

Integration neuerer Erkenntnisse in einen Novellierungsansatz für eine Fluglärmschutzverordnung

**Mathias Basner, Alexander Samel
DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin**

**Ullrich Isermann, Rainer Schmid
DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik**

Hintergrund

- **1998 Beschlussempfehlung des Verkehrsausschusses, dem Bundestag Vorschläge zur Verbesserung des Schutzes gegen Fluglärm vorzulegen**
- **Seit November 2000 Aktivitäten zur Novellierung des Fluglärmgesetzes Referentenentwurf im Juni 2004**
- **Gesetzesentwurf zur Vorlage im Kabinett im Mai 2005**

- **2002 Veröffentlichung der EU-Umgebungslärmrichtlinie**
- **Einführung der harmonisierten Bewertungsmaße L_{den} und L_{night}**
- **Entwicklung von harmonisierten Berechnungsverfahren für die EU**
- **Internationale Harmonisierung von Berechnungsverfahren (ECAC, SAE, ICAO)**

Novellierung Fluglärmgesetz

	Referentenentwurf 2004	Kabinettsentwurf 2005
Bestehende Flugplätze		
Tagschutzzone 1	$L_{Aeq,Tag} = 65 \text{ dB}$	$L_{Aeq,Tag} = 65 \text{ dB}$
Tagschutzzone 2	$L_{Aeq,Tag} = 60 \text{ dB}$	$L_{Aeq,Tag} = 60 \text{ dB}$
Nachtschutzzone 1	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB} / NAT_{Nacht,6x57}$	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB} / NAT_{Nacht,6x57}$
Nachtschutzzone 2	$L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB} / NAT_{Nacht,4x55}$	-
Neu- und Ausbau		
Tagschutzzone 1	$L_{Aeq,Tag} = 60 \text{ dB}$	$L_{Aeq,Tag} = 60 \text{ dB}$
Tagschutzzone 2	$L_{Aeq,Tag} = 55 \text{ dB}$	$L_{Aeq,Tag} = 55 \text{ dB}$
Nachtschutzzone 1	$L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB} / NAT_{Nacht,6x53}$	$L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB} / NAT_{Nacht,6x53}$
Nachtschutzzone 2	$L_{Aeq,Nacht} = 45 \text{ dB} / NAT_{Nacht,4x52}$	-
Überlagerungsregel	100%-Regel ab 5%	2σ -Regel Tag / 3σ -Regel Nacht

Gliederung der Untersuchung

Untersuchungen zur Lärmwirkungsforschung (M. Basner, A. Samel)

- Die „Synopsis“
- Die DLR-Nachtfluglärmstudie

Aspekte der Fluglärmrechnung (U. Isermann, R. Schmid)

- Bewertungsmaße
- Überlagerungsverfahren
- Anforderungen an Berechnungsverfahren

Vortrag Basner / Samel



Fluglärmbewertungsmaße

In Deutschland z.Z. eingesetzt:

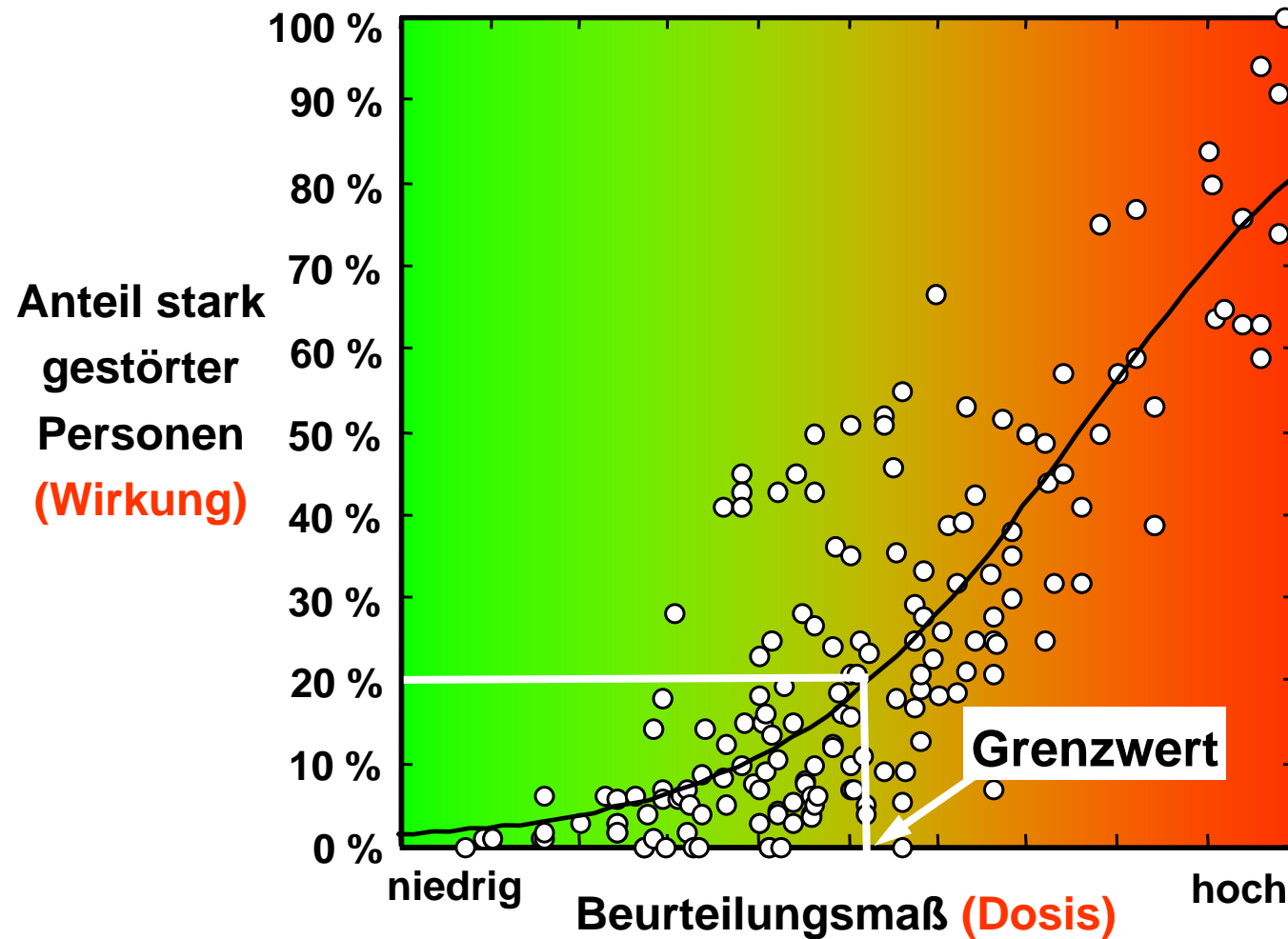
- äquivalente Dauerschallpegel
- NAT- oder Schwellenwertkriterien
- Anzahl fluglärminduzierter Aufwachreaktionen

Anforderungen:

- Messbarkeit
- Berechenbarkeit
- eindeutige Definition
- Stabilität

Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Dosis-Wirkungs-Beziehungen beschreiben durchschnittliche Reaktionen, nicht individuelle Reaktionen einzelner Personen !



Grenzwerte

Grenzwerte

- dienen zur Festlegung von Schutz- und Planungsmaßnahmen,
- können abgestuft definiert werden (Schwellenwert, präventiver Richtwert, kritischer Toleranzwert)
- sollten sich an **Dosis-Wirkungs-Beziehungen** orientieren
- müssen auf die spezielle Wahl des Beurteilungsmaßes abgestimmt sein

Bei einem Wechsel des Beurteilungsmasses muss überprüft werden, ob ein Wechsel der entsprechenden Grenzwerte notwendig ist !

Äquivalente Dauerschallpegel

$$L_{EQ} = k \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_i 10^{(L_{\max,i} + \Delta_i)/k} \cdot t_i \right] + C$$

- k** Äquivalenzparameter (proportional zum Halbierungsparameter)
- T** Bezugszeitraum (meist 6 oder 12 Monate)
- i** laufende Nummer des Geräusches im Bezugszeitraum
- Δ_i** **Aufschlag abhängig von Beurteilungszeit (Tag, Abend, Nacht)**
- $L_{\max,i}$** Maximalpegel des i-ten Geräusches
- t_i** Dauer des i-ten Geräusches
- C** Konstante

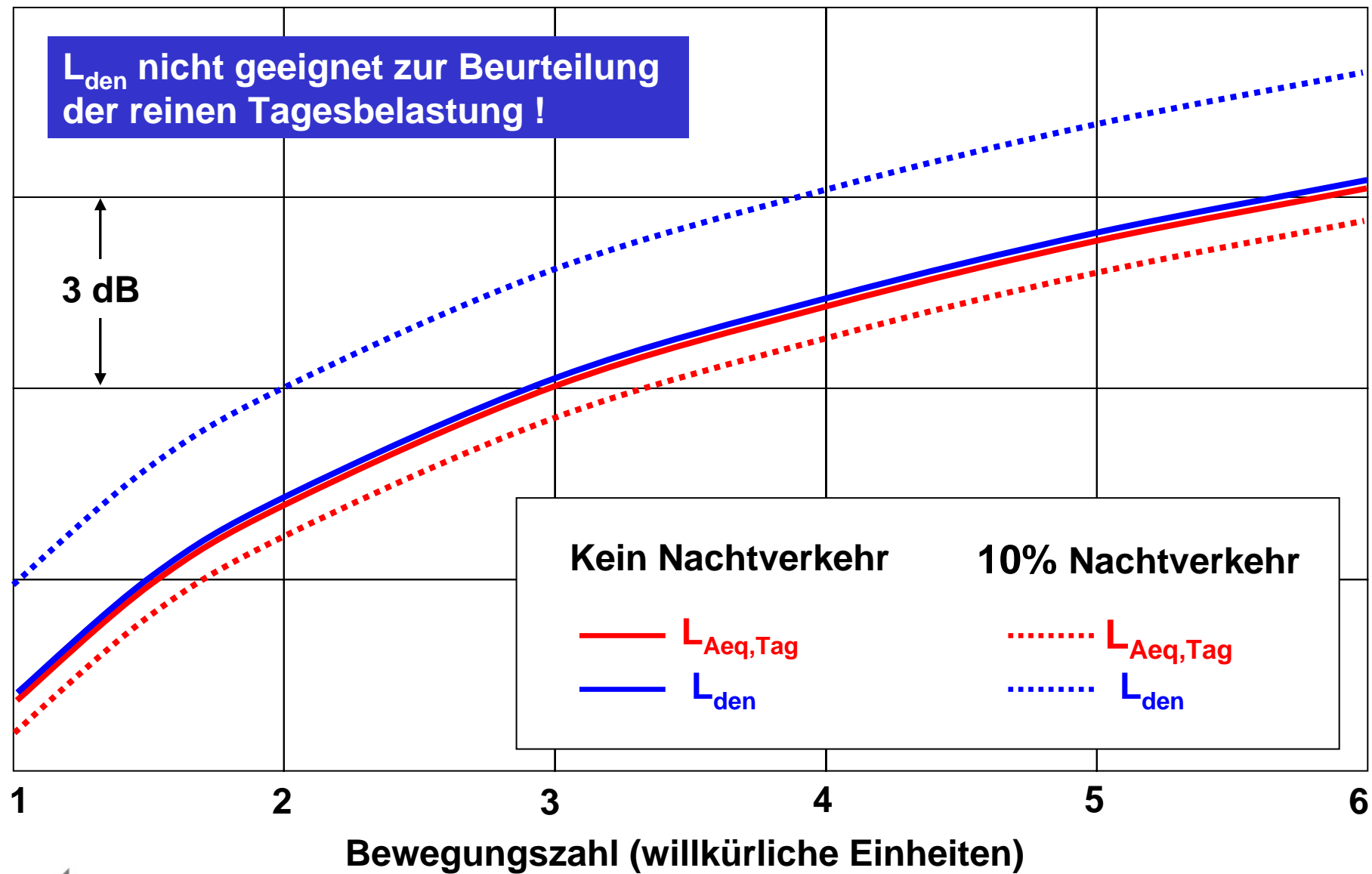
Der Aufschlag Δ_i ordnet Geräuschen während sensibler Zeiten (Abend, Nacht) einen Malus zu \Rightarrow Übergang zur Beurteilung !

Beispiele für äquivalente Dauerschallpegel

		k	Δ_{Tag}	Δ_{Abend}	Δ_{Nacht}	Varianten
Energieäquivalenter Dauerschallpegel	L_{Aeq}	10	0	0	0	$L_{\text{Aeq,Tag}}$ $L_{\text{Aeq,Nacht}} = L_{\text{Night}}$ $L_{\text{Aeq,24h}}$
Dauerschallpegel nach Fluglärmggesetz	$L_{\text{eq(4)}}$	13.3	2.3 0	2.3 0	0 9.3	Fall A ⁽¹⁾ Fall B ⁽²⁾
Day-Night Equivalent Noise Level	L_{DN}	10	0	0	10	
Day-Evening-Night Equivalent Noise Level	L_{DEN}	10	0	5	10	

- (1) Kommt bei tagesdominierten Flugbetrieben zum Tragen
- (2) Kommt bei signifikantem Nachtflugbetrieb zum Tragen

Einfluss der tageszeitbezogenen Wichtung



Schwellenwert-Kriterien

NAT = “Number Above Threshold”

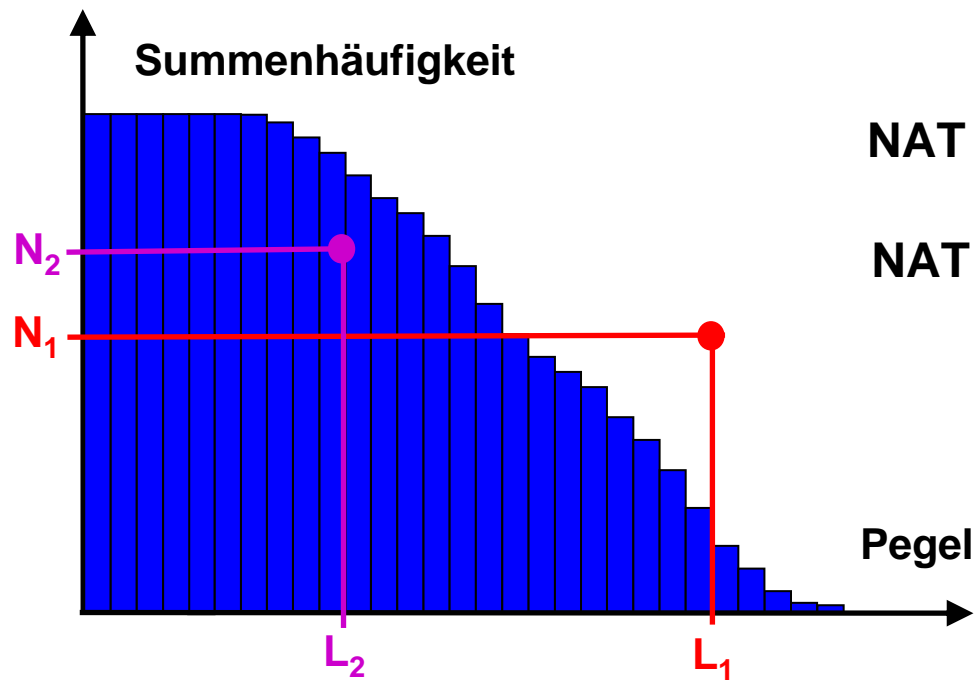
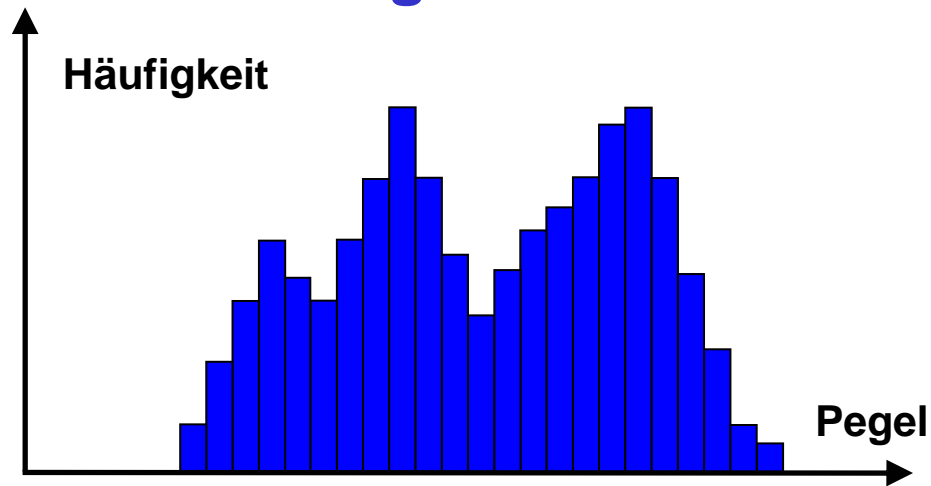
- definieren die maximal erlaubte Überschreitungshäufigkeit eines Maximalpegel-Schwellenwerts
- werden primär zur Beurteilung der Wirkung nächtlichen Fluglärms herangezogen

Das Kriterium

NAT N_S x L_S dB

ist verletzt, wenn pro Nacht ein Maximalpegel von L_S dB mehr als N_S mal überschritten wird

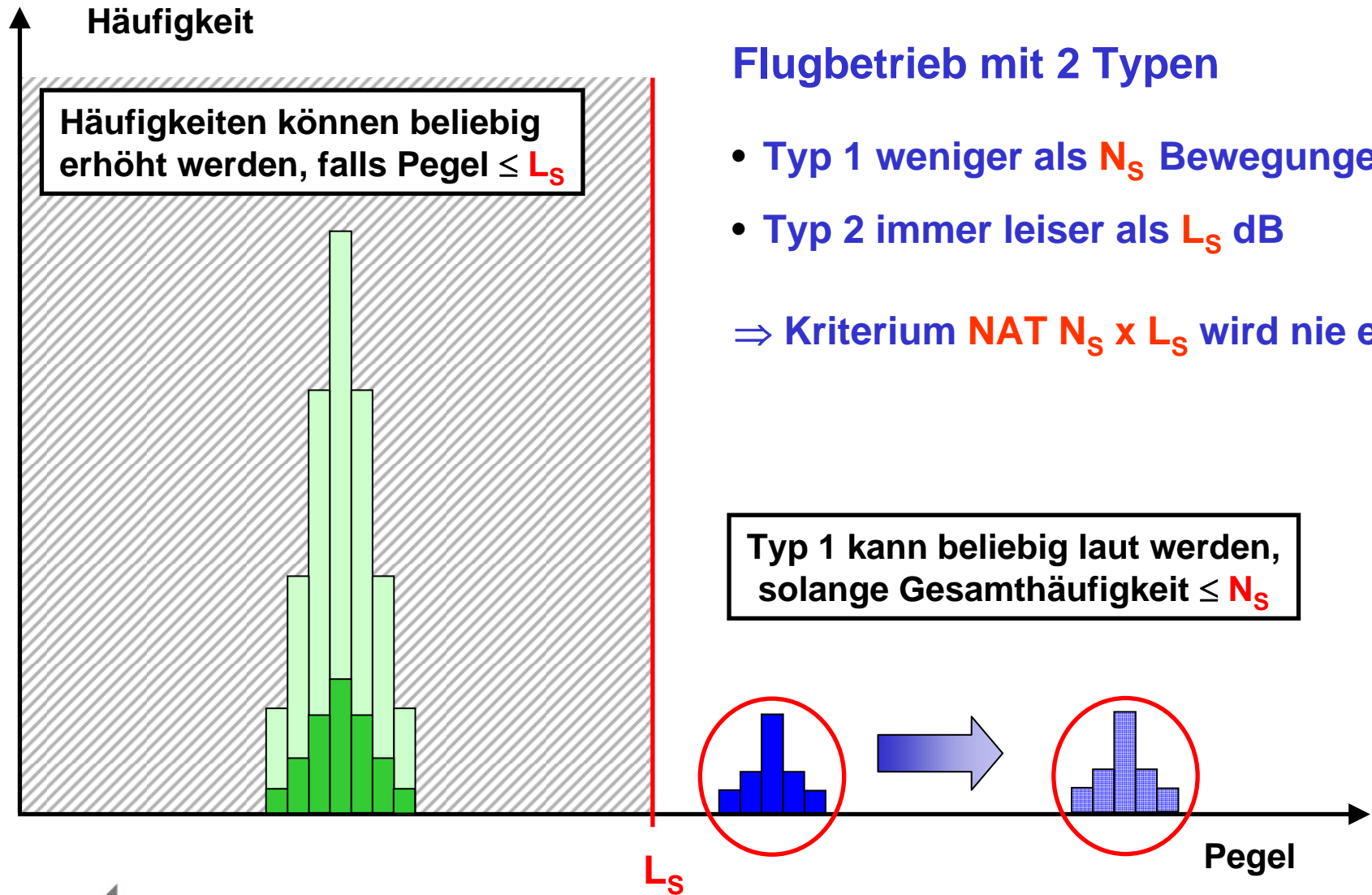
Häufigkeitsverteilung und NAT-Kriterium



NAT $N_1 \times L_1$ dB **nicht verletzt**

NAT $N_2 \times L_2$ dB **verletzt**

Eigenschaften von NAT-Kriterien

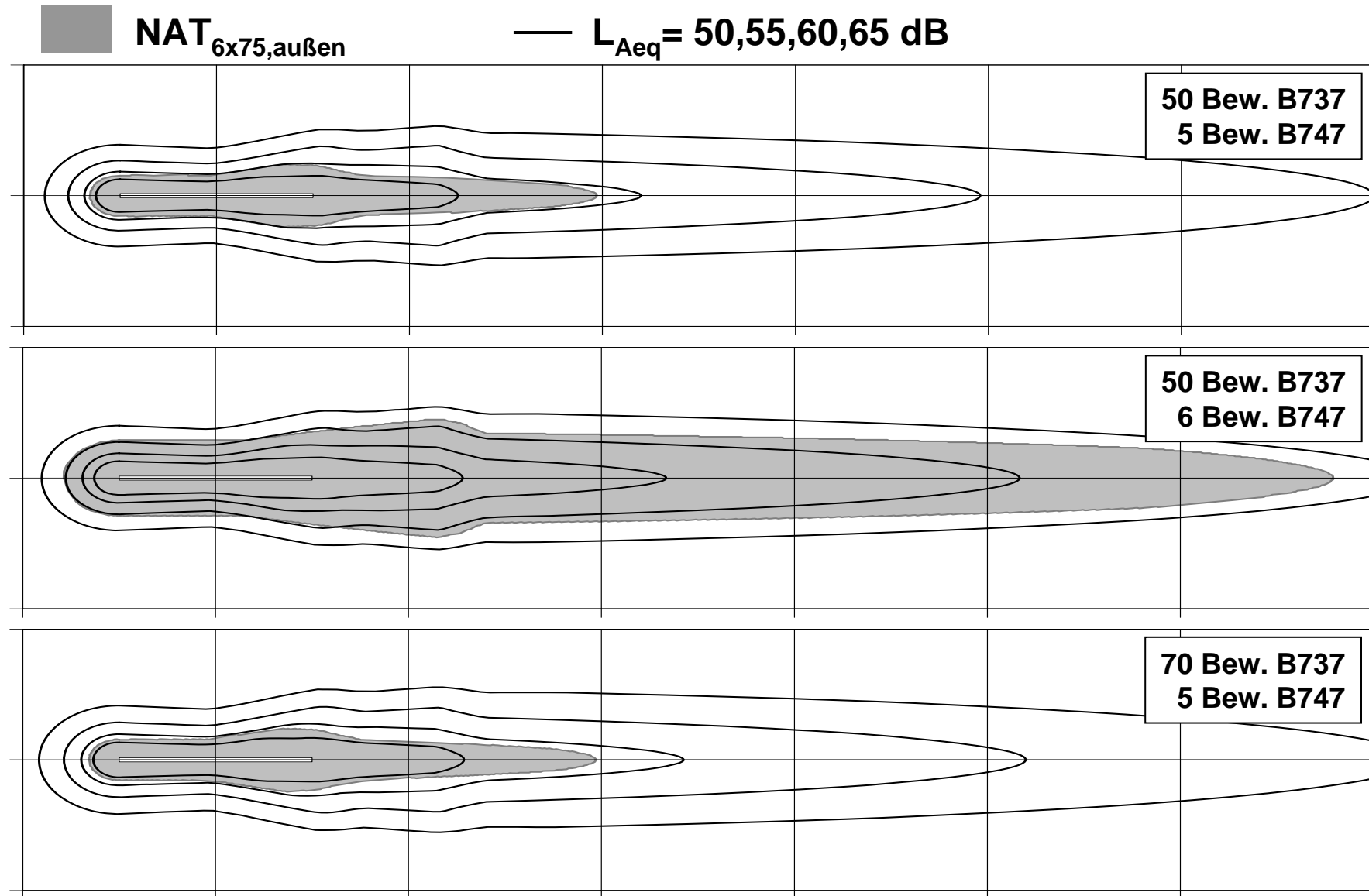


Flugbetrieb mit 2 Typen

- Typ 1 weniger als N_s Bewegungen
- Typ 2 immer leiser als L_s dB

⇒ Kriterium NAT $N_s \times L_s$ wird nie erfüllt

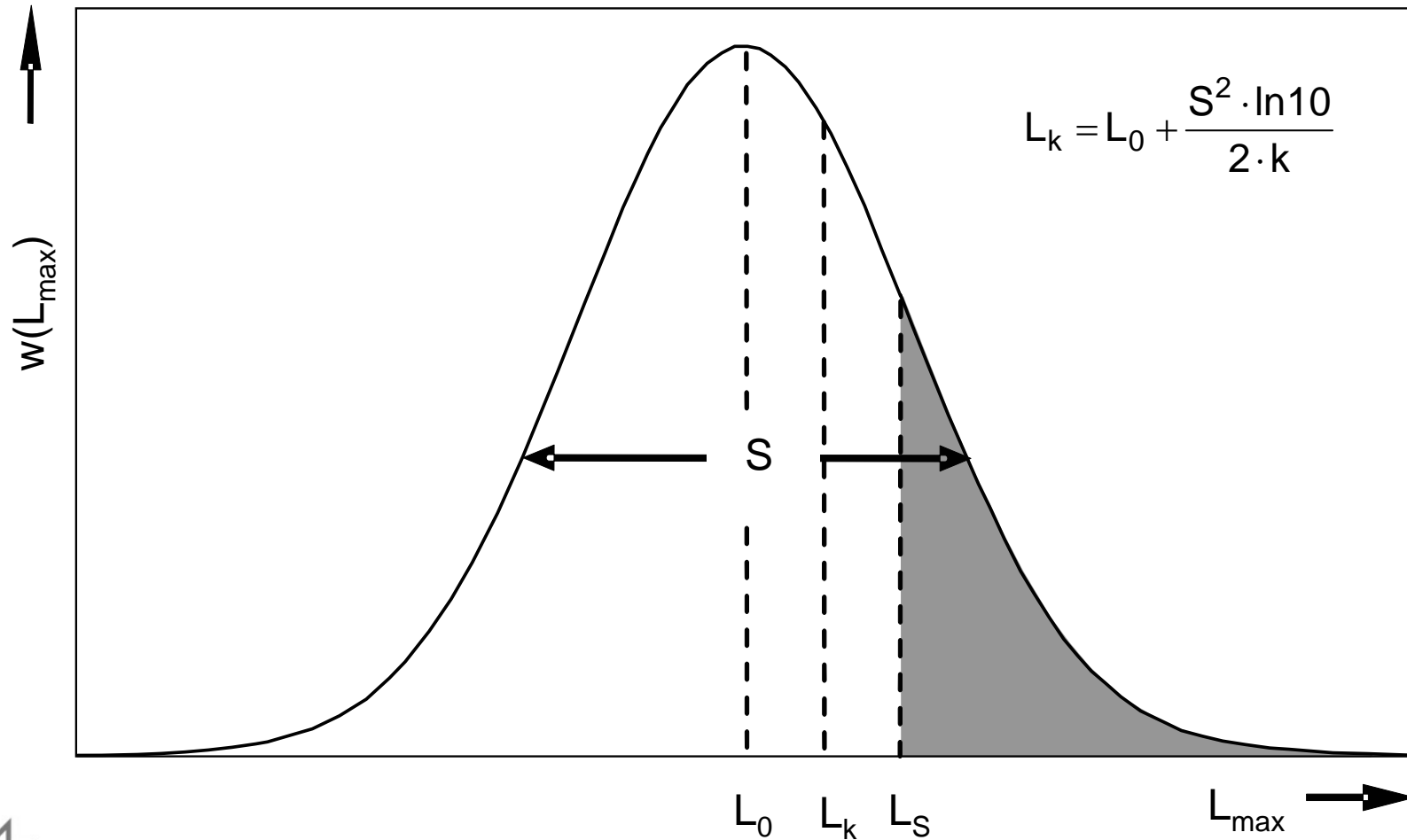
NAT-Kriterien bei ungeeignetem Modellierungssatz



Einführung von normalverteilten Pegeln

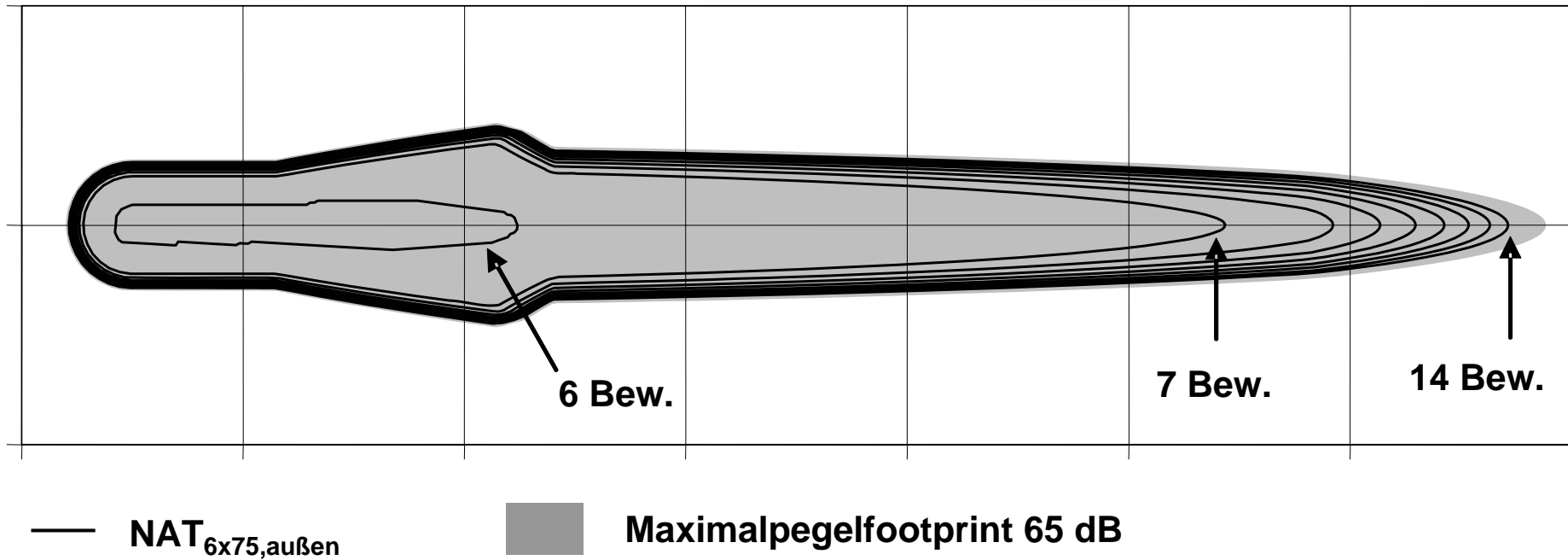
Normalverteilung

$$w(L_{\max}, L_0, S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{L_{\max} - L_0}{S}\right)^2\right]$$

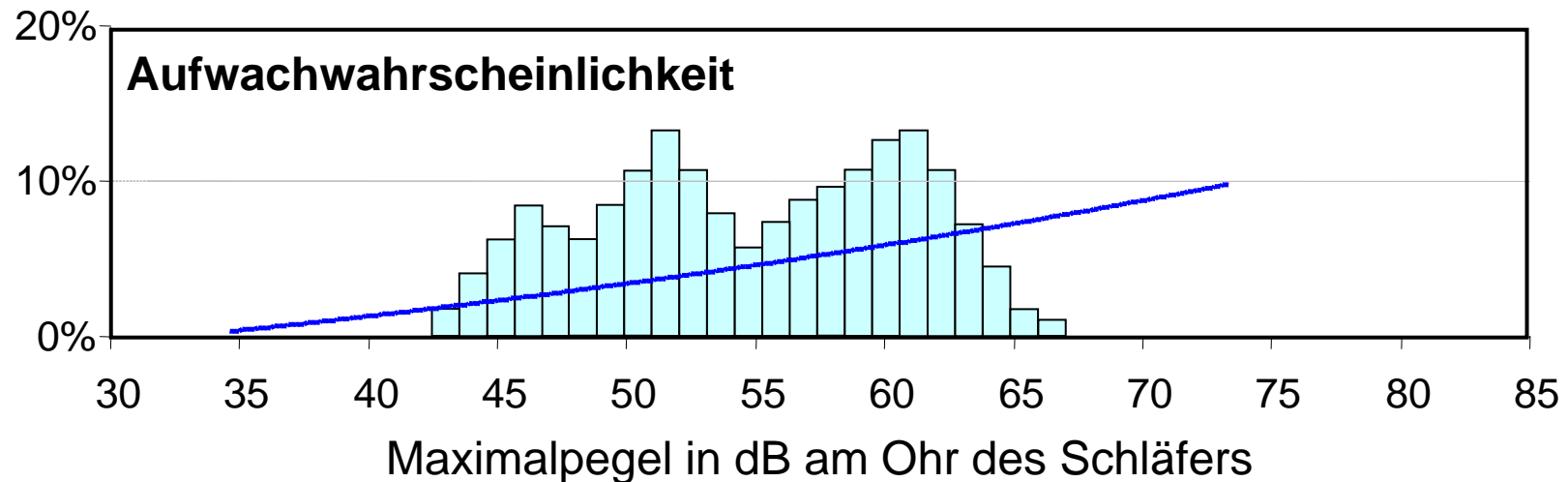


Normalverteilte Pegel und NAT-Konturen

6 – 14 Abflüge B747, Rechnung mit normalverteilten Pegeln



Das DLR Nachtfluglärmkriterium

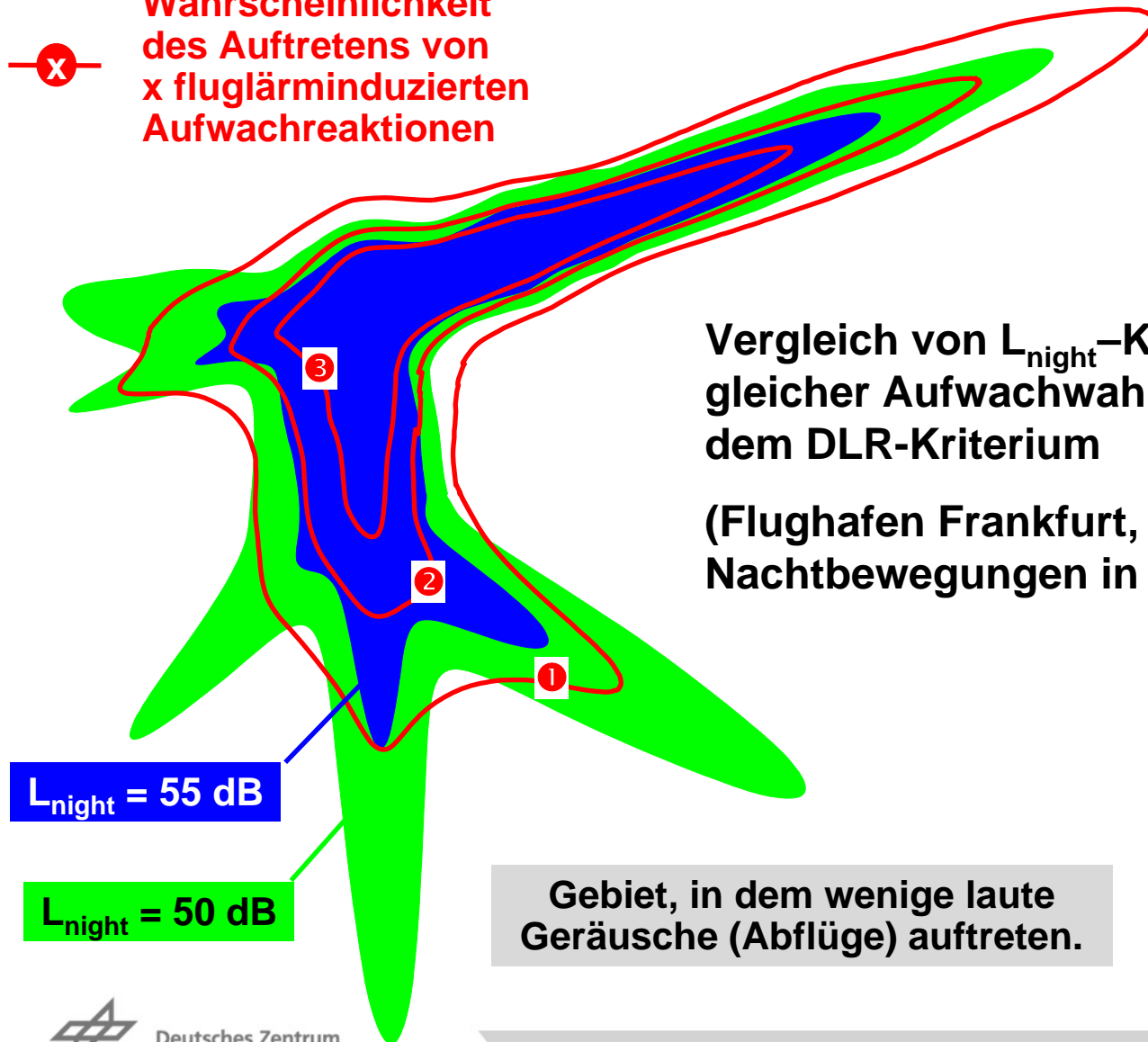


- Jeder Pegelklasse wird eine **prozentuale Aufwachwahrscheinlichkeit** zugeordnet.
- Diese wird mit der Anzahl der in diese Pegelklasse fallenden Geräusche multipliziert (**⇒Dosis**).
- Die Anzahl N_{AWR} der zu erwartenden Aufwachreaktionen ergibt sich aus der Summation über alle Geräusche (**⇒Wirkung**).

Umsetzung des DLR-Nachtfluglärmkriteriums

x Wahrscheinlichkeit
des Auftretens von
x fluglärminduzierten
Aufwachreaktionen

Gebiet, in dem viele
leise Geräusche
(Anflüge) auftreten.



Vergleich von L_{night} -Konturen mit Konturen
gleicher Aufwachwahrscheinlichkeit nach
dem DLR-Kriterium

(Flughafen Frankfurt, 25.000
Nachtbewegungen in 6 Monaten)

Gebiet, in dem wenige laute
Geräusche (Abflüge) auftreten.

Zusammenfassung: Beurteilungskriterien

Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq}

- Äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} korrelieren gut mit der mittleren Störwirkung über längere Zeiträume.
- Alle L_{eq} -Varianten sind gleich gut zur Beurteilung geeignet. Allerdings müssen L_{eq} und Grenzwert aufeinander abgestimmt sein.
- Die Wahl eines L_{eq} sollte dem Anwendungsbereich angepasst sein (Tages-, Nacht- oder 24h-Beurteilung).
- Äquivalente Dauerschallpegel können nicht zur Beurteilung maximalpegelinduzierter Störungen herangezogen werden.
- Sie sind zur Bewertung von nächtlichem Fluglärm daher nur begrenzt geeignet.

Zusammenfassung: Beurteilungskriterien

Schwellenwert- oder NAT-Kriterien

- **NAT-Kriterien basieren auf Maximalpegeln und können daher zur Beschreibung nächtlichen Fluglärms herangezogen werden**
- **Sie haben sich in Deutschland in den letzten Jahren als Bewertungskriterium in der Praxis durchgesetzt.**
- **NAT-Kriterien basieren nicht auf einer Dosis-Wirkungs-Beziehung.**
- **Sie können bei der Berechnung sensibel auf Änderungen in den Randbedingungen reagieren.**

Zusammenfassung: Beurteilungskriterien

DLR-Kriterium

- **Das DLR-Kriterium ist ein dosisbezogenes Wirkungskriterium (gewichtete Summation von Maximalpegelhäufigkeiten).**
- **Es ist berechenbar und aus Messungen ableitbar.**
- **Es verhält sich stabil bei der Berechnung. Die Umsetzung des Verfahrens ist prinzipiell einfach, kann aber noch optimiert werden.**
- **Die Schlafmedizin liefert bisher keine Hinweise, wieviele Aufwachreaktionen auf Dauer gesundheitsschädlich sind.**
- **Aus diesem Grund wurde mit einer fluglärminduzierten Aufwachreaktion eine vorsichtige Setzung vorgenommen.**

Berücksichtigung von Betriebsrichtungen

Realverteilung:

- Ermittlung einer Lärmkontur in einem Rechengang.
- Betriebsrichtungen sind entsprechend der Verteilung eines Bezugsjahres oder der langjährigen durchschnittlichen Verteilung mit Flugbewegungen belegt.

Überlagerungsverfahren:

- Separate Berechnung von Lärmkonturen für einzelne Betriebsrichtungen, ein Rechengang pro Betriebsrichtung.
- Bildung einer einhüllenden Kontur aus den berechneten Teilkonturen.

Praktizierte Varianten:

- 100%-Regel
- σ -Verfahren

100%-Regel

Definition LAI:

„Die Ermittlung des Siedlungsbeschränkungsbereiches erfolgt auf der Grundlage der für den jeweiligen Flugplatz für jede Betriebsrichtung zu erstellenden modifizierten Datenerfassungssysteme (DES) ... Dabei erfolgt die Berechnung für die unterschiedlichen Betriebsrichtungen mit voller Flugbewegungszahl, soweit dieses flugbetrieblich und genehmigungsrechtlich möglich ist (100%-Regelung).“

Erweiterte Definition Referentenentwurf 2004:

„Hierbei wird die Fluglärmbelastung für die verschiedenen Betriebsrichtungen durch Berechnung bestimmt; maßgeblich ist der höhere Wert. Unberücksichtigt bleiben Betriebssituationen, die in weniger als 5 % der Betriebszeit auftreten.“

Interpretation:

Die 100%-Regel repräsentiert Betriebsrichtungsverteilungen, die in der Realität nur während Teilzeiten des gewählten Bezugszeitraumes auftreten.

σ -Verfahren

Ansatz:

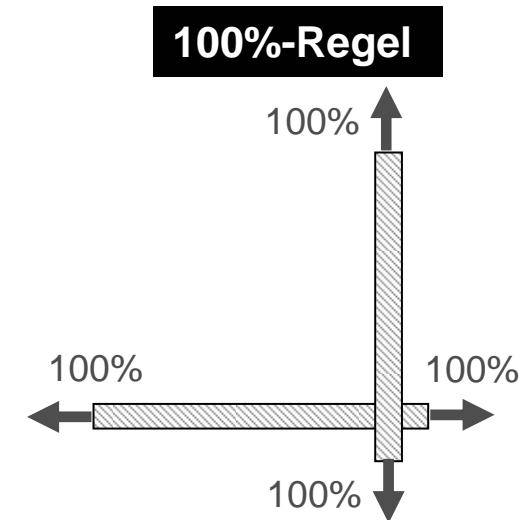
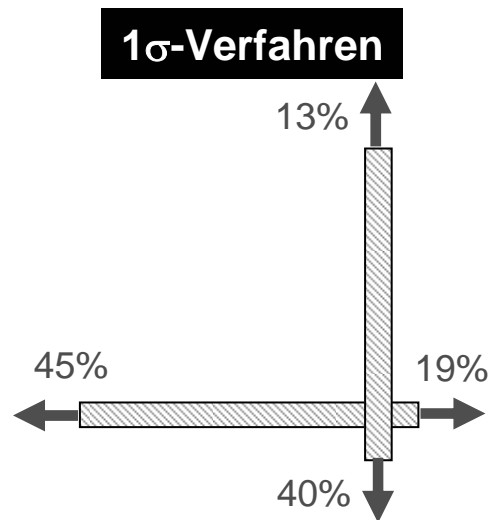
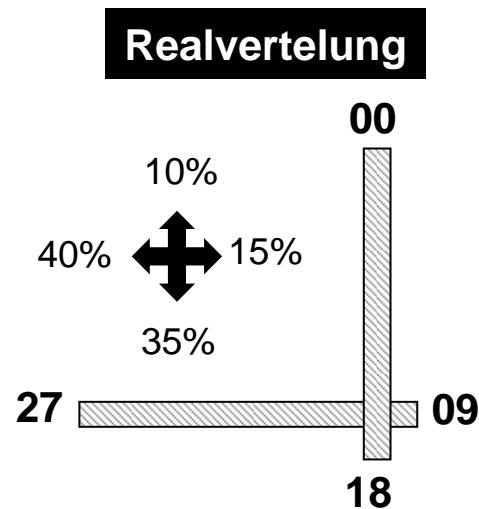
- Analyse der Betriebsrichtungsverteilungen für 10-15 Jahre (Grundlage: 6 verkehrsreichste Monate oder Gesamtjahr).
- Berechnung der mittleren Belegung der einzelnen Betriebsrichtungen (entspricht der langjährigen durchschnittlichen Realverteilung).
- Bestimmung der zugehörigen Standardabweichungen σ .
- Berechnungen der Lärmkonturen für die einzelnen Betriebsrichtungen. Für jede Richtung wird die mittlere Belegung um ein Vielfaches von σ erhöht.

Interpretation:

σ -Verfahren repräsentieren Betriebsrichtungsverteilungen, die in der Realität während des gewählten Bezugszeitraumes im langjährigen Turnus beobachtet werden können (also Realverteilungen).

Beispiel für die verschiedenen Ansätze

	Betriebsrichtung				Bahn 00/18	Bahn 09/27
	00	09	18	27		
Bewegungsanteil	10%	15%	35%	40%	45%	55%
Standardabweichung σ	3%	4%	5%	5%		



Umsetzung von Überlagerungsverfahren

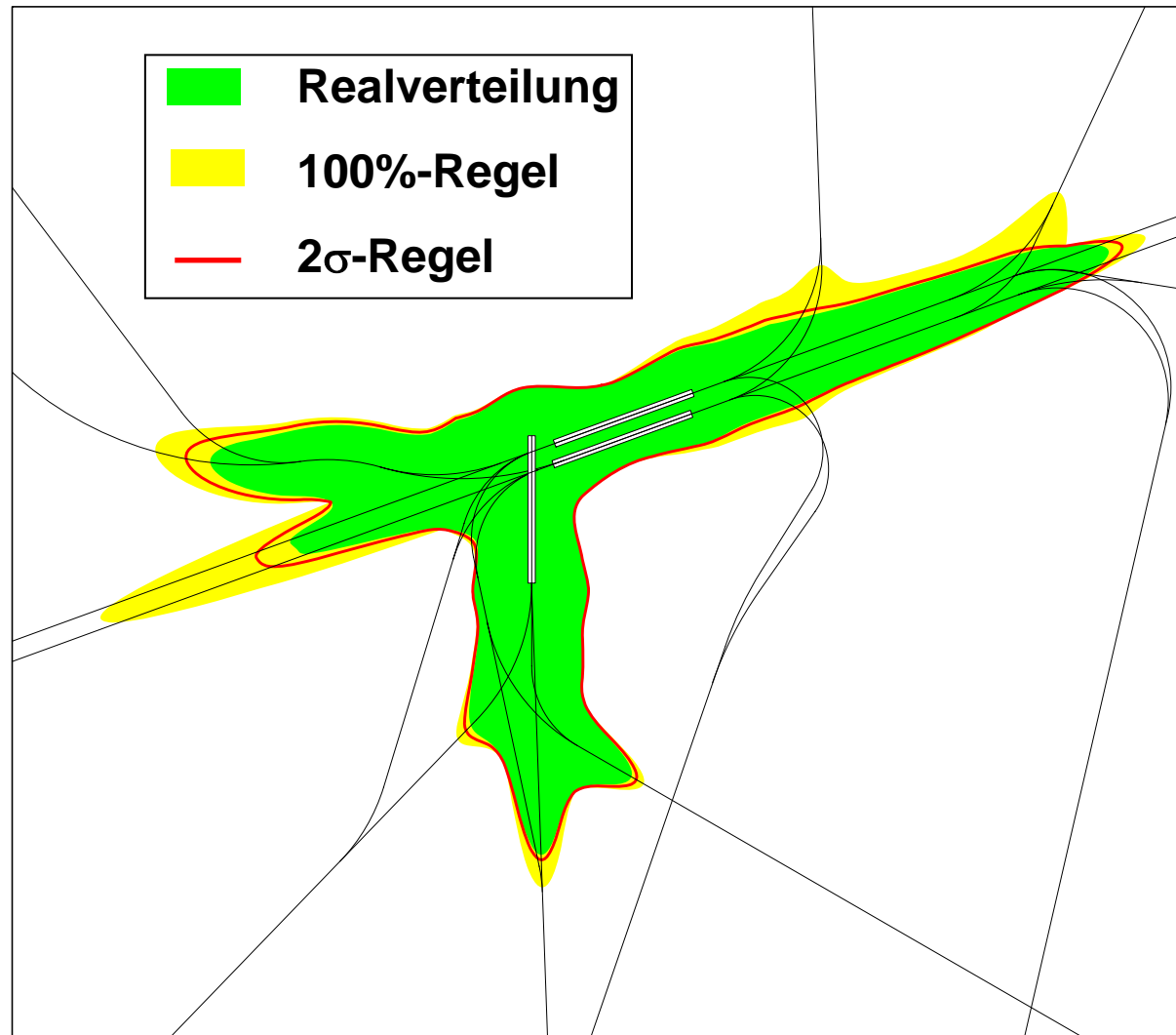
Bewegungsverteilung Flughafen Hamburg 1999

Bahnrichtung	Anflüge Tag (38311 Bew.)	Anflüge Nacht (3299 Bew.)	Abflüge Tag (40833 Bew.)	Abflüge Nacht (750 Bew.)
05 (Nordost)	20.4 %	7.3 %	8.2 %	16.4 %
15 (Südost)	29.3 %	69.1 %	4.8 %	2.6 %
23 (Südwest)	49.2 %	23.5 %	31.9 %	12.7 %
33 (Nordwest)	1.1 %	0.1 %	55.1 %	68.3 %

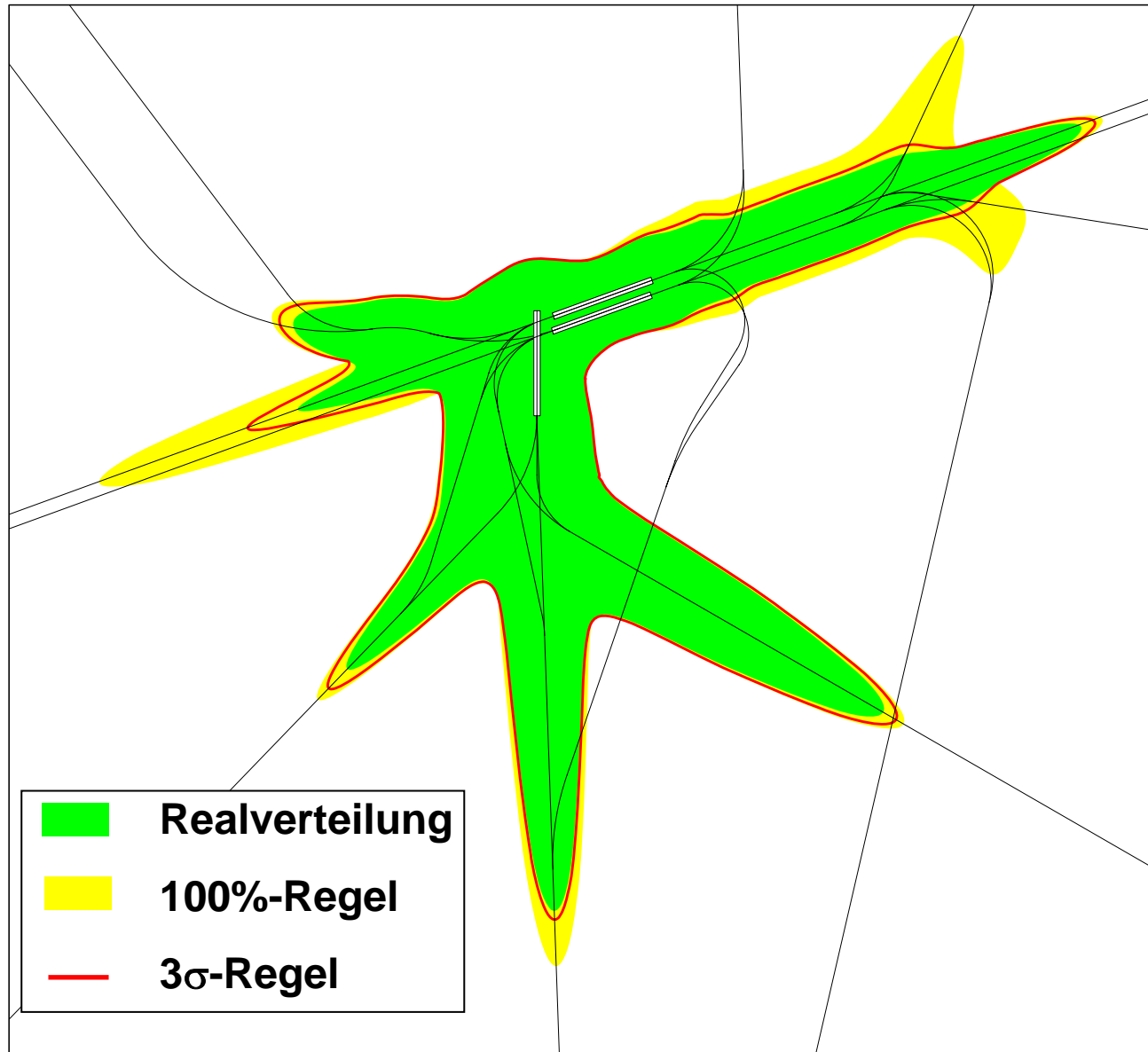
Bei der Anwendung von Überlagerungsverfahren ist eine

- **separate Behandlung von Tag und Nacht sowie eine**
- **separate Behandlung von An- und Abflügen notwendig.**

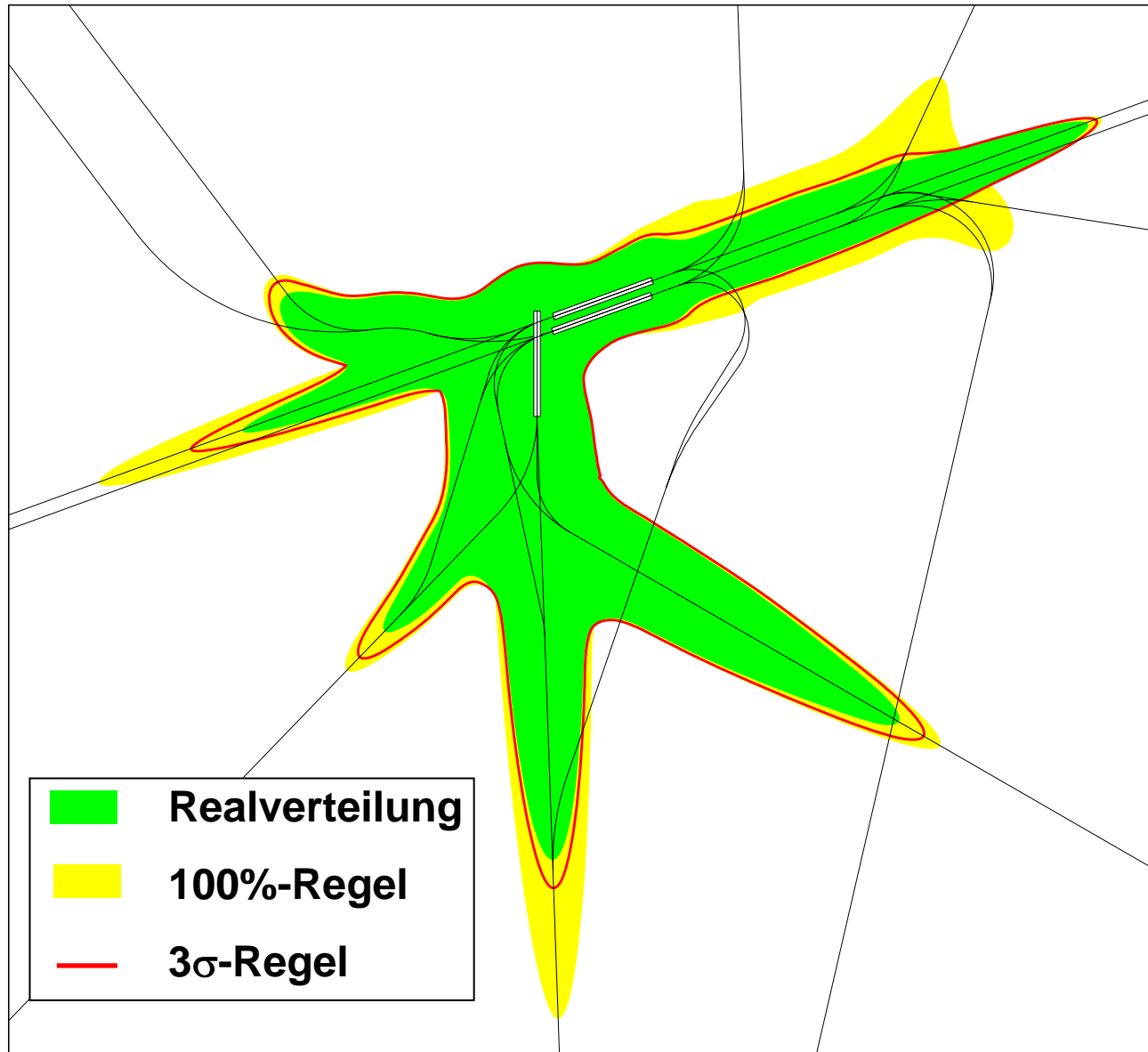
Beispiel: FRA 1998, $L_{Aeq,Tag} = 60$ dB



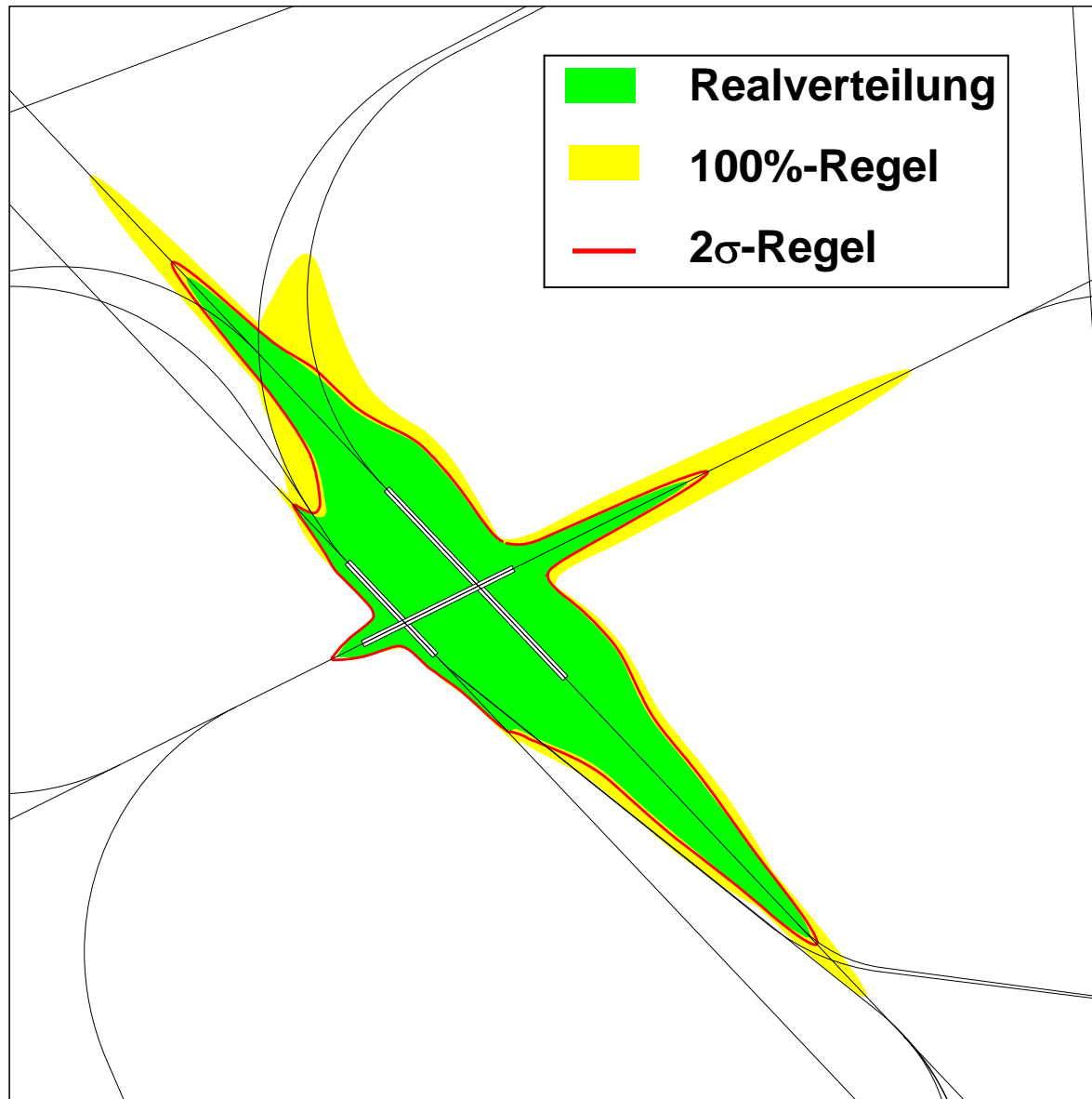
Beispiel: FRA 1998, $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB



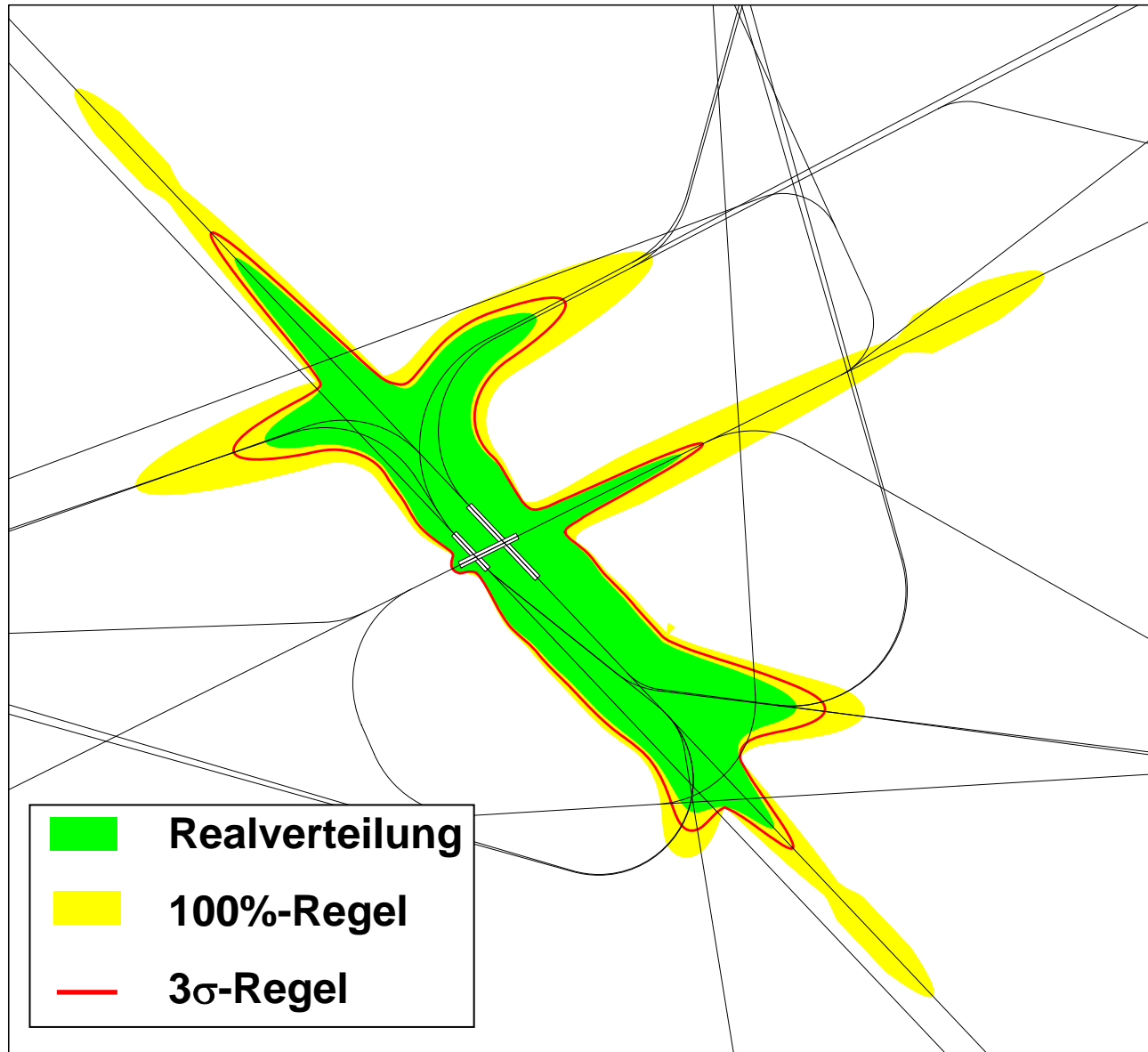
Beispiel: FRA 1998, NAT_{Nacht} 6x53_{innen}



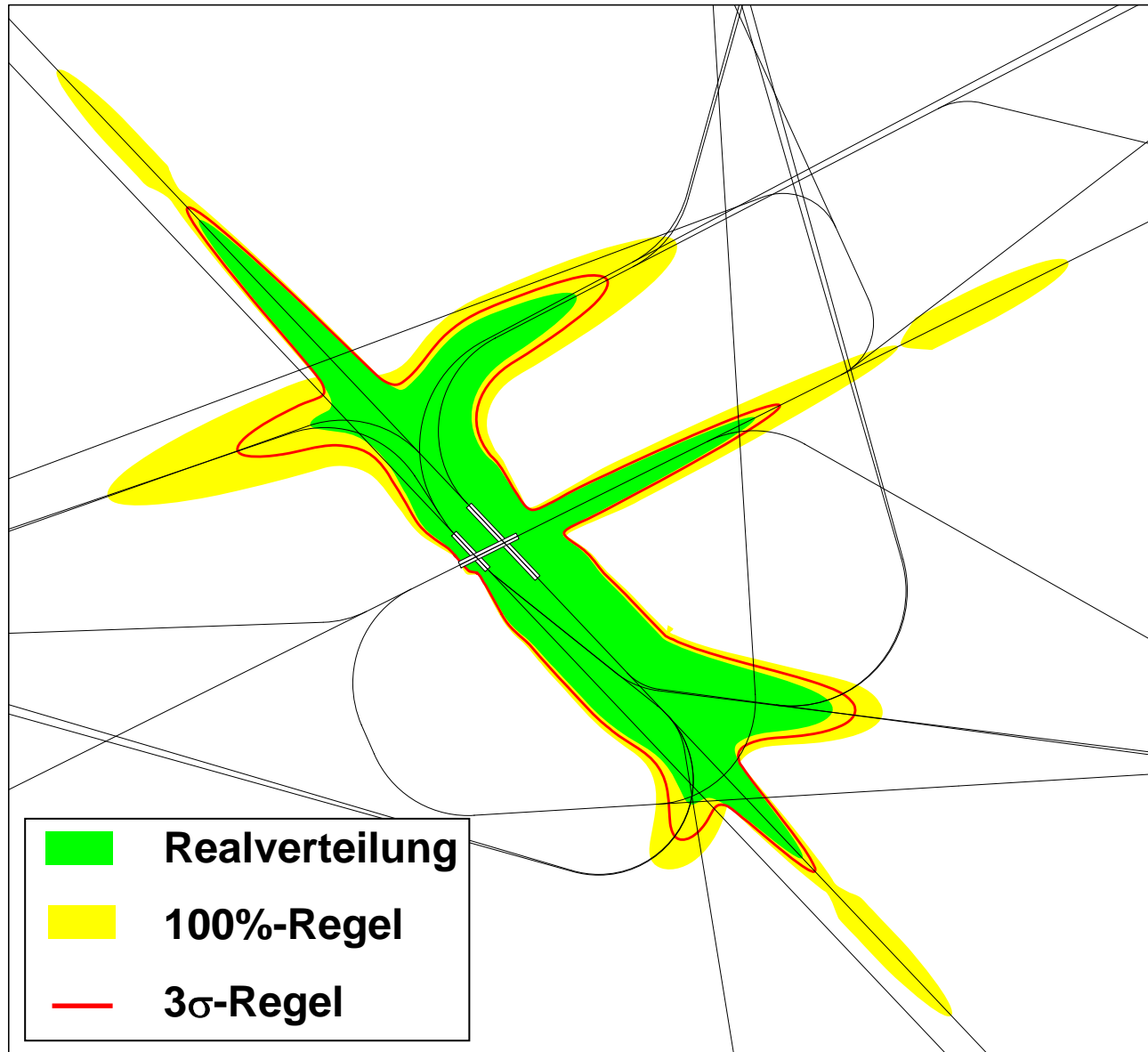
Beispiel: CGN 2000, $L_{Aeq,Tag} = 60$ dB



Beispiel: CGN 2000, $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB



Beispiel: CGN 2000, NAT_{Nacht} 6x53_{innen}





Änderungen in den Konturflächen

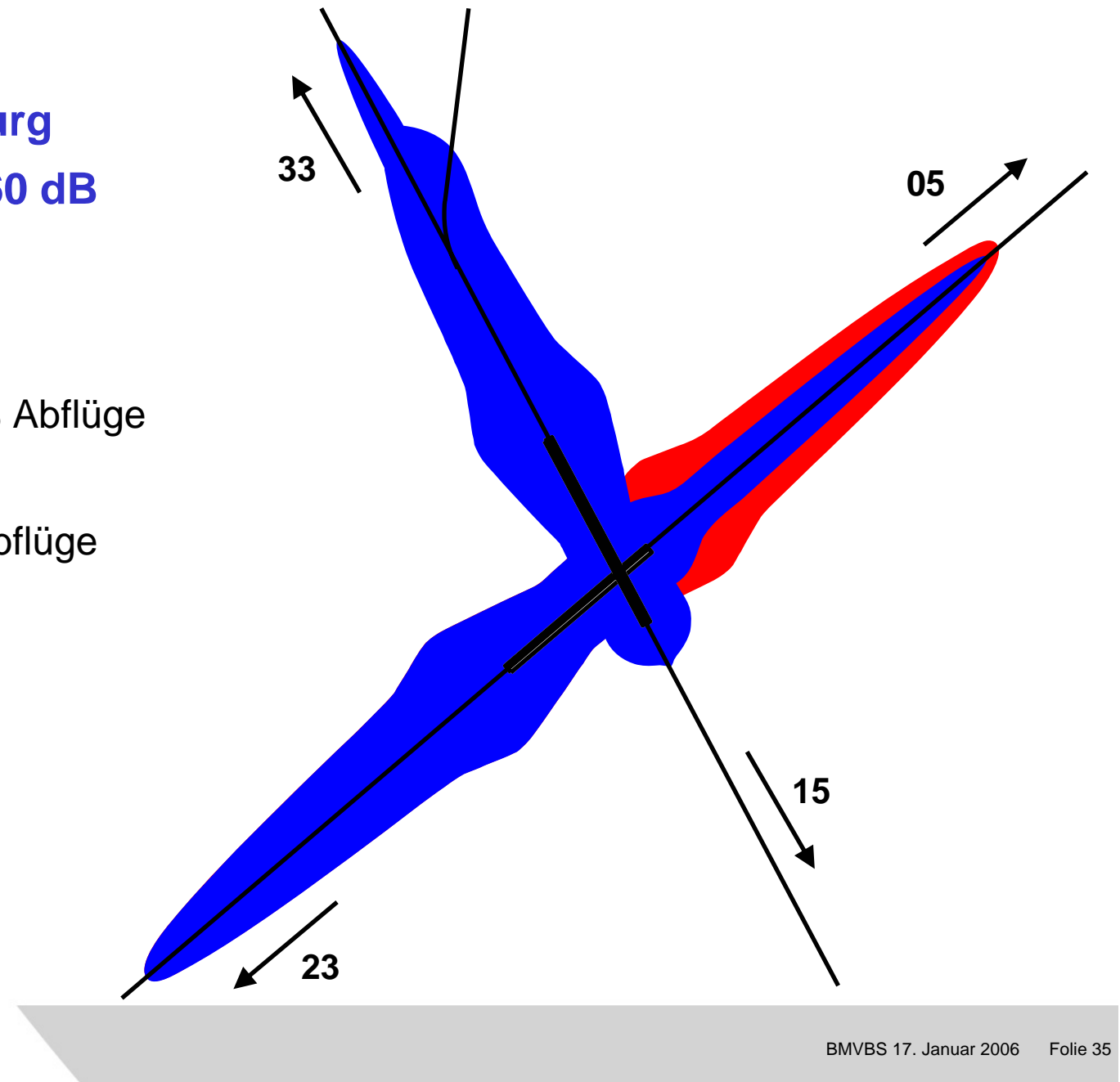
Flughafen Frankfurt	Fläche der Kontur bezogen auf Berechnung nach Realverteilung		
	$L_{Aeq,Tag} = 60 \text{ dB}$	$L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB}$	$NAT_{6x53,innen}$
100%-Regel	133%	134%	141%
2σ-Regelung	107%	105%	107%
3σ-Regelung	111%	108%	111%
Flughafen Köln-Bonn			
100%-Regel	154%	205%	195%
2σ-Regelung	105%	112%	114%
3σ-Regelung	108%	117%	121%

Effekt einer 5%-Ausschlussregel

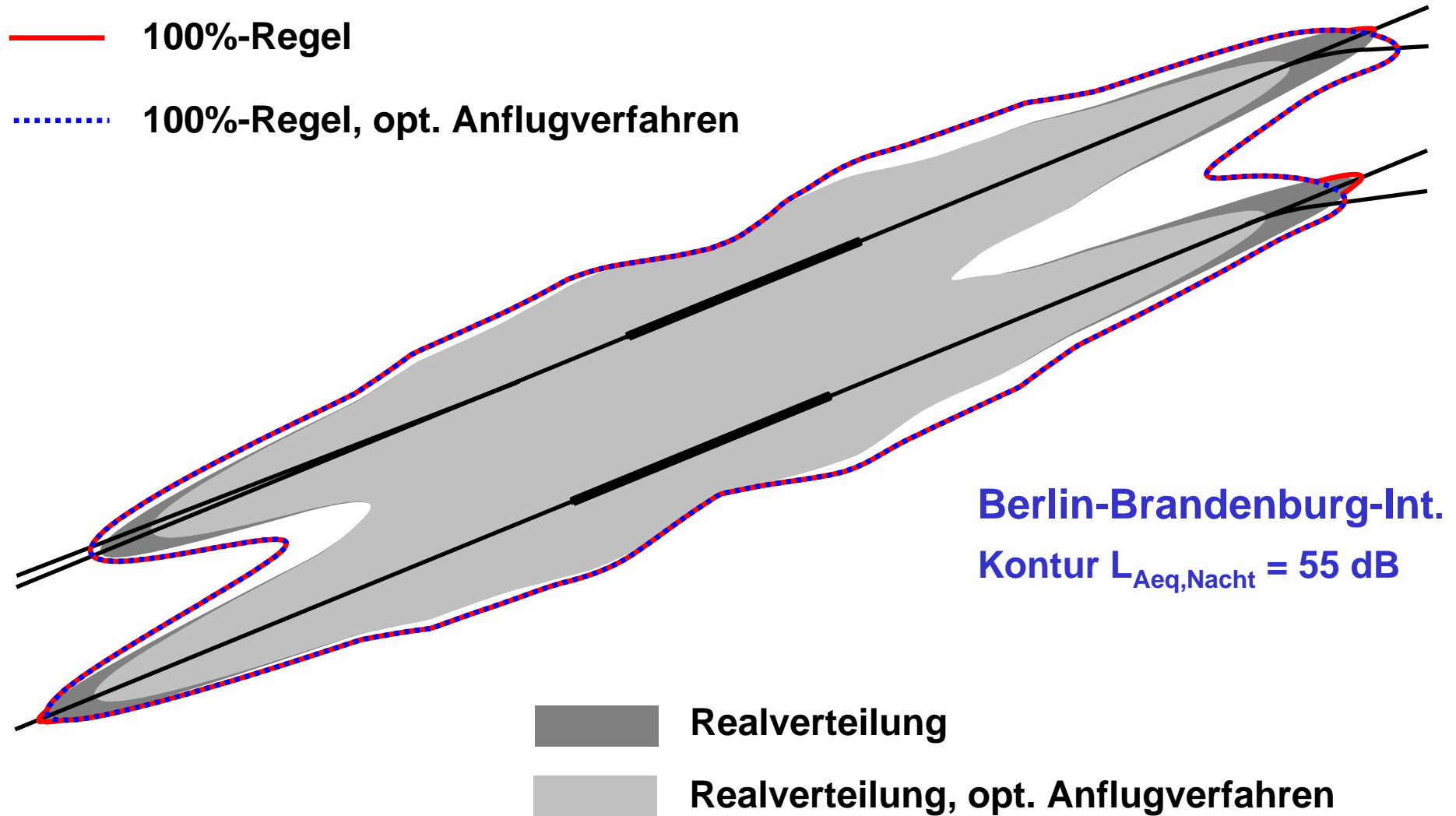
Flughafen Hamburg

Kontur $L_{aeq,Tag} = 60$ dB

-  weniger als 5% Abflüge in Richtung 05
-  mehr als 5% Abflüge in Richtung 05



100%-Regel und optimierte Anflugverfahren



Zusammenfassung zur 100%-Regel

- **konsistente Interpretation der resultierenden Konturen schwierig (Teilkonturen beziehen sich auf unterschiedliche Zeiträume)**
- **Ausschlusskriterien sind erforderlich (gekreuzte Bahnsysteme)
⇒ instabiles Verhalten bei kleinen Verkehrsänderungen**
- **Effekt lärmoptimierter Anflugverfahren kann kaschiert werden**
- **real stark unterschiedliche Immissionssituationen werden gleich bewertet**
- **bisher kaum belastbaren Aussagen, ob Realverteilung oder Überlagerungsverfahren besser mit der Wirkung von Fluglärm korrelieren**

Zusammenfassung Überlagerungsverfahren

Realverteilung:

- internationales Standardverfahren
- Dosis-Wirkungs-Beziehungen basieren auf Realverteilung

σ -Verfahren:

- setzen im Prinzip auf Realverteilungen auf
- sind als gleichwertige Verbesserung zu betrachten

100%-Regel:

- stammt aus der Raumordnung
- basiert auf unterschiedlichen Bezugszeiträumen für jede Richtung
- wirft einige prinzipielle Schwierigkeiten auf

Weiteres Potential zur Definition von Überlagerungsverfahren durch detaillierte Langzeitanalysen von Betriebsrichtungsaufteilungen.

Zur Neufestsetzung von Schutzzonen

Kabinettsentwurf 2005:

*„Eine Veränderung der Lärmbelastung ist insbesondere dann als wesentlich anzusehen, wenn sich die **Größe des Lärmschutzbereichs** um mehr als 25% oder die **Höhe des äquivalenten Dauerschallpegels** $L_{Aeq,Tag}$ an der Grenze der Tag-Schutzzone 1 oder des äquivalente Dauerschallpegels $L_{Aeq,Nacht}$ an der Grenze der Nacht-Schutzzone um mindestens 3 dB ändert.“*

- **Wie ist das 3 dB-Kriterium aufzufassen?**
- **Ist die Größe des Lärmschutzbereichs ausreichend als Indikator?**

Rechenbeispiel



Fluglärmerechnungsverfahren

Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)

- Rechenalgorithmus seit 1971 unverändert
- Datengrundlagen zweimal überarbeitet („AzB-84“, „AzB-99“)

Einstufung

- basiert auf DCA-Ansatz („Distance of Closest Approach“)
- in der Praxis bewährt, liefert immer noch gute Resultate
- konservative Behandlung von Schwachstellen
- physikalisch basierte Algorithmen, teilweise noch richtungsweisend
- **DCA-Ansatz nicht mehr Standard, besser Segmentierungsansatz**
- **Harmonisierungsaspekte berücksichtigen**

Anforderungen an ein Rechenverfahren

Generelle Anforderungen

- **fortschrittlich, aber praxisnah**
- **regelmäßig gepflegte und harmonisierte Datengrundlage**
- **Äquivalenz bei Anwendung mehrerer Verfahren (AzB \Leftrightarrow DIN)**
- **transparent, gut dokumentiert**
- **auf den Einsatzbereich zugeschnitten:**
 - **Prognose**
 - **Nachberechnung**
 - **Vergleichsrechnungen („what-if-studies“)**

Anforderungen an ein Rechenverfahren

Speziell in Deutschland gestellte Forderungen

- **Berücksichtigung von Topografie**
- **adäquate Modellierung von Kurvenflügen**
- **Modellierung des Landevorganges (Umkehrschub)**
- **Berechnung von Maximalpegelverteilungen**
- **Berücksichtigung nicht-standardisierter Flugverfahren**
- **Einflüsse von Wind und Meteorologie**

Ansatz für eine Überarbeitung der AzB

- **Implementierung eines Segmentierungsalgorithmus**
- **Orientierung an DIN 45684 und am überarbeiteten ECAC Doc.29**
- **Berücksichtigung der speziellen, in Deutschland in den letzten Jahren in der Praxis gemachten Erfahrungen**
- **Harmonisierung mit internationalen Datengrundlagen (ANP)**
- **Festschreiben regelmäßiger Überarbeitungsperioden der Datengrundlage**