

DIN 45689 – warum und wie könnte sie aussehen?

Ullrich Isermann

**DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Göttingen**

Frage: Warum eine DIN 45689 – es gibt eine neue AzB ?

Gegenfrage: Warum eine neue AzB ?
ECAC Doc.29 Vol.2 gab es schon vorher !

Anwort: Weil Doc.29 das spezielle Anforderungsprofil
„Umsetzung des Fluglärmggesetzes“ nicht erfüllt.

Frage: Erfüllt die neue AzB demgegenüber
allgemeinere Anforderungen (wie z.B. Doc.29) ?

Anwort: Nein – oder auf Grund der Zielsetzung
nur mit starken Einschränkungen.

Frage: Was brauchen wir also ?

Anwort: Ein erweitertes Doc.29 oder eine erweiterte AzB ...

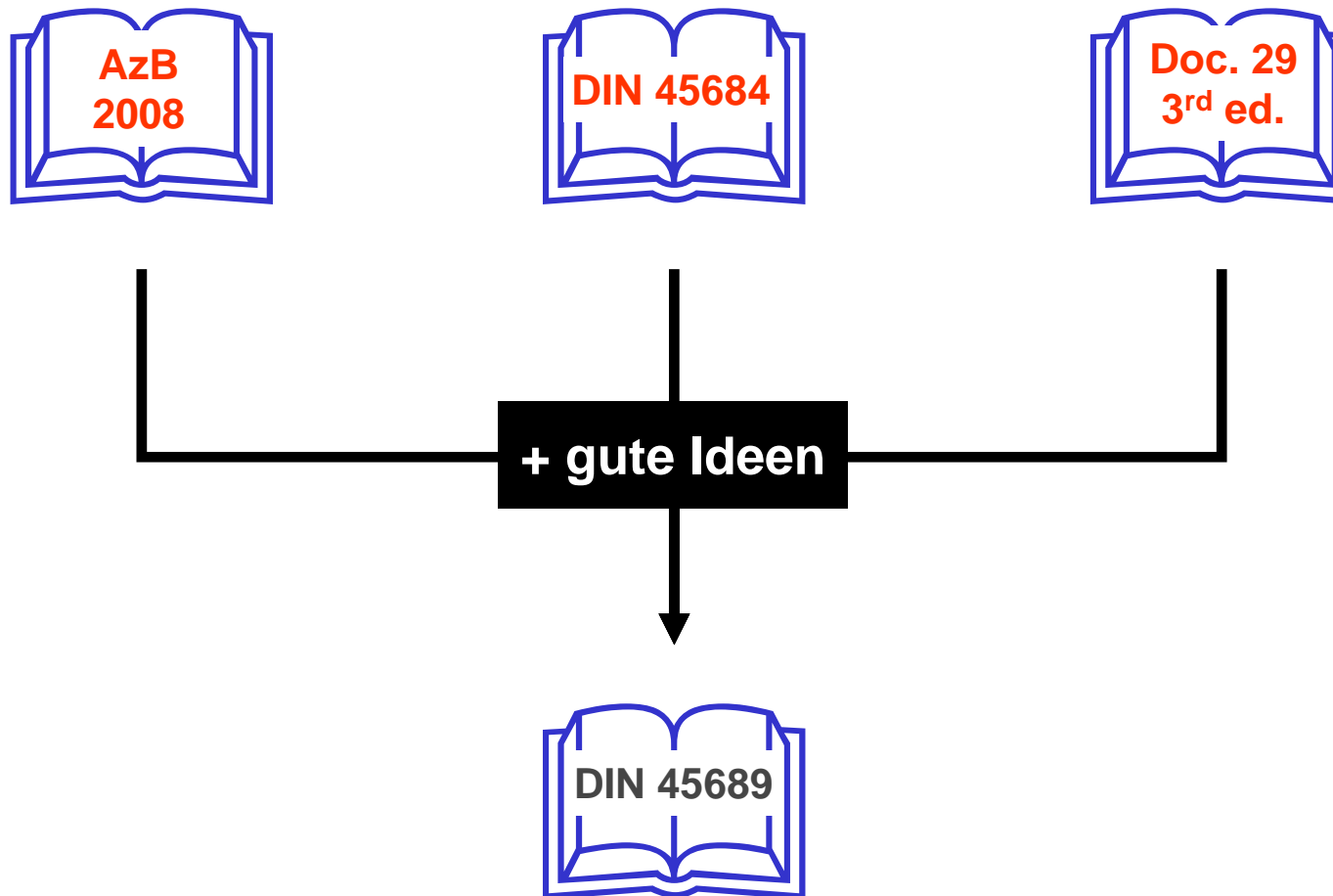
Ein weiterer Grund für die DIN 45689 ...

Die AzB wurde in den letzten Jahren zunehmend ein Opfer von „unqualifiziertem Missbrauch“, d.h:

- **grundlegende Hintergrundinformationen wurden ignoriert**
- **es wurden nicht sachgerechte Modifikationen vorgenommen**
- **die Resultate wurden als durchweg belastbar interpretiert**

Es gibt aber auch „qualifizierten Missbrauch“ ...

Zielsetzung der DIN 45689: Das Beste aus ...



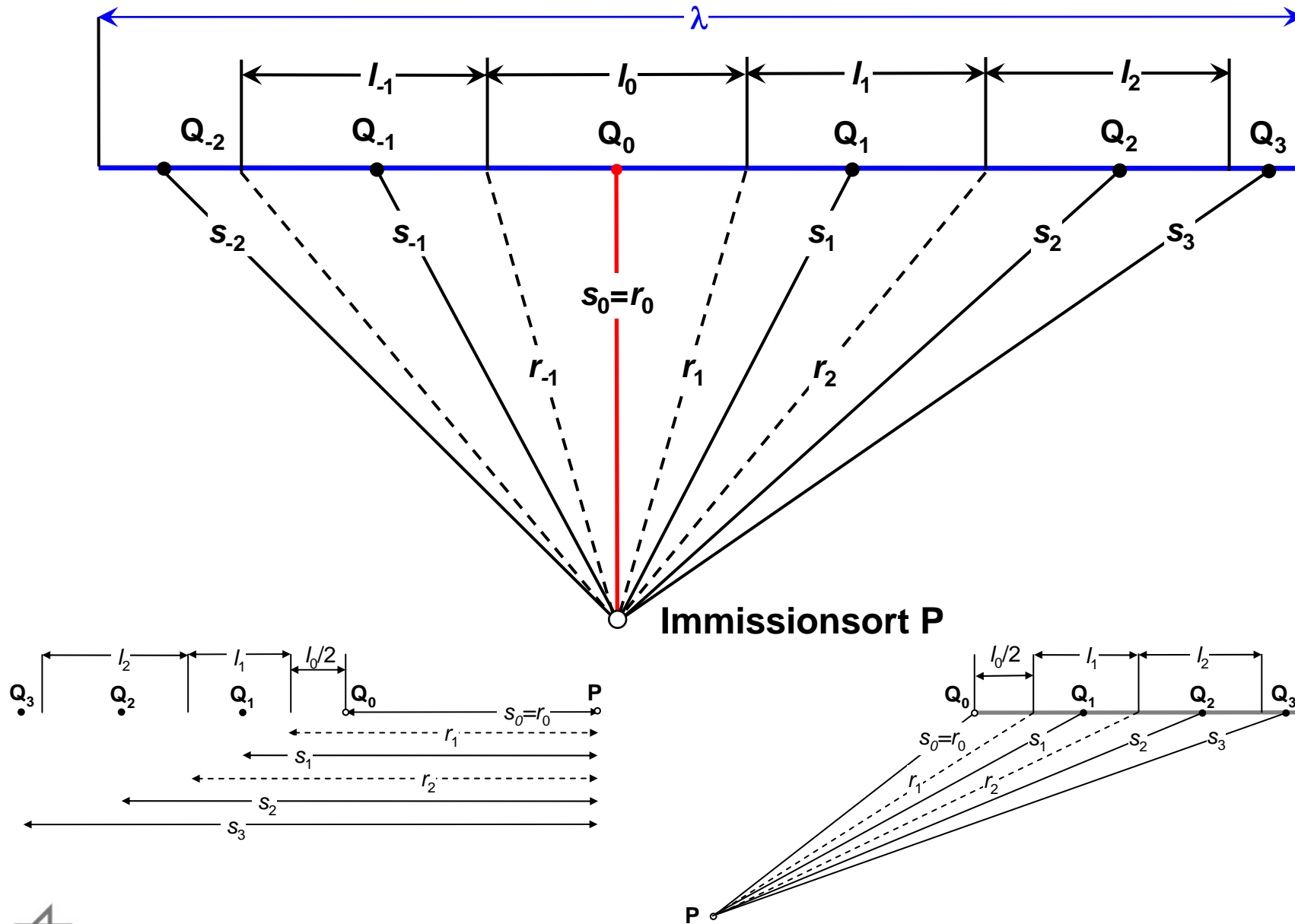
Vergleich ECAC Doc.29 / AzB- 2008

	Doc.29 3rd Edition, Vol.2	AzB-2008
Art des Verfahrens	Flugbahnsegmentierung mit speziellen Erweiterungen	Teilstückverfahren (immissionsortbezogen)
Emissionswerte	NPD-Daten mit „spectral classes“	explizite spektrale Darstellung
Richtcharakteristik	semiempirisches Dipol-Modell und Installationseffekte	spektrale, 2-dimensionale Richtcharakteristiken
Flugzeuggruppen	Einzeltypen und Auslastung	wenige Flugzeuggruppen
Flugleistungsdaten	prozedurale, generierbare Profile	vordefinierte Standardprofile
Korridormodellierung	7 Subtracks (mit / ohne Vererbung)	15 Subtracks mit Vererbung
Quell-/Empfängerhöhe	-	Raumwinkelmaß
Topografie	nur Höheneffekt	
Umkehrschub	AzB von Doc.29 adaptiert	
Bodenlärm	-	Rollvorgänge und APU
Anwendungsbereich	zivile Flughäfen	umfassend

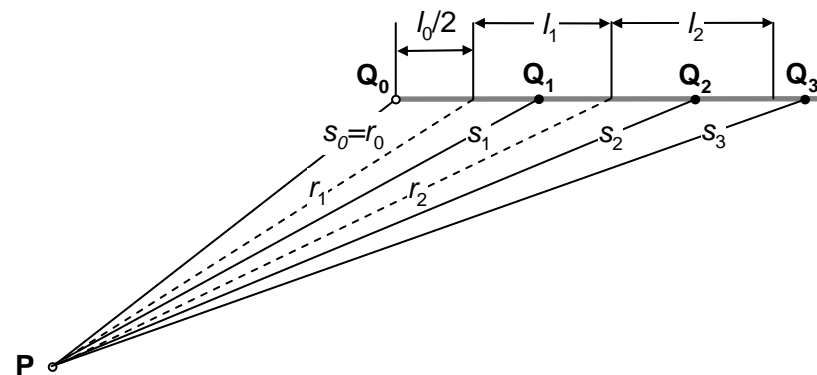
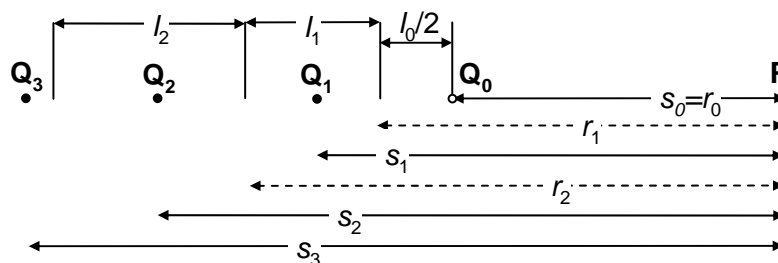
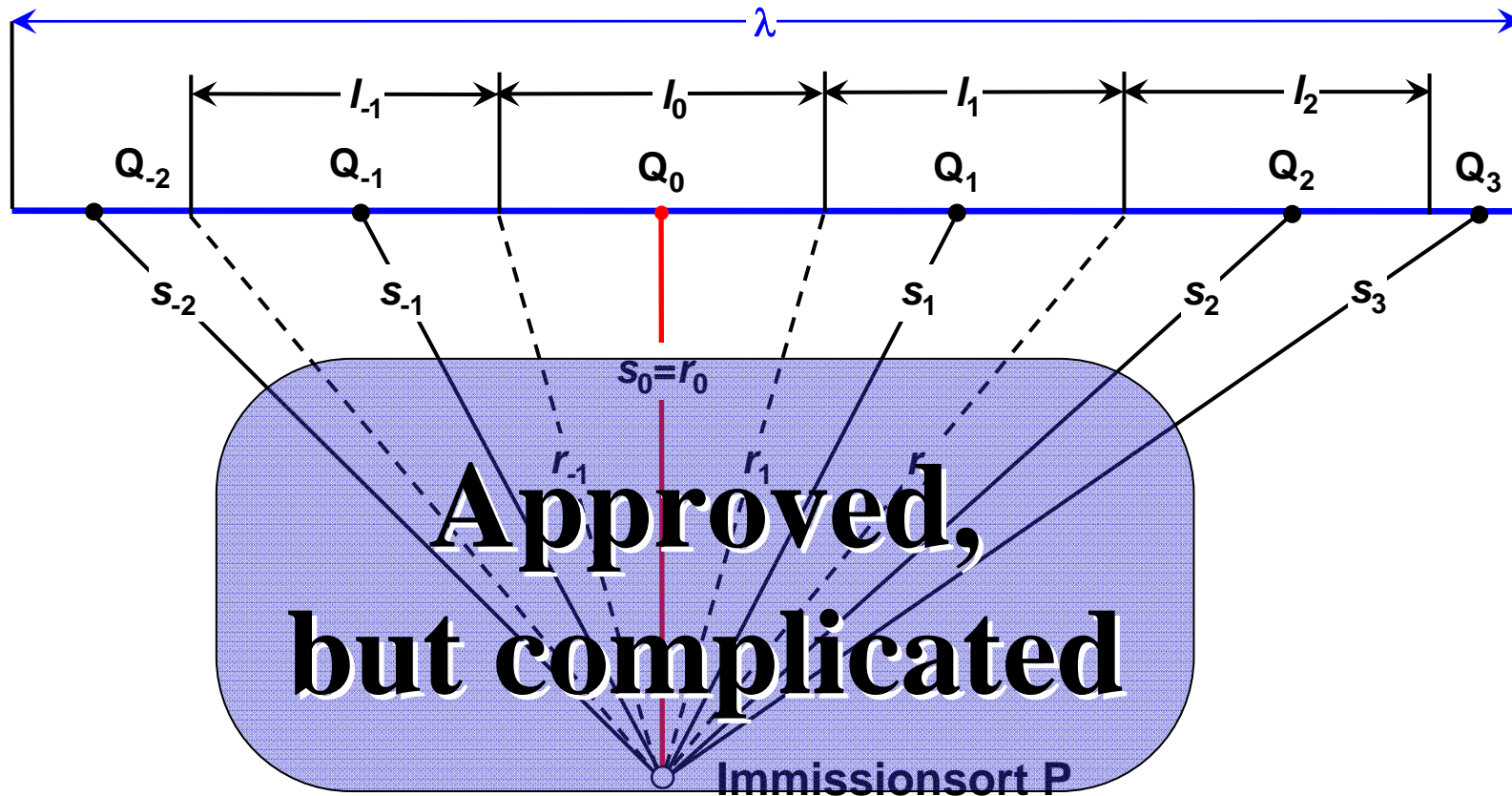
Möglicher Übergang von AzB-2008 zu DIN 45689 ...

	AzB-2008	DIN 45689
Art des Verfahrens	Teilstückverfahren	bewegte Punktquelle
Emissionswerte	spektrale Darstellung	erweiterte spektrale Darstellung
Richtcharakteristik	spektrale, 2-dimensionale Richtcharakteristiken	erweiterter AzB-Ansatz, laterale Richtwirkung
Flugzeuggruppen	wenige Flugzeuggruppen	Einzeltypen und Auslastung
Flugleistungsdaten	vordefinierte Standardprofile	prozedurale, generierbare Profile
Korridormodellierung	15 Subtracks mit Vererbung	N Subtracks ohne Vererbung
zusätzliche Ausbreitungseffekte		- Abschirmung durch Topografie, - bodennahe Ausbreitung, - Tagesgänge
Umkehrschub	AzB von Doc.29 adaptiert	erweiterter Ansatz
Bodenlärm	Rollvorgänge und APU	APU (erweitert) und Standläufe
Radardaten		

AzB: Teilstückverfahren



AzB: Teilstückverfahren



DIN: Einzelschrittssimulation (Zeitschrittbasis)

Modell der bewegten Punktschallquelle

- Zerlegung der Flugbahn in diskrete Einzelpunkte (z.B. 1s-Abstand)
- an jedem Punkt bekanntes Emissionsverhalten des Flugzeuges
 - ⇒ **konsequente Fortsetzung der Segmentierung**

Notwendig sind:

- **explizite Richtcharakteristik (2D/3D)**
- flugmechanisches Modell (Schub, Geschwindigkeit, Euler-Winkel)
- meteorologisches Modell (Wind, Druck, Temperatur, Feuchte)
- Kopplungsfunktionen Triebwerksleistung \Leftrightarrow Emissionsparameter

Vorteil: Vermittelbar (ähnlich Messung), einfach zu programmieren

Nachteil: möglicherweise höhere Rechenzeit

Spektrale Beschreibung der Quelle

AzB:

- Oktavspektren O_n für Winkel maximaler Abstrahlung
- Schalldruckspektren für Bezugsentfernung s_0

DIN:

- Terzspektren T_n für Winkel maximaler Abstrahlung
- Schalldruckspektren für Bezugsentfernung s_0
- explizite Angabe von Abstrahlwinkel und Triebwerksleistung

Offen: - Modellierung der Triebwerksleistung (Zusatzpegel / Spektren)
- Zuordnung zu einem Leistungsparameter (Schub, Rotorspeed)

Richtwirkung

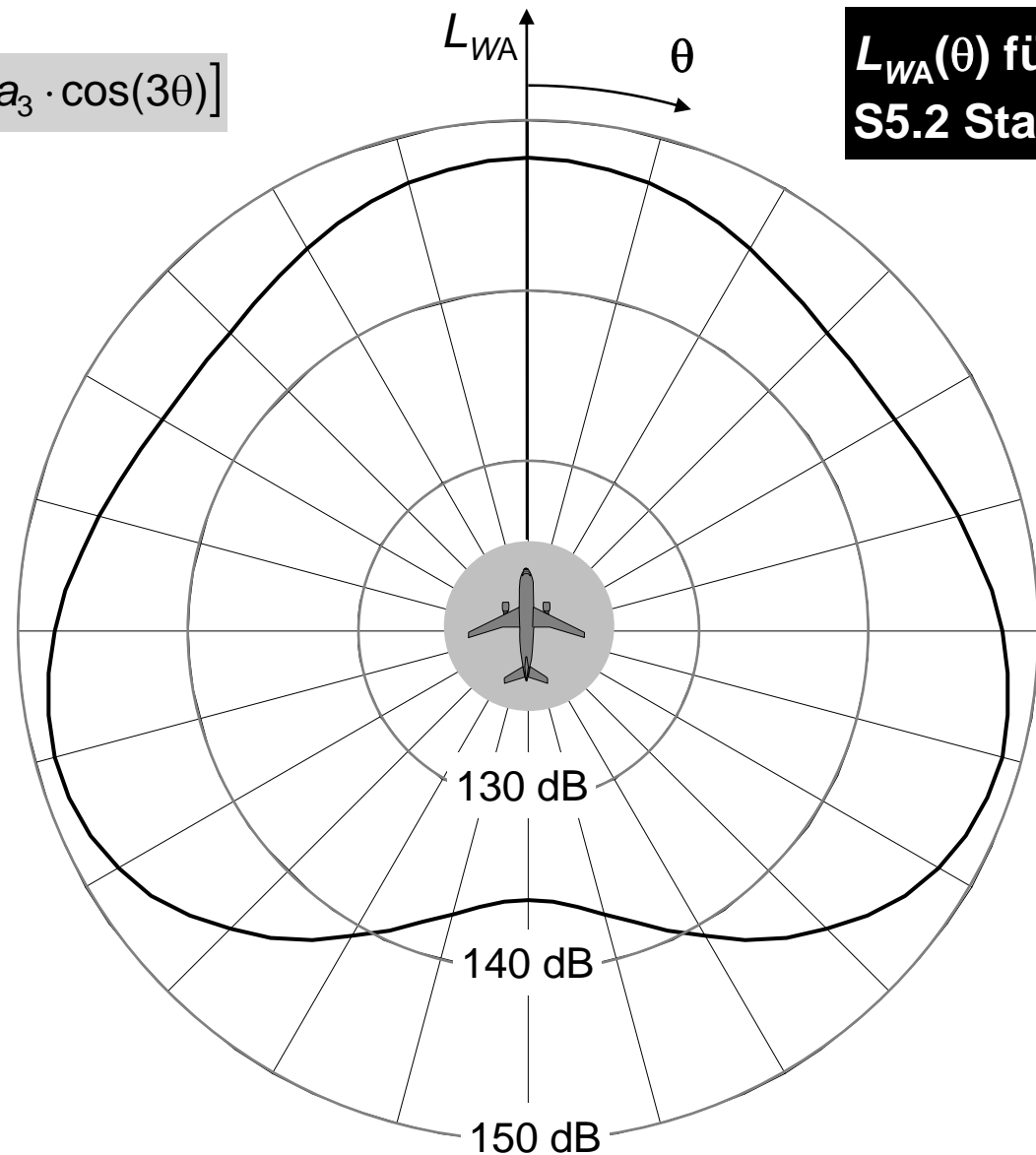
$$D_{l,n}^*(\theta) = 3 \cdot [a_1 \cdot \cos(\theta) + a_2 \cdot \cos(2\theta) + a_3 \cdot \cos(3\theta)]$$

AzB:

**Darstellung der spektralen
Richtwirkung durch Reihe
im $\cos(\theta)$ mit 3 Koeff.**

DIN:

- **Erhöhung der Anzahl
der Koeffizienten**
- **Koeffizienten
nicht-ganzzahlig**



Aber man kann natürlich auch einfach

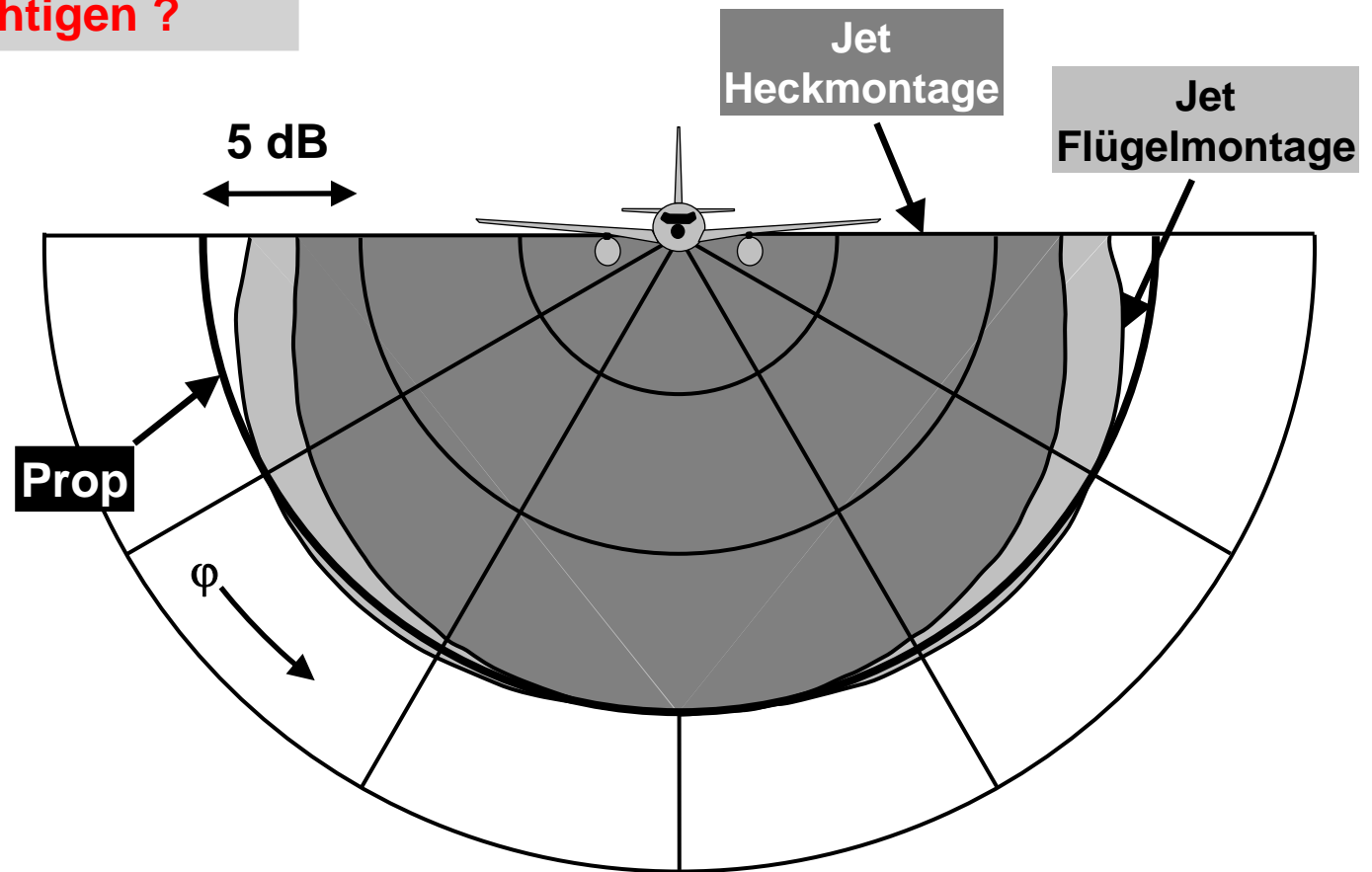
$$D_{l,n}(\theta) = a_0 + \sum_{i=1}^M a_i \cdot \cos(i \cdot \theta)$$

die Spektren in die Richtungsfaktoren integrieren.

Laterale Richtcharakteristik (Installationseffekte Doc.29)

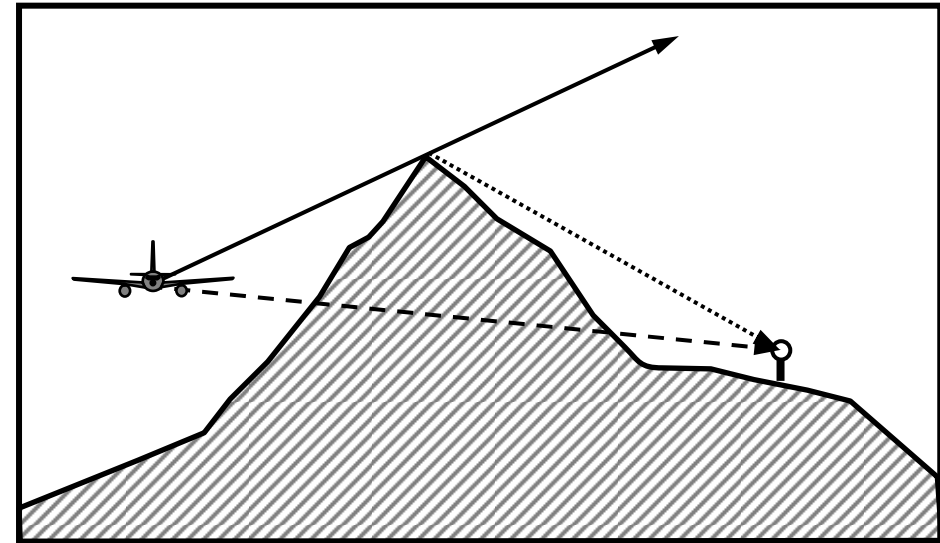
DIN:

- **direkt übernehmen ?**
- **alternative Formulierung ?**
- **nicht berücksichtigen ?**

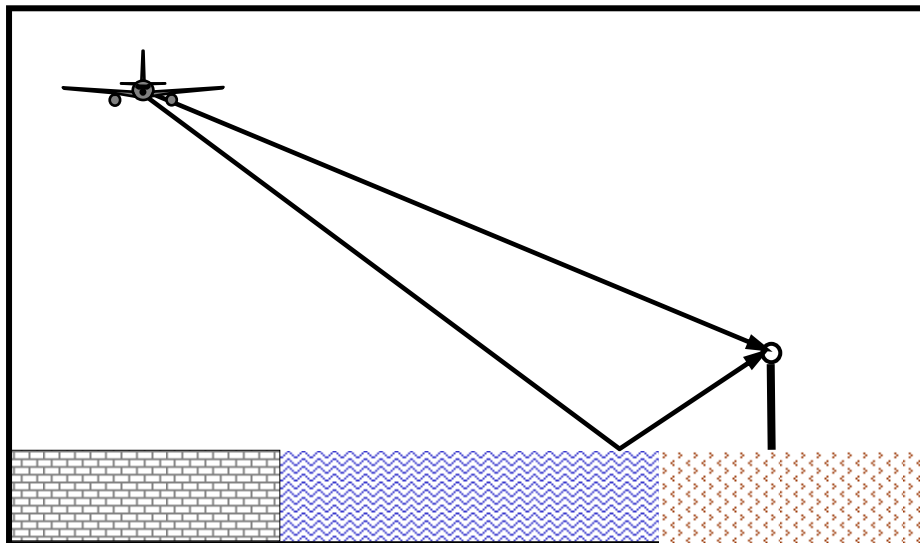


Ausbreitungseffekte

Abschirmung durch Gelände



Bodenimpedanz



**... und was sonst noch sinnvoll
und machbar ist.**

**Dabei an bestehenden Verfahren
orientieren (INM, NORTIM ...) !**

Flugzeuggruppen

AzB:

- **Eindeutige Gruppierung**
 - **Antriebsart, MTOM, Zulassung, Triebwerksanzahl**
 - **Prinzipien der akustischen Äquivalenz und der Lärmsignifikanz**

DIN:

- **Übergang zu Einzeltypen, Definition von Flugleistungsdaten (ANP)**
 - ⇒ **Übergang zu prozeduralen Profilen wird möglich**
 - **flugmechanisches Massenpunktmodell analog Doc.29**
- **Regeln für Substitution und Gruppenbildung**
 - **Verfahren zur Generierung von Daten für „generische“ Flugzeuge**

Akustische Äquivalenz

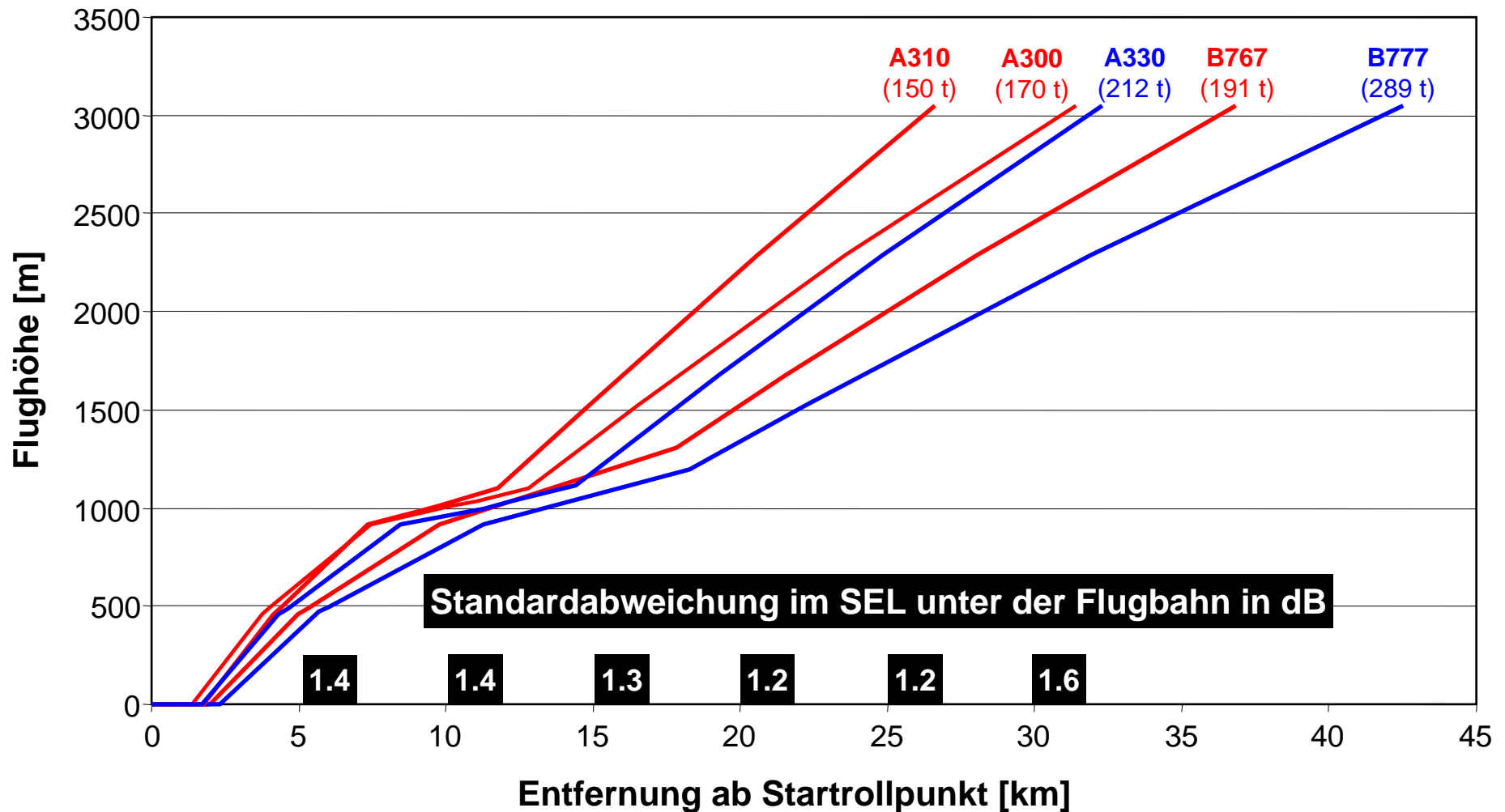
„Zwei Flugzeugmuster sind akustisch äquivalent, wenn sie im maßgeblichen Bereich der Flugbahn vergleichbare Footprints im Maximal- und auch im Einzelereignispegel erzeugen.“

Lärmsignifikanz

„Ein lärmsignifikantes Flugzeugmuster bestimmt die Lärmsituation an einem Flughafen deutlich mit (d.h. deutliche Änderungen in der Bewegungszahl führen zu deutlich geänderten Immissionswerten).“

Beispiel zur akustischen Äquivalenz: AzB-Gruppe S6.1

Abflugprofile für ICAO-A-Verfahren (Berechnung mit INM 6.2)



Die Flugbahndarstellung

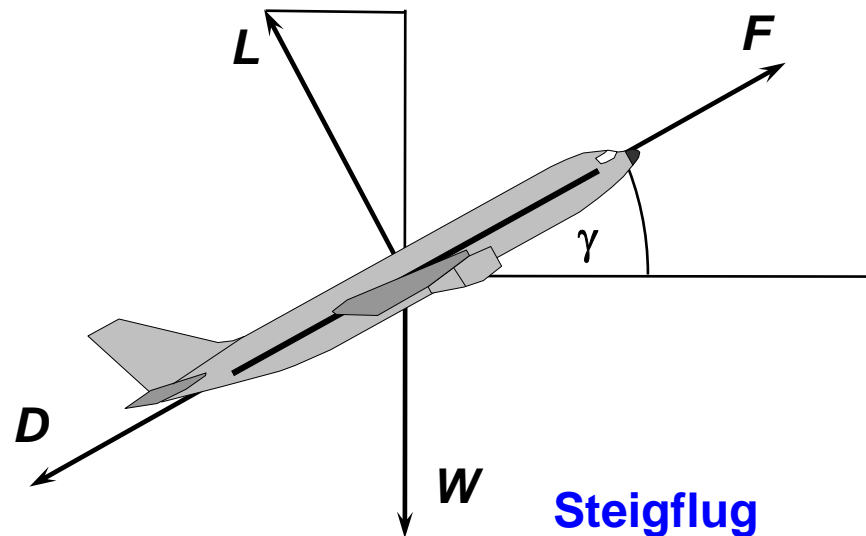
AzB: Standardprofile

- feste Profilsegmente
- Flugleistungsparameter als Funktion der Entfernung ab Referenzpunkt (Startrollpunkt, Landeschwelle)
- unabhängig von meteorologischen Parametern und Flugstreckenverlauf
- **einfach, aber nicht flexibel**

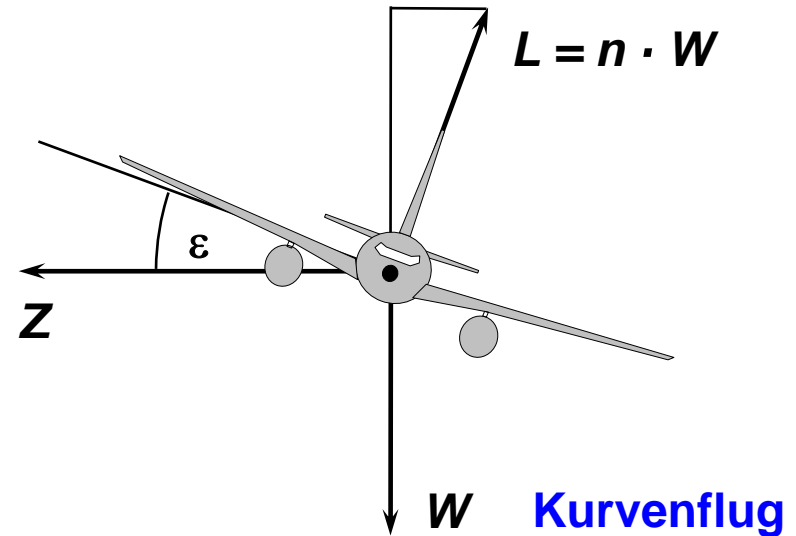
DIN: Prozedurale Profile

- variable Profilsegmente
- Flugleistungsparameter als Funktion
 - der prozeduralen Schritte des Verfahrens (Steigen, Beschleunigen ...)
 - der Flugzeugmasse
 - der meteorologischen Bedingungen
- Verlauf der Flugstrecke beeinflusst das Profil (Lastvielfaches, Wind)
- **flexibel, aber aufwändig**

Prozedurale Profile: Massenpunktmodell



Steigflug



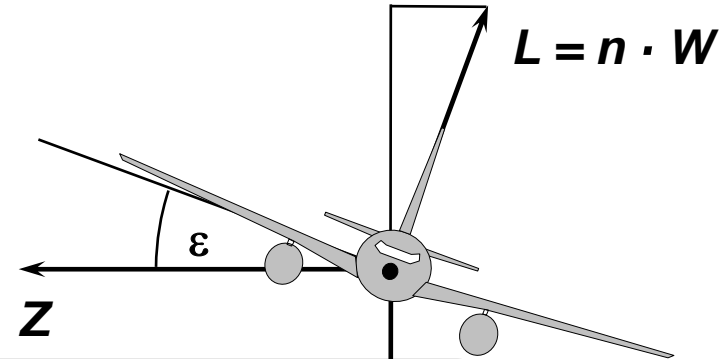
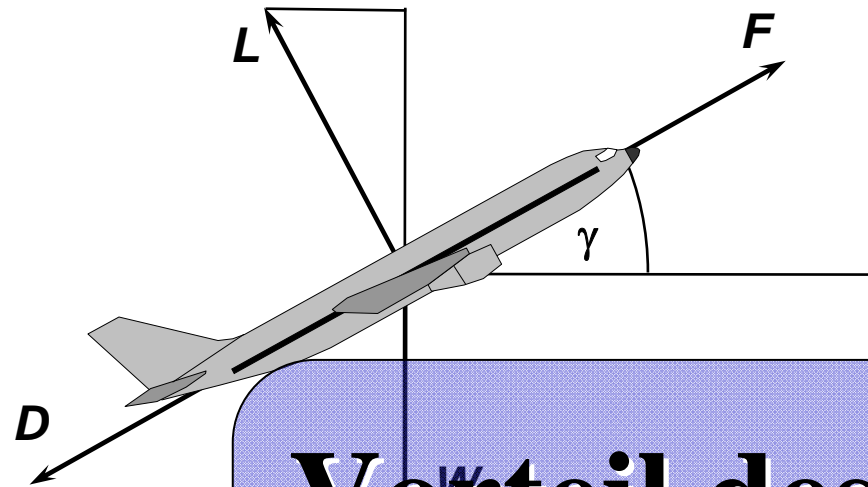
Kurvenflug

L : Auftrieb
W : Gewicht
D : Widerstand
F : Schub
 γ : Steigwinkel

Z : Zentrifugalkraft
n : Lastvielfaches
 ϵ : Querneigungswinkel

Auftrieb und Widerstand werden aus den Beiwerten c_L und c_D ermittelt.

Prozedurale Profile: Massenpunktmodell



Vorteil des Ansatzes ?

Kurvenflug

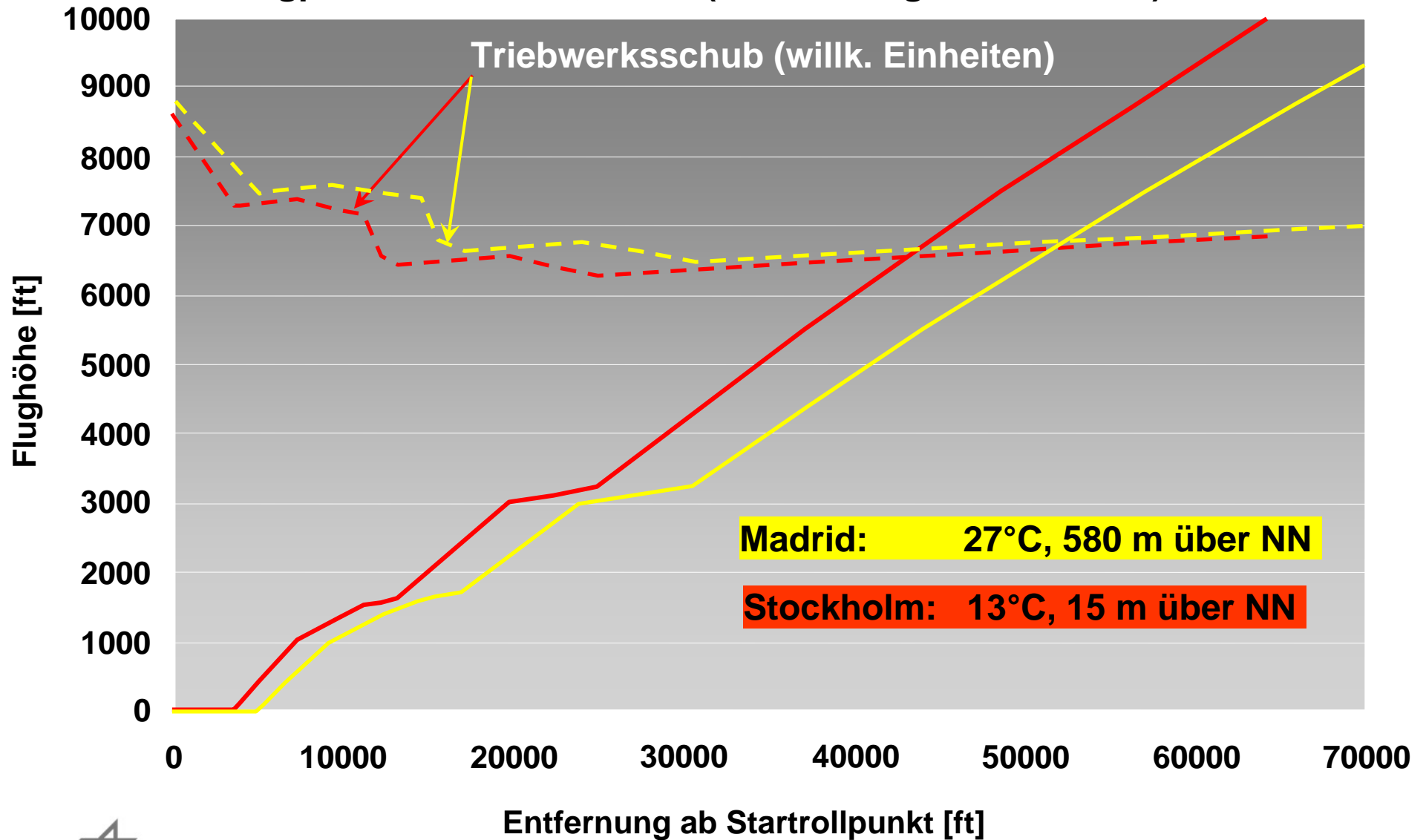
L : Auftrieb
W : Gewicht
D : Widerstand
F : Schub
 γ : Steigwinkel

Z : Zentrifugalkraft
n : Lastvielfaches
 ϵ : Querneigungswinkel

Auftrieb und Widerstand werden aus den Beiwerten c_L und c_D ermittelt.

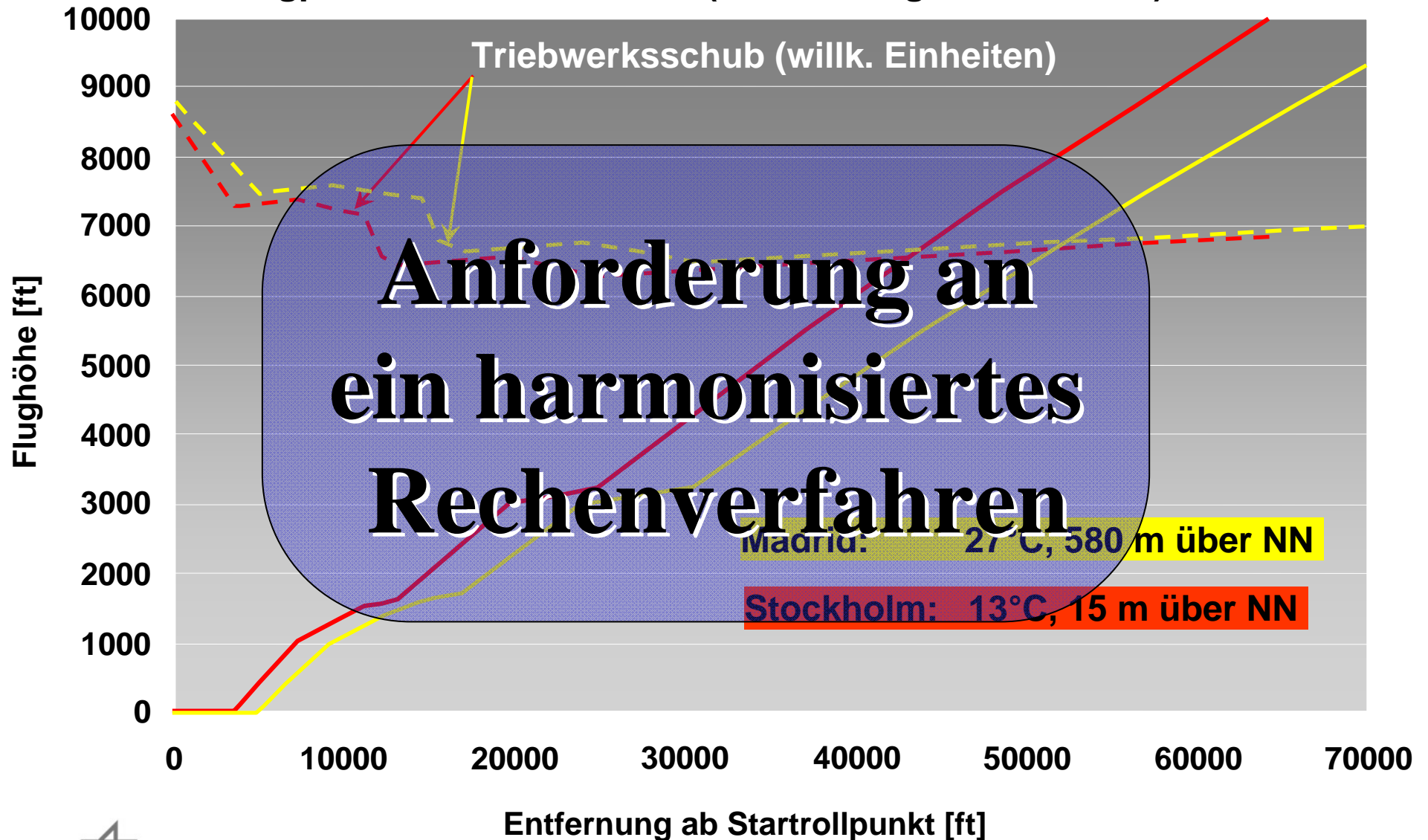
Beispiel für den Vorteil prozeduraler Profile

Abflugprofile B737-400, 48.5 t (Berechnung nach INM 6.1)



Beispiel für den Vorteil prozeduraler Profile

Abflugprofile B737-400, 48.5 t (Berechnung nach INM 6.1)



Zum Thema dieser Sondersitzung ...

Radardaten – was tun damit ?



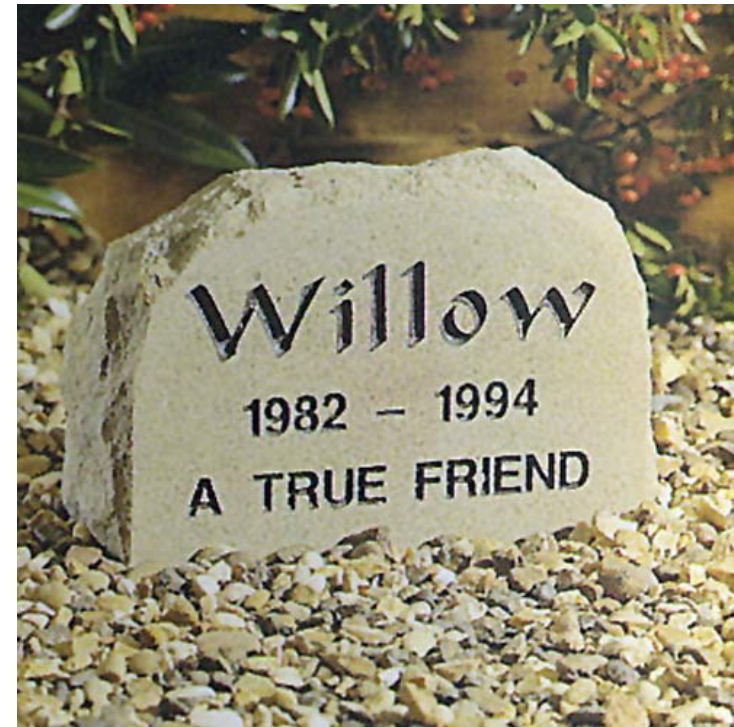
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Horizontale Ebene

Unproblematisch:

- ⇒ Erfahrungsaustausch
- ⇒ Abstimmung
- ⇒ Definition von Verfahren und Schnittstellen
- ⇒ Standardisierung

Vertikalprofil



.... hier liegt der Hund begraben.

Prinzipielle Probleme

- **Radardaten weisen nur eine beschränkte Genauigkeit auf.**
- **Die zeitliche Auflösung beträgt in der Regel nur 4 Sekunden.**
- **Sie decken in der Regel den Bereich der Startbahn nicht ab (keine Daten für Flughöhen unter 50 m).**
- **Sie liefern nur geometrische und kinematische Daten.**

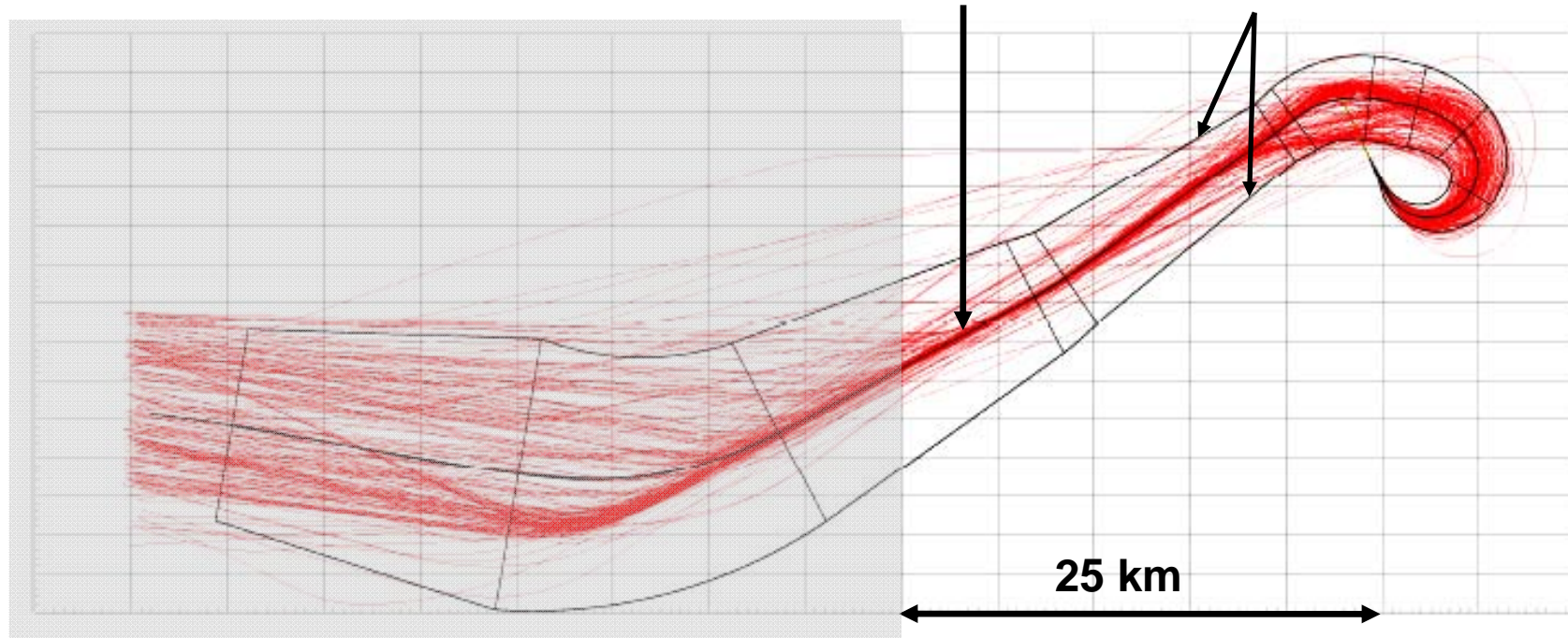
Wichtig: Die Art der Auswertung muss immer der Problemstellung angepasst sein (Einzelflüge, statistische Betrachtungen ...)

Horizontalebene: Korridor und Backbone

Flughafen Zürich, Abflug E16

Backbone Track

Korridorgrenzen



- zu klären:
- ⇒ Bestimmung des Backbone-Tracks
 - ⇒ Kriterien für die Ermittlung der Korridorbreite
 - ⇒ Art der Verteilung (symmetrisch / asymmetrisch)
 - ⇒ ?????

Vertikalebene: Flugprofilgenerierung

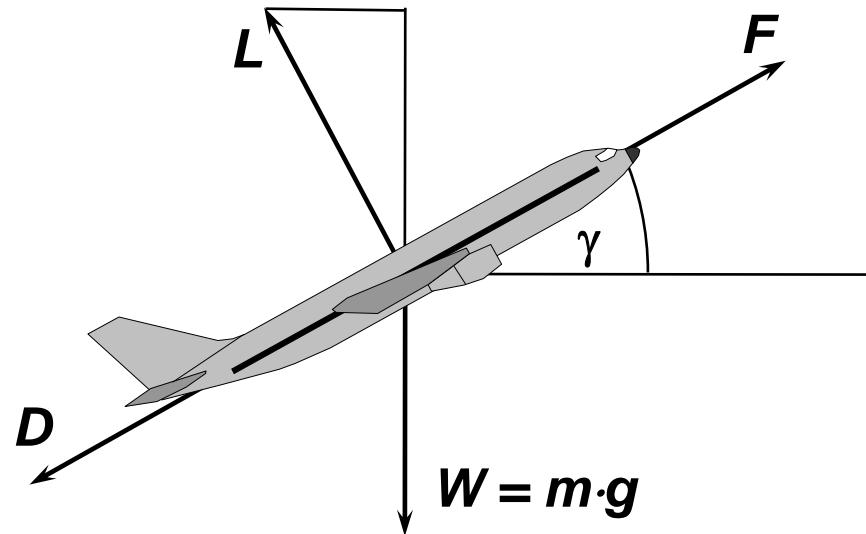
Radardaten können nur Ort, Zeit und Geschwindigkeit und daraus ableitbare Größen (Beschleunigungen, Richtungen) liefern.

Für die 3D-Flugbahn werden an jedem Bahnpunkt benötigt

- 👉 **Ortskoordinate**
- 👉 **Geschwindigkeit**
- 👉 **Orientierung (3 Eulerwinkel)**
- 👉 **Triebwerksleistung**
- 👉 **aerodynamische Konfiguration**

- **Gibt es Verfahren, um Triebwerksleistung und Konfiguration aus Radardaten zu bestimmen ?**
- **Wenn ja: Sind diese Verfahren stabil und automatisierbar ?**

Flugmechanische Grundgleichungen



Kräftegleichgewicht im beschleunigten Steigflug

$$F - W \cdot \sin \gamma - D = m \cdot a$$

$$L - W \cdot \cos \gamma = 0$$

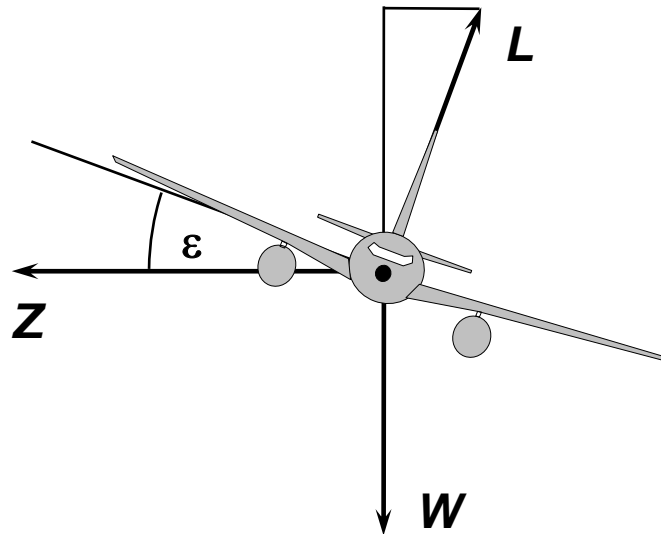
⇒

$$\sin \gamma = \frac{F}{m \cdot g} - \frac{a}{g} - \frac{c_D}{c_L} \cdot \cos \gamma$$

evtl. aus
Datenbank

Zentrale Frage: Wie kommt man an die Flugzeugmasse ?

Flugmechanische Grundgleichungen



Kräftegleichgewicht beim Kurvenflug

$$F - W \cdot \sin \gamma - D = m \cdot a$$

$$L \cdot \cos \varepsilon - W \cdot \cos \gamma = 0$$

$$\Rightarrow \sin \gamma = \frac{F}{m \cdot g} - \frac{a}{g} - \frac{c_D}{c_L} \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos \varepsilon}$$

$$\tan \varepsilon = \frac{V^2}{R \cdot g \cdot \cos \gamma}$$

Der Querneigungswinkel ε ist über den Kurvenradius R aus Radardaten ableitbar...

Weitere Möglichkeiten

- **Verwendung von akustischen Daten zur Bestimmung der Triebwerksleistung**
 - **Frequenzanalyse**
 - **Maximalpegelanalyse**

⇒ **erfordert entsprechende Datenbanken**

- **Auswertung von Startrollstrecken und –geschwindigkeiten zur Bestimmung der Abflugmasse**
 - **Zusammenhang Rollstrecke – Flugzeugmasse**
 - **Zusammenhang Abhebegeschwindigkeit - Flugzeugmasse**

⇒ **erfordert saubere Erfassung des Rollvorganges**

Andere Ansätze ???

Zusammenfassung: Generierung von Vertikalprofilen

- Derzeit sind in Deutschland noch keine für eine Lärmberechnung praktisch verwertbare Ableitungen von vertikalen Flugprofilen aus Radardaten vorgenommen worden.
- Die Behandlung des Problems erfordert den Einsatz statistischer Verfahren in Kombination mit Flugleistungs-Datenbanken.
- In Europa existieren proprietäre Ansätze – z.B. bei den nationalen Luftfahrtbehörden. **Ausnutzen und kooperieren !**
- **Die Thematik sollte in der DIN 45689 behandelt werden !**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Konstruktive Vorschläge in Bezug auf die geplante Norm sind natürlich erwünscht ...

Unterstützende Maßnahmen zum Aufbau einer neuen Datengrundlage sind aber zwingend notwendig ...

