



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Bundesamt für Rüstung - armasuisse ar

Luftfahrtssysteme

Neues Kampfflugzeug

Kurzbericht Lärmmessungen und Auswirkungsanalyse F-35A

Aktenzeichen: ar-213.11-17/17/2/13/11/1/6



ar-D-A4653401/1429

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Grundlagen zu Fluglärm	5
2.1	Schallmessung und dazu verwendete Grössen	5
2.2	Berechnung der Fluglärmbelastung in der Schweiz nach LSV	6
3	Lärmmessungen während der NKF Evaluation	7
3.1	Messaufbau	7
3.2	Startverfahren	8
3.3	Resultate	9
3.4	Frequenzspektrum	10
3.5	Modellierung der 110 dB(A) Lärmkontur eines einzelnen Starts	11
4	Abschätzung Gesamtlärmbelastung F-35A Betrieb in der Schweiz	12
5	Weiteres Vorgehen	13
5.1	Geplante Bewegungszahlen	13
5.2	Massnahmen zur Fluglärmreduzierung	14
5.2.1	Optimierung der Abflug- und Anflugprofile	14
5.2.2	Technische Massnahmen	14
5.3	Berechnung der Belastung nach Lärmschutzverordnung	14

1 Zusammenfassung

Die Schweizer Luftwaffe plant im Rahmen des Projektes Air2030 die Beschaffung von neuen Kampflugzeugen (NKF). Dazu wurden zwischen dem 10. April und dem 12. Juni 2019 insgesamt vier Kandidaten während jeweils einer Woche auf dem Militärflugplatz Payerne (Fribourg / Waadt) getestet und evaluiert.

Die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, wurde beauftragt, die Testflüge akustisch zu vermessen. Das Ziel war es, die Kandidaten lärmtechnisch zu charakterisieren und insbesondere mit dem aktuell von der Schweizer Luftwaffe eingesetzten F/A-18 C/D zu vergleichen. Der Vergleich sollte immissionsseitig durch den direkten Vergleich von Messungen an verschiedenen Standorten wie auch durch die Berechnung von Lärmkonturen von Einzelflügen erfolgen.

Der Abschlussbericht der Empa ist vertraulich klassifiziert, da er Daten enthält, welche durch Vertraulichkeitsvereinbarungen mit den Herstellern geschützt sind.

Am 30. Juni hat der Bundesrat den Typenentscheid zu Gunsten des F-35A gefällt.

Der vorliegende Bericht gibt einleitend einen Überblick über die wesentlichen physikalischen und rechtlichen Grundlagen. Anschliessend werden die Immissionsresultate gemäss dem Bericht der Empa für den F-35A und den F/A-18 C/D der Schweizer Luftwaffe dargestellt. Dabei werden als Erstes das messtechnische Vorgehen und dann die Messresultate dargestellt. Anschliessend zeigt dieser Bericht die errechnete Lärmkontur für einen Einzelstart und eine Abschätzung zum Gesamtlärm beim Betrieb des F-35A in der Schweiz, d.h. mit Berücksichtigung der Anzahl der Flugbewegungen¹. Im Anschluss wird das weitere Vorgehen dargestellt, insbesondere im Hinblick auf mögliche Optimierungen der Flugverfahren zur Reduktion der Lärmimmissionen. Die Luftwaffe plant, das zukünftige Stationierungskonzept darauf auszurichten, die Lärmbelastung gemäss LSV (Lärmschutz Verordnung) auf den Militärflugplätzen Payerne, Meiringen und Emmen vergleichbar zu heute aufzuteilen. Darauf basierend werden die Richtwerte für die zukünftigen Flugbewegungen auf diesen Militärflugplätzen angegeben. Abschliessend wird der weitere Weg zur Berechnung der Lärmbelastung nach der LSV dargestellt.

Zusammenfassend war der F-35A beim Start im Durchschnitt etwa 3 dB(A) lauter als der heutige F/A-18 C/D. 3 dB(A) stellen einen Lärmunterschied dar, welcher im Alltag in einer Flugplatzumgebung mit dem menschlichen Gehör gerade wahrnehmbar ist. Bei der Landung war der F-35A im Durchschnitt 0 bis 1 dB(A) lauter als der F/A-18 C/D. Beim Rollen am Boden war der F-35A rund 5 dB(A) lauter als der F/A-18 C/D. Der Anteil tieferer Frequenzen ist beim F-35A grösser als beim F/A-18 C/D, was zu einer unterschiedlichen Wahrnehmung des Lärmes führen kann. Da der F-35A im Durchschnitt etwa 3 dB(A) lauter ist, deckt die Lärmkontur für die 110 dB(A) Isophone für den Start mit dem F-35A eine grössere Fläche ab als mit dem F/A-18 C/D. Eine Isophone stellt die Linie dar, auf welcher eine konstante Lärmimmission zu erwarten ist.

Für die Abschätzung der Gesamtlärmbelastung während eines Jahres ist neben dem Lärm beim Start und bei der Landung auch die Anzahl der Flugbewegungen von Bedeutung. Die einzelnen Trainingsmissionen dauern beim F-35A infolge des grösseren mitgeführten Treibstoffvorrates etwas länger. Aufgrund der vorgesehenen Flugstunden und der durchschnittlich längeren Trainingsmissionen können gegenüber dem Betrieb der F/A-18C/D und F-5 in den letzten Jahren die Flugbewegungen mit dem F-35A in etwa um die Hälfte reduziert werden. Ausgehend vom heutigen Stationierungskonzept ergibt sich daraus aufgrund der wesentlich tieferen Bewegungszahlen eine durchschnittlich gleichbleibende Jahreslärmbelastung gemäss Lärmschutz-Verordnung.

¹ Als Flugbewegung wird eine Landung sowie auch ein Start bezeichnet, zu jedem Flug gehören also immer mindestens zwei Flugbewegungen. Ein «touch-and-go», also eine Landeübung mit erneutem Start zählt ebenfalls als 2 Bewegungen.

In einem nächsten Schritt werden die Lärmberechnungen für die Anpassung des Sachplans für die Militärflugplätze Payerne, Meiringen und Emmen erstellt. Dabei wird für die Flugplätze von folgenden bisherigen und zukünftigen Bewegungszahlen² ausgegangen:

		Flz Typ	Flugbewegungen pro Jahr		
			Payerne	Meiringen	Emmen
1	Aktuelle Planungszahl	F/A-18	7700	4300	1200
	Ø Bewegungen 2016-2020		6959	3398	1015
2	Aktuelle Planungszahl	F-5	3300	700	2900
	Ø Bewegungen 2016-2020		1432	698	2601
3	Aktuelle Planungszahl	F/A-18 & F-5	11000	5000	4100
	Ø Bewegungen 2016-2020		8391	4096	3616
4	Planungsgrundlage Lärmberechnung	F-35	5500	2500	1500
	Mittelwert Bewegungen		4200	2040	1090
5	Reduktion Planungszahlen		-50 %	- 50%	-63%
	Reduktion Bewegungen		-50%	-50%	-70%

Tabelle 1: Entwurf Flugbewegungszahlen für die Sachpläne der Militärflugplätzen

Die Lärmberechnungen für die Militärflugplätze Payerne, Meiringen und Emmen werden basierend auf den oben aufgeführten Bewegungszahlen für den F-35A in Zusammenarbeit mit der Empa vorgenommen. Diese Berechnungen sollten im Entwurf bis Anfang 2023 vorliegen. Die Planungszahlen sind im Hinblick auf die Anpassung des Sachplans Militär etwas höher als die von der Luftwaffe im langjährigen Mittel angestrebten Flugbewegungszahlen, um wie heute eine gewisse Handlungsfreiheit zu erhalten.

Dem VBS ist es ein wichtiges Anliegen, die Lärmbelastung so tief wie möglich zu halten. Deshalb wird bereits heute zusammen mit dem Hersteller Lockheed-Martin und der Empa nach verfahrenstechnischen Möglichkeiten zu weiteren Lärmreduktionsmassnahmen gesucht, wie zum Beispiel Optimierungen der Fluggeometrien oder Fluggeschwindigkeit. Im Rahmen der Lärmsanierung unter Berücksichtigung der Einführung des neuen Kampfflugzeuges wird das VBS zudem bei Bedarf im Umfeld der Militärflugplätze Emmen, Meiringen und Payerne weitere Schallschutzfenster einbauen lassen.

² Für im Sachplan Militär festgelegt sind (Payerne) bzw. für die letzte Lärmberechnung zur Anpassung des Sachplans verwendet worden sind (Meiringen und Emmen),

2 Grundlagen zu Fluglärm

2.1 Schallmessung und dazu verwendete Grössen

Als Schall in der Luft bezeichnet man örtliche und zeitliche Luftdruckschwankungen, die sich als Wellen durch die Atmosphäre bewegen. Je grösser die Luftdruckschwankungen sind, desto lauter ist ein Geräusch.

Die Anzahl der Druckschwankungen pro Sekunde wird als Frequenz bezeichnet und als Tonhöhe empfunden.

Das menschliche Gehör ist in einem sehr grossen Umfang fähig, zwischen leisen und lauten Tönen zu unterscheiden. Der Unterschied zwischen den Luftdruckschwankungen an der Hörschwelle und der Gefährdungsschwelle für das menschliche Gehör ist sehr gross. Deshalb wäre es für akustische Betrachtungen und Berechnungen umständlich, mit Druckeinheiten zu rechnen.

In der Akustik wird deshalb hauptsächlich mit dem Schalldruckpegel gearbeitet. Der Schalldruckpegel ist als ein logarithmisches Verhältnis vom gemessenen effektiven Schalldruck³ zu einem Referenzdruck definiert. Dieser Referenzdruck ist bei einem effektiven Schalldruck festgelegt, welcher der menschlichen Hörgrenze bei einer Frequenz von 1'000Hz entspricht. Dem so berechneten Schalldruckpegel wird die Einheit Dezibel (dB) zugeordnet.

Das menschliche Gehör empfindet ein Geräusch mit dem doppelten effektiven Schalldruck nicht als doppelt so laut. Dazu kommt, dass für logarithmische Masse wie Dezibel ungewohnte Rechenregeln gelten. Für Schalldruckpegel gelten folgende Zusammenhänge⁴:

- Wegen der logarithmischen Skala entspricht eine Verdoppelung des effektiven Schalldruckes einer Schallpegelzunahme von 3dB. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn einer Schallquelle eine zweite, gleichartige hinzugefügt wird. Beobachtet man also beim Start ein einzelnes Flugzeug oder eine Formation mit zwei typengleichen Flugzeugen mit identischen Verfahren, beträgt der Lärmunterschied 3 dB. Ein solcher Unterschied ist im Alltag in einer Flugplatzumgebung bei zeitlich getrennten Ereignissen gerade noch als unterschiedlich laut wahrnehmbar.
- Damit der Schall als doppelt so laut wahrgenommen wird, braucht es dagegen eine Erhöhung des Schalldruckpegels um 10 dB.
- Mit der Verdoppelung des Abstandes von der Schallquelle sinkt der Schalldruckpegel um 6 dB.

Das menschliche Gehör ist auf unterschiedliche Frequenzen unterschiedlich empfindlich. Der Frequenzbereich, welcher vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden kann, liegt ungefähr im Bereich zwischen 20Hz und 20'000Hz. Am empfindlichsten ist das menschliche Gehör im Bereich von ca. 500Hz bis 5000Hz, dem Bereich, in welchem sich die menschliche Sprache bewegt. Je weiter ein Ton ausserhalb dieses Bereiches liegt, desto weniger laut wird er vom menschlichen Gehör bei gleichbleibendem Schalldruck empfunden. Dies ist sowohl der Fall für tiefe wie auch für hohe Töne. Der Frequenzbereich, welcher für Fluglärm massgebend ist, liegt zwischen 100Hz und 3'000Hz.

Um die Wahrnehmung von Schall vergleichen zu können, muss also diese Abhängigkeit des menschlichen Gehörs von der Frequenz berücksichtigt werden. Dies erfolgt durch eine Korrektur der gemessenen Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Frequenz. Die dazu verwendete Funktion ist in internationalen Normen definiert und wird A-Kurve genannt. Die so errechneten Pegel werden A-bewertete Schalldruckpegel genannt und haben die Einheit Dezibel A dB(A).

Die Lautstärke von Lärm unterliegt in der Praxis grossen Schwankungen. Für die Beurteilung von Einzelereignissen wie ein Flugzeugstart wird in der Regel ein über die Zeit aufsummierter (integrierter) Wert des A-bewerteten Schalldruckpegels herangezogen. Dabei wird die Zeitspanne berücksichtigt, in

³ Um einen Schalleistungsbezug zu erhalten, fliesst der effektive Schalldruck quadratisch in die Schalldruckpegelberechnung ein. Für eine detaillierte Beschreibung ist entsprechende Fachliteratur der Akustik zu konsultieren.

⁴ Die genannten Zusammenhänge können entsprechender Fachliteratur der Akustik entnommen werden

welcher der Flugzeugstart deutlich hörbar ist. Diese Grösse wird als Ereignispegel bezeichnet und kann zum Vergleich einzelner Geräusche, oder Schallereignissen verwendet werden.

Zusätzlich wird in der Akustik zwischen Schallemission und Schallimmission unterschieden. Die Schallemission beschreibt den von einer Lärmquelle in einem bestimmten, normierten Abstand abgestrahlten Lärm. Im Gegensatz dazu beschreibt die Schallimmission den Lärm, welcher an einem bestimmten Punkt in der Umgebung ankommt. Bei allen Angaben in diesem Bericht handelt es sich um Schallimmissionen, welche am Boden in einer Flugplatzumgebung durch den Betrieb von Kampfflugzeugen entstehen.

2.2 Berechnung der Fluglärmbelastung in der Schweiz nach LSV

Der Schutz der Schweizer Bevölkerung vor Lärm ist in der Lärmschutz-Verordnung ([LSV, SR 814.41](#)) geregelt. Die Belastungsgrenzwerte sowie die Berechnungsverfahren der Beurteilungspegel für Lärm von Militärflugplätzen sind im Anhang 8 der LSV definiert.

Das nach LSV definierte Verfahren sieht vor, dass für alle Örtlichkeiten in einer Flugplatzumgebung die Lärmimmissionen berechnet werden. Diese Berechnungen beinhalten Computermodellierungen und müssen nach LSV folgende Einflüsse berücksichtigen:

- die Abstände des Immissionsortes von der Lärmquelle oder von den Flugwegen (Abstands- und Luftdämpfung)
- die Auswirkungen des Bodens auf die Schallausbreitung (Bodeneffekte)

Aus den so berechneten Schallimmissionen, welche auch mittels Messungen verifiziert werden können, wird das akustische Belastungsmass berechnet, wobei auch die Anzahl der Lärmereignisse berücksichtigt wird. Das akustische Belastungsmass wird schlussendlich mit Pegelkorrekturen zum Beurteilungspegel korrigiert.

Nach diesem Verfahren werden die Beurteilungspegel für alle Örtlichkeiten in der Flugplatzumgebung berechnet. Diese Beurteilungspegel werden anschliessend mit den Belastungsgrenzwerten verglichen. Die Resultate werden im Lärmbelastungskataster des entsprechenden Flugplatzes zusammengefasst und in einem Verfahren wird die zulässige Lärmbelastung festgelegt. Der Lärmbelastungskataster mit den zulässigen Lärmimmissionen ist massgebend für den Einbau von Schallschutzfenstern und für die planerischen Tätigkeiten der Behörden.

3 Lärmmessungen während der NKF Evaluation

Als Teil der technischen Erprobung und Validierung jedes NKF Kandidaten wurde im Zeitraum Frühling bis Sommer 2019 für jeden Typen eine Testflugkampagne durchgeführt. Diese Kampagnen umfassten für jeden Kandidaten acht Testflüge, in welchen unterschiedliche Aspekte des Gesamtsystems betrachtet und bewertet wurden. Ein Aspekt unter vielen war die produzierte Lärmbelastung, welche als Beurteilungskriterium in die Kosten- / Nutzenberechnung der NKF Evaluation einfluss.

3.1 Messaufbau

Die Messung der Lärmbelastung während der Testflüge in der Schweiz wurde durch die Empa durchgeführt. Dazu wurden an definierten Messorten in der Umgebung der Flugplätze Payerne und Meiringen akustische Messstationen aufgestellt. Da von den acht Testflügen sieben ab Payerne geflogen wurden, wurde der Schwerpunkt der Lärmmessungen mit elf Messstationen auf Payerne gelegt.

In Meiringen wurde nur ein einziger Flug pro Kandidat durchgeführt, weshalb in der weiteren Umgebung von Meiringen nur vier Messstationen eingerichtet wurden. Diese Stationen konnten nicht symmetrisch aufgestellt werden und erlauben es deshalb nicht, An- und Abflüge aus unterschiedlichen Richtungen zu vergleichen.

Die Verteilung der Messstationen in Payerne wurde so gewählt, dass einerseits vergleichbare Messungen in beiden An- / Abflugrichtungen aufgezeichnet werden können, andererseits das Maximum an Information in die anschliessenden Modellberechnungen einfließen kann. Die schlussendlich erstellten Modelle sind nicht abhängig vom Ort der Messung, sondern nur von deren Qualität und können somit ebenfalls zur Vorhersage von Fluglärm auf den anderen Schweizer Militärflugplätzen verwendet werden.

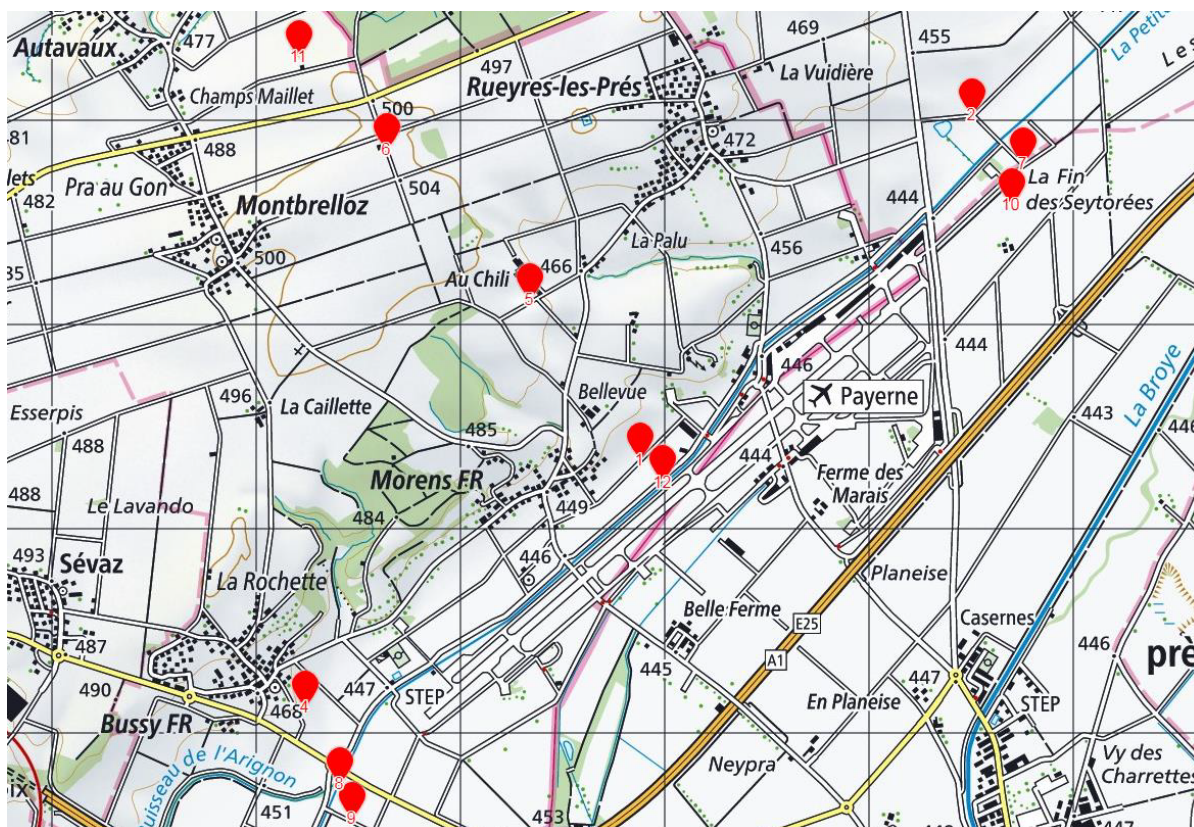


Abbildung 1: Anordnung der Messstationen in der Umgebung des Flugplatzes Payerne (© Empa & swisstopo)

Abbildung 1 zeigt die Anordnung der akustischen Messstationen in der Umgebung des Flugplatzes Payerne. Die eingesetzten Messstationen erfüllen die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Kalibration für Lärmmessungen. Um die Messungen aller Messstationen zeitlich aufeinander abzustimmen wurde ein hochgenauer Zeitstempel von einem GPS Empfänger verwendet.



Abbildung 2: Beispiel einer Messstation bestehend aus Mikrofon, Solarpanel und Messschrank (© Empa)

Abbildung 2 zeigt ein Bild einer dieser akustischen Messstationen im Einsatz in der Umgebung des Flugplatzes Payerne. Zusätzlich zu den oben genannten Messstationen wurden für jeden Kandidaten auch akustische Messungen während des Triebwerkstarts und dem Rollen auf den Rollwegen durchgeführt.

3.2 Startverfahren

Den Kandidaten wurden die Rahmenbedingungen für Start und Landung vor Beginn der Erprobung bekannt gegeben. Den Kandidaten wurden dabei keine exakten Verfahren vorgeschrieben, sondern nur erforderliche minimale Leistungskennzahlen für die Startverfahren. Diese Kennzahlen haben unter anderen die maximale Startrollstrecke oder den minimalen Steigwinkel umfasst. Ebenso wurde den Kandidaten die Anordnung der Messstationen bekannt gegeben.

Dadurch hatten alle Kandidaten die Möglichkeit, innerhalb dieser Vorgaben ihre An- und Abflugverfahren in Bezug auf die Lärmbelastung zu optimieren. Da jedoch die Flugerprobung nur acht Flüge umfasste, war es den Kandidaten nicht erlaubt, das Start- oder Anflugverfahren während der massgeblichen acht Flüge anzupassen, um genügend Messdaten mit einer minimalen statistischen Relevanz zu erhalten. Es war also nicht möglich, während der Flugerprobung bezüglich Lärmimmissionen weiter zu optimieren.

Das von den F-35A Testpiloten gewählte Startverfahren beinhaltet eine konstante Triebwerkleistungsetzung mit Standardschub (MIL Power)⁵, d.h. ohne Einsatz des Nachbrenners. Das Gleiche galt für die Starts des F/A-18 C/D.

3.3 Resultate

Anschliessend an die Messkampagne wurden die gemessenen Daten nach allgemein anerkannten Verfahren für die Berechnung der Ereignispegel aufbereitet. Dazu gehörte z.B. die Ausscheidung von Messdaten, welche durch ein durchfahrendes landwirtschaftliches Fahrzeug verfälscht wurden, oder die durch die Aufzeichnung von zwei Ereignissen in zu naher zeitlicher Abfolge für die Auswertung unbrauchbar wurden.

Während der kompletten Messkampagne konnten für den F-35A während einer Woche und den F/A-18 C/D während vier Wochen folgende brauchbare Ereignisse aufgezeichnet werden:

Flugzeugtyp	Starts		Landungen	
	Flugbewegungen	Einzelmessungen	Flugbewegungen	Einzelmessungen
F/A-18 C/D	37	264	74	200
F-35A	12	91	12	35

Tabelle 2: brauchbare Messungen von Einzelereignissen der F-35A Messkampagne

Die Lärmimmissionen sind von Umwelteinflüssen wie Lufttemperatur, Luftdichte oder Windrichtung abhängig. Bei tieferen Temperaturen ist die Triebwerkleistung etwas höher, weshalb zum Beispiel beim Start der mögliche Steigwinkel leicht grösser ist. Aufgrund des grösseren Abstands zum Mikrophon wird dann ein leicht tieferer Wert gemessen. Deshalb wurden die Resultate während der Messkampagne in erster Linie als Vergleichswerte mit Lärmimmissionen der F/A-18 C/D der Schweizer Luftwaffe bewertet, welche in der gleichen Zeitperiode operierten und damit unter den gleichen Bedingungen gemessen wurden. So konnte für alle Kandidaten vergleichbare Bedingungen geschaffen werden.

Aus den gemessenen Ereignispegeln wurde beim Start und bei der Landung sowohl für den Schweizer F/A-18 C/D als auch den F-35A der Median⁶ als Vergleichswert berechnet. Der Median bezeichnet dabei den mittleren Wert der Immissionspegel in einer Rangfolge. Die Lärmimmissionen beim Rollen wurden mit nur einer Messung des Maximalpegels ermittelt.

Verfahren	Start			Landung	Rollen
Gruppierung	in Pistenrichtung	quer zur Pistenrichtung	Alle Messpunkte	In Pistenrichtung	
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 bis 1 dB(A)	+5 dB(A)

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

Tabelle 3 zeigt die berechneten Unterschiede zwischen den Vergleichswerten, also die Differenz der mittleren Mediane der Ereignispegel von F-35A und der Schweizer F/A-18 C/D (F-35A minus F/A-18 C/D).

Zu beachten ist, dass die Messwerte je nach Messpunkt um mehrere Dezibel gestreut haben. Entsprechend hohe Streuungen sind bei Feldmessungen üblich und sind primär auf atmosphärische Turbulenzen oder kleine Abweichungen in den Flugverfahren zurückzuführen. Die Verwendung von Medianen reduziert bei kleinen Stichproben, wie es hier der Fall ist, den Einfluss von Ausreissern. Die Empa hat in einer Unsicherheitsabschätzung Standardunsicherheiten von 0.5 – 3.0 dB(A) ermittelt, je nach Flugzeugtyp und Flugphase.

⁵ Standardschub oder im Fachbegriff «MIL-Power» bezeichnet die höchste Leistungshebelstellung ohne Wahl des Nachbrenners

⁶ Bei geringer Anzahl Messungen ist der Median weniger anfällig auf Ausreisser in der Messreihe als der arithmetische Mittelwert. Für die genaue Definition kann einschlägige Fachliteratur konsultiert werden.

In Meiringen konnte mit einer reduzierten Messinstallation und nur einem Abflug keine Messungen mit statistischer Relevanz durchgeführt werden. Der F-35A startete hier mit Nachbrenner, wobei im Vergleich zum F/A-18 C/D, ebenfalls mit Nachbrenner, folgender Wert gemessen wurde:

Verfahren	Start
Gruppierung	Quer zur Pistolenrichtung
F-35A	+3.5 dB(A)

Tabelle 4: Vergleich des F-35A mit der Schweizer F/A-18

In welchem Ausmass der Nachbrenner für den Start in Meiringen eingesetzt werden muss, wird zurzeit zusammen mit Lockheed Martin analysiert.

Die Bewertung im Rahmen der Evaluation stützte sich ausschliesslich auf diese Resultate in diesem Bericht. Dabei stand vor allem der Lärm beim Start mit den höchsten Schallpegeln im Vordergrund.

3.4 Frequenzspektrum

Ebenfalls gemessen wurde das Frequenzspektrum der Kandidaten während Anflug und Abflug. Das Frequenzspektrum hat einen Einfluss auf die Art, wie sich ein Lärmereignis für den Menschen anhört.

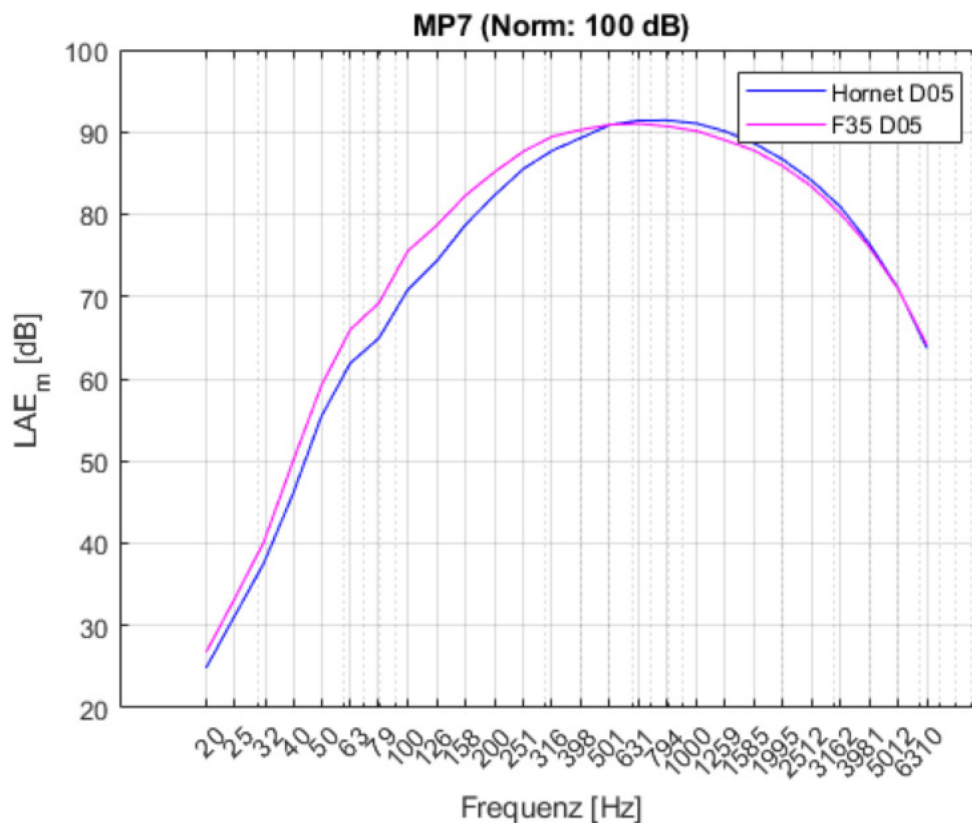


Abbildung 3: Vergleich Frequenzspektrum F-35A und F/A-18 C/D (© Empa)

Abbildung 3 vergleicht die Frequenzverteilung basierend auf einem energetischen Mittel aller Messungen für den F-35A bzw. den F/A-18 C/D am Messpunkt MP7. Die gemessene Schallimmission ist auf einen Pegel von 100 dB(A) normiert, das heisst die gezeigten Werte entsprechen einem gleich lauten Lärmereignis für beide Flugzeuge.

Es zeigt sich, dass der F/A-18 C/D im Bereich über 500 Hz vergleichsweise eher etwas lauter ist. Dagegen hat der F-35A höhere Schallpegelanteile bei den tieferen Frequenzen. Dies hat zum Effekt, dass das Geräusch eines abfliegenden F-35A allenfalls anders empfunden wird, was in etwa als «tiefer und grummelnder» im Vergleich zu einem F/A-18 beschrieben werden kann.

3.5 Modellierung der 110 dB(A) Lärmkontur eines einzelnen Starts

Die Ausbreitung von Schallwellen von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu gehören neben den Umwelteinflüssen auch Faktoren der Umgebung, wie:

- Bodenbeschaffenheit (Gras, Asphalt usw.)
- Natürliche, sowie vom Mensch geschaffene Hindernisse (Hügel, Bauten usw.)
- Meteorologische Einflüsse

Um diese Einflüsse so gut wie möglich auszuschalten und damit eine Vergleichbarkeit der Resultate zu ermöglichen, wurden die gemessenen Daten anhand von physikalischen Modellen korrigiert und auf die Schallquelle zurückgerechnet. Diese Berechnungen wurden von der Empa nach dem aktuellen Stand der Technik sowie international anerkannten Verfahren in der Fluglärmberechnung durchgeführt. Die so erstellten und normierten Modelle werden Quellenmodelle genannt.

Mit Hilfe dieser Quellenmodelle wurden die Lärmkonturen für einen Vergleich der 110 dB(A) Isophone beim Start eines F-35A resp. eines F/A-18 C/D berechnet. Zu beachten ist, dass diese Lärmkonturen aufgrund der Streuungen in den Messungen mit einer Unsicherheit behaftet sind, welche auf 1 – 2 dB(A) abgeschätzt wurde.

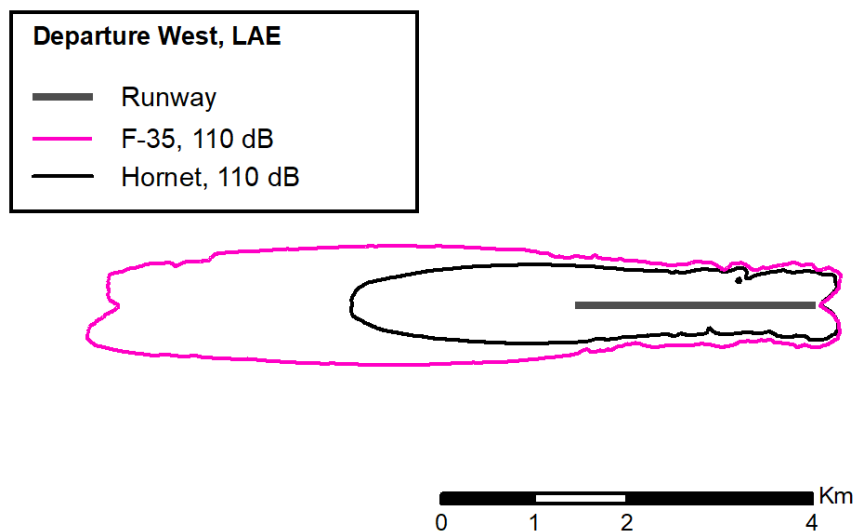


Abbildung 4: Vergleich Lärmkontur 110 db(A) Isophone zwischen F-35A und F/A-18 C/D (© Empa)

Die ausgezogene violette Linie zeigt die 110 dB(A) Lärmkontur beim Start eines F-35A, die ausgezogene schwarze jene eines F/A-18 C/D. Da der F-35A im Durchschnitt 3 db(A) lauter ist als der F/A-18 C/D, ergibt sich eine entsprechend deutlich grössere Lärmkonturfläche. Aus den gezeigten Lärmkonturen kann allerdings kein direkter Bezug zu den Lärmkonturen im Sinne der Lärmschutz-Verordnung hergestellt werden. Die Belastung gemäss Lärmschutz-Verordnung berücksichtigt nämlich auch die Anzahl Flugbewegungen, und nicht nur ein Einzelereignis. Beim F-35A werden wie im nächsten Abschnitt beschrieben deutlich weniger Flugbewegungen notwendig sein als mit den heutigen Kampflugzeugen der Luftwaffe. Zudem basiert die Lärmkontur auf einem Geradeausflug nach dem Start, die Flugzeuge folgen aber üblicherweise einem Flugweg, welcher bewohnte Gebiete so gut wie möglich meidet.

4 Abschätzung Gesamtlärmbelastung F-35A Betrieb in der Schweiz

In der Evaluation wurden die geplanten Flug- und Simulatorstunden für den F-35A erhoben. Diese basieren auf den Angaben der amerikanischen Luftwaffe, wie sie im Rahmen der Offertanfrage angefragt wurde. Diese Angaben wurden mit den Erfahrungen der Luftwaffe mit dem F/A-18C/D und den Erkenntnissen aus der Evaluation verglichen. Es zeigt sich, dass beim F-35A rund 20 Prozent weniger Flugstunden erforderlich sind. Die tiefere Flugstundenzahl stimmt mit den Erkenntnissen aus der Evaluation überein, insbesondere, dass sich die Trainingsinhalte dank der besonders einfachen Systembedienung und der Informationsüberlegenheit des F-35A verändern. Aufgrund der benötigten Flugstunden und der durchschnittlich längeren Trainingsmissionen können gegenüber dem heutigen Betrieb der F/A-18C/D und F-5 die Anzahl Starts und Landungen mit dem F-35A in etwa um 50% reduziert werden. Aus der Berechnung haben sich für die F-35A Flotte die Anzahl von ca. 8'160 Flugbewegungen pro Jahr ergeben.

Nach LSV ergibt eine Reduktion der Flugbewegungen um 50% eine Reduktion des Beurteilungspegels um 3 dB(A). Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass basierend auf den heute verfügbaren Daten, der Betrieb einer F-35A Flotte in der Schweiz keine oder nur eine geringfügige Zunahme der Gesamtfluglärmbelastung im Sinne der Lärmschutz-Verordnung verursacht. Obwohl das Einzelereignis eines F-35A Abfluges mit plus drei dB(A) relativ zum F/A-18 C/D als lauter empfunden wird, wird dies durch eine Reduktion der Flugbewegungen auf circa die Hälfte im Vergleich zu heute weitgehend kompensiert. Dementsprechend wird erwartet, dass die Lärmkonturen für den Betrieb des F-35 vergleichbar mit jenen der bisherigen Jetflugzeuge sein werden.

5 Weiteres Vorgehen

5.1 Geplante Bewegungszahlen

Die Luftwaffe wird das zukünftige Stationierungskonzept darauf auszurichten, die Lärmbelastung gemäss LSV (Lärmschutz Verordnung) auf den Militärflugplätzen Payerne, Meiringen und Emmen vergleichbar zu heute aufzuteilen. Aus betrieblichen Gründen werden die geplanten Flugbewegungen jährlichen Schwankungen unterliegen. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt in den ersten drei Zeilen die aktuellen Planungszahlen, die im Sachplan Militär festgelegt sind (Payerne) bzw. für die letzte Lärmberechnung zur Anpassung des Sachplans verwendet worden sind (Meiringen und Emmen), und die effektiven Flugbewegungen der letzten 5 Jahre. In der vierten Zeile werden die Planungszahlen für die Anpassung des Sachplans und die geplanten durchschnittlichen Bewegungszahlen angegeben. Die letzte Zeile zeigt die entsprechenden prozentualen Reduktionen, ausgehend von den höheren aktuellen Werten. Nicht angegeben sind die im Ausland geplanten 830 Bewegungen. Diese Zahl entspricht ebenfalls dem Durchschnitt der letzten 5 Jahre.

		Flz Typ	Flugbewegungen pro Jahr		
			Payerne	Meiringen	Emmen
1	Aktuelle Planungszahl	F/A-18	7700	4300	1200
	Ø effektive Bewegungen 2016-2020		6959	3398	1015
2	Aktuelle Planungszahl	F-5	3300	700	2900
	Ø effektive Bewegungen 2016-2020		1432	698	2601
3	Aktuelle Planungszahl	F/A-18 & F-5	11000	5000	4100
	Ø effektive Bewegungen 2016-2020		8391	4096	3616
4	Planungsgrundlage Lärmberechnung	F-35	5500	2500	1500
	Mittelwert effektive Bewegungen		4200	2040	1090
5	Reduktion Planungszahlen		-50 %	- 50%	-63%
	Reduktion effektive Bewegungen		-50%	-50%	-70%

Tabelle 5: Vergleich aktuelle Flugbewegungen mit geplanten F-35 Flugbewegungen

Die Reduktion der Planungszahlen und der Mittelwerte der effektiven Bewegungen wird im folgender Tabelle graphisch illustriert.

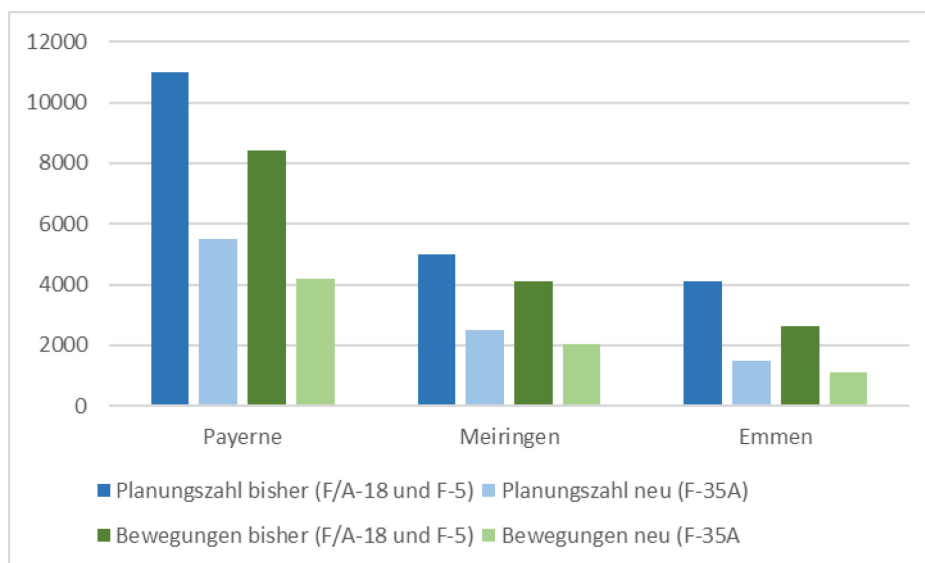


Abbildung 5: Bisherige und zukünftige Planungszahlen und Mittelwerte der effektiven Bewegungen

Bei allen Militärflugplätzen werden die Bewegungszahlen mit dem F-35A gegenüber dem Betrieb der heutigen F/A-18 C/D Flotte und der F-5 Flotte um die Hälfte oder mehr reduziert. Die Reduktion fällt in Emmen höher aus, weil hier ein grösserer Anteil von F-5 Bewegungen wegfallen, welche weniger Lärm erzeugen als der F/A-18 C/D.

5.2 Massnahmen zur Fluglärmreduzierung

5.2.1 Optimierung der Abflug- und Anflugprofile

In Zusammenarbeit mit dem Hersteller Lockheed-Martin und der Empa werden verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur weiteren Lärmreduktion geprüft, wie zum Beispiel Optimierungen der Fluggeometrien und Fluggeschwindigkeit. Um solche Varianten abklären zu können, sollen diese mit verfeinerten Modellrechnungen der Empa untersucht werden. Das Ziel ist dabei, die Lärmimmissionen in der gesamten Flugplatzumgebung soweit wie möglich zu reduzieren.

5.2.2 Technische Massnahmen

Anders als in der zivilen Luftfahrt sind Verbesserungen bei den Lärmemissionen bei Kampfflugzeugen auch mittelfristig nicht absehbar, weil deren Triebwerke aus militärischen Gründen auf hohe Leistung und Geschwindigkeiten nahe oder über der Schallgeschwindigkeit optimiert sind.

5.3 Berechnung der Belastung nach Lärmschutzverordnung

In Zusammenarbeit mit der Empa werden in einem nächsten Schritt die Berechnungen der Lärmbelastung auf den Militärflugplätzen Payerne, Meiringen und Emmen basierend auf den oben aufgeführten Bewegungszahlen für den F-35A vorgenommen. Diese Berechnungen sollten im Entwurf bis Anfangs 2023 vorliegen.

Das VBS wird diese Entwürfe anschliessend den Behörden und Interessengruppen in der Umgebung der betroffenen Militärflugplätze zu präsentieren, und mit diesen mögliche Vor- und Nachteile von Verfahrensvarianten abzuwägen. Anschliessend sollen die Berechnungen finalisiert werden.