

Lärmberechnungen des F-35A

Dr. Beat Schäffer
Empa, Abteilung Akustik/Lärminderung, Dübendorf

Projektteam Empa: Beat Schäffer, Mateja Gligorijevic,
Thomas Ramseier, Stefan Schalcher, Stefan Schucker,
Jean Marc Wunderli

Bern, 5. – 7. Dezember 2023

Inhalt



- Hintergrund—Fluglärmrechnungen
- Berechnungsverfahren
 - Berücksichtigte Eingangsgrößen
 - Wichtigste Unterschiede sonAIR—FLULA2
- Kampfflugzeuge
 - Akustischer Vergleich F-35A und F/A-18
- Lärmrechnungen: Resultate
 - Zukünftiger vs. heutiger Jetbetrieb
 - Einfluss Fluglärmrechnungsprogramm
 - Zukünftiger (mit F-35A) vs. heutiger Gesamtbetrieb (mit F/A-18 & F-5)



▪ Hintergrund—Fluglärmrechnungen

Hintergrund



Fluglärmrechnungen:

- Nach Lärmschutz-Verordnung (LSV, Anhang 8) und Leitfaden Fluglärm (Publikation BAFU/BAZL/GS-VBS)
- Bundesamt für Umwelt empfiehlt geeignete Berechnungsverfahren (LSV Art. 38 Abs. 2)
- Empa-Programm **FLULA2** eines von bisher drei empfohlenen Fluglärmprogrammen
 - *Best Practice* Programm für Jahresbelastungsrechnungen
- Neues Empa-Programm **sonAIR** soll FLULA2 ablösen
 - *Next Generation* Programm für Einzelflüge und Jahresbelastungen; detailliertere und präzisere Berechnungen
- sonAIR wird die **offizielle Belastung** der Prognose 2035 (Betrieb F-35A) liefern
 - ➔ Vergleichsberechnungen sonAIR vs. FLULA2



▪ **Berechnungsverfahren**

Berücksichtigte Eingangsgrößen



Inputs Luftwaffe/armasuisse

- Flottenmix (Flugzeugtypen – für die Kategorien Jets, Props, Helis)
 - Gruppierung bei fehlenden Emissionsmodellen
- Fluggeometrien
 - Streuspuren pro Flugkorridor
 - Flugprofile (Höhen- und Geschwindigkeitsverlauf, Flugphase)
- Typen- & routenspezifische Flugbewegungszahlen



Weitere Inputs

- Flugzeugtypen-spezifische Emissionsmodelle (Start, Landung; Leistungssetzung)
- Flugplatz: Pisten-Länge und Position
- Gelände
- Bodenbedeckung (je nach Programm)

Exemplarischer MIL Start 04 F-35A EMM:
Flugspuren, Flugbahnen *Footprint* ($L_{AE} = 105-120$ dB)

sonAIR und FLULA2 im Vergleich

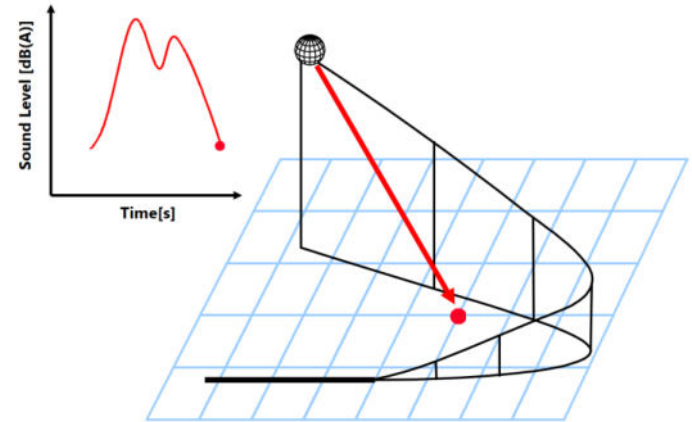


Gemeinsamkeiten

- Emissionsmodelle für Start (MIL / MAX) und Landung, basierend auf Messungen in Payerne (F-35A, F/A-18)
- Einzelflug-Simulation nach dem Zeitschritt-Verfahren

Weiterentwicklungen von sonAIR

- Trennung von Emission und Ausbreitung
- **Dreidimensionale Abstrahlcharakteristik**
- Explizite Modellierung des **Doppler-Effektes** → Geschwindigkeitsabhängigkeit
- Detailliertes **Ausbreitungsmodell**, u.a. mit Berücksichtigung der Bodenbedeckung und physikalische Modellierung von Situationen mit streifendem Schalleinfall
- Berechnung spektral, in Terzen





▪ **Kampfflugzeuge**

Akustischer Vergleich F-35A und F/A-18



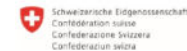
- **Datengrundlagen:**
 - **F-35A:** NKF Messungen Empa 2019, Flugplatz PAY
 - **F/A-18:** Messungen Empa 1997, Flugplatz PAY
- **Emissionen:** akustische Kenndaten (standardisierter Überflug, h = 1000 ft, v = 160 kt)

L_{AE}	Start MIL	Start MAX	Landung
F-35	118.8	122.5	101.5
F/A-18	116.4	120.6	102.0
ΔL_{AE}	+2.4	+1.9	-0.4

- **Immissionen:** inkl. Ausbreitung & Betrieb (z.B. Flugprofile)

Verfahren	Start			Landung	Rollen
	in Pisten- richtung	quer zur Pisten- richtung	Alle Messpunkte		
Gruppierung				In Pisten- richtung	
Messpunkte	2,4,7,8,9,10	5,6,11	2,4,5,6,7,8,9,10,11	2,4,7,8,9,10	
F-35A	+ 3dB(A)	+4 dB(A)	+ 3dB(A)	+ 0 bis1 dB(A)	+5 dB(A)

Tabelle 3: Vergleich des F-35A mit der Schweizer F/A-18



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS
Bundesamt für Rüstung - armasuisse ar
Luftfahrtsysteme

Neues Kampfflugzeug

Kurzbericht Lärmmessungen und Auswirkungsanalyse F-35A

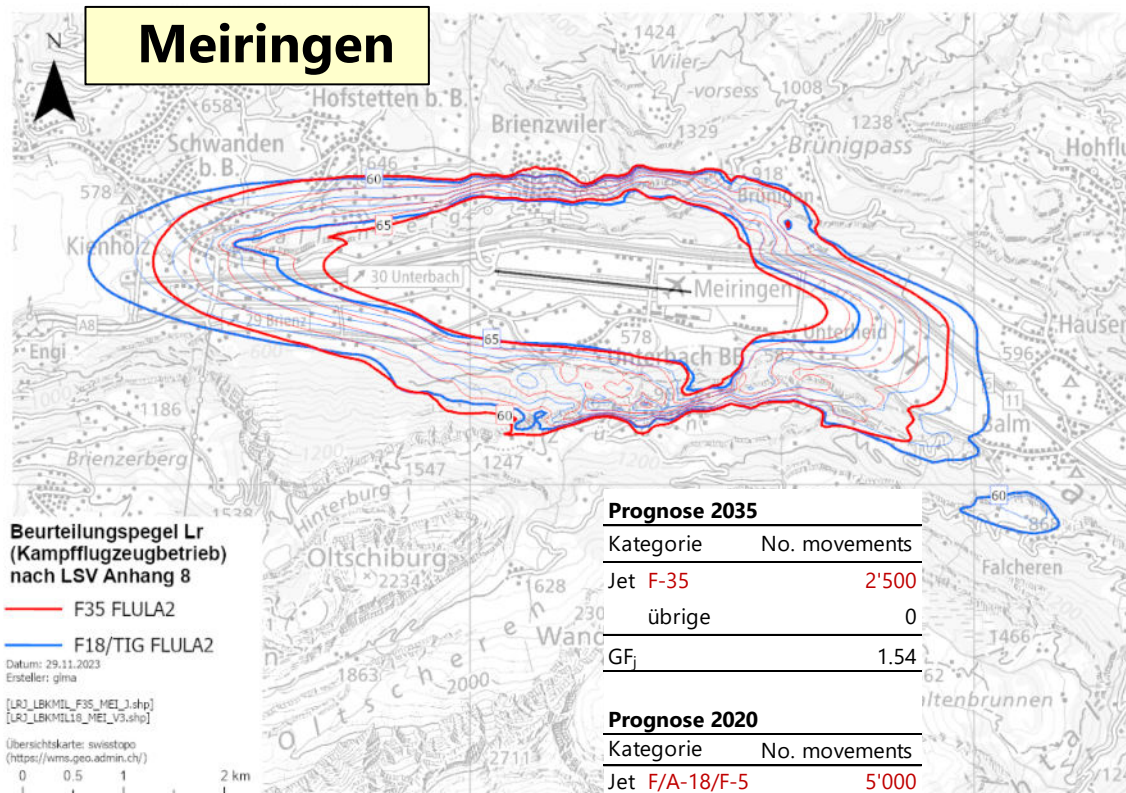
Aktionszeichen: ae/213.11-17/17/2/13/11/16



▪ **Lärmberechnungen: Resultate**

- **Jetbetrieb** F-35A vs. F/A-18 & F-5
 - Jetbetrieb F-35A, **Berechnung sonAIR vs. FLULA2**
- **Gesamtbetrieb** Prognose 2035 (F-35A) vs. aktuell (F/A-18 & F-5)

Resultate—F-35A vs. F/A-18 & F-5



Prognose 2035

Kategorie	No. movements
Jet F-35	2'500
übrige	0
GF _j	1.54

Prognose 2020

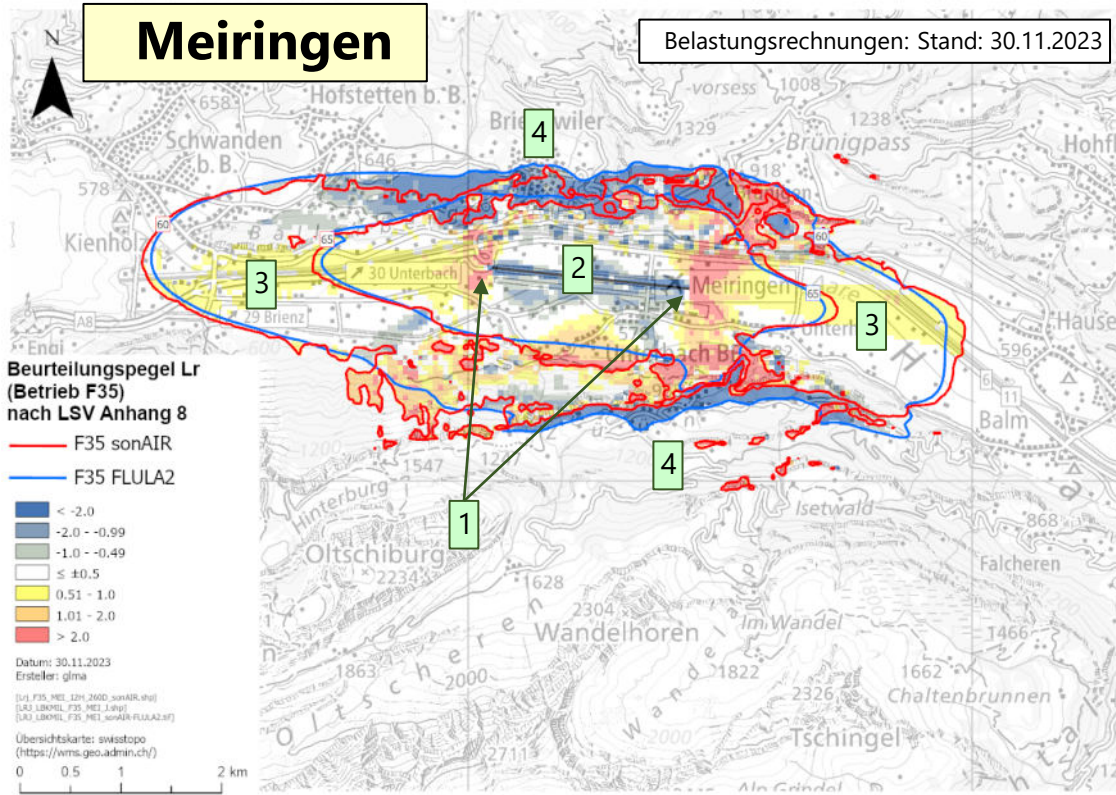
Kategorie	No. movements
Jet F/A-18/F-5	5'000
übrige	0
GF _j	1.57

- Bew. halbiert (geringer Anteil F-5), gleicher GF_j
- Höhere Lärmemissionen F-35A kompensiert durch Bew.
- Neben der Piste: Belastung bleibt annähernd gleich
- Fernbereich unter Flugrouten: Abnahme Lr wegen steileren Profilen F-35A (MAX Starts)

➔ Insg. Abnahme der Jet-Belastung

Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

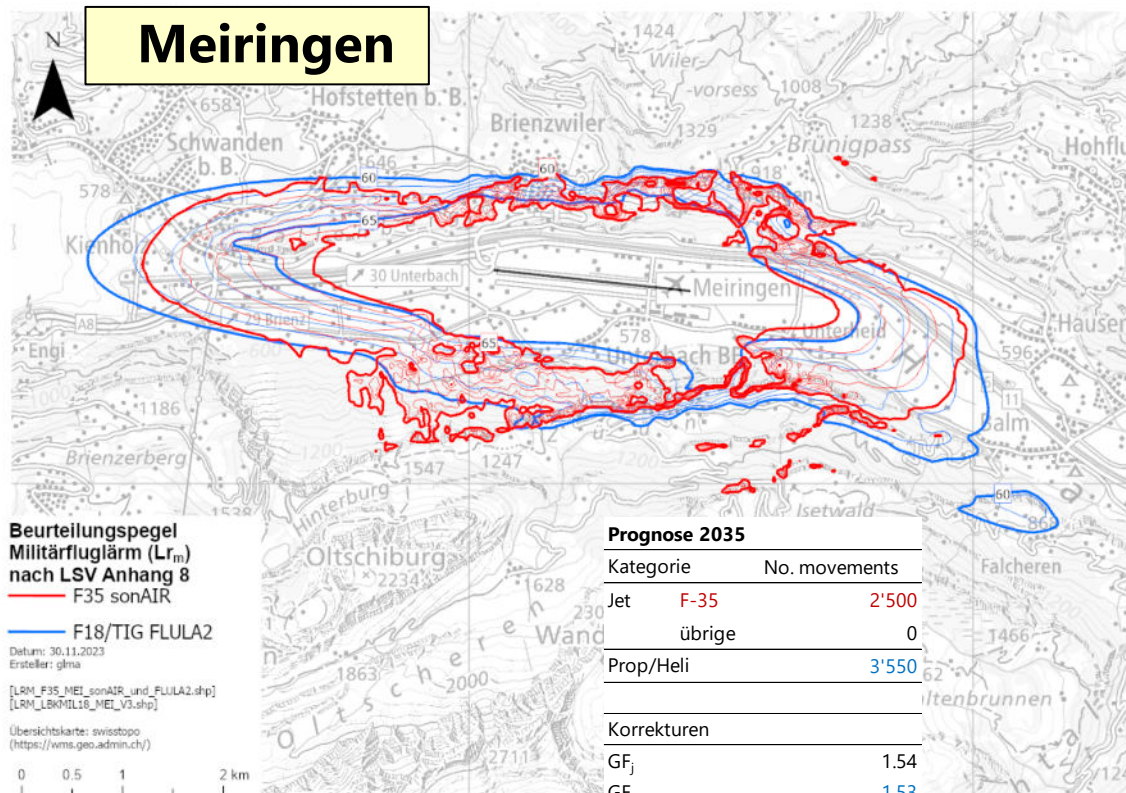
Resultate—F-35A sonAIR vs. FLULA2



Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

1. Pistenschwellen: sonAIR lauter nach hinten (Doppler)
 2. Piste: sonAIR weniger laut (Bodenreflexionen)
 3. Unter Hauptflugkorridoren: sonAIR etwas lauter (laterale Richtwirkung in leichter Kurvenlage)
 4. Abschattungseffekte in Hanglagen
 - Direktschall: sonAIR und FLULA2 sehr ähnlich
 - Lokale Unterschiede wegen Bodenbedeckung (sonAIR), z.B. Siedlungsgebiet, Wald
- ➔ Insgesamt ähnliche Lr, aber (realistisch) unruhigere Kurven sonAIR (Terrain)

Resultate—Beurteilungspegel Lr (Gesamtbetrieb)

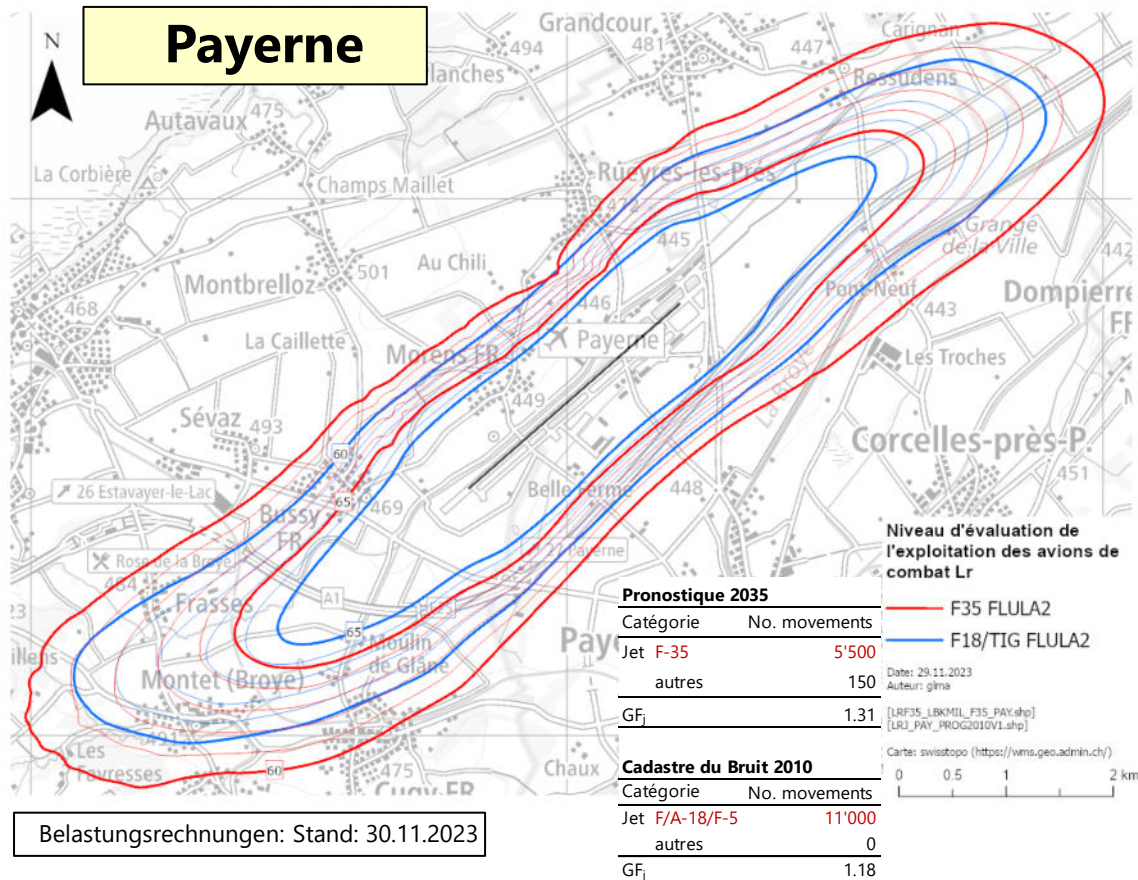


Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

- Gesamtbetrieb Militär Lr entspricht annähernd L_{rj} (akustisch dominierend)
- Ähnlicher Lr in Flugplatznähe, in Pistenverlängerung mit zunehmender Distanz tieferer Lr in Prognose 2035 als in Prognose 2020

➔ Insgesamt meist tiefere Fluglärmbelastung in Prognose 2035 als 2020

Resultate—F-35A vs. F/A-18 & F-5

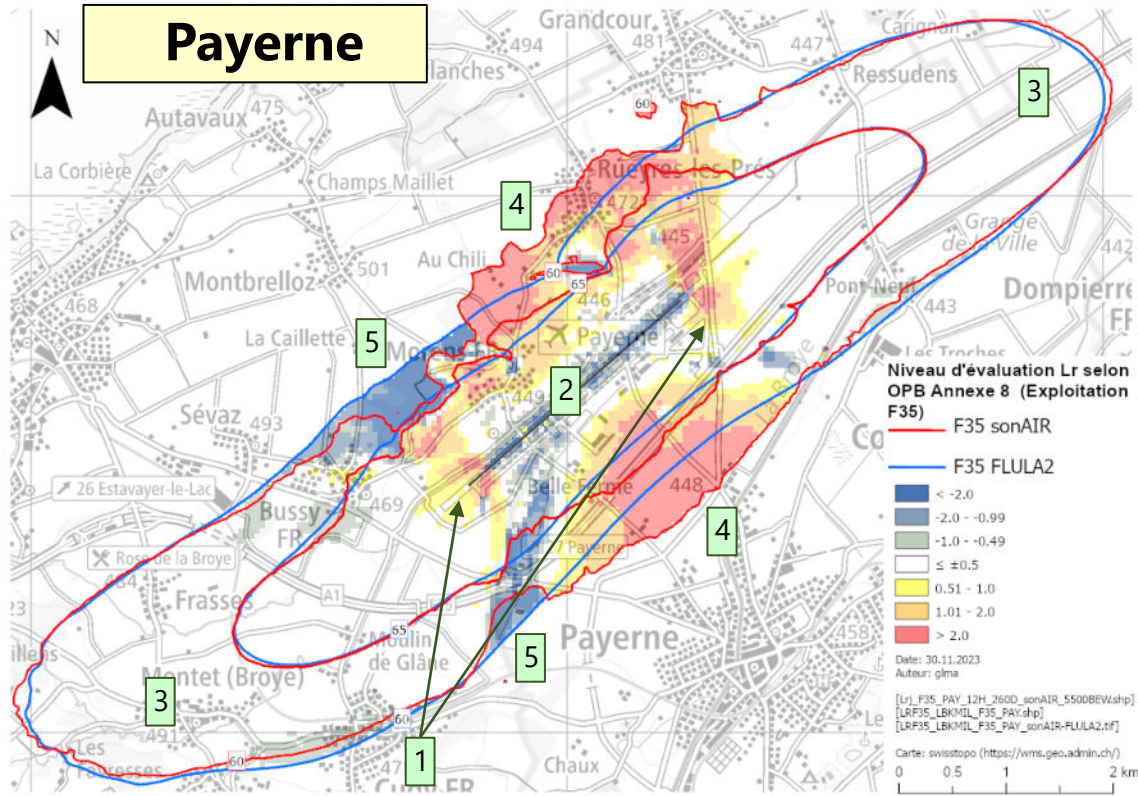


Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

- Nb. de mouvements divisés par deux (grande proportion F-5), GF_j plus élevé (→ ΔLr = +0.5 dB)
- Émissions de bruit plus élevées du F-35A & plus grand GF_j, partiellement compensé par les mouvements
- Influence des profils de vol (altitude, vitesse) F-35A vs. F/A-18

➔ Au total: augmentation de l'exposition au bruit aérien par jets

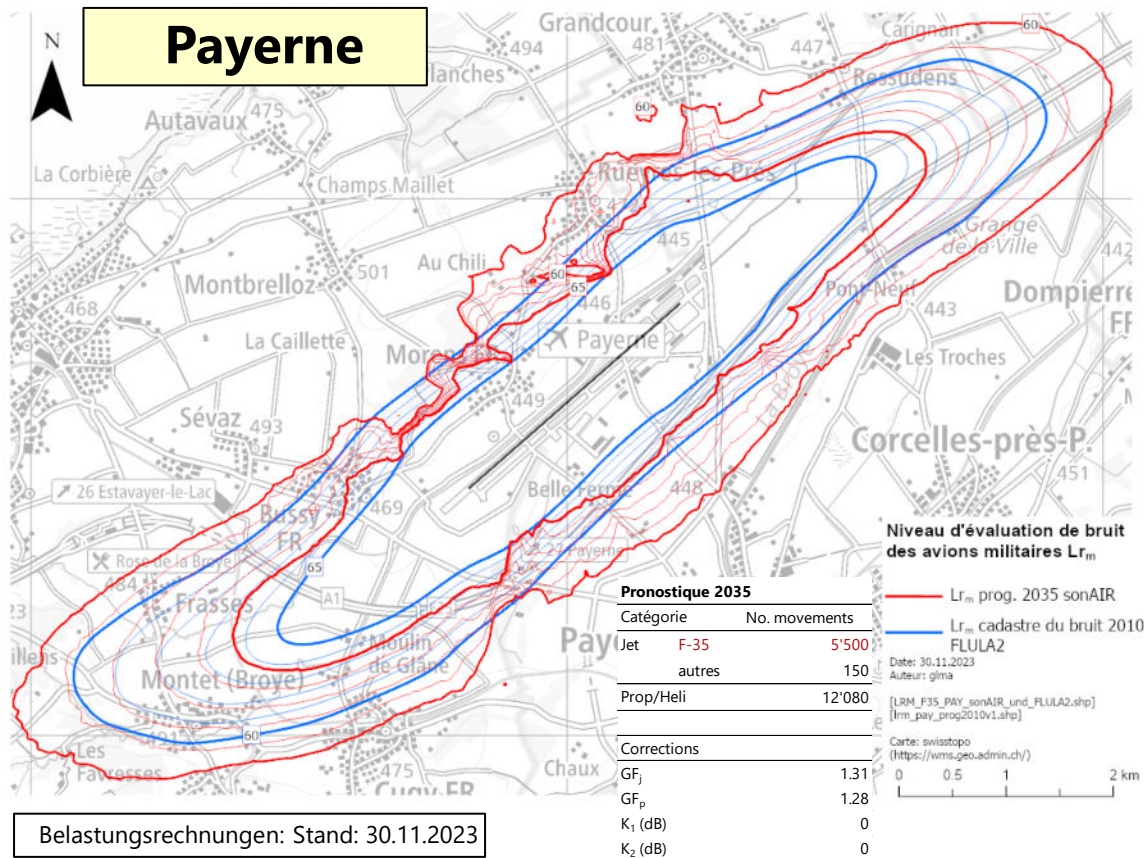
Resultate—F-35A sonAIR vs. FLULA2



Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

1. Seuils de piste : sonAIR plus bruyant vers l'arrière (Doppler)
 2. Piste : sonAIR moins bruyant (réflexions sur le sol)
 3. En dessous des couloirs aériens principaux : exposition similaire
 4. Incidence sonore rasante : sonAIR nettement plus bruyant (> 2 dB)
 5. Différences locales dues à l'occupation du sol (sonAIR), p.ex. zone d'habitation, forêt
 - Propagation directe : sonAIR et FLULA2 très similaire
- ➔ Exposition globalement similaire (différences locales), mais courbes (réalistes) plus irrégulières de sonAIR

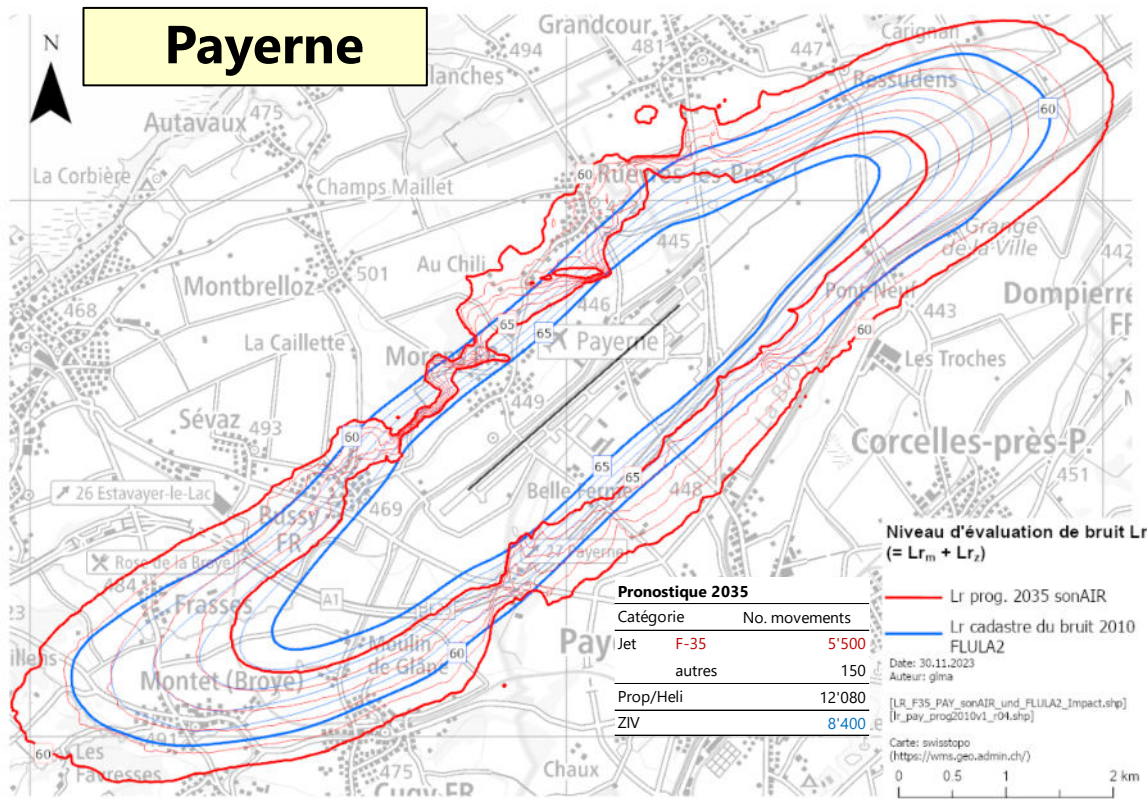
Resultate—Niveau d'évaluation Lr_m (exploit. globale mil.)



- Exploitation globale militaire Lr_m correspond approximativement à Lr_j (acoustiquement dominant), malgré le nombre élevé de mouvements d'avions à hélices et hélicoptères

➔ Au total, augmentation de l'exposition au bruit aérien dans le pronostique 2035 comparé au cadastre de bruit 2010

Resultate—Niveau d'évaluation Lr ($Lr_m + Lr_z$)

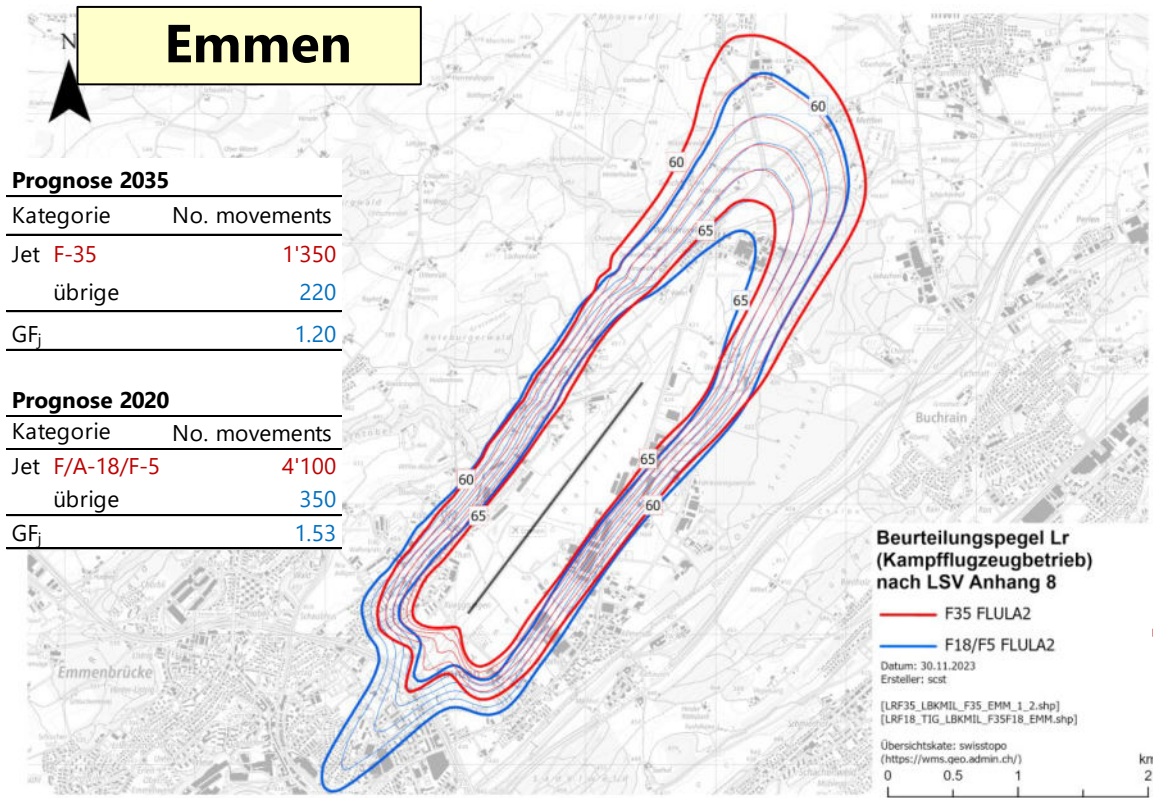


- Exploitation globale Lr très similaire à l'exploitation militaire Lr_m (acoustiquement dominant)

➔ Au total: augmentation de l'exposition au bruit aérien dans le pronostique 2035 comparé au cadastre de bruit 2010

Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

Resultate—F-35 vs. F/A-18 & F-5



Prognose 2035

Kategorie	No. movements
Jet F-35	1'350
übrige	220
GF _j	1.20

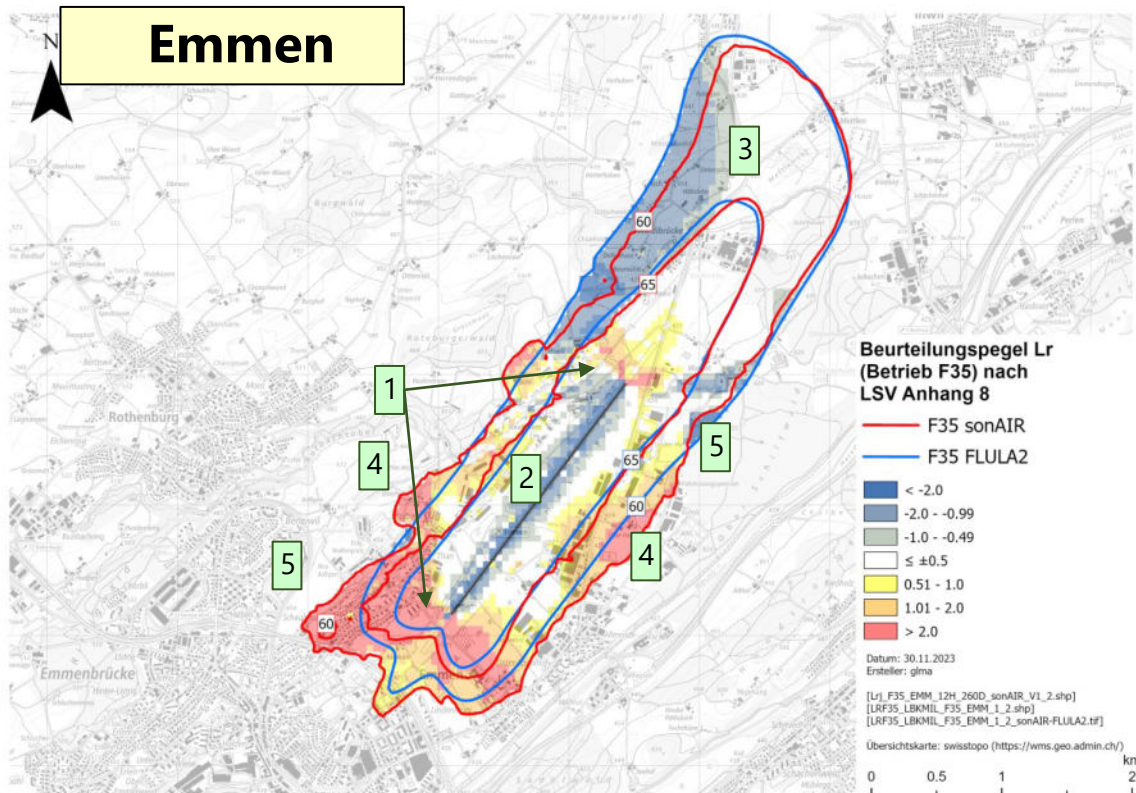
Prognose 2020

Kategorie	No. movements
Jet F/A-18/F-5	4'100
übrige	350
GF _j	1.53

Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

- Bew. um rund zwei Drittel reduziert (grosser Anteil F-5), GF_j tiefer (→ $\Delta Lr = -1$ dB)
 - Höhere Lärmemissionen F-35 kompensiert durch Bew. & GF_j
 - Abflüge F-35 nach Süden: deutlich weniger laut (steilere Profile: MAX Starts)
 - Abflüge nach Norden: lauter (geringer Anteil Volten)
 - Seitlich Piste: ähnlich laut
- ➔ Insg. deutliche Abnahme der Jet-Belastung im Süden und Zunahme im Norden

Resultate—F-35 sonAIR vs. FLULA2

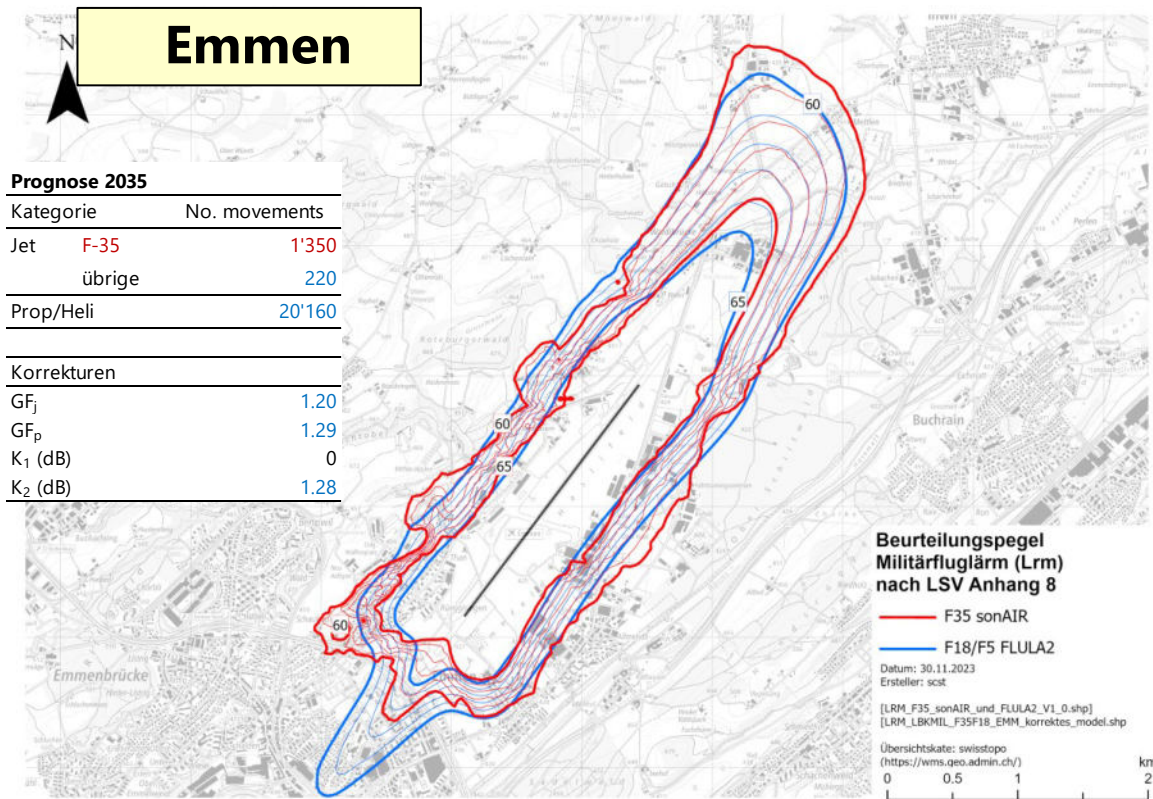


Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

1. Pistenschwellen: sonAIR lauter nach hinten (Doppler)
 2. Piste: sonAIR weniger laut (Bodenreflexionen)
 3. Unter Hauptflugkorridoren: ähnliche Belastung; sonAIR im Norden leiser (laterale Richtwirkung in starker Kurvenlage)
 4. Streifender Schalleinfall: sonAIR lauter
 5. Lokale Unterschiede wegen Bodenbedeckung (sonAIR), z.B. Siedlungsgebiet, Wald
- Direktschall: sonAIR und FLULA2 meist sehr ähnlich

➔ Insgesamt ähnliche Lr, aber (realistisch) unruhigere Kurven sonAIR

Resultate—Beurteilungspegel Lr (Gesamtbetrieb)



Prognose 2035		
Kategorie		No. movements
Jet	F-35	1'350
	übrige	220
Prop/Heli		20'160
Korrekturen		
GF _j		1.20
GF _p		1.29
K ₁ (dB)		0
K ₂ (dB)		1.28

- Gesamtbetrieb Militär Lr entspricht annähernd L_r; (akustisch dominierend), trotz hoher Bewegungszahlen Heli/Prop
- Differenzen sind stark abhängig von der Region um den Flughafen

➔ Insg. Abnahme der Fluglärmbelastung im Süden und Zunahme im Norden in Prognose 2035 im Vergleich zu 2020

Belastungsrechnungen: Stand: 30.11.2023

Zusammenfassung



- Prognose 2035 vs. aktueller Zustand:
 - EMM: Abnahme der Fluglärmbelastung im Süden und Zunahme im Norden
 - MEI: Insgesamt meist Abnahme der Fluglärmbelastung
 - PAY: Insgesamt Erhöhung der Fluglärmbelastung
- Gleichzeitiger Wechsel Simulationsmodell & Flugzeugtyp komplex
 - Gleichzeitige Änderung mehrerer Variablen
 - Effekte können sich gegenseitig verstärken oder kompensieren
- sonAIR: exaktere Berechnung als FLULA2
 - Quellenmodellierung (3D) → Kurvenflug
 - Ausbreitung → streifender Schalleinfall
- FLULA2 und sonAIR liefern insgesamt vergleichbare Resultate
 - Gute Übereinstimmung in einfachen Ausbreitungssituationen
 - Lokale Unterschiede in komplexeren Ausbreitungssituationen