of aspects related to noise effects within the evaluation procedure (Hotes et al. 2010). “The objective is to create a balance between the partially opposing economic and ecological interests and to protect the population from aircraft noise more effectively.” (Hotes et al. 2010).

### 2.2 Developing an assessment procedure

In order to assess new or altered flight routes, it is necessary to determine how these may be evaluated based on their noise effects on the affected population. The aim should be to choose the flight procedure that has the smallest negative impact. Since, according to the findings of research into the effects of noise, noise disturbance is only partially created by physical indicators such as different noise levels (e.g. Finke et al. 1980, Brink et al. 2005), other factors play a significant role in the evaluation and ranking of flight route systems when it comes to individually perceived noise disturbance.

The assessment of flight routes taking into consideration exposure-effect curves in noise effect research aims to minimize the noise impact on the population created by flights on the flight routes systems. Exposure and effect relationships serve as a basis upon which the way to which the population may react to noise situations can be anticipated and comparisons and assessments of different flight routes can be carried out.

#### 2.2.1 Existing assessment procedures

A special assessment procedure for the conduct participation in accordance with § 32 of the Air Traffic Act has been developed by the Federal Environment Agency (UBA 2012) for the specialized noise related evaluation of the flight route system at the planned airport Berlin-Brandenburg (BER). This procedure, which is implemented in Germany for the first time, includes a variation comparison the purpose of which is to ensure a noise affectedness that is as minor as possible. Considering the dense population within the area surrounding the BER, the specialized noise related evaluation constitutes an approach that aims to minimize the number of individuals affected by aircraft noise as well as the environmental impact as much as possible.

Initially, the specialized noise related evaluation was applied in the observation of individual flight routes including an assessment of the noise. The noise assessment process was tested based on noise effect oriented procedures in order not to include exclusively acoustic criteria, because those only provide explanations for the existence of a small part of the individuals affected by noise. The flight routes in question were assessed using different weighting curves.

In addition to the noise assessment developed by the UBA various other methods provided by different institutions are applied in the evaluation of flight routes with respect to noise aspects. These include NIROS (Noise Impact Reduction and Optimization System) provided by Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) which enables a variation comparison among departure routes based on a "grade value". On the other hand, the Frankfurt aircraft noise index (FluglärmindeX - FFI) utilized at the Frankfurt Airport consists of an effect oriented day and night index considering the number of individuals highly affected by aircraft noise, respectively the number of incidents in which individuals are woken from their sleep by aircraft noise. The Zurich aircraft noise index (ZFI) also consists of a day and a night index. The ZFI is calculated by adding the highly affected resident population and the population suffering from severe sleep disorders. At the end of 2015 the State Office for Environment, Health and Consumer Protection of the Federal State of Brandenburg published a procedure which describes the "evaluation of air traffic measures with respect to disturbance, sleeping disorders as well as coronary heart disease in view of the traffic related total noise load" based on the noise load caused by street, railway and air traffic noise determined utilizing the VDI 3722-2.

### 2.2.2 Noise effect research findings

The research on the adverse effects of noise on individuals started in the 1950s as a reaction to the increasing noise load generated by air traffic (Giering 2010). Disturbance is a term that depends heavily on the capacity to remember as well as the attitudes towards noises sources of those surveyed. Noise effect research has shown in numerous empirical studies that only a comparatively small amount of the disturbance that occurs is determined by acoustic and therefore physically measurable values. Psychological factors such as the possibility to avoid noise, the feeling of powerlessness, personal dispositions, but also the time of the day or night play an important role when it comes to the perception of the effects generated by noise (see Finke et al. 1980; Guski 1987; Giering 2010). Major effects that are mentioned include communication disruption, disturbed recreation (day and night), less psychological wellbeing as well as a restricted living behavior (Finke et al. 1980). People experiencing health problems subjectively feel affected more severely by noise than individuals whose health is stable (Kastka et al. 1999).

Current research suggests that the population has grown more sensitive when it comes to noise disturbance so that in comparison to former years constant noise levels that are considerably lower are sufficient to trigger similar negative reactions among the affected parties (Guski 2013; Wirth et al. 2004; Guski / SchreckenberG 2015).

Several studies conducted in the late 1970s already showed that aircraft noise is associated with an increased risk of heart and circulatory conditions (Meecham / Shaw 1979; Andren 1982; Dejoy 1984, Brenner et al. 1993; Jarup et al. 2008). Numerous overview papers and meta-analyses on the link between traffic noise (street, railway, air traffic) and health effects such as high blood pressure, respectively heart or circulatory conditions, have been published (e.g. Babisch 2014). According to findings from the HYENA study (Hypertension and Exposure to Noise Near Airports) exposure to aircraft noise at night can lead to an increased risk of high blood pressure (Jarup et al. 2008). In a meta-analysis in 2009, Babisch and van Kamp (2009) reached the conclusion that the correlation between aircraft noise and the risk of developing high blood pressure has been proven sufficiently.

### 2.2.3 Command variables of an assessment

Since noise effect research considers disturbance as the main effect caused by environmental noise, it is to be utilized as a main value for the assessment of the affectedness within the day by the newly developed assessment procedure. This approach is supported by the fact that the reaction to disturbance can provide comprehensive hints pointing towards the existence of negative noise effects even before observable aircraft noise related health impairments occur. Individual statements regarding sleeping disorders are to be included with respect to the disturbance experienced during the night. Generally, "health" is to be taken into consideration implicitly at an early stage – before the manifestation of observable health effects. As part of an assessment, however, health effects are not to be excluded completely. If the assessment is carried out based on an exposure-effect curve for disturbances or self-reported sleeping disorders, it is possible that a comprehensive improvement of the situation is brought about through a minor relief experienced by many individuals along with the concurrent increased exposure particularly of those that are already highly affected. In order to prevent such a scenario, health effects should be integrated into the assessment process. In the concept that is to be developed here, the assessment of health effects is only integrated to determine "if" one variation is better than a basic variation, but not to which extent.

In order to determine a suitable weighting model to compare the grade value of different variations, the focus was on the exposure-effect relationships between aircraft noise load on the one hand and on reactions to disturbance or self-reported sleeping disorders on the other. For the purpose of an objective evaluation of flight route alternatives the number of individuals affected by aircraft noise within the different levels of noise load is combined with a suitable exposure-effect curve. Therefore the resulting ranking, depending on the weighting curve that is used, puts more emphasis on individuals that are more highly affected by aircraft noise than those that are affected less. By using suitable weighting curves one is able to answer the question whether bundling the load (few affected parties, however more strongly affected) or a spreading it (many affected parties but less affected) is preferable. This question is discussed occasionally in connection with noise mitigation measures in street traffic, but it is also significant when it comes to air traffic in cases in which it is possible to influence the noise affectedness of the population by selecting and establishing flight routes in a certain way.

### 2.2.4 Additional aspects

In addition to the determination of a ranking, there are aspects that may have an impact on the effects of the disturbance. These include, for instance, the change effect that points towards a disproportionately higher disturbance following an extension. With respect to the change effect, it should be considered that flight routes are to be established for a number of years. After a certain "adaptation phase" during which the reactions expressed by the population may be more intense, people get used to the conditions so that curves may be used here that are based on a steady load situation.

Also, special user groups, e.g. older people or individuals suffering from poor health (hospitals), children (schools, nurseries) or sections of the population who are socially or economically disadvantaged as it might receive special consideration within an assessment model. It is recommended, however, not to differentiate between certain population groups or institutions.

According to the findings generated through noise effect research the reactions to noise differ vastly with respect to the type and intensity depending on whether noise occurs during the day or at night. Therefore, the loads should always be reviewed separately. It is recommended to conduct a separate night assessment for airports that have a significant amount of night flying operations and to utilize exposure-effect curves for the separate evaluation of flight routes for day- and nighttime accordingly. The result may be that certain variations of a flight route are more preferable during the day or at night. An additional categorization recognizing noise-sensitive times of the day or based on seasons is not to be implemented.

The suggested procedure, which is based on an assessment in accordance with VDI 3722-2, offers the possibility to carry out an additional evaluation of the comprehensive noise situation including other sources of noise such as street or railway traffic. Due to the current data available and the objective of the procedure to enable a swift assessment, conducting a comprehensive noise observation is not recommended.

## 2.3 Assessment procedures

For the assessment test values (affectedness parameters) are established for the day- and night-time that describe the noise load of an flight route system based on exposure-effect relationships within an extensive examination area. Initially, this approach does not exclude solutions that make a relief experienced by a large number of slightly affected individuals in combination with an increased disturbance of highly affected parties seem “convenient” in the sense of a lower test value. Therefore, the arithmetical influence on the health risk is checked for highly affected parts of the examination area and is taken into consideration when selecting a preferential variation of the flight route system.

Generally, when evaluating flight routes and flight route systems the total aircraft noise consisting of the immissions of all arrivals and departures that are relevant for the examination area is to be included. A graded procedure also enables the review of flight route subsystems within a limited examination area. Isolated flight route variations (without other air traffic) are only examined in connection with the individual observation of routes that are similar to each other.

### 2.3.1 Assessing health risks

The introduction of a flight route variation that is preferred on a large scale is not to result in an increased health risk within the affected area. The “Population-Attributable-Fraction” (PAF) that is also utilized by the WHO (WHO 2011) is applied to check the health risk. However, the available literature does not provide any consistent risk estimators that can demonstrate possible risk increases comprehensively. Instead, the procedure utilizing the odds ratios for cardiac infarctions caused by street traffic noise published by the WHO in 2011 is applied.

The PAF is to be used for the comparison of the individual flight route variations. As an indicator, it represents the amount of cases that can be prevented if exposure to the risk factor does not occur (Erdmann 2006; WHO 2011).

### 2.3.2 Disturbance as a variation test value

The weighting of the air traffic variations or systems that are to be examined is conducted based on variation test values. The test value is a singular index that describes the air traffic noise affectedness of the population caused by one flight route variation separately for day and night.

The following values are integrated into the test value:

- ▶ equivalent constant sound level ( $L_{Aeq}$ ) of the entire relevant air traffic
- ▶ numbers of the people affected by these levels (NP)
- ▶ exposure-effect relationships for the individuals affected during the day (%A)
- ▶ exposure-effect relationships for individuals suffering from sleep disorders during the night (%SD)

For each raster cell, respectively for each building within the examination area the numbers of individuals affected by noise or suffering from sleep disorders are determined and added up to a variation test value for the daytime (Varianten-Prüfwert-Tag – VPT), respectively to a variation test value for the night (VPN).

### 2.3.3 Aircraft noise calculation

In the research at hand a calculation of aircraft noise is carried out in accordance with AzB. However, the determination of test values does not necessarily depend on calculations based on AzB. Therefore, it is possible to calculate test values utilizing other procedures to calculate aircraft noise as long as they are suitable and have been validated.

The calculation is conducted based on the AzB within four meters above the ground on calculation points within populated areas the population figures of which are known or can be obtained.

Since it is frequently not possible to access the complete, current and exact number of inhabitants for buildings within the greater area surrounding airports due to privacy protection reasons, it is recommended to utilize commercial raster data with current annual population figures. The raster increment should not exceed 125 x 125 meters.

Due to the uncertainties with respect to the input data (inhabitants model and level calculations), it is necessary to define a range of uncertainty to address relevant changes to the test values and health risks. Accordingly, changes to the disturbance test value have to be 5 % below the comparative variation and changes to the health risk have to be 15 % higher or lower in order to be deemed relevant. Smaller changes cannot be differentiated statistically based on the failure analysis.

The examination area is initially limited to one area that entails aircraft noise evaluation levels of the entire flight route system including all assessment variations of  $L_{Aeq, Day} \geq 45$  dB(A) and  $L_{Aeq, Night} \geq 40$  dB(A). For that purpose, the data acquisition system (DAS) for the entire airport is to be set up and calculated.

With minor changes, an assessment conducted exclusively within the zone affected by the flight route change can be useful for two reasons: On the one hand, it is not necessary to create a complete DAS including all air activities for a reduced examination area. On the other hand, the relative change of the test values is going to be more substantial within a limited examination area, and therefore the required reduction by 5 % or more can be reached more easily.

When flight route variations or partial flight route systems that only influence a subarea of the examination area are examined, the examination area is to be limited to an area that does experience a change in the evaluation levels brought about by variations which are to be evaluated.

In the case of several limited examination areas (separated based on time or space), it is necessary to observe the fact that relative changes to the test values cannot be compared. If such comparability is needed, for instance in order to document a long-term development on the airfield, the examination area should not be limited.

### 2.3.4 Graded assessment procedure

The assessment procedure for air routes is graded and differentiates between local air route variations or variations of air route subsystems and the variations of a complete air route system. Air route systems describe the complete air traffic at an airfield and can mostly only be examined comprehensively in connection with new planning activities.

Variations of air routes or air route subsystems can be examined separately from other air routes if these do not play a relevant role with respect to the evaluation levels within the examination area.

Variations of a flight route or of a flight route subsystem

For each variation of the flight route the "Population Attributable Fraction" PAF is calculated in relation to the basic variation, and a minimum value is determined. All variations with a PAF of more than 15 % above the established minimum value are excluded due to health protection reasons.



For the remaining variations the variation test values for daytime (VPT) and night time (VPN) are calculated and analyzed within their ranking. A variation of a flight route is only distinguishable statistically and considered more or less effective with respect to noise load if the test value differs from the comparative variation by at least 5 %.

If a data acquisition system (DAS) exists for the entire flight route system, it is recommended that the assessment mentioned above is conducted within the unlimited examination area first. If statistically distinguishable preferable variations cannot be identified within the comprehensive system, one has to limit the examination area.

In the cases of larger airfields and if a DAS is not available for the complete flight route system, the restriction can be implemented right from the beginning, as long as the area is sufficiently well known due to expected changes to the evaluation level.

Theoretically, a new flight route system would require the calculation and comparison of all combinations of route variations. However, that is not practically possible. The recommendation is to assemble a flight route system of preferable variations (favored basic variation with respect to noise and other parameters) and to take turns in replacing each preferable variation once with the variation that comes second in the ranking. In special cases variations ranking third can be included.

The calculation of PAF, VPT and VPN is carried out analogously to the previously mentioned procedure. If a group of several variations differs from another group by at least 5 %, but not among each other, one has to distinguish between two scenarios:

1. The variations within the group influence each other.  
In that case, other criteria such as quiet areas, population and settlement developments, previously existing loads etc. have to be considered when selecting the preferable variation.
2. The variations within the group do not influence each other (see example in chapter 6.1.5). These flight route variations can be examined separately from each other (see chapter 6.1.6.2). If they can be distinguished, a decision can be made based on that. In the alternative case, one is to proceed as in case no. 1.

## 2.4 Mitigation measures

One option to mitigate aircraft noise is to apply alternative air traffic procedures. An investigation into these summarizes current aviation-related material available on the internet. The research focuses exclusively on noise reducing air traffic procedures for instrument flight processes.

### Vertical optimization of takeoff procedures

The vertical optimization of a takeoff procedure refers to cases in which the rate of climb of an aircraft is increased immediately after takeoff by utilizing suitable measures (steep takeoff).

Vertical optimization (elevation) helps to increase crossing altitudes above residential areas. Calculatively, a higher distance results in lower noise immissions within the area of the departure path – provided that the flight performance data stay the same. The actually required propulsion modifications with respective changes in the immission of noise require an optimization of climb rate and speed in order to avoid an unwanted increase of noise on the ground. The study “Quiet Air Traffic” (“Leiser Flugverkehr“. DLR2) discusses a range of 4 to 5 km after takeoff in connection with intermediate acceleration phases during which a reduction of noise immissions can be anticipated.

### **Increasing the permissible tailwind component**

The most important criterion when it comes to determining the actual runway in use is the wind direction.

Since it is necessary to observe the permissible maximum tailwind force, the utilization of runway activity directions that would be preferable when focusing on noise protection may be restricted. Increasing the permissible tailwind component therefore enables the more frequent and longer utilization of noise-optimal runway directions.

The potential of this method to reduce noise is based on the redistribution of noise. With differences in the population density within the area of runway elongations, the strain on more densely populated areas can be relieved by shifting the load to less densely populated areas. In the case of the Frankfurt Airport the mitigation potential of this strategy is a reduction of 3 % among highly affected individuals according to the first Package of Measures Active Sound Protection (Report Expert Panel Active Sound Protection 2010).

### **Segmented RNAV(GPS) Approach**

The Segmented RNAV (GPS) Approach leads the approaching flight across a stretch defined by waypoints onto the straight final approach as late as possible in accordance with applicable regulations, however at least later than other approaches.

The noise mitigation potential of the method results from the shifting and redistribution of noise. Flight routes can be steered through residential areas in a differentiated manner and aircrafts are enabled to follow the routes more exactly (bundling) at the same time. Moving the traffic to less densely populated areas leads to a higher load in those places which benefits the areas that are circuted.

### **GBAS (Ground Based Augmentation System)**

GBAS (Ground Based Augmentation System) is a potential follow-up procedure to the ILS (Instrument Landing System) for precision approaches. With respect to noise protection the GLS (GBAS Landing System) offers the following benefits:

- ▶ Curved approach procedures are possible so that circuiting noise sensitive areas would also be possible during the final approach. This has not been realized within released procedures, but it would constitute a consequent continuation of the Segmented RNAV(GPS) Approach.
- ▶ There are different flight path angles that can be used at the same time. This offers new options when it comes to the strategy of "increasing the glide angle".

The noise mitigation potential of this approach is also based on the redistribution of noise and comparable to the Segmented RNAV(GPS) Approach.

### **Dedicated RWY Operations (DROps)**

With Dedicated Runway (RWY) Operations (DROps) those runways are preferred, at least during defined times, which cause the least amount of noise or the non-utilization of which brings about noise breaks within certain parts of the area surrounding the airport.

The noise mitigation potential results from the temporary shift of noise or its redistribution aiming to create noise breaks. These breaks can only be evaluated on the basis of noise effect criteria. Calculation methods that average over longer periods of time, e.g. the six months with the most traffic, cannot make noise breaks visible. However, a minor calculative influence in connection with a possible level increase exists through the increased spreading of the runway direction distribution (sigma rule).



### **Continuous Descent Approach (CDA)**

The Continuous Descent Approach (CDA) is a descent that has been optimized on an ecological and economical level and leads to the final approach. The aircraft descends in at-rest mode if possible or with minimized engine performance. Ideally, a CDA starts at cruising altitude and level flights are avoided during the descent.

The noise mitigation potential of this procedure is mainly based on the reduction of the engine thrust, and the resulting reduction of noise immission from the aircraft. An additional reduction or avoidance of horizontal intermediate approach segments shortens overflights within a low height and helps to avoid the engine thrust that is necessary for a horizontal flight. Higher altitudes lead to less noise immissions within the area along the approach paths. The method can only be applied until the final approach starts. Therefore, it is not possible to reduce noise this way within the final approach area (approx. 20 km before the threshold).

#### **Increasing the flight path angle**

Increasing the flight path angle makes the final approach of the published instrument approach flight procedure steeper. That way a horizontal part of the flight prior to the final approach can take place in a higher height and the descent can start later.

The noise mitigation potential of this procedure results from raising the overflight altitude also within the vicinity of the runway. The increased altitude leads to a reduction in noise immissions along the vicinity of the runway. However, it is not possible for some aircrafts to exclude the possibility that the higher descent rate has to be compensated through noise-intensive breaking measures (landing flaps, engine) which would then reduce the noise mitigation potential. A flight path angle that is raised from 3.0 to 3.5 degrees results in an increase of the overflight altitude by 17 %. This allows for a reduction of levels (calculated using AzB) on the ground of approximately 1 dB(A).

#### **Point Merge Procedure**

The Point Merge Procedure describes a laterally and vertically defined funnel into which the aircrafts are lead. Within this funnel, aircrafts move towards the merge point. Once the merge points have been passed the flight is continued on a fixed air route until the final approach which is then conducted utilizing a different descent procedure, e.g. ILS.

Through the Point Merge Procedure the approaching aircrafts are channelled more strongly while they are still further away from the airport within higher altitudes. The flight path leading towards the approach can be influenced in detail with respect to noise protection aspects – in contrast to the procedure mostly utilized today, flight paths towards the final approach that are guided individually by flight controllers utilizing radar.

The noise mitigation potential of this procedure comes with elevating flight routes and the shifting of accumulations point within the vicinity of the airfield (e.g. transitions) to larger distances and altitudes. The higher altitude helps to reduce noise immissions along the approach paths.

#### **Including measures in calculation procedures**

The assessment of flight routes in view of noise effect aspects that is to be developed is carried out on the basis of the examined weighting models for constant aircraft noise levels. As part of this project the calculation of these levels at a model airport is conducted following the calculation regulations of the "Instructions to calculate noise protection areas" ("Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen", AzB - AzD/AzB 2008) in accordance with the Aircraft Noise Act.

The AzB describes sound immission parameters for aircraft classes depending on the distance to the runway. Active sound protection measures are also modelled for the model airport the flight procedures of which are not part of the AzB. Possible restrictions for these flight procedures regarding the calculation of aircraft noise based on AzB (see Table 3) are presented in the following.

The assessment procedure is going to be kept open for future methods to calculate aircraft noise and is not going to be tied strictly to the AzB. Therefore, the assessment procedure will be able to consider the mitigation effects of new flight procedures if the calculation method is adapted appropriately (if necessary also the parameter of the AzB aircraft categories).

## 2.5 Application with a model airport

### 2.5.1 Basics of a model airport

As part of the research project a model airport (EDXX) was created and described in the form of a reference DAS. The airport Bremen (EDDW) with about 10.000 recorded flight traces within a period of 5 months was used as a basis for the modeling. The recorded flight traces were mirrored along a West-East-axis through the center of the runway. A data acquisition system conforming to the AzD was created using the recorded flight traces.

The model airport describes a realistic scenario found at an airport with one runway as well as with a good degree of capacity utilization of the existing infrastructure. The assumed number of aircraft movements approximately matches the scale of today's Berlin-Schönefeld Airport. The assumed amount of night flight movements was also selected based on existing airports (e.g. Hannover).

### 2.5.2 Examination variations

Flight route subsystems with different mitigation concepts were created for the model airport, for takeoffs as well as for approaches. It is expected that the variations of both subsystems do not influence each other.

The following variations were examined:

- ▶ Shifting of takeoffs on existing routes
- ▶ Increasing the ILS glide path angle
- ▶ Point Merge Approach procedure
- ▶ Segmented RNAV Approach

### 2.5.3 Calculation and application of the assessment procedure

The calculation of the aircraft noise levels  $L_{Aeq, Day}$  and  $L_{Aeq, Night}$  is carried out within an inhabitants raster with a raster increment of 125 m. Only the units with a number of inhabitants  $\geq 1$  are calculated. The model airport is located on the fringes of a dense but heterogeneous residential structure. Along the elongation of the runway, there are also some densely populated areas.

A first step when evaluating possible health risks as part of determining air routes is to calculate and to present the Population Attributable Fraction  $PAF_{Total}$ , respectively the  $PAF_{Part}$  in the case of a limited examination area for the entire examination area.

Afterwards, the variation test values VPT and VPN are calculated within the entire examination area. It becomes clear that the daytime variations during the observation of the entire examination area of the model airport cannot be distinguished statistically, the mandatory difference of 5 % is not reached by any test value of the variation. However, it is possible to identify a night variation as a preferable variation.

In order to differentiate further between the variations – especially for the daytime – the examination area is limited. Consequently, only the subset of the limited area is to be summed up in order to determine the test values VPTPart and VPNPart.

It is necessary to distinguish statistically between two variations and the original variation for the daytime during the partial evaluation of the model airport. It is not possible to distinguish between them if the difference is only 2 %. The Population Attributable Fraction PAFPart of these variations is not worse than for the original variation. Therefore, both are to be identified as preferable variations for the daytime.

#### 2.5.4 Result

What has been shown is that the assessment model enables a clear differentiation between the individual flight route variations of the model airport based on the test values. However, the large examination area as well as the significant influence of high constant sound levels of unmodified flight routes near the airport lead to comparably small changes with respect to the test values for the examined flight route systems.

Even the highest test value deviations in relation to the basic variation are lower than 5 % in this case. Preferable variations representing an improvement of more than 5 % in comparison to the initial variation are distinguishable statistically only within an unlimited examination area.

The examined variations show the following for the model airport: Increasing the approach angle, a point merge system as well as the Segmented RNAV Approach all constitute suitable strategies to improve the noise situation. However, the shifting of departures, as assessed for one particular variation, leads to higher test values with a higher total aircraft noise load, especially during the day.

## 2.6 Conclusion

The assessment and ranking of flight routes is part of a superordinate context of key questions regarding the distribution of noise (Barth et. al. 2014). When approaching these questions concretely the technical considerations should be accompanied by an assessment of the actually perceived effects. The developed procedure aims to assess the effect-oriented aircraft noise disturbance of the population with the help of test values and to avoid an increase of potential health risks for highly affected individuals. Various demographic specifics and groups of individuals (e.g. school children, sick individuals, senior citizens) within the assessment area are not included.

The assessment function of the variation test values is based on procedures for the determination of the amount of “affected parties” (%A) as well as those “suffering from sleeping disorders” (%SD) published in the VDI 3722-2. The functions are to be viewed as established standards. In addition, they make it possible to open the assessment procedure at a later point for the inclusion of previous impacts if the data available are sufficient. The comparison of the resulting health effects is conducted based on the “Population Attributable Fraction” (PAF) which is utilized by the WHO (WHO 2011).

The assessment procedure was substantiated and, through the implementation of variation test values, transformed into a practical version including singular indexes for day and night based on the previously developed approaches for the evaluation of flight routes with a view to noise effect aspects. The graded assessment procedure addresses the fact that small-scale changes to air route variations can lead to slight relative changes with respect to the total load that cannot be distinguished statistically.

In order to validate the described assessment procedure, a realistic model airport with air route variations above typical residential structures was modeled and assessed accordingly. The assessment results show that the procedure reveals clear preferences with respect to air route variations regarding

the noise load affecting the population which are statistically distinguishable against the backdrop of an uncertainty evaluation.

### 3 Einleitung

Der Lärm von Luftfahrzeugen wird sowohl durch die Triebwerke als auch durch die Umströmung der Luftfahrzeugzelle (aerodynamisches Geräusch) verursacht. Obgleich moderne Luftfahrzeuge in den letzten Jahrzehnten deutlich leiser geworden sind, hat die parallel dazu stattfindende Zunahme des Luftverkehrs insgesamt zu steigenden Umweltbelastungen geführt (European Commission 2012). Prognosen gehen davon aus, dass der jährliche Zuwachs des Personenluftverkehrs weltweit bei rund 5,1 % liegt, für Europa beträgt der jährliche Zuwachs 4,3 % (Pfeiffer 2012). Aktuelle Auswertungen der IATA zeigen für 2015 einen Zuwachs von 6,5 % für den weltweiten Personenluftverkehr. Auch für 2016 wird ein weiteres Wachstum erwartet (IATA 2015).

Fluglärm ist mit einer Vielzahl von Beeinträchtigungen assoziiert. Von den verschiedenen Verkehrsträgern ist der Luftverkehr nach dem Straßenverkehr die bedeutendste Ursache für die Lärmbelastigung der Bevölkerung. Durch den Luftverkehr wurden laut der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland 2014“ 21 % der Befragten belastigt (UBA 2014). Lärm als psychosozialer Stressfaktor beeinträchtigt das subjektive Wohlempfinden, die Lebensqualität und die Gesundheit der Betroffenen. Wesentliche Auswirkungen von Lärm liegen – neben der Belästigung und gesundheitlicher Beeinträchtigung – in der Behinderung der Kommunikation, der Beeinträchtigung der Erholung und des Schlafes, der Minderung des psychischen Wohlbefindens, der Beeinträchtigung kognitiver Entwicklung von Kindern sowie der Beschränkung des Wohnverhaltens.

Vor diesem Hintergrund stellt sich bei der Festlegung von Flugrouten die Frage, mit welchen Verfahren es möglich ist, die am wenigsten beeinträchtigenden Flugverfahren auszuwählen. Auf der Grundlage empirisch gewonnener Expositions-Wirkungskurven wird ein Zusammenhang zwischen der Lärmbelastung (Dosis) einerseits und der resultierenden Wirkung - zum Beispiel Belästigung oder selbstberichtete Schlafstörungen - andererseits hergestellt. Anhand solcher Expositions-Wirkungsbeziehungen ist es möglich, die Reaktion der Bevölkerung auf Geräuschsituationen abzuschätzen und darauf aufbauend Vergleiche und Bewertungen unterschiedlicher Flugrouten vorzunehmen.

Durch eine Änderung des § 32 des Luftverkehrsgesetzes wurde 2007 die Beteiligung des Umweltbundesamtes (UBA) bei der Festlegung von Flugrouten festgelegt (Benehmensregelung). Bis dahin hatte sich die Bewertung von Flugrouten primär an Sicherheitsaspekten und operationellen Kriterien orientiert. Mit der Einbindung des Umweltbundesamtes wurden auch lärmwirkungsbezogene Aspekte in das Bewertungsverfahren eingebracht (Hotes et al. 2010). „Damit soll ein Ausgleich zwischen den teilweise gegensätzlichen ökonomischen und ökologischen Interessen geschaffen und die Bevölkerung besser von Fluglärm geschützt werden.“ (Hotes et al. 2010, a.a.O.).

Der Begriff „Flugrouten“ wird von Betroffenen, Politikern und Politikerinnen und Fachleuten oft unterschiedlich definiert. Das Umweltbundesamt (2012) liefert in seiner lärmfachlichen Bewertung der vorgesehenen Flugrouten für den neuen Flughafen Berlin-Brandenburg (BER) eine hilfreiche Klarstellung: „Für die Beschreibung von Flugrouten werden in wissenschaftlichen Fachdisziplinen und in der Öffentlichkeit verschiedene Termini benutzt. So wird im Luftverkehrsrecht von Flugverfahren gesprochen, die im § 27a LuftVO definiert sind. In der Flugbetriebstechnik wird dagegen zwischen Flugstrecken und Flugverfahren unterschieden. Dabei beschreiben - vereinfacht gesagt - Flugstrecken den horizontalen Verlauf des Flugweges, während Flugverfahren den „schrägen“ [vertikalen] Verlauf [in Bezug auf die Flughöhe] in der Start- oder Landephase umfassen. Beide Begriffe werden wiederum als Oberbegriffe für weitere Fallunterscheidungen benutzt. Die Verläufe von Flugstrecken und Flugverfahren zusammen bilden eine Flugroute. Eine Flugroute beschreibt also den gesamten Abschnitt vom Start des Flugzeuges bis zu einer gewissen Entfernung vom Flughafen (beziehungsweise bei Anflügen in umgekehrter Richtung). Werden alle Flugrouten in der Flughafenumgebung zusammen betrachtet, spricht man von einem Flugroutensystem.“ (Umweltbundesamt 2012).

In diesem Forschungsvorhaben soll die Festlegung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten untersucht und sollen fundierte Vorschläge für ein optimiertes Verfahren zur Routenfestlegung unterbreitet werden.

## 4 Verfahren zur Bewertung von Flugrouten

### 4.1 Existierende Bewertungsverfahren

#### 4.1.1 NIROS

Im Rahmen der lärmfachlichen Bewertung von Abflugrouten verwendet die Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) das sogenannte NIROS-Verfahren vor. NIROS (Noise Impact Reduction and Optimization System) ermöglicht einen Variantenvergleich von Abflugrouten (Zaki 2007). Im Ergebnis ergibt sich eine bevölkerungsbezogene Schallpegelverteilung in 5-dB-Schritten und durch Faltung mit einer Lautheitsfunktion ein sogenannter Gütewert. Je kleiner dieser Gütewert ist, umso „besser“ ist die betrachtete Flugrouten-Variante.

Das NIROS-Verfahren weist in verschiedene Defizite auf: So berücksichtigt es nur einen Teil der Flugbewegungen an einem Flughafen, und zwar nur Abflüge. Zudem bewertet das Verfahren die resultierende Fluglärmbelastung isoliert für einzelne Flugrouten. Flughafenanlieger können aber nicht nur von den Luftfahrzeugen einer Abflugroute, sondern auch von Anflügen oder einer Kombination aus mehreren An- und Abflugrouten betroffen sein. Dieser nicht seltene Fall kann vom NIROS-Verfahren nicht berücksichtigt werden.

Die Tatsache, dass eine Lautheitsfunktion zur Gewichtung Verwendung findet, ist grundsätzlich zu begrüßen. Es kann jedoch mit einer solchen Gewichtungsfunktion der überwiegende Teil der Reaktionsvarianz von Lärmwirkungen nicht erklärt werden.

Zukünftig ist eine Erweiterung des NIROS-Verfahrens auf Anflüge vorgesehen.

#### 4.1.2 Frankfurter Fluglärmindex

Der Frankfurter Fluglärmindex (FFI) besteht aus einem Tag- und einem Nachtindex. Der Frankfurter Tagindex FTI und der Frankfurter Nachtindex FNI sind wirkungsorientierte Angaben. Zugrunde gelegt wird beim Frankfurter Fluglärmindex die Anzahl hoch fluglärmbelastigter Personen beziehungsweise die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen. Für den Tagindex werden dabei die hoch Belastigten ab einem Dauerschallpegel von 53 dB(A) unter Berücksichtigung der Sigma-Regel (siehe 6.1.3) nach der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen, AzB“ betrachtet. Der Zusammenhang zwischen Dauerschallpegel und dem Anteil der Hochbelastigten ist linear und entstammt der RDF-Studie (Schreckenber / Meis 2006). Für die Aufwachreaktionen wird auf eine Studie „Wirkungen nächtlichen Fluglärms“ des DLR am Flughafen Köln/Bonn aus 2005 zurückgegriffen. (Schreckenber et al. 2008; Barth 2010; Barth 2013) Weitere Informationen über können zum Beispiel der Publikation „Wissenschaftliche Bewertung Fluglärmindices Frankfurt“ (Schreckenber et al. 2008) entnommen werden.

#### 4.1.3 Züricher Fluglärmindex

Der Züricher Fluglärmindex (ZFI) besteht ebenfalls aus einem Tag- und einem Nachtindex. Der ZFI berechnet sich aus der Addition der hochbelasteten Wohnbevölkerung und der Bevölkerung mit starker (aufwachbedingter) Schlafstörung. Zur Berechnung dieser Betroffenen kommen bei den Belastigten im Tagzeitraum die Expositions-Wirkungsbeziehungen von Miedema und Oudshoorn (2001) zur Anwendung. Die Mittelungspegel für diesen Zeitabschnitt werden rechnerisch für je einen Hektarpunkt ermittelt. Dabei wird für die erste Morgenstunde (6 bis 7 Uhr) sowie die letzte Tagesstunde (21 bis 22 Uhr) jeweils ein Zuschlag von 5 dB(A) vergeben. Der Anteil der Belastigten wird multipliziert mit der Anzahl der Einwohnenden. Für die Ermittlung der stark im Schlaf gestörten Personen wird auf eine Anzahl der durch den Fluglärm induzierten zusätzlichen Aufwachreaktionen zurückgegriffen. Diese ermittelt sich nach einer Studie des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin am Deutschen Zentrum



für Luft- und Raumfahrt (DLR) anhand der Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen (DLR 2004). Seit dem Berechnungsjahr 2013 des ZFI wird für den Nachtindex zudem die Wirkung von passiven Schallschutzmaßnahmen auf die Schlafstörung offiziell berücksichtigt. Eine Sensitivitätsanalyse für das Berechnungsjahr 2012 zeigte jedoch, dass der Einfluss zu diesem Zeitpunkt eher gering ist (Senkung um 76 Personen). (EMPA 2014)

#### 4.1.4 UBA-Bewertungsverfahren BER

Für die lärmfachliche Bewertung des Flugroutensystems am geplanten Flughafen Berlin-Brandenburg (BER) hat das UBA ein spezielles Beurteilungsverfahren für die Benehmensbeteiligung nach § 32 Luftverkehrsgesetz entwickelt (UBA 2012). Dieses erstmals in Deutschland angewandte Verfahren sieht einen Variantenvergleich mit dem Ziel einer möglichst geringen Lärmbetroffenheit vor. Dabei wurden zunächst folgende Flugroutenarten beurteilt:

- ▶ Abflugverfahren
- ▶ Radarführungsstrecken
- ▶ Anflugverfahren.

Anschließend erfolgte die Bewertung des gesamten Flugroutensystems. Um die lärmfachliche Bewertung des Flugroutensystems auf eine breite Wissens- und Erfahrungsbasis zu stellen, führte das UBA zunächst zahlreiche Gespräche mit unterschiedlichen Institutionen und Expertinnen und Experten aus der Praxis und der Wissenschaft durch. Darüber hinaus wurden Hinweise und Schreiben von Lärmbetroffenen aus der Region ausgewertet.

Die lärmfachliche Bewertung erfolgte zunächst für einzelne Flugrouten, die von der DFS erarbeitet und zur Verfügung gestellt wurden. Im nächsten Verfahrensschritt wurde das gesamte Flugroutensystem untersucht, um Doppelbelastungen durch Ab- und Anflüge zu berücksichtigen. Dabei wurden Expositions-Wirkungskurven für die Ableitung von Gewichtungsfunktionen verwendet, um eine objektive Bewertung von Flugroutenalternativen zu ermöglichen. Insgesamt wurden sechs Gewichtungsfunktionen benutzt, von denen jeweils drei für die Berücksichtigung der Lärmwirkungen am Tag und in der Nacht dienen. In Tabelle 1 sind als Beispiel die Gewichtungsfunktionen für den Tag (6 bis 22 Uhr) zusammengestellt (Umweltbundesamt 2012).

Tabelle 1: Übersicht über mögliche Gewichtungsfaktoren für den Tag

Gewichtungsfunktion	Beschreibung
Modell 1 „RDF-Kurve – highly annoyed“	Eine der Frankfurter RDF-Studie <sup>1</sup> analoge Expositions-Wirkungskurve. „tendenziell für das Belästigungserleben unter dem Eindruck zukünftiger Veränderung des Flugbetriebs“ Funktion: „highly annoyed“
Modell 2 „BeLL-Kurven – annoyed“	Im Rahmen der BeLL-Studie <sup>2</sup> erarbeitete Kurven. „tendenziell für Flughäfen, an denen sich die Lärmsituation „eingeschwungen“ hat“ Funktion: „annoyed“
Modell 3 „BeLL-Kurven – Mittelwert“	Im Rahmen der BeLL-Studie <sup>2</sup> erarbeitete Kurven. „tendenziell für Flughäfen, an denen sich die Lärmsituation „eingeschwungen“ hat“ Funktion: „gemittelter Wert der Belästigung“

<sup>1</sup> Schreckenberger / Meis 2006

<sup>2</sup> Lärmkontor, et al. 2007



Quelle und alle Zitate UBA 2012, S. 77

Für die lärmfachliche Bewertung wurden vier unterschiedliche Modelle genutzt (Tabelle 1):

- ▶ Modell 1 beruht auf einer der in der Frankfurter RDF-Studie (Schreckenbergs / Meis 2006) angewandten vergleichbaren Expositions-Wirkungskurve. Diese Kurve bezieht sich auf die Belästigung bei zukünftigen Veränderungen des Flugbetriebs und korreliert den jeweiligen Pegel mit dem Anteil der davon „highly annoyed“, also stark belästigten Personen.
- ▶ Modell 2 geht auf Kurven zurück, die im Rahmen der UBA-Studie „Belästigung eines Landes durch Lärm“ (BeLL) (LÄRMKONTOR et al. 2007) entwickelt wurden. Im Rahmen dieser Studie wurden über 4.000 Interviews bundesweit geführt. Hierbei ging es vorrangig um „eingeschwungene“, also bestehende Lärmsituationen, und den Anteil der belästigten Personen („annoyed“).
- ▶ Modell 3 geht ebenfalls aus Daten der BeLL-Studie hervor, anstelle der Funktion „annoyed“ wird hier mit dem Mittelwert für die Belästigung gerechnet.

Mithilfe der sechs unterschiedlichen Gewichtungskurven für den Tag und für die Nacht hat das UBA verschiedene mögliche Flugroutensysteme für den Flughafen BER wirkungsbezogen bewertet. Dabei wurden höher fluglärmbelastete Personen stärker gewichtet als geringer Belastete. Das Ergebnis waren Güteprüfwerte, wonach die relative Lärmbetroffenheit umso geringer ist, je kleiner der Güteprüfwert ist. (UBA 2012)

#### 4.1.5 Bewertungsverfahren des brandenburgischen Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Ende 2015 hat Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg ein Verfahren veröffentlicht, das die „Bewertung flugbetrieblicher Maßnahmen anhand Belästigung, selbstberichteter Schlafstörung sowie der koronaren Herzerkrankungen auf der Grundlage der verkehrsbedingten Gesamtlärmbelastung“ beschreibt. Dieses Verfahren ist als Anlage des Berichtes „Rahmenplan zur Lärmaktionsplanung im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Teilaspekt Fluglärm) – Teil 2 Lärminderung – Monitoring – Evaluierung (ACCON 2015)“ veröffentlicht. Für Teilaspekte des Verfahrens wird auf den Bericht selbst verwiesen.

Die Bewertung erfolgt in einem gestuften Scoring-Verfahren, das auf die Größen „Gesundheit“, „hochgradige Belästigung“ und „hochgradige Schlafstörung“ aufsetzt. Grundlage der Bewertung ist eine anhand der VDI 3722-2 ermittelte Gesamtlärmbelastung aus Straßen-, Schienen- und Luftverkehr. Für die Berücksichtigung der Gesundheitseffekte wird auf das relative Risiko für koronare Herzerkrankungen zurückgegriffen. Der Zusammenhang wird in Anlehnung an die Ergebnisse einer Meta-Analyse von Babisch (2014) beurteilt. Die hochgradige Belästigung wird, ebenso wie die Gesundheitseffekte, jeweils für den gesamten Tag (24 Stunden) ermittelt. Einzig für die Bestimmung der Beeinträchtigungen während der Nachtzeit von 22 bis 6 Uhr anhand der hochgradig schlafgestörten Personen wird der Mittelungspegel für diesen Zeitabschnitt berücksichtigt. Dabei wurden Pegelbereiche von  $L_{DEN} \geq 55 \text{ dB(A)}$  und  $L_{Night} \geq 45 \text{ dB(A)}$  verwendet.

Das gestufte Verfahren setzt als erstes bei den Gesundheitseffekten (koronare Herzkrankheiten) an und verlangt ein „sicheres Minimum“, d. h. eine Reduktion um mehr als 15 % gegenüber dem Planungsnullfall. Sollte keine Variante dieses Kriterium erfüllen, ist die Anzahl der hochgradig schlafgestörten Personen zu prüfen. Hier wird ein „sicheres Minimum“ mit einer Abweichung von 5 % gegenüber dem Planungsnullfall gefordert. Als letztes Kriterium wird die Anzahl der hochgradig belästigten Personen aufgeführt, die ebenfalls wieder eine Verbesserung um mehr als 5 % gegenüber der Nullvariante erzielen soll. Sofern keine Vorzugsvariante zu finden ist, sollen „weitere Entscheidungsgrößen (z. B. die Anzahl der Neubelasteten) in die Entscheidungsfindung“ mit einbezogen werden.

## 4.2 Entwicklung eines neuen Bewertungsverfahrens für Flugrouten

Angesichts der Belastungen der Bevölkerung durch Fluglärm in der Umgebung von Flughäfen und verkehrsreichen Landeplätzen bleibt die Optimierung von Flugrouten aus Sicht des Lärmschutzes eine wichtige Aufgabe. Die Festlegung von Flugrouten und -verfahren hat dabei unmittelbaren Einfluss auf die Lärmbelastung und Lärmbelästigung der Bevölkerung. Zu berücksichtigen sind, neben akustischen Kriterien, unterschiedlichste Faktoren. Dazu zählen an erster Stelle die Flugsicherheit, aber auch die Flughafenkapazität, Wirtschaftlichkeitsaspekte und Fragen des Klimaschutzes sowie die Besiedlungsdichte im Umfeld von Flughäfen. Weil nach Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung nur ein geringer Teil der Lärmbelästigung durch physikalische Indikatoren wie unterschiedliche Geräuschpegel verursacht wird (unter anderem Finke et al. 1980, Brink et al. 2005), spielen bei der Bewertung und Gewichtung von Flugroutensystemen weitere Faktoren mit Blick auf die persönlich erlebte Lärmbelästigung eine wichtige Rolle.

Aspekte verschiedener Ansätze einer wirkungsorientierten Vorgehensweise, unter anderem auch der lärmfachlichen Bewertung von Flugrouten am BER durch das UBA hat, werden im vorliegenden Bericht aufgegriffen. Der in diesem Forschungsvorhaben verfolgte Ansatz geht davon aus, dass neben physikalisch orientierten Geräuschbewertungsverfahren der Ansatz der persönlich erlebten Lärmbelästigung primär für den Tag und der der selbstberichteten Schlafstörungen für die Nachtzeit herangezogen werden sollte. Als Ausschlusskriterium soll auch die sich aus verschiedenen Varianten ergebende Gesundheitsgefährdung herangezogen werden. Es soll sichergestellt werden, dass eine Verbesserung der Belästigungssituation nicht durch eine wesentliche Verschlechterung der Gesundheitsgefährdung, in der Regel eine starke Zunahme der Belastung in hohen Pegelbereichen, erkauft wird. Daher sind Varianten mit einer Zunahme der Gesundheitsbelastung außerhalb eines modellbedingten Unsicherheitsbereiches auszuschließen. Dies wird anhand eines geeigneten Prüfwerts ermittelt.

## 4.3 Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse aus der Lärmwirkungsforschung anhand verschiedener Fragestellungen dargestellt. Ein Überblick über den Erkenntnisstand zu Expositions-Wirkungskurven und gesundheitlichen Beeinträchtigungen bis 2008 findet sich auch bei Giering (2010). Zielsetzung ist, geeignete nicht-akustische Auswahlkriterien für die Bewertung von Flugrouten zu identifizieren. Unterschieden wird dabei nach Tag (Belästigung) und Nacht (Beeinträchtigung der Nacht-Ruhe) sowie potenzieller Gesundheitsgefährdung.

### 4.3.1 Fluglärm und Belästigung

Die Untersuchung der Wirkung von Lärm auf die Belästigung von Menschen begann in den 1950er Jahren, ausgelöst durch die steigende Lärmbelastung durch Luftverkehr (Giering 2010). Belästigung ist ein Begriff, der sowohl vom Erinnerungsvermögen als auch von der Einstellung der Befragten gegenüber Lärmquellen stark abhängig ist (van Kamp / Brown 2013). Beides weist stark subjektive Merkmale auf, über deren zeitliche und regionale Konstanz nur Vermutungen angestellt werden können. Insofern scheinen sie für die vergleichende Bewertung von Flugrouten weniger geeignet. Andererseits haben Belästigungsstudien in der Lärmwirkungsforschung seit Jahrzehnten ihren festen Platz, sind methodisch ausgereift und erprobt (vgl. Finke et al. 1980). Auch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) verweist auf den Schutz und die Vorsorge gegen erhebliche Belästigungen (§1 Abs. 2 BImSchG).

Unter anderem zeigen Miedema und Vos (1998) in mehreren Studien, dass bei gegebener Belastungssituation die Belästigungsreaktion von der jeweiligen Lärmquelle abhängig ist und sich somit für die jeweiligen Quellen unterschiedliche Expositions-Wirkungskurven ergeben. So zeigt sich, dass Fluglärm mit Blick auf die Belästigung deutlichere Reaktionen hervorruft als Straßenlärm. Es wurden 19 Flug-

lärmstudien mit insgesamt rund 27.000 Befragten ausgewertet. Allerdings beruht die sogenannte Miedema-Studie auf relativ alten empirischen Daten. Die ältesten davon stammen aus dem Jahr 1965, die neuesten Daten sind aus 1991 und somit bereits über zwanzig Jahre alt. Es ist daher zu fragen, ob diese Daten geeignet sind, auf die heutige Situation übertragbare Gewichtungsmodelle zu begründen.

Aktuellere Untersuchungen lassen eine gestiegene Belästigung der Bevölkerung gegenüber Lärmbelastungen vermuten, so dass im Vergleich zu früheren Jahren bereits deutlich geringere Lärmpegel ausreichen, um vergleichbare Belästigungsreaktionen auf Seiten Betroffener hervorzurufen (Guski 2013; Wirth et al. 2004; Guski / Schreckenber 2015). Es zeigt sich zudem, dass Anrainer von Flughäfen durch politische Debatten, Abstimmungen und Ausbaumaßnahmen gegenüber dem Fluglärm sensibilisiert werden. Auch veränderte oder lediglich antizipierte Veränderungen der Belastungssituation können dazu führen, dass sich eine Veränderung der Expositions-Wirkungskurve ergibt (u. a. Guski / Schreckenber 2015). Schwache Korrelationen zwischen Lärmpegel und Belästigungsurteil weisen also darauf hin, dass nicht-akustische Faktoren das Belästigungsurteil stark beeinflussen (Rohrman et al. 1978; UBA 2014). So zeigte sich im Rahmen der Frankfurter RDF-Studie, dass antizipierte Erhöhungen der Belastung die erfragten individuellen Belästigungsreaktionen in erheblichem Maß beeinflussen haben, und zwar weitaus stärker, als die tatsächlichen Pegel zum Zeitpunkt der Befragung hätten erwarten lassen (Schreckenber / Meis 2006; Guski 2013).

Indikatoren zur Beurteilung des Fluglärms am Tage ziehen außer der betroffenen Population den durch Fluglärm stark belästigten („highly annoyed“) Anteil der Population heran. Für den Züricher Taglärm-Index (siehe Abschnitt 4.1.3) wird der Anteil der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belästigten Personen (Highly Annoyed: HA) aus der Publikation von Miedema und Oudshoorn (2001) geschätzt. Miedema und Oudshoorn haben zur Schätzung des Anteils von stark Belästigten auf die Daten von 20 Studien zurückgegriffen, die sie mit Methoden der Meta-Analyse zusammengefasst haben. Diese Studien stammen aus den Jahren 1965 bis 1989. Lediglich acht Studien sind nach 1980 durchgeführt worden. Bei der jüngsten dieser Studien, durchgeführt im Umfeld des Flughafens Oslo (Gjestland et al. 1990), wurden bei einer Response-Rate von 52 % insgesamt 1.396 Personen befragt.

Für den Frankfurter Tagfluglärm-Index wird neben der Population der Anteil der stark Belästigten aus der Belästigungsstudie des Regionalen Dialogforums (Schreckenber / Meis 2006) herangezogen. Im Rahmen des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt wurde das Gutachten „Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens“ erstellt. Das Gutachten basiert auf einer im Jahr 2005 im Rhein-Main-Gebiet im Umfeld des Frankfurter Flughafens breit angelegten Fluglärmstudie. Die Beschreibung der Durchführung und zentrale Ergebnisse finden sich im oben genannten Gutachten. Im Zeitraum von April bis Dezember 2005 wurden die Lärmbelastigung sowie Wohn-, Umwelt- und Lebensqualität von 2.312 Anwohnerinnen und Anwohnern untersucht.

#### 4.3.2 Fluglärm und Gesundheit

Bereits Ende der 1970er Jahre wurde in mehreren Untersuchungen gezeigt, dass Fluglärm zu einem erhöhten Krankheitsrisiko bei Herz- und Kreislaufkrankheiten führen kann (Meecham/Shaw 1979; Andren 1982; Dejoy 1984, Brenner et al. 1993; Jarup et al. 2008). So wurde in stärker mit Fluglärm belasteten Gemeinden in unmittelbarer Nähe zum Flughafen ein erhöhter Verbrauch von blutdrucksenkenden Arzneimitteln, verbunden mit einer vermehrten Häufigkeit von Bluthochdruck und von Beschwerden über Herz- und Kreislaufkrankheiten, gefunden (Knipschild 1977a, b; Vallet et al. 1983; Correia et al. 2013). Insbesondere das Risiko erhöhten Bluthochdrucks und damit verbundener Erkrankungen steht in engem Zusammenhang mit Belastungen durch nächtlichen Luftverkehr (Arndt 1995, Jarup et al. 2008, Metaanalyse in WHO 2011). Zum Zusammenhang zwischen Verkehrslärm

(Straßen-, Schienen-, Luftverkehr) und gesundheitlichen Auswirkungen, darunter Bluthochdruck beziehungsweise Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, sind eine Vielzahl von Übersichtsarbeiten und eine Meta-Analyse erschienen (u. a. WHO 2011, Babisch 2014).

Nach den Ergebnissen der HYENA-Studie (Hypertension and Exposure to Noise Near Airports) fand sich bereits als Folge einer Belastung mit nächtlichem Fluglärm eine Erhöhung des Risikos für Bluthochdruck (Jarup et al. 2008). Grundlage der Studie waren sechs europäische Großflughäfen und deren jeweilige Umgebung. Zu diesen zählten London-Heathrow, Amsterdam-Schiphol, Stockholm-Arlanda, Mailand-Linate, Athen und Berlin-Tegel. Über 5.000 Männer und Frauen im Alter zwischen 45 und 70 Jahren, die mindestens fünf Jahre in der Umgebung eines dieser Flughäfen gewohnt hatten, wurden interviewt. Nach standardisiertem Verfahren wurde der Blutdruck gemessen. Es zeigte sich, dass von einem nächtlichen Fluglärm von 30 dB(A) an ein Anstieg des Bluthochdruckrisikos von 14,1 % je 10 dB(A) Anstieg des Dauerschallpegels (95 %-Konfidenz-Intervall 1,2 % - 28,6 %) auftrat. An einer Unterstichprobe von 140 Männern und Frauen wurden 24-Stunden-Blutdruckmessungen mit gleichzeitiger kontinuierlicher Schallaufzeichnung vorgenommen (Haralabidis et al. 2008). Es zeigte sich, dass Innenschall-Maximalpegel über 35 dB(A) unabhängig von der Schallquelle zu einem signifikanten Anstieg von diastolischen und systolischen Blutdruckwerten führten. Babisch und van Kamp kommen in einer Meta-Analyse im Jahre 2009 zu dem Schluss, dass der Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem Erkrankungsrisiko für Bluthochdruck ausreichend belegt ist.

Stansfeld und Matheson (2003) konstatieren, dass Umgebungslärm zur Erhöhung des Risikos für Bluthochdruck beitragen kann. Sie sehen auch einen geringen Beitrag des Umgebungslärms zum Herzinfarkt-Risiko. Van Kempen et al. (2002) können lediglich auf eine geringe Anzahl epidemiologischer Studien zurückgreifen, die den möglichen Einfluss von Fluglärm auf Bluthochdruck, blutdrucksenkende Medikamente beziehungsweise kardiovaskuläre Endpunkte, das heißt Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs, untersucht hatten. Sie kommen zu dem Schluss, dass die vorliegenden Publikationen kompatibel mit einer leichten Erhöhung des kardiovaskulären Risikos sind.

Eine im Auftrag des UBA durchgeführte Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn zeigte für nächtlichen Fluglärm ab 40 dB(A) erhöhte Erkrankungsrisiken für Herz- und Kreislauferkrankungen, Depression, Psychosen, Demenzerkrankungen und chronische Niereninsuffizienz (Greiser / Greiser 2010). Für diese Fall-Kontroll-Studie waren die Daten von mehr als 1 Million Versicherten von acht gesetzlichen Krankenkassen herangezogen worden. Als wesentlicher neuer Befund im Vergleich zu früheren Studien zeigte sich mit zunehmendem Alter eine deutliche Abnahme des Exzessrisikos bei allen untersuchten Erkrankungen (Greiser / Greiser 2010).

Correia et al. (2013) hatten im Umfeld von 89 Flughäfen in den USA die Häufigkeit von Einweisungen ins Krankenhaus bei mehr als 6 Millionen MEDICARE-Versicherten (65 Jahre und älter) in Abhängigkeit von Fluglärmklassen analysiert. Es fand sich ein erhöhtes Einweisungsrisiko für kardiovaskuläre Erkrankungen ab einem 24h-Dauerschallpegel von 45 dB(A). Hansell et al. (2013) untersuchten Einweisungsdiagnosen von 3,5 Millionen Personen im Umfeld des Londoner Flughafens Heathrow. Die Untersuchungseinheiten stellten die sogenannten Census Tracts, dabei handelt es sich um für Statistikzwecke festgelegte geographische Gebiete, in denen Einweisungsdaten aufgrund kardiovaskulärer Erkrankungen miteinander verglichen wurden (N=12.110 Gebiete mit einer durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von 300). Es fanden sich erhöhte Einweisungshäufigkeiten für kardiovaskuläre Krankheiten bei Gebieten mit 50 dB(A) im Vergleich zu denen mit >55 dB(A) nachts beziehungsweise >51 dB(A) im Vergleich zu >60 dB(A) am Tage. Vergleichbare Effekte zeigten sich, wenn anstelle der Einweisungsdiagnosen die kardiovaskuläre Mortalität zur Grunde gelegt wurde.

Auch neuere Studienergebnisse des deutschen Forschungsverbundprojekts NORAH (Noise Related Annoyance, Cognition and Health) belegen einen Wirkungszusammenhang zwischen Luftverkehrsgeräuschen und verschiedenen Krankheitsbildern. Es konnte eine statistische Signifikanz für ein 8,9 % er-

höhtes Risiko für eine Erkrankung an einer unipolaren Depression pro 10 dB Pegelanstieg von Luftverkehrsgeräuschen festgestellt werden (Guski / Schreckenberg 2015). Zudem wurde in der NORAH-Studie das um 1,6 % statistisch signifikante erhöhte Herzinsuffizienzrisiko pro 10 dB Pegelanstieg von Luftverkehrsgeräuschen ermittelt (Guski / Schreckenberg 2015). Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass anders als in der HYENA-Studie (Jarup et al. 2008) in der NORAH-Studie keine signifikante Wirkungszusammenhänge zwischen Luftverkehrsgeräuschen und der Erkrankung an einer Hypertonie belegt werden konnten (Guski / Schreckenberg 2015). Gleichzeitig weisen die Autoren explizit darauf hin, dass die erzielten Ergebnisse aufgrund voneinander abweichenden Methodiken der beiden Studien nur eingeschränkt möglich sind (Guski / Schreckenberg 2015).

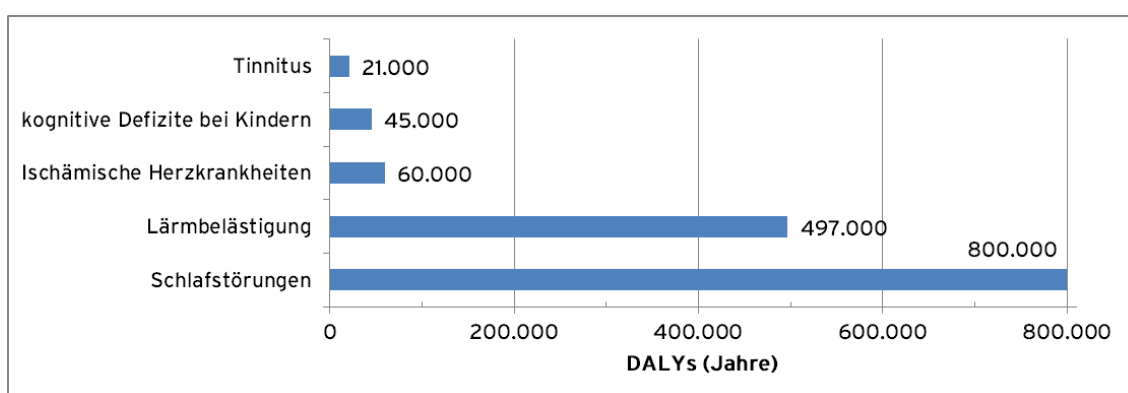
Der dargestellte Forschungsstand zeigt, dass ein Wirkungszusammenhang zwischen Luftverkehrsgeräuschen und erhöhten Risiken für die Erkrankung an verschiedenen Krankheiten besteht. Hierzu gehören neben Tinnitus auch psychische Erkrankungen und Krebserkrankungen sowie in erster Linie Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

### 4.3.3 DALYs: Verlorene Lebensjahre

Die WHO verwendet einen Ansatz, mit dessen Hilfe verschiedene Wirkungen mit unterschiedlichem Schweregrad zu einem Einzahlwert – DALY (Disability Adjusted Life Years) – zusammengefasst werden können (verwendet etwa in WHO 2013). Ziel des Verfahrens ist eine einheitliche Quantifizierung von umweltbedingten Beeinträchtigungen, mit der Risikovergleiche und Politikberatung im Sinne von Prioritätensetzungen möglich sind.

Für die Ermittlung der DALY werden der auf die Lebenserwartung bezogene Verlust an gesunden Lebensjahren und der Verlust an produktiven Lebensjahren in Folge einer Behinderung addiert. Dabei entspricht ein DALY einem verlorenen gesunden Lebensjahr. Die Krankheitshäufigkeiten (Prävalenzen) werden mit Gewichtungsfaktoren multipliziert, die sowohl den Schweregrad als auch die Dauer der Behinderung berücksichtigen. Somit lassen sich verschiedene Wirkungen als Einzahlwert, DALY, ausdrücken. Verwendete Gewichtungsfaktoren sind unter anderem für akuten Herzinfarkt „0,405“, für lärmbedingte Schlafstörungen „0,070“, für erhebliche Lärmbelästigung („highly annoyed“) „0,020“, für milden Tinnitus „0,010“, für starken Tinnitus „0,110“. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die Anwendung des DALY-Verfahrens.

Abbildung 1: Geschätzte durch Umweltlärm in Westeuropa bedingte DALYs (nur Straßenverkehrslärm, nur Belastungen, die in Stufe 1 der Lärmkartierung der EU-Umgebungslärmrichtlinie erfasst wurden)



(nach Babisch (2011))

Die Möglichkeit, mit einem Einzahlwert alle relevanten Lärmwirkungen zu beschreiben und für quantitative Vergleiche von Flugroutenvarianten einzusetzen, scheint aufgrund der einfachen Handhabung



des Ergebnisses zunächst vorteilhaft zu sein. Das DALY-Verfahren ist jedoch mit einem recht hohen Aufwand verbunden. Zudem sind für konkrete Aussagen zur Quantifizierung entsprechende Eingangsdaten notwendig. Darüber hinaus sollte die Risikokommunikation bedacht werden, d. h. welche Wirkungen bei der Bevölkerung ausgelöst würden, wenn für die meisten Menschen in einem komplexen Planungsprozess kommuniziert werden würde, dass die bevorzugte Flugroute eine bestimmte Anzahl DALYs, also Lebensjahre, kostet.

## 4.4 Leitgrößen für die Bewertung

### 4.4.1 Gesundheitsbeeinträchtigung oder Belästigung

Nach Auffassung von Lärmwirkungsforscherinnen und -forschern stellt die Belästigung die Hauptwirkung des Umweltlärms dar (Guski et al. 1999). Auch Schick (1997) bezeichnet die Lästigkeit als einen Schlüsselbegriff der Umweltforschung, der einen negativ bewerteten Umweltfaktor weitgehend beschreibt und somit auch psychologische Komponenten des Wirkungsgefüges Lärm und seine Wirkung auf den Menschen abdeckt.

Die Lärmbelästigung statt Gesundheitsbeeinträchtigung als Hauptleitgröße für die Beurteilung der Betroffenheit der Bevölkerung durch Flugrouten wurde bereits vom UBA für den Flughafen BER verwendet (Umweltbundesamt 2012). Für ein solches Vorgehen spricht aus Sicht der Lärmwirkungsforschung die Tatsache, dass die Belästigungsreaktion bereits vor dem Auftreten beobachtbarer fluglärmbedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen auf negative Lärmauswirkungen umfassend hinweisen kann: Giering (2010) fasst zusammen, dass eine erhöhte Belästigung bereits oberhalb von  $L_{DEN}=45$  dB(A) besteht, während nach Babisch (2014) die erhöhten Krankheitsrisiken für koronare Herzkrankheiten ab der Schwelle von  $L_{dn}=52$  bis 53 dB(A) bestehen. Dies wird ähnlich auch in der Veröffentlichung der WHO (2011) geteilt, hier wird die Grenze mit 55 dB(A) gesetzt.

Dabei ist zu bedenken, dass „insbesondere bei Pegeln im moderaten Bereich (keine extremen Lärmbelastungen) die gesundheitlichen Auswirkungen des Lärm nicht ausreichend nur durch eine Berücksichtigung der Exposition erfasst werden, sondern durch moderierende Effekte beeinflusst werden“ (Giering 2010, S. 99). Grundsätzlich soll durch die Belästigung die „Gesundheit“ auch im Vorfeld – vor dem Entstehen manifester, beobachtbarer Gesundheitsbeeinträchtigungen – implizit berücksichtigt werden.

Ein Beispiel hierfür ist der sogenannte Spandauer Gesundheits-Survey: Im Rahmen des Spandauer Gesundheits-Surveys (Maschke et al. 2003) erwies sich der Risikowert für erhöhten Blutdruck als die statistisch einzig abgesicherte Zielgröße der Straßenlärmwirkung. Die selbstberichtete Lärmbelästigung hingegen scheint statistisch signifikant mit der Risiko-Erhöhung für psychische Störungen zusammenzuhängen. Nicht der Lärmpegel an sich, sondern die durch Lärm erzeugte Belästigung führte zu einem höheren Risiko, eine psychische Störung zu entwickeln. Im LARES-Survey der WHO wurde dieser Ansatz bei körperlichen Krankheiten weiterverfolgt. In diesem Projekt wurden in acht europäischen Städten relative Risiken für eine ganze Reihe somatischer Erkrankungen, ausgehend von der Variable Belästigung durch Verkehrslärm (anstelle der Belastung), geschätzt (Niemann / Maschke 2004; Niemann et al. 2005).

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Belästigungsreaktion letztlich alle denkbaren Lärmwirkungen bündelt und abbildet: Geräusche beeinträchtigen in vielfältiger Weise die Lebensbedingungen der Menschen. Lärm löst in Abhängigkeit von der Tageszeit (Tag / Nacht) in unterschiedlichem Maße Reaktionen aus (Guski 2008, siehe auch Abschnitt 4.4.5). Dies ist bei Bewertungen von Geräuschsituationen zu berücksichtigen. Es wäre daher zu kurz gegriffen, wenn ausschließlich akustische Kriterien zur Entscheidungsfindung herangezogen würden, denn nur ein Teil der Lärmbelastungsvarianz kann durch physikalisch orientierte Geräuschbewertungsverfahren aufgeklärt werden (u. a. Ortscheid 1996; „Lärmstudie 2000“ in Brink et al. 2005).

Im Rahmen einer Bewertung sollen jedoch die Gesundheitseffekte nicht vollständig ausgeschlossen werden. Bei einer Bewertung durch eine Expositions-Wirkungskurve für Belästigung ist es denkbar, dass eine Gesamtverbesserung der Situation bei einer geringen Entlastung sehr vieler Personen bei gleichzeitiger Mehrbelastung gerade der Hochbelasteten eintritt. Um eine solche Situation auszuschließen, die keine wesentliche erlebte Verbesserung jedes einzelnen mit (deutlich) höheren Gesundheitsrisiken einzelner erkaufte, sollten die Auswirkungen auf die Gesundheit im Rahmen der Bewertung berücksichtigt werden. Auch im Konzept des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg wird dies so erkannt (ACCON 2015, Anhang). Der ebenfalls dort genannte Aspekt des „Rechtsgut Gesundheit“, der sich aus Art. 2 Abs. 2 Satz 1 des Grundgesetzes ergibt, wird so berücksichtigt. In dem hier zu entwickelnden Konzept soll die Bewertung der Gesundheitseffekte jedoch nur entscheiden „ob“ eine Variante besser als eine Ausgangsvariante ist, jedoch nicht in welchem Maße.

Für die Bestimmung eines geeigneten Gewichtungsmodells zum Vergleich der Güte verschiedener Varianten wurde der Fokus auf Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Fluglärmbelastung einerseits und Belästigungsreaktion andererseits gelegt. Expositions-Wirkungskurven erlauben grundsätzlich die Ableitung von Gewichtungsfunktionen, die für eine objektive Bewertung von Flugroutenalternativen dienlich sein können: Hierzu wird die Anzahl fluglärmbelasteter Personen in den verschiedenen Lärmbelastungsstufen mit einer geeigneten Expositions-Wirkungskurve verschnitten. Hierdurch erfolgt eine Gewichtung, bei der höher fluglärmbelastete Personen – je nach verwendeter Gewichtungskurve – stärker gewichtet werden als geringer Belastete. Mit geeigneten Gewichtungskurven lässt sich die Frage beantworten, ob eine Bündelung der Belastung (wenige Betroffene, dafür aber stärker belastet) oder eine Verteilung (viele Belastete, dafür aber weniger belastet) vorzuziehen ist. Diese Frage wird im Rahmen von Lärminderungsmaßnahmen im Straßenverkehr gelegentlich diskutiert, ist aber auch im Luftverkehr dann von Bedeutung, wenn durch die Wahl und Festlegung von Flugrouten Einfluss auf die Lärmbetroffenheit der Bevölkerung genommen werden kann.

Von vielen Autoren wird die Rolle der Einzelereignisse (Häufigkeiten) und der Maximalpegel auf die Störwirkung betont (u. a. Ising / Kruppa 2004, UBA 2004, Quehl 2005; zusammengefasst in Giering 2010). Im Rahmen des zu entwickelnden Bewertungsverfahrens wurden jedoch keine verwendbaren Expositions-Wirkungskurven identifiziert, die diese Parameter in die Bewertung mit einbeziehen.

#### 4.4.2 Change Effekt und Änderungen der Lärmempfindlichkeit

Bei der Analyse der in Betracht kommenden Expositions-Wirkungskurven stellt sich auch die Frage, ob Expositions-Wirkungskurven für eine „ingeschwungene“ Belästigungssituation oder ob eine Kurve, die unter deutlich veränderten (oder lediglich antizipierten) Belastungsbedingungen erhoben wurde, verwendet werden. Untersuchungen über Änderungen der Belästigungsreaktionen, die auch bei wesentlichen Änderungen oder bei Neubau eines Flugplatzes auftreten können, liefern Hinweise dafür, dass sich unter diesen Bedingungen überproportional mehr Personen belästigt fühlen, als nach Expositions-Wirkungskurven, die in „ingeschwungenen“ Situationen ermittelt wurden, zu erwarten wären (Wirth, Brink, Schierz 2004; Guski 2013). Untersuchungen hierzu fassen van Kamp und Brown in mehreren Studien zusammen (Brown / van Kamp 2009; van Kamp / Brown 2013). Es ist unklar, ob bei „neuen“ Situationen mit der Zeit „Gewöhnung“ eintritt und die Belästigung entsprechend zurückgeht. Van Kamp und Brown (2013) erwarten, dass dies nicht der Fall ist und erst mit einem Wechsel der Bevölkerung eine Normalisierung der Lärmbewertung stattfindet. Dagegen legen andere Veröffentlichungen (Rohrman / Bonacker 1981; Brown et al. 2009) nahe, dass dieser Effekt mit der Zeit abnimmt.

Unter anderem im Rahmen der NORAH-Studie (Guski / Schreckenber 2015) wurde dieser Change-Effekt untersucht: Im Jahr 2012, nach der Eröffnung der neuen Landebahn am Frankfurter Flughafen, fühlten sich die befragten Personen – bei gleichen Dauerschallpegeln – am stärksten Belastet. 2013 ging die Belastung dann wieder zurück, erreichte aber (noch) nicht das Niveau von 2011. Eine weitere



Befragung 2014 oder 2015, wie sich der Effekt in den kommenden Jahren auswirkt, wurde nicht durchgeführt.

Als „eingeschwungen“ werden bei Flughäfen Situationen bezeichnet, an denen die Lärmbelastung „konstant“ geblieben ist (Myck 2012). In der NORAH-Studie (Guski / Schreckenberg 2015) wird hierzu auch ein Ortsvergleich verschiedener Flughäfen angeführt. Dabei unterscheidet sich die Belästigung der Anwohnerinnen und Anwohner unter den einzelnen Flughäfen. Hierbei können auch Faktoren wie geplante Bauvorhaben oder das nächtliche Flugaufkommen von Bedeutung sein.

Vergleicht man Lärmwirkungskurven, die vor Jahrzehnten erhoben wurden, mit aktuellen Daten, lässt sich über die Zeit eine Empfindlichkeitssteigerung der Bevölkerung vermuten, denn derzeit reichen schon deutlich geringere Lärmbelastungen aus, um vergleichbare Belästigungsreaktionen hervorzurufen (Guski 2013; UBA 2014). Dies zeigte sich etwa in den Ergebnissen der NORAH-Studie (Guski / Schreckenberg 2015). Gegenüber den RDF-Studien von 2005 (Schreckenberg / Meis 2006) ist die ermittelte Belästigung insgesamt gestiegen. Auch für die Vergleichsflughäfen Köln/Bonn und Stuttgart wurden höhere Belästigungen als nach den gängigen Expositions-Wirkungskurven (von Miedema / Oudshoorn 2001) ermittelt.

Hinsichtlich des Change-Effekts sollte also bedacht werden, dass Flugrouten in der Regel über längere Jahre Bestand haben sollten. Nach einer „Eingewöhnungszeit“, während derer die Bevölkerungsreaktionen heftiger ausfallen dürften, setzt „Gewöhnung“ ein, so dass hier Kurven verwendet werden können, die eine eingeschwungene Belastungssituation zur Grundlage haben, beziehungsweise die nicht spezifisch für den Änderungsfall konzipiert sind.

#### 4.4.3 Expositions-Wirkungskurven für besondere Bevölkerungsgruppen oder Nutzungen

Eine weitere Frage, die sich bei der Auswahl einer geeigneten Expositions-Wirkungskurve stellt, bezieht sich darauf, ob besondere Bevölkerungsgruppen berücksichtigt werden sollten. Hierzu zählen beispielsweise ältere oder kranke Menschen (Krankenhäuser), Kinder (Schulen, Kindergärten) oder sozial und ökonomisch ohnehin benachteiligte Bevölkerungsgruppen. Bislang wird die subjektive Betroffenheit einzelner Personengruppen bei der Festlegung von Grenz- und Richtwerten unzureichend berücksichtigt. Die WHO verweist in ihren Guidelines darauf, dass zu den besonders gefährdeten Gruppen kleinere Kinder, ältere Menschen, Kranke, Schwangere und Schichtarbeiter gehören (WHO 2009).

Die spezifische Betroffenheit bestimmter Personengruppen von Lärmbelastungen und Lärmwirkungen findet bei der Festlegung von Grenz- und Richtwerten bislang keine spezielle Berücksichtigung.

In der Lärmwirkungsforschung finden sich durchaus Untersuchungsergebnisse bezüglich der Lärmwirkungen auf besondere Bevölkerungsgruppen oder empfindliche Nutzungen wie Krankenhäuser, Schulen oder Kindergärten. Im Rahmen der NORAH-Studie (Guski / Schreckenberg 2015) wurde auch die kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern untersucht. Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen dem luftverkehrsbedingten Dauerschallpegel (8 bis 14 Uhr) und der Gesamt-Leseleistung ermittelt. Auch berichteten Lehrkräfte von „erheblicher Belastung des Unterrichts“ in den „vergleichsweise hoch belasteten Schulen“ mit einem Dauerschallpegel von 55 bis 59 dB(A).

Allerdings sollte ein Flugroutenbewertungsverfahren praktikabel und innerhalb eines vergleichsweise kurzen Zeitraums durchzuführen sein. Daten für „besondere Bevölkerungsgruppen“ liegen in der Regel nicht aktuell und in ausreichender Güte vor, sondern müssten unter Umständen erst erhoben werden. Zu bedenken ist dabei auch die Gültigkeitsdauer dieser Daten aufgrund von Weg- und Zuzügen.

Schließlich ist auch zu berücksichtigen, über welche Zeiträume und welche Dauer eine Flugroute beflogen wird. Bei einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer in Krankenhäusern von 7,5 Tagen (Statista 2015) ist eine gesonderte Berücksichtigung der Krankenhauspatientinnen und -patienten bei der Beurteilung von Flugrouten nicht notwendig. Nach § 5 des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung der Bekanntmachung vom 31.10.2007 sollten Krankenhäuser, Altenheime, Kindergärten nicht

in hoch belasteten Gebieten angesiedelt sein: „§ 5 Bauverbote (1) In einem Lärmschutzbereich dürfen Krankenhäuser, Altenheime, Erholungsheime und ähnliche in gleichem Maße schutzbedürftige Einrichtungen nicht errichtet werden. In den Tag-Schutzzonen des Lärmschutzbereichs gilt Gleiches für Schulen, Kindergärten und ähnliche in gleichem Maße schutzbedürftige Einrichtungen.“

Daraus abgeleitet sollte sich der äquivalente Schutzanspruch auch für bereits bestehende Einrichtungen ergeben. Aus diesem Grund sollte bei der Änderung von Flugrouten darauf hingewirkt werden, dass dieser Schutzanspruch die Zielvorstellung markiert. Gleichwohl ist festzustellen, dass die Festlegung von Flugrouten über einem komplexen städtischen Bestandsgefüge die Machbarkeit einer strikten Einhaltung des Schutzanspruches relativiert. Allerdings sollte bei Abweichungen gegenüber der Zielmarkierung eine sachliche Begründung erfolgen.

Da in der Regel zu erwarten ist, dass Schülerinnen und Schüler und Kindergartenkinder, wie auch Bewohnerinnen und Bewohner von Senioreneinrichtungen, soweit sie in das Untersuchungsgebiet fallen, ohnehin zur Bevölkerung des Gebietes gezählt werden, wäre eine gesonderte Berücksichtigung dieser Personengruppen aus lärmfachlicher Sicht schwer begründbar, zumal auch erhebungstechnisch kaum realisierbar. Aus diesen Gründen wird empfohlen, keine Differenzierungen der betroffenen Bevölkerung beziehungsweise hinsichtlich besonderer Einrichtungen vorzunehmen.

Auch aus der räumlichen Perspektive kann dieser Argumentation gefolgt werden. Es ist zu bemerken, dass die diskutierten Einrichtungen in den meisten Siedlungsräumen integriert im Stadtgefüge liegen. Dies begründet sich nicht zuletzt über die erforderliche Erreichbarkeit der Einrichtung gegenüber der Wohnbevölkerung. Beispielhaft belegt der Einzugsbereich von Schulen die Nähe zu umliegenden Wohngebieten. Insofern werden die „besonders schützenswerten Bevölkerungsgruppen“ auch in den meisten räumlichen Untersuchungen zur Festlegung von Flugrouten bereits über die umgebende Wohnbevölkerung erfasst.

#### 4.4.4 Belästigt oder stark belästigt als Auswahlkriterium

Ein zentrales Konzept im Zusammenhang mit Expositions-Wirkungskurven für Lärmbelästigung sind die Reaktionskategorien „belästigt“ (annoyed) und „stark belästigt“ (highly annoyed) (Guski et al. 1999). Bei der Festlegung für die angewendeten Expositions-Wirkungskurven geht es um den Prozentanteil von belästigten Personen (%Annoyed, %A) oder beziehungsweise stark belästigten Personen (%HighlyAnnoyed, %HA).

Bei der Entscheidung, ob %Annoyed oder %HighlyAnnoyed bevorzugt werden sollte, ist zu bedenken, dass bei gleichen Befragungsstudien %HA eine Untermenge von %A und somit stark korreliert ist (zum Beispiel in der EU-Studie (EEA 2010) bei Flug:  $r = .9$ ). Es wird daher empfohlen, %Annoyed zu verwenden.

#### 4.4.5 Bewertung von Flugrouten für die Tag- und Nachtzeit

Den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung zufolge unterscheiden sich die Reaktionen auf Lärm in Art und Stärke deutlich, ob die Lärmereignisse am Tage oder in der Nacht auftreten (Schreckenberg / Meis 2006). Nach vorliegenden Ergebnissen weist ein Flugzeug in der Nacht eine größere Störwirkung auf als am Tag. In der Nacht fühlen sich 25% der Befragten ab 57,5 dB(A) hochgradig belästigt. Demgegenüber ist die Belästigung am Tag deutlich geringer beziehungsweise tritt erst bei höheren Pegel ein (25 % Belästigter ab 62,5 dB(A)) (Schreckenberg / Meis 2006, S. 273). Auch Guski (2008) weist auf die Tatsache hin, dass Lärm im Tagesverlauf unterschiedlich stark wirkt:

Tabelle 2: Lärmsensible Tageszeiten

Tageszeit	Zeitabschnitt	Belästigungsgrad
Morgens	6 bis 10 Uhr	Hohe Belästigung

Tageszeit	Zeitabschnitt	Belästigungsgrad
Tagsüber	10 bis 17 Uhr	Belästigung
Abends	17 bis 22 Uhr	Hohe Belästigung
Nachts	22 bis 6 Uhr	Schlaf-Beeinträchtigung

(Quelle: Guski (2008))

Tag- und Nachtbelastungen sollten deshalb grundsätzlich getrennt betrachtet werden (Guski et al. 2012; UBA 2014). Dies ist aber nicht immer möglich; die DFS liefert meist nur Flugroutenvarianten für Tag und Nacht zusammen. Bei strengen Nachtflugbeschränkungen ist dies durchaus akzeptabel. Anders sieht es aber bei Flughäfen mit ausgeprägtem Nachtflugbetrieb (z. B. Köln/Bonn, Leipzig/Halle) aus. Zwar empfiehlt das UBA für stadtnahe Flughäfen ein Ruhen des regulären Flugbetriebes von 22 Uhr bis 6 Uhr, diese Empfehlung ist jedoch nicht überall umgesetzt. Daher wird hier empfohlen, für die Flughäfen, die einen nennenswerten Nachtflugbetrieb aufweisen, eine gesonderte Bewertung für die Nacht durchzuführen.

Für die Beurteilung der Lärmbelästigung am Tage wird in der Regel auf mittelungspegelbasierende Belastungsangaben zurückgegriffen. Für die Nachtzeit wird dagegen vielfach gefordert, auf Maximalpegel und den resultierenden Innenraumpegel abzustellen, um beispielsweise Aufwachreaktionen als Beurteilungskriterium zu verwenden. Hiermit sind allerdings Probleme verbunden: Pegelangaben zu Innenraumbelastungen sind je nach Raumausstattung unterschiedlich. Auch im Hinblick auf die Tatsache, dass die Fluglärmbelastung meist durch prognostizierte Mittelungspegel beschrieben wird, sollten für die Beurteilung nächtlicher Flugrouten mittelungspegelbasierende Belastungsangaben verwendet werden. (Guski et al. 2012).

Da die Ermittlung von Schlafstörungen durch Expositions-Wirkungskurven in vielen Fällen auf den äquivalenten Dauerschallpegel für die Nachtbewertung  $L_{Aeq,Nacht}$  zurückgreift (Giering 2010; WHO 2009), scheint die Nutzung dieser Beurteilungsgröße sachlich vertretbar (Guski et al. 2012).

#### 4.4.6 Definition des Untersuchungsgebiets

Die Größe des zu berücksichtigenden Belastungsbereichs hat bei Vergleichen von Flugrouten eine wesentliche Bedeutung. Die Lärmwirkungsforschung liefert Hinweise darauf, ab welcher Höhe Belastungen als beachtlich zu bewerten sind. Hinsichtlich des zu berücksichtigenden Einwirkungsbereichs lassen sich Belastungsgrenzen finden, unterhalb derer derzeit nicht mehr von einer beachtenswerten Belastung auszugehen ist. Babisch (2014) geht davon aus, dass bei Lärmbelastungen von über 55 dB(A) (24-Stunden-Mittelungspegel) Gesundheitsbeeinträchtigungen auftreten können und das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen zunimmt. Für den Tagzeitraum ist davon auszugehen, dass – unter dem Eindruck, dass Belästigungsreaktionen heute deutlich früher als vor Jahrzehnten ausgelöst werden (hierzu beispielsweise Fidell et al. 2011) – für die Tagbelastung Auslösewerte bereits oberhalb von 45 dB(A) als beachtenswert einzustufen sind. Auch die Ergebnisse der britischen ANASE-Studie (Attitudes to Noise from Aviation Sources in England) (Le Masurier et al. 2007) legen diesen Wert nahe.

Es wird daher empfohlen, als Auslösewert für die Bestimmung des Untersuchungsgebiets für den Tag von 6 bis 22 Uhr den Pegelwert von 45 dB(A) zu verwenden. Diesen Auslösewert benutzte das UBA bereits im BER-Flugroutenbericht (Umweltbundesamt 2012) für die Festsetzung des Untersuchungsgebiets.

Bezogen auf die Nachtzeit (8 Stunden) geht die WHO in ihren Night-Noise-Guidelines (WHO 2009) davon aus, dass zwischen 30 und 40 dB(A) [ $L_{night, außen}$ ] unerwünschte Effekte durch Lärm auftreten, beispielsweise Aufwachreaktionen oder Bewegungen im Schlaf. Zwischen 40 und 50 dB(A) sind negative Auswirkungen auf die Gesundheit zu beobachten. Die WHO empfiehlt daher einen Nachtwert ( $L_{night}$ ) von 40 dB(A) (vergleiche dazu auch Huss et al. 2010; Eriksson et al. 2007).

Ein Auslösewert für die Definition und Festlegung des Untersuchungsgebiets von 40 dB(A) in der Nacht wird für sachdienlich gehalten, da hiermit das Kriterium der Beachtlichkeit verbunden ist. Auch das UBA nutze diese Grenze für „beachtenswerte Lärmbelastung“. Gerade in Hinblick auf die „für Viele veränderte Lärmsituation“ sei auch eine Berücksichtigung einer „vergleichsweise gering erscheinenden zusätzlichen Fluglärmbelastung vorzunehmen“. (UBA 2012)

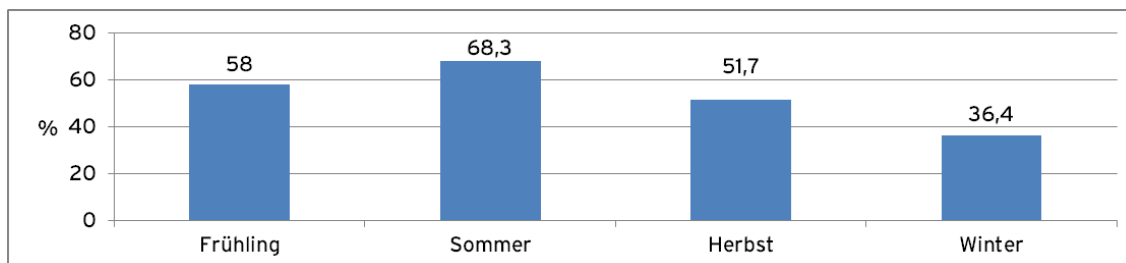
## 4.5 Weitere Einflussgrößen hinsichtlich der Lärmwirkung

### 4.5.1 Zeitstruktur von Lärmereignissen / Lärmsensible Tageszeiten

Ein mögliches Bewertungskriterium könnte auch die Zeitstruktur von Lärmereignissen sein, insbesondere die Verfügbarkeit von Ruhepausen. Kastka et al. (1983) verweisen in ihrer Feldstudie zur Störwirkung von Geräuschen unterschiedlicher Schwankungsbreite darauf, dass die Zeitstruktur der Lärmereignisse, das heißt das Vorhandensein von Ruhepausen und die subjektive Gesamteinschätzung der Wohn- und Umweltsituation, starke Unterschiede zwischen den Quellen aufweist, und zwar vor allem im Bereich von etwa 58 dB(A) des Mittelungspegels (Kastka 1983). In einer Untersuchung zur Lästigkeit von Straßenverkehrslärm zeigte sich, dass das Fehlen von Ruhepausen die subjektiv empfundene Dauerbelastung der Betroffenen erhöht. Im Rahmen dieser Studie zeigte sich auch, dass das Maximum der vom Verkehr ausgehenden Störungen im Feierabendbereich liegt. Dort treffen der abendliche Berufsverkehr und gleichzeitig das in diesem Tageszeitabschnitt erhöhte Ruhebedürfnis der Bevölkerung zusammen (Kastka et al. 1983).

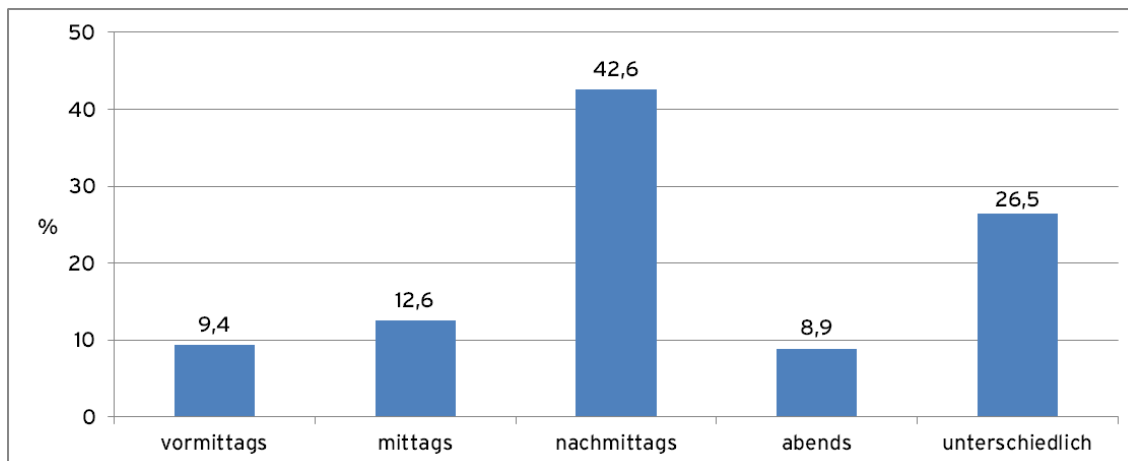
Hinsichtlich eines unterschiedlichen Schutzes bezogen etwa auf die Jahreszeiten soll auch die Freizeitnutzung im Freien betrachtet werden. In einer Vor-Ort-Untersuchung zur „Qualität und Nutzung öffentlicher Grünanlagen in Berlin“ (konsalt et al. 2001) wird beschrieben, dass sich teilweise sehr unterschiedliche Nutzungsmuster in den einzelnen Grünanlagen bezogen auf die Jahreszeiten zeigen. Mit 68 Prozent geht die Mehrheit der Besucherinnen und Besucher im Sommer in die jeweilige Parkanlage. Im Winter halten sich lediglich 36 Prozent der Befragten in Parks und öffentlichen Grünflächen auf. Das heißt, die Zahl der Belästigten, in diesem Fall in ruhigen Gebieten, variiert in Abhängigkeit der Jahreszeit. Auch die Tageszeiten, in denen öffentliche Parks aufgesucht werden, differieren nach den Ergebnissen dieser und anderer Studien beträchtlich. So sind vor allem der Nachmittag und die frühen Abendstunden die Zeiten, in denen Menschen öffentliche Grünanlagen aufsuchen, um dort spazieren zu gehen, Ruhe zu finden oder Sport zu machen. Dagegen werden Parks in den Vormittagsstunden deutlich seltener frequentiert, eine Nachtnutzung ist zu vernachlässigen (konsalt 1999; konsalt et al. 2001).

Abbildung 2: Saisonale Nutzung öffentlicher Grünanlagen in Berlin



(nach konsalt 2001, S. 23)

Abbildung 3: Besuch öffentlicher Grünanlagen in Berlin nach Tageszeiten



(nach konsalt 2001, S. 21)

Bereits 2011 wurde am Verkehrsflughafen Frankfurt/Main mit Inbetriebnahme der Landebahn Nord-west eine nächtliche Kernruhezeit von 23 bis 5 Uhr eingeführt. In der NORAH-Studie wurde zusammenfassend festgestellt, dass der positive Effekt dieser Maßnahme bei berichteten Schlafstörungen einzig auf die Durchschlafphase, nicht auf die Ein- und Ausschlafphase bezieht. Dies liege unter anderem darin begründet, dass die Einschlafphase überwiegend zwischen 22 und 23 Uhr, die Aufwachphase zwischen 6 und 7 Uhr, und damit jeweils außerhalb der Ruhezeit, liegt. (Guski / Schreckenbergs 2015)

Am Frankfurter Flughafen wurde zudem ein „Bündnis für Lärmpausen“ geschlossen, um die Belastungen für die Anwohnerinnen und Anwohner durch den Luftverkehr zu reduzieren, ohne gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit des Flughafens zu gefährden. Danach sollen Lärmpausen durch wechselnde Nutzungen der Start- und Landebahnen in der Zeit von 22 bis 23 Uhr und 5 bis 6 Uhr eine Entlastung von Gebieten im Umfeld des Flughafens ermöglichen. („Bündnis für Lärmpausen“, Frankfurt/Main, 4.2.2015).

Die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Erfahrungen könnten bei einer Beurteilung von Flugrouten eine Rolle spielen. So wäre es beispielsweise denkbar, dass im Sommer oder in den Nachmittags- und frühen Abendstunden das Überfliegen von anderen Flächen zugunsten der Parkanlagen bevorzugt wird. In der Regel variieren jedoch die täglichen Verkehre der Flughäfen saisonbedingt. Bei der Berechnung von Fluglärm werden in der Regel die sechs verkehrsreichsten Monate des Bezugsjahres gewählt. Für eine Bewertung spezieller Jahreszeiten müsste somit ein hiervon abweichender Bezugszeitraum gewählt werden. Es kann nicht ohne weitere Analyse sichergestellt werden, dass mit der Berücksichtigung eines grundsätzlich empfindlicheren Zeitraums auch die tatsächlich wesentliche Belästigung ermittelt wird. Es wird daher aus praktischen Überlegungen empfohlen, keine gesonderte Berücksichtigung von besonderen Tageszeiträumen (Ausnahme Tag / Nacht) vorzusehen.

#### 4.5.2 Baulicher Schallschutz

Baulicher Schallschutz kann relativ lärmfreies Leben innerhalb der Wohnungen auch bei Fluglärmbelastung gewährleisten. Epidemiologische Untersuchungen (Greiser et al. 2006) konnten zeigen, dass Fluglärmbelastete, die über Schallschutzfenster verfügen, weniger Arzneimittel verschrieben bekommen, beziehungsweise ein geringeres Krankheitsrisiko aufweisen (Greiser / Greiser 2010). Eine Berücksichtigung der vorhandenen Ausstattung mit baulichem Schallschutz könnte deshalb bei einer Abschätzung lärmbedingter Erkrankungsrisiken sinnvoll sein.



Eine Berücksichtigung des vorhandenen baulichen Schallschutzes bei der Bewertung von Flugroutenvarianten erscheint allerdings nicht zielführend. Eine solche Betrachtung würde den „Lebensraum“ der Flughafenrainer auf den Innenraum reduzieren; der gesamte Außenbereich bliebe hierbei unberücksichtigt. Dies wäre insofern „abwägungsfehlerhaft“, da, wie in vielen Studien deutlich wird (etwa LÄRMKONTOR 2007), für das Belästigungserleben die Lärmbelastungssituation außerhalb der Wohnung entscheidend ist. Hinsichtlich der Schlafstörungen zeigt eine Sensitivitätsanalyse im Rahmen des Züricher Fluglärmindex für das Berechnungsjahr 2012, dass eine Berücksichtigung nur geringe Unterschiede erwarten lässt (Abnahme um 76 Personen). Die Berechnungen werden jedoch weiterhin mit diesem Einfluss durchgeführt, da erwartet wird, dass sich der Effekt erhöht. (EMPA 2014)

Gegen eine Berücksichtigung des baulichen Schallschutzes spricht in erster Linie auch, dass die Datengrundlage zum vorhandenen Schallschutz in der Regel nicht vorliegt und es nicht absehbar ist, dass dies in der für die Bewertung der Flugrouten vorhandenen Zeit zu ermitteln ist. Für die Berechnung des Züricher Fluglärmindex im Jahr 2011 war die Einbeziehung des passiven Schallschutzes bereits vorgesehen. Dieser konnte jedoch nicht berücksichtigt werden, da die notwendigen Angaben nicht verfügbar waren.

Eine Ermittlung der Ausstattung mit passivem Schallschutz anhand der Lärmschutzbereiche nach §2 Abs. 2 des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm erscheint aufgrund mehrerer Aspekte nicht zielführend: Zum einen sollen mit dem geplanten Verfahren auch Änderungen von Flugrouten bewertet werden. Neu belastete Bereiche wären daher in der Bewertung unter Umständen nicht mit dem entsprechenden dann zustehenden Lärmschutz erfasst. Zum anderen bilden die Lärmschutzbereiche nur einen Bereich mit relativ hoher Lärmbelastung ab. Letztendlich kann aus dem Vorhandensein eines Lärmschutzbereichs noch nicht auf die tatsächliche Situation geschlossen werden. Dies kann besonders kritisch werden, wenn ein entsprechender baulicher Schallschutz aufgrund der (vorherigen) Lage in einem Lärmschutzbereich angesetzt wird, dieser Anspruch aber nach Flugroutenänderung nicht mehr erfüllt ist und eine Umsetzung dann nicht mehr geschehen kann. Eine gesonderte Berücksichtigung des vorhandenen baulichen Schallschutzes wird daher nicht empfohlen.

#### 4.5.3 Betroffenheit durch mehrere gleichzeitig einwirkende Lärmquellen

Ein weiterer Aspekt bei der Beurteilung von Flugrouten sind mögliche Mehrfachbelastungen oder Vorbelastungen durch verschiedene vorhandene Lärmquellen. In welchem Ausmaß die Belästigungsreaktion bei mehreren einwirkenden Lärmquellen zunimmt, wird unterschiedlich berichtet (u. a. Ortscheid / Wende 2004; LÄRMKONTOR et al. 2007). So zeigen Analysen der Umfragen zur Belästigung durch Lärm, dass das quellenspezifische – etwa durch Straßenverkehrslärm hervorgerufene Belästigungserleben – stark davon beeinflusst wird, ob noch weitere Geräuschquellen, wie Luft- oder Schienenverkehr, vorhanden sind (z. B. in Schuemer et al. 2003).

Eine Befragung von über 7.000 Menschen im Rahmen der NORAH-Studie zu Mehrfachbelastungen zeigte, dass bei gleichen Dauerschallpegeln die Belästigung deutlich höher war, wenn der Fluglärmpegel dominiert und damit lauter war als der der Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Für eine Überlagerung des Lärms von Straßen-, Schienen- und Luftverkehr muss also die unterschiedliche Wirkung der Lärmarten bei gleichen Beurteilungspegeln berücksichtigt werden. Eine einfache energetische Addition könnte zu einer deutlichen Fehlinterpretation der Belastung führen. Im Rahmen der NORAH-Studie wird für zwei Lärmquellen eine „Gewichtung der beiden Pegel entsprechend der Lästigkeit der beteiligten Quellenarten“ vorgeschlagen. Zur Gewichtung werden jedoch keine weiterführenden Aussagen getroffen. (Guski / Schreckenbergs 2015)

Im Mai 2013 hat der Verein Deutscher Ingenieure die VDI 3722 Blatt 2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“ herausgegeben. Die Richtlinie fasst wissenschaftliche Aussagen über Straßen-, Schienen- und Luftverkehrslärm zusammen und gibt einen Überblick über die derzeit bekannten Wirkungen auf den Menschen. Berücksichtigt wird neben dem

aktuellen Kenntnisstand zur kombinierten Einwirkung unterschiedlicher Quellenarten auch die damit verbundene Expositions-Wirkung beim Menschen. Die Aussagen der Richtlinie beziehen sich vor allem auf die kombinierte Einwirkung von Verkehrsgeräuschen auf Wohnbereiche.

Als Ansatz für eine wirkungsgemäße Überlagerung soll in diesem Fall die VDI 3722 Blatt 2 herangezogen werden. Die Richtlinie hebt hervor, dass bei der Bewertung der Beeinträchtigung beim derzeitigen Stand der Forschung keine generelle Antwort möglich und die dort vorgeschlagene Vorgehensweise „als vorläufig zu betrachten“ ist. Dennoch sollen die in der Richtlinie vorgeschlagenen „Verfahren zur Ermittlung von Kenngrößen zur Bewertung beim Einwirken unterschiedlicher Geräuschquellenarten“ hinsichtlich unter anderem Belästigung und Störung als ein möglicher Ansatz betrachtet werden. Zur Bewertung wird als Hilfsmittel das sogenannte „Substitutionsverfahren“ genutzt, bei dem die Wirkung jeweils in Bezug zu einer Vergleichsgröße (in diesem Fall dem Straßenverkehrslärm) ermittelt wird. Hierzu werden die Mittelungspegel aus Luft- und Schienenverkehr auf wirkungsäquivalente Pegel zum Straßenverkehr umgerechnet. Die Wirkungsäquivalenz wird dabei dadurch ausgedrückt, dass der Prozentsatz der beeinträchtigten Personen übereinstimmt, hieraus wird ein Ersatzpegel ermittelt. Die Ersatzpegel der unterschiedlichen Quellenarten werden dann energetisch zu einem effektbezogenen Substitutionspegel addiert, der von der Wirkung wie Straßenverkehrslärm beurteilt werden kann.

Mit dem aufgezeigten Verfahren ist es somit möglich, die Betroffenheit beim Einwirken verschiedener Quellenarten zu ermitteln. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die wirkungsäquivalente Addition nur dadurch erreicht wird, dass über die Belästigungsbewertung ein zur Belastung des Straßenverkehrs äquivalenter Ersatzpegel ermittelt wird. Eine Beurteilung dieser Ersatzpegel mit einer abweichenden Bewertungsfunktion (die dann für den Straßenverkehr anzusetzen wäre) sollte nicht durchgeführt werden, da die durchgeführte Addition von der Vergleichbarkeit der zugrunde gelegten Belästigungsfunktionen für Straße, Schiene und Flug abhängig ist. In der VDI 3722 Blatt 2 ist hierzu explizit als Anmerkung aufgeführt: „Der Substitutionspegel  $L_{AES}$  ist nur für die in dieser Richtlinie aufgeführten Zwecke zu verwenden.“

Die VDI Richtlinie 3722 Blatt 2 liefert somit ein Verfahren zur Beurteilung von Mehrfachbelastungssituationen, die durch Verkehrslärmquellen hervorgerufen werden. Grundsätzlich spricht nichts gegen eine Anwendung dieses Verfahrens bei der Bewertung von Flugrouten. Voraussetzung ist allerdings, dass die Belastungen durch Straßen- und Schienenverkehr im Untersuchungsgebiet zum einen hinreichend exakt vorliegen und zum anderen über den Zeitraum der „Lebensdauer“ der Flugrouten unverändert bleiben. Es muss bedacht werden, dass die VDI kein Verfahren für eine Gesamtlärmbewertung bietet, die neben den Verkehrslärmquellen auch Industrie- und Gewerbelärm, Sportlärm, Schießlärm berücksichtigt. Insgesamt scheint eine Berücksichtigung von Vorbelastungen nur unter großem Aufwand machbar.

Auch ein Gutachten des Öko-Instituts verweist darauf, dass für die Ermittlung von anderen verkehrlichen Vorbelastungen keine weiteren Erhebungen durchgeführt werden sollten (Barth et al. 2014). Vielmehr soll auf bestehende Ergebnisse aus der Lärmaktionsplanung zur Identifizierung von räumlichen Lärmschwerpunkten („Hot-Spots“) zurückgegriffen werden. Anzumerken ist jedoch, dass weder die Ergebnisse der Lärmkartierung noch die der Lärmkartierung zugrundeliegenden Daten mit ausreichender Genauigkeit und Vollständigkeit die Vorbelastung durch weitere Verkehrsträger wiedergeben können. Daher ist die Frage, ob der Aspekt der gleichzeitig einwirkenden Lärmarten beziehungsweise einer Vorbelastung durch Lärmquellen in die Bewertung mit einbezogen werden sollte, derzeit zu verneinen.

#### 4.5.4 Bahnnutzungskonzepte: Wechselseitige Bahnnutzung

Das Konzept der wechselseitigen Bahnnutzung (Dedicated Runway Operations, DROps) bietet den Betroffenen die Möglichkeit, lärmsensible Tätigkeiten in Zeiten einer reduzierten Belastung zu verlegen.



Obwohl das Verfahren bereits an manchen Flughäfen praktiziert wird, ist die Frage, ob es zu einer Verbesserung der Lärmsituation führen kann, derzeit auf der Basis von Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung noch nicht direkt zu beantworten. Es liegen jedoch Erkenntnisse vor, die nahelegen, dieses Verfahren anzuwenden, da zu erwarten ist, dass hiermit die erlebte subjektive Lärmbelastung der Flughafenanlieger reduziert wird. Dies ist deshalb anzunehmen, da ein wichtiger Moderator für die erlebte Lärmbetroffenheit der Grad der (erlebten, kognitiven) Kontrolle ist, den die Betroffenen über ihren Belastungsfaktor ausüben oder auszuüben glauben (u. a. Guski 1993; Felscher-Suhr / Schreckenberg 2000). Mit kognitiver Kontrolle ist im Wesentlichen das Wissen über das Auftreten und „Verhalten“ der Belastungssituation gemeint. Bei der wechselseitigen Bahnnutzung ist eine Kontrolle der Exposition dahingehend möglich, dass in der Regel die Nutzungen (oder Lärmpause) entsprechend kommuniziert wird. Je stärker die Kontrollüberzeugung ausgeprägt ist, desto geringer wird die lärminduzierte Stressreaktion sein, wie bereits 1972 Glass und Singer berichten. Seit den Arbeiten von Glass und Singer ist eine Vielzahl von Publikationen erschienen. Zu nennen ist Aiello und Svec (1993), die auf die Wirksamkeit von wahrgenommener Kontrolle in Hinblick auf Stressreduzierung und Leistungsverbesserung hinweisen. Es wird jedoch nicht explizit die Stressverursachung durch Lärm untersucht. Derzeit wird dieses Thema auch unter neurophysiologischen Aspekten intensiv diskutiert, wie etwa die Arbeit von Bahlmann et al. (2012) zeigen.

Kontrolle bedeutet für die Betroffenen die Möglichkeit oder Fähigkeit, sich besser auf den Lärm einstellen oder sich gegen Lärm schützen zu können. Ergriffene Schutzmaßnahmen können physikalischer Natur sein, zum Beispiel das Schließen der Fenster, Verlegung von Tätigkeiten in den Innenraum. Sie können jedoch auch kognitiver Natur sein, wobei die Betroffenen versuchen, sich durch „Abschalten“ dem Lärm zu entziehen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Tatsache, dass Lärmpausen generell eine subjektive Verbesserung der Lärmsituation bewirken können: Bereits Kastka (1983) verweist in der Feldstudie zur Störwirkung von Geräuschen unterschiedlicher Schwankungsbreite darauf, dass die Zeitstruktur der Lärmereignisse, das heißt die Verfügbarkeit von Ruhepausen und die subjektive Gesamteinschätzung der Wohn- und Umweltsituation, starke Unterschiede zwischen den Quellen aufweist. Hinsichtlich der Lästigkeit von Straßenlärm zeigte sich, dass das Fehlen von Ruhepausen die subjektiv empfundene Dauerbelastung der Betroffenen erhöht (Kastka 1983).

Die Möglichkeit, wechselnde Lärmbelastungen über die Zeit einplanen zu können, gibt Kontrolle und subjektive Handlungskompetenz zurück. Unter den Voraussetzungen, dass

- ▶ das Verfahren der wechselseitigen Bahnnutzung transparent und umfassend als „zusätzliche“ Maßnahme zur Verbesserung der Lebensqualität – und nicht als Lärminderungsmaßnahme – kommuniziert wird, dass
- ▶ das Zeitregime, also die Wechselzeitpunkte, frühzeitig bekannt gemacht wird und dass
- ▶ der Wechsel der Bahnen nicht zu schnell aufeinanderfolgt,

könnte ein Einsatz des Verfahrens der wechselseitigen Bahnnutzung - unter den zuvor getroffenen Annahmen - empfohlen werden. Die Frage, welche Zeitdauer eine Bahnnutzung jeweils mindestens aufweisen sollte, bevor auf die alternative Bahn gewechselt wird, ist aus Sicht der Lärmwirkungsforschung nicht direkt ableitbar. Aufgrund der unterschiedlichen Lebenssituationen der Flughafenanlieger und der damit verbundenen unterschiedlichen Zeitpunkte gewünschte Außennutzung ist aber zu empfehlen, den Wechselrhythmus nicht kleiner als 24 Stunden und nicht länger als eine Woche anzulegen. Um die in diesem Verfahren potenziell vorhandenen Möglichkeiten zur Verbesserung der Lebensqualität weitgehend ausschöpfen zu können, erscheint es geboten, Abweichungen vom kommunizierten, festgelegten Wechselrhythmus zu vermeiden. Falls dies nicht zu vermeiden ist, sollte in geeigneter Weise frühzeitig darüber informiert werden.

Mitte Februar 2016 wurde eine erste Auswertung der Ergebnisse des Lärmpausen-Modells am Frankfurter Flughafen präsentiert (HMWEVL2 2015). Für den Zeitraum von April bis Dezember 2015 wurde die Betriebsrichtung 25, bei der das Lärmpausenmodell zum Einsatz kommen kam, an rund drei Viertel aller Tage geflogen. An 89 % dieser Tage wurde das Lärmpausen abends, an 96 % der Tage morgens umgesetzt. In den Abendstunden sorgten in mehr als der Hälfte der Fälle die Wetterbedingungen zu einer Nichtumsetzung, in den Morgenstunden waren es fast ausschließlich „infrastrukturbedingte Erfordernisse / aus betrieblichen Gründen des Flughafenbetreibers“. Interviews ergaben, dass 68 % der Befragten von dem Lärmpausen gehört haben und 35 % das Konzept bekannt ist. Bei der Bewertung, ob eine Verbesserung oder Verschlechterung des Alltagslebens stattgefunden hat, äußerten jeweils rund 90 %, dass sie keine Veränderung feststellen. Während bei Lärmpausen im Abendzeitraum 6 % eine Verbesserung gegenüber 3 % eine Verschlechterung wahrnehmen, sind es bei den Lärmpausen im Morgenzeitraum 7 % mit einer Verschlechterung gegenüber nur 5 % mit einer Verbesserung. Trotzdem haben 43 % der Befragten eine eher positive Einschätzung, gegenüber 24 % mit einer eher negativen Einschätzung. 71 % der Befragten sind zudem dafür, dass die Maßnahme der Lärmpausen fortgeführt wird.

#### 4.5.5 Einzelfreigaben

Durch Einzelfreigaben im Sinne des § 31 der Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) erhält der Luftfahrzeugführer die Erlaubnis, seinen Flug unter bestimmten Bedingungen durchzuführen. Die zuständige Flugverkehrs-kontrollstelle kann bei der Bewegungslenkung der ihrer Kontrolle unterliegenden Flüge nach § 31 Abs. 3 LuftVO den Flugverlauf, insbesondere den Flugweg und die Flughöhe, durch entsprechende Freigaben im Einzelnen festlegen. Dies bedeutet, dass solche „Directs“ eine lärmoptimierte Flugroutenführung obsolet machen können.

Das UBA schreibt im BER-Bericht (2012) zu den Directs: „Eine ständige Praxis der Flugverkehrskontrollstellen, regelmäßig und ohne Vorliegen besonderer Umstände abweichend von den vorgeschriebenen Flugverfahren Flugverkehrskontrollfreigaben zu erteilen und auf diese Weise faktische zusätzliche Flugrouten zu eröffnen, ist dagegen mit der Regelungssystematik von LuftVG und LuftVO sowie mit der Funktion und mit Sinn und Zweck des Verfahrens der Festlegung von vorgeschriebenen Flugverfahren nicht vereinbar.“

Auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen (2014) stellt den Reformbedarf hinsichtlich der Einzelfreigaben im vorgelegten Sondergutachten heraus. Die dort formulierte Handlungsempfehlung zielt auf eine gesetzliche Sicherung des Regel-Ausnahme-Verhältnis für Einzelfreigaben. Danach soll der Gesetzgeber inhaltlich bestimmen, dass Abweichungen von festgelegten Flugrouten nur ausnahmsweise unter bestimmten sachlichen Gründen seitens der Fluglotsen ausgesprochen werden dürfen (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2014).

Das Öko-Institut führt aus, dass „durch einen Summationseffekt von für sich gesehen unkritischen Flugroutenänderungen im Laufe der Zeit ein unbeabsichtigter und unbeobachteter rechtlich relevanter Effekt (im Sinne einer Fluglärmbelastung, die sich durch Summation ergeben kann) eintritt“ (Barth et al. 2014). Es wird angeregt, ein Flugverfahrensmonitoring durchzuführen.

Es ist davon auszugehen, dass die heute praktizierte Nutzung von Directs in niedrigen Flughöhen sich auf die Lärmsituation auswirkt. Beeinflusst werden könnte diese Auswirkung durch die generelle oder flughafenspezifische Festlegung höherer Mindestflughöhen für die Nutzung von Directs, sodass diese erst dann erfolgen, wenn eine Auswirkung auf die genannten Beachtlichkeitskonturen (40 dB(A) / 45 dB(A) siehe oben) nicht mehr gegeben ist. Zu den Directs führt das UBA im BER-Bericht (2012) weiter aus: „Eine lärmfachliche Bewertung der Flugrouten durch das UBA im Rahmen der Benehmensebeteiligung würde damit weitgehend ins Leere laufen, weil das faktische Fluggeschehen nie lärmfachlich bewertet wurde.“

Für eine korrekte Bewertung der Lärmsituation eines geplanten Flugroutensystems sollte somit die tatsächlich „gelebte Praxis“ mit berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass die Directs in Berechnungen zugrundeliegenden Datenerfassungssystemen modelliert werden sollen. Entsprechende Erläuterungen enthält die „Anleitung zur Datenerfassung für den Flugbetrieb, AzD“ nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm.

#### 4.5.6 Bewertung von Erholungsgebieten

In der Umgebung von Flughäfen finden sich vielfach Erholungsgebiete. Diese ermöglichen den Alltagsstress abzubauen, verbessern das individuelle Wohlbefinden und tragen zur Steigerung der Lebensqualität bei. Bei der Festlegung von Flugrouten kann auch gefordert werden, dass eine Verlärmung von Erholungsräumen vermieden wird. Dies hat etwa das UBA (2012) in der Bewertung zum Verkehrsflughafen Berlin Brandenburg geprüft.

Diese Forderung lässt sich jedoch nicht immer mit dem Schutz von Siedlungsgebieten vereinbaren, denn Flugrouten in der Umgebung von Flughäfen sollten über möglichst dünn besiedelte Gebiete geführt werden, um die Zahl der Betroffenen gering zu halten. Da davon ausgegangen wird, dass „ruhige Gebiete“ fast ausnahmslos im Tagzeitraum zur Erholung genutzt werden, findet eine eventuelle Betrachtung dieser Gebiete auch ausschließlich für den Tagzeitraum statt. Zu diskutieren ist, ob ausschließlich zum Schutz der Natur ausgewiesene, aber nicht vorwiegend zu Erholungszwecken genutzte Gebiete ebenfalls und mit gleicher Priorität berücksichtigt werden sollten.

Um einen einheitlichen Ansatz für die Bewertung ruhiger Gebiete zu erzielen, sollten für zu berücksichtigende Gebiete feste Kriterien gesetzt werden. Die Auswahl „ruhiger Gebiete“ aus den Lärmaktionsplanungen ist nicht trivial, da sich je nach Gemeinde unterschiedliche Definitionen sowie unterschiedliche Anforderungen an die ruhigen Gebiete ergeben (Burokas 2013). Dabei ist nicht nur die Verlärmung der Gebiete stark unterschiedlich (Anforderung zum Beispiel  $L_{DEN} < 45 \text{ dB(A)}$  bis  $L_{DEN} < 55 \text{ dB(A)}$ ), auch die Größe der genannten ruhigen Gebiete variiert deutlich. In Berlin ist etwa das Landschaftsschutzgebiet Grunewald mit 3.063 ha als ruhiges Gebiet ausgewiesen. In Bremen wird eine Mindestgröße von drei ha für einen „ruhigen Stadtraum“ angegeben, „Stadtoasen“ können hingegen auch Flächen kleiner als drei ha sein.

Eine Auswertung der Flächennutzungspläne zur Identifikation von Erholungsgebieten scheint nach einer Stichprobe ebenfalls nicht zielführend: In Flächennutzungsplänen werden in unterschiedlicher Detaillierung die Grünflächen einer Gemeinde dargestellt, jedoch sind nicht notwendigerweise alle zur Erholung zur Verfügung stehenden Gebiete auch als Grünfläche definiert. Dies kann insbesondere bei größeren außerstädtischen Grünflächen sowie schützenswerten Naturflächen der Fall sein. Bei einem gemeindeübergreifenden Untersuchungsgebiet wäre somit nicht sichergestellt, dass alle potenziellen Erholungsgebiete in gleicher Güte abgebildet werden.

Grundsätzlich sollte aufgrund der Vielzahl innerstädtischer Parkflächen eine Mindestgröße zur Berücksichtigung vorgegeben werden. Somit verbleiben die größeren außer- und innerstädtischen Erholungsgebiete sowie gegebenenfalls schützenswerte Naturflächen.

Das vom Öko-Institut vorgelegte Gutachten verweist zum Umgang mit „ruhigen Gebieten“ auf die Regelungskompetenz der Länder (Barth et al. 2014). Die Länder haben die grundsätzliche Möglichkeit, über die Bearbeitung von planerischen Fragestellungen verstärkt die Funktion des räumlichen Lärmmanagements wahrzunehmen. Mit konkreten Planungsvorgaben und definierten Minderungszielen kann der Umgang mit ausgewählten schützenswerten Gebieten gesteuert werden. Ein solcher Ansatz ermöglicht die Beeinflussung einer regionalen Lärmverteilung am jeweiligen Flughafenstandort. (Barth et al. 2014)

### **Bewertung anhand eines Bonus-Malus-Systems (Fläche)**

Da ein Erholungsgebiet im Gegensatz zu Wohngebäuden über keine eindeutige Betroffenheit (in Ausdruck von betroffenen Personen) verfügt, könnten diese in eine Bewertung anhand eines Bonus-Malus-System eingehen.

Für Erholungsgebiete könnte zum Beispiel die Fläche des Gebietes, die über einer gewissen Schwelle belastet ist, erfasst werden. Da die Gebietsgrößen deutlich variieren, könnte eine Gewichtung mit der Größe des Gebietes stattfinden. In der Bewertung könnte zum Beispiel „ein Maluspunkt“ pro km<sup>2</sup> belasteter Fläche über dem Schwellenwert angesetzt werden. Belastete Teilflächen würden entsprechend Teilpunkte erhalten (1 ha = 0,01 Maluspunkt).

Vorteil eines solchen Systems wäre, dass eine Diskussion zur Gleichwertigkeit von Wohnort und Erholungsgebiet nicht notwendig würde. Das Bonus-Malus-System könnte auch für weitere Faktoren (wie etwa eine Vorbelastung, Vorteile im Flugbetrieb oder ähnliches) Anwendung finden. Die wesentliche Gewichtung könnte weiterhin anhand der betroffenen Bewohnerinnen und Bewohner stattfinden, eine Abwägung zwischen ähnlich bewerteten Routen könnte anhand solcher Faktoren erfolgen. Nachteil bei dieser Betrachtung ist, dass die Gewichtung der Erholungsgebiete untereinander sehr stark von der definierten Fläche abhängt. Ausgedehnte Naturflächen, die unter Umständen gar keine Nutzung zulassen (etwa Wälder oder Seen), erhielten eine deutlich höhere Gewichtung als kleinere innerstädtische Parkanlagen.

### **Bewertung anhand fiktiver Nutzung**

Alternativ könnte ein Ansatz für eine „fiktive Nutzung“ der Flächen gewählt werden, der eine Vergleichbarkeit zu den Personen in Wohngebäuden ermöglicht. Hierzu wird eine Nutzung mit einer Personendichte (zum Beispiel: 50 Personen/ha) sowie einer mittleren Nutzungsdauer (zum Beispiel 1 Stunde pro Tag) angesetzt. Es ergeben sich somit „fiktive Bewohnerinnen und Bewohner“ im Tagzeitraum (16 Stunden, 6 bis 22 Uhr). Anhaltspunkte für eine schnelle Abschätzung der Nutzung kann den Erhebungen von Bonacker (konsalt 2001) entnommen werden. Die fiktiven Personen könnten hierbei sowohl auf die Fläche verteilt (etwa ein Punkt alle 100 m<sup>2</sup>) als auch über eine Mittelung berücksichtigt werden. Anhand der ermittelten Beurteilungspegel ergeben sich dann „fiktive Betroffene in den Erholungsgebieten“, die dann in die Beurteilung wie Bewohnerinnen und Bewohner von Wohngebäuden einfließen könnten.

Über eine zusätzliche Gewichtung könnten diese fiktiven (Park-)Bewohner gegenüber den eigentlichen (Haus-)Bewohnern nochmals relativiert werden, um die eigentliche (meist nicht frei wählbare) Wohnnutzung gegenüber einer (freiwilligen) Freizeitnutzung zu privilegieren.

Vorteil dieser Methode wäre bei einer differenzierten Zuordnung von Nutzern eine größere Unabhängigkeit von der Fläche des Erholungsgebietes, sofern absolute Nutzerzahlen vorliegen. Allerdings liegen nach bisherigen Recherchen fast nie vergleichbare Daten zur Nutzung von Erholungsgebieten vor. Im Rahmen des Bewertungsverfahrens ist eine Erhebung sowohl zeitlich als auch vom Aufwand ausgeschlossen, einzig eine Typisierung der Flächen und der möglichen Nutzer wäre möglich.

### **Zusammenfassung zu Erholungsgebieten**

Zusammenfassend kann für Erholungsgebiete und ruhige Gebiete festgehalten werden, dass keine einheitliche Definition und keine einheitlichen Parameter für diese Gebiete existieren.

Die Abwägung von Erholungsgebieten untereinander wird durch die Fläche des Erholungsgebietes oder die Ansätze für die Nutzung deutlich beeinflusst. Bei einheitlicher Nutzung pro Hektar ist der An-

satz der fiktiven Nutzung bei der Gewichtung der Fläche gleichwertig mit dem der reinen Flächenbeurteilung, vermeidet jedoch die Wahl eines (willkürlichen) Grenzwertes (wie bei dem Ansatz nach Fläche nötig). Daher ist ein Ansatz nach fiktiver Nutzung vorzuziehen.

Der Ansatz mit Berücksichtigung fiktiver Personen ermöglicht prinzipiell eine Vergleichbarkeit mit den betroffenen Personen in Wohnnutzungen. Allerdings setzt dieser die Erhebung zusätzlicher Daten, wie etwa Besucherfrequenz und Besuchsdauer, voraus und erhöht den Bearbeitungsaufwand nicht unbeträchtlich. Sofern diese Daten nicht vorliegen, könnte zwar eine genauere Bewertung erfolgen als bei einem Ansatz rein nach der Fläche. Diese Klassifizierung der Nutzung wäre jedoch schwer vollständig objektiv abzubilden. Solange keine fundierten Daten über die Nutzungshäufigkeit einzelner Erholungsgebiete vorliegen, schließt sich eine Kombination mit den Varianten-Prüfwerten der Wohnbevölkerung aus.

Bei der Anwendung ist eine vorherige überschlägige Prüfung zu empfehlen, um unnötigen Aufwand zu vermeiden. Beachtenswerte Auswirkungen auf die Flugroutenbeurteilung durch die Berücksichtigung von Erholungsgebieten sind nur dann zu erwarten, wenn die Gebiete ausreichend groß sind und auch hinreichend stark genutzt werden. Führen die Flugrouten allgemein über relativ dicht besiedeltes Gebiet, wirkt sich die Berücksichtigung von Erholungsgebieten ebenfalls kaum aus.

Im Rahmen der Berechnungen für einen Modellflughafen (siehe Abschnitt 6.2) werden die Ergebnisse beider Methoden für zwei kleinere Erholungsgebiete verglichen. Die Bewertung von Erholungsgebieten sollte aufgrund der zuvor genannten Probleme nicht Bestandteil der Bewertung von Flugrouten werden, sondern allenfalls ein zusätzliches Abwägungskriterium darstellen.

#### 4.5.7 Information und Beteiligung der Öffentlichkeit

Im Zuge der Flugroutendiskussionen um den Bau der Landebahn Nord-West am Flughafen Frankfurt/Main und im Verlauf der Flugroutendiskussion um den Berliner Flughafen BER wurde deutlich, dass die Bevölkerung an Informationen und Beteiligungsmöglichkeiten sehr interessiert ist. Dabei erscheinen die Beteiligungsmöglichkeiten unzureichend: „Betroffene haben allenfalls die Möglichkeit, sich durch soziale Aktivitäten (zum Beispiel Proteste, Beteiligung in Bürgerinitiativen, Beteiligung bei Planungsmaßnahmen, rechtliche Schritte) gegen den Lärm und seine Verursacher zu wenden.“ (Schreckenber / Meis 2006, S. 16) Inwieweit damit Lärmwirkungen moderiert werden, lässt sich anhand der vorliegenden Literatur zu Fluglärmwirkungen nicht belegen, zumal systematische Untersuchungen dazu fehlen (Guski 2013; Schreckenber 2013).

Aus Sicht der Lärmwirkungsforschung dürfte eine bessere Information und Beteiligung der Öffentlichkeit zu einer größeren Akzeptanz der Situation führen. So könnte beispielsweise die Ankündigung von alternierenden Bahnnutzungen vor allem dann einen psychologischen Effekt haben, wenn diese entsprechend vorher kommuniziert würden, damit sie auf Seiten der betroffenen Bevölkerung akzeptiert und als entlastende Maßnahme erkannt werden. „In der psychologischen Stresstheorie [...] gehört die mögliche Kontrolle über den Stimulus und seine Auswirkungen zu den wichtigsten Determinanten des Stress beziehungsweise Nicht-Stress. Nach allgemeiner Auffassung gelten Geräusche, die man selbst abstellen oder zumindest genau vorhersagen oder in ihrer Wirkung lindern kann, als wenig bedrohlich“ (Finke et al. 1980). Eine frühzeitige Information der betroffenen Wohnbevölkerung kann dazu einen wichtigen Beitrag leisten und auch die Akzeptanz von Projekten erhöhen (Wehrspau / Schack 2013).

Expertinnen und Experten verweisen darauf, dass Öffentlichkeitsarbeit die Akzeptanzförderung erleichtert, da Vorbehalte, Ängste und Konflikte im Vorfeld der Planung auftauchen und abgebaut werden können (Bonacker 2008). Eine neue Beteiligungskultur sei daher notwendig: „Es geht zunehmend um die Frage, wie die Beschleunigung von Verfahren mit einer verbesserten Qualität und vor allem mit mehr Akzeptanz für die getroffenen Entscheidungen verbunden werden kann.“ (Flasbarth et al. 2013, S.11)



Auch hinsichtlich des Change-Effekts (siehe Abschnitt 4.4.2) bieten sich Möglichkeiten, diesen durch rechtzeitige Information und eine bessere Einstellung zur Lärmquelle zu vermindern. Hierzu führen van Kamp und Brown (2013) einige Untersuchungen auf und empfehlen, dass statt einer Veränderung der Lärmexposition Maßnahmen hinsichtlich Beratung, Unterrichtung und Verhaltensänderung angestrebt werden, zu einer Änderung der Belästigungseinstellung der Bevölkerung führen können.

Das Öko-Institut hat im Auftrag des UBA 2014 sehr differenzierte Vorschläge für die Beteiligung der Öffentlichkeit in Abhängigkeit von dem „Umfang“ der anstehenden Flugroutenänderung entwickelt (Barth et al. 2014). Unabhängig davon sind Information und Beteiligung sinnvoll: Felscher-Suhr et al. (2002) haben in einer Laboruntersuchung den Nachweis führen können, dass es möglich ist, durch Beteiligung der Öffentlichkeit sogar die lärmreduzierende Wirkung von Schallschutzwänden zu steigern.

Auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen (2014) teilt die Auffassung einer optimierten Beteiligung der Öffentlichkeit im Rahmen der Festlegung von Flugrouten. Im vorgelegten Sondergutachten wird hierzu eine konkrete Handlungsempfehlung gegeben. Demnach wird die Einführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung und Öffentlichkeitsbeteiligung als verbindlicher Verfahrensschritt bei der Flugroutenfestlegung vorgeschlagen (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2014).

Es wird empfohlen, die Möglichkeiten der Information und Beteiligung der Öffentlichkeit zu nutzen und dabei Kriterien wie Verständlichkeit, Transparenz und Glaubwürdigkeit zu beachten. Die bloße Bereitstellung aller für Laien meist schwerverständlicher Unterlagen, Dokumente, Berechnungen und Gutachten ist allein nicht zielführend. Kommt es aufgrund mangelhafter Informationspolitik gar zu der Ausbildung von Misstrauen gegenüber Betreibern oder Verantwortlichen, muss mit einer verminderten Wirksamkeit von Maßnahmen gerechnet werden (Felscher-Suhr et al. 2002).

## 4.6 Zwischenfazit

Das wirkungsorientierte Verfahren der Flugroutenbewertung dient nicht einer möglichst exakten Prognose zu erwartender Wirkungen des Lärms auf die spezifische Bevölkerung im Einzugsbereich des betrachteten Flughafens zu einem bestimmten Zeitpunkt. Es ermöglicht nur die begründete Auswahl derjenigen Flugroute, die die geringste Beeinträchtigung nach sich zieht.

Die ausgewählten Expositions-Wirkungsbeziehungen definieren die als wesentlich erachtete Beeinträchtigung durch den zu erwartenden Fluglärm. Wichtig ist hierbei, dass eine systematische Verzerrung vermieden wird und alle Flugrouten nach gleichen Kriterien beurteilt werden. Eine Aktualität der Expositions-Wirkungs-Funktionen ist daher zwar wünschenswert, jedoch nicht zwingend erforderlich.

Der diesem Konzept zugrunde liegende Begriff des „numerischen Verfahrens“ macht deutlich, dass hier ein Bewertungsverfahren eingesetzt wird, das zwar auf Erkenntnissen der Lärmwirkungsfor-schung basiert und zu rechnerisch eindeutigen Ergebnissen (Güteprüfwert) führt, aber nicht die Auswirkungen künftiger Lärmbelastung konkret zu beschreiben versucht. Dies ist vor allem auch bei den potenziellen Gesundheitsrisiken zu beachten: Die Anwendung einer Bewertung der Gesundheitsrisiken soll vorrangig die Frage klären, ob eine Flugroute gegenüber einer Ausgangsvariante vorteilhaft ist, nicht in welchem Maße.

Hinzu kommt noch ein zweiter wichtiger Aspekt: Durch Einzelfreigaben im Sinne des § 26 LuftVO erhält der Luftfahrzeugführer die Erlaubnis, seinen Flug unter bestimmten Bedingungen durchzuführen. Die zuständige Flugverkehrskontrollstelle kann bei der Bewegungslenkung der ihrer Kontrolle unterliegenden Flüge nach § 26 Abs. 2 S. 2 LuftVO den Flugverlauf, insbesondere den Flugweg und die Flughöhe, durch entsprechende Freigaben im Einzelnen festlegen. Dies bedeutet in der Praxis, dass die Lärmbelastungen, die auf der Basis von Flugrouten berechnet worden sind, von der real existenten Belastung abweichen können. Es wird deshalb dringend empfohlen, lediglich dimensionslose Güteprüfwerte oder Ähnliches anzugeben. Beim Vergleich von Flugrouten sollten Rangfolgen für die Beurteilung gebildet werden. Eine relative Darstellung von Differenzen wird ebenfalls nicht empfohlen.

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln angedeutet, bewegt sich die Beurteilung und Rangbildung von Flugrouten in einem übergeordneten Kontext von Grundsatzfragen der Lärmverteilung (Barth et. al. 2014). Der konkrete Umgang mit diesen Fragestellungen kann nicht ausschließlich über fachliche Erwägungen erfolgen. Vielmehr sind Ansätze zur Lösung und Gewichtung der bestehenden Zielkonflikte zu entwickeln (Barth et. al. 2014). Die Angabe eines dimensionslosen Güteprüfwertes bietet sich als ein möglicher Baustein der Entscheidungsgrundlage an.



## 5 Weiterführende Verfahrensaspekte

### 5.1 Verfahren zur Festlegung von Flugrouten

#### 5.1.1 Öko-Institut

Das 2014 veröffentlichte Gutachten des Öko-Instituts zur „Prüfung von formell- und materiell-rechtlichen Vorgehensmöglichkeiten bei der Festlegung von Flugrouten“ (Barth et al. 2014) unterscheidet drei Verfahrensarten: ein „vereinfachtes Verfahren“, ein „reguläres Verfahren“ sowie ein „Verfahren nach Aus-/ Neubau oder Systemänderung mit UVP“.

In einem „vereinfachten Verfahren“ wird davon ausgegangen, dass es bei den Änderungen von Flugrouten keine lärmrelevanten Auswirkungen gibt. Für diesen Fall wird im Gutachten des Öko-Instituts empfohlen, auf eine detaillierte Berechnung zu verzichten, da ohne Emissions- oder Immissionsänderungen auch keine Veränderungen in der Bewertung zu erwarten sind. Beispiele für „in der Regel“ nicht lärmrelevante Änderungen können Umbenennungen von navigatorischen Anlagen oder von Flugverfahren sein. Das dafür genannte Kriterium einer Überflughöhe von mehr als 10.000 Fuß ist jedoch davon abhängig, welche Anzahl von Flugverkehrsbewegungen hier zu betrachten ist. Das ebenfalls vom Öko-Institut (Barth et al. 2014) genannte Kriterium, „ob in einem relevant belasteten Gebiet eine Änderung von mehr als 2 dB  $L_{eq}$  zu erwarten sind“, soll im vereinfachten Verfahren „auf Basis einer qualitativen Abschätzung oder Grobrechnung“ geprüft werden.

Es unterscheiden sich im Weiteren noch das „reguläre Verfahren“ sowie das „Verfahren nach Aus-/ Neubau oder Systemänderung mit UVP“. Das Öko-Institut sieht im „regulären Verfahren“ keine „Systemänderung“, hier ließen sich jedoch wesentliche Lärmauswirkungen nicht mehr ausschließen. Dementsprechend sollen bei beiden Verfahren die Lärmauswirkungen berücksichtigt werden, jedoch nur im Falle einer grundlegenden Systemänderung soll eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) mit einer „erweiterten Beteiligung“ und „weitergehende[n] Wirkungsbetrachtungen“ durchgeführt werden.

Für das erweiterte Verfahren mit UVP wird auch eine „kartenförmige Darstellung“ sowohl von „lärm-sensiblen Einrichtungen“ als auch „von Auswirkungen auf Hotspots anderer Verkehrslärmarten“ mit „Rückgriff auf Lärmaktionspläne der Länder“ angestrebt (Barth et al. 2014, S. 88).

#### 5.1.2 Sachverständigenrat für Umweltfragen

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen fordert in seinem Sondergutachten Fluglärm (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2014), dass „im Verfahren zur Flugroutenfestlegung [...] der Gesetzgeber eine grundsätzliche Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung sowie einer Öffentlichkeitsbeteiligung einführen“ sollte.

Für die Änderung von Flugrouten wird vom Sachverständigenrat für Umweltfragen eine Vorprüfung (überschlägige Prüfung) nach UVPG<sup>3</sup> angeregt (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2014). Für den Fall, dass eine Prüfung auf „erhebliche Nachteilige Umweltauswirkungen“ negativ ausfällt, sei eine Umweltverträglichkeitsprüfung entbehrlich. Als Kriterium der Prüfung wird auf die existierenden Kriterien der Benehmsherstellung des UBA verwiesen (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2014).

Hinsichtlich der Änderung oder Erweiterung von Flughäfen wird kritisiert, dass es zu Ausbauten von Flughäfen in Einzelschritten über Jahre und Jahrzehnte kommt, „ohne dass es jemals zur Durchführung eines begleiteten Verwaltungsverfahrens kommt – nämlich die einzelnen Ausbaumaßnahmen jeweils als nicht „wesentlich“ einzustufen sind“ (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2014). Hier wird vom

---

<sup>3</sup> Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung

Gesetzgeber eine Definition gefordert, „wann die Änderung eines Flughafens im Sinne des LuftVG als „wesentlich“ anzusehen ist.“

## 5.2 Beschreibung und Beurteilung verschiedener Flugbetriebsverfahren

Eine Möglichkeit zur Minderung des Fluglärms ist die Anwendung flugbetrieblicher Verfahren. Hierzu wurde zunächst eine umfangreiche Recherche über lärm mindernde Flugverfahren für den Instrumentenflugbetrieb durchgeführt, die sich auf luftfahrtbezogene Veröffentlichungen und im Internet verfügbare Materialien stützt.

Als Ergebnis der Recherche wurde die nachfolgende Zusammenstellung von Minderungsmaßnahmen erstellt. Dabei wurde auch bewertet, inwieweit und unter welchen Bedingungen die identifizierten Maßnahmen auch für Flughäfen in Deutschland realisierbar sind. Die Bewertung erfolgte anhand folgender Kriterien:

- ▶ Zeitliche beziehungsweise räumliche Anwendbarkeit der Verfahren, zum Beispiel Tag-/ Nachtbetrieb, geographische Besonderheiten
- ▶ Vereinbarkeit mit den heute in der Luftfahrt und bei der Flugsicherung angewandten Verfahren sowie Aufwand einer Änderung der Verfahren
- ▶ Nutzbarkeit aufgrund der gegenwärtig vorhandenen und/oder zukünftig erwarteten technischen Ausstattung von Luftfahrzeugen und Flugsicherung (technische wie organisatorische Anforderungen)
- ▶ Erwartete Akzeptanz beziehungsweise Ablehnung bei Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten und der Flugsicherung
- ▶ Mögliche Auswirkungen auf die Kapazität eines Flughafens
- ▶ Skalierbarkeit für kleine, mittlere und große Flughäfen sowie den Betrieb für mehrere Start- und Landebahnen.

Eine Auflistung bestehender Regelungen über Fluglärm- und Schadstoffbestimmungen hat die Firma Boeing veröffentlicht (Boeing). Darin wird im Wesentlichen auf folgende Möglichkeiten eingegangen:

- ▶ Beschränkung von APU (Auxiliary Power Unit, Hilfstriebwerk)-Betriebszeiten
- ▶ Beschränkung der Flughafen-Betriebszeiten (teilweise bezogen auf einzelne Luftfahrzeugtypen)
- ▶ Lärm mindernde Ab- und Anflugverfahren
- ▶ Beschränkung von Triebwerksprobeläufen
- ▶ Lärmabhängige Start- und Landeentgeltsysteme.

### 5.2.1 Luftraumnutzung

Der Luftraum über der Bundesrepublik Deutschland und den in deutscher Flugsicherungszuständigkeit liegenden Lufträumen außerhalb des deutschen Hoheitsgebietes über der Nord- und Ostsee ist sehr stark befliegen. Es gibt praktisch keine Gebiete gibt, die nicht befliegen werden.

Flüge nach Instrumentenflugregeln werden grundsätzlich über veröffentlichte Air Traffic Service (ATS)-Strecken sowie die veröffentlichten An- und Abflugverfahren der Verkehrsflughäfen geplant. Tatsächlich finden aber in der flugbetrieblichen Praxis in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge und -situation nicht unerhebliche Teile eines Fluges nach Maßgabe der Flugsicherung auf hiervon abweichenden kürzeren Direktstreckenführungen statt, den sogenannten „directs“.

Das Verlassen von Instrumentenabflugverfahren ist nach den Vorschriften der DFS (BA-FVD 2015) ab dafür festgelegten Höhen (3.000 Fuß/ca. 900 Meter über Grund für propellergetriebene Luftfahrzeuge und 5.000 Fuß/ca. 1.500 Meter über Grund für strahlgetriebene Luftfahrzeuge) erlaubt. Dabei darf jedoch die veröffentlichte Radarführungsmindesthöhe nicht unterschritten werden.

Im Anflugbereich ist eine Konzentration des anfliegenden Luftverkehrs erst im Endanflug auf die genutzte Landebahn sicher zu erwarten. Bis dahin kann der anfliegende Luftverkehr durch individuelle Radarkursführung lateral und vertikal stark gestreut sein. Dadurch kann sich die Zahl der durch Fluglärm betroffenen Personen vergrößern. Zudem befinden sich die Luftfahrzeuge nicht alle dort, wo sie anhand der veröffentlichten Anflugverfahren erwartet werden. Wenn aus Lärminderungsgründen als wünschenswert erachtet, kann die Streuung dadurch vermieden werden, dass der Luftverkehr auch in größerer Entfernung vom Flughafen über präzise beschriebene Flugwege, wie beim Point-Merge-Verfahren, gelenkt wird. Diese Kanalisierung führt dazu, dass die Bevölkerung unter diesen Flugwegen von mehr anfliegendem Luftverkehr betroffen ist. Es ist daher eine detaillierte Einzelfallbetrachtung nötig, um die Lärmauswirkungen einer Bündelung des Luftverkehrs auf die betroffene Bevölkerung zu bewerten.

Größere Eingriffe in das komplexe und durch die Verkehrsmengen hoch belastete Flugverfahrenssystem bedürfen der intensiven Vorbereitung, Planung, Simulation, Schulung und erfordern meistens sehr viel Zeit. Um durch geänderte Flugverfahren auch zeitnah eine Minderung des Fluglärms zu erzielen, sollten flugbetriebliche Maßnahmen zur Lärminderung ohne größere Eingriffe in das Gesamtsystem umsetzbar sein. Dabei ist immer zu beachten, dass die Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO den Pilotinnen und Piloten das Recht einräumt, aus Gründen der Sicherheit des Luftfahrzeugs diese Verfahren nicht anzuwenden (ICAO, Doc 8168, Volume 1, 5<sup>th</sup> edition - 2006, Section 7, Chapter 1, 1.1).

## 5.2.2 Vertikale Optimierung von Abflugverfahren

### 5.2.2.1 Kurzbeschreibung

Von der vertikalen Optimierung eines Abflugverfahrens wird gesprochen, wenn die Steigrate des Luftfahrzeugs unmittelbar nach dem Start durch geeignete Maßnahmen erhöht wird (Steiles Starten).

Für Deutschland sind Lärminderungsverfahren für den Abflug im Luftfahrthandbuch Deutschland ENR 1.5-8, Stand 30.04.2015, beschrieben. Das Verfahren sieht für Luftfahrzeuge gemäß ICAO Anhang 16, Band 1, Kapitel 3 (FIS 2014) vor, bis 1500 Fuß/457 Meter über Grund die Triebwerke in Startleistung und die Auftriebshilfen in Startstellung zu belassen. Als Geschwindigkeit soll die sichere Abhebegeschwindigkeit ( $V_2 + 10$  Knoten) gewählt werden, es sei denn, eine andere Geschwindigkeit ist wegen des Anstellwinkels des Luftfahrzeugs nötig. Mit Passieren von 1500 Fuß/457 Meter über Grund werden die Triebwerke auf Steigflugeistung reduziert, die Geschwindigkeit erhöht, die Auftriebshilfen eingezogen und es erfolgt der Übergang in den normalen Streckensteigflug.

Die ICAO empfiehlt in ihrem Dokument 8168, Volume I, Part 1, Section 7, die „Noise Abatement Departure Procedure, NADP“ 1 und 2 anzuwenden. Diese beginnen in 800 Fuß/244 Meter über Grund und gehen mit Passieren von 3000 Fuß/914 Meter über Grund in den normalen Streckensteigflug über. Diese lärmindernden Flugverfahren werden z. B. am Flughafen Amsterdam Schiphol für alle Abflüge von strahlgetriebenen Luftfahrzeugen empfohlen (Luftfahrthandbuch der Niederlande, Part 3, EHAM AD 2.21, 2, Stand 30.04.2015).

Alternativ können neben der lateralen Streckenführung in Abhängigkeit von Erfordernissen am Boden (z. B. Siedlungsgebiete) Abflugverfahren auch vertikal so beschrieben werden, dass an festgelegten Punkten verbindlich festgelegte Höhen erreicht oder passiert sein müssen. Ein Beispiel dafür sind Standardinstrumentenabflugverfahren nach Süden von der Start- und Landebahn 27 (RWY 27) am Flughafen Bremen.

### 5.2.2.2 Bewertung

Sofern die Gesamtheit der an einem Flugplatz angewendeten Flugverfahren auf eine höhere Steigrate abfliegender Luftfahrzeuge ausgelegt ist, gibt es aus Verfahrenssicht keine Hinderungsgründe zur Einführung vertikal optimierter Abflugverfahren. Ein Akzeptanzproblem bezüglich des Verfahrens seitens

der Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten, Flughäfen und der Flugsicherung ist dann ebenfalls nicht zu erwarten. Im Falle verbindlich vorgeschriebener Verfahren wie auf den oben erwähnten Standardinstrumentenabflugverfahren Bremen RWY 27 ist zu beachten, dass es Luftfahrzeuge geben kann, die die erhöhten Steigraten nicht leisten können. Es bedarf daher der Möglichkeit, auch niedrigere Steigflugraten auf denselben Standardinstrumentenabflugstrecken zu fliegen oder es müssen alternative Flugverfahren mit den niedrigeren Standardsteigraten zur Verfügung stehen.

Auswirkungen auf die technische Ausstattung von Luftfahrzeugen und Flugsicherung sind nicht zu erwarten.

Allgemeingültige mindernde Auswirkungen auf die Kapazität eines Flughafens sind nicht erkennbar, sofern alle Flugverfahren darauf abgestimmt sind.

Die Größe des Flughafens ist kein beeinflussender Faktor. Bei einem abgestimmten Gesamtkonzept der Flugverfahren in Flughafennähe ist weder in der Anzahl der Start-/Landebahnen noch in deren lateralen Konstellation zueinander ein ausschließender Grund für eine vertikale Optimierung von Abflugverfahren erkennbar.

### 5.2.2.3 Lärminderungspotenzial

Durch die vertikale Optimierung (Anhebung) von Abflugverfahren werden größere Überflughöhen über Siedlungsgebieten erreicht. Der größere Abstand führt rechnerisch - unter Annahme unveränderter Flugleistungsdaten - zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich des Abflugpfades. Die tatsächlich erforderlichen Schubanpassungen mit entsprechender Änderung der Geräuschemission erfordern, zur Vermeidung von ungewünschten Lärmzunahmen am Boden, eine Optimierung von Steigrate und Geschwindigkeit. In der DLR-Studie „Leiser Flugverkehr“ (DLR2) wird im Zusammenhang mit Zwischenbeschleunigungsphasen über einem Bereich von 4 bis 15 km nach dem Startpunkt gesprochen, in dem verminderte Lärmimmissionen am Boden zu erwarten sind.

Die messtechnische Untersuchung des Lärminderungspotenzials im Rahmen des Monitorings des 1. Maßnahmenpakets Aktiver Schallschutz am Flughafen Frankfurt/Main (Expertengremium Aktiver Schallschutz 2012) kommt zu folgendem Ergebnis:

„Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Lärmreduktionspotenziale durch die Maßnahme nicht in dem Umfang eingetreten sind, wie ursprünglich rechnerisch angenommen. Dies liegt aber insbesondere daran, dass der Weg, die vertikalen Profile durch die Vorgabe von Höchstgeschwindigkeiten anzuheben jedenfalls im konkreten Fall für den überwiegenden Teil der Abflüge nicht greifen konnte, da schon vorher die durchschnittlichen Geschwindigkeiten geringer waren. Es wird daher derzeit auch weiter verfolgt und untersucht, wie vertikale Profile durch andere Wege optimiert werden können und welche Vor- und Nachteile dabei verschiedene Optionen haben.“

### 5.2.3 Erhöhung der zulässigen Rückenwindkomponente

#### Kurzbeschreibung

Das maßgebliche Kriterium zur Festlegung der tatsächlich genutzten Start-/ Landebahn (Runway in Use) ist die Windrichtung. Es wird in der Regel gegen die vorherrschende Windrichtung gestartet und gelandet. Weitere Kriterien sind z. B. Länge und Kapazität der Start-/Landebahn, nutzbare Navigationsanlagen für Start und Landung, aber auch Lärminderung.

Nach den Bestimmungen der ICAO (ICAO, Doc 8168, Volume I, 5<sup>th</sup> edition, 2006, I-7-2-1) darf aus Lärmschutzgründen eine Start-/ Landebahn als Runway in Use nur gewählt werden, wenn die Oberfläche der Start-/Landebahn nicht zum Beispiel durch Schnee, Eis oder Wasser beeinträchtigt ist. Festgelegte Hauptwolkenuntergrenzen und Horizontalsichten dürfen nicht unterschritten werden, keine

Scherwinden beobachtet oder vorhergesagt sein sowie keine besonderen Wetterbedingungen wie Gewitter herrschen. Darüber hinaus ist festgelegt, dass die Querwindkomponente 15 Knoten (ca. 28 km/h) und die Rückenwindkomponente 5 Knoten (ca. 9 km/h) nicht übersteigen darf, auch nicht in Böen.

Wenn es an einem Verkehrsflughafen eine oder mehrere aus Lärmschutzgründen zu bevorzugende Start-/Landebahn(en) gibt, kann eine konsequente Ausnutzung der zulässigen Rückenwindkomponente deren zeitliche Nutzung erweitern.

Unterlagen des Forums Flughafen und Region zum Flughafen Frankfurt/Main ist beispielsweise zu entnehmen, dass die zu bevorzugende Betriebsrichtung 25 unter Nutzung der 5 Knoten (ca. 9 km/h) Rückenwind-Regelung zu 71 % der Betriebszeit genutzt wurde (exemplarisch festgestellt für das Jahr 2006). Um die Nutzung noch zu erweitern, gibt es in Frankfurt/Main Bestrebungen, die zulässige Rückenwindkomponente auf maximal 7 Knoten (ca. 13 km/h) zu erhöhen. Die 7 Knoten (ca. 13 km/h) Regelung ist am Flughafen Amsterdam Schiphol bereits umgesetzt (FFR1 2010). Die detaillierten Regelungen für Amsterdam Schiphol sind im Luftfahrthandbuch der Niederlande, Part 3, EHAM AD 2.21, 4.3.3, Stand 30.04.2015, festgelegt. Die ICAO prüft eine generelle Genehmigung einer auf 7 Knoten erhöhten Rückenwindkomponente. Daher wird zurzeit am Flughafen Frankfurt/Main auf das Betreiben eines nationalen Wegs im Sinne einer Ausnahmegenehmigung verzichtet (FFR2).

## **Bewertung**

Grundsätzlich stellt eine lärmschutzbegründete, regelgerechte Auswahl der tatsächlich genutzten Start-/ Landebahn aus Flugsicherungssicht kein Problem dar. Die aus Lärmschutzgründen gewählte Start-/ Landebahn sollte für möglichst viele der am jeweiligen Flughafen eingesetzten Luftfahrzeugmuster nutzbar sein, um positive Effekte zu erzielen.

Bei Erhöhung der zulässigen bei Rückenwindkomponente werden bereits existente Start-/ Landebahnen und mit diesen Bahnen verbundene etablierte Flugverfahren genutzt. Grundsätzliche Probleme in Bezug auf die Vereinbarkeit mit heutigen Verfahren und die technische Ausstattung oder Akzeptanzprobleme bei Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten, Flughäfen und Flugsicherung sind daher nicht zu erwarten.

## **Lärminderungspotenzial**

Die notwendige Begrenzung auf eine zulässige Rückenwindstärke schränkt die Bahnnutzung ein. Damit können Bahnbetriebsrichtungen, die aus Lärmschutzsicht zu bevorzugen sind, nicht immer in vollem Umfang genutzt werden. Eine Anhebung der zulässigen Rückenwindkomponente ermöglicht somit die häufigere und längere Nutzung von lärmoptimalen Bahnbetriebsrichtungen.

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf einer Lärmverlagerung/-umverteilung. Durch die Erhöhung der zulässigen Rückenwindkomponente im Bereich der Verlängerungen von Start-/ Landebahnen können dichter besiedelte Gebiete zu Ungunsten weniger dicht besiedelter Gebiete entlastet werden. Für den Flughafen Frankfurt/Main wird das Minderungspotenzial des Verfahrens im ersten Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz mit einer Reduktion hochbetroffener Personen um 3 % angegeben (Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz 2010).

### **5.2.4 Segmented RNAV(GPS)-Approach**

#### **Kurzbeschreibung**

Beim Segmented RNAV(GPS)-Approach wird der Anflug später auf den geraden Endanflug geführt. Der Anflug führt versetzt zum üblichen Endabflug in Kurven über mehrere aneinander gefügte Streckensegmente, die mit Hilfe von Wegpunkten definiert sind. Im Idealfall führt ein Segmented RNAV(GPS)-



Approach über nicht besiedelte Gebiete, mindestens aber über Gebiete mit geringer Besiedlungsdichte bis zu einem Wegpunkt, ab dem ein gerader Endanflug erfolgt. Der Segmented RNAV(GPS) Approach bis zur Landung ist in Frankfurt/Main ein Nicht-Präzisionsanflugverfahren (Luftfahrthandbuch Deutschland, Stand 30.04.2015). Das bedeutet, dass der Anflug mit lateraler aber ohne vertikaler Führung erfolgt.

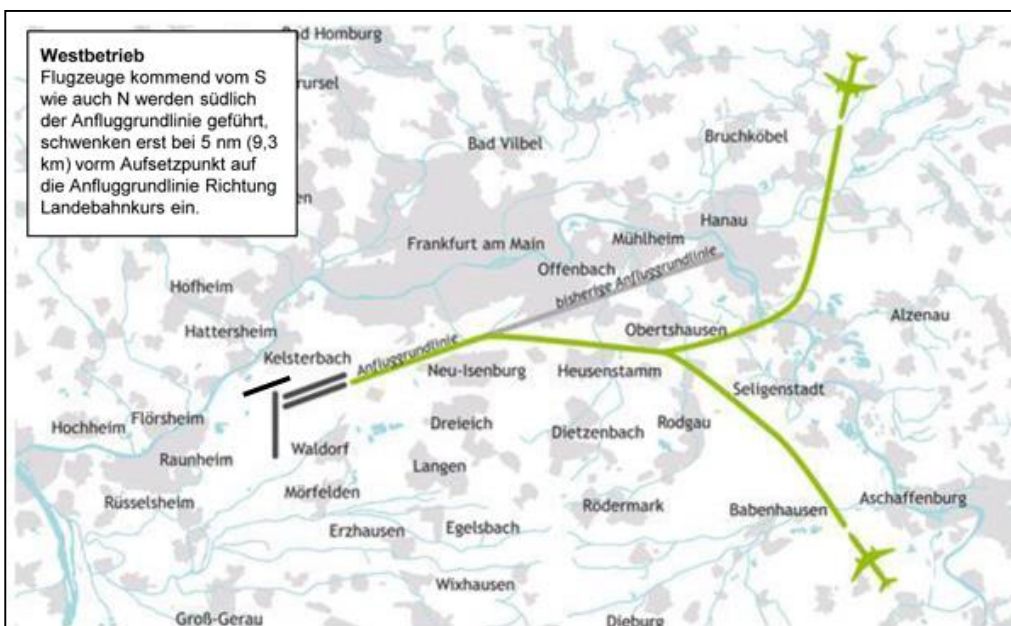
Ein Segmented RNAV(GPS)-Approach kann grundsätzlich auch in Kombination mit einem Präzisionsendflug, z. B. mit dem Instrumentenlandesystem ILS, durchgeführt werden. Diese Möglichkeit wird am Frankfurt/Main nicht praktiziert, weil dies ICAO konform nicht zu realisieren wäre, ohne einen Teil der erwarteten Lärminderung durch Überfliegen von z. B. Offenbach wieder zu verlieren. (FFR3 2010)

Ein Segmented RNAV(GPS)-Approach einschließlich segmentiertem gekurvttem Präzisionsendflug wäre derzeit in Deutschland nur an den Flughäfen Bremen und Frankfurt/Main denkbar, die über ein auf GPS (Global Positioning System) basierendes GBAS (Ground Based Augmentation System) für Präzisionsanflüge der Betriebsstufe I (CAT I) verfügen (Luftfahrthandbuch Deutschland, Stand 30.04.2015). Bisher gibt es aber weder in Bremen noch in Frankfurt/Main ein Verfahren, dass das GBAS für einen gekurvtten, segmentierten Endanflug nutzt.

### Bewertung

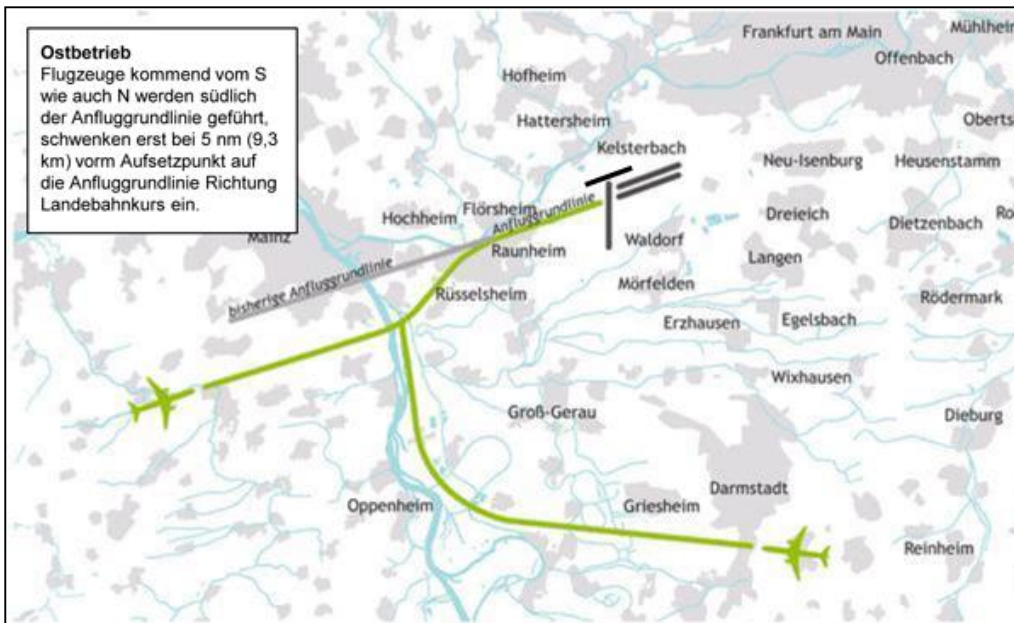
Nach praktischen Erfahrungen bei Flugversuchen mit einer Boeing 737-800 der Luftverkehrsgesellschaft Air Berlin am Flughafen Braunschweig-Wolfsburg ist das Verfahren Segmented RNAV(GPS) Approach nach Aussage der Besatzung für entsprechend navigatorisch ausgerüstete Luftfahrzeuge weder für die Pilotinnen und Piloten noch für das Luftfahrzeug ein Problem. Die Aussage basiert auf einem persönlichen Gespräch eines Luftverkehrsexperten der Fa. OTSD mit der Besatzung während der Erprobung. Die Flugversuche fanden zur Erprobung der Nachtumfliegung der Städte Hanau, Offenbach und Mainz am Flughafen Frankfurt/Main statt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Flugwege der Segmented RNAV(GPS) Verfahren für West- und Ostbetrieb für den Flughafen Frankfurt/Main:

Abbildung 4: Lateraler Flugweg des Segmented RNAV (GPS)-Approach am Flughafen Frankfurt/Main bei Westbetrieb



(Quelle: Umwelt und Nachbarschaftshaus, UNH)

Abbildung 5: Lateraler Flugweg des Segmented RNAV (GPS)-Approach am Flughafen Frankfurt/Main bei Ostbetrieb



(Quelle: Umwelt und Nachbarschaftshaus, UNH)

Sofern die Gesamtheit der an einem Flugplatz angewendeten Flugverfahren auf einen Segmented RNAV(GPS)-Approach eingerichtet ist, gibt es aus Sicht der Flugsicherung keine Hinderungsgründe zur Einführung des Verfahrens.

Der Segmented RNAV(GPS)-Approach erfordert keine zusätzliche flugsicherungstechnische Ausrüstung. Die Einzelheiten der Ausrüstung von Instrumentenflügen in Deutschland zur Durchführung von Flächennavigation (Area Navigation, RNAV) sind im § 3 der „Verordnung über die Flugsicherungsausrüstung der Luftfahrzeuge, FSAV“ geregelt (FSAV 2015) und im Luftfahrthandbuch Deutschland, ENR 1.5-1 bis ENR 1.5-8, Stand 30.04.2015, beschrieben.

Eine Akzeptanz durch Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten, Flughäfen und Flugsicherung kann angenommen werden, wenn keine negativen Auswirkungen auf die Kapazität des Flughafens zu erwarten sind. Bei Anwendung zu verkehrsschwachen Zeiten in der Nacht sind jedenfalls aus Frankfurt/Main keine ablehnenden Standpunkte durch Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten, Flughäfen und Flugsicherung bekannt.

Die Größe des Flughafens ist kein beeinflussender Faktor. Bei einem abgestimmten Gesamtkonzept der Flugverfahren in Flughafennähe ist weder in der Anzahl der Start-/ Landebahnen noch in deren lateralen Konstellation zueinander ein grundsätzlich ausschließender Grund für dieses Verfahren erkennbar.

### Lärminderungspotenzial

Das Lärminderungspotenzial dieses Anflugverfahrens beruht auf einer Lärmverlagerung /-umverteilung. Flugrouten können differenziert zwischen Siedlungsgebieten hindurchgeführt werden und gleichzeitig wird eine genauere Befolgung der Routen durch die Luftfahrzeuge ermöglicht (Bündelung). Die Verlagerung über gering besiedelte Gebiete führt dort zu einer höheren Lärmbelastung zu Gunsten der umflogenen Siedlungsbereiche.



Für den Flughafen Frankfurt/Main wird das Minderungspotenzial des Verfahrens in Kombination mit „Dedicated Runway Operations, DRops“ im ersten Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz mit einer hohen Ortsabhängigkeit beschrieben. Eine erzielbare geringe Gesamtentlastung geht einher mit lokal deutlichen Entlastungen und andernorts Belastungszunahmen bei den hochbetroffenen Personen. (Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz 2010)

### 5.2.5 GBAS (Ground Based Augmentation System)

#### Kurzbeschreibung

GBAS (Ground Based Augmentation System) ist ein mögliches Nachfolgeverfahren des ILS für Präzisionsanflüge. Es wird eine GBAS-Bodenstation eingesetzt, die mit mehreren GPS-Antennen verbunden wird. Die Antennen stehen an exakt vermessenen Positionen. Diese bekannten Positionen werden mit den empfangenen GPS-Informationen der Satelliten verglichen. Die Satelliteninformation wird um die bekannten Bodenpositionen der Antennen korrigiert und damit für das GBAS-Signal eine ausreichende Genauigkeit auch für Präzisionsanflüge erzielt. Dieses System der Präzisierung von GPS-Daten durch Bodendaten wird DGPS (Differential Global Positioning System) genannt. Das GBAS-Signal der Bodenstation wird von einem GBAS-Empfänger an Bord des Luftfahrzeugs empfangen.

In Deutschland verfügen nur die Verkehrsflughäfen Bremen und Frankfurt/Main über GBAS-Anlagen, die für Präzisionsanflüge der Kategorie CAT I zugelassen sind. In Braunschweig wird darüber hinaus eine GBAS-Station zu Testzwecken betrieben.

Unter dem Aspekt des Lärmschutzes bietet GBAS folgende Vorteile:

- ▶ Es sind gekurvte Anflugverfahren möglich, sodass auch im Endanflug das Umfliegen von lärm-sensiblen Gebieten möglich wäre. Dies ist bisher aber noch nicht in veröffentlichten Verfahren realisiert, wäre aber eine konsequente Fortsetzung des Segmented RNAV(GPS)-Approach.
- ▶ Es sind unterschiedliche gleichzeitig nutzbare Anfluggleitwinkel möglich, was dem Verfahren „Anhebung des Gleitwinkels“ neue Realisierungsmöglichkeiten gibt.

#### Bewertung

GBAS ist ein mögliches Nachfolgesystem des heutigen ILS und muss, um sich als solches durchzusetzen, in der Zukunft den Status eines Präzisionsanflugverfahrens in allen Betriebsstufen des ILS erreichen.

Die Nutzung der oben genannten Lärmschutzvorteile des GBAS-Endanfluges würden die zukünftigen Anflugverfahren derartig verändern, dass sowohl auf Seiten der Flugsicherung wie auch auf Seiten der Cockpitbesatzungen ausführliche vorbereitenden Maßnahmen (z. B. Training, Simulation) zur Einführung getroffen werden müssen.

GBAS bedarf sowohl boden- als auch bordseitig neuer technischer Ausstattung.

Aussagen zu Kapazitätsauswirkungen und möglichen Akzeptanzproblemen des Verfahrens können aufgrund zu weniger Erfahrungen aus der Praxis noch nicht getroffen werden.

#### Lärminderungspotenzial

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf der Umverteilung des Lärms und ist mit dem Potenzial des Segmented RNAV(GPS) Approach vergleichbar.

## 5.2.6 Dedicated Runway Operations

### Kurzbeschreibung

Bei „Dedicated Runway Operations“ (DROps) handelt es sich nicht um eine Maßnahme zur Änderung von Flugverfahren. Vielmehr werden von den Start- und Landebahnen (beziehungsweise -richtungen) eines Flughafens diejenigen identifiziert, die bei temporärer Nichtnutzung eine zeitweilige Lärmentlastung bewirken. Aus diesen Erkenntnissen wird dann ein DROps-Konzept erarbeitet und angewendet.

### DROps-Konzept für den Flughafen Frankfurt/Main gültig bis zum 22.04.2015

Bei Startrichtung West wurden alle Abflüge am Flughafen Frankfurt/Main über die Start- und Landebahnen RWYs 25L/C abgewickelt. Damit erfolgten keine Abflüge von der Startbahn West (RWY 18).

Bei Startrichtung Ost wurden dagegen alle Abflüge von der Startbahn West (RWY 18) durchgeführt. Dabei kam auch ein zusätzliches Standardinstrumentenabflugverfahren (Ostumfliegung) zum Einsatz, um Abflüge nach Norden von der RWY 18 abwickeln zu können. Damit erfolgten keine Abflüge von den RWYs 07R/C.

Dieses DROps-Konzept wurde seit Januar 2011 an ungeraden Tagen in der Zeit von 23:00 Uhr bis 05:00 Uhr praktiziert. Im Oktober 2011 wurde es wegen des Nachtflugverbots eingestellt. Seit 28. Juni 2012 war es als „DROps Early Morning“ wieder an ungeraden Tagen in der Zeit von 05:00 Uhr bis 06:00 Uhr in Betrieb. „DROps Early Morning“ wurde wegen der Erprobung eines neuen DROps-Konzepts am 22.04.2015 wieder eingestellt. Dieses neue Konzept trägt den Namen „Lärmpausen“.

### Lärmpausen-Regelung am Flughafen Frankfurt/Main

Seit dem 23.04.2015 werden alle Landungen RWYs 25R/C/L nach 22 Uhr ausschließlich auf die RWY 25L geleitet. Starts erfolgen auf RWY 25C und RWY 18. Dies führt in der Anflugschneise der Nordwestbahn (RWY 25R) bereits eine Stunde vor Beginn des Nachtflugverbots zu einer sogenannten „Lärmpause“. Zwischen 5 und 6 Uhr werden für Landungen die RWYs 25R/C genutzt, dafür wird RWY 25L nicht angeflogen. Starts erfolgen in dieser Zeit nur von der RWY 25L, also auch nicht von der Startbahn West (RWY 18). Dies führt am Morgen im Endanflug auf die Landebahn RWY 25L und im Abflugbereich der RWY 18 zu einer einstündigen Lärmpause. Regelungen für Lärmpausen bei Ostbetrieb, Landerichtung 07, sind derzeit nicht in Kraft. (HMWEVL1 und HMWEVL2)

Auch für den neuen Flughafen Berlin-Brandenburg wurde bereits über ein DROps-Konzept diskutiert. Hamburg hat seit vielen Jahren im Luftfahrthandbuch Deutschland AD 2 EDDH 1-9, Stand 30.04.2015, Bahnnutzungsregeln festgelegt, nennt diese aber nicht DROps.

### Bewertung

Grundsätzlich kann eine Flugsicherung mit aus Lärminderungsgründen zugeordneten Start- und Landebahnen arbeiten, sofern die zu beachtenden Kriterien der RWY in Use Auswahl dies zulassen. Da unveränderte bereits vorhandene Flugverfahren genutzt werden, ist hier keine Einschränkung zu erwarten.

Da nicht das gesamte Spektrum der Möglichkeiten eines Flughafens genutzt wird, kann es zu einer reduzierten Kapazität kommen. Unter diesem Gesichtspunkt ist DROps also in Zeiten mit geringeren Verkehrsaufkommen ein geeignetes Verfahren. Zu diesen Zeiten kann von einer Akzeptanz des Verfahrens bei Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten, Flughäfen und Flugsicherung ausgegangen

werden. Im Einzelfall könnten Nachteile wie zum Beispiel erheblich verlängerte Rollzeiten die Akzeptanz beeinflussen.

Die Größe des Flughafens ist kein beeinflussender Faktor, es sei denn, es resultiert daraus eine verlängerte Rollzeit.

### Lärmminderungspotenzial

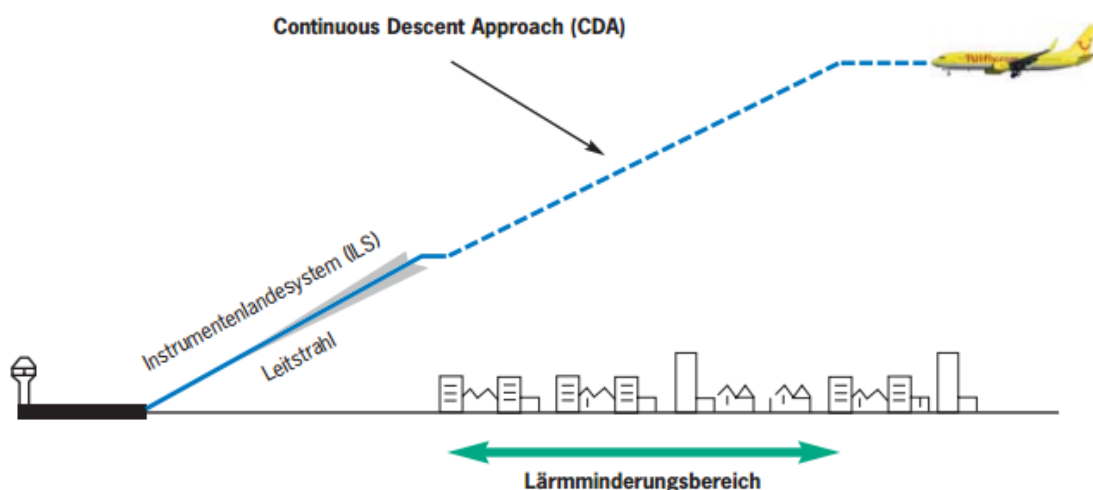
Das Lärmminderungspotenzial des DROps-Konzepts beruht auf der temporären Lärmverlagerung /-umverteilung zur Schaffung von Lärmpausen. Diese Lärmpausen lassen sich – wie bereits ausgeführt – nur mit Lärmwirkungskriterien bewerten. Mit Fluglärm-Berechnungsverfahren, die über längere Zeiträume mitteln, wie z. B. die sechs verkehrsreichsten Monate eines Jahres, sind kurzzeitige Lärmpausen nicht abbildbar. Ein geringer rechnerischer Einfluss mit möglicher Pegelanhebung besteht jedoch über die vergrößerte Streuung der Bahnbetriebsrichtungsverteilung (Sigma-Regelung).

### 5.2.7 Continuous Descent Approach

#### Kurzbeschreibung

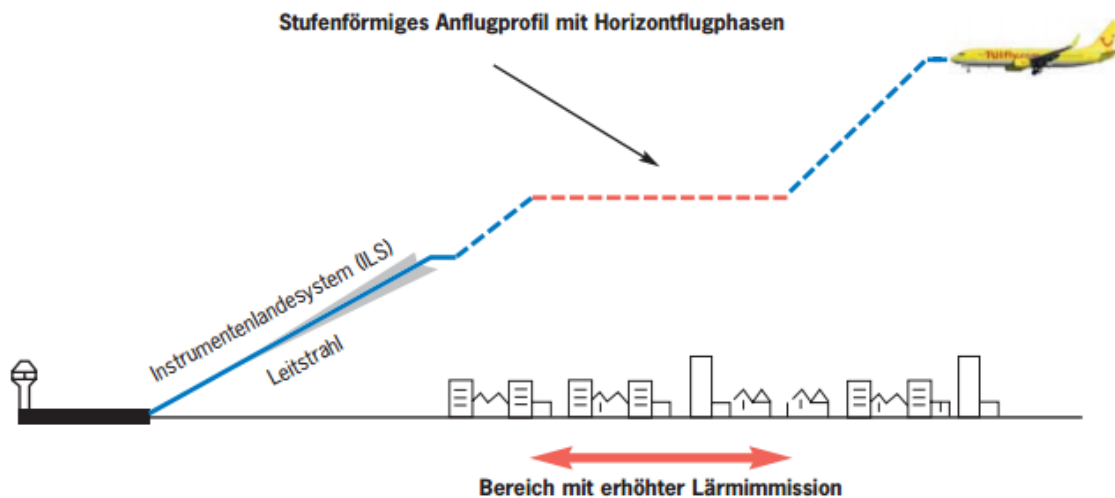
Der „Continuous Descent Approach“ (CDA) ist ein im ökologischen und ökonomischen Sinne optimierter Sinkflug zum Endanflug. Werden im Einzelfall keine ausdrücklichen Vorgaben gemacht, wird ein Gleitwinkel von 3 Grad (ca. 300 Fuß/NM) erwartet, ohne dass dies international ausdrücklich festgelegt wäre. Alternativ auch eine gleichmäßige Sinkrate, die sich aus Entfernung und freigegebener Flughöhe ergibt. Das Luftfahrzeug sinkt möglichst im Leerlauf oder mit minimaler Triebwerksleistung. Dadurch wird Kerosin eingespart und der Kohlenstoffdioxidausstoß sowie der Lärm reduziert. Idealerweise beginnt ein CDA in der Reiseflughöhe und es werden Horizontalflüge während des Sinkflugs vermieden. Der Endanflug wird dann wieder nach den Kriterien eines Standardinstrumentenanflugverfahrens (z. B. ILS) durchgeführt. (vgl. DFS3),

Abbildung 6: Continuous Descent Approach



(Quelle: DFS 3)

Abbildung 7: Stufenförmiges Anflugprofil



(Quelle: DFS 3)

Es sei bemerkt, dass der CDA-Anflug inzwischen überwiegend als CDO (Continuous Descent Operations) bezeichnet wird. In Deutschland wird dieses Anflugverfahren an mehreren Flughäfen angewendet. Dabei werden aber deutlich niedrigere Ausgangshöhen als die Reiseflughöhe verwendet. So liegt die Ausgangshöhe an den Flughäfen Frankfurt/Main und Köln/Bonn bei Flugfläche FL070 (ca. 2.100 m) und beträgt am Hamburg-Fuhlsbüttel 5000 ft MSL (ca. 1500 m).

Darüber hinaus sind für mehrere Flughäfen in Deutschland (zum Beispiel Hamburg, Hannover, Düsseldorf, Nürnberg) auch Transition to Final Approaches mit Continuous Descent Operations (CDO) veröffentlicht. Dabei erfolgen die Anflüge auch aus deutlich größeren Flughöhen, näheres siehe Luftfahrthandbuch Deutschland AD 2 Flugplätze. Ein Transition to Final Approach ist ein Anflugverfahren, das für den jeweiligen Flughafen individuell veröffentlicht sein muss und von Luftfahrzeugen mit der vorgeschriebenen Flächennavigationsausrüstung nach Freigabe durch die Flugsicherung genutzt werden kann. Der Transition to Final Approach ersetzt in Flughafennähe die individuelle Radarkursführung durch die Flugsicherung zum Endanflug. Damit entfällt die Phase der breiten Streuung der Flugwege in Flughafennähe und führt zur Bündelung des Luftverkehrs.

### Bewertung

Das mit CDO realisierbare Verkehrsaufkommen wird durch umgebenden Verkehr erschwert und begrenzt. CDO ist also unter dem Kapazitätsaspekt betrachtet ein geeignetes Verfahren, wenn die Nachfrage unter das mit CDO realisierbare Angebot fällt. Dies ist insbesondere zu Nachtzeiten oder anderen Zeiten geringeren Verkehrsaufkommens der Fall. Zu diesen Zeiten ist die Akzeptanz des Verfahrens bei Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten, Flughäfen und Flugsicherung zu erwarten.

Die Kapazität kann durch CDO negativ beeinflusst werden durch folgende Faktoren (DFS5):

Bei einer idealen Sinkrate von 300ft/NM ist in Abhängigkeit vom Luftfahrzeugmuster (z. B. wegen unterschiedlicher Fluggeschwindigkeiten oder unterschiedlicher Flughöhen) die Anflugstrecke unterschiedlich lang.

Für Fluglotsen ist das CDO-Verfahren z. B. wegen unterschiedlicher Fluggeschwindigkeiten der Luftfahrzeuge aufwändiger zu kontrollieren. Der Aufwand erhöht sich, wenn der CDO nicht mit einem Sinkflug von 300 ft/NM sondern im Gleitflug, also im Leerlauf der Triebwerke, durchgeführt wird. Dann kommen auch noch unterschiedliche Sinkraten als Erschwernis hinzu.

Die Komplexität erhöht sich, wenn Verkehrsströme aus verschiedenen Richtungen auf einen gemeinsamen Endanflug geführt werden müssen. Zudem beeinflussen Witterungsbedingungen zusätzlich das individuelle Verhalten der Luftfahrzeuge (z. B. Gegenwind, Gewitterzellen).

Eine Anwendung von CDO ist deshalb ohne Kapazitätsverlust nur zu erwarten, wenn die Verkehrsmenge erwarten lässt, dass für nachfolgenden Verkehr keine Verzögerung entsteht, die Kapazität also nicht sinkt.

Einer besonderen zusätzlichen technischen Ausrüstung an Bord der Luftfahrzeuge oder bei der Flugsicherung bedarf es nicht.

Die Größe des Flughafens ist kein beeinflussender Faktor.

Bei einem abgestimmten Gesamtkonzept der Flugverfahren in Flughafennähe ist weder in der Anzahl der Start-/ Landebahnen noch in deren lateralen Konstellation zueinander ein ausschließender Grund für dieses Verfahren erkennbar.

### **Lärminderungspotenzial**

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht im Wesentlichen auf der Rücknahme des Triebwerksschubs und einer damit verbundenen Reduzierung der Geräuschemission des Luftfahrzeugs. Durch eine zusätzliche Verkürzung oder Vermeidung von horizontalen Zwischenanflugsegmenten werden Überflüge in geringer Höhe verkürzt und der für den Horizontalflug erforderliche Triebwerksschub vermieden. Größere Flughöhen führen zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich des Anflugpfades. Das Verfahren ist nur bis zum Beginn des Endanfluges anwendbar. Im Bereich des Endanfluges (etwa 20 km bis zur Landeschwelle) ist dadurch keine Lärmentlastung möglich.

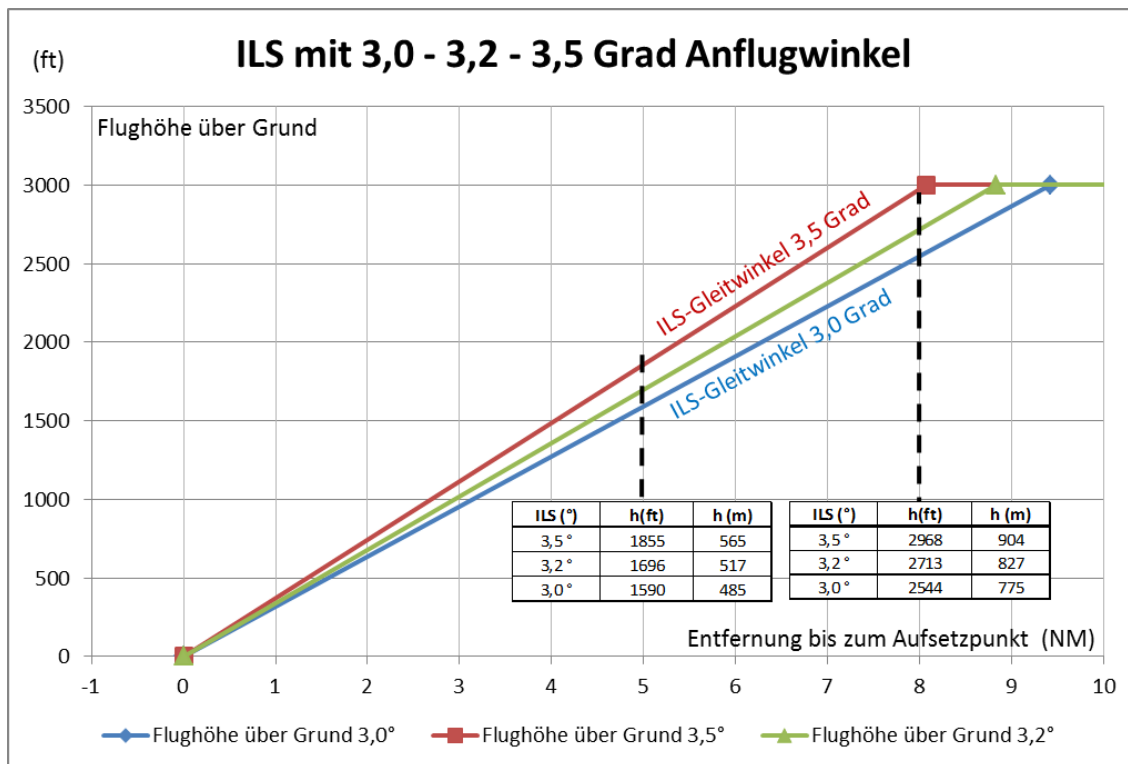
### **5.2.8 Anhebung des Anflugleitwinkels**

#### **Kurzbeschreibung**

Bei der Anhebung des Anflugleitwinkels wird der Endanflug der veröffentlichten Instrumentenanflugverfahren steiler. Dadurch kann ein Horizontalflugteil vor dem Endanflug in größerer Höhe erfolgen oder der Sinkflug später beginnen. Der Anflugleitwinkel des weltweit genutzten Präzisionsanflugverfahrens ILS beträgt nach Vorgaben der ICAO mindestens 2,5 Grad und als Standard 3,0 Grad. Ein Anflugwinkel bis zu 3,5 Grad ist nur zulässig bei CAT-I-Bedingungen. Die ICAO sieht ein Anheben des Anflugleitwinkels auf über 3,0 Grad aus Lärmschutzgründen nicht vor. Anflugleitwinkel von 3,0 Grad bis 3,5 Grad und ebenso Steilanflüge mit mehr als 3,5 Grad sind zulässig aus Hindernisgründen oder wegen besonderer betrieblicher Erfordernisse. (ICAO Doc 8168, Volume I, 5th edition 2006, I-4-5-4, I-7-3-3 and Volume II, 5th edition, 2006, II-1-1 App B-1, II-4-5-2)

Positive Effekte der Anhebung des Anflugleitwinkels wurden im praktischen Einsatz beobachtet. Als in London-Stansted in 2008 Sanierungsarbeiten an der Bahn notwendig waren, wurde der Flugbetrieb mit einem von 3,0 auf 3,5 Grad angehobenen Anflugleitwinkel weitergeführt. Die Lärminderungserfahrungen waren so erheblich, dass die britische Luftfahrtbehörde die ICAO dringend aufforderte, sich mit dem Thema „Anhebung des Anflugleitwinkels“ zu befassen (FFR4 2010).

Abbildung 8: Seitenansicht der Anfluggleitwinkel 3,0, 3,2 und 3,5 Grad



(Quelle: OTSD)

In Frankfurt/Main wird mit einer Ausnahmegenehmigung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (DFS2 2013) neben dem 3,0 Grad Anfluggleitwinkel auch ein 3,2 Grad Anfluggleitwinkel auf der Nordwestbahn genutzt, aber nur unter CAT-I-Bedingungen und nicht bei Rückenwind. Es sind dafür zwei ILS Gleitwegsender (3,0 Grad und 3,2 Grad) je Landerichtung notwendig. Neben dem Flughafen Frankfurt/Main werden nur am Flughafen Stockholm-Bromma aus Lärmschutzgründen Anflüge mit erhöhtem Gleitwinkel durchgeführt.

Aus anderen Gründen als Lärmschutz gibt es jedoch Anflüge mit 3,0 bis 3,5 Grad mehrfach in Europa, wie z. B. an den Flughäfen Malaga, Neapel und Bilbao. (FFR4 2010) Der Londoner City Airport wird aus Hindernisgründen sogar mit 5,5 Grad angefliegen, jedoch nur mit dafür zugelassenen Luftfahrzeugen und bei größerer Entscheidungshöhe und Mindestsichtweite als CAT 1. (EGLC 2011)

### Bewertung

Wie bei steileren Abflügen gilt auch hier, dass angehobene Anfluggleitwinkel in das komplexe Gesamtsystem der Flugverfahren in Flughafennähe eingepasst sein müssen.

Eine Anhebung des Anfluggleitwinkels hat Einfluss auf die bodenseitige technische Ausstattung, auf den Gleitwegsender des ILS. Er ist entsprechend zu ändern oder mehrfach vorzuhalten. Eine Lösung dieses Problems könnte GBAS sein.

Von fliegerischer Seite sind keine ablehnenden Diskussionen über die Nutzung angehobener Anfluggleitwinkel bis zu 3,5 Grad bekannt (FFR4 2010). Zu beachten ist aber immer, dass das genutzte Luftfahrzeug für Landungen aus angehobenen Anfluggleitwinkeln zugelassen sein muss. Inwieweit seitens der Flughafenbetreiber ein Akzeptanzproblem aus den Kosten für Gleitwegsender entsteht, ist im Einzelfall abzuwarten. Bei der Flugsicherung ist kein Akzeptanzproblem erkennbar.



Mindernde Auswirkungen auf die Kapazität sind entsprechend der derzeit eingeschränkten Nutzbarkeit von Anfluggleitwinkeln größer 3,0 Grad zu erwarten (mindestens Einschränkung auf CAT I). Es sei denn, es steht wie auf der Frankfurter Nordwestbahn auch ein 3,0 Grad Anfluggleitwinkel zur Verfügung.

Die Größe des Flughafens ist kein beeinflussender Faktor. Bei einem abgestimmten Gesamtkonzept der Flugverfahren in Flughafennähe ist weder in der Anzahl der Start-/ Landebahnen noch in deren lateralen Konstellation zueinander ein ausschließender Grund für dieses Verfahren erkennbar.

### Lärminderungspotenzial

Das Lärminderungspotenzial des Verfahrens beruht auf der Anhebung der Überflughöhe auch im Nahbereich der Landebahn. Die größere Flughöhe führt zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich des Anflugpfades. Es ist allerdings für einen Teil von Luftfahrzeugen nicht auszuschließen, dass die höhere Sinkrate durch geräuschintensive Bremsmaßnahmen (Landeklappen, Fahrwerk) kompensiert werden muss und das Lärminderungspotenzial dadurch vermindert wird.

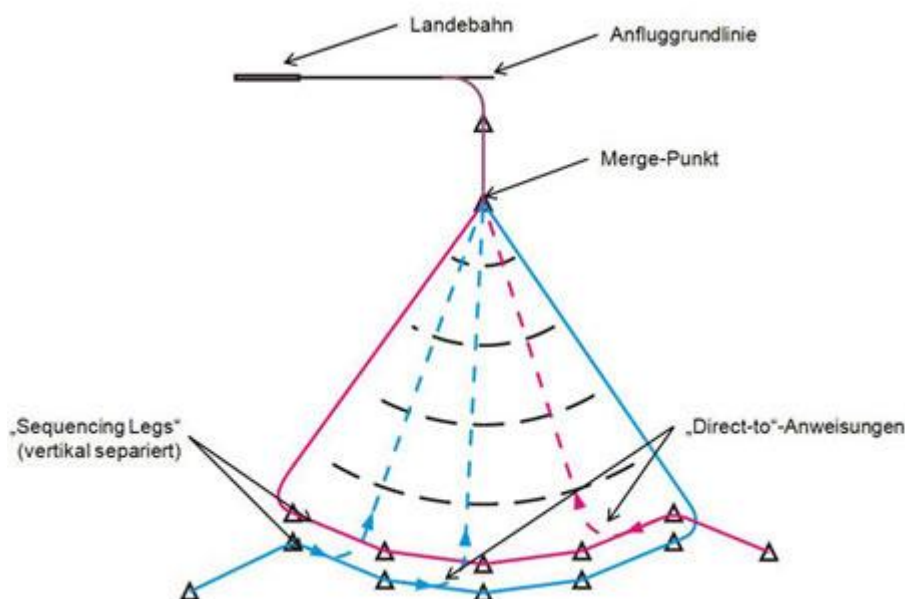
Ein von 3,0 auf 3,5 Grad angehobener Anfluggleitwinkel führt zu einer Anhebung der Überflughöhe um rund 17 %. Damit sind Pegelminderungen (nach AzB berechnet) am Boden in der Größenordnung von 1 dB(A) möglich.

### 5.2.9 Point-Merge-Verfahren

#### Kurzbeschreibung

Das Point-Merge-Verfahren beschreibt einen lateral und vertikal definierten Trichter, in den die Luftfahrzeuge geführt werden. Innerhalb dieses Trichters bewegen sich die Luftfahrzeuge auf den Merge Point (Sammelpunkt) zu. Nach dem Passieren des Merge Points wird der Flug auf einer festgelegten Flugroute bis zum Erreichen des Endanflugs fortgesetzt. Der Endanflug erfolgt dann über ein anderes Anflugverfahren, z. B. ILS.

Abbildung 9: Point-Merge-Verfahren



(Quelle: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH)

Durch das Point-Merge-Verfahren werden die anfliegenden Luftfahrzeuge bereits in größerer Entfernung vom Flughafen und in größeren Höhen stärker kanalisiert. Der Flugweg zum Endanflug ist also unter Lärmschutzaspekten detailliert beeinflussbar, anders als bei dem heute zumeist praktizierten Verfahren der von Fluglotsen individuell radargeführten Flugwege zum Endanflug. Durch die Kanalisierung und frühzeitige Reihung des Luftverkehrs hintereinander ist das Point-Merge-Verfahren gut geeignet für Continuous Descent Operations (CDO).

Das Point-Merge-Verfahren wird in Europa in Oslo, an drei weiteren norwegischen Regionalflugplätzen, in Dublin, Paris Charles de Gaulle und auf den Kanarischen Inseln (Fuerteventura und Lanzarote) angewendet.

In Deutschland ist Hannover seit Dezember 2014 der erste Flughafen mit Point-Merge-Verfahren für beide Landerichtungen. Am Flughafen Leipzig/Halle gibt es seit dem 19. Dezember 2015 Point-Merge-Verfahren ebenfalls für beide Landrichtungen. An anderen Flughäfen wie Frankfurt/Main und dem neuen Flughafen Berlin Brandenburg wird das Point-Merge-Verfahren diskutiert. (EUROCONTROL)

### **Bewertung**

Auch beim Point-Merge-Verfahren gilt, dass es in das komplexe Gesamtsystem der Flugverfahren in Flughafennähe eingepasst sein muss. Eine Schwierigkeit, ein Point-Merge-Verfahren in die bestehende Flugverfahrensstruktur einzupassen, besteht darin, dass es je nach vertikaler Ausdehnung lateral erhebliche Räume erfordern kann. Diese Räume können in einem aus Sicht der Gesamtheit der bestehenden Flugverfahren und der Verkehrsmenge sehr engem Luftraum wie dem der Bundesrepublik Deutschland schwierig zu schaffen sein.

Point-Merge-Verfahren bedürfen keiner zusätzlichen technischen Ausrüstung auf Seiten der Flugsicherung. Seitens der Luftfahrzeuge ist in Hannover und Leipzig eine RNAV-1-äquivalente Ausrüstung erforderlich. Die Einzelheiten der Ausrüstung von Instrumentenflügen in Deutschland mit RNAV im § 3 der „Verordnung über die Flugsicherungsausrüstung der Luftfahrzeuge, FSAV“ geregelt (FSAV 2015) und im Luftfahrthandbuch Deutschland, ENR 1.5-1 bis ENR 1.5-8, Stand 30.04.2015, beschrieben.

Durch das Point-Merge-Verfahren kann die Arbeit des Lotsen vereinfacht werden, da es ihn ähnlich wie beim „Transition to Final Verfahren“ bei der Radarkursführung zum Endanflug entlastet. Point Merge wird auch vor dem Hintergrund einer Kapazitätserhöhung eines Flughafens diskutiert (DFS4 2015). Wenn Point Merge so eingeführt wird, dass die Kapazität konstant bleibt, ist eine Akzeptanz bei den Luftverkehrsgesellschaften, Pilotinnen und Piloten, Flughäfen und Flugsicherung zu erwarten. Durch eine Kombination aus dem Point-Merge-Verfahren und CDO kann eine weitere Möglichkeit der Lärminderung genutzt werden.

Die Größe des Flughafens ist kein beeinflussender Faktor. Ebenso ist weder in der Anzahl der Start-/Landebahnen noch in deren lateralen Konstellation zueinander ein ausschließender Grund für dieses Verfahren erkennbar.

### **Lärminderungspotenzial**

Das Lärminderungspotenzial des Point-Merge-Verfahrens beruht in der Anhebung von Flugrouten und der Verlagerung von flugplatznahen Sammelbereichen (z. B. Transitions) in größere Entfernungen und Höhen. Die größere Flughöhe führt zu geringeren Lärmimmissionen im Bereich der Anflugpfade.

Die Deutsche Flugsicherung untersucht derzeit das Verfahren und schreibt in einer Pressemitteilung (DFS 2011): „Bei „Point Merge“ werden Anflüge in relativ großer Höhe kanalisiert und mit dem notwendigen Sicherheitsabstand kontinuierlich sinkend zum Endanflug geführt. Der Vorteil liegt nicht nur in der Lärmreduktion bei den Anflügen, sondern auch bei den Abflügen. Dadurch, dass die Anflüge

in größerer Höhe geführt werden, könnten die Abflüge ebenfalls schneller an Höhe gewinnen und somit am Boden weniger Lärm produzieren.“

Für den Nahverkehrsbereich um Paris wird das Lärminderungspotenzial des Verfahrens in der „Bewertung der Anflugverfahren in Ostrichtung“ beschrieben (to70 GmbH 2012): „Ausgelöst durch eine politische Vorgabe hat die französische Flugsicherung beschlossen, diese Verfahren ab 2012 bis 2014 in dem Nahverkehrsbereich um Paris mit 2.500 Flugbewegungen pro Tag einzuführen. Darüber hinaus wurden dort als „Sofortmaßnahme“ alle Flugrouten ab dem 17. November 2011 um 1.100 ft angehoben und ein CDA-Verfahren installiert. Für die Bevölkerung in diesem Bereich bedeutet dies, dass nur noch 86.000 von zuvor 217.000 Menschen von Fluglärmbelastungen von mehr als 65 dB(A) betroffen sind.“

### 5.2.10 Berücksichtigung der flugbetrieblichen Maßnahmen in Berechnungsverfahren

Die zu entwickelnde Bewertung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten erfolgt auf der Grundlage der untersuchten Gewichtungsmo­delle für Dauerschallpegel des Fluglärms. Im Rahmen dieses Vorhabens wird die Berechnung dieser Pegel an einem Modellflughafen in Anlehnung an die Berechnungsvorschrift der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen, AzB“ (AzD/AzB 2008) nach dem Fluglärmschutzgesetz vorgenommen.

Die AzB beschreibt Geräuschemissions-Kennwerte für Luftfahrzeugklassen in Abhängigkeit von der Entfernung zur Start-/ Landebahn. Diese Klassen umfassen mehrere Luftfahrzeugmuster und geben dafür jeweils einheitliche Flugleistungsdaten, Geschwindigkeits- und Flughöhenprofile vor. Unterschiede von Luftfahrzeugmustern innerhalb einer Luftfahrzeugklasse, abweichende Geschwindigkeiten und Abweichungen anderer Flugleistungsdaten werden nicht berücksichtigt. Korrekturen und Anpassungen dieser Daten sind zwar möglich, setzen aber detaillierte Kenntnisse der relevanten Parameter voraus, die für dieses Vorhaben nicht zur Verfügung stehen. Eine Ausnahme von der Klassenfestschreibung besteht in der Definition von Flughöhenprofilen. Diese können bei Bedarf detailliert beschrieben und somit für die Modellierung von steileren, flacheren oder kontinuierlichen An- und Abflugverfahren herangezogen werden. Bei der Modifikation von Flughöhenprofilen ist jedoch zu beachten, dass sämtliche Flugleistungsdaten und -geschwindigkeiten für die Berechnung unverändert bleiben. Im Berechnungsmodell werden segmentierte Flugstrecken (Linien-Geräuschquellen) mit unveränderten Geräuschemissions-Kennwerten ausschließlich in der Höhenlage verändert.

Für den Modellflughafen werden die vorstehend beschriebenen flugbetrieblichen Verfahren modelliert. Für diese Flugverfahren wird nachfolgend auf mögliche Einschränkungen bei Fluglärm­berechnungen in Anlehnung an die AzB hingewiesen (siehe Tabelle 3).

Das Bewertungsverfahren wird für zukünftige Fluglärm-Berechnungsverfahren offen gehalten und nicht streng an die AzB gebunden. Mit entsprechender Anpassung des Berechnungsverfahrens (gegebenenfalls auch der Parameter der AzB-Luftfahrzeugklassen) wird das Bewertungsverfahren somit auch die Minderungswirkung neuartiger Flugverfahren berücksichtigen können.

Tabelle 3: Hinweise für die Berechnung von Flugverfahren nach AzB

Flugverfahren	Hinweise für die Berechnung nach AzB
Vertikale Optimierung von Abflugverfahren	Modelliert durch entsprechend angehobenes Flughöhenprofil ohne Anpassung der Flugleistungsdaten. Mögliche Pegelveränderungen durch veränderten Schub werden nicht berücksichtigt.
Optimierung beim Betriebsrichtungswechsel bei Rückenwind	Durch Anpassung der Bewegungszahlen AzB-konform zu modellieren.

Segmented RNAV (GPS)-Approach	Durch horizontale Anpassung der Flugstrecken AzB-konform zu modellieren. Bei abweichenden Höhenprofilen (z. B. verändertem Anfluggleitwinkel) erfolgt keine Anpassung der Flugleistungsdaten.
Ground Based Augmentation System (GBAS)	Durch horizontale Anpassung der Flugstrecken AzB-konform zu modellieren. Bei abweichenden Höhenprofilen (z. B. verändertem Anfluggleitwinkel) erfolgt keine Anpassung der Flugleistungsdaten.
Dedicated RWY Operations (DROps)	Dedicated RWY Operations sind mit einem Berechnungsverfahren, das über längere Zeiträume mittelt (sechs verkehrsreichste Monate) nicht abzubilden.
Continuous Descent Approach (CDA)	Modelliert durch Flughöhenprofil ohne Anpassung der Flugleistungsdaten. Mögliche Pegelveränderungen durch veränderten Schub werden nicht berücksichtigt.
Anhebung des Anfluggleitwinkels	Modelliert durch entsprechend angehobenes Flughöhenprofil ohne Anpassung der Flugleistungsdaten. Mögliche Pegelveränderungen, z. B. durch den Einsatz von Bremsklappen, werden nicht berücksichtigt.
Point-Merge-Verfahren	Modelliert durch Flugstrecken, die auch weit außerhalb des 25 km-Radius (Darstellungsbereich AzD) liegen können. Für das gegebenenfalls komplizierte „Einkurven“ zu den merge points werden entfernungsabhängig die Flugleistungsdaten des Standard-Anfluges verwendet.

## 6 Praxisgerechtes Verfahren zur wirkungsgerechten Beurteilung von Flugrouten

### 6.1 Bewertungsverfahren

#### 6.1.1 Einführung

Auf der Grundlage aktuelle Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung wird ein praxisgerechtes Verfahren zur wirkungsgerechten Beurteilung von Flugrouten entwickelt. Hierfür werden Beeinträchtigungskenngrößen für den Tag und die Nacht eingeführt, die als Prüfwerte dienen. Dabei wird die Fluglärmbelastung durch ein Flugroutensystem auf der Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen bewertet. Es gilt: Je kleiner der Prüfwert ist, desto geringer ist die relative Lärmbetroffenheit und umso weniger belastend ist die Flugroute (Umweltbundesamt (2012)). Da bei der Absenkung der Lärmbetroffenheit das Gesundheitsrisiko nicht steigen soll<sup>4</sup>, ist dieses parallel zu ermitteln und bei der Wahl einer Vorzugsvariante des Flugroutensystems zu berücksichtigen.

Im Rahmen einer Prüfung von Flugrouten auf mögliche Lärmwirkungen sollen in dieser Untersuchung drei Fälle unterschieden werden, die den Umfang einer zu prüfenden Änderung widerspiegeln. Dies sind „nicht lärmrelevante Änderungen“, „Änderungen an einzelnen Flugrouten oder Teilen einer Route“ sowie „umfassende Änderungen am Flugroutensystem bzw. Neufestlegungen“. Eine Entscheidung, dass keine Bewertung von Flugrouten zu erfolgen hat, sollte konservativ getroffen werden. Dabei sollte - wie vom Sachverständigenrat für Umweltfragen gefordert - eine gesetzliche Definition der „wesentlichen Änderung“ festgeschrieben werden, nach der über eine Nicht-Relevanz entschieden wird. Eine Unterscheidung von Einzelroutenprüfung und Prüfung Routensystem wird im Folgenden ausgeführt.

Weiterhin sind die Aspekte Unsicherheitsbereich, Grundgesamtheit für eine Bewertung, Einwirkungsbereich einer Flugroutenänderung sowie einer eventuellen Stufung der Bewertung zu betrachten. Basierend auf existierenden Bewertungsverfahren, Vorschlägen zu Reformen und den Eigenschaften des entwickelten Bewertungsverfahrens wird die jeweilige Vorgehensweise im Bewertungsverfahren definiert.

Grundsätzlich ist bei der Bewertung von Flugrouten und Flugroutensystemen jeweils der gesamte Fluglärm, bestehend aus den Immissionen sämtlicher An- und Abflüge, die für das Untersuchungsgebiet relevant sind, zu berücksichtigen. Im abgestuften Verfahren ist die Betrachtung von Einzelrouten ohne sonstigen Luftverkehr nur als Zusatzbetrachtung zulässig.

#### 6.1.2 Beeinträchtigungskenngrößen

##### 6.1.2.1 Beurteilung des Gesundheitsrisikos

Die Einführung einer großflächig zu bevorzugenden Flugroutenvariante soll keine Anhebung des Gesundheitsrisikos im hoch belasteten Bereich zur Folge haben. Zur Beurteilung des Gesundheitsrisikos beim Vergleich verschiedener Flugroutenvarianten wird die „Population Attributable Fraction, PAF“ der WHO angewendet (WHO 2011). Diese Kenngröße gibt den Anteil der Krankheitsfälle in der Bevölkerung an, die vermieden werden können, wenn die Exposition des Risikofaktors Lärm entfällt (Erdmann 2006; WHO 2011).

---

<sup>4</sup> Die Einführung einer großflächig zu bevorzugenden Flugroutenvariante könnte im ungünstigen Fall eine Anhebung des Gesundheitsrisikos im hoch belasteten Bereich zur Folge haben.

Die PAF lässt sich laut WHO 2011 nach folgender Gleichung bestimmen:

$$(Gl. 1) \text{ PAF} = \frac{\sum(P_i * RR_i) - 1}{\sum(P_i * RR_i)}$$

mit:

$P_i$  = Anteil der Bevölkerung in einer Expositions-kategorie  $i$ ,  
im vorliegenden Fall 1-dB-Pegelklassen

$RR_i$  = relatives Risiko in der Expositions-kategorie  $i$  im Vergleich zum Referenzniveau.

Derzeit liegen in der Literatur keine einheitlichen Risikoschätzer vor, die mögliche Risikoerhöhungen umfangreich abbilden können. Auf das relative Risiko bei Fluglärm wird in der Veröffentlichung der WHO (WHO 2011) nur kurz eingegangen. Einzig für Fluglärm und Bluthochdruck wird ein (lineares) relatives Risiko, ermittelt aus fünf Studien, angegeben. Ausführlicher werden die gesundheitlichen Auswirkungen von Straßenverkehrslärm auf Herzinfarkte betrachtet. Hierzu wird eine polynomische Funktion ermittelt, die laut WHO regelmäßig hinsichtlich neuer Studien aktualisiert werden soll. Die Funktion bezieht sich aufgrund der zugrundeliegenden Studien auf den Tagpegel von 6 bis 22 Uhr in einem Pegelbereich von 55 dB(A) bis etwa 80 dB(A). Für die Nacht wird in der WHO-Studie keine Aussage getroffen. Das Gesundheitsrisiko wird hier ausschließlich für den Tag bestimmt:

$$(Gl. 2) \text{ OR} = 1,629657 - 0,000613 * (L_{Aeq,Tag})^2 + 0,000007356735 * (L_{Aeq,Tag})^3$$

Laut WHO können die Odds Ratios als Abschätzung des relativen Risikos verwendet werden (2011, S. 9). Aufgrund des Fehlens etablierter Abschätzungen des relativen Risikos auf die Gesundheit durch Fluglärm wird für das relative Risiko entsprechend der Anwendung der PAF in der Veröffentlichung der WHO (2011, S. 25) ersatzweise auf die Odds Ratio für Straßenverkehrslärm zurückgegriffen. Die Bewertung orientiert sich damit eng an dem vorgeschlagenen Verfahren und ermöglicht eine Risikoabschätzung ohne die Notwendigkeit zur Prävalenz verschiedener Krankheiten. Sofern passende Werte des relativen Risikos bzw. der Odds Ratios vorliegen, sind diese zu verwenden.

In Anlehnung an das Verfahren der WHO (2011, S. 25) soll für drei Lärmpegel die Ermittlung beispielhaft dargestellt werden. Die Eingangsdaten für die Berechnung ist die Anzahl der betroffenen Bevölkerung in jeder Expositions-kategorie, in diesem Fall einer 1-dB-Pegelklasse.

Tabelle 4: Exemplarische Verteilung der Bevölkerung (Ausschnitt für drei Lärmpegel)

Expositions-kategorie $L_{Aeq,Tag}$ [dB(A)]	Bevölkerung in der Expositions-kategorie	Anteil der Bevölkerung in der Expositions-kategorie $P_i$	Relatives Risiko (abgeschätzt über Odds Ratios) $RR_i$
...			
60	1.000	10 % = 0,10	1,012
61	500	5 % = 0,05	1,019
62	100	1 % = 0,01	1,027
...			
Summe	10.000	100 %	-

Hieraus lässt sich der Anteil der Bevölkerung in der Expositions-kategorie ermitteln. Das relative Risiko wird in diesem Fall über die Odds Ratios in Gleichung 4 bestimmt. Für den in Tabelle 4 dargestellten Fall ergibt sich die PAF (auszugsweise) als:

$$PAF = \frac{...(1,012*0,10)+(1,019*0,05)+(1,027*0,01)...-1}{...(1,012*0,10)+(1,019*0,05)+(1,027*0,01)...}$$



Für die Abwägung von Flugroutenvarianten wird die Population Attributable Fraction grafisch dargestellt (siehe Abbildung 10) und mit absoluten und relativen Beträgen aufgelistet (siehe Tabelle 5).

Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der „Population Attributable Fraction“ PAF für verschiedene Flugroutenvarianten

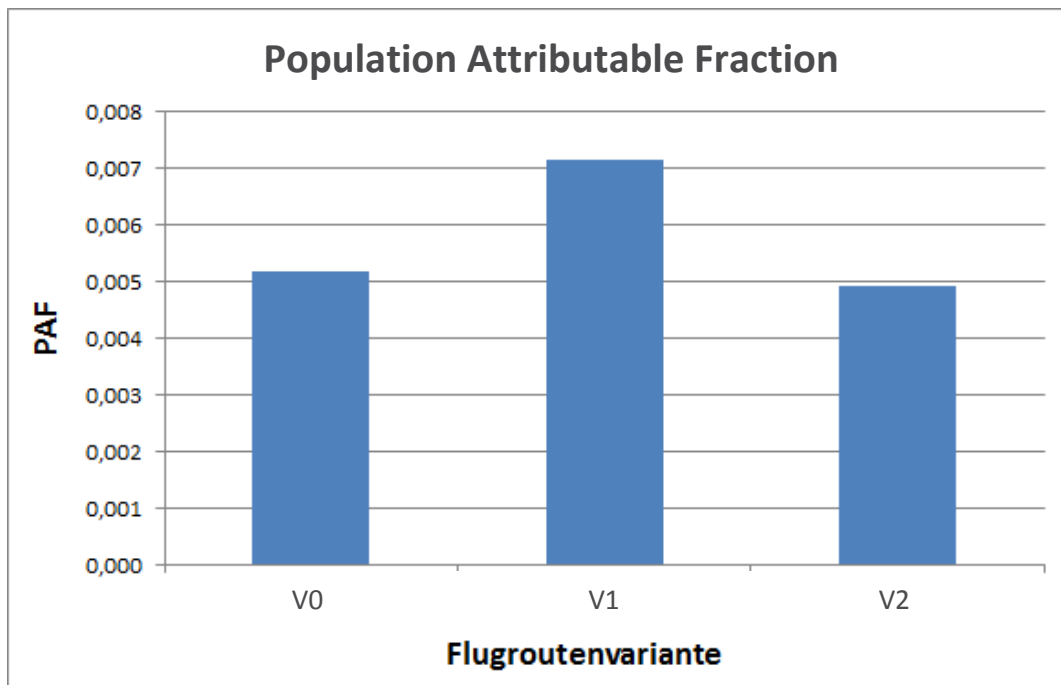


Tabelle 5: Exemplarische Aufstellung der „Population Attributable Fraction“ PAF mit relativer Änderung zu Flugroutenvariante 0

Flugroutenvariante	PAF
Variante 0	0,0052 (100 %)
Variante 1	0,0071 (137 %)
Variante 2	0,0049 (94 %)

In diesem Beispiel ergibt sich für die Flugroutenvariante 1 gegenüber der Ausgangsvariante 0 einen Anstieg des Kennwertes um 37 %. Variante 2 liegt 6 % unter Variante 0.

### 6.1.2.2 Variantenprüfwert Belästigung

Die Abwägung der zu untersuchenden Flugroutenvarianten oder -systeme erfolgt über Variantenprüfwerte. Der Prüfwert ist ein Einzahl-Index, der getrennt für den Tag und die Nacht die Fluglärm-betroffenheit der Bevölkerung durch eine Flugroutenvariante beschreibt. In den Prüfwert gehen folgende Werte ein:

- ▶ äquivalenter Dauerschallpegel ( $L_{Aeq}$ ) des gesamten Luftverkehrs
- ▶ Zahlen der von diesen Pegeln betroffenen Personen ( $N_P$ )
- ▶ Expositions-Wirkungsbeziehungen für belästigte Personen am Tag (%A)
- ▶ Expositions-Wirkungsbeziehungen für schlafgestörte Personen in der Nacht (%SD)

Für jede Rasterzelle beziehungsweise jedes Gebäude im Untersuchungsgebiet werden die Anteile belastigter beziehungsweise schlafgestörter Personen ermittelt und jeweils zu einem Varianten-Prüfwert aufsummiert. Dabei wird zwischen einem Varianten-Prüfwert-Tag (VPT) und Varianten-Prüfwert-Nacht (VPN) unterschieden:

### Varianten-Prüfwert Tag (VPT)

$$(Gl. 3) \quad VPT = \sum_i N_{P,i} * \frac{\%A(L_{Aeq,Tag,i})}{100}$$

### Varianten-Prüfwert Nacht (VPN)

$$(Gl. 4) \quad VPN = \sum_i N_{P,i} * \frac{\%SD(L_{Aeq,Nacht,i})}{100}$$

mit:

$$\%A = 8,588 \times 10^{-6} (L_{Aeq,Tag} - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} (L_{Aeq,Tag} - 37)^2 + 1,221 (L_{Aeq,Tag} - 37)$$

Belästigte Personen (%A) in Anlehnung an VDI 3722, Blatt 2, Formel A3

$$\%SD = 13,714 - 0,807 \times L_{Aeq,Nacht} + 0,01555 (L_{Aeq,Nacht})^2$$

Schlafgestörte Personen (%SD) in Anlehnung an VDI 3722, Blatt 2, Formel A11

i = Berechnungszelle (Gebäude) i

$N_{P,i}$  = Anzahl der Personen in Berechnungszelle (Gebäude) i

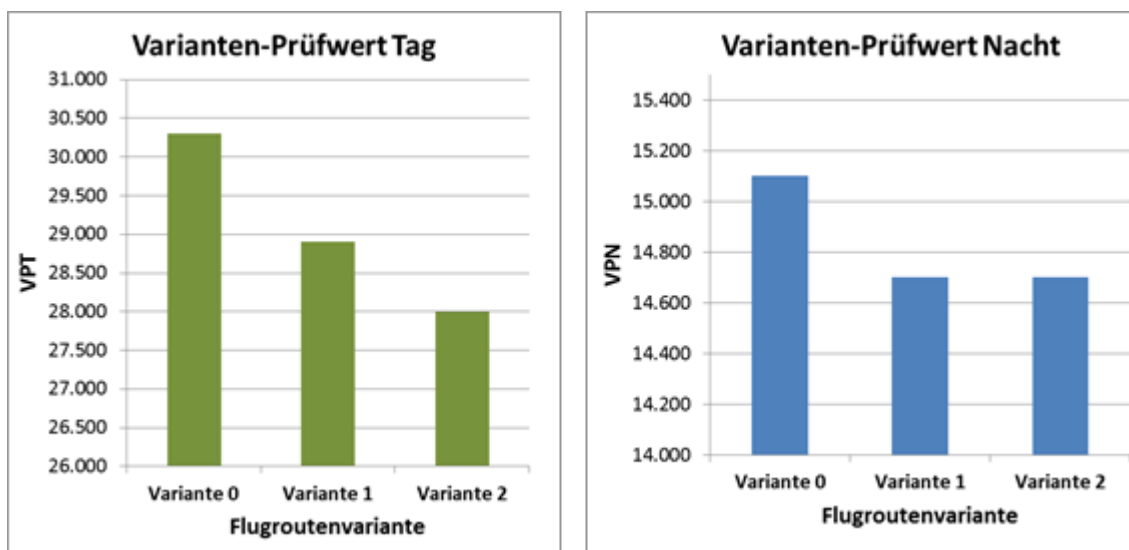
$L_{Aeq,Tag,i}$  = Äquivalenter Dauerschallpegel für den Tag von 6 bis 22 Uhr in Berechnungszelle (Gebäude) i<sup>5</sup> für  $L_{Aeq,Tag} > 45$  dB(A)

$L_{Aeq,Nacht,i}$  = Äquivalenter Dauerschallpegel für die Nachtzeit von 22 bis 6 Uhr in Berechnungszelle (Gebäude) i für  $L_{Aeq,Nacht} > 40$  dB(A)

Für die Abwägung von Flugroutenvarianten werden die Prüfwerte für den Tag und die Nacht grafisch dargestellt (siehe Abbildung 11). Die Flugroutenvariante mit den kleinsten Prüfwerten VPT und VPN weist von den betrachteten Varianten die geringste Fluglärmbeeinträchtigung auf und ist unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereiches und des Gesundheitsrisikos vorzuziehen. Falls die kleinsten Prüfwerte VPT und VPN nicht einer gemeinsamen Flugroutenvariante zuzuordnen sind, sollte geprüft werden, ob die günstigsten Tag- und Nacht-Varianten in einer neuen Variante zusammengefasst werden können.

<sup>5</sup> Der Beurteilungspegel  $L_{r,TAN}$  in der VDI 3722-2 für Tag/Abend/Nacht wird hier durch den äquivalenten Dauerschallpegel für den Tag  $L_{Aeq,Tag}$  ersetzt.

Abbildung 11: Exemplarische Darstellung von Varianten-Prüfwerten VPT und VPN für verschiedene Flugroutenvarianten



Das Beispiel zeigt für Variante 1 eine Abnahme der Prüfwerte VPT und VPN gegenüber der Ausgangsvariante 0 um 5 % bzw. 3 %. In Variante 2 ist der Wert für den Tag nochmals geringer (-8 %) – für die Nacht wurde in Variante 2 keine Verbesserung erzielt (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Exemplarische Aufstellung von Varianten-Prüfwerten VPT und VPN mit relativer Änderung zu Variante 0

Variante	VPT	VPN
Variante 0	30.300 (100 %)	15.100 (100 %)
Variante 1	28.900 (95 %)	14.700 (97 %)
Variante 2	28.000 (92 %)	14.700 (97 %)

### 6.1.3 Fluglärm Berechnung

In der vorliegenden Untersuchung wird eine Fluglärm Berechnung nach AzB mit den Datenerfassungssystemen (DES) der zu untersuchenden Flugroutensysteme durchgeführt. Die Ermittlung von Prüfwerten ist jedoch nicht zwingend an Berechnungen nach AzB gebunden. Damit ist es möglich, Prüfwerte auch auf Basis anderer Fluglärm Berechnungsverfahren zu berechnen, sofern diese geeignet und validiert sind.

Grundsätzlich sollen die verwendeten DES mit Bahnbetriebsrichtungsverteilungen über zehn Jahre (Sigma-Regelung) und mit Rollwegen untersucht werden. Bei Vernachlässigung der Pegelzuschläge aus der Sigma-Regelung ist nicht auszuschließen, dass relevante Siedlungsgebiete von der Variantenuntersuchung ausgeschlossen werden. Sofern die Variantenuntersuchung nicht im direkten Einflussbereich von Rollwegen erfolgt, kann auf die Modellierung der Rollwege im DES verzichtet werden.

Geländehöhen sollen berücksichtigt werden, sofern sie im Untersuchungsgebiet einen relevanten Einfluss auf die Fluglärmpegel haben, wie z. B. am Flughafen Stuttgart. Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an die AzB in vier Meter Höhe über dem Boden an Berechnungspunkten in besiedelten Bereichen, für die Einwohnendenzahlen bekannt beziehungsweise zu beschaffen sind. Eine Berechnung von

Flächenlärmkarten kann ergänzend und informativ für Darstellungszwecke erfolgen. Die Berechnungspunkte können Gebäude-Mittelpunkte mit Gebäude-Einwohnerzahlen oder Mittelpunkte von Rasterzellen mit zugeordneten Einwohnerzahlen sein.

Gebäudescharfe Einwohnerzahlen sind für den Großraum um Flugplätze häufig nicht vollständig und aktuell verfügbar beziehungsweise aus Datenschutzgründen nicht frei zugänglich. Es wird daher empfohlen, kommerzielle Rasterdaten mit jahresaktuellen Einwohnerzahlen zu verwenden, die beispielsweise über das AZ-Deutschlandraster <sup>6</sup> verfügbar sind. Die Rasterschrittweite sollte 125 x 125 Meter nicht überschreiten. Hiermit ist für das gesamte Untersuchungsgebiet eine einheitliche Datengrundlage sichergestellt.

#### 6.1.4 Unsicherheitsbetrachtung

In dem vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg vorgestellten Verfahren zur „Bewertung flugbetrieblicher Maßnahmen anhand Belästigung, Schlafstörung sowie der koronaren Herzerkrankungen auf der Grundlage der verkehrsbedingten Gesamtlärmbelastung“ (ACCON 2015) werden Unsicherheitsbereiche für die Berechnungen definiert. Änderungen des Prüfwertes der Belästigung müssen danach mehr als 5 % unter der Vergleichsvariante und Änderungen des Gesundheitsrisikos mehr als 15 % darunter oder darüber liegen, um als relevant eingestuft zu werden. Kleinere Änderungen sind auf Basis der Fehlerbetrachtung statistisch nicht unterscheidbar. Diese Unsicherheitsbereiche werden für das hier vorgestellte Verfahren zur lärmfachlichen Bewertung von Flugrouten übernommen.

#### 6.1.5 Grundgesamtheit

Das Untersuchungsgebiet ist zunächst auf einen Bereich festgelegt, der Fluglärmbeurteilungspegel des gesamten Flugroutensystems einschließlich sämtlicher Untersuchungsvarianten von  $L_{Aeq, Tag} \geq 45$  dB(A) und  $L_{Aeq, Nacht} \geq 40$  dB(A) umhüllt. Dafür ist das Datenerfassungssystem (DES) des gesamten Flughafens zu erstellen und zu berechnen.

Im Regelfall ist jedoch zu erwarten, dass vom UBA im Rahmen der Benehmensregelung oder in vergleichbaren Untersuchungen nur geringfügige Änderungen an Flugroutensystemen zu bewerten sind. Aus zweierlei Gründen könnte dabei eine Beurteilung ausschließlich im Einwirkungsbereich der Flugroutenänderung sinnvoll sein: Zum einen ist bei einem reduzierten Untersuchungsgebiet nicht das vollständige DES mit allen Flugbewegungen zu erstellen, zum anderen wird die relative Änderung der Prüfwerte in einem reduzierten Untersuchungsgebiet größer ausfallen und damit eher die geforderte Abnahme um 5 % oder mehr erreichen.

Bei der Untersuchung von Flugroutenvarianten oder Flugrouten-Teilsystemen, die nur eine Teilfläche des Untersuchungsgebiets beeinflussen, ist das Untersuchungsgebiet einzuschränken, und zwar auf einen Bereich, der durch die zu untersuchenden Varianten eine Änderung des Beurteilungspegels erfährt (Pegeländerung  $\geq 0,01$  dB).

Bei mehreren eingeschränkten Untersuchungsgebieten (zeitlich oder räumlich getrennt) ist zu beachten, dass relative Änderungen der Prüfwerte nicht miteinander vergleichbar sind. Dies sei an einem Beispiel erläutert: Eine lokal untersuchte Routenänderung im Norden führt zu einer Verbesserung des lokalen Prüfwertes um 7 % und eine Routenänderung im Süden um 9 %. Die gemeinsame Gesamtbetrachtung beider Änderungen könnte jedoch ergeben, dass die Änderung im Norden stärker ausfällt (beispielsweise 3 %) als im Süden (beispielsweise 2 %) und gleichzeitig beide Änderungen die Grenze von jeweils 5 % nicht überschreiten. Sofern diese Vergleichbarkeit gewünscht ist, beispielsweise für

<sup>6</sup> AZ-Deutschlandraster, Einwohnerzahlen in Rasterschrittweite von 125 m, <http://www.wigeogis.com/de/bevoelkerungsdaten>

die Dokumentation einer langfristigen Entwicklung am Flugplatz, sollte das Untersuchungsgebiet nicht eingeschränkt werden.

## 6.1.6 Gestuftes Bewertungsverfahren

### 6.1.6.1 Fallunterscheidung

Das Bewertungsverfahren für Flugrouten ist abgestuft und differenziert zwischen lokalen Flugroutenvarianten bzw. Varianten von Flugrouten-Teilsystemen und Varianten eines kompletten Flugroutensystems. Flugroutensysteme beschreiben den kompletten Luftverkehr eines Flugplatzes und sind meist nur im Zusammenhang mit Neuplanungen vollständig zu untersuchen.

Varianten von Flugrouten oder Flugrouten-Teilsystemen können isoliert von anderen Flugrouten untersucht werden, sofern diese keinen relevanten Anteil an den Beurteilungspegeln im Untersuchungsgebiet haben.

### 6.1.6.2 Varianten einer Flugroute

Bei Vorliegen eines DES für das gesamte Flugroutensystem wird empfohlen, die Untersuchung zunächst im uneingeschränkten Untersuchungsgebiet durchzuführen. Bei kleineren Flugroutensystemen mit deutlichen Variationen der Flugverfahren können bereits bei dieser Gesamtbetrachtung statistisch unterscheidbare Vorzugsvarianten erkannt werden. Bei größeren Flugplätzen und bei Nichtverfügbarkeit eines DES für das gesamte Flugroutensystem kann eine Einschränkung des Untersuchungsgebietes gleich zu Beginn vorgenommen werden, sofern der Bereich aufgrund von zu erwartenden Änderungen des Beurteilungspegels ausreichend bekannt ist.

Für jede Variante der Flugroute werden die „Population Attributable Fraction“ PAF gemäß Abschnitt 6.1.2.1 berechnet und das Minimum des PAF aller Varianten bestimmt. Sämtliche Varianten mit einem PAF von mehr als 15 % über dem ermittelten Minimalwert scheiden aus Gründen des Gesundheitsschutzes aus.

Für die verbleibenden Varianten werden die Variantenprüfwerte Tag (VPT) und Nacht (VPN) gemäß Abschnitt 6.1.2.2 berechnet und in ihrer Rangfolge analysiert. Eine Variante einer Flugroute ist dabei nur dann statistisch unterscheidbar und im Sinne der Lärmbetroffenheit weniger oder mehr belastend, wenn sich der Prüfwert um mindestens 5 % von der Vergleichsvariante unterscheidet. Bei Vorliegen einer derart optimierten Variante kann eine Abwägungsentscheidung für diese Variante getroffen werden.

Andernfalls kann eine Einzelfallbetrachtung gemäß Abschnitt 6.1.6.4 vorgenommen werden. Wenn auch nach Einzelfallbetrachtung keine Unterscheidbarkeit vorliegt, dann müssen andere Kriterien wie Ruhige Gebiete, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklungen, Vorbelastungen u. ä. für die Auswahl der Vorzugsvariante herangezogen werden. Sind diese Vorzugsvarianten im Gesamtsystem nicht zu identifizieren, so ist das Untersuchungsgebiet ggf. noch einzuschränken.

### 6.1.6.3 Varianten von Flugroutensystemen oder Flugrouten-Teilsystemen

Für ein neues Flugroutensystem oder mehrerer Änderungen an einem Flugrouten-Teilsysteme müssten theoretisch sämtliche Kombinationen von Routenvarianten berechnet und verglichen werden, was praktisch nicht möglich ist. In Anlehnung an das Verfahren „Akustische Bewertungskriterien bei der Festlegung von Flugrouten“ (Vogelsang 2012) wird empfohlen, ein Flugroutensystem aus Vorzugsvarianten zusammenzustellen und wechselweise jede Vorzugsvariante einmal durch die zweitplatzierte Variante zu ersetzen. In besonderen Fällen können auch drittplatzierte Varianten einbezogen werden.

Für jede Kombination werden die „Population Attributable Fraction“ PAF gemäß Abschnitt 6.1.2.1 berechnet und das Minimum des PAF aller Varianten bestimmt. Sämtliche Kombinationen mit einem PAF von mehr als 15 % über dem ermittelten Minimalwert – sofern vorhanden – scheiden als mögliches Flugroutensystem aus.

Für die verbleibenden Kombinationen werden die Variantenprüfwerte Tag (VPT) und Nacht (VPN) gemäß Abschnitt 6.1.2.2 berechnet und in ihrer Rangfolge analysiert. Eine Variante eines Flugroutensystems ist dabei nur dann statistisch unterscheidbar und im Sinne der Lärmbetroffenheit weniger oder mehr belastend, wenn sich der Prüfwert um mindestens 5 % von der Vergleichsvariante unterscheidet. Bei Vorliegen einer derart optimierten Variante kann eine Abwägungsentscheidung für die neue Vorzugsvariante getroffen werden. Wenn diese Unterscheidbarkeit nicht möglich ist, dann sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Varianten des Flugroutensystems oder von Flugrouten-Teilsystemen beeinflussen sich gegenseitig. Hier müssen andere Kriterien wie Ruhige Gebiete, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklungen, Vorbelastungen u. ä. zur Wahl der Vorzugsvariante herangezogen werden.
2. Es können Flugrouten-Teilsysteme isoliert werden (beispielsweise Süd/Nord), die sich nicht beeinflussen. Diese Flugrouten-Teilsysteme können isoliert voneinander untersucht werden. Tritt eine Unterscheidbarkeit ein, kann danach entschieden werden. Andernfalls kann eine Einzelfallbetrachtung gemäß Abschnitt 6.1.6.4 vorgenommen werden. Wenn auch nach Einzelfallbetrachtung keine Unterscheidbarkeit vorliegt, ist nach Fall 1 vorzugehen.

#### 6.1.6.4 Einzelfallbetrachtung

Wenn untersuchte Varianten nicht unterscheidbar sind (5 %-Abstand), erfolgt eine Berechnung des VPT und VPN nur für die zu untersuchenden Flugroutenvarianten ohne Berücksichtigung der sonstigen Flugrouten. Tritt bei dieser Einzelfallbetrachtung eine Unterscheidbarkeit auf, so kann diese Variante bevorzugt werden, sofern sie in der Rangfolge der Gesamt-Fluglärm-betrachtung nicht schlechter platziert ist, als andere Varianten. Dies soll anhand von zwei Beispiele erläutert werden:

Beispiel 1:

Untersuchung nach Abschnitt 6.1.6.2 (nicht unterscheidbar): [V0; 100 %], [V1; 99 %], [V2, 97 %]

Untersuchung nach Abschnitt 6.1.6.3 (unterscheidbar): [V0; 100 %], [V1; 98 %], **[V2, 91 %]**

V2 ist in der Einzelbetrachtung vorzuziehen und in der Gesamtbetrachtung nicht schlechter platziert als andere Varianten. Untersuchungsergebnis: V2 ist Vorzugsvariante.

Beispiel 2:

Untersuchung nach Abschnitt 6.1.6.2 (nicht unterscheidbar): [V0; 100 %], [V1; 99 %], [V2, 97 %]

Untersuchung nach Abschnitt 6.1.6.3 (unterscheidbar): [V0; 100 %], **[V1; 93 %]**, [V2, 99 %]

V1 ist in der Einzelbetrachtung vorzuziehen aber in der Gesamtbetrachtung schlechter platziert als andere Varianten. Untersuchungsergebnis: Es gibt keine Vorzugsvariante und die Einzelbetrachtung wird verworfen.



## 6.2 Entwicklung eines Modellflughafens

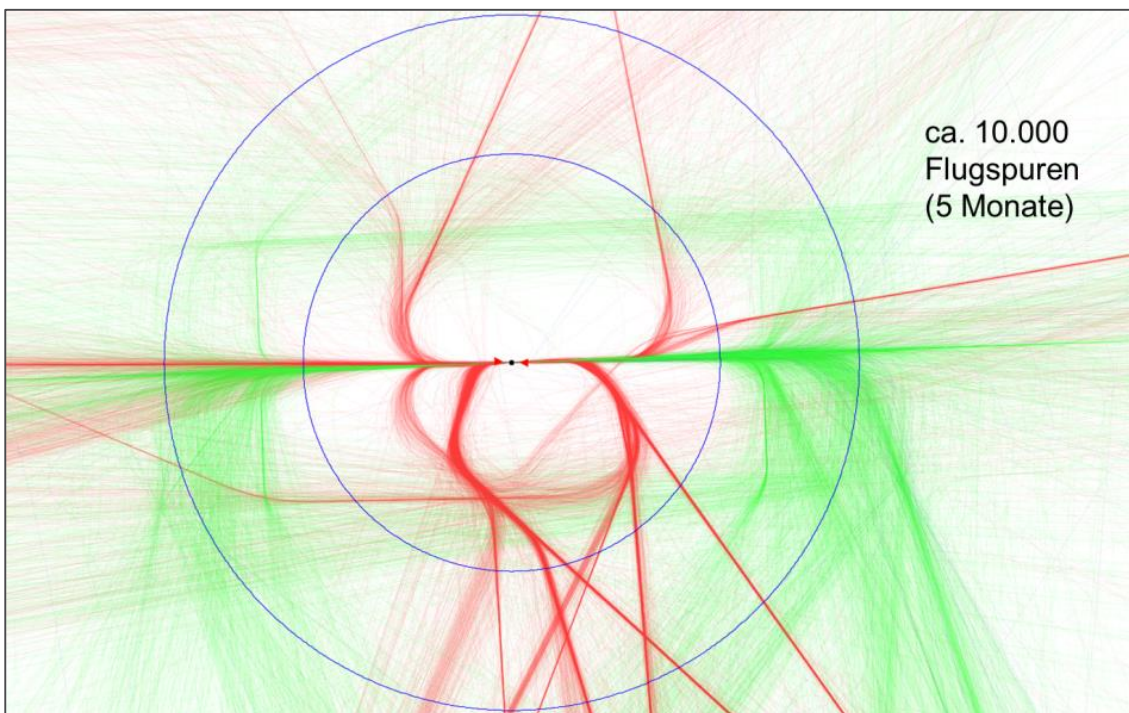
### 6.2.1 Grundlage Flugbetrieb

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Modellflughafen (EDXX) modelliert und in Form eines Referenz-DES beschrieben. Als Basis für die Modellierung wurde der Flughafen Bremen (EDDW) gewählt. Der Flugplatzbezugspunkt (ARP) sowie die Dimensionen der Start- und Landebahn (RWY 09/27) wurden unverändert übernommen. Die Bahnrichtungen des Modellflughafens ergeben sich aus einer Spiegelung der in Bremen vorhandenen Bahn 09/27 am Bahnmittelpunkt (Bahnbezugspunkt) entlang einer West-Ost-Achse. Die Platzhöhe (Elevation) wird auf Null Meter gesetzt.

Für die Modellierung von DES-Flugstrecken wurden rund 10.000 reale Flugspuren verwendet, die aus den ADS-B-Transponderdaten von in Bremen an- beziehungsweise abfliegenden Luftfahrzeugen der Monate Juni bis Oktober 2013 gewonnen wurden (siehe Abbildung 12)

Die in den folgenden Abbildungen vorhandenen blauen Kreise kennzeichnen jeweils einen Umkreis von 15 beziehungsweise 25 Kilometer um den Flugplatzbezugspunkt (angelehnt an den Modellbereich der AzD).

Abbildung 12: Flugspurdaten für den Flughafen Bremen (EDDW)



Die Flugspuraufzeichnungen wurden ebenfalls entlang einer West-Ost-Achse durch den Bahnmittelpunkt gespiegelt. Daher verlaufen beispielsweise die für Bremen mehrheitlich nach Süden startenden Abflüge im Modell nach Norden (siehe Abbildung 13).

Aus den Flugspuraufzeichnungen wurde ein AzD-konformes Datenerfassungssystem mit der OTSD-Software „DES-Editor“ erstellt (siehe Abbildung 14).

Abbildung 13: Flugspurdaten für den Modellflughafen (EDXX)

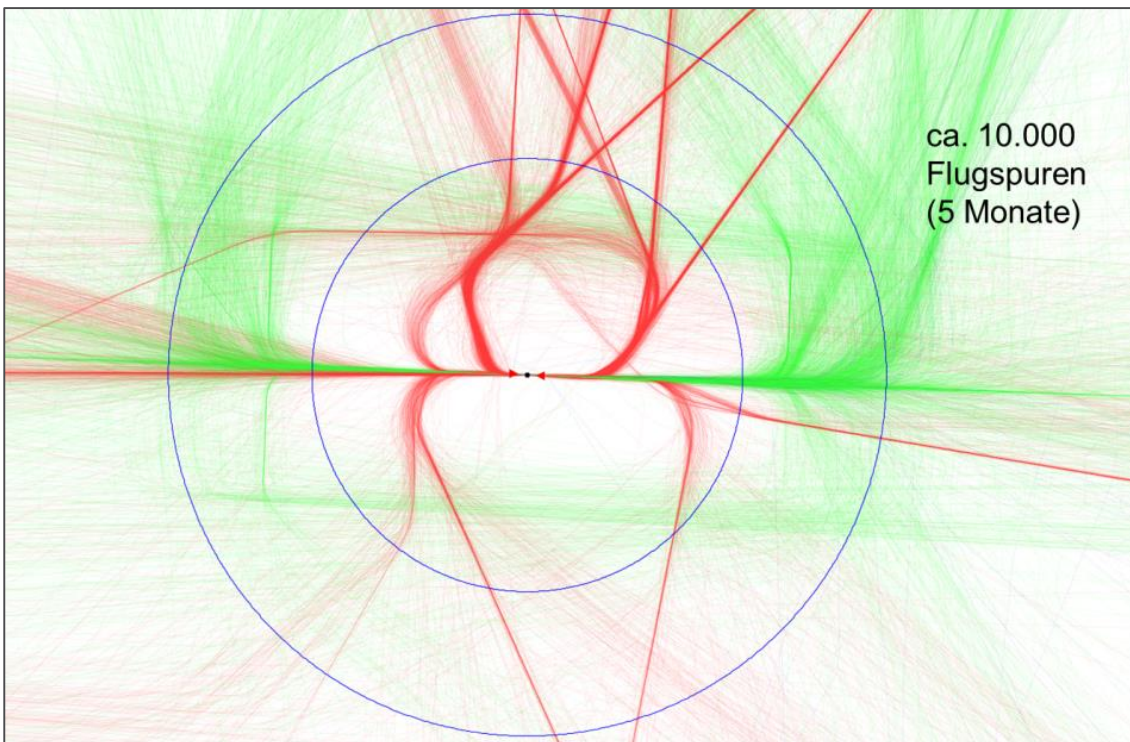
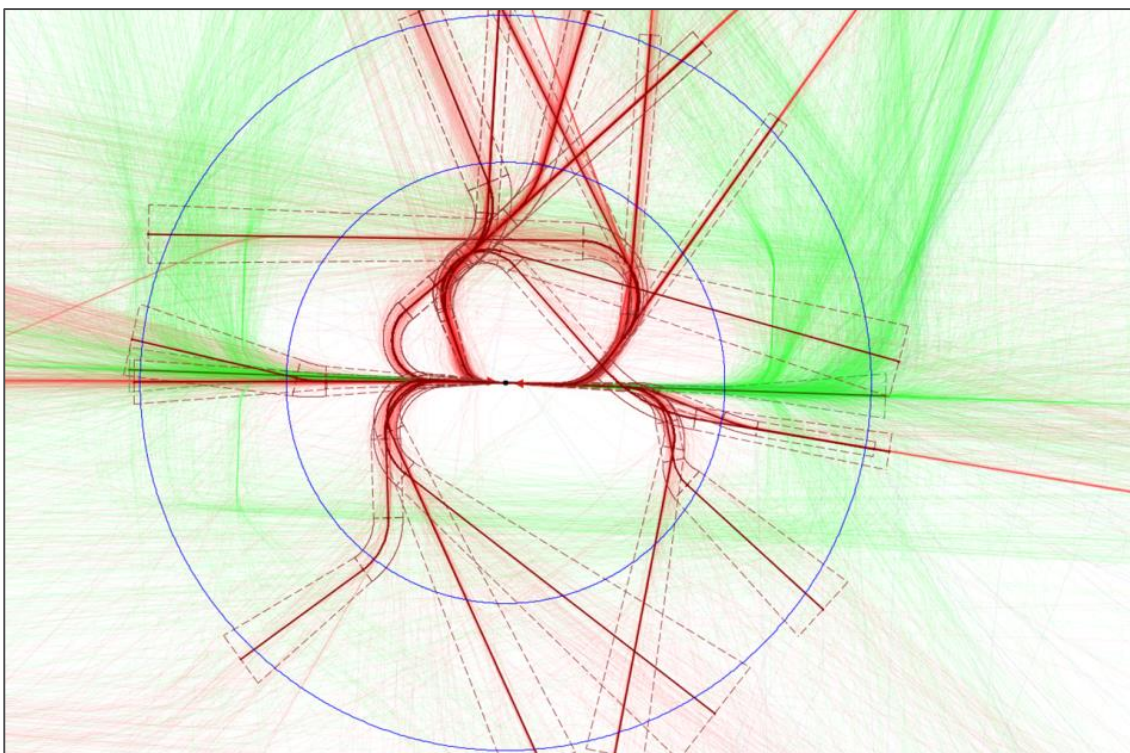


Abbildung 14: DES-Flugstreckenmodell für den Modellflughafen (EDXX)



Aus den Flugspuraufzeichnungen wurden entsprechend der Belegung der einzelnen An- und Abflug-routen Flugbewegungszahlen abgeleitet, die in Tabelle 7 dargestellt sind.

In Absprache mit dem UBA wurden die Flugbewegungszahlen für den Modellflughafen wie folgt ange-passt:



- ▶ Die Zahlen für Starts und Landungen wurden durch Ergänzung von Flugbewegungen so abgeändert, dass eine Übereinstimmung der Zahl der Starts mit der Zahl der Landungen im Bezugszeitraum (für jede AzB-Luftfahrzeugklasse) gegeben ist. Eine entsprechende Forderung findet sich in der AzD im Kapitel 4.
- ▶ Die wenigen Bewegungen mit Propellerflugzeugen sowie außerdem drei Bewegungen der Luftfahrzeuggruppe S 6.3<sup>7</sup> wurden aus dem DES entfernt.
- ▶ Die verbliebenen Flugbewegungen wurden mit dem Faktor 4 multipliziert.
- ▶ Es wurden Flugbewegungen für die Nacht ergänzt, da in Bremen kein planmäßiger Nachtflugbetrieb gegeben ist, das entwickelte Verfahren jedoch auch für die Nacht angewendet werden soll. Im Umfang handelt es sich hierbei um 5 % der Abflüge des Tag nebst der zugehörigen Landungen.

Die resultierenden Flugbewegungen für das Referenz-DES (Variante VS0, VL0) und alle hiervon abgeleiteten Varianten (VS1 und VL1 bis VL3) sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 7: Flugbewegungszahlen aus Flugspuraufzeichnungen am Flughafen Bremen

LFZ-Gruppe	Summe	Tag	Nacht	Abflüge	Anflüge	Abflug Tag	Abflug Nacht	Anflug Tag	Anflug Nacht
P 1.0	2	2	0	1	1	1	0	1	0
P 1.3	19	19	0	13	6	13	0	6	0
P 1.4	5	5	0	2	3	2	0	3	0
P 2.1	7	7	0	5	2	5	0	2	0
P 2.2	1	1	0	1	0	1	0	0	0
S 5.1	1701	1697	4	906	795	906	0	791	4
S 5.2	8087	7318	769	3839	4248	3763	76	3555	693
S 6.1	122	120	2	63	59	62	1	58	1
S 6.3	3	3	0	2	1	2	0	1	0
<b>Summe</b>	<b>9947</b>	<b>9172</b>	<b>775</b>	<b>4832</b>	<b>5115</b>	<b>4755</b>	<b>77</b>	<b>4417</b>	<b>698</b>

Tabelle 8: Flugbewegungszahlen im Referenz-DES für den Modellflughafen EDXX

LFZ-Gruppe	Summe	Tag	Nacht	Abflüge	Anflüge	Abflug Tag	Abflug Nacht	Anflug Tag	Anflug Nacht
S 5.1	7610	7224	386	3805	3805	3624	181	3600	205
S 5.2	35650	30876	4774	17825	17825	16656	1169	14220	3605
S 6.1	524	496	28	262	262	248	14	248	14
<b>Summe</b>	<b>43784</b>	<b>38596</b>	<b>5188</b>	<b>21892</b>	<b>21892</b>	<b>20528</b>	<b>1364</b>	<b>18068</b>	<b>3824</b>

Der Modellflughafen beschreibt ein realistisches Szenario eines Flughafens mit einer Start- und Landebahn und guter flugbetrieblicher Auslastung der vorhandenen Infrastruktur. Die angenommene Flugbewegungsanzahl liegt in etwa in der Größenordnung des heutigen Flughafens Berlin-Schönefeld. Auch der angenommene Anteil der Nachtflugbewegungen wurde in Anlehnung an existierende Flughäfen (wie z. B. Hannover) gewählt.

<sup>7</sup> Airbus A340

Die Anflüge im Referenz-DES wurden vereinfacht als gerader ILS-Endanflug mit 3,0 Grad Anflugwinkel angenommen (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16).

Abbildung 15: Anflüge auf RWY 27 im Referenzszenario (Variante VL0)

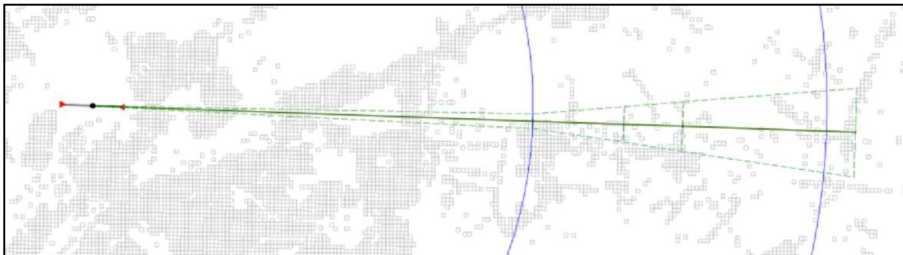
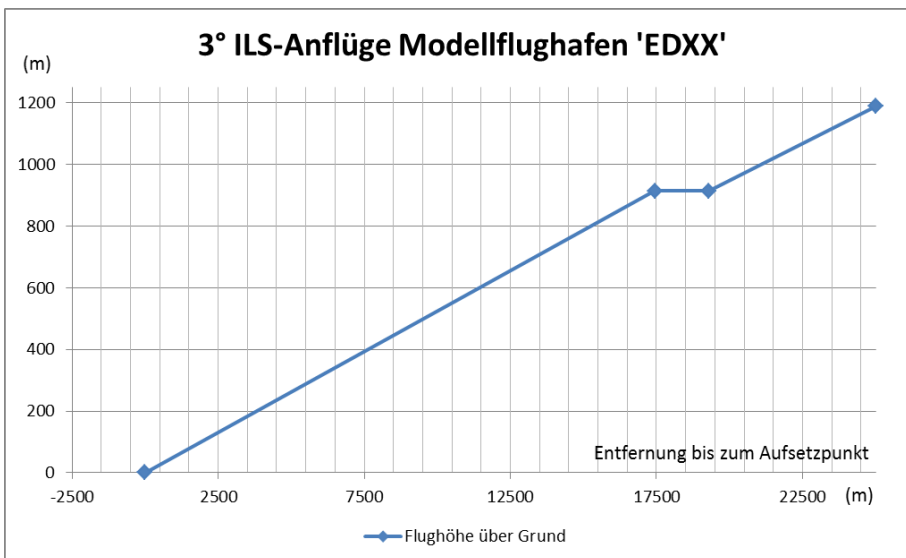


Abbildung 16: ILS-Anflüge am Modellflughafen EDXX mit 3,0 Grad



## 6.2.2 Untersuchungsvarianten

### 6.2.2.1 Modellierungsansatz

Es wird das Flugrouten-Teilsystem „Abflüge Startbahn 27“ mit sämtlichen Starts von dieser Startbahn in zwei Varianten (VS0 und VS1) und das Flugrouten-Teilsystem „Anflüge Startbahn 27“ mit allen Landungen auf dieser Startbahn in vier Varianten (VL0 bis VL3) untersucht. Die Varianten VS0 und VL0 sind die Ausgangsvarianten der beiden Teilsysteme. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Varianten der beiden Teilsysteme nicht gegenseitig beeinflussen.

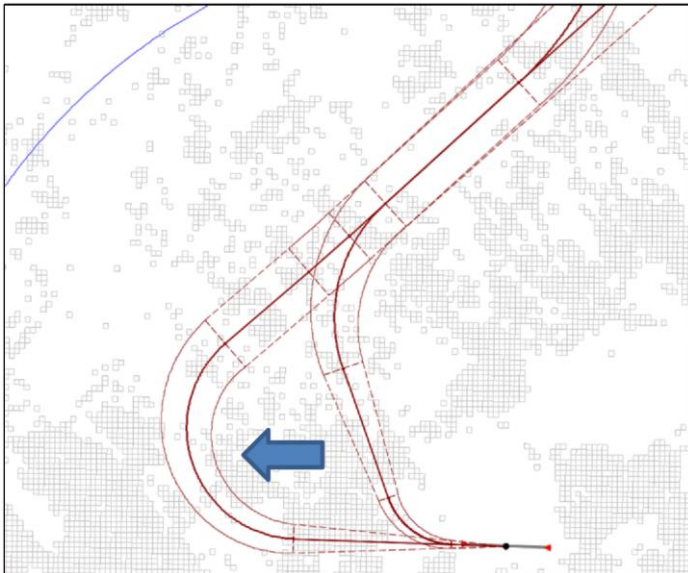
### 6.2.2.2 Abflüge Startbahn 27, Variante VS1: Verlagerung von Abflügen

Als Beispiel für die Veränderung von Flugrouten im Nahbereich eines Flughafens wurde eine DES-Variante erstellt, bei der eine größere Anzahl von Abflügen eine andere Routenführung zugewiesen wurde. Statt (wie im Referenz-DES schnellstmöglich nach Norden abzdrehen, werden diese nun etwa fünf Kilometer geradeaus geführt (siehe Abbildung 17).

Verlagert wurden Abflüge der Startbahn 27 von den „kurzen“ Abflugrouten Richtung Norden auf die „langen“ Abflugrouten, die weiter westlich des Flughafens verlaufen. Betroffen von der Verlagerung sind 6.251 Abflüge.

Eine derartige Änderung des Flugbetriebes kann in der Praxis beispielsweise dann zweckmäßig sein, wenn aus Lärmschutzgründen bestimmte Gebiete in der unmittelbaren Umgebung des Flughafens entlastet werden sollen. Ebenso kann diese Situation auftreten, wenn aus Flugsicherheitsgründen relevante Navigationsanlagen oder Wegpunkte geändert werden.

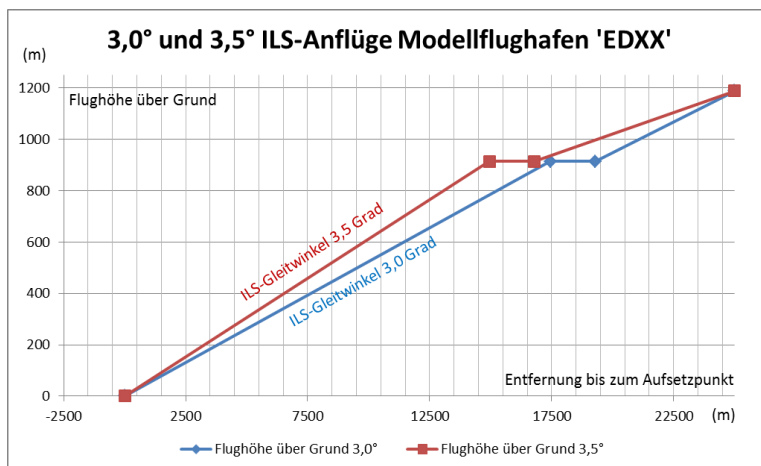
Abbildung 17: Verlagerung von Abflügen am Modellflughafen EDXX (Variante VS1)



### 6.2.2.3 Anflüge Startbahn 27, Variante VL1: Erhöhung des ILS-Gleitwinkels auf 3,5 Grad

Zur Entlastung der Anwohnerinnen und Anwohner in der unmittelbaren Nähe des Flughafens im Bereich des Endanflugs wurde der international übliche 3,0 Grad Anflugwinkel (Gleitwinkel) um 0,5 Grad erhöht. Dies führt zu einer höheren Überflughöhe im Bereich des Endanflugs ab ca. 17 km bis zum Aufsetzpunkt. In dieser DES-Variante werden daher alle Anflüge der Startbahn 27 von 3,0 auf 3,5 Grad angehoben. Der hieraus resultierende Flughöhenverlauf ist in Abbildung 18 skizziert.

Abbildung 18: ILS-Anflüge am Modellflughafen EDXX mit 3,0 und 3,5 Grad (Variante VL1)



### 6.2.2.4 Anflüge Startbahn 27, Variante VL2: Point-Merge-Anflugverfahren

Das sogenannte Point-Merge-Verfahren bietet die Möglichkeit, Anflüge in größerer Entfernung vom Flughafen in der für die Flugsicherung erforderlichen Reihenfolge und mit den erforderlichen Mindestabständen zu organisieren und dann über eine einzige Streckenführung zum Platz zu leiten. Die Anflüge werden hierbei deutlich vor dem Erreichen des Endanfluges gebündelt. Werden die Anflüge so

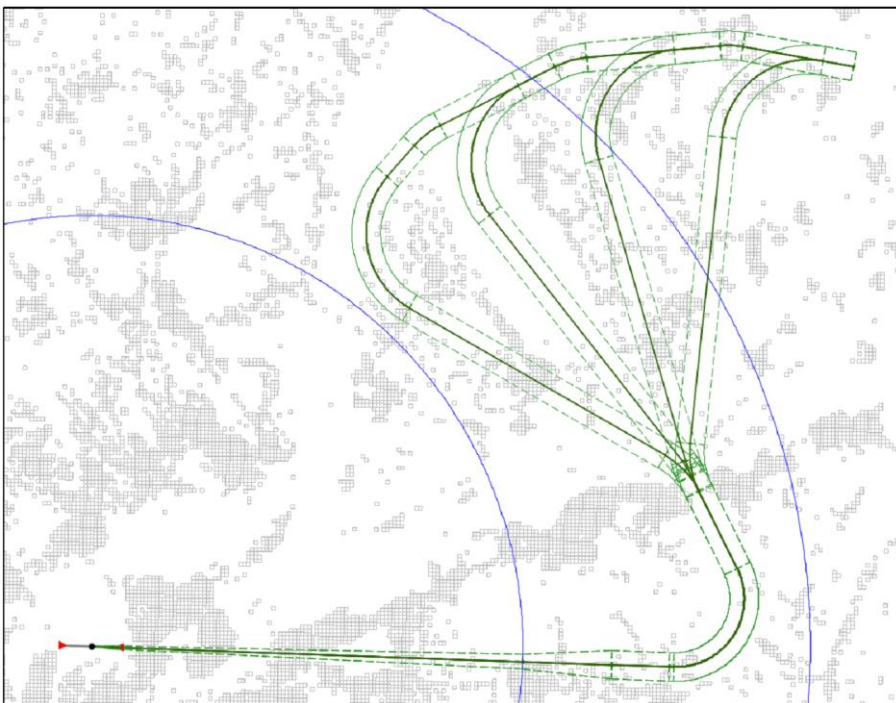
über wenig besiedeltes Gebiet geführt, so kann die Zahl der durch Fluglärm belasteten Personen vermindert werden.

In diesem Beispiel nutzen alle Anflüge der Startbahn 27 das Point-Merge-System (PMS). Die Verteilung der Anflüge auf die PMS-Varianten 1 bis 4 erfolgt nach folgendem Verteilungsschlüssel:

- ▶ 40 % PMS-Streckenführung 1  
(kürzester, erster Flugweg für Anflüge aus Richtung Osten)
- ▶ 30 % PMS-Streckenführung 2
- ▶ 20 % PMS-Streckenführung 3
- ▶ 10 % PMS-Streckenführung 4  
(längster, letzter Flugweg für Anflüge aus Richtung Osten)

Das Point-Merge-Anflugverfahren für die Startbahn 27 ist in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19: Point-Merge-System am Modellflughafen EDXX (Variante VL2)



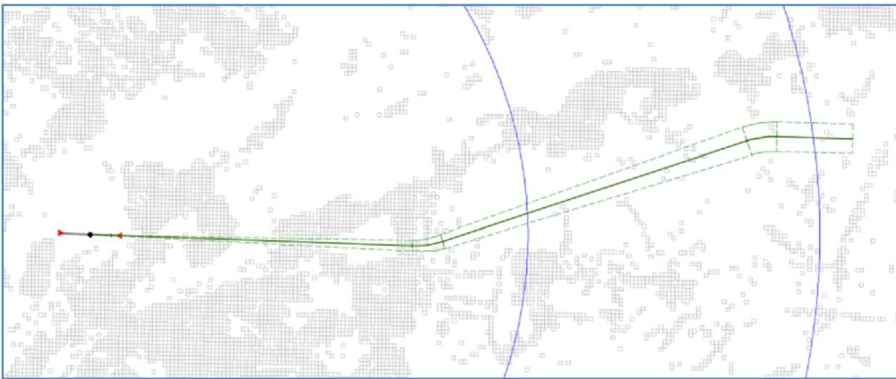
#### 6.2.2.5 Anflüge Startbahn 27, Variante VL3: Segmented RNAV-Approach

Der sogenannte Segmented RNAV-Approach kann dazu genutzt werden, den bei herkömmlichen Anflugverfahren sehr lange geradegaus geführten Endanflug über mehrere Streckenabschnitte (Segmente) zu variieren. In dieser DES-Variante praktizieren alle Anflüge auf Startbahn 27 einen Segmented RNAV Approach (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Segmented RNAV Approach am Modellflughafen EDXX (Variante VL3)

---

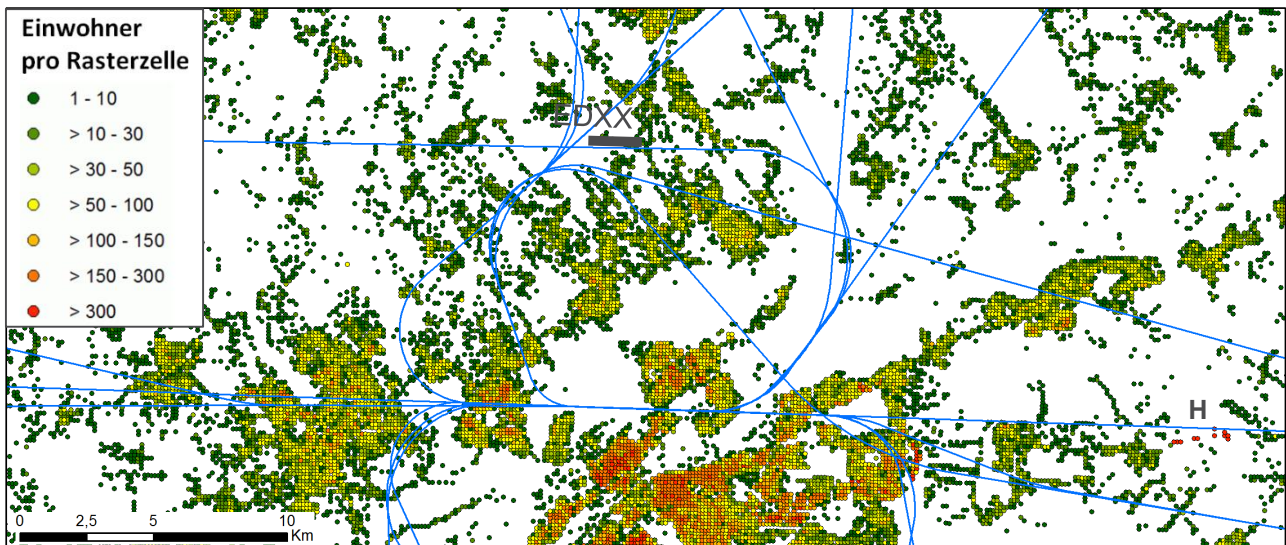


## 6.3 Anwendung des Bewertungsverfahrens auf den Modellflughafen

### 6.3.1 Berechnung der Fluglärmpegel

Die Berechnung der Fluglärmpegel  $L_{Aeq, Tag}$  und  $L_{Aeq, Nacht}$  erfolgt in einem Einwohnenden-Raster mit 125 m Rasterschrittweite. Berechnet werden nur Zellen mit einer Einwohnendenzahl  $\geq 1$ . Der Modellflughafen liegt am Rande einer dichten, aber heterogenen Siedlungsstruktur. In Verlängerung der Start- und Landebahn befinden sich teilweise ebenfalls dicht besiedelte Gebiete. Im Osten des Gebietes wird exemplarisch eine besonders dicht besiedelte Hochhaussiedlung („H“) überflogen (siehe Abbildung 21)

Abbildung 21: Anzahl der Personen pro Rasterzelle beim Modellflughafen EDXX



Berechnet werden die in Abschnitt 6.2.2 vorgestellten Varianten der Flugroutensysteme:

- ▶ Varianten VS0, VL0: Ausgangssituation
- ▶ Variante VS1: Verlagerung von Abflügen
- ▶ Variante VL1: Erhöhung des ILS-Gleitwinkels auf 3,5 Grad
- ▶ Variante VL2: Point-Merge-Anflugverfahren
- ▶ Variante VL3: Segmented RNAV-Approach

Die in den Rasterzellen berechneten Pegel werden in Abbildung 22 bis Abbildung 26 für den Tag und in Abbildung 27 bis Abbildung 31 für die Nacht flächenhaft dargestellt.

Abbildung 22: Variante VS0, VL0, Dauerschallpegel Tag

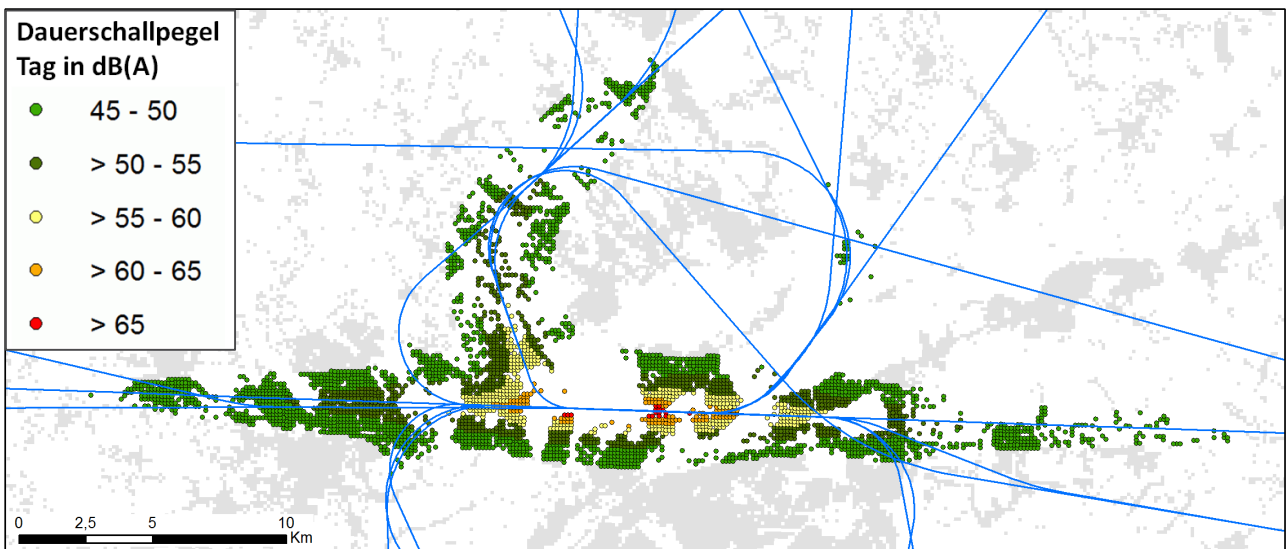


Abbildung 23: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Dauerschallpegel Tag

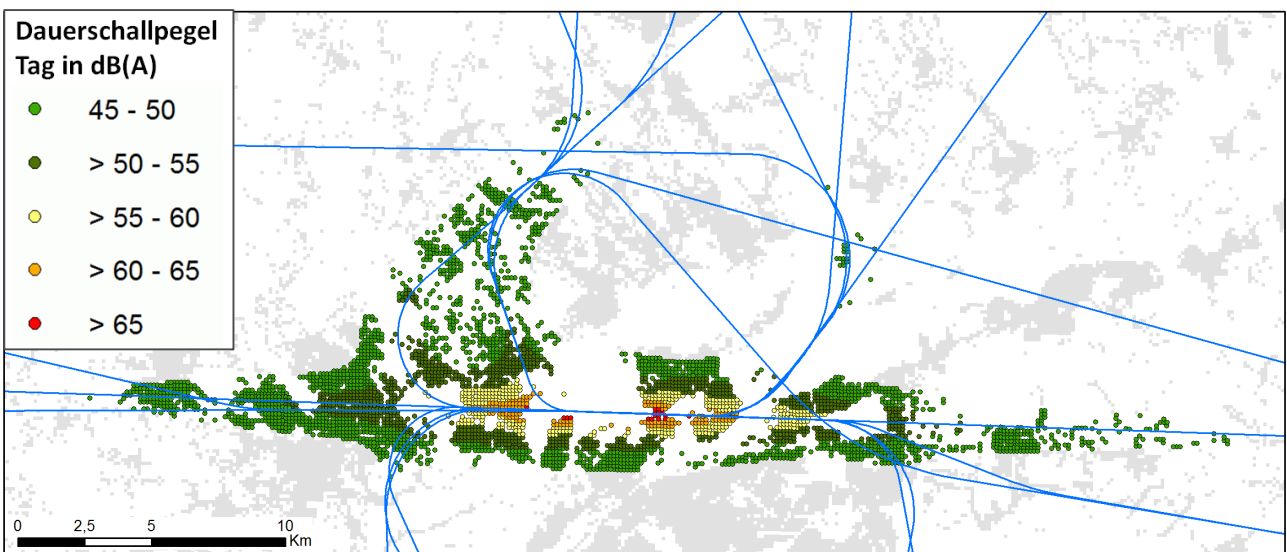


Abbildung 24: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Dauerschallpegel Tag

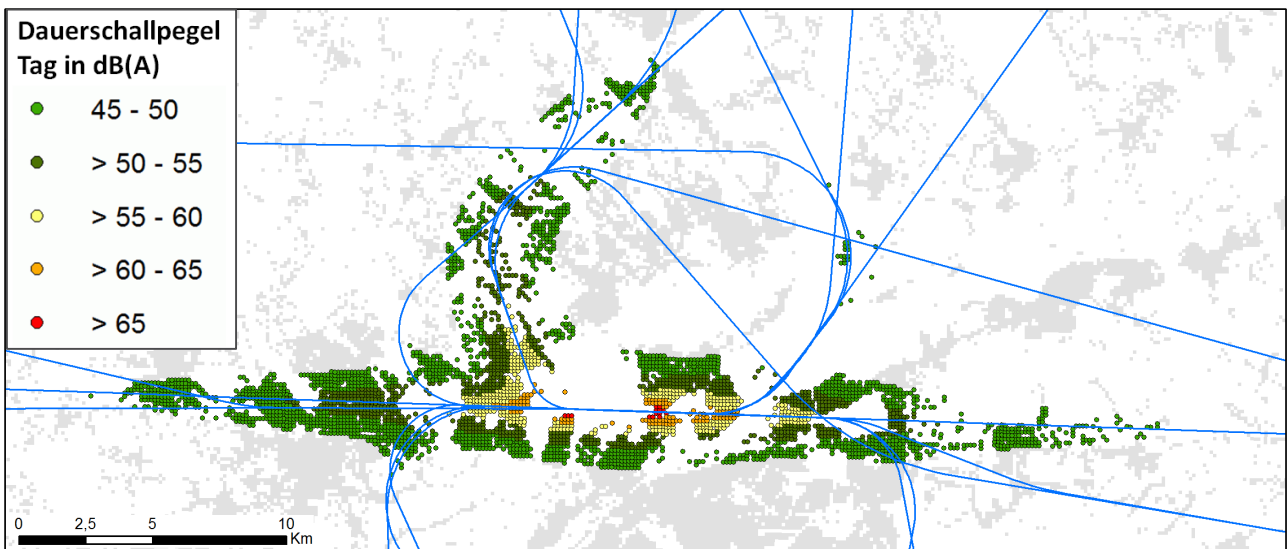


Abbildung 25: Variante VL2 (Point Merge), Dauerschallpegel Tag

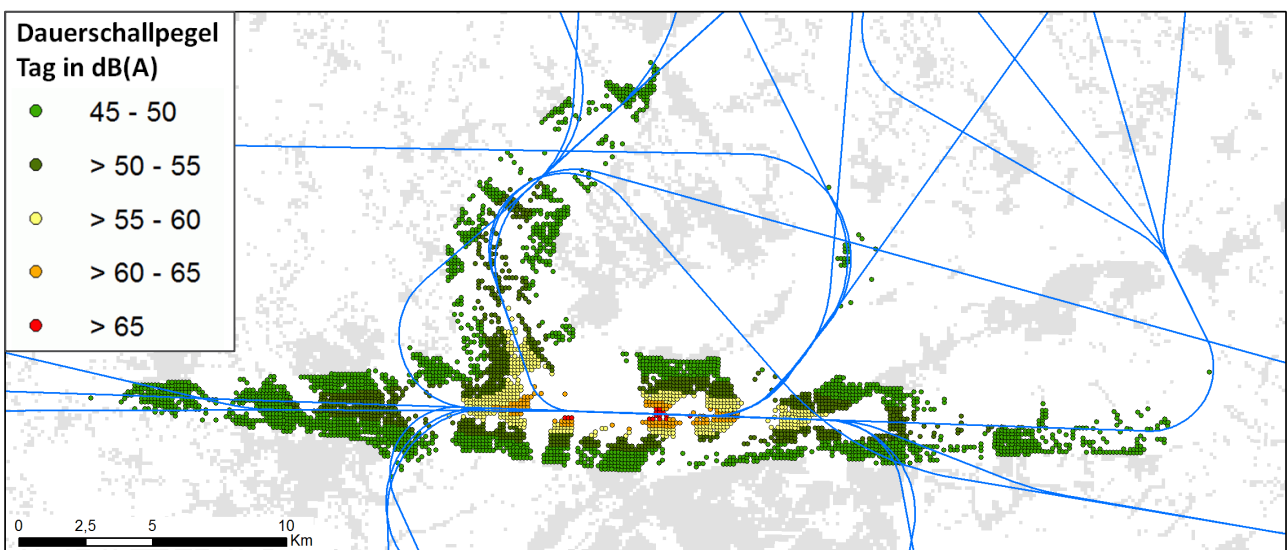


Abbildung 26: Variante VL3 (Segmented Approach), Dauerschallpegel Tag

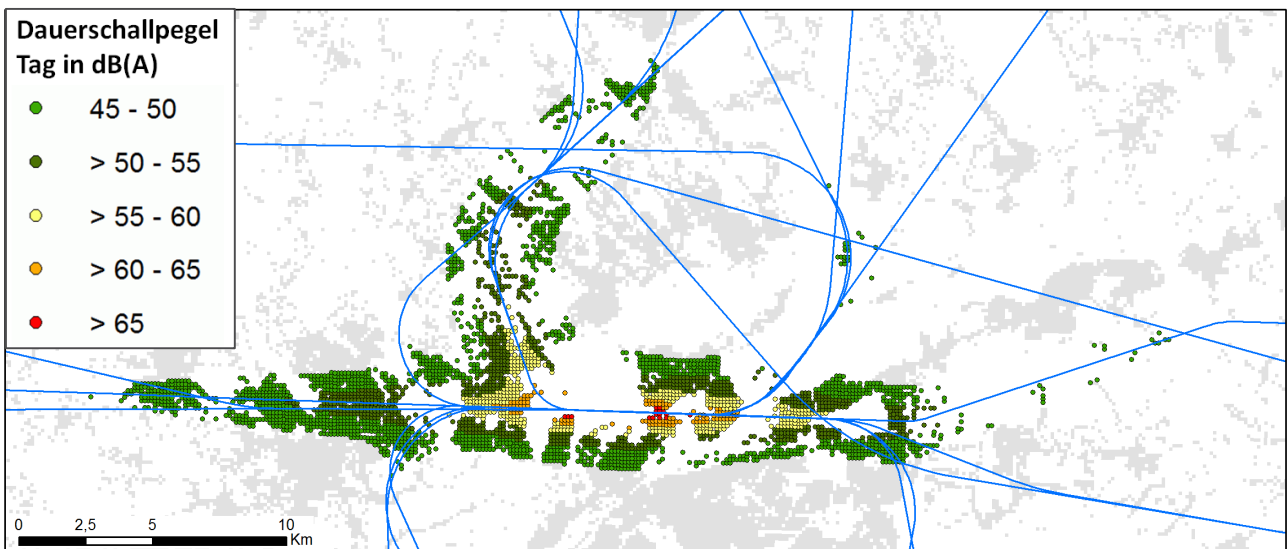


Abbildung 27: Variante VS0, VL0, Dauerschallpegel Nacht

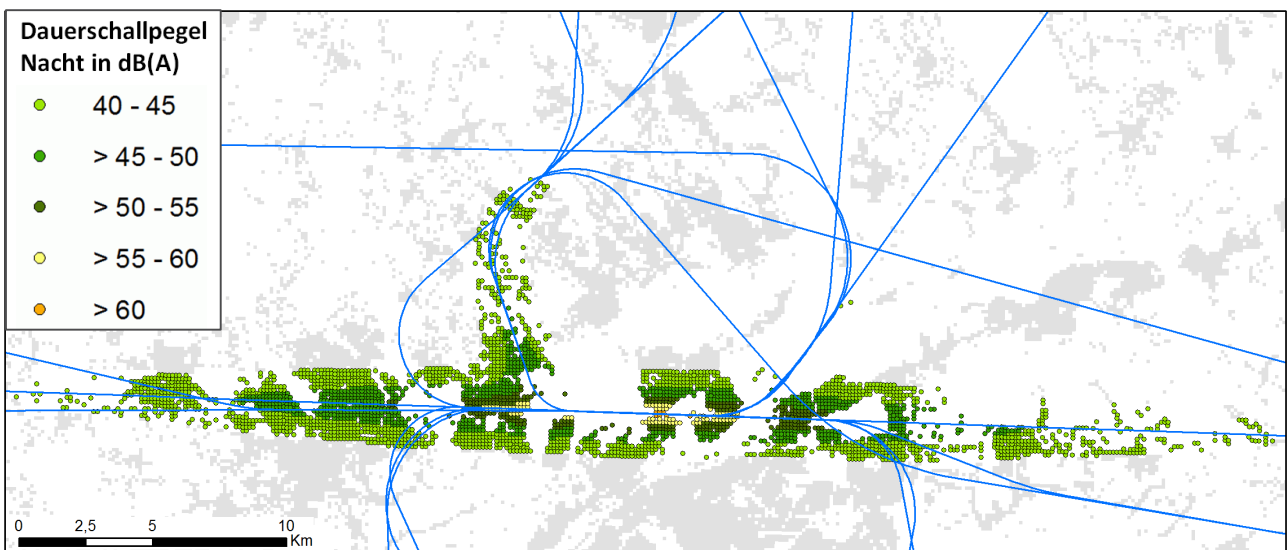


Abbildung 28: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Dauerschallpegel Nacht

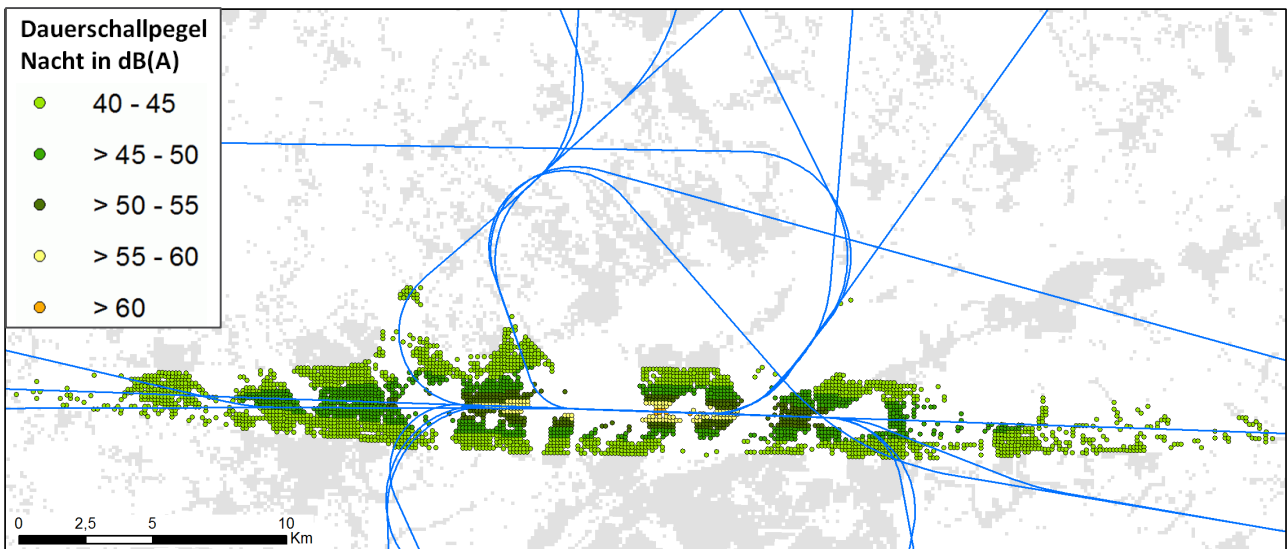


Abbildung 29: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Dauerschallpegel Nacht

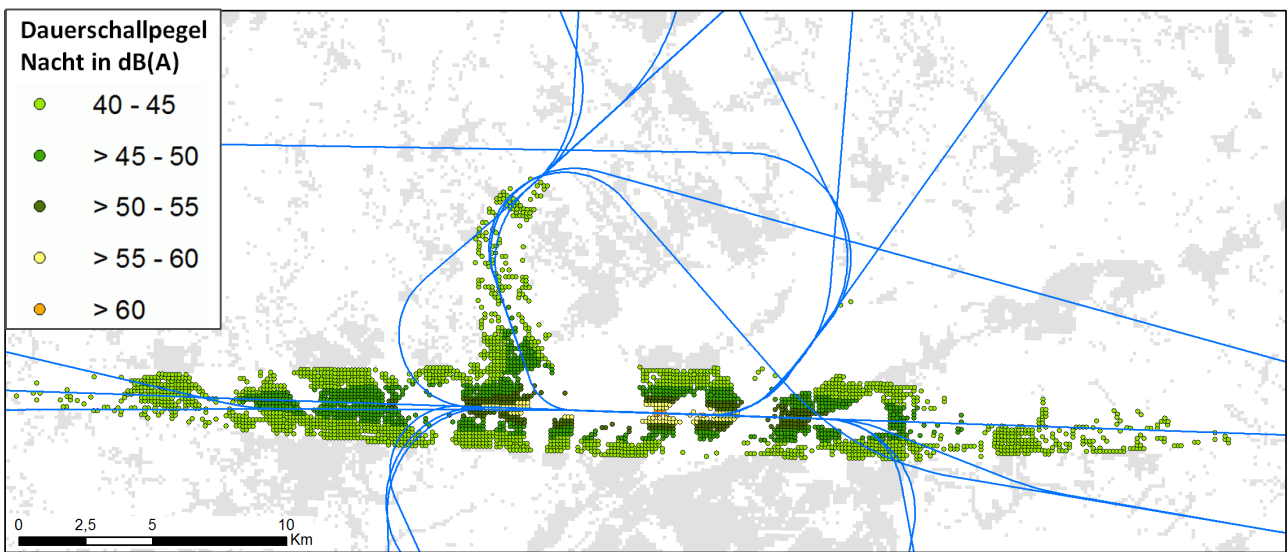




Abbildung 30: Variante VL2 (Point Merge), Dauerschallpegel Nacht

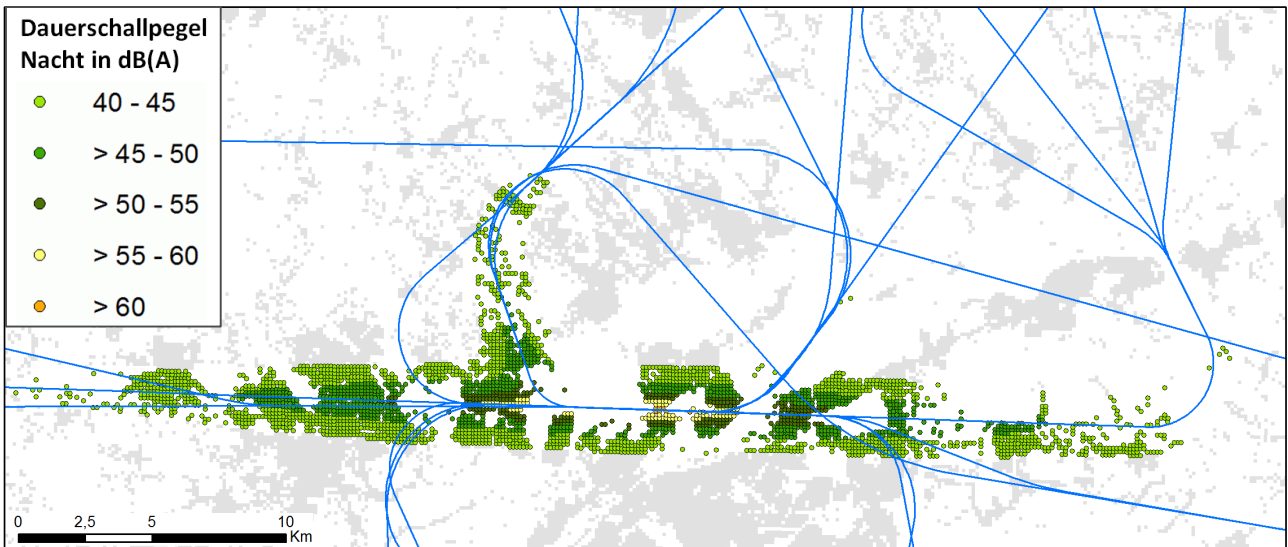
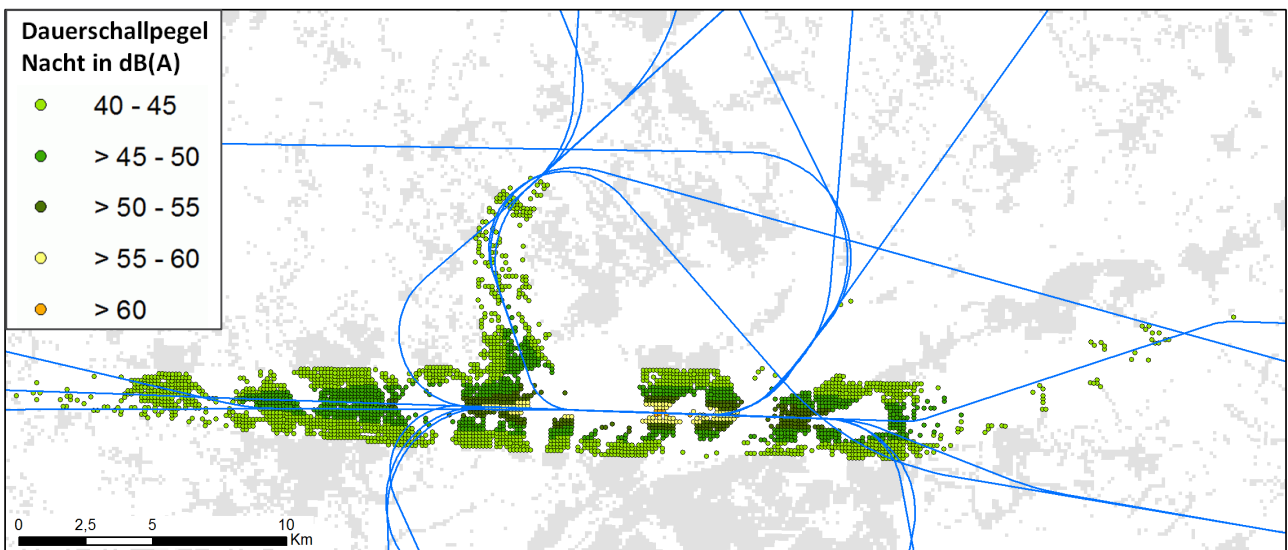


Abbildung 31: Variante VL3 (Segmented Approach), Dauerschallpegel Nacht



### 6.3.2 Beurteilung der Gesundheitsrisiken bei der Flugroutenfestlegung

Zur Beurteilung der Gesundheitsrisiken bei der Flugroutenfestlegung wird zunächst für das gesamte Untersuchungsgebiet ( $L_{Aeq, Tag} \geq 45 \text{ dB(A)}$  und  $L_{Aeq, Nacht} \geq 40 \text{ dB(A)}$ ) die Population Attributable Fraction,  $PAF_{Ges}$  für jede Flugroutenvariante gemäß Abschnitt 6.1.2.1 berechnet und dargestellt (siehe Abbildung 32 und Tabelle 9).

Abbildung 32: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction,  $PAF_{Ges}$

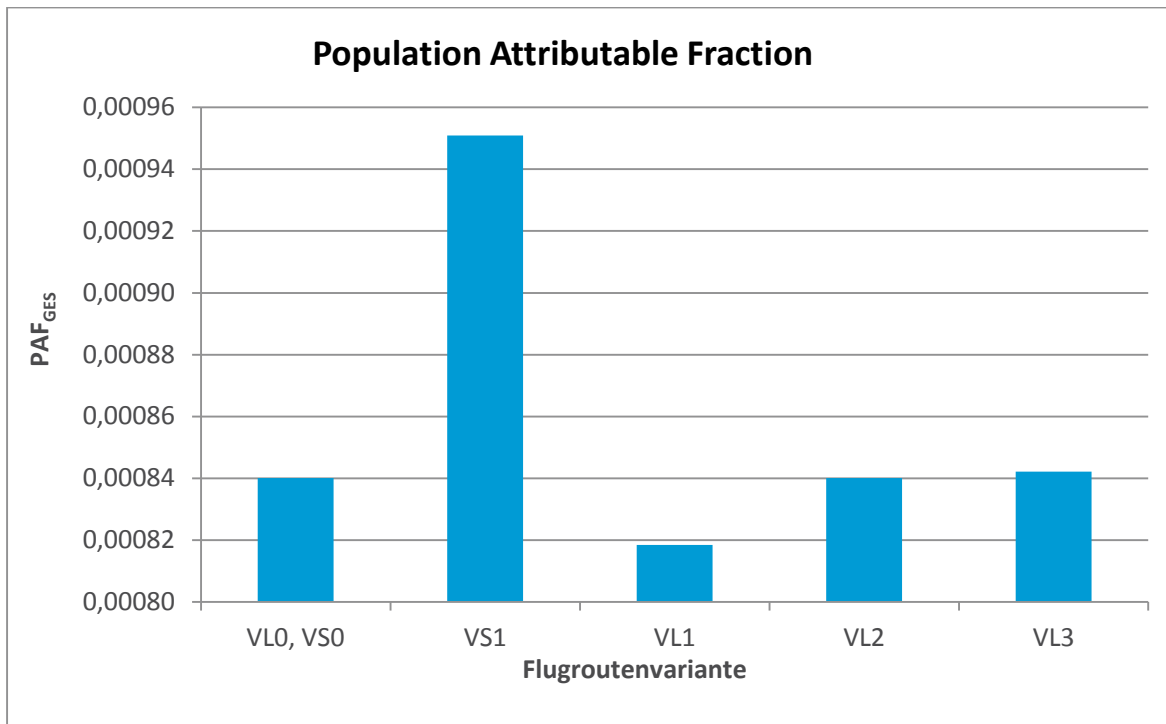
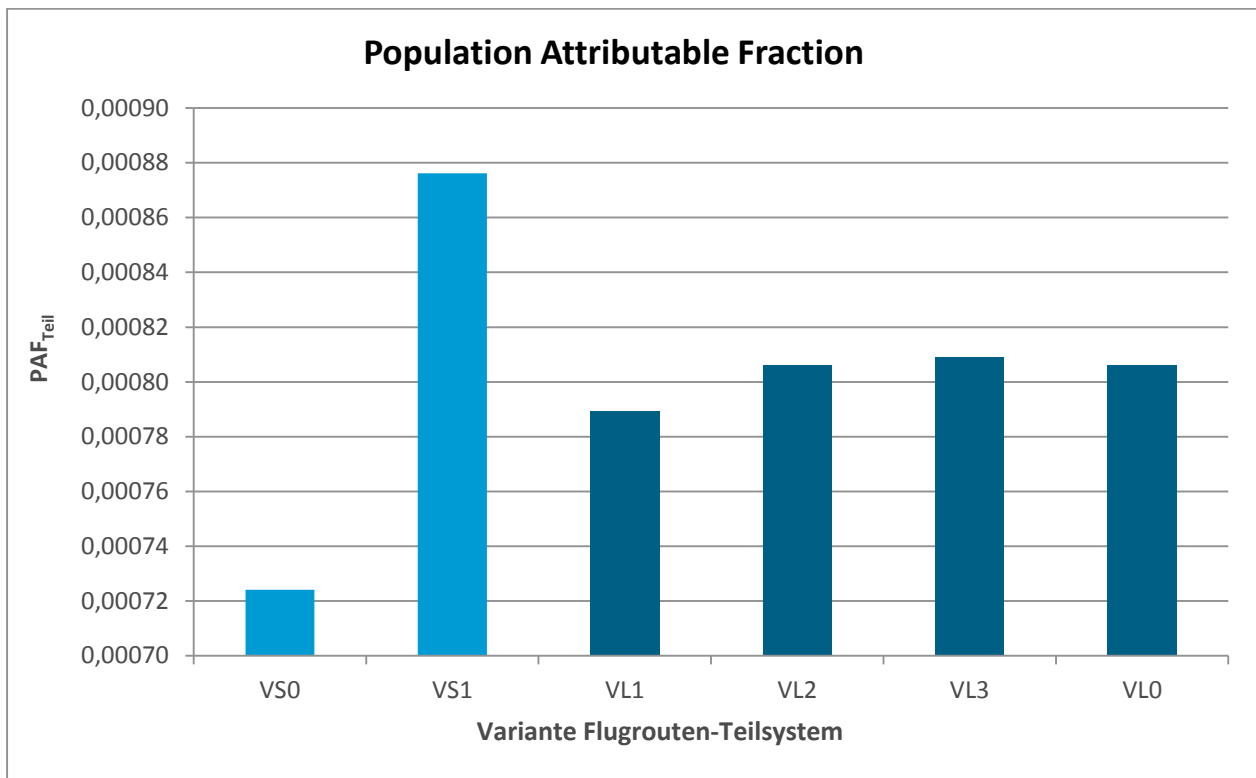


Tabelle 9: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction,  $PAF_{Ges}$

Flugroutenvariante	$PAF_{Ges}$
Variante VS0 Variante VL0	0,00084 (100 %)
Variante VS1	0,00095 (113 %)
Variante VL1	0,00083 (97 %)
Variante VL2	0,00084 (100 %)
Variante VL3	0,00084 (100 %)

Abbildung 33: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction, PAF<sub>Teil</sub>



In den Darstellungen werden die Varianten der Flugrouten-Teilsysteme „Abflüge Startbahn 27, VS“ (blau) und „Anflüge Startbahn 27, VL“ (rot) gemeinsam dargestellt. Die Ausgangsvarianten der VS0 und VL0 der Teilsysteme unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen eingeschränkten Untersuchungsgebiete.

Tabelle 10: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Population Attributable Fraction, PAF<sub>Teil</sub>

Flugroutenvariante	PAF <sub>Teil</sub>
Variante VS0	0,00072 (100 %)
Variante VL0	0,00081 (100 %)
Variante VS1	0,00088 (121 %)
Variante VL1	0,00079 (98 %)
Variante VL2	0,00081 (100 %)
Variante VL3	0,00081 (100 %)

### 6.3.3 Berechnung der Varianten-Prüfwerte

Für jede Rasterzelle werden die Anteile belästigter beziehungsweise schlafgestörter Personen als Produkt  $N \times \%A$  für den Tag (vergleiche Abbildung 34 bis Abbildung 38) und  $N \times \%SD$  für die Nacht (vergleiche Abbildung 39 bis Abbildung 43) gemäß Abschnitt 6.1.2.2 ermittelt und flächenhaft dargestellt.

Die Darstellungen weisen auf „Hot-Spots“ der Fluglärmbelastung hin. Hohe Werte setzen sich zusammen aus besonders hohen Dauerschallpegeln, hoher Siedlungsdichte oder beiden Eigenschaften zusammen. Für die im Osten des Gebietes simulierte Hochhaussiedlung wird ein besonderer „Hot-Spot“ ausgewiesen, der für die Abwägung der untersuchten Flugroutensysteme von Bedeutung ist.

Abbildung 34: Variante VS0, VLO, Belastung  $N \times \%A$  (Tag)

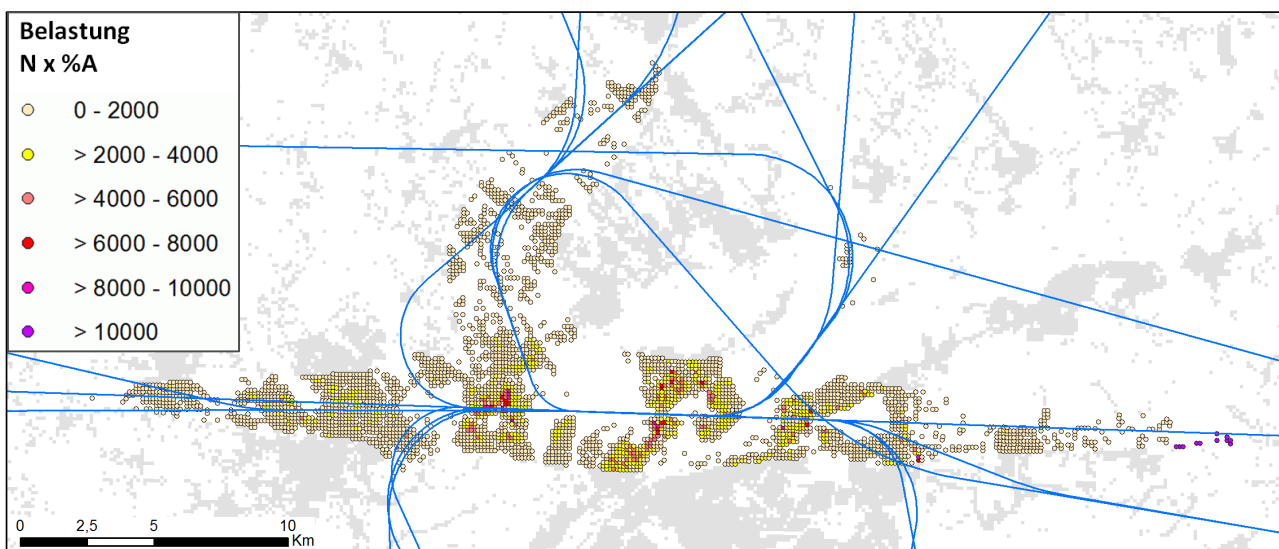


Abbildung 35: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Belastung  $N \times \%A$  (Tag)

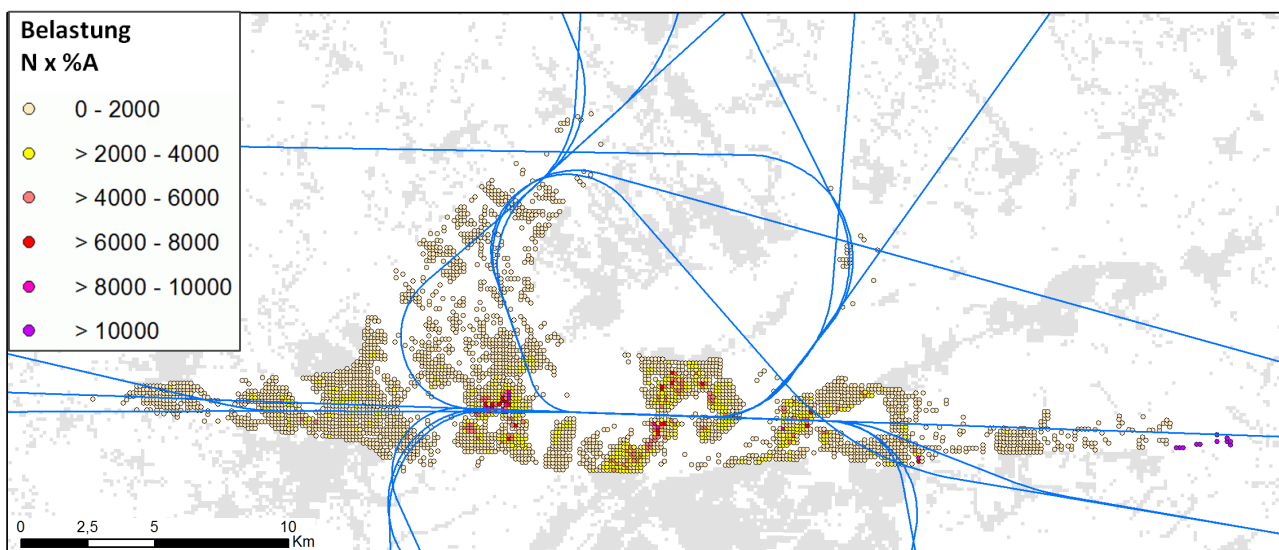


Abbildung 36: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Belastung N x %A (Tag)

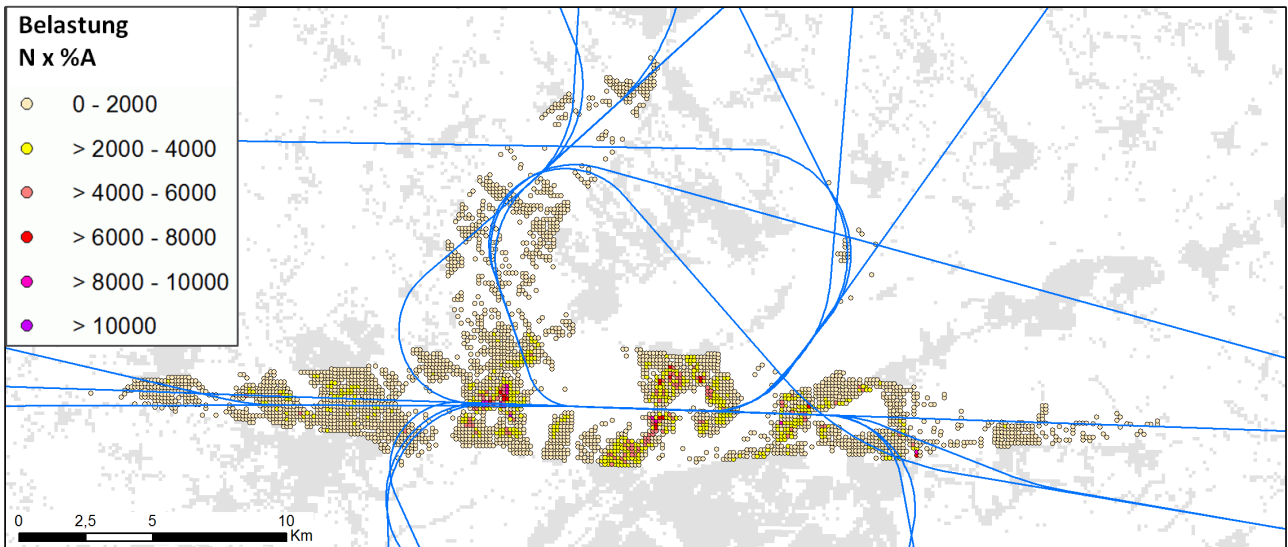


Abbildung 37: Variante VL2 (Point Merge), Belastung N x %A (Tag)

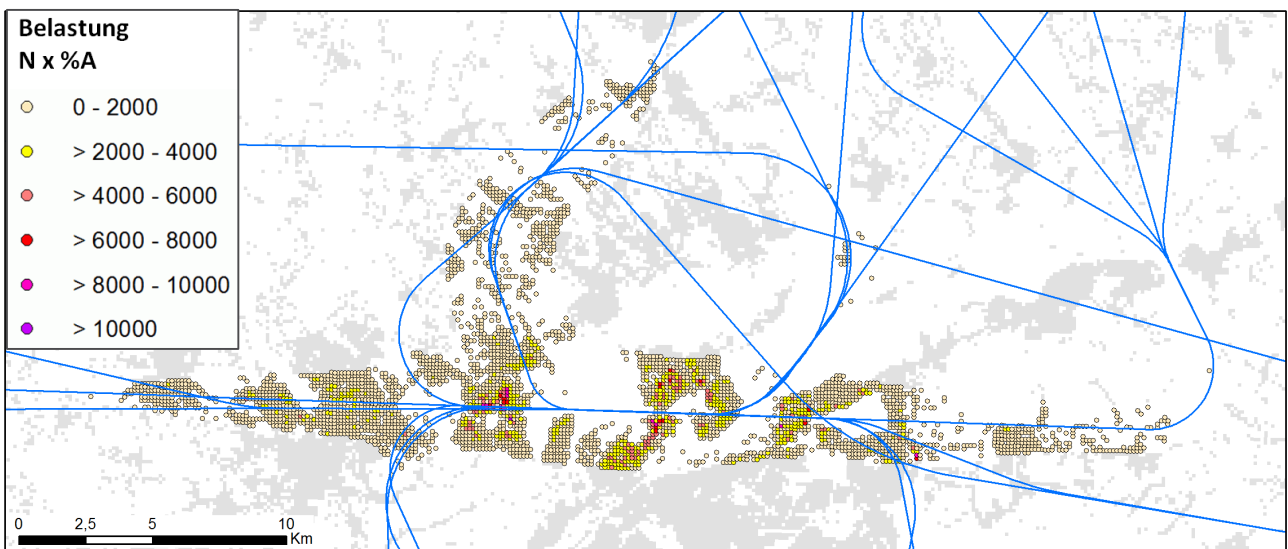


Abbildung 38: Variante VL3 (Segmented Approach), Belastung N x %A (Tag)

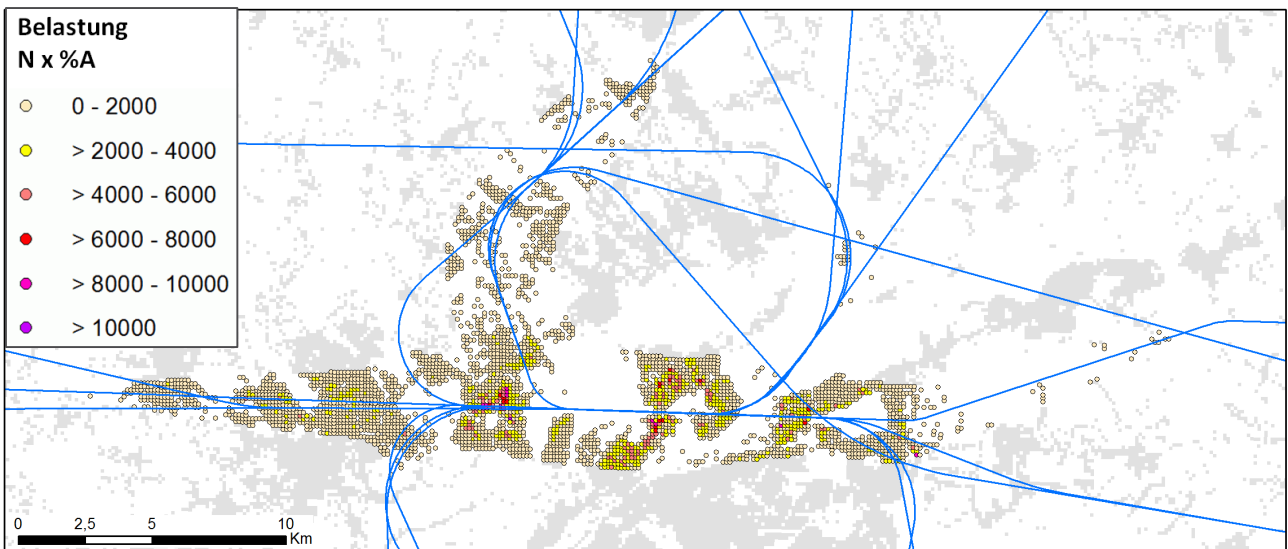


Abbildung 39: Variante VS0, VLO, Belastung N x %SD (Nacht)

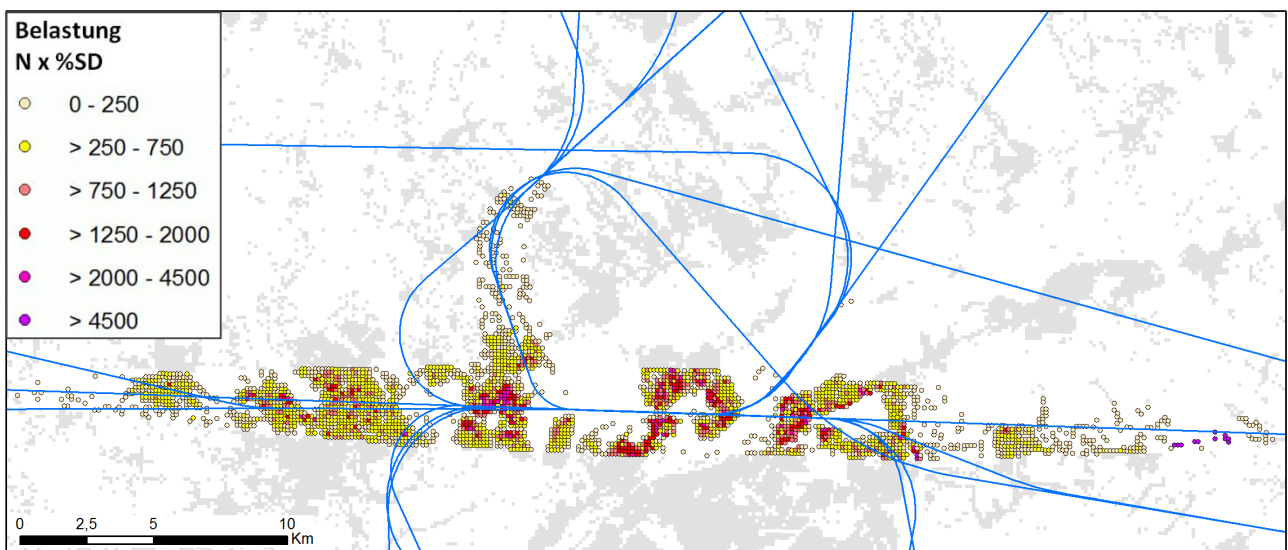




Abbildung 40: Variante VS1 (Verlagerung Abflüge), Belastung N x %SD (Nacht)

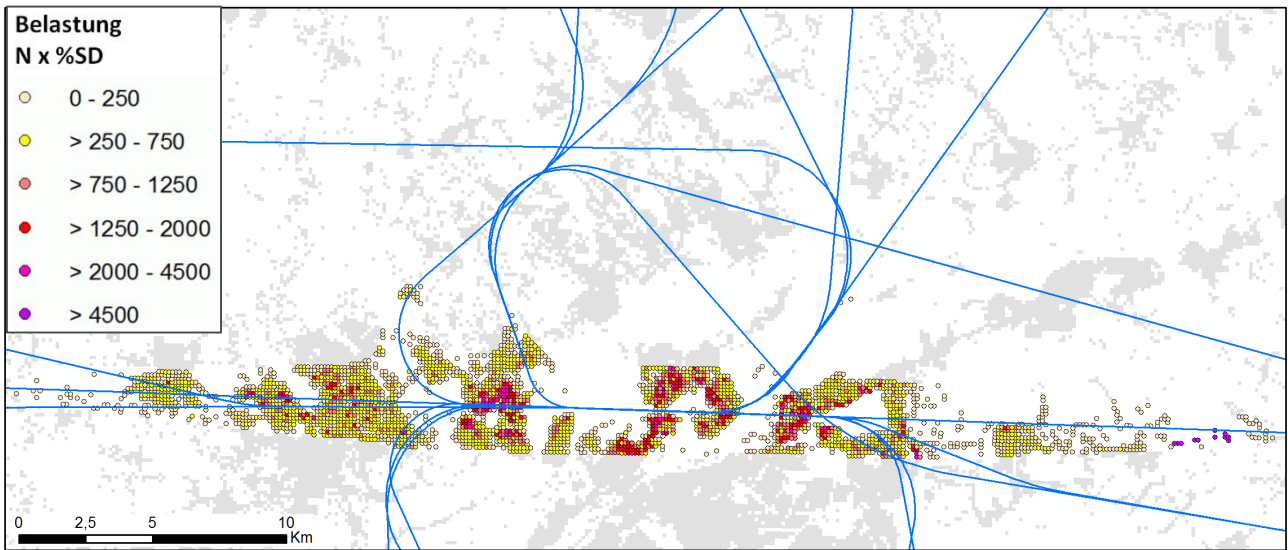


Abbildung 41: Variante VL1 (Erhöhung ILS-Gleitwinkel), Belastung N x %SD (Nacht)

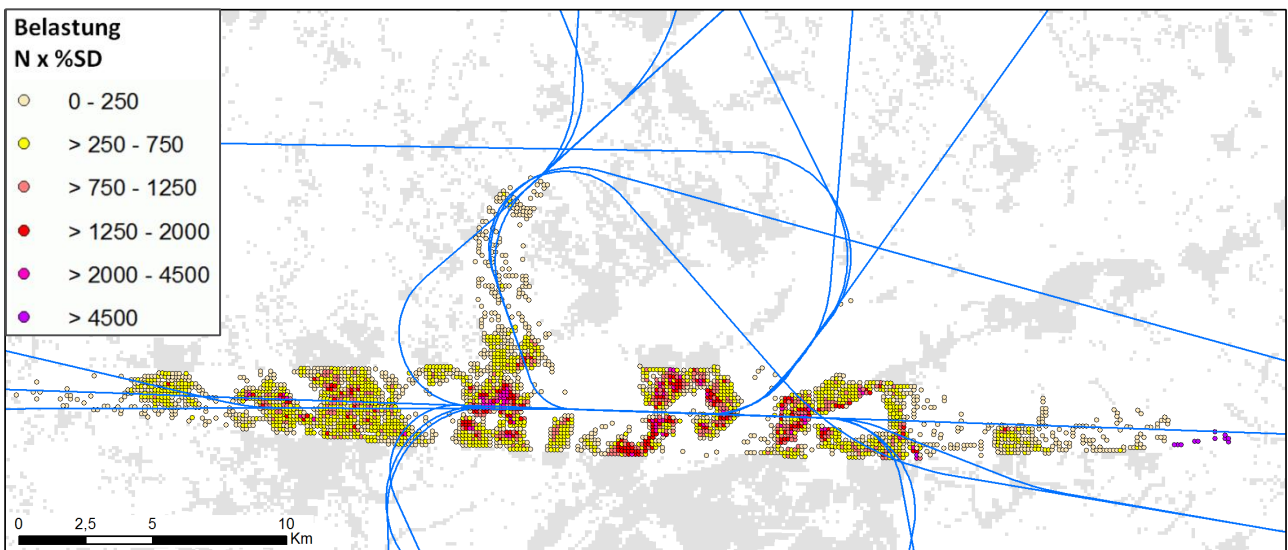


Abbildung 42: Variante VL2 (Point-Merge-Verfahren), Belastung N x %SD (Nacht)

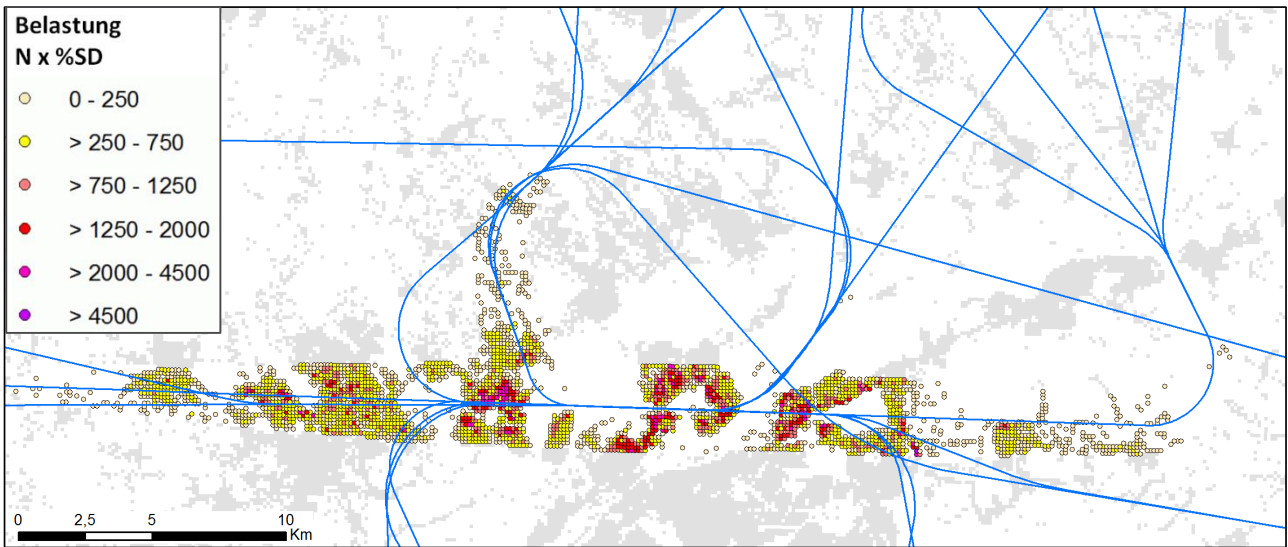
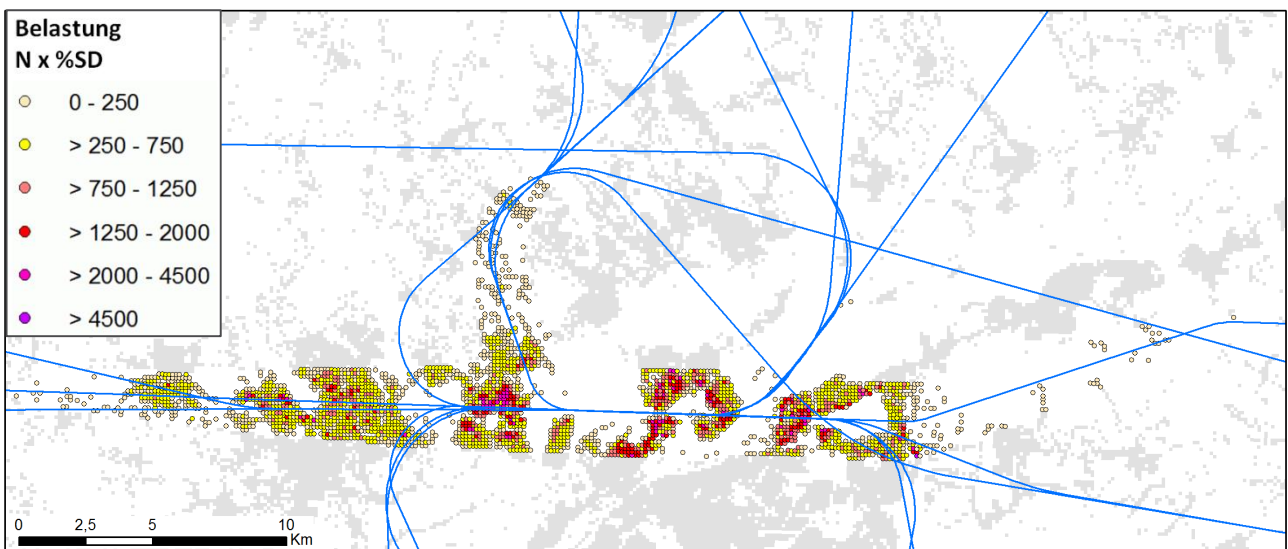


Abbildung 43: Variante VL3 (Segmented Approach), Belastung N x %SD (Nacht)



Die Bildung der Prüfwerte VPT und VPN erfolgt über die Aufsummierung der dargestellten Belastungswerte gemäß Abschnitt 6.1.2.2 zunächst im gesamten Untersuchungsgebiet ( $L_{Aeq, Tag} \geq 45 \text{ dB(A)}$  und  $L_{Aeq, Nacht} \geq 40 \text{ dB(A)}$ ). In Abbildung 44 und Abbildung 45 sind die Prüfwerte grafisch und in Tabelle 11 mit ihren Beträgen absolut und relativ dargestellt.

Abbildung 44: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Tag,  $VPT_{Ges}$

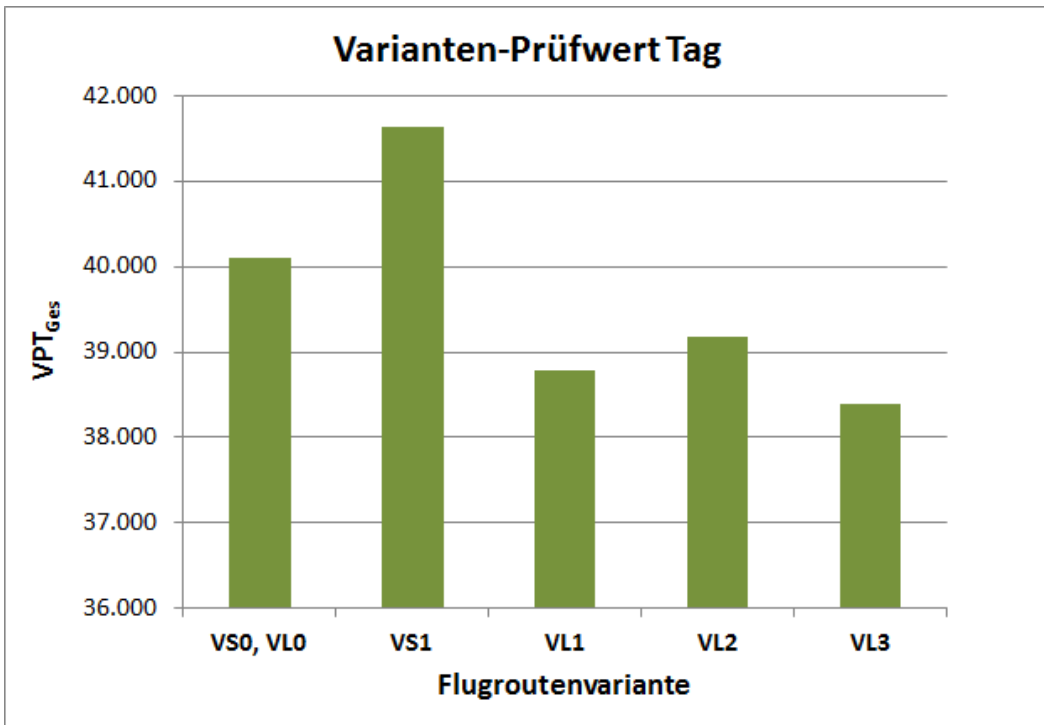


Abbildung 45: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Nacht,  $VPN_{Ges}$

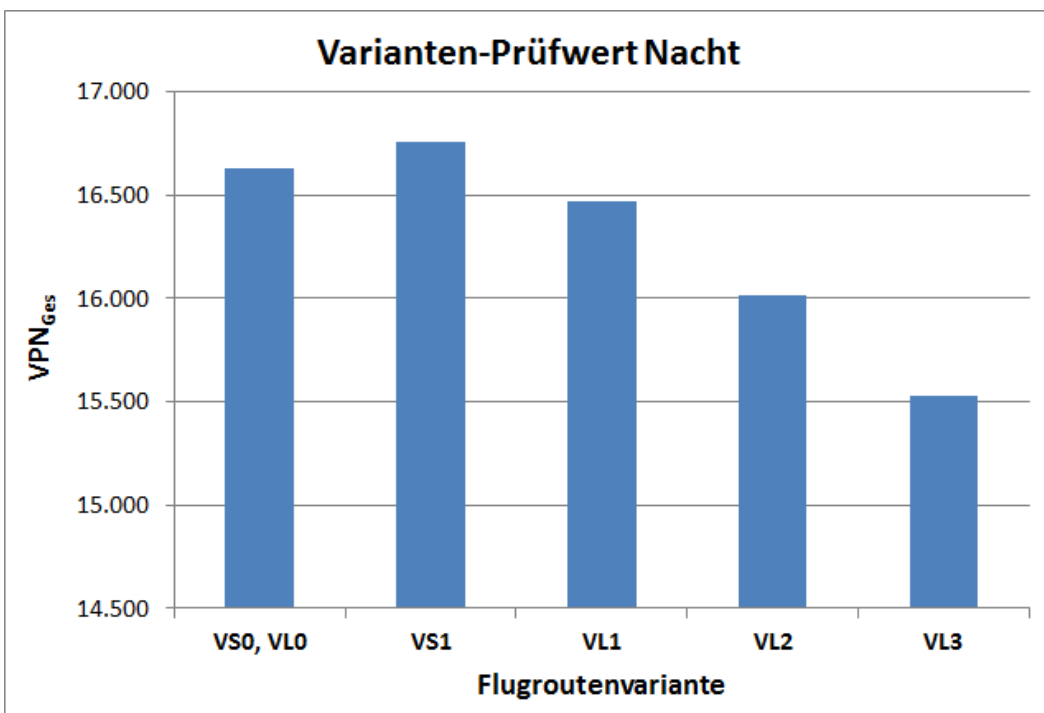


Tabelle 11: Modellflughafen, gesamtes Untersuchungsgebiet,  
Varianten-Prüfwerte  $VPT_{Ges}$  und  $VPN_{Ges}$

Flugroutenvariante	$VPT_{Ges}$	$VPN_{Ges}$
<b>Variante VS0</b> <b>Variante VL 0</b>	40.102 (100 %)	16.628 (100 %)
<b>Variante VS1</b>	41.611 (104 %)	16.754 (101 %)
<b>Variante VL1</b>	38.787 (97 %)	16.467 (99 %)
<b>Variante VL2</b>	39.175 (98 %)	16.018 (96 %)
<b>Variante VL3</b>	38.397 (96 %)	15.526 ( <b>93 %</b> )

Aus Tabelle 8 geht hervor, dass im gesamten Untersuchungsgebiet die Tag-Varianten statistisch nicht unterscheidbar sind; der geforderte Abstand von 5 % wird von keinem Prüfwert einer Variante erreicht (bester Wert bei 96 %). Die Nacht-Variante VL3 hingegen ist mit einem Prüfwertabstand von 7 % (93 %) als Vorzugsvariante zu identifizieren.

Sofern der Varianten-Prüfwert der Gesamtuntersuchung eine statistisch unterscheidbare Vorzugsvariante für den Tag beschreibt, wäre zu prüfen, ob die Population Attributable Fraction,  $PAF_{Ges}$  dieser Variante schlechter als die Ausgangsvariante ist (siehe Abbildung 32 und Tabelle 9). Für eine entsprechende Prüfung von Varianten-Prüfwerten eines eingeschränkten Untersuchungsgebietes sind Population Attributable Fraction,  $PAF_{Teil}$  dieser Varianten heranzuziehen (siehe Abbildung 33 und Tabelle 10).

Für die Nacht ist in der exemplarischen Berechnung kein weiterer Abgleich mit der Prüfung auf Gesundheitsrisiken vorgesehen, da die Odds Ratios nur für den Tagzeitraum definiert sind.

Zur weiteren Differenzierung der Varianten - hier insbesondere für den Tag - wird das Untersuchungsgebiet eingeschränkt. Da die Produkte  $N \times \%A$  für den Tag und  $N \times \%SD$  für die Nacht bereits für das gesamte Untersuchungsgebiet bekannt sind, ist für die Bildung der Prüfwerte  $VPT_{Teil}$  und  $VPN_{Teil}$  nur die Teilmenge des eingeschränkten Gebietes zu summieren.

In Abbildung 46 und Abbildung 47 sind die Prüfwerte des eingeschränkten Gebietes grafisch und in Tabelle 12 mit ihren Beträgen absolut und relativ dargestellt.

Abbildung 46: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Tag,  $VPT_{Teil}$

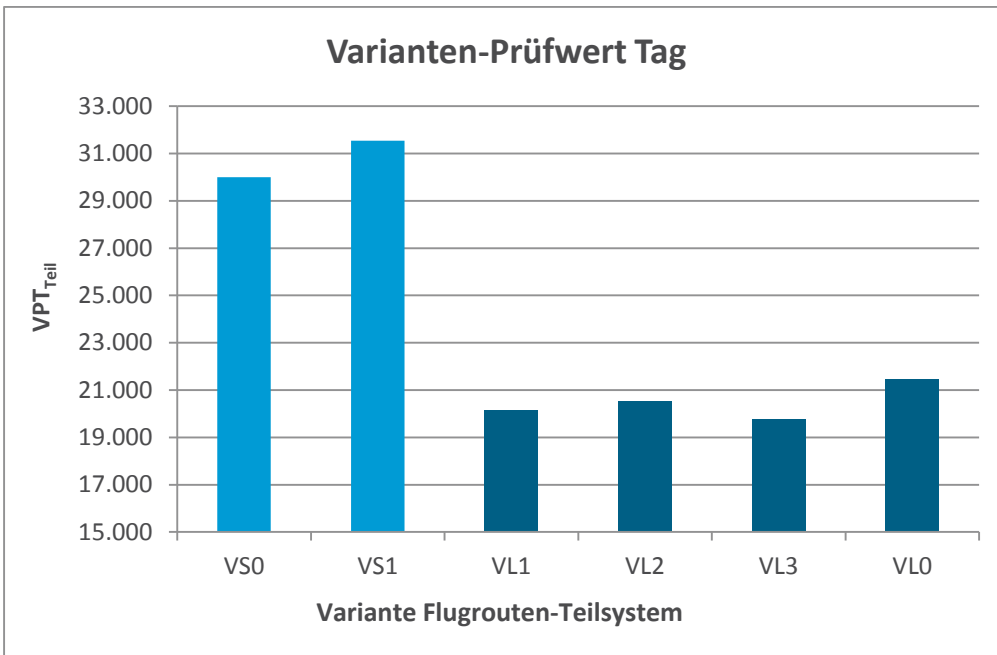
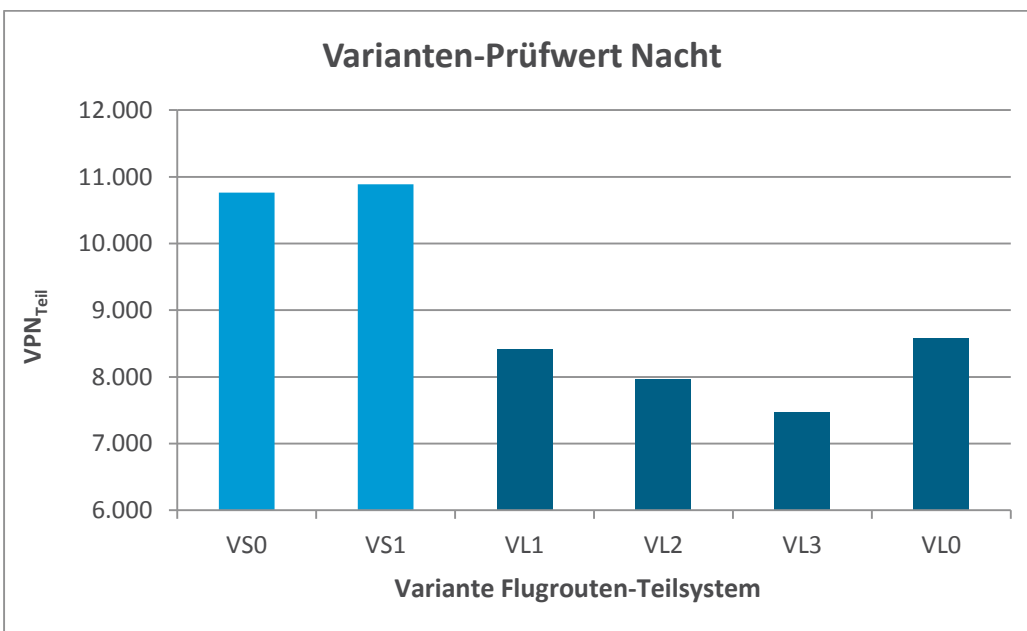


Abbildung 47: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwert Nacht,  $VPN_{Teil}$



In den Abbildung 49 und 50 werden die Varianten der Flugrouten-Teilsysteme „Abflüge Startbahn 27, VS“ (blau) und „Anflüge Startbahn 27, VL“ (rot) gemeinsam dargestellt. Die Ausgangsvarianten der VS0 und VL0 der Teilsysteme unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen eingeschränkten Untersuchungsgebiete.

Tabelle 12: Modellflughafen, eingeschränktes Untersuchungsgebiet, Varianten-Prüfwerte  $VPT_{Teil}$  und  $VPN_{Teil}$

Flugroutenvariante	$VPT_{Teil}$	$VPN_{Teil}$
Variante VS0	30.001 (100 %)	10.762 (100 %)

Flugroutenvariante	VPT <sub>Teil</sub>	VPN <sub>Teil</sub>
Variante VL0	21.460 (100 %)	8.576 (100 %)
Variante VS1	31.534 (105 %)	10.888 (101 %)
Variante VL1	20.145 ( <b>94 %</b> )	8.415 (98 %)
Variante VL2	20.536 (96 %)	7.965 ( <b>93 %</b> )
<b>Variante VL3</b>	<b>19.756 (92 %)</b>	<b>7.474 (87 %)</b>

Neben der bereits für das gesamte Untersuchungsgebiet identifizierten Nacht-Vorzugsvariante VL3 lässt sich auch die Flugroutenvariante VL2 von der Ausgangsvariante VL0 statistisch unterscheiden. Sie ist schlechter als Variante VL3. Die Variante VL3 bleibt somit die Vorzugsvariante in der Nacht.

Für den Tag können in der Teilbetrachtung die Varianten VL1 (94 %) und VL4 (92 %) von der Ausgangsvariante VL0 statistisch unterschieden werden. Untereinander sind sie jedoch mit einem Abstand von nur 2 % nicht zu unterscheiden. Die Population Attributable Fraction PAF<sub>Teil</sub> der Varianten VL1 und VL3 sind nicht schlechter als für die Ausgangsvariante VL0. Sie sind damit gemeinsam als Vorzugsvarianten für den Tag zu betrachten. Da in der Nacht nur Variante VL3 Vorzugsvariante ist, wird die Variante VL3 sowohl für den Tag als auch für die Nacht als Vorzugsvariante ausgewählt.

#### 6.3.4 Diskussion der Berechnungsergebnisse

Es zeigt sich, dass das Bewertungsmodell eine klare Unterscheidung der einzelnen Flugroutenvarianten des Modellflughafens über die Prüfwerte ermöglicht. Das große Untersuchungsgebiet und der maßgebliche Einfluss hoher Dauerschallpegel von unveränderten Flugrouten in Flughafennähe führen jedoch zu vergleichsweise geringen Änderungen der Prüfwerte für die untersuchten Flugroutensysteme. Selbst die größten Prüfwert-Abweichungen zur Variante 0 betragen hier weniger als 5 %. Erst in einem eingeschränkten Untersuchungsgebiet sind Vorzugsvarianten mit einer Verbesserung von mehr als 5 % gegenüber der Ausgangsvariante V0 statistisch unterscheidbar.

Bei den betrachteten Varianten zeigt sich für den Modellflughafen, dass sowohl eine Anhebung des Anflugwinkels (Variante VL1), ein Point-Merge-System (Variante VL2) als auch ein Segmented RNAV Approach (Variante VL3) die Lärmsituation verbessern (vergleiche Abbildung 44 und Abbildung 45). Die in Variante VS1 untersuchte Verlagerung der Abflüge hingegen führt besonders am Tag zu höheren Prüfwerten mit einer höheren Gesamt-Fluglärmbelastung. Durch die Verlagerung werden einige hochbelastete Einwohnerinnen und Einwohner entlastet und gleichzeitig viele Menschen durch mittlere Pegel neu belastet, sodass netto eine Mehrbelastung erzeugt wird.

Von Variante VL1 (Erhöhung des ILS-Gleitwinkels) werden sämtliche Personen unter den Anflugrouten entlastet. In der Nacht führt diese Entlastung zu einer erwarteten leichten Abnahme des Prüfwertes VPN. Am Tag wird jedoch eine deutlich größere Reduzierung des VPT erreicht. Dies ist im konkreten Fall darauf zurückzuführen, dass die Tag-Dauerschallpegel an der Hochhaussiedlung durch die Routenanhebung unter 45 dB(A) fallen. Damit wird die Belastung dieser dicht besiedelten Region bei der Bildung des VPT nicht mehr berücksichtigt und der Prüfwert sinkt sprunghaft ab.



### 6.3.5 Belastete Personen in Pegelbereichen

Varianten-Prüfwerte und Population Attributable Fractions sind abstrakte Größen für die Bewertung von Flugroutenvarianten. Ein mit anderen Lärmarten vergleichbares bekanntes Maß der Lärmbelastung ist daraus nicht abzuleiten. Eine ergänzende und informative Darstellung belasteter Personen in Pegelbereichen ermöglicht jedoch diese Bewertung.

Die in der Umgebung des Modellflughafens berechneten Dauerschallpegel lassen sich in Pegelbereiche gruppieren und in Bezug auf die belasteten Personen darstellen (vgl. Abbildung 48 und Abbildung 49). Für die Summen der von Pegeln ab 45 dB(A) am Tag und ab 40 dB(A) in der Nacht belasteten Personen ergeben sich über die Varianten VS0, VS1 und VL0 bis VL4 mit den Prüfwerten vergleichbare Reihenungen.

Abbildung 48: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Tag

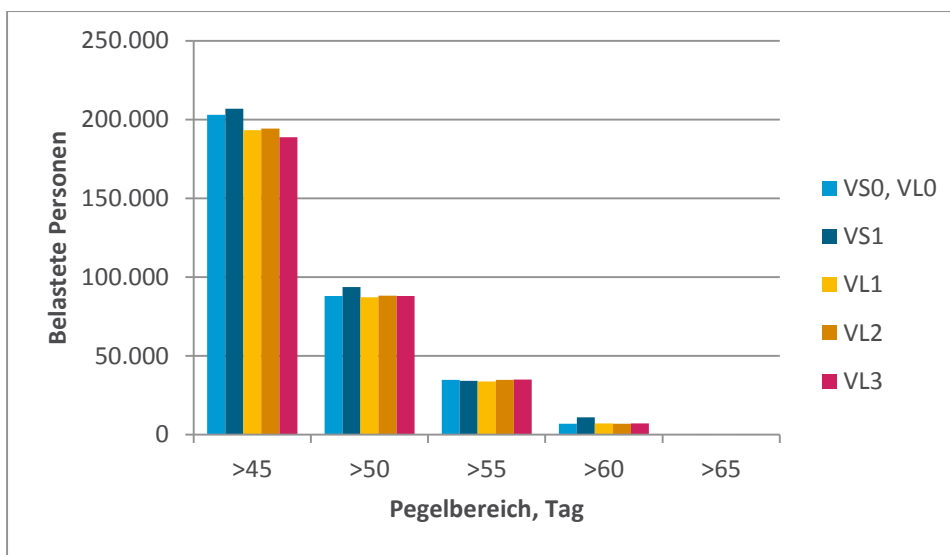


Tabelle 13: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Tag

Flugroutenvariante	Pegelbereich am Tag in dB(A)				
	>45	>50	>55	>60	>65
<b>VS0, VL0</b>	203.074	87.931	34.708	6.955	303
<b>VS1</b>	206.919	93.740	34.154	10.901	312
<b>VL1</b>	193.169	87.157	33.756	6.991	246
<b>VL2</b>	194.182	88.126	34.708	6.955	303
<b>VL3</b>	188.819	88.037	34.836	7.014	303

Abbildung 49: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Nacht

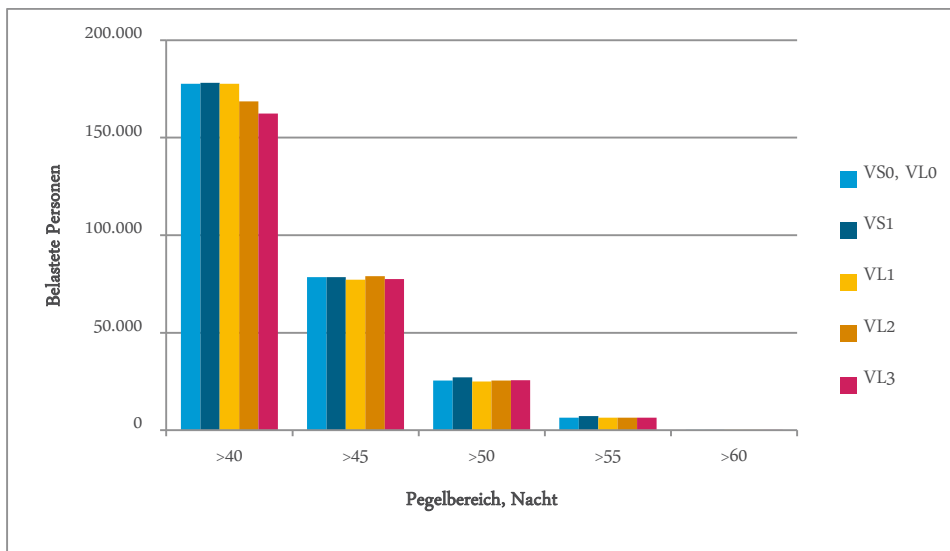


Tabelle 14: Belastete Personen in der Umgebung des Modellflughafens in Pegelbereichen, Nacht

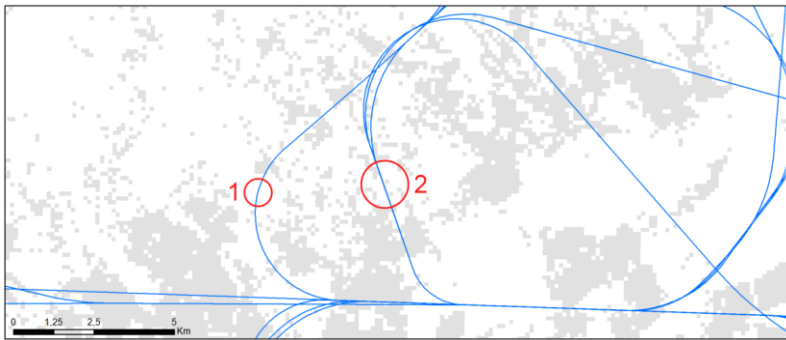
Flugroutenvariante	Pegelbereich am Tag in dB(A)				
	>45	>50	>55	>60	>65
<b>VS0, VL0</b>	177.610	78.467	25.506	6.480	58
<b>VS1</b>	178.056	78.488	27.207	7.323	58
<b>VL1</b>	177.618	77.162	25.037	6.459	56
<b>VL2</b>	168.625	79.009	25.506	6.480	58
<b>VL3</b>	162.308	77.573	25.664	6.522	58

### 6.3.6 Sonderbetrachtung Erholungsgebiete

In Abschnitt 4.5.6 wurden zwei Verfahren zur Bewertung von Erholungsgebieten vorgestellt. Auch wenn dieser Aspekt nicht generell Bestandteil des Bewertungsverfahrens für Flugrouten sein soll, sollen die Auswirkungen einer Flugroutenänderung exemplarisch für zwei kleine Erholungsgebiete untersucht werden. Hierfür wurde eine Lage von zwei Gebieten unter der in Varianten 0 und 1 beschriebenen „kurzen“ und „langen“ Abflugroute angesetzt.

Unter der längeren, westlichen Route wurde ein mittleres Erholungsgebiet (1) mit 25 ha angenommen, unter der kürzeren, östlichen Route ein größeres Gebiet (2) mit 100 ha (siehe Abbildung 50). Für den kleineren Park 1 steigen die Beurteilungspegel von 43 dB(A) am Tag in Variante 0 auf 50 dB(A) in Variante 1 an. Für den größeren Park 2 sinken die Beurteilungspegel von 50 dB(A) auf 46 dB(A) ab. Die Beurteilungspegel sollen dabei vereinfacht für die gesamte Fläche gelten.

Abbildung 50: Lage der exemplarischen Erholungsgebiete



### Bewertung anhand eines Bonus-Malus-Systems

Bei Anwendung eines Bonus-Malus-Systems anhand einer von Lärm belasteten Fläche wirkt sich deutlich ein gewählter Grenzwert aus. Bei einem Grenzwert von 50 dB(A) wäre bei der Flugroutenvariante 1 eine Fläche von 100 ha betroffen (nur Park 1). Demgegenüber wäre bei Variante 1 nur eine Fläche von 25 ha betroffen (nur Park 2). Bei einem Grenzwert von 46 dB(A) wäre in Variante 0 ebenfalls 100 ha betroffen (nur Park 1), während es bei Variante 1 jedoch 125 ha wären (Park 1 und 2).

### Bewertung anhand fiktiver Nutzung

Zur Prüfung einer Bewertung anhand fiktiver Nutzung von Erholungsgebieten wird zunächst ein einheitlicher Ansatz von 25 Besuchern pro Tag und Hektar gewählt. Anschließend wird der Varianten-Prüfwert für den Tag ermittelt. Diese Berechnung ergibt eine Abnahme von 522 auf 429. Dementsprechend wäre eine Entlastung des größeren Gebietes trotz der höheren Fluglärmbelastung des kleinen Gebietes zu empfehlen.

Die Unterschiede in den Varianten-Prüfwerten zeigen bei einer Belegung von 25 Besuchern pro Hektar und Tag, dass gegenüber der Belästigung der Wohnbevölkerung die Unterschiede in den Erholungsgebieten zwar gering, aber nicht zu vernachlässigen sind. So beträgt die Zunahme im VPT von Variante VS0 zu Variante VS1 rund 1.500, während bei den betrachteten Erholungsgebieten sich eine Abnahme des Varianten-Prüfwerts von 93 ergibt.

Bei einer deutlich höheren Belegung der Erholungsgebiete mit dem Faktor 12 (etwa 300 Personen pro Hektar und Tag, was im Mittel dem Central Park in New York<sup>8</sup> oder einem Freizeitpark entspräche), wäre der Unterschied zwischen den Varianten mit einer Abnahme des Varianten-Prüfwerts für die Erholungsgebiete um rund 1.100 immer noch geringer als die Zunahme des Varianten-Prüfwerts in der Wohnbevölkerung. Auch bei höheren Pegelunterschieden zwischen den Varianten sowie höheren Beurteilungspegeln (etwa über 60 dB(A)) kann die Bedeutung der „fiktiven Bevölkerung“ in den Erholungsgebieten zunehmen.

Anhand fiktiver Nutzung ließe sich im dargestellten Fall auch berücksichtigen, dass etwa die größere Fläche nicht nutzbare Wald- und Seenflächen umfasst. Es könnte beide Flächen die gleiche Anzahl von Nutzern angesetzt werden, für die größere Fläche ergäbe sich eine kleinere Nutzung pro Hektar. In der Bewertung wären die Flächen dann gleichgestellt.

<sup>8</sup> 40 Mio. Besucher pro Jahr, 341 ha; Quelle: <http://www.centralpark.com/guide/faq.html>

## Bewertung und Fazit

Der Einsatz der Bewertungsfunktion anhand zum Beispiel fiktiver Nutzer zeigt, dass eine bessere Abwägung zwischen den Belastungssituationen auch von Erholungsgebieten erfolgen kann. Hierbei treten keine Effekte in der Beurteilung anhand von (willkürlich gewählten) Grenzwerten auf. Jedoch ist die gewählte Anzahl der Personen willkürlich und bestimmt somit den Vergleich zu den betroffenen Bewohnerinnen und Bewohnern.

Die Abwägung von Erholungsgebieten untereinander wird durch die Fläche des Erholungsgebietes oder die Ansätze für die Nutzung deutlich beeinflusst. Der Ansatz der fiktiven Nutzung ist bei einheitlicher Nutzung pro Hektar bezüglich der Gewichtung der Fläche gleichwertig mit dem der reinen Flächenbetrachtung. Er bietet jedoch die Möglichkeit, weitere Differenzierungen vorzunehmen und vermeidet zudem die Wahl eines (willkürlichen) Grenzwertes. Daher ist ein Ansatz nach fiktiver Nutzung vorzuziehen.

Aufgrund häufig fehlender genauer Eingangsdaten und des damit verbundenen Aufwandes für die Beschaffung dieser Daten wird empfohlen, Erholungsgebiete höchstens als zusätzliches Abwägungskriterium bei ansonsten in der Bewertung gleichwertigen Varianten heranzuziehen.

## 6.4 Zwischenfazit

Auf Grundlage der zuvor entwickelten Ansätze zur Bewertung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten wurde das Bewertungsverfahren konkretisiert und mit den Varianten-Prüfwerten in eine anwendbare Fassung mit Einzahl-Indizes für den Tag- und den Nachtzeitraum überführt.

Zur Validierung des Verfahrens wurde ein bestehender Flughafen mit seinem Flugroutensystem und der Bevölkerungsverteilung im Umfeld genutzt. Das Flugroutensystem wurde abstrahiert, die Flugbewegungszahlen wurden ebenfalls auf wenige Luftfahrzeugklassen abstrahiert und stark erhöht. Es wurden vier Varianten mit verschiedenen Maßnahmen modelliert, an den gängige Veränderungen an bestehenden Flugrouten simuliert wurden.

Das Verfahren wurde in der beschriebenen Form am Modellflughafen angewandt. Die Beurteilungsergebnisse zeigen klare Präferenzen hinsichtlich der Belastung der Bevölkerung, die sich auch anhand der zugrundeliegenden Daten nachvollziehen lassen.

Die ermittelten Ergebnisse sind bei der Bewertung auf den simulierten Einzelfall zu beziehen. Ein Point-Merge-Verfahren kann unter anderen Bedingungen zu höheren Varianten-Prüfwerten führen, eine Verlagerung von Abflügen kann in anderen Fällen eine geringere Fluglärmbelastung ergeben.

## 6.5 Empfehlungen für die lärmfachliche Bewertung von Flugrouten

Aufgrund der durchgeführten Analysen werden folgende Empfehlungen für die lärmfachliche Bewertung von Flugrouten gegeben:

- ▶ Für den Vergleich von Flugroutenvarianten sollte ein lärmwirkungsbasiertes Beurteilungsverfahren verwendet werden. Gegenüber Verfahren, die beispielsweise lediglich die Anzahl betroffener Personen berücksichtigen, weist ein solches Verfahren den Vorteil auf, dass hiermit sowohl Höhe der Betroffenheit als auch Anzahl Betroffener zusammen berücksichtigt werden können.
- ▶ Als Wirkungswertungsgröße sollte die Belästigungsreaktion verwendet werden, da diese bereits bei vergleichbar geringen Lärmpegeln eintritt. Belästigung ist zudem weiterhin ein Frühindikator für lärmbedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen.
- ▶ Es sollte die Belästigungskategorie „Annoyed“ benutzt werden, da sie die Kategorie „Highly Annoyed“ beinhaltet.

- ▶ Eine gesonderte Bewertung für die Nacht ist nur bei nennenswertem Nachtflugbetrieb notwendig. In einem solchem Fall wird empfohlen, für die Nacht die Kategorie „Schlafgestört“ zu verwenden, da sie die Kategorie „Stark schlafgestört“ beinhaltet.
- ▶ Für die Belästigungsreaktion sollten die in der VDI 3722 Blatt 2 / Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Teil 2, enthaltenen Funktionen (A3)<sup>9</sup> und (A11) in modifizierter Form verwendet werden.

$$(Gl. 5) \%A = 8,588 \times 10^{-6} (L_{Aeq,Tag} - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} (L_{Aeq,Tag} - 37)^2 + 1,221 (L_{Aeq,Tag} - 37)$$

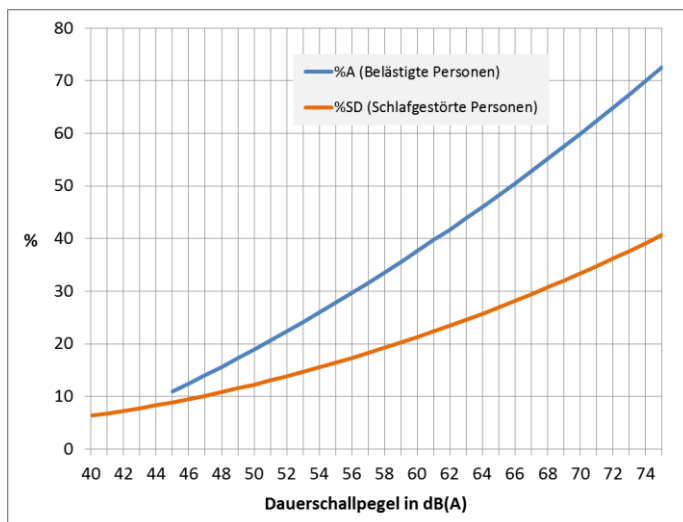
Belästigte Personen (%A) in Anlehnung zu VDI 3722, Blatt 2, Formel A3

$$(Gl. 6) \%SD = 13,714 - 0,807 \times L_{Aeq,Nacht} + 0,01555 (L_{Aeq,Nacht})^2$$

Schlafgestörte Personen (%SD) in Anlehnung zu VDI 3722, Blatt 2, Formel A11

Diese Funktionen sind als etablierter Standard zu betrachten. Zudem ermöglichen sie, wenn gewünscht, eine spätere Öffnung des Beurteilungsverfahrens für die Berücksichtigung von Vorbelastungen.

Abbildung 51: Darstellung der verwendeten Expositions-Wirkungs-Beziehungen für belästigte bzw. schlafgestörte Personen



- ▶ Das Untersuchungsgebiet – Beachtlichkeitskontur – innerhalb dessen Flugroutenalternativen miteinander verglichen werden sollen, ist so zu bemessen, dass die beachtenswerten Lärmeinwirkungen erfasst und berücksichtigt werden. Die untere Grenze des Untersuchungsgebiets sollte Mittelungspegel 45 dB(A) für den Tag nicht überschreiten, für die Nachtzeit sollte die untere Grenze nicht über 40 dB(A) liegen. Die oberen Grenzen des Untersuchungsgebiets werden jeweils durch die höchsten auftretenden Mittelungspegel definiert.
- ▶ In die Bewertung der Flugrouten sind Gesundheitsrisiken einzubeziehen. Dabei darf für eine ausgewählte Flugroutenvariante das Krankheitsrisiko nicht steigen. Für die Berücksichtigung von Gesundheits- bzw. Krankheitsrisiken liegen in der Literatur keine einheitlichen Risikoschätzer vor, die mögliche Risikoerhöhungen umfänglich abbilden können. Trotzdem soll eine Berücksichtigung der Krankheitseffekte im Bewertungsverfahren erfolgen. Wenn verfügbar, sollen hierzu geeignete Indikatoren zu verschiedenen Krankheitsrisiken, wie

<sup>9</sup> Es ist zu beachten, dass diese Kurve nicht auf  $L_{Aeq,Tag}$ , sondern auf  $L_{DEN}$  basiert. Der Unterschied, der sich daraus ergeben kann, ist jedoch unbedeutend und für die Flugroutenvergleiche nicht relevant. Da alle Flugrouten mit diesem Unterschied gleichermaßen beurteilt werden, hat er keine Auswirkungen auf die Rangfolge der Varianten.

Herzinfarkten, Herzinsuffizienz, Schlaganfälle sowie psychische Erkrankungen zur Anwendung kommen.

Für eine erste Näherung können die Odds-Ratio-Werte verwendet werden, die von der WHO 2011 für Herzinfarkte durch Straßenverkehrslärm veröffentlicht wurden.

Aus dem relativen Risiko (RR) lässt sich als Indikator die „Population Attributable Fraction“ PAF berechnen (WHO 2011). Dieser Wert soll für den Vergleich der einzelnen Flugroutenvarianten herangezogen werden. Die PAF weist als Indikatorgröße den Anteil der Fälle aus, die vermieden werden können, wenn die Exposition des Risikofaktors entfällt (Erdmann 2006; WHO 2011). Über die PAF lässt sich auch das „population-attributable risk“ (PAR) berechnen. Hierzu wäre jedoch die gesamte Anzahl der Fälle mit einem Vorkommen des Krankheitseffektes notwendig.

- ▶ Die Bewertung der Unterschiede zu einer Ausgangsvariante soll mehrstufig erfolgen. Einer Gesamtbetrachtung im definierten Untersuchungsgebiet (Grenzpegel) folgt eine Betrachtung in einem Bereich, der durch die Variantenbildung Pegeländerungen erfährt. Ggf. sind in einer weiteren Stufe einzelne Flugrouten ohne Gesamtverkehr zu untersuchen.
- ▶ Es soll ein Unsicherheitsbereich definiert werden, innerhalb dessen verschiedene Flugrountensysteme in der Lärmbelastung statistisch nicht unterscheidbar sind.
- ▶ Es wird in Hinblick auf die derzeitige Datenlage empfohlen, auf eine Berücksichtigung möglicher Vorbelastungen durch andere Lärmquellen zu verzichten.
- ▶ Auf eine Berücksichtigung von demographischen Spezifika des Untersuchungsgebiets sollte ebenfalls verzichtet werden.
- ▶ Eine gesonderte Berücksichtigung von Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern erscheint nicht geboten.
- ▶ Eine differenzierte Berücksichtigung von Seniorinnen und Senioren, Schülerinnen und Schülern oder Kindern wird nicht als notwendig erachtet.
- ▶ Eine Berücksichtigung von Erholungsgebieten oder Ruhegebieten ist zwar grundsätzlich möglich, jedoch wird der Schutz der Flughafenwohnenden priorisiert, da sie einer dauerhaften Lärmbelastung ausgesetzt sind.
- ▶ Die von der vorgesehenen Flugroutenänderung betroffenen Flughafenliegerinnen und -anlieger sollten in geeigneter Weise informiert und am Festlegungsverfahren beteiligt werden. Dies kann das subjektive Kontrollerleben erhöhen, welches einen positiven Einfluss auf das Belästigungserlebnis ausübt. Es wird empfohlen, ein Informations- und Beteiligungskonzept für die Öffentlichkeit zu entwickeln.
- ▶ Eine differenzierte Berücksichtigung vorhandenen baulichen Schallschutzes wird nicht als praxisgerecht erachtet.



## 7 Handlungsanleitung

In diesem Forschungsvorhaben wurde ein neues Verfahren zur Bewertung von Flugrouten entwickelt, das nachfolgend in einer Handlungsanleitung zusammenfassend dargestellt wird. Dabei werden die Arbeitsschritte kurz erläutert und die notwendigen Eingangsdaten angegeben. Die zuvor im Detail beschriebenen Grundlagen und Vorgehensweisen werden hier in einer Handlungsanleitung zusammengefasst. Hierbei wird kurz auf die jeweiligen Verfahren und die notwendigen Daten und Arbeitsschritte eingegangen. Die Handlungsanleitung soll dazu dienen, die entwickelten Verfahren für eine Beurteilung umsetzen zu können und gibt dazu eine klare Entscheidungsstruktur vor, die in Abschnitt 0 dargestellt ist.

### 7.1 Eingang der Benehmensanfrage

Ausgangspunkt für das Bewertungsverfahren sind verschiedene Flugroutenalternativen, zu denen das UBA im Rahmen der Benehmensregelung nach dem Luftverkehrsgesetz eine lärmfachliche Stellung abgeben soll. Für diese Stellungnahme kann das Bewertungsverfahren verwendet werden. Das UBA hat im Zuge der sogenannten Benehmensregelung im Zusammenhang mit geplanten Flugroutenänderungen die Aufgabe, zu prüfen, ob die von der DFS ausgewählte Vorzugsvariante diejenige Flugroute ist, die die geringste Lärmbeeinträchtigung der Bevölkerung nach sich zieht, oder ob nicht andere Flugrouten bevorzugt werden sollten.

#### 7.1.1 Flugroutensystem als DES

Grundlage des Bewertungsverfahrens sind immer vollständige Datenerfassungssysteme (DES) der Flugroutensysteme bzw. Flugrouten-Teilsysteme im Untersuchungsgebiet. Bei Vorliegen eines vollständigen DES der Referenzsituation ist vorzugsweise dieses zu verwenden und die zu untersuchenden geänderten Flugroutensysteme bzw. Flugrouten-Teilsysteme durch entsprechende Modifikationen aus diesem zu erzeugen.

Das Untersuchungsgebiet wird anhand der Gebiete mit einer Fluglärmbelastung von  $L_{Aeq, Nacht} \geq 40$  dB(A) in der Nacht oder  $L_{Aeq, Tag} \geq 45$  dB(A) am Tag definiert. Das Datenerfassungssystem muss daher entsprechend detailliert sein und eine ausreichende Ausdehnung aufweisen, um die Fluglärmbelastung innerhalb dieses Gebietes vollständig zu erfassen. Bei einer möglichen Verwendung von Datenerfassungssystemen, die als Grundlage für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen nach dem deutschen Fluglärmenschutzgesetz erstellt, kann es erforderlich werden, diese über die durch die AzD vorgegebenen Grenzen hinaus zu erweitern.

Zur ersten Festlegung des Untersuchungsgebiets kann meist auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. So kann für die Beschreibung des IFR-Flugverkehrs im DES etwa ein Umkreis von 25 Kilometern um den Flugplatzbezugspunkt (angelehnt an den Modellbereich der AzD) als erster Ansatz gewählt oder vorhandene Rechenergebnisse von Fluglärm-Konturen für eine Abschätzung herangezogen werden.

Ein vollständiges DES weist folgende Eigenschaften auf:

- ▶ Es enthält die Angabe eines Bezugsjahres (Prognose- bzw. Untersuchungsjahr im Abschnitt 5.1 der AzD)
- ▶ Es beschreibt alle Start- und Landebahnen des betroffenen Flugplatzes, einschließlich ggf. geplanter Änderungen, die für die Abwägung relevant sein können (AzD Abschnitt 5.2)
- ▶ Es enthält Flugbewegungsangaben für einen hinreichend großen Zeitabschnitt. In der Regel sind hierfür die sechs verkehrsreichsten Monate des Bezugsjahres (als Ist-Datenerfassung oder Prognose) hinreichend. Bei Untersuchungen, die Flugstrecken mit sehr wenigen Flugbewegungen im Bezugsjahr betreffen, können größere Bezugszeiträume gewählt werden.

- ▶ Es enthält alle An- und Abflugstreckenbeschreibungen sowie Platzrunden für Flugzeuge und Hubschrauber gemäß den Datenblättern in den Abschnitten 5.5.1 bis 5.5.12 der AzD. Die Modellgrenzen sind hier mindestens durch die in der AzD vorgegebenen Umkreise von 15km für VFR- und 25km für IFR-Strecken bestimmt.
- ▶ Die zugehörige Dokumentation beschreibt detailliert, welche Annahmen und Setzungen, insbesondere für die Verteilung der Flugbewegungen auf die im DES vorhandenen Flugstrecken getroffen wurden.

Da das Bewertungsverfahren grundsätzlich eine Aussage zur relativen Belästigung macht, eine absolute Wertung jedoch nicht durchgeführt wird, sind immer mehrere Varianten miteinander zu vergleichen. Neben Planungsalternativen kann dies auch eine Bestandssituation sein.

Datenbasis (Referenz-DES) sollte ein DES mit Ist-Daten oder das Prognose-DES nach dem Fluglärmschutzgesetz sein. Für die Bewertung werden die zur Diskussion stehenden Flugroutenvarianten beziehungsweise Flugroutensysteme modelliert und die Belegung der Flugrouten mit Flugbewegungen festgelegt.

In der Praxis werden dann DES-Varianten zur Berechnung durch Kombination von Flugrouten aus dem Referenz-DES und den zu betrachtenden Flugroutenvarianten gebildet. Ebenso sind die Flugbewegungszahlen des Referenz-DES auf die neuen Flugrouten zu verteilen und eventuelle „Seiteneffekte“ zu beachten. Zum Beispiel können Strecken des Referenz-DES in einer Variante mit neuen Strecken nicht mehr oder schlechter nutzbar sein. Da sich hieraus eine große Anzahl von DES-Varianten ergeben kann, ist eine Unterstützung bzw. Automatisierung dieses Prozesses durch eine geeignete Software-Lösung empfehlenswert.

Die Bildung der DES-Varianten sollte unter Beteiligung des betroffenen Flughafens, der Flugsicherung und der örtlichen Fluglärmschutzkommission geschehen, um die flugbetriebliche Praxis realistisch zu beschreiben.

Es wird davon ausgegangen, dass das vollständige DES einschließlich Flugroutenvarianten oder einer Bestandssituation zum Vergleich in geeigneter Form der DFS zur Verfügung gestellt wird.

Im Regelfall ist jedoch zu erwarten, dass vom UBA im Rahmen der Benehmensregelung oder in vergleichbaren Untersuchungen nur geringfügige Änderungen an Flugroutensystemen zu bewerten sind. Aus zweierlei Gründen könnte dabei eine Beurteilung ausschließlich im Einwirkungsbereich der Flugroutenänderung sinnvoll sein: Zum einen ist bei einem reduzierten Untersuchungsgebiet nicht das vollständige DES mit allen Flugbewegungen zu erstellen, zum anderen wird die relative Änderung der mit diesem Bewertungsverfahren Prüfwerte in einem reduzierten Untersuchungsgebiet größer ausfallen und damit eher die geforderte Abnahme von mindestens 5 % erreichen.

### 7.1.2 Bevölkerungsdaten

Für die Bewertung der Flugroutenalternativen ist die tatsächliche Einwohnendenzahl eine relevante Größe. Dabei kann auf die Modellierung von Gebäuden verzichtet werden, weil eine Verteilung der Bevölkerung auf die Einzelgebäude im Allgemeinen sehr aufwändig oder teilweise nicht umsetzbar ist, etwa wenn die Bevölkerungsdaten nicht für das gesamte Untersuchungsgebiet digital vorliegen. Zum anderen würde eine pauschale Verteilung der Einwohnenden anhand einer einheitlichen Wohnfläche pro Einwohnendem unter Umständen den unterschiedlichen Wohnsituationen innerhalb des in der Regel umfangreichen Untersuchungsgebiets nicht gerecht werden.

Die im Untersuchungsgebiet wohnenden Personen können vielmehr in Zellen eines Rasters gruppiert werden. Die Rasterschrittweite soll dabei 125 x 125 Meter nicht überschreiten, um eine ausreichende Genauigkeit zu erreichen. Solche Datensätze über die Bevölkerungsverteilung sind in der Regel

deutschlandweit verfügbar. Es bietet sich an, auf einen einheitlichen Datensatz für das gesamte Untersuchungsgebiet zurückzugreifen.

- ▶ Zur Berechnung werden die Mittelpunkte von Rasterzellen mit zugeordneten Einwohnendenzahlen genutzt.

### 7.1.3 Geländemodell

Wesentlich für die Feststellung der Überflughöhe und damit auch zur Immissionsbestimmung kann die jeweilige Geländehöhe sein. Das Geländemodell sollte passend zu den verwendeten Bevölkerungsdaten skaliert sein. Eine deutlich höhere Auflösung als die dort gewählte Rasterung ist nicht notwendig, da Abschirmungen durch Geländekanten für Fluglärmrechnungen in der Regel zu vernachlässigen sind. Die Auflösung sollte jedoch ausreichen, um markante geographische Strukturen, wie etwa Hügel und Senken, in der Immissionsberechnung zu berücksichtigen.

- ▶ Geländehöhen können vernachlässigt werden sofern sichergestellt ist, dass sie im Untersuchungsgebiet keinen relevanten Einfluss auf die Fluglärmpegel haben.

## 7.2 Grundlagen des Bewertungsverfahrens

### 7.2.1 Fluglärmrechnung

Die Berechnung der Fluglärmpegel  $L_{Aeq, Tag}$  und  $L_{Aeq, Nacht}$  erfolgt nach AzB in einem Einwohnenden-Raster vier Meter über dem Boden. Berechnet werden nur Zellen mit einer Einwohnendenzahl  $\geq 1$ . Grundsätzlich sollen die verwendeten DES mit Bahnbetriebsrichtungsverteilungen über zehn Jahre (Sigma-Regelung) und mit Rollwegen auf den Flugbetriebsflächen des Flugplatzes erstellt werden. Bei Vernachlässigung der Pegelzuschläge aus der Sigma-Regelung ist nicht auszuschließen, dass relevante Siedlungsgebiete von der Variantenuntersuchung ausgeschlossen werden. Sofern die Variantenuntersuchung nicht im direkten Einflussbereich von Rollwegen erfolgt, kann auf die Berücksichtigung der Rollwege im DES verzichtet werden.

### 7.2.2 Bewertungsgrößen

#### 7.2.2.1 Gesundheitsrisiken

Zur Beurteilung eines Gesundheitsrisikos beim Vergleich verschiedener Flugroutenvarianten wird als Kenngröße die „Population Attributable Fraction, PAF“ der WHO vergewendet. (WHO 2011)

Die PAF lässt sich laut WHO 2011 (Seite 10) nach folgender Gleichung bestimmen:

$$(Gl. 1) \quad PAF = \frac{\sum(P_i * RR_i) - 1}{\sum(P_i * RR_i)}$$

mit:

$P_i$  = Anteil der Bevölkerung in einer Expositions-kategorie  $i$ ,  
im vorliegenden Fall  $L_{Aeq, Tag}$  bzw.  $L_{Aeq, Nacht}$  in 1-dB-Pegelklassen

$RR_i$  = relatives Risiko in der Expositions-kategorie  $i$  im Vergleich zum Referenzniveau.

Für das relative Risiko sind qualifizierte Risikoschätzer zu verwenden. Derzeit liegen in der Literatur keine einheitlichen Risikoschätzer vor, die mögliche Risikoerhöhungen umfänglich abbilden können. Daher kann im Rahmen des Bewertungsverfahrens keine Bewertungsfunktion festgelegt werden. Sofern passende Werte des relativen Risikos bzw. der Odds Ratios vorliegen, sind diese zu verwenden.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Bei der Anwendung des Bewertungsverfahrens wird für das relative Risiko entsprechend der Anwendung der PAF in der Veröffentlichung der WHO (2011, S. 25) ersatzweise auf die Odds Ratio für Straßenverkehrslärm zurückgegriffen.

### 7.2.2.2 Varianten-Prüfwerte

Grundlage der Bewertung der Varianten sind die Varianten-Prüfwerte für den Tag (VPT) und für die Nachtzeit (VPN). Für die Berechnung dieser Prüfwerte werden für jede Rasterzelle die Anteile belästigter beziehungsweise schlafgestörter Personen als Produkt  $N \times \%A$  für den Tag und  $N \times \%SD$  für die Nacht ermittelt.

#### Varianten-Prüfwert - Tag (VPT)

$$(Gl. 3) \quad VPT = \sum_i N_{P,i} * \frac{\%A(L_{Aeq,Tag,i})}{100}$$

#### Varianten-Prüfwert - Nacht (VPN)

$$(Gl. 4) \quad VPN = \sum_i N_{P,i} * \frac{\%SD(L_{Aeq,Nacht,i})}{100}$$

mit:

$$\%A = 8,588 \times 10^{-6} (L_{Aeq,Tag} - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} (L_{Aeq,Tag} - 37)^2 + 1,221 (L_{Aeq,Tag} - 37)$$

Belästigte Personen (%A) in Anlehnung an VDI 3722, Blatt 2, Formel A3

$$\%SD = 13,714 - 0,807 \times L_{Aeq,Nacht} + 0,01555 (L_{Aeq,Nacht})^2$$

Schlafgestörte Personen (%SD) in Anlehnung an VDI 3722, Blatt 2, Formel A11

$i$  = Berechnungszelle (Gebäude)  $i$

$N_{P,i}$  = Zahl der Personen in Berechnungszelle (Gebäude)  $i$

$L_{Aeq,Tag,i}$  = Äquivalenter Dauerschallpegel für den Tag von 6 bis 22 Uhr in Berechnungszelle (Gebäude)  $i$ <sup>11</sup> für  $L_{Aeq,Tag} > 45$  dB(A)

$L_{Aeq,Nacht,i}$  = Äquivalenter Dauerschallpegel für die Nachtzeit von 22 bis 6 Uhr in Berechnungszelle (Gebäude)  $i$  für  $L_{Aeq,Nacht} > 40$  dB(A)

## 7.3 Prüfungsablauf

Abhängig von der Aufgabenstellung erfolgt die Fluglärmrechnung entweder für Varianten eines kompletten Flugroutensystems oder lokale Flugroutenvarianten bzw. Varianten von Flugrouten-Teilsystemen.

Oft liegen nicht nur gesamte Flugroutensysteme sondern verschiedene, räumlich getrennte Routenvarianten vor (z. B. Varianten für Anflüge aus Ost- und West-Richtung). Für ein neues Flugroutensystem müssten theoretisch sämtliche Kombinationen von Routenvarianten berechnet und verglichen werden, was praktisch nicht möglich ist. Stattdessen wird ein Flugroutensystem aus Vorzugsvarianten zusammengestellt. In dieser Ausgangsvariante wird dann wechselweise jede Vorzugsvariante einmal durch die zweitplatzierte Variante ersetzt. In besonderen Fällen können auch drittplatzierte Varianten einbezogen werden. Diese Flugroutensysteme werden im uneingeschränkten Untersuchungsgebiet

<sup>11</sup> Der Beurteilungspegel  $L_{r,TAN}$  in der VDI 3722-2 für Tag/Abend/Nacht wird hier durch den äquivalenten Dauerschallpegel für den Tag  $L_{Aeq,Tag}$  ersetzt.

bewertet. Weitere Kombinationen von Routenvarianten können ermittelt werden, wenn hierdurch eine weitere Verbesserung der Belastungssituation zu erwarten ist.

Für die Bewertung verschiedener Flugroutenalternativen lassen sich grundsätzlich folgende drei Fälle unterscheiden:

### 7.3.1 Uneingeschränktes Untersuchungsgebiet

Bei Vorliegen eines DES für des gesamte Flugroutensystem wird empfohlen, die folgenden Prüfungen zunächst im uneingeschränkten Untersuchungsgebiet durchzuführen. Bei kleineren Flugroutensystemen mit deutlichen Variationen der Flugverfahren können bereits bei dieser Gesamtbetrachtung statistisch unterscheidbare Vorzugsvarianten erkannt werden.

- ▶ Im Falle eines kompletten Flugroutensystems erfolgt die Prüfung im uneingeschränkten Untersuchungsgebiet, d. h. im Bereich mit einer Fluglärmbelastung von  $L_{Aeq, Nacht} \geq 40$  dB(A) in der Nacht oder  $L_{Aeq, Tag} \geq 45$  dB(A) am Tag.

### 7.3.2 Eingeschränktes Untersuchungsgebiet

Bei größeren Flugplätzen oder bei Nichtverfügbarkeit eines DES für das gesamte Flugroutensystem kann eine Einschränkung des Untersuchungsgebietes vorgenommen werden, sofern der Bereich von zu erwartenden Änderungen des Beurteilungspegels ausreichend bekannt ist.

- ▶ Bei der Untersuchung von Flugroutenvarianten oder Flugrouten-Teilsystemen, die nur eine Teilfläche des Untersuchungsgebiets beeinflussen, ist das Untersuchungsgebiet einzuschränken, und zwar auf einen Bereich, der durch die zu untersuchenden Varianten eine Änderung des Beurteilungspegels erfährt (Pegeländerung  $\geq 0,01$  dB).

Varianten von Flugrouten oder Flugrouten-Teilsystemen können auch isoliert von anderen Flugrouten untersucht werden, sofern diese keinen relevanten Anteil an den Beurteilungspegeln im Untersuchungsgebiet haben.

Bei mehreren eingeschränkten Untersuchungsgebieten (zeitlich oder räumlich getrennt) ist zu beachten, dass relative Änderungen der Prüfwerte nicht miteinander vergleichbar sind. Sofern eine Vergleichbarkeit gewünscht ist, beispielsweise für die Dokumentation einer langfristigen Entwicklung am Flugplatz, sollte das Untersuchungsgebiet nicht eingeschränkt werden.

### 7.3.3 Prüfung PAF

Für jede Variante der Flugroute werden die „population-attributable fraction“ PAF berechnet und das Minimum des PAF aller Varianten bestimmt. Sämtliche Varianten mit einem PAF von mehr als 15 % über dem ermittelten Minimalwert scheiden aus Gründen des Gesundheitsschutzes aus.

### 7.3.4 Prüfung VPT/VPN

Für die verbleibenden Flugroutenvarianten werden die berechneten Varianten-Prüfwerte Tag (VPT) und Nacht (VPN) in ihrer Rangfolge analysiert. Eine Variante eines Flugroutensystems ist dabei nur dann statistisch von einer Vergleichsvariante unterscheidbar, wenn sich der Prüfwert um mindestens 5 % von der Vergleichsvariante unterscheidet.

- ▶ Sofern eine Flugroutenvariante mindestens 5 % besser ist als eine Vergleichsvariante, kann eine Abwägungsentscheidung für die neue Vorzugsvariante getroffen werden.
- ▶ Wenn der geforderte Abstand von 5 % von keinem Prüfwert einer Flugroutenvariante erreicht wird, sind in der Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebiets die Varianten statistisch nicht unterscheidbar. Zur weiteren Differenzierung wird das Untersuchungsgebiet dann eingeschränkt und die Prüfung erneut vorgenommen.

- ▶ Wenn eine Gruppe von mehreren Flugroutenvarianten um mindestens 5 % von einer anderen Gruppe unterscheidbar ist und somit alle Varianten dieser Gruppe als Vorzugsvarianten in Frage kommen, die Varianten aber untereinander nicht um mindestens 5 % unterscheidbar sind, dann sind zwei Fälle zu unterscheiden:
  1. Die Varianten der Gruppe beeinflussen sich gegenseitig. Es ist somit keine Entscheidung nach den Beurteilungsgrößen des Bewertungsverfahrens möglich. In diesen Fällen sollten zusätzliche Kriterien wie Ruhige Gebiete, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklungen, Vorbelastungen u. ä. zur Auswahl der Vorzugsvariante herangezogen werden.
  2. Die Flugroutenvarianten der Gruppe sind voneinander unabhängig (siehe Beispiel in Abschnitt 6.1.5). Diese Flugroutenvarianten können gemäß Abschnitt 6.1.6.2 isoliert voneinander in einer Einzelfallprüfung (siehe Abschnitt 7.3.5) untersucht werden. Tritt eine Unterscheidbarkeit ein, kann danach entschieden werden, andernfalls ist nach Fall 1 vorzugehen.

### 7.3.5 Einzelfallprüfung

Wenn untersuchte Flugroutenvarianten auch in einem eingeschränkten Untersuchungsgebiet nicht unterscheidbar sind (5 %-Abstand), erfolgt eine erneute Berechnung der Beurteilungspegel der zu untersuchenden Flugroutenvarianten ohne Berücksichtigung der sonstigen Flugrouten. Auch die Variantenprüfwerte VPT und VPN werden ausschließlich mit den Belastungen aus den einzelnen Flugrouten ermittelt.

Können aufgrund dieser Analyse die einzelnen Flugroutenvarianten hinsichtlich ihrer Lärmauswirkungen unterschieden werden, so sollte die Variante mit der geringsten Lärmbetroffenheit als Vorzugsvariante ausgewählt werden, sofern sie in der Rangfolge der Gesamt-Fluglärm Betrachtung nicht schlechter platziert ist, als andere Varianten (siehe Beispiel in 6.1.6.4).

## 7.4 Beurteilung der Ergebnisse

### 7.4.1 Auswahl einer Vorzugsvariante

Eine nach Varianten-Prüfwert statistisch unterscheidbare Flugroutenvariante kann als Vorzugsvariante ausgewählt werden. Diese ist vorteilhaft, da

- ▶ die Variante keine statistisch deutliche Verschlechterung der Gesundheitsrisiken bewirkt

und entweder

- ▶ die Variante hinsichtlich der Variantenprüfwerte (und damit Belästigung / Schlafstörung) eindeutig besser ist als die Vergleichsvarianten

oder

- ▶ die Variante hinsichtlich der Variantenprüfwerte (und damit Belästigung / Schlafstörung) zu einer Gruppe von Varianten gehört, die eindeutig besser ist als andere Vergleichsvarianten

und

- ▶ die Variante auch nach der Einzelfallprüfung vorteilhaft ist.

### 7.4.2 Zusätzliche Bewertungskriterien

Sofern sich anhand der entwickelten Bewertungskriterien keine Vorzugsvariante ergibt, können weitere Kriterien in die Auswahl einbezogen werden. Diese werden beispielhaft nachfolgend vorgestellt:



## Flugbetriebliche Maßnahmen

Das Bewertungsverfahren ist für zukünftige Fluglärm-Berechnungsverfahren offen gehalten und nicht streng an die AzB gebunden. Mit entsprechender Anpassung des Berechnungsverfahrens (gegebenenfalls auch der Parameter der AzB-Luftfahrzeugklassen) können mit dem Verfahren auch neuartige Flugverfahren bewertet werden.

- ▶ Alle geplanten flugbetrieblichen Maßnahmen sollten, soweit möglich, AzB-konform modelliert werden (siehe auch Tabelle 3).
- ▶ Bei der Bewertung können Vorteile durch bestimmte Flugverfahren, die eine Lärminderung erwarten lassen (etwa Dedicated Runway Operations (DROPs)), als zusätzliches Kriterium bei einer Entscheidung genutzt werden. Eine Flugroutenvariante, die die Nutzung solcher Verfahren ermöglicht, sollte bei gleicher Bewertung gegenüber anderen Varianten bevorzugt werden.

## Vorbelastung durch andere Lärmquellenarten

Als Ansatz für eine wirkungsgemäße Überlagerung verschiedener Verkehrslärmquellen kann die VDI 3722 Blatt 2 herangezogen werden. Die VDI-Richtlinie 3722 Blatt 2 liefert Verfahren zur Beurteilung von Mehrfachbelastungssituationen, die durch Verkehrslärmquellen hervorgerufen werden.

Grundsätzlich ist eine Anwendung dieses Verfahrens bei der Bewertung von Flugrouten möglich. Voraussetzung ist allerdings, dass die Lärmbelastungen durch Straßen- und Schienenverkehr im Untersuchungsgebiet zum einen hinreichend exakt vorliegen und zum anderen über den Zeitraum der „Lebensdauer“ der Flugrouten unverändert bleiben. Es muss bedacht werden, dass die VDI kein Verfahren für eine Gesamtlärmbewertung bietet, die neben den Verkehrslärmquellen auch andere Lärmquellenarten berücksichtigt. Insgesamt scheint eine Berücksichtigung von Vorbelastungen nur unter großem Aufwand machbar.

- ▶ Es wird daher im Hinblick auf die derzeitige Datenlage empfohlen, auf eine Berücksichtigung möglicher Vorbelastungen durch andere Lärmquellen zu verzichten.
- ▶ In Einzelfällen können bei geringen Unterschieden zwischen den verschiedenen Flugroutenvarianten kleinräumige Detailuntersuchungen Hinweise zu einer Vorzugsvariante unter dem Aspekt der Gesamtlärmbelastung geben.

## Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklungen

Sofern im Untersuchungsgebiet weitreichende Bevölkerungs- oder Siedlungsentwicklungen zu erwarten sind, könnten diese in einem Prognosemodell untersucht werden. Da für die Fluglärmrechnung lediglich die Bevölkerungszahlen in einem Raster benötigt werden, nicht jedoch Gebäude oder genauere Wohnorte, sind keine konkreten Planungen für eine Bewertung notwendig.

- ▶ Eine Bewertung prognostizierter Bevölkerungszahlen ist daher stets nur eine Abschätzung eines möglichen Szenarios bedeuten und sollte nicht eine Bewertung anhand tatsächlicher Bevölkerungszahlen ersetzen.
- ▶ Bei der Abwägung der Flugroutenvarianten können auch diejenigen Varianten bevorzugt werden, die bei gleicher Bewertung den betroffenen Gemeinden größere Entwicklungsräume lassen.

## Besondere Bevölkerungsgruppen

Eine Berücksichtigung verschiedener besonders schutzbedürftiger Bevölkerungsgruppen ist im Bewertungsverfahren aus Praktikabilitätsgründen nicht explizit vorgesehen.

- ▶ Sofern eine gleiche Bewertung verschiedener Flugroutenvarianten vorliegt, könnte die Belastung etwa von Schulen und Krankenhäusern als ein Kriterium gesondert betrachtet werden.

### **Erholungsgebiete / Ruhige Gebiete**

Wenn in die Flugroutenbewertung auch Erholungsgebiete eingehen sollen, können diese mit einer fiktiven Nutzerzahl pro Hektar belegt werden. Diese Betrachtung ist jedoch von der der Wohnbevölkerung zu trennen.

Grundsätzlich sollten Erholungsgebiete - wenn überhaupt – dann möglichst umfassend im Modell berücksichtigt werden; trotzdem sollte man sich aus Aufwandsgründen auf größere außer- und innerstädtische Erholungsgebiete sowie gegebenenfalls schützenswerte Naturflächen konzentrieren.

Zur Nutzung von Parks liegen im Allgemeinen keine ausreichenden Daten über Erholungsgebiete vor. Eine Ermittlung anhand „fiktiven Nutzerzahlen“ ist daher nur als Anhaltspunkt zu sehen. Solange keine fundierten Daten über die Nutzungshäufigkeit einzelner Erholungsgebiete vorliegen, schließt sich eine Kombination mit den Varianten-Prüfwerten der Wohnbevölkerung aus.

- ▶ Die Bewertung der Erholungsgebiete ist nur als zusätzlicher Indikator zu sehen.

## **7.5 Dokumentation der Ergebnisse**

Bei der Anwendung des Bewertungsverfahrens ist auf eine nachvollziehbare Dokumentation zu achten. Hierzu gehört auch die Angabe aller verwendeten Eingangsdaten mit Nennung von Quelle und Stand der Daten.

Für den Prüfablauf sollten die jeweiligen Ergebnisse in Tabellen dargestellt werden. Die getroffenen Entscheidungen sollten jeweils anhand der Daten erläutert werden.

- ▶ Eine transparente Dokumentation ist für die Flugroutenbewertung wichtig.

## **7.6 Grafische Zusammenfassung des Vorgehens**

Die Vorgehensweise bei der Bewertung von Flugrouten wird zusammenfassend in einem Flussdiagramm veranschaulicht. Aktionen sind in diesem in einem Rechteck dargestellt, Entscheidungen in einer Raute. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist das Flussdiagramm in zwei Teile untergliedert.

Abbildung 52: Flussdiagramm des Bewertungsverfahrens - Teil 1

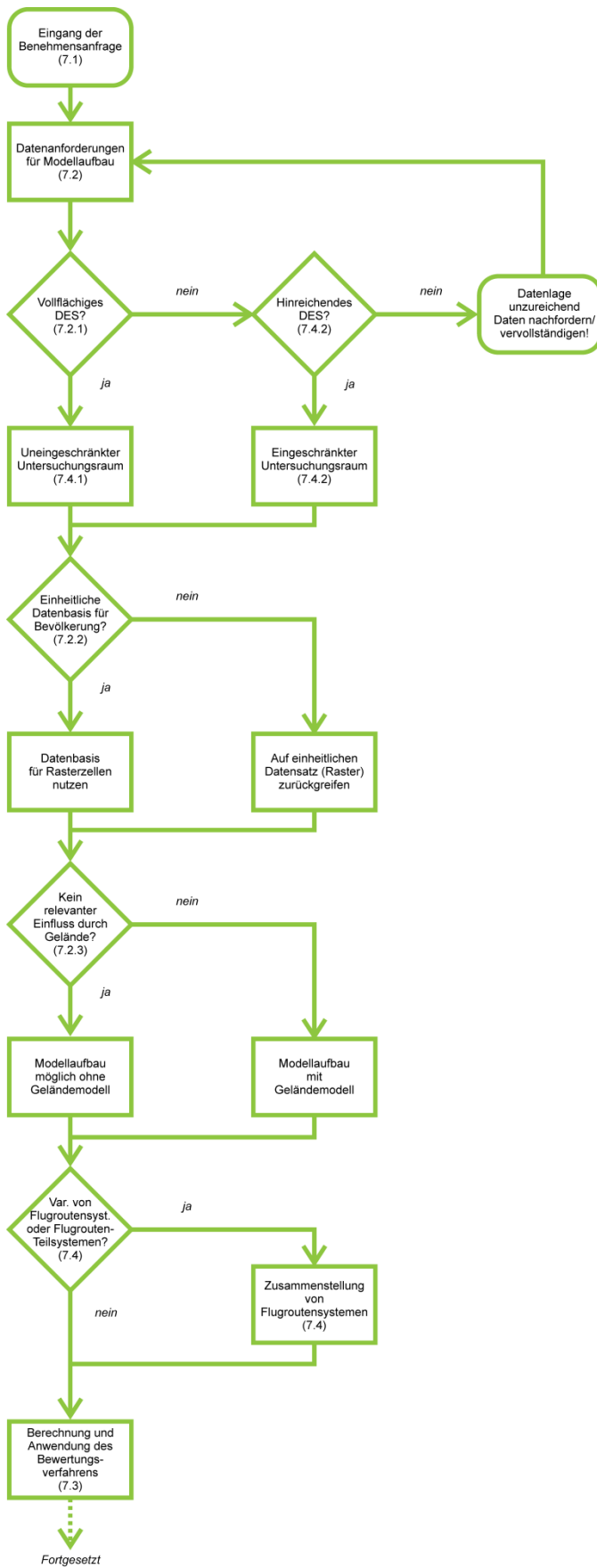
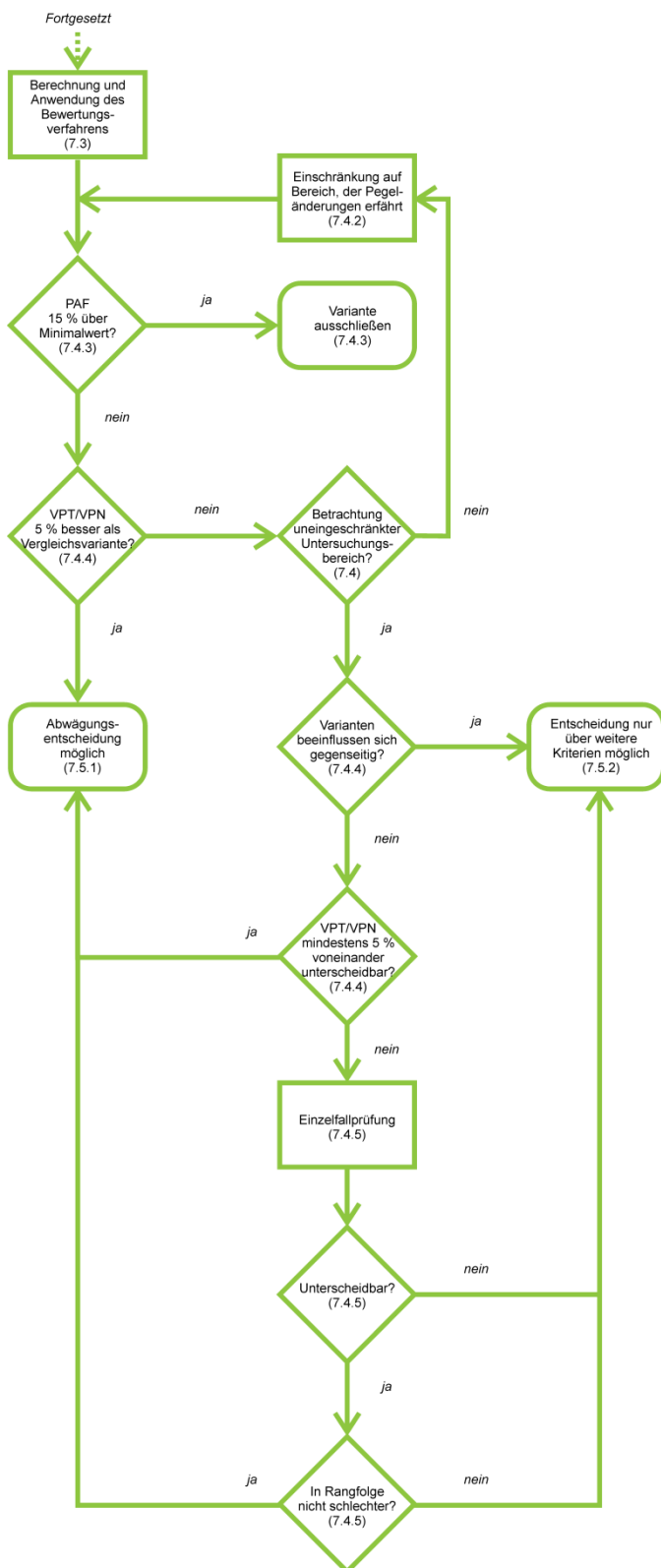


Abbildung 53: Flussdiagramm des Bewertungsverfahrens - Teil 2



## 8 Gesamtfazit

Die Beurteilung und Rangbildung von Flugrouten bewegt sich in einem übergeordneten Kontext von Grundsatzfragen der Lärmverteilung (Barth et. al. 2014). Der konkrete Umgang mit diesen Fragestellungen sollte neben den fachlichen Erwägungen auch unter Berücksichtigung der tatsächlich empfundenen Wirkung erfolgen. Im vorliegenden Bericht werden Aspekte verschiedener Ansätze wirkungsorientierter Vorgehensweisen bei Bewertungsverfahren aufgegriffen, einschließlich der lärmfachlichen Bewertung von Flugrouten am Flughafen BER durch das Umweltbundesamt. Das hier entwickelte Verfahren zur Flugroutenbewertung dient nicht einer möglichst exakten Prognose zu erwartender Wirkungen des Lärms auf die spezifische Bevölkerung im Einzugsbereich des betrachteten Flughafens zu einem bestimmten Zeitpunkt. Vielmehr soll die Fluglärmbelastung der Bevölkerung durch den Flugbetrieb eines Flughafens mit Hilfe von Prüfwerten unter Vermeidung des Anstiegs potenzieller Gesundheitsrisiken bei Hochbelasteten wirkungsorientiert bewertet werden. Auf eine Berücksichtigung von demographischen Spezifika des Untersuchungsgebiets, eine gesonderte Berücksichtigung von Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern sowie differenzierte Berücksichtigung von Senioren, Schülern oder Kindern wird dabei verzichtet.

Der in diesem Forschungsvorhaben verfolgte Ansatz geht von der persönlich erlebten Lärmbelästigung für den Tag und der selbstberichteten Schlafstörung in der Nacht aus. Als Ausschlusskriterium wird eine mögliche sich aus verschiedenen Flugroutenvarianten ergebende Gesundheitsgefährdung herangezogen. So soll sichergestellt werden, dass eine Verbesserung der Belästigungssituation nicht durch eine Erhöhung des Erkrankungsrisikos infolge einer starken Zunahme der Fluglärmbelastung in hohen Pegelbereichen erkauft wird. Dafür werden dimensionslose Prüfwerte für den Tag und die Nacht entwickelt, die als Bausteine der Entscheidungsgrundlage dienen.

Die Bewertungsfunktion der Varianten-Prüfwerte basiert auf den in der VDI 3722-2 veröffentlichten Verfahren zur Bestimmung des Anteils der „Belästigten“ (%A) sowie der „Schlafgestörten“ (%SD). Diese Funktionen sind als etablierter Standard zu betrachten. Zudem ermöglichen sie, wenn gewünscht, eine spätere Öffnung des Bewertungsverfahrens für die Berücksichtigung von Vorbelastungen. Im Hinblick auf die derzeitige Datenlage wird jedoch empfohlen, auf die Berücksichtigung von Vorbelastungen durch andere Lärmquellen gegenwärtig zu verzichten. Ebenso sollte auf die Einbeziehung von Erholungsgebieten verzichtet werden. Mit dem entwickelten Bewertungsverfahren für Flugrouten ist dies zwar grundsätzlich möglich, jedoch wird der Schutz der Flughafenwohnenden priorisiert, da sie einer dauerhaften Lärmbelastung ausgesetzt sind.

Für die Berücksichtigung von Gesundheits- bzw. Krankheitsrisiken wird auf die auch von der WHO angewandte „Population-Attributable-Fraction“ zurückgegriffen. Derzeit liegen in der Literatur jedoch keine einheitlichen Risikoschätzer vor, die mögliche Risikoerhöhungen umfänglich abbilden können. Ersatzweise wird das Verfahren mit den von der WHO im Jahr 2011 veröffentlichten Odds-Ratios für Herzinfarkte durch Straßenverkehrslärm angewandt. Sobald etablierte Indikatoren zu verschiedenen Krankheitsrisiken, wie Herzinfarkten, Herzinsuffizienz, Schlaganfälle sowie psychische Erkrankungen vorliegen, können diese verwendet werden.

Bei der Entwicklung des Bewertungsverfahrens wurde beachtet, dass kleinräumige Änderungen an Flugroutenvarianten mitunter nur zu geringen relativen Änderungen in der Gesamtbelastung führen können. Mit dem gestuften Bewertungsverfahren wurde diesem Umstand Rechnung getragen. Trotzdem können in der Praxis Fälle auftreten, in denen das entwickelte Verfahren keine eindeutige Bewertung und Priorisierung unter Lärmwirkungsaspekten im Sinne einer statistischen Unterscheidbarkeit ermöglicht. In diesen Fällen sind die Auswirkungen der Flugroutenveränderungen auf die Lärmbelastung jedoch als so gering einzustufen, dass anderen Bewertungsgrößen herangezogen werden sollten. Hierzu können Kriterien wie Ruhige Gebiete, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklungen, Vorbelastungen u. ä. verwendet werden.

Zur Validierung des beschriebenen Bewertungsverfahrens wurde ein realitätsnaher Modellflughafen mit Flugrouten-Varianten und typischen Siedlungsstrukturen entwickelt und angewendet. Die Bewertungsergebnisse zeigen, dass sich mit dem Verfahren klare Präferenzen für Flugroutenvarianten hinsichtlich der Lärmbelastung der Bevölkerung ergeben, die vor dem Hintergrund einer Unsicherheitsbetrachtung statistisch unterscheidbar sind.



## 9 Quellenverzeichnis

- ACCON (2015): Rahmenplan zur Lärmaktionsplanung im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Teilaspekt Fluglärm), Teil 2 Lärminderung - Monitoring – Evaluierung, Bericht-Nr.: ACB-1214-6171/05 im Auftrag des Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, ACCON GmbH, Greifenberg 2015
- Aiello J. R., Svec C. M. (1993): Computer monitoring of work performance: Social facilitation and electronic presence. *Journal of Applied Social Psychology*, 23, 537–548.
- Altena K., Beersma D.G.M. (1993): Sleep, noise and immunosuppression. In: *Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2.* Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 575 578.
- Andren L. (1982): Cardiovascular effects of noise. *Acta Medica Scandinavica Supplement* 657, 1 45.
- Arbeitsgruppe der EU-Kommission für die Bewertung von Lärmbelastung (2006): *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (GPG)*, Version 2, 13. Januar 2006.
- Arndt D. (1995): In: Maschke C., et al.: *Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner.* Gustav Fischer Verlag Stuttgart; S. 127-129.
- AzD/AzB (2008): Bekanntmachung der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) und der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19.11.2008, Bundesanzeiger vom 23.12.2008.
- Babisch W., van Kamp I. (2009): Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise and Health* 2009; 44:161-168.
- Babisch W. (2011): Quantifizierung des Einflusses von Lärm auf Lebensqualität und Gesundheit. UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst, 01/2011, S. 28-36.
- Babisch W. (2014): Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise and Health*, Vol. 16, Issue 68.
- BA-FVD (2015), Deutsche Flugsicherung GmbH: Betriebsanweisung Flugverkehrsdienste, Fassung vom 10.12.2015
- Bahlmann J., Korb F.M., Gratton C., Friederici A.D. (2012): Levels of Integration in Cognitive Control and Sequence Processing in the Prefrontal Cortex. *PloSONE* 7(8): e43774.
- Barth R. (2010): Verstellung der Eckpunkte zum Lärmindex und Ausblick. Öko-Institut e.V., 208. Sitzung der Fluglärmkommission Frankfurt/Main am 17.03.2010.
- Barth R. (2013): Überblick – Bericht zur Entwicklung der Frankfurter Fluglärmindizes 2007-2012. Öko-Institut e.V., Pressegespräch 18.06.2013.
- Barth R., Giemulla E., Schütte S., Öko-Institut e.V. (2014): Gutachten zur Prüfung von formell- und materiell-rechtlichen Vorgehensmöglichkeiten bei der Festlegung von Flugrouten. UBA Texte 29/2014.
- Basner M., Isermann U., Samel A. (2006): Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study. *J.Acoust.Soc.Am.* 119 2772-2784.
- Bjorkman M., Ahrlin U., Rylander R. (1992): Aircraft noise annoyance and average versus maximum noise levels. *Archives of Environmental Health* 47(5), 326 329.
- Boeing: <http://www.boeing.com/boeing/commercial/noise/list.page> (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- Bonacker M. (2008): Bürgerbeteiligung und Verkehr. In: Heft 1 / 2008: Stadtentwicklung und Verkehr, vhw – Bundesverband für Wohnen und Stadtentwicklung e. V.
- Brenner H., Oberacker A., Kranig W., Buchwalsky R. (1993): A field study on the immediate effects of exposure to low altitude flights on heart rate and arrhythmia in patients with cardiac diseases. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 65(4), 263 268.
- Brink M., et al. (2005): Lärmstudie 2000 Zusammenfassung. ETH Zürich, Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften.
- Brown A.L., van Kamp I. (2009): Response to a change in transport noise exposure: Competing explanations of change effects. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125 (2), 905-914.

BImSchG (2013): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17.05.2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 76 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist

Burokas J. (2013): Überblick über die Regelungen über „Ruhige Gebiete“ in Europa, Umweltbundesamt I 3.4, Dessau-Roßlau, März 2013, ergänzt bei der LÄRMKONTOR GmbH, Hamburg, April 2013.

Correia A.W., Peters J.L., Levy J.L., Melly S., Dominici F. (2013): Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: a multi-airport retrospective study. *BMJ* 2013;347:f5561

Dejoy D.M. (1984): A report of the status of research on the cardiovascular effects of noise. *Noise Control Engineering Journal* 23, 32-39.

DFS (2011), Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS): Presseinformation, DFS prüft innovatives Anflugverfahren „Point Merge“, 22.12.2011.

DFS2 (2013), Deutsche Flugsicherung GmbH(DFS): Gemeinsam für die Region - Eine Allianz für den Lärmschutz, Stand August 2013, [http://www.dfs.de/dfs\\_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Flughafenausbauprojekte/allianz\\_lärmschutz.pdf](http://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Flughafenausbauprojekte/allianz_lärmschutz.pdf) (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)

DFS3, Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS): CDA – Continuous Descent Approach, o.J., [https://www.dfs.de/dfs\\_homepage/de/Presse/Publikationen/cda.pdf](https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Publikationen/cda.pdf) (zuletzt abgerufen am 19.05.2015)

DFS4 (2015), Deutsche Flugsicherung GmbH(DFS): Point Merge in Germany, <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/sesar/point-merge-in-germany.pdf> (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)

DFS5, Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS): Anflugverfahren, Der kontinuierliche Sinkflug (Continuous Descent Operations CDO), o.J.,[https://www.dfs.de/dfs\\_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Umweltfreundliches%20Fliegen/Anflugverfahren/](https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Umweltfreundliches%20Fliegen/Anflugverfahren/) (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)

DLR (2004): Basner M., Buess H., Elmenhorst D., Gerlich A., Luks N., Maaß H., Mawet L., Müller E.-W., Müller U., Plath G., Quehl J., Samel A., Schulze M., Vejvoda M., and Wenzel J.: „Nachtfluglärmwirkungen, Band 1, Zusammenfassung. Forschungsbericht 2004-07/D“, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, (DLR), Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln, Deutschland, 2004.

DLR2, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Hubschrauber: Das Projekt Leiser Flugverkehr – LFKV, o.J., [http://www.dlr.de/as/desktopdefault.aspx/tabid-192/402\\_read-11273/](http://www.dlr.de/as/desktopdefault.aspx/tabid-192/402_read-11273/) (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)

EEA – European Environment Agency (2010): Good practice guide on noise exposure and potential health effects, Copenhagen.

EGLC (2011), Jeppesen Inc.: Flugverfahren am Flughafen London City, <http://www.ukvirtual.co.uk/dl/charts/eglc.pdf>

EMPA (2014), „Flughafen Zürich – Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2013“.

Erdmann C.A. (2006): Using „Population Attributable Fraction“ to Understand: To What Extent Can Breast Cancer Incidence Be Attributed to Higher Socioeconomic Status?. In: „The Ribbon - A Newsletter of the Cornell University Program on Breast Cancer and Environmental Risk Factors (BCERF)“, Volume 11, Number 3, Summer 2006.

Eriksson C., Rosenlund M., Pershagen G., Hilding A., Östenson C.G., Bluhm G. (2007): Aircraft noise and incidence of hypertension. *Epidemiology* 2007, 18(6):716-721.

EUROCONTROL, Point Merge: improving and harmonising arrival operations with existing technology, o.J.,<https://www.eurocontrol.int/services/point-merge-concept> (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)

EEA – European Environment Agency (2010): Good practice guide on noise exposure and potential health effects, Copenhagen.

Expertengremium Aktiver Schallschutz (2010): „Anhebung des Anfluggleitwinkels auf 3,2 Grad auf der zukünftigen NW-Bahn, Hintergrundinformationen zum „Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz - Erstes Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz am Flughafen Frankfurt/Main“, Stand 29.06.2010.

- Felscher-Suhr U., Schreckenber D. (2000): Beeinflussung der Wirksamkeit von Schallschutzmaßnahmen durch visuelle und psychologische Faktoren, DAGA 2000; S. 530-531.
- Felscher-Suhr U., Höger R., Schreckenber D. (2002): Wirkungsbezogenes Lärmbeurteilungsverfahren. Endbericht zum Projekt 298 532 65. UBA-Forschungsbericht, 2004.
- Fidell I., et al. (2011): A first-principles model for estimating the prevalence of annoyance with aircraft noise exposure. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 130, No. 2, August 2011.
- Finke H.O., Guski R., Rohmann B. (1980): Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Bericht über eine interdisziplinäre Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- FIS (2014), Forschungsinformationssystem: Lärmzulassungsvorschriften nach Annex 16 der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation, <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/96022>, (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- Flasbarth J., Wörner J.D., Sailer M. (2013): Öffentlichkeitsbeteiligung in Planungs- und Genehmigungsverfahren neu denken. In: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2013) UMWELT und MENSCH – INFORMATIONSDIENST UMID. Themenheft Bürgerbeteiligung im Umwelt- und Gesundheitsschutz Positionen – Perspektiven – Handlungsfelder, Ausgabe 2 2013. [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/umid\\_2\\_2013.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/umid_2_2013.pdf)
- FFR1 (2010): Forum Flughafen und Region: Hintergrundinformationen zum „Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz – Erstes Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz am Flughafen Frankfurt/Main, Kap. 4.1.3, Optimierung Betriebsrichtungswechsel je nach Rückenwind, [http://www.forum-flughafen-region.de/fileadmin/files/Massnahmen\\_Express/Hintergrund\\_Rueckenwind\\_Layout.pdf](http://www.forum-flughafen-region.de/fileadmin/files/Massnahmen_Express/Hintergrund_Rueckenwind_Layout.pdf) (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- FFR2, Forum Flughafen und Region: Infos zu Betriebsrichtung und Rückenwind, o.J., <http://www.forum-flughafen-region.de/themen/basiswissen/betriebsrichtung-und-rueckenwind/> (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- FFR3 (2010), Forum Flughafen und Region: Hintergrundinformationen zum „Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz – Erstes Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz am Flughafen Frankfurt/Main, Kap. 4.1.4, Einführung Anflugverfahren Segmented RNAV (GPS), [http://www.forum-flughafen-region.de/fileadmin/files/Massnahmen\\_Express/Hintergrund\\_segmented\\_Layout.pdf](http://www.forum-flughafen-region.de/fileadmin/files/Massnahmen_Express/Hintergrund_segmented_Layout.pdf) (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- FFR4 (2010), Forum Flughafen und Region: Hintergrundinformationen zum „Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz – Erstes Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz am Flughafen Frankfurt/Main“, Kap. 4.1.7, Anhebung des Anfluggleitwinkels auf 3,2 Grad auf der zukünftigen NW-Bahn, [http://www.forum-flughafen-region.de/fileadmin/files/Massnahmen\\_Express/Hintergrund\\_erhoelter\\_Anfluggleitwinkel\\_3\\_2\\_Grad\\_Layout.pdf](http://www.forum-flughafen-region.de/fileadmin/files/Massnahmen_Express/Hintergrund_erhoelter_Anfluggleitwinkel_3_2_Grad_Layout.pdf) (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- Fluglärmschutzgesetz (2007): Bekanntmachung der Neufassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm vom 31.10.2007 (BGBl. I S. 2550)
- Franssen E.A.M., van Wiechen C.M.A.G., Nagelkerke N.J.D., Lebrecht E. (2004): Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occup Environ Med* 2004; 61: 405-413.
- Fraport (2015), Bündelung der Starts auf bestimmten Bahnen beziehungsweise Routen zwischen 5 und 6 Uhr (Dedicated Runway Operations, DROps), <http://www.fraport.de/de/nachhaltigkeit/schallschutz-fluglaerm/schallschutz/buendelung-der-starts-auf-bestimmten-bahnen-beziehungsweise-rout.html> (zuletzt abgerufen am 05.05.2015)
- FSAV (2015), Verordnung über die Flugsicherungsausrüstung der Luftfahrzeuge vom 26.11.2004 (BGBl. I S. 3093), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 29.10.2015 (BGBl. I S. 1894)
- Giering K. (2010): Lärmwirkungen. Dosis-Wirkungsrelationen. FKZ 36301999/67, März 2010.
- Glass D.C., Singer J. (1972): Urban stressors: Experiments on noise and social stressors. New York: Academic Press.
- Gjestland T., Liasjø K.H., Granøien I.L.N., Fields J.M. (1990): Response to noise around Oslo Airport Fornebu. Trondheim: Elab-Runit Sintef Gruppen. Acoustics Research Center. Report STF40 A90189.

- Greiser E., Janhsen K., Greiser C. (2006): Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 205 51 100, November 2006.
- Greiser E., Greiser C. (2010): Risikofaktor nächtlicher Fluglärm. Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn, FKZ 3708 51 101, März 2010.
- Guski R. (1987): Lärm. Wirkungen unerwünschter Geräusche, Verlag Hans Huber, Bern.
- Guski R. (1993): Psychische Auswirkungen von Umweltbelastungen, Bericht Nr. 42 / 1993, Ruhr-Universität Bochum 1993
- Guski R., Schuemer R., Felscher-Suhr U. (1999): The concept of noise annoyance: how international experts see it. J. Sound Vibr. 223: 516-527.
- Guski R. (2001): Der Referentenentwurf zum Fluglärmgesetz aus der Sicht eines Wirkungsforscher In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 48 (2001) Nr. 4 – Juli, Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung (DAL) (Hrsg.), Springer VDI Verlag.
- Guski R. (2008): Aspekte von Fluglärmwirkungen, UBA-Fachgespräch am 01.12.2008 in Berlin.
- Guski R., Basner M., Brink M. (2012): Gesundheitliche Auswirkungen nächtlichen Fluglärms: aktueller Wissensstand (Literaturauswertung). Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Guski R. (2013): Lärmwirkungsstudien: Wie ist der Stand der Wissenschaft? Vortrag im Rahmen des BDL-Forums „Lärmschutz im Luftverkehr“ am 5. März 2013.
- Guski R., Schreckenber D. (2015): NORAH (Noise-related annoyance, cognition, and health). Verkehrslärmwirkungen im Flughafenfeld. Gesamtbetrachtung des Forschungsprojekts NORAH. Im Auftrag der gemeinnützigen Umwelthaus GmbH, Kelsterbach, veröffentlicht 2015.
- Hansell A.L., et al. (2013): Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: a small area study. BMJ 2013;347:f5432
- Haralabidis A.S., Dimakopoulou K., Vigna-Taglianti F., Giampolo M., Borgini A., Dudley M.L., Pershagen G., Bluhm G., Houthuijs D., Babisch W., Velonakis M., Katsouyanni K., Jarup L.; HYENA Consortium (2008): Acute effects of nighttime noise exposure on blood pressure in populations living near airports. Eur Heart J 2008; 29:658-664.
- Health Council of the Netherlands (1991): Vliegtuiglawaai en slaap. Airplane noise and sleep. Verstoring va de slap door nachtelijk vliegtuiglawaai. Sleep disturbance by airplane noise at night. S-Gravenhage 1991.(Report 1191/05).
- Health Council of the Netherlands (1994): Noise and Health Report by a committee of the Health Council of the Netherlands. No. 1994/15E. Den Haag, 15.9.1994, S. 43-45.
- Health Council of the Netherlands (1999): Committee on the Health Impact of Large Airports. Public health impact of large airports. No. 1999/14E, Den Haag, 1999, S. 79.
- HMWEVL1 (2015), Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung: Lärmpausen erfolgreich gestartet, <https://wirtschaft.hessen.de/presse/pressemitteilung/laermpausen-erfolgreich-gestartet> (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- HMWEVL2 (2015), Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung: Lärmpausen – Probetrieb läuft erfolgreich, <https://wirtschaft.hessen.de/verkehr/probebetrieb-startet-im-april> (zuletzt abgerufen am 30.05.2016)
- Holzmann E., Pohlmann G., Schluchter W. (1982): Umweltforschungsplan des BMI, Lärmbekämpfung, Forschungsbericht 105 01 316: Lästigkeit zeitlich schwankender Verkehrsgeräusche.
- Hotes A., Radig A., Hüttig G., Lehmann O., Schubert E. (2010): Verfahren zur Beurteilung und Festlegung von lärmindernden Flugstrecken. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFOPLAN 3707 54 100, Berlin, UBA-Texte 31/2013, veröffentlicht 2013.
- Huss A., Spoerri A., Egger M., Rössli M. (2010): Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction. Epidemiology 2010; 21:829-836.
- IATA (2016): Air Passenger Market Analysis, December 2015, <http://www.iata.org/whatwedo/Documents/economics/passenger-analysis-dec-2015.pdf> (zuletzt abgerufen 25.02.2016)

- ICAO (2010): Continuous Descent Operations (CDO) Manual. (Doc 9931), 1st edition, 2010, International Civil Aviation Organization, Montreal
- ICAO, Doc 8168, Volume I, Flight Procedures, 5th edition, 2006
- ICAO, Doc 8168, Volume II, Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, 5th edition, 2006
- Ising H., Kruppa B. (2004): Health Effects caused by Noise: Evidence in the Literature from the Past 25 Years. *Noise & Health* 22(2004):5-13.
- Jarup L., Babisch W., Houthuijs D., Pershagen G., Katsouyanni K., Cadum E., Dudley M.L., Savigny P., Seiffert I., Swart W., Breugelmans O., Bluhm G., Selander J., Haralabidis A., Dimakopoulou K., Sourtzi P., Velonakis M., Vigna-Taglianti F. on behalf of the HYENA study team. (2008): Hypertension and exposure to noise near airports: The HYENA Study. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 329-333.
- Kastka J. (1983): Felduntersuchung zur Störwirkung von Geräuschen unterschiedlicher Schwankungsbreite. Forschungsbericht 83-10501312. Umweltforschungsplan des BMI, Lärmbekämpfung. Umweltbundesamt, Berlin.
- Kastka, J., et al. (1995): Ergebnisse von Längsschnittuntersuchungen zur Fluglärmwirkung am Flughafen Düsseldorf 1981-1993 im Vergleich zu Untersuchungen an anderen Flughäfen. *DAGA* 1995; S. 423-426.
- Kastka J. (1999): Analyse und Bewertung von vorliegenden Beschwerdedateien zu Flugbewegungen am Flughafen Frankfurt in Hinblick auf die Abhängigkeit vom Überflugpegel und anderen Bedingungen. Gutachten.
- Knipschild P. (1977a): Medical effects of aircraft noise, Community cardiovascular survey. *Int Arch Occup Environ Health* 1977; 40: 185-190.
- Knipschild P. (1977b): Medical effects of aircraft noise, Drug survey. *Int Arch Occup Environ Health* 1977; 197-200.
- konsalt (1999): Besucher- und Bedarfsuntersuchung im Altonaer Volkspark. Gutachten im Auftrag der Umweltbehörde Hamburg Fachamt für Stadtgrün und Erholung, Hamburg.
- konsalt, et al. (2001): Vor-Ort-Untersuchung zu „Qualität und Nutzung öffentlicher Grünanlagen in Berlin“ - Abschlussbericht - Hamburg und Berlin.
- Kuckartz U. (2000): Umweltbewusstsein in Deutschland 2000. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 299 11 132, Berlin 2000.
- Lanz G. (2013): Stakeholder-Dialog: Wie beteiligt man Bevölkerung an Planungsprozessen? Vortrag im Rahmen des BDL-Forums „Lärmschutz im Luftverkehr“ am 5. März 2013.
- LÄRMKONTOR , et al. (2007): Bell - Belästigung eines Landes durch Lärm. Erarbeitung nationaler Dosis-Wirkungs-Beziehungen für den Wirkungsbereich Lärmbelästigung für den Luft- und Straßenverkehr. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes 2007 Dessau-Roßlau.
- Luftfahrthandbuch Deutschland, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Stand 30.04.2015
- Luftfahrthandbuch der Niederlande, Stand 30.04.2015
- LuftVG (2007): Luftverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10.05.2007 (BGBl. I S. 698), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28.06.2016 (BGBl. I S. 1548) geändert worden ist
- LuftVO (2015): Luftverkehrs-Ordnung vom 29.10.2015 (BGBl. I S. 1894), die durch Artikel 3 des Gesetzes vom 28.06.2016 (BGBl. I S. 1548) geändert worden ist
- Maschke C., Druba M., Pleines F. (1997): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm - Eine Literaturübersicht - UBA- Forschungsbericht 97-105 01 213/07
- Maschke C., Wolf U., Leitmann T. (2003): Umweltbundesamt, Forschungsbericht Nr. 298 62 515 „Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose“, Umweltbundesamt, Berlin 2003.
- Meecham W.C., Shaw N. (1979): Effects of jet noise on mortality rates. *British Journal of Audiology* 13, 77 80.
- Meecham W.C., Shaw, N.A. (1993): Increase in mortality rates due to aircraft noise. In: *Noise and Disease*. Ising H. and Kruppa B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437-441.

- Miedema H.M.E., Oudshoorn C.G.M. (2001): Annoyance from transportation noise: relationship with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspect* 2001; 109:409-416.
- Miedema H.M.E., Vos H. (1998): Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 104 (6), 1998, S. 3423 – 3445.
- Moch A., Maramotti I. (1993): Multi dimensional approach to noise effects and to noise aftereffects. In: *Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2.* Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 543 546.
- Myck T. (2012): Lärmfachliche Bewertung der Flugrouten für den Flughafen Berlin Brandenburg, ZfL, 2012.
- Niemann H., Bonnefoy X., Braubach M., Hecht K., Maschke C., Rodrigues C., Röbbel N. (2006): Noise induced annoyance and morbidity results from the pan-European LARES study. *Noise Health*. 2006; 8:63-79.
- Niemann H., Maschke C. (2004): WHO LARES Final Report Noise Effects and Morbidity: World Health Organization Europe.
- Niemann H., Maschke C., Hecht K. (2005): Lärmbedingte Belästigung und Erkrankungsrisiko. Ergebnisse des paneuropäischen LARES-Survey. *Bundesgesundheitsblatt*, 48, 315-328.
- Oliva C. (1998): Belastung der Bevölkerung durch Flug- und Straßelärm. Duncker u. Humboldt, Berlin.
- Ortscheid J. (1996): Daten zur Belästigung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 2/43, 1996, S. 15-23.
- Ortscheid, J., Wende H. (2004): Lärmbelästigung in Deutschland. Ergebnisse der Befragung im Jahr 2004. Umweltbundesamt.
- Pfeiffer U. (2012): „Energieeffizienz und Klimaschutz im Luftverkehr – Was haben wir erreicht, was ist noch zu tun?“, Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft, Berlin, 20.06.2012.
- Quehl J. (2005): Nachtfluglärm. Belästigung und Schlaferleben. *Somnologie* 9 (2005):76-83.
- Rohrman B. H.-O. Finke, R. Guski, R. Schümer, A. Schümer-Kohrs (1978): *Fluglärm und seine Wirkungen auf den Menschen*. Verlag Hans Huber Bern.
- Rohrman B., Bonacker M. (1981): Forschungsbericht 81-10501210 im Auftrag des Umweltbundesamtes: Wirksamkeit von Lärmschutzmaßnahmen in Wohngebieten. Analyse der Probleme bei Längsschnittstudien. Mannheim.
- Rosenlund M., Berglund N., Pershagen G., Järup L., Bluhm G. (2001): Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise. *Occup Environ Med* 2001; 58: 769-773.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2002): Umweltgutachten 2002 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Deutscher Bundestag, Drucksache 14/8792 vom 15.4.2002, S. 271 ff.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2014): *Fluglärm reduzieren: Reformbedarf bei der Planung von Flughäfen und Flugrouten - Sondergutachten*. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Schick A. (1997): *Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung*. Lengerich, Pabst Science Publishers.
- Schreckenber D., Meis M., et al. (2006): Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Gutachten im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt. Endbericht. Bochum, Oldenburg, 2006, [www.verkehrslaermwirkung.de/RDF0911.pdf](http://www.verkehrslaermwirkung.de/RDF0911.pdf).
- Schreckenber D., Basner M., Thomann G. (2009): Wirkungsbezogene Fluglärmindizes. *Lärmbekämpfung* Bd. 4 (2009), Nr. 2, S. 47 ff.
- Schuemer R., Schreckenber D. (2000): Änderung der Lärmbelästigung bei Maßnahme bedingter, stufenweise veränderter Geräuschbelastung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 47, 134-143.
- Schuemer R., Schreckenber D., Felscher-Suhr U. (2003): *Wirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm*, Bochum 2003.
- Schreckenber D., Meis M. (2006) Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Gutachten. Endbericht. Frankfurt, 30.8.2006.
- Schreckenber D., Basner M., Thomann G. (2008): Wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauverfahrens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindizes für das Regionale Dialogforum Frankfurt (kurz: Wissenschaftliche Bewertung Fluglärmindizes Frankfurt), 27.07.2008.



- Schreckenber D. (2013): Lärmwirkung: Wie wirkt Lärm auf den Menschen? Vortrag im Rahmen des BDL-Forums „Lärmschutz im Luftverkehr“ am 5. März 2013.
- Spreng M., et al. (1994): Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm. UBA Bericht 94- 105 01.
- Stadt Frankfurt am Main (2009): Fluglärm und Gesundheit in der Rhein-Main-Region 2005. Frankfurt am Main.
- Stansfeld S.A., Matheson M.P. (2003): Noise pollution: non-auditory effects on health. *Br Med Bull* 2003; 68: 243-257.
- Statista (2015): Durchschnittliche Verweildauer in deutschen Krankenhäusern in den Jahren 1992 bis 2013 (in Tagen). <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/2604/umfrage/durchschnittliche-verweildauer-im-krankenhaus-seit-1992/> (zuletzt abgerufen am 25.02.2015)
- to70 (2012): Bewertung der Anflugverfahren in Ostrichtung (Piste 07) und Durchführung einer Schnellzeitsimulation zur Erstellung und Bewertung von alternativen Anflugverfahren am Flughafen Frankfurt am Main, S. 45, Mai 2012.
- Thompson S.J., Fidell, S. (1990): Feasibility of studying human health effects of aircraft noise in residential populations. In: *Noise as a Public Health Problem. Volume 4. New Advances in Noise Research. Part 1.* Berglund B. and Lindvall T. (Eds.). Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden.
- Umweltbundesamt (2004): Fluglärm 2004. Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen, Berlin.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): Lärmfachliche Bewertung der Flugrouten für den Verkehrsflughafen Berlin Brandenburg (BER) für die Benehmensbeteiligung nach § 32 Luftverkehrsgesetz, Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014): Umweltbewusstsein in Deutschland 2014 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2014>.
- Vallet M., Gagneux J.M., Blanchet V., Favre B., Labiale G. (1983): Long term sleep disturbance due to traffic noise. *Journal of Sound and Vibration* 90 (2); S. 173-191.
- Van Kempen E.E.M.M., Kruize H., Boshuizen H.C., Ameling C.B., Staatsen B.A.M., de Hollander A.E.M. (2002): The association between noise exposure and blood pressure and ischaemic heart disease: A meta-analysis. *Environ Health Perspect* 2002; 110: 307-317.
- Van Kamp I., Brown A.L. (2003): "Response to changed dose of environmental noise: Diverse results and explanations in the literature", *Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, 266-267, Rotterdam, NL.
- Van Kamp I., Brown A. L. (2013): "Response to changes in noise exposure: an update", *Proceedings of Acoustics 2013 – Victor Harbor*, Australian Acoustical Society, 17-20 November 2013, Victory Harbor.
- VDI 3722 Blatt 2 / Wirkung von Verkehrsgeräuschen. Teil 2: Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten, Beuth 2013.
- Vogelsang B. (2012): Akustische Bewertungskriterien bei der Festlegung von Flugrouten, Niedersächsisches Umweltministerium, DAGA 2012.
- Wehrspaun M., Schack K. (2013): Von der Bürgerbeteiligung zur gesellschaftlichen Erneuerung. In: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2013) *UMWELT und MENSCH – INFORMATIONSDIENST UMID. Themenheft Bürgerbeteiligung im Umwelt- und Gesundheitsschutz Positionen – Perspektiven – Handlungsfelder*, Ausgabe 2 2013. [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/umid\\_2\\_2013.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/umid_2_2013.pdf)
- World Health Organization (WHO) (2009): NIGHT NOISE GUIDELINES FOR EUROPE, [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf)
- WHO (2011): Burden of disease from environmental noise. Copenhagen. WHO Regional Office for Europe. <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environmental-health/noise/activities/assessing-the-risks-of-environmental-noise>
- WHO (2013): WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2011
- Wirth K., Brink M., Schierz C. (2004): Lärmstudie 2000: Fluglärmbelästigung um den Flughafen Zürich-Kloten. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 51 (2004) Nr. 2 – März, Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung (DAL) (Hrsg.), Springer VDI Verlag.

Wirth K. (2004): Lärmstudie 2000. Die Belästigungssituation im Umfeld des Flughafens Zürich. Aachen: Shaker Verlag.

Zaki G. (2007): Die Quadratur des Kreises - wohin mit dem Fluglärm? - Das Lärmbewertungssystem NIROS der Deutschen Flugsicherung, Lärmbekämpfung, Band 3, Nr. 6, S. 268-271.