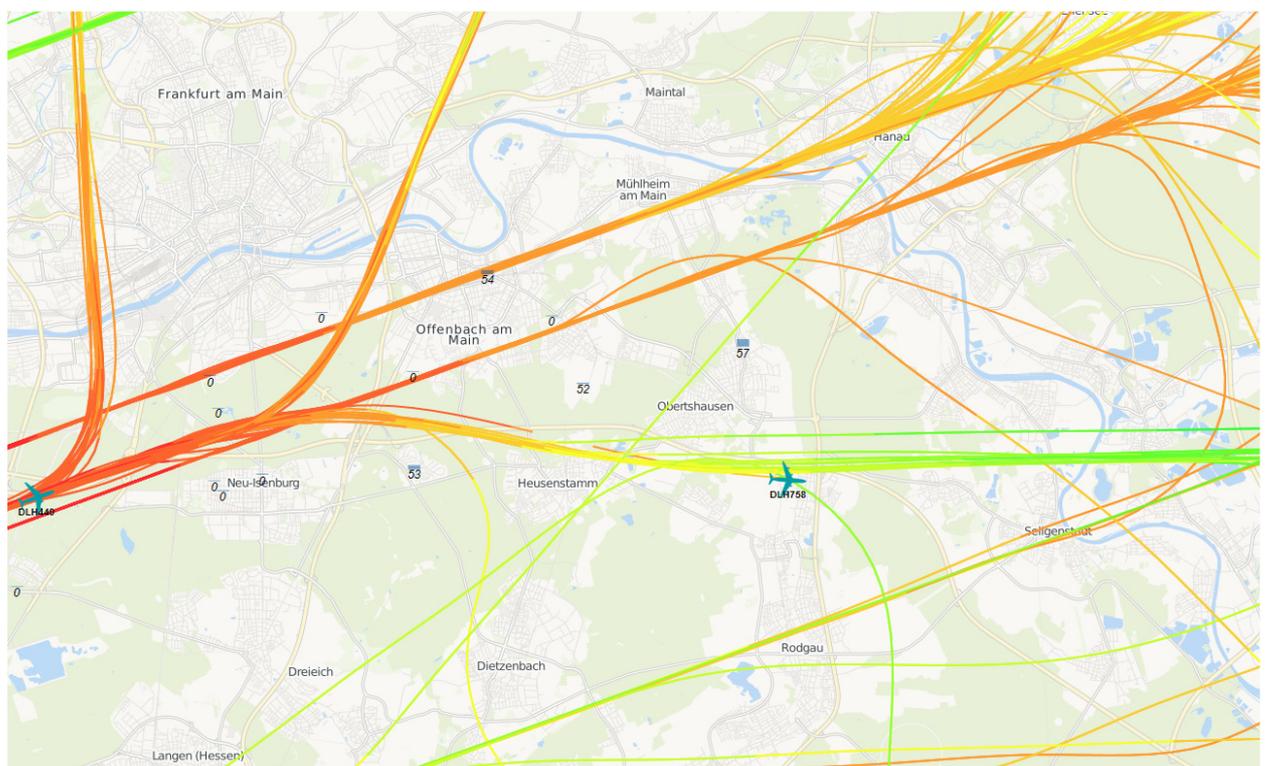


Auswertung der Überflüge sowie der Fluggeräuschmessdaten des MP-224 in Obertshausen

Berichtszeitraum: November 2015 – März 2016 | Stand 05.09.2016



Inhalt

1	Einführung	4
1.1	Messsystem deBAKOM	4
1.2	Erläuterung der verschiedenen Pegel (Abkürzungen)	4
1.3	Standort der Messstation	5
2	Überflughöhen	7
2.1	Auswertungsmethode und Erfassungsrage	7
2.2	Bahnnutzung bzgl. Landungen	9
2.3	Ausfallzeiten	9
2.4	Anflughöhen bei Betriebsrichtung 25	10
2.5	Abflughöhen bei Betriebsrichtung 07	11
3	Fluggeräuschereignisse	13
4	Fluggeräuschpegel	14
4.1	Maximalpegelverteilung	14
4.2	Leq- und NAT-Auswertung	16

Anlagen

Anlage 1: Geräuschklassifikation der Firma deBAKOM

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Standort der mobilen Messstation MP-224 (Quelle: Google Earth).....	5
Abb. 2: BR25 - Identifizierte Anflüge im März 2016, Vorderansicht (Quelle: Bing Maps).....	7
Abb. 3: BR25 - Identifizierte Anflüge im März 2016, Draufsicht (Quelle: Bing Maps).....	8
Abb. 4: BR07 - Identifizierte Abflüge im März 2016, Vorderansicht (Quelle: Bing Maps).....	8
Abb. 5: BR07 - Identifizierte Abflüge im März 2016, Draufsicht (Quelle: Bing Maps).....	9
Abb. 6: Boxplots - Anflughöhen bei Betriebsrichtung 25.....	10
Abb. 7: Boxplots - Abflughöhen bei Betriebsrichtung 07.....	11
Abb. 8: Anzahl Fluggeräuscheignisse (Tag und Nacht).....	13
Abb. 9: Fluggeräuschpegel ($L_{AS,max}$) Tag.....	14
Abb. 10: Fluggeräuschpegel ($L_{AS,max}$) Nacht.....	15
Abb. 11: L_{DIN} Tag und Nacht.....	16
Abb. 12: NAT68 und NAT72.....	17
Abb. 13: L_{eq} Tag und Nacht.....	17
Abb. 14: L_{95} Tag und Nacht.....	18

1 Einführung

1.1 Messsystem deBAKOM

Wesentliche Komponenten des Messsystems sind eine wetterfeste und beheizte Mikrofoneinheit (Klasse 1 Mikrofon) mit Windschirm, eine Wetterstation sowie ein Messrechner. Bei Windgeschwindigkeiten im Mittel > 5 m/s werden alle Geräusche ausgeblendet, um die Erfassung von Störgeräuschen zu verhindern. Die Daten werden im Messrechner erfasst und stündlich an das Umwelt- und Nachbarschaftshaus (UNH) übertragen.

Für die Geräuschauswertung wird eine spezielle Software eingesetzt, die eine 2-stufige Erkennung durchführt: 1. Stufe ist die Erkennung auf Grund physikalischer Parameter nach DIN 45643 (Messung und Beurteilung von Fluggeräuschen) d.h. der Schallpegel eines Fluggeräuschereignisses muss z.B. einen Messschwellenpegel um mindestens einen bestimmten Betrag übersteigen; 2. Stufe ist eine detaillierte Erkennung anhand einer Korrelationsanalyse mit Musterspektren (s. Anlage). Diese werden mit Hilfe von Audioaufzeichnungen aus für den Messort typischen Fluggeräuschereignissen erstellt. Als 3. Stufe werden die erkannten Fluggeräuschereignisse mit den FANOMOS-Daten (Radarspuren) der Deutschen Flugsicherung (DFS) korreliert. Falls diese Prüfkriterien alle zueinander passen, wird das Ereignis als Fluggeräuschereignis deklariert und fließt in die Fluggeräuschauswertung ein.

1.2 Erläuterung der verschiedenen Pegel (Abkürzungen)

$L_{DIN,T}$ = Fluggeräusch L_{eq} (nach DIN 45643 vom Februar 2011) (Tag 06:00 - 22:00 Uhr).

$L_{DIN,N}$ = Fluggeräusch L_{eq} (nach DIN 45643 vom Februar 2011) (Nacht 22:00 - 06:00 Uhr).

$L_{eq,T}$ = L_{eq} aller Geräusche (Tag 06:00 - 22:00 Uhr).

$L_{eq,N}$ = L_{eq} aller Geräusche (Nacht 22:00 - 06:00 Uhr).

$L_{95,T}$ = L_{eq} aller Geräusche der zu 95% der Beurteilungszeit überschritten ist (Tag 06:00 - 22:00 Uhr).

$L_{95,N}$ = L_{eq} aller Geräusche der zu 95% der Beurteilungszeit überschritten ist (Nacht 22:00 - 06:00 Uhr).

NAT68 = Anzahl der Fluggeräuschereignisse die 68 dB(A) überschreiten (Nacht 22:00 - 06:00 Uhr).

NAT72 = Anzahl der Fluggeräuschereignisse die 72 dB(A) überschreiten (Nacht 22:00 - 06:00 Uhr).

1.3 Standort der Messstation

Die mobile Messstation auf dem Friedhofsgelände in der Schwarzbachstraße in Obertshausen wurde am 10. November 2015 in Betrieb genommen. Die Koordinaten des Standortes (MP-224) lauten: 32 U 490738; 5548417 [UTM]. Die Messhöhe des Mikrofons beträgt 10 m über Grund.

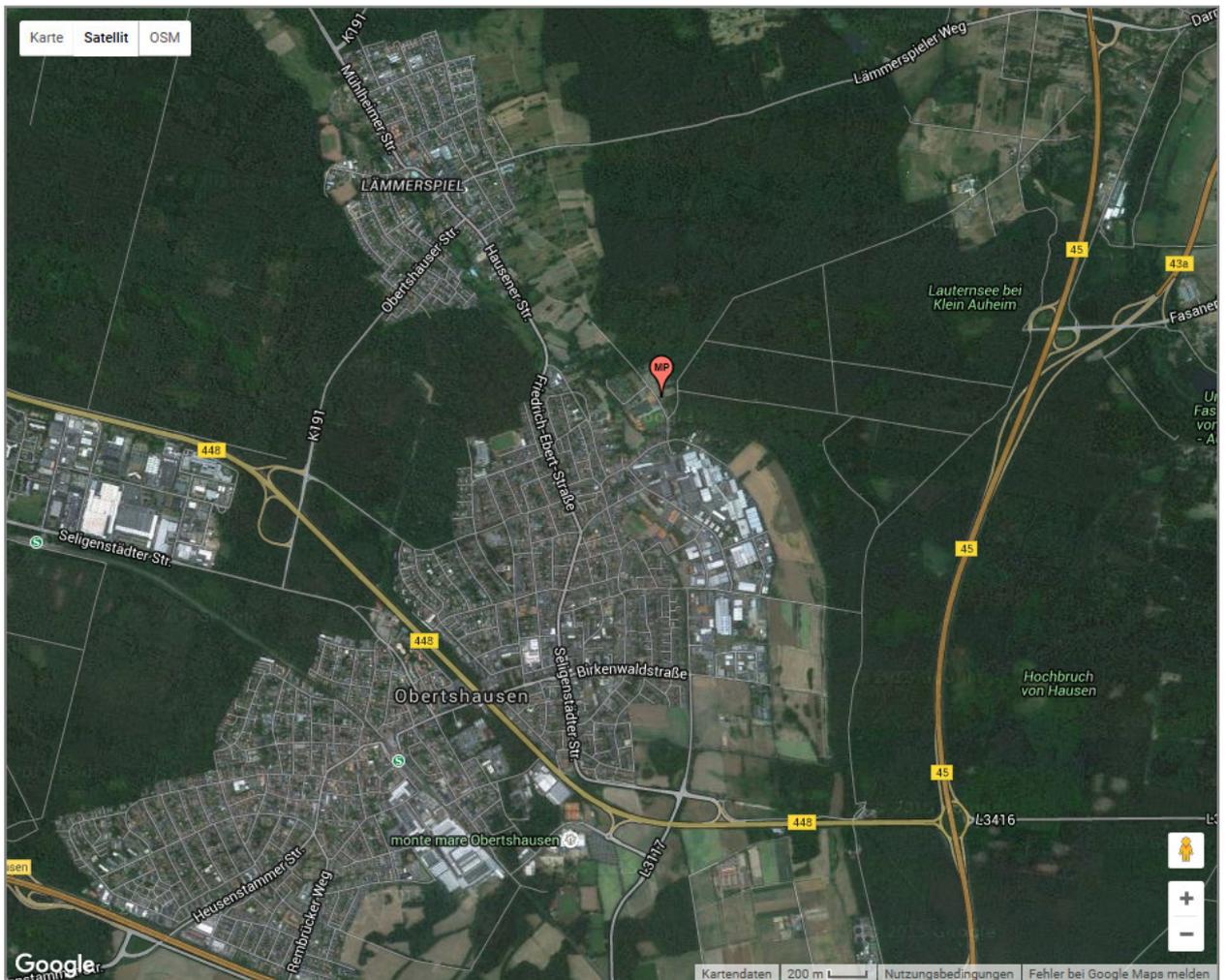


Abb. 1: Standort der mobilen Messstation MP-224 (Quelle: Google Earth)

Diese Auswertung umfasst Daten vom 10. November 2015 bis zum 21. März 2016.

Auswertung der Überflüge über Obertshausen



2 Überflughöhen

2.1 Auswertungsmethode und Erfassungsrate

Die Auswertebereiche für die Überflüge über dem MP-224 haben folgende Ausdehnungsmaße:

- **Anflüge (BR25):** Links 1 m und rechts 2778 m (1,5 NM) von der Station entfernt; die Auswertungshöhe beträgt maximal 4500 m über NN (MSL), die Ausrichtung des Tors beträgt 250°.
- **Abflüge (BR07):** Links 1 m und rechts 3704 m (2 NM) von der Station entfernt; die Auswertungshöhe beträgt maximal 4500 m über NN (MSL), die Ausrichtung des Tors beträgt 90°.

	Anzahl der Flüge durch die o.g. Tore	Anzahl der identifizierten Fluggeräuschereignisse	Prozentualer Anteil der identifizierten Fluggeräuschereignisse
Anflüge (BR25)	33910	9180	27,07%
Abflüge (BR07)	2418	410	16,96%

Zur Übersicht werden die Abbildungen der „Durchflugtore“ des Monats März 2016 für BR25 und BR07 dargestellt. Es sind nur Flüge bis 13500 ft enthalten und die die o.g. Prüfkriterien 1 bis 3 erfüllt haben. Flüge die zu diesem Zeitpunkt höher als 13500 ft über dem Standort waren, sind in den FANOMOS-Daten, die das UNH erhält, nicht enthalten.

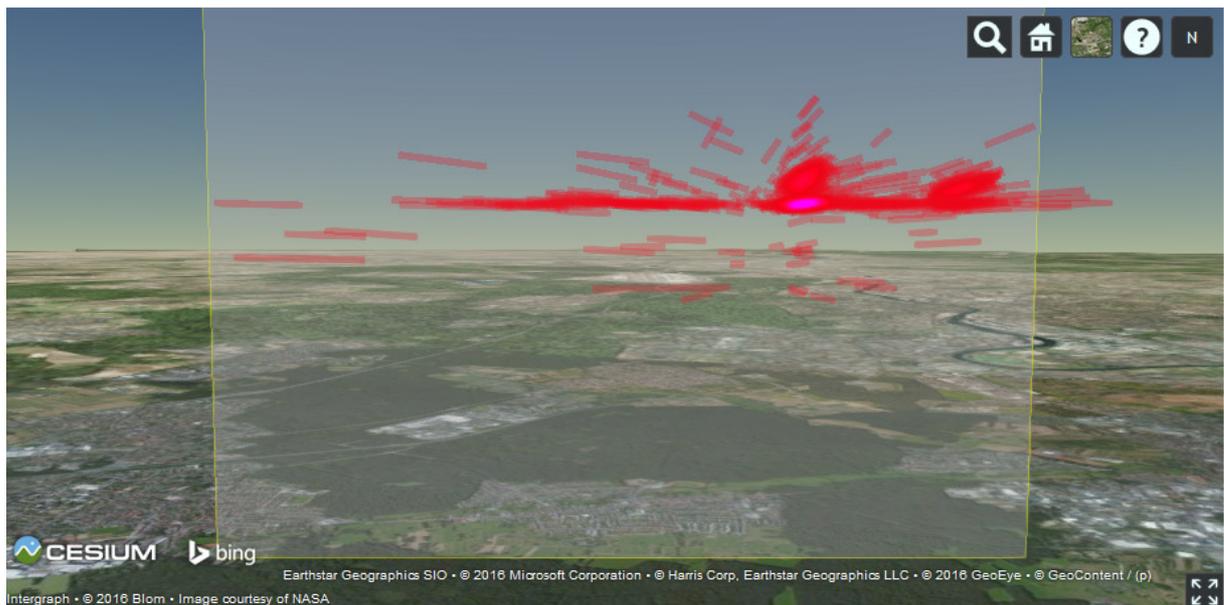


Abb. 2: BR25 - Identifizierte Anflüge im März 2016, Vorderansicht (Quelle: Bing Maps)



Abb. 3: BR25 - Identifizierte Anflüge im März 2016, Draufsicht (Quelle: Bing Maps)

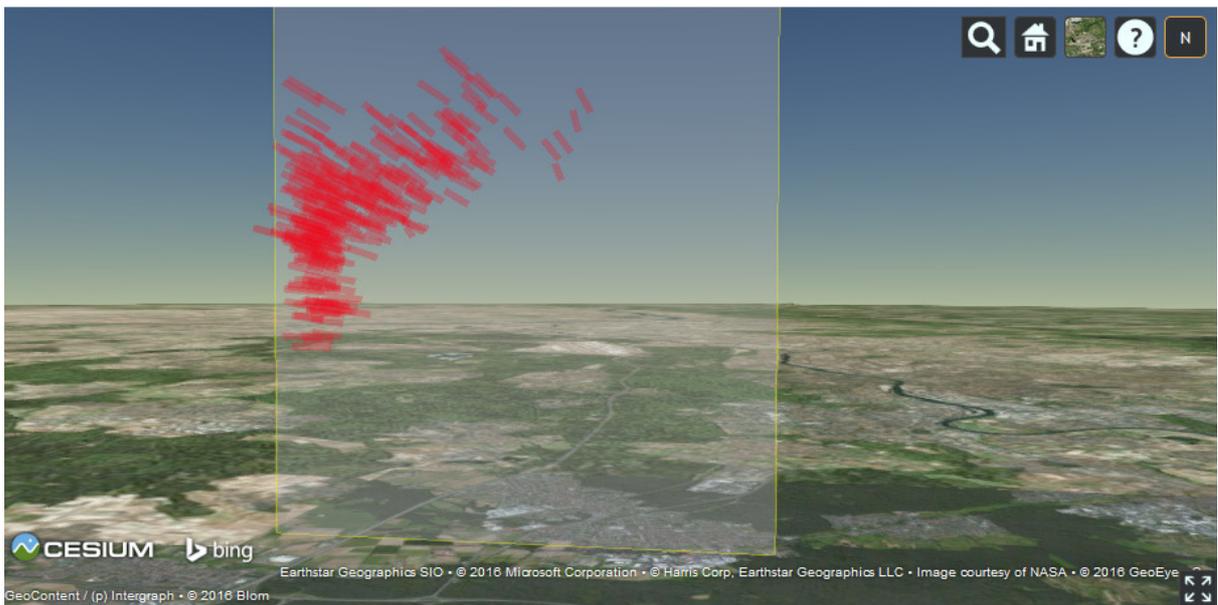


Abb. 4: BR07 - Identifizierte Abflüge im März 2016, Vorderansicht (Quelle: Bing Maps)

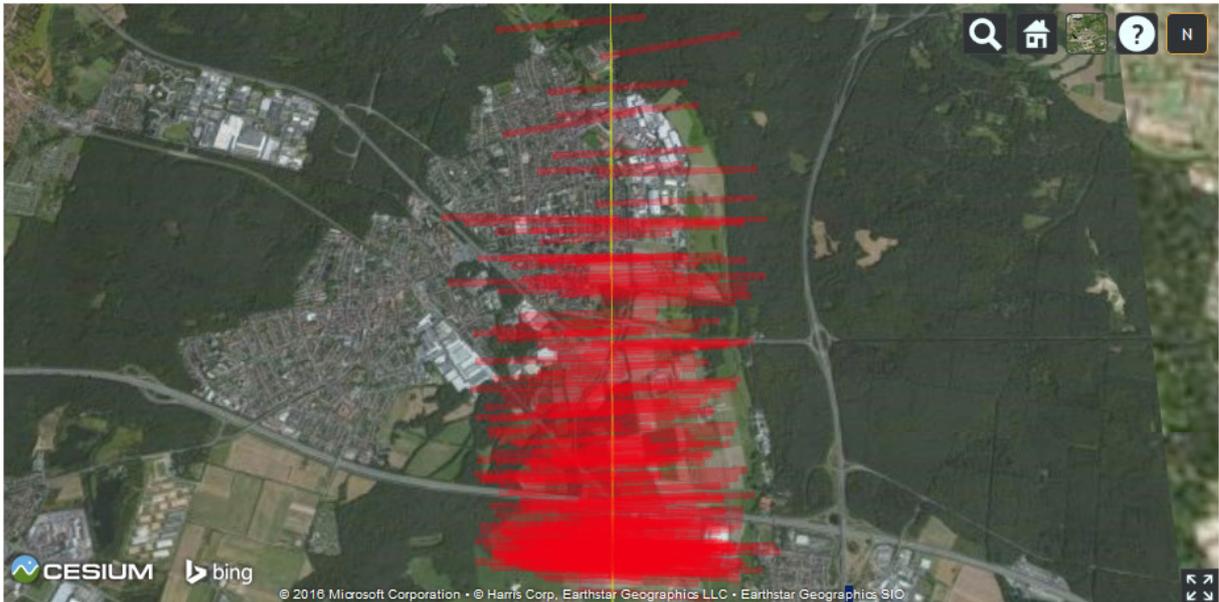


Abb. 5: BR07 - Identifizierte Abflüge im März 2016, Draufsicht (Quelle: Bing Maps)

2.2 Bahnnutzung bzgl. Landungen

Bahnnutzung* in [%]	Betriebsrichtung 25			Betriebsrichtung 07			Monatlicher Durchschnitt	
	RWY 25R	RWY 25C	RWY 25L	RWY 07L	RWY 07C	RWY 07R	BR25	BR07
November	39,82%	13,55%	41,58%	2,67%	0,02%	2,36%	94,95%	5,05%
Dezember	40,61%	14,56%	39,75%	2,31%	0,02%	2,75%	94,93%	5,07%
Januar	34,10%	11,81%	36,07%	8,71%	0,04%	9,27%	81,98%	18,02%
Februar	31,50%	12,23%	31,64%	11,66%	0,08%	12,90%	75,36%	24,64%
März	26,36%	10,35%	26,32%	18,28%	0,08%	18,61%	63,03%	36,97%

* Die Prozentsätze der Bahnnutzung bzgl. Landungen beziehen sich auf den ganzen Monat.

2.3 Ausfallzeiten

Beginn	Ende	Ausfallzeit in Std.	Ausfallgrund
27.01.2016 08:00	30.01.2016 16:59	81 h	Stromausfall

2.4 Anflughöhen bei Betriebsrichtung 25

Bei den Auswertungen der An- und Abflughöhen wurden nur Flüge betrachtet, die durch die o.a. „Durchflugtore“ geflogen sind, die o.g. Prüfkriterien 1 bis 3 erfüllt haben und am Frankfurter Flughafen (EDDF) gestartet oder gelandet sind.

Höhe (MSL) in [ft] bei BR25	November	Dezember	Januar	Februar	März	
Mittelwert	4049	4045	4054	4044	4058	
Standardfehler des Mittelwerts	3	3	4	3	5	
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	4043	4039	4047	4038	4048
	Obergrenze	4055	4051	4061	4050	4068
5% getrimmtes Mittel	4041	4042	4049	4036	4052	
Median	4010	4012	4012	4010	4012	
Varianz	18537	21699	24704	20369	26562	
Standardabweichung	136	147	157	143	163	
Minimum	2996	2952	3040	2992	2970	
Maximum	5297	5595	5440	5598	5040	
Spannweite	2301	2643	2400	2606	2070	
Interquartilbereich	59	100	57	42	76	
Schiefe	0	0	0	1	0	
Kurtosis	18	23	14	22	13	
Anzahl Ereignisse:	1841	2359	1949	2006	1025	

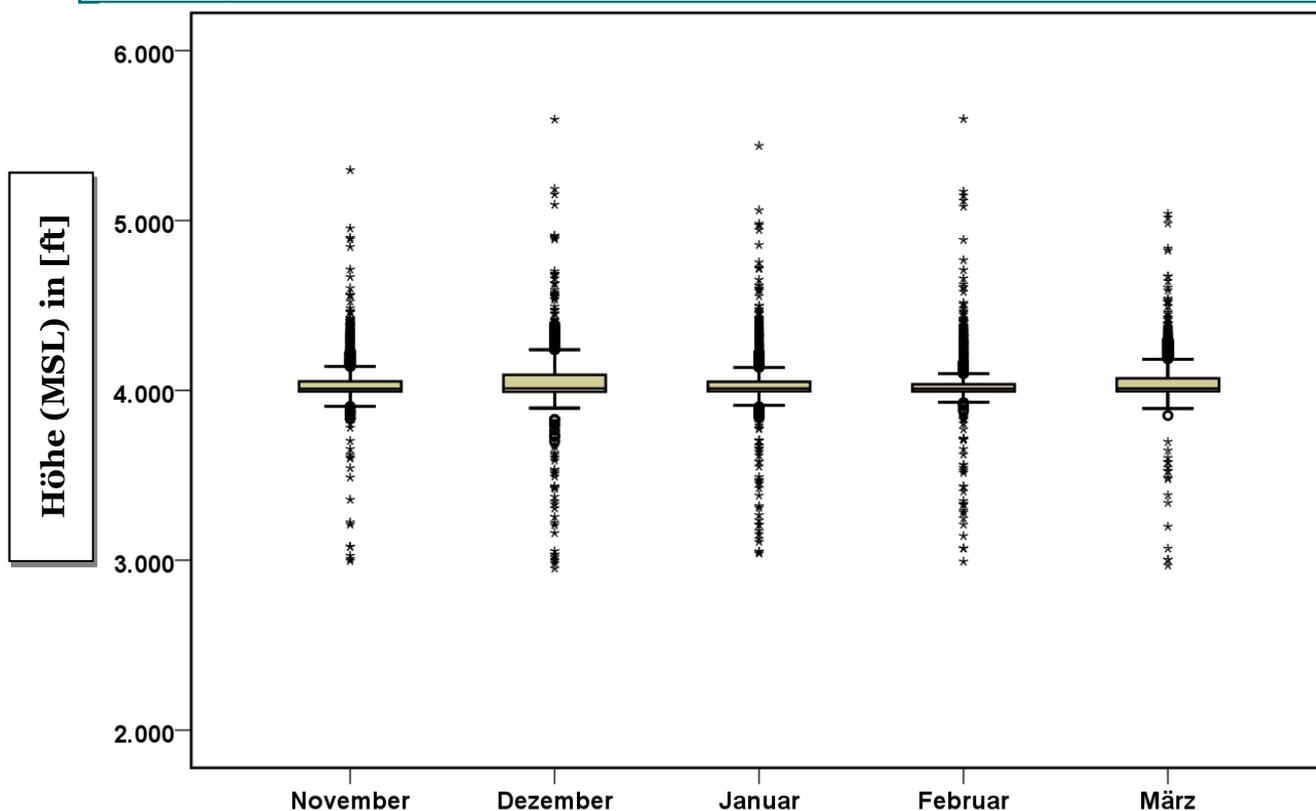


Abb. 6: Boxplots - Anflughöhen bei Betriebsrichtung 25

2.5 Abflughöhen bei Betriebsrichtung 07

Höhe (MSL) in [ft] bei BR07	November	Dezember	Januar	Februar	März	
Mittelwert	8612	7684	7699	8082	8232	
Standardfehler des Mittelwerts	606	212	513	121	126	
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	7180	7249	6621	7843	7983
	Obergrenze	10045	8119	8776	8320	8480
5% getrimmtes Mittel	8700	7699	7700	8106	8282	
Median	9114	7635	7909	8130	8557	
Varianz	2937051	1307968	4997390	2780082	2591259	
Standardabweichung	1714	1144	2235	1667	1610	
Minimum	5331	5093	4044	3365	4125	
Maximum	10318	9808	11335	12130	11979	
Spannweite	4987	4715	7291	8765	7854	
Interquartilbereich	2683	1368	3687	1778	1918	
Schiefe	-1	0	0	0	-1	
Kurtosis	1	0	-1	0	0	
Anzahl Ereignisse:	8	29	19	190	164	

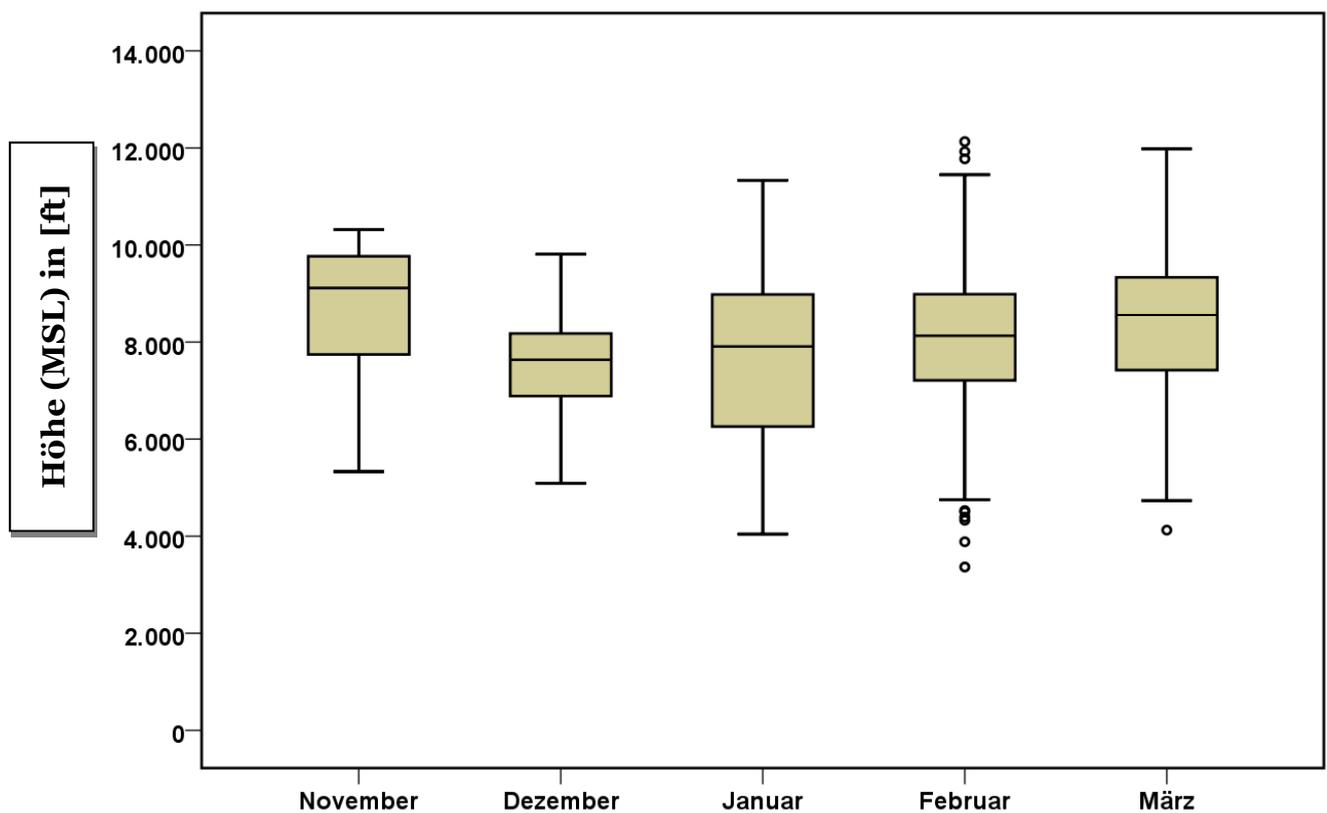


Abb. 7: Boxplots - Abflughöhen bei Betriebsrichtung 07

Auswertung der Fluggeräuschmessstation (MP-224)



3 Fluggeräuschereignisse

„Ereignisse“ sind die von der Software der Station als Fluggeräuschereignis erkannten Pegel. Die Erkennung der Ereignisse basiert in Schritt 1 auf den Kriterien der DIN 45643, in Schritt 2 auf der Geräuschklassifikation der Firma deBAKOM (s. Anhang) und in Schritt 3 auf eine Korrelation mit den FANOMOS-Daten der DFS.

Die Tabelle zeigt die registrierten Fluggeräuschereignisse (Fluglärmereignisse) an der Station sowie die Anzahl der identifizierten Überflüge über die Station. Überflüge, die von der Station nicht als Ereignisse erkannt werden, sind in dieser Auswertung nicht enthalten.

	Anzahl der Ereignisse		Anzahl gesamt
	Tag 06:00 - 22:00 Uhr	Nacht 22:00 - 06:00 Uhr	BR25 & BR07
November	1729	120	1849
Dezember	2251	137	2388
Januar	1860	108	1968
Februar	2070	126	2196
März	1111	78	1189

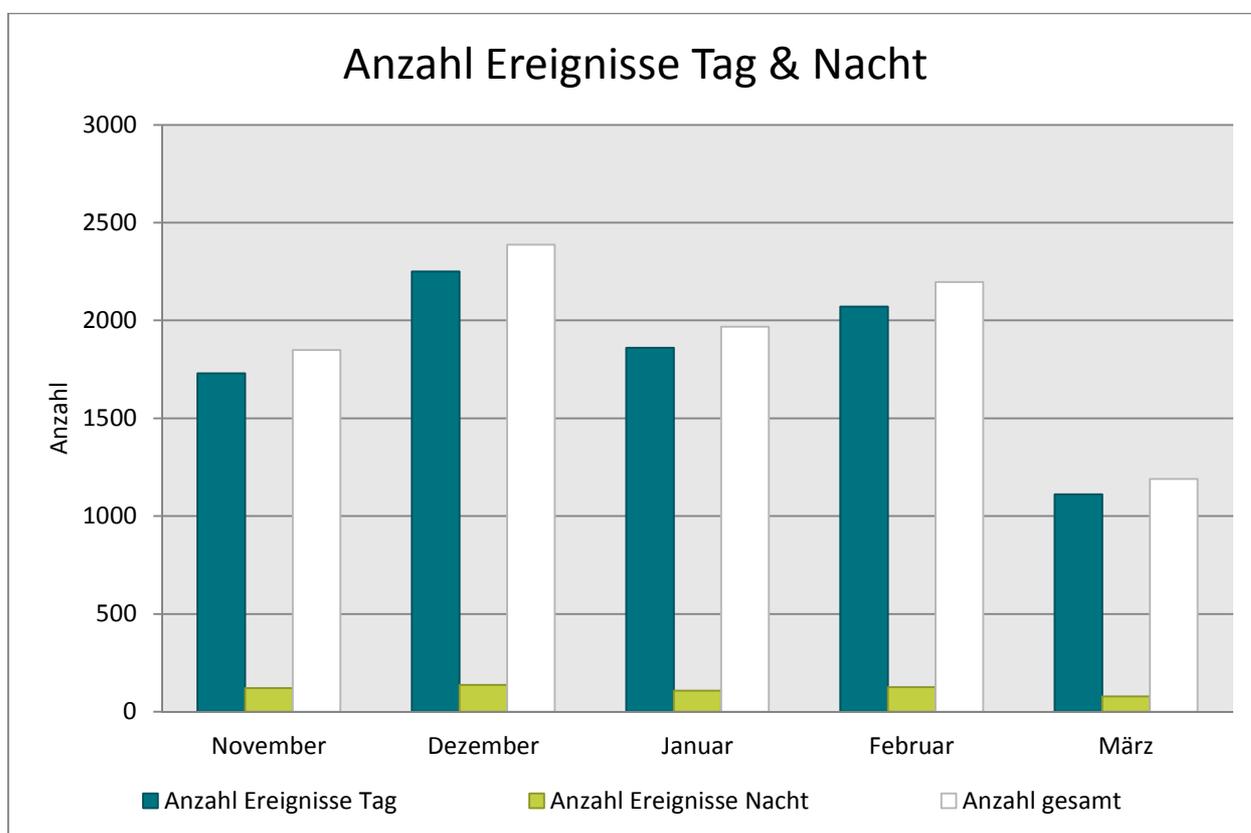


Abb. 8: Anzahl Fluggeräuschereignisse (Tag und Nacht)

4 Fluggeräuschpegel

4.1 Maximalpegelverteilung

Maximalpegelverteilung am Tag (06:00 bis 22:00 Uhr)

	55 - 60 dB(A)	60 - 65 dB(A)	65 - 70 dB(A)	70 - 75 dB(A)	75 - 80 dB(A)
November	916	709	102	2	0
Dezember	1332	829	86	4	0
Januar	1062	696	98	3	1
Februar	1104	862	100	3	1
März	584	480	47	0	0

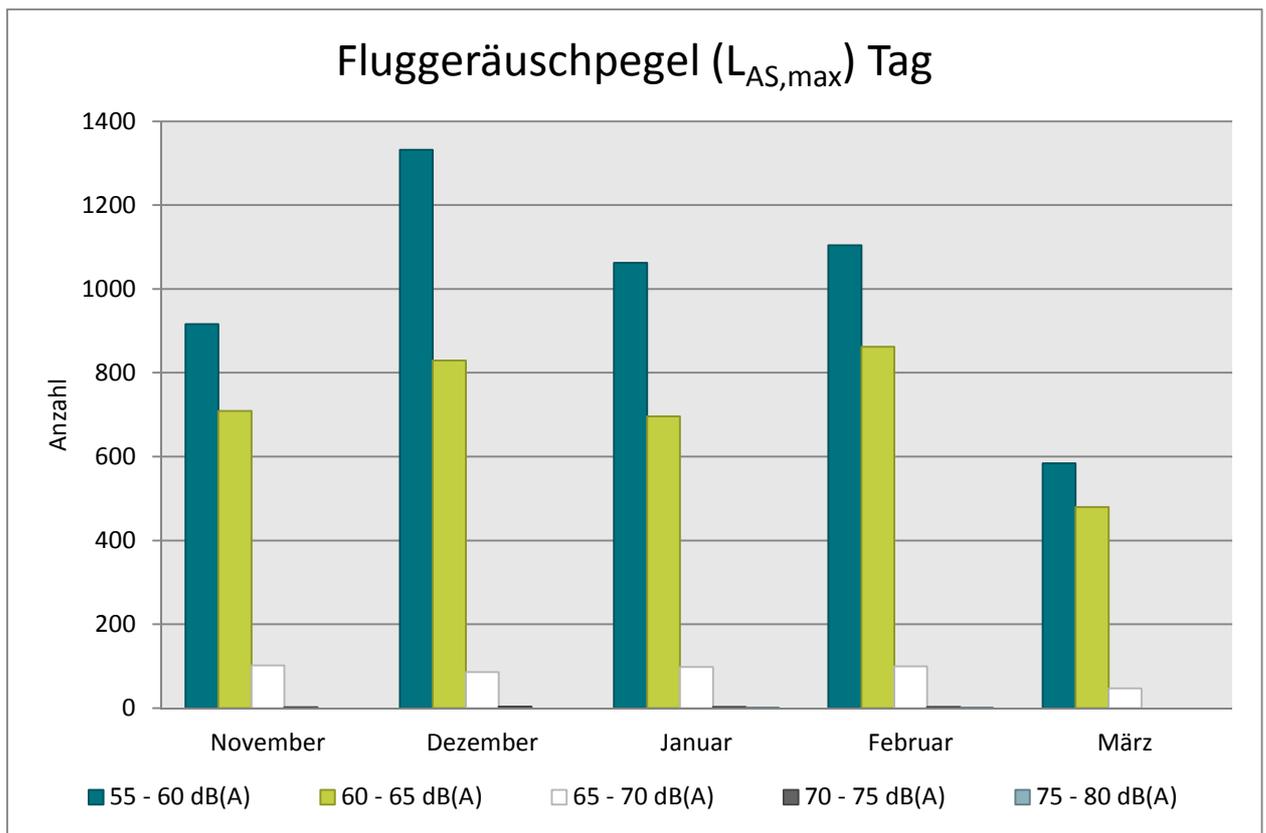


Abb. 9: Fluggeräuschpegel ($L_{AS,max}$) Tag

Maximalpegelverteilung in der Nacht (22:00 bis 06:00 Uhr)

	55 - 60 dB(A)	60 - 65 dB(A)	65 - 70 dB(A)	70 - 75 dB(A)
November	64	51	5	0
Dezember	90	45	2	0
Januar	63	43	2	0
Februar	79	43	3	1
März	46	30	2	0

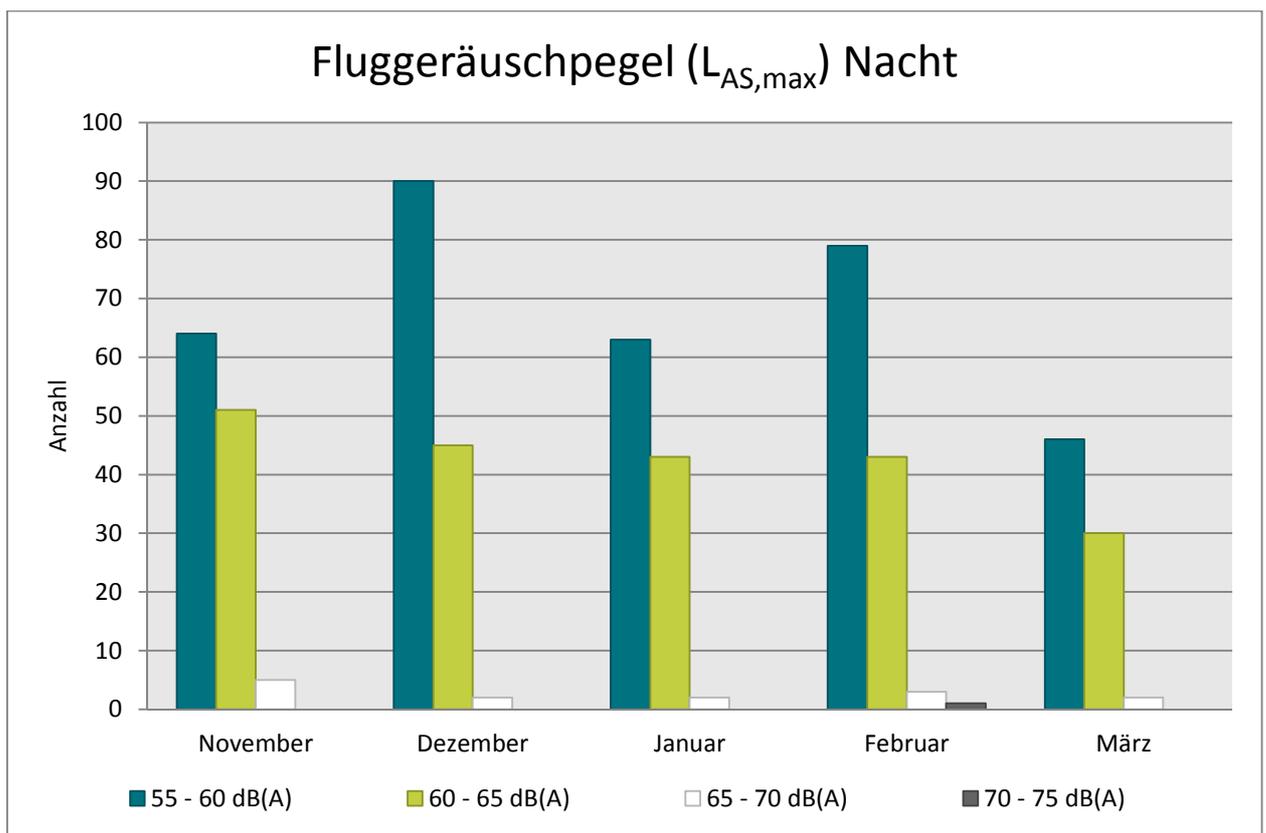


Abb. 10: Fluggeräuschpegel ($L_{AS,max}$) Nacht

4.2 Leq- und NAT-Auswertung

in dB(A)	$L_{DIN,T}$	$L_{DIN,N}$	NAT68*	NAT72*	$L_{eq,T}$	$L_{eq,N}$	$L_{95,T}$	$L_{95,N}$
November	44,3	35,9	0	0	53,4	46,2	44,4	40,1
Dezember	43,3	33,8	1	0	52,5	44,6	44,2	40,0
Januar	43,3	33,1	0	0	51,5	54,0	43,8	39,1
Februar	43,3	33,8	2	0	52,5	44,2	44,3	38,8
März	41,9	33,8	1	0	52,9	43,4	43,1	37,7

*Hierbei handelt es sich um einen gemessenen Wert, der nicht nach Fluglärmschutzgesetz zur Definition von Fluglärmschutzzonen heranzuziehen ist.

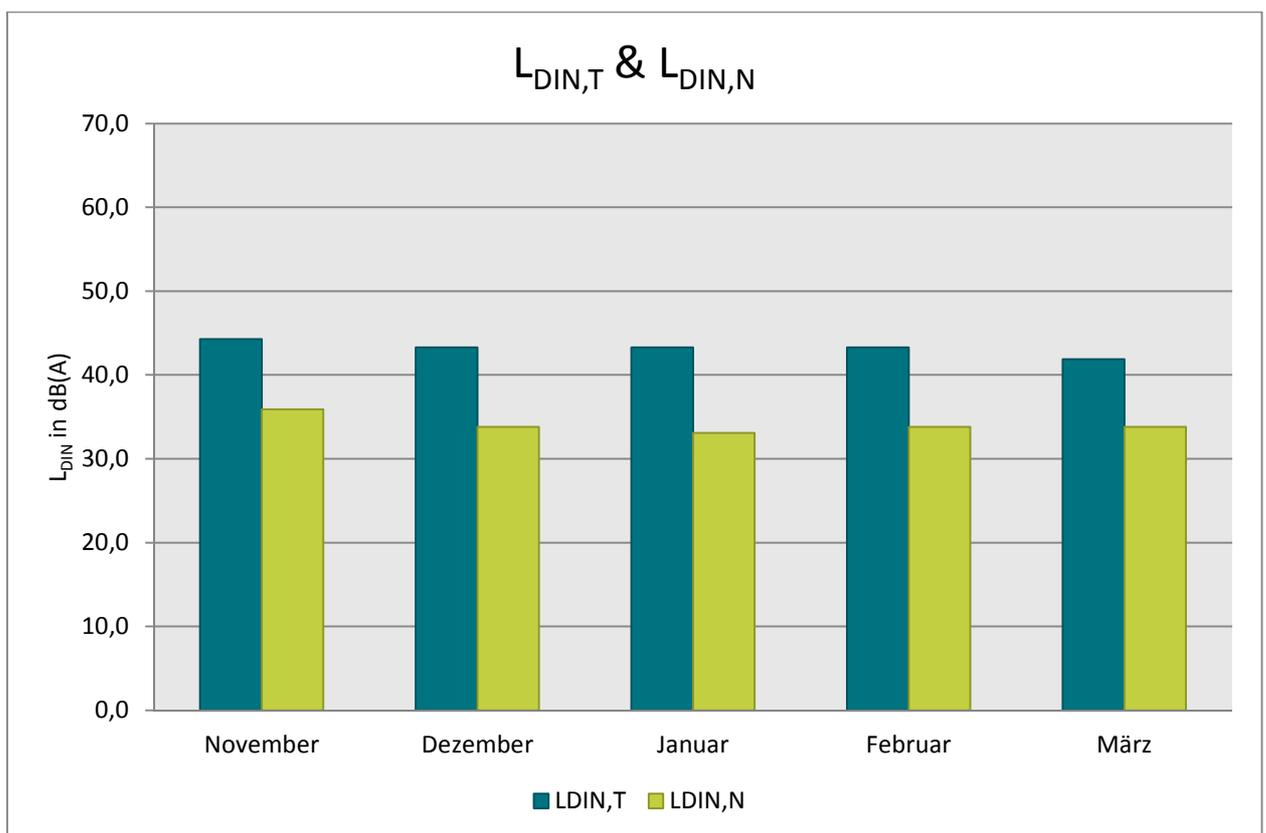


Abb. 11: L_{DIN} Tag und Nacht

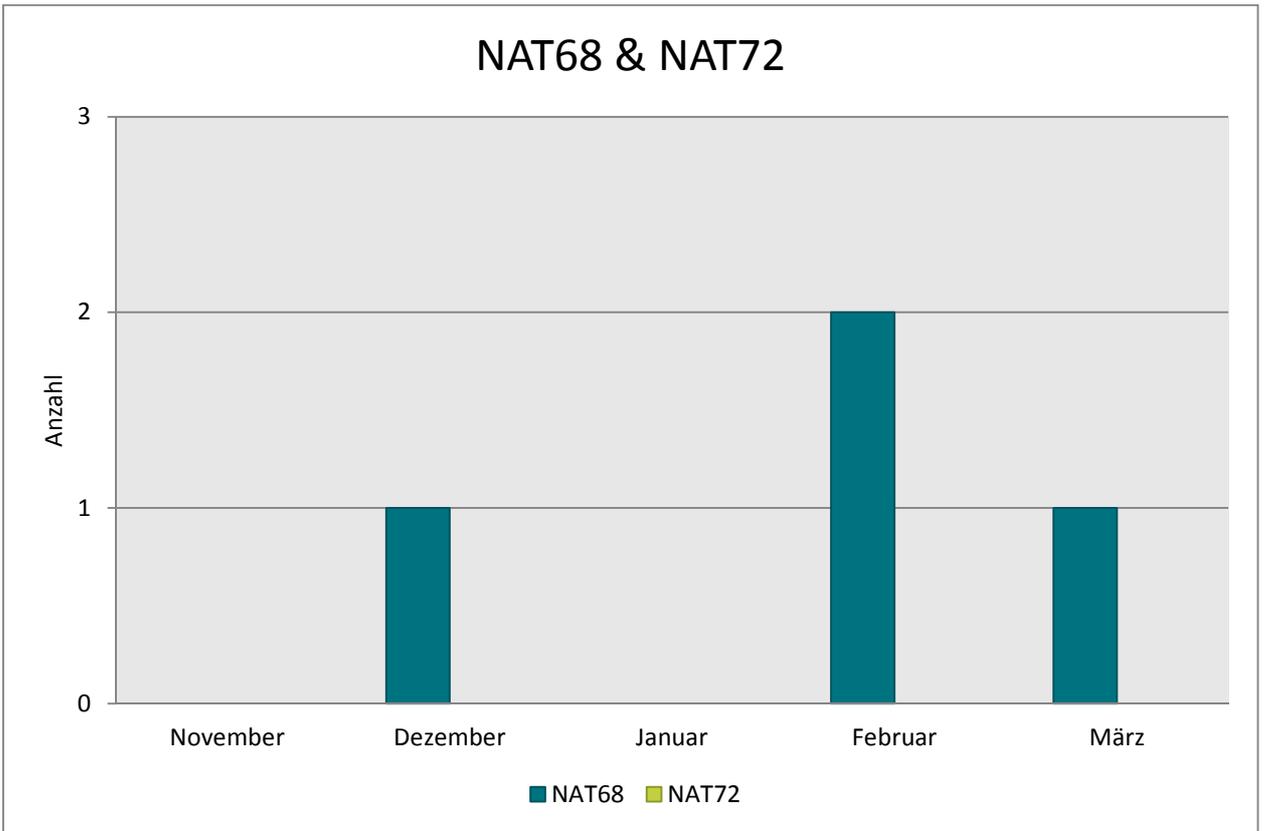


Abb. 12: NAT68 und NAT72

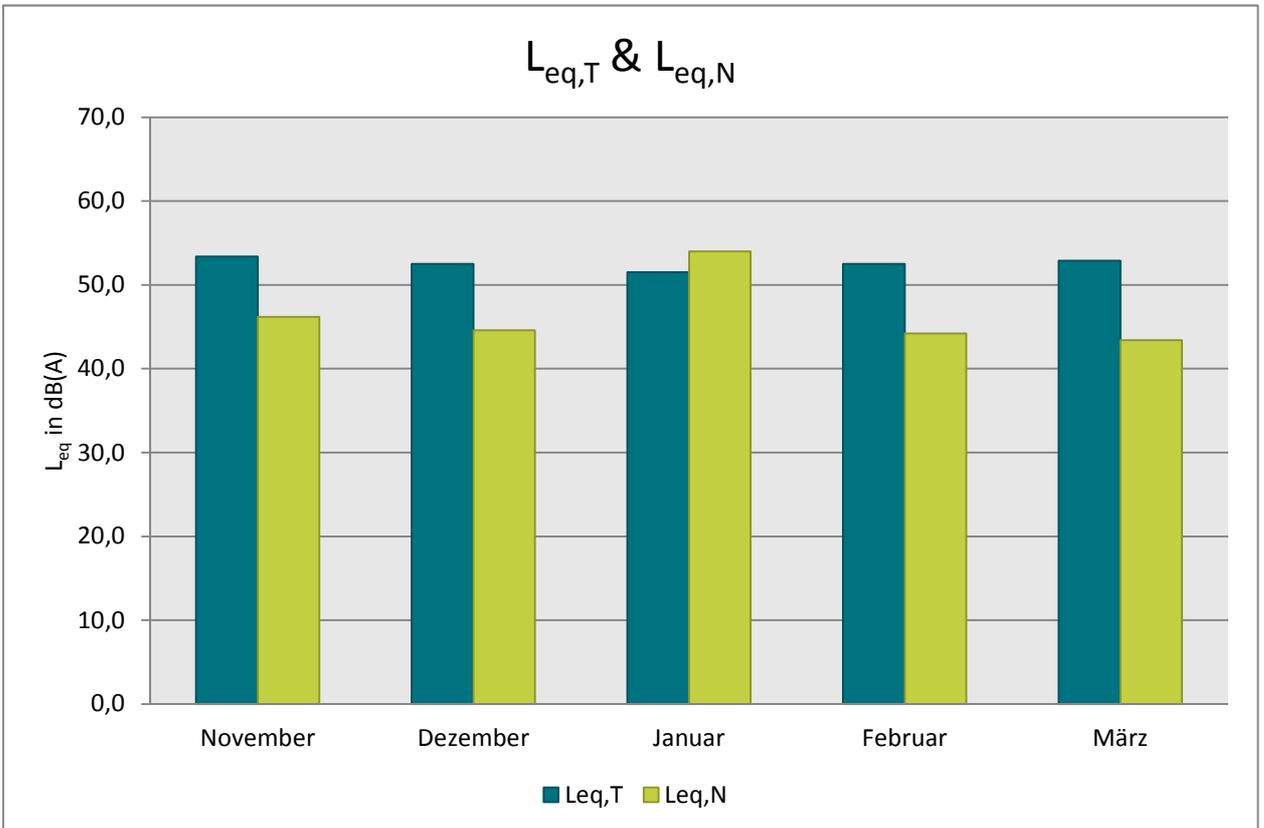


Abb. 13: L_{eq} Tag und Nacht

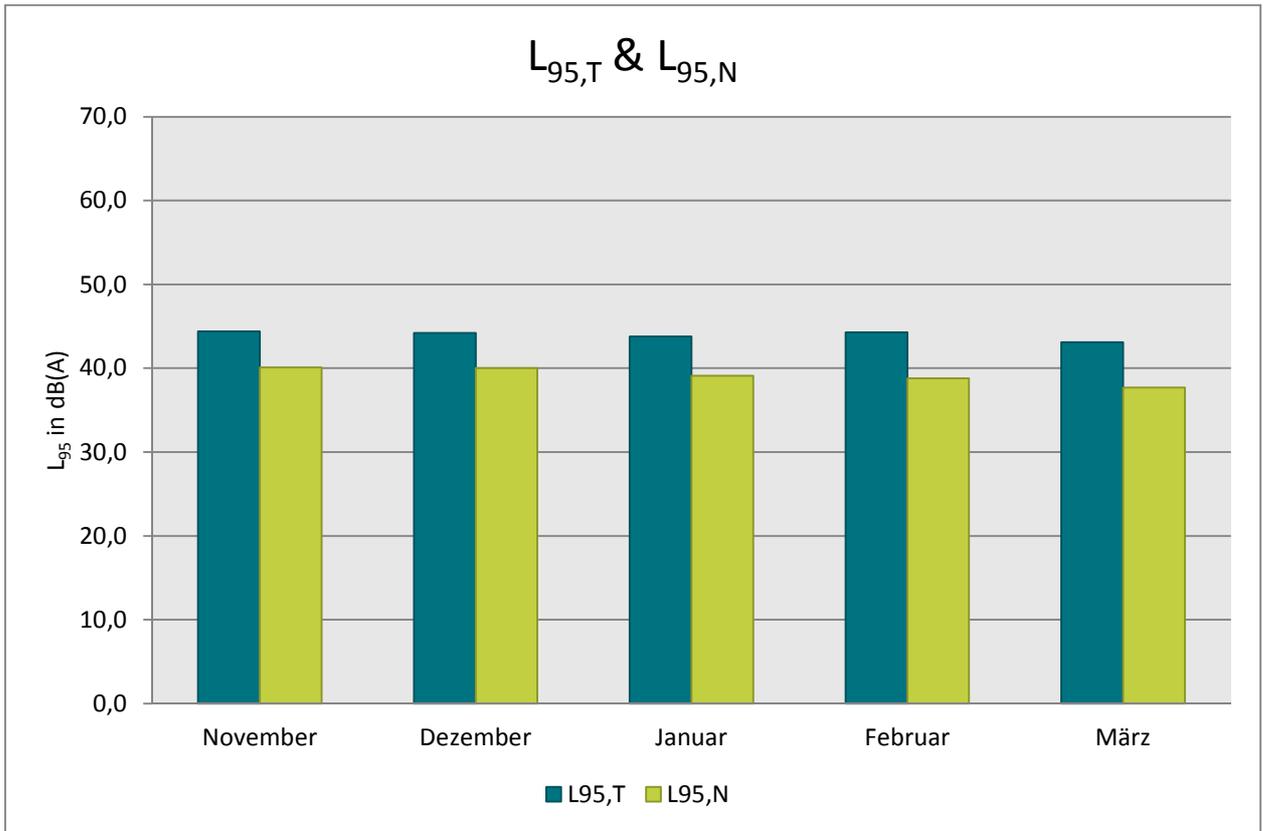


Abb. 14: L_{95} Tag und Nacht

Herausgeber Forum Flughafen & Region | Gemeinnützige Umwelthaus GmbH
Rüsselsheimer Str. 100 | 65451 Kelsterbach | www.umwelthaus.org

Fluglärmmessung mit automatischer Geräuschklassifikation

D.Hemmer¹, D. Knauß², C. Pörschmann¹

¹ Fachhochschule Köln, 50679 Köln - e-mail: dominic.hemmer@fh-koeln.de

² deBAKOM GmbH, 51519 Odenthal

Einleitung

Bei der Messung von Flugzeuggeräuschen ist mit einer Beeinflussung des Fluglärmpegels durch verschiedene Fremdgeräusche zu rechnen. Zur Trennung dieser Ereignisse gibt es unter anderem die Möglichkeit der Klassifizierung durch Mustererkennung oder Korrelationsanalyse, die eine getrennte Betrachtung der auftretenden Schallereignisse ermöglicht. In der hier vorgestellten Untersuchung geht es in erster Linie um die Auswirkung verschiedener Erkennungsmethoden auf den Mittelungspegel und weniger um die Fehlerraten bei der Erkennung der Anzahl an Flugzeugen.

Vergleich zweier Methoden

Zur Geräuschidentifikation von Flugzeugen wurde an der Fachhochschule Köln ein Algorithmus entwickelt, mit dem es möglich ist, Flugzeuggeräusche zu identifizieren (Methode 1) [1]. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes kann mit der Firma deBAKOM aus Odenthal der neu entwickelte Algorithmus getestet und mit dem vorhandenen Verfahren (Methode 2) der deBAKOM verglichen werden.

Methode 1

Die verwendete Musteranalyse arbeitet mit einem Vergleich mehrerer spektraler und temporaler akustischer Eigenschaften die als Merkmale zur Identifikation von Audiosignalen dienen. Untersuchungen mit verschiedenen akustischen Merkmalen zeigten [1], dass sich einige besonders gut zur Identifikation von Flugzeuggeräuschen eignen. Folgende Merkmale wurden zur Identifikation verwendet:

- spektraler Schwerpunkt
- spektrale Wölbung und Schiefe
- Linear Predictive Coding: Schwerpunkt und Schwankung
- MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients)

Die Verwendung von MFCC stellt sich als besonders günstig heraus. Werden bestimmte Koeffizienten der MFCC verwendet, so erhält man einen Merkmalsvektor, welcher eine gute Unterscheidung von Flugzeuggeräusche und anderen Geräuschklassen ermöglicht.

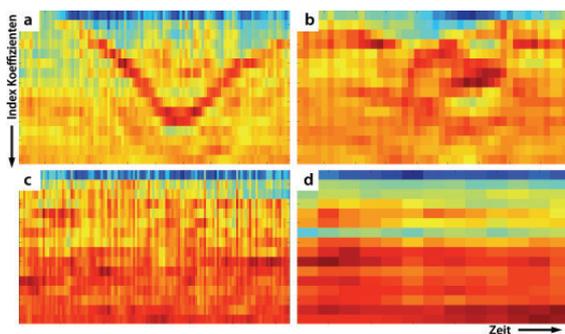


Abbildung 1: MFCC aus verschiedenen Klassen (a: Flugzeug, b: Auto, c: Zug, d: Hintergrund) – Dargestellt sind jeweils 18 Koeffizienten, aufgetragen über der Zeit.

Methode 2

Die derzeit in der Praxis eingesetzte Methode zur automatischen Erkennung von Fluglärm ist ein 3-stufiges Verfahren, das auf der spektralen Struktur und dem typischen zeitlichen Verlauf von Flugzeuggeräuschen, wie er z.B. in der DIN 45643 beschrieben ist, beruht. Die ersten beiden Stufen der Erkennung nutzen die spektrale Struktur des Fluglärms zur Identifikation. In der ersten Stufe erfolgt die Zuordnung anhand des Gesamtspektrums, während in der zweiten Stufe eine detailliertere Erkennung anhand einer Korrelationsanalyse mit Musterspektren erfolgt. Diese Musterspektren werden anhand von Audioaufzeichnungen aus für den Messort typischen Fluglärmereignissen erstellt.

Da die spektrale Struktur von Fluglärmgeräuschen stark variiert, d.h. auch vom jeweiligen Messort abhängig ist, ist eine individuelle Anpassung der Muster an den Messort erforderlich. Dies kann entweder vorab erfolgen, falls bereits Audioaufzeichnungen vorliegen, oder die Zuordnung wird nach der Messung durchgeführt. In beiden Fällen erfolgt die Erkennung mit Stufe 1, die bereits eine gute Erkennung zulässt. Die Bestimmung des Fluglärmpegels erfolgt in der Regel ereignisorientiert, d.h. Fluglärm ist auf eine kurze Zeitspanne beschränkt. Diese Tatsache wird im dritten Teil der Fluglärm-erkennung verwendet, indem aus dem Pegel-Zeitverlauf Ereignisse heraus gefiltert werden, die der typischen zeitlichen Struktur des Fluglärms am Messort entsprechen. Dies sind z.B. die Dauer des Ereignisses, die sogenannte t10-Zeit oder typische Pegelhöhen. Damit stehen für die Zuordnung zwei Kriterien zur Verfügung: Das Geräusch entspricht in seiner spektralen Struktur Fluglärm und die zeitliche Struktur entspricht den Fluglärmgeräuschen.

Beispiele aus der Praxis

Die Tabelle in Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für die automatische Fluglärm-erkennung. Das Messsystem wurde im August 2010 in Neu-Isenburg (Flughafen Frankfurt) eingerichtet. In der Tabelle sind die Pegelwerte sowie die Anzahl von Fluglärmereignissen in einem Erfassungszeitraum von 5 Monaten mit automatischer (deBAKOM) und manueller Auswertung dargestellt. Für den Monat August wurden dabei lediglich Stufe 1 und Stufe 3 der Erkennung eingesetzt. Ab September auch Stufe 2. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, zeigen die Pegel der beiden Auswertungen nur geringe Abweichungen. Bei der Anzahl der zugeordneten Ereignisse hingegen ergeben sich größere Diskrepanzen, die vor allem durch Ereignisse mit kleinen Pegeln nahe der Schwelle verursacht werden.

		Ld dB(A)	Ln dB(A)	Anzahl Tag	Anzahl Nacht
August 2010	deBAKOM	59,7	53,9	10617	1390
	manuell	59,2	53,2	8623	1124
	Differenz	0,5	0,7	1994	266
September 2010	deBAKOM	60	53,6	12744	1583
	manuell	59,8	53,4	11175	1504
	Differenz	0,2	0,2	1569	79
Oktober 2010	deBAKOM	60,3	55,7	11994	1710
	manuell	60,1	55,4	11012	1649
	Differenz	0,2	0,3	982	61
November 2010	deBAKOM	60,2	55,4	11635	1514
	manuell	59,9	55,2	10544	1466
	Differenz	0,3	0,2	1091	48
Dezember 2010	deBAKOM	58,8	54,4	10013	1577
	manuell	58,8	54,3	9479	1529
	Differenz	0	0,1	534	48

Abbildung 2: Vergleich der Messungen in Neu-Isenburg zwischen manueller und automatischer Auswertung. Für September wurde eine Musteranpassung vorgenommen, die dazu führte, dass die Differenz zwischen automatischer und manueller Erkennung kleiner wird.

Im folgenden Beispiel befand sich die Messanlage im Unterschied zum vorigen Szenario direkt an der Straße, so dass die Pegelaufzeichnungen eine Mischung aus Straßenverkehr und Fluglärm darstellen. In der folgenden Grafik sind für 2 Tage die anhand verschiedener Verfahren ermittelten Fluglärmpegel, so wie der errechnete Mittelungspegel gegenübergestellt.

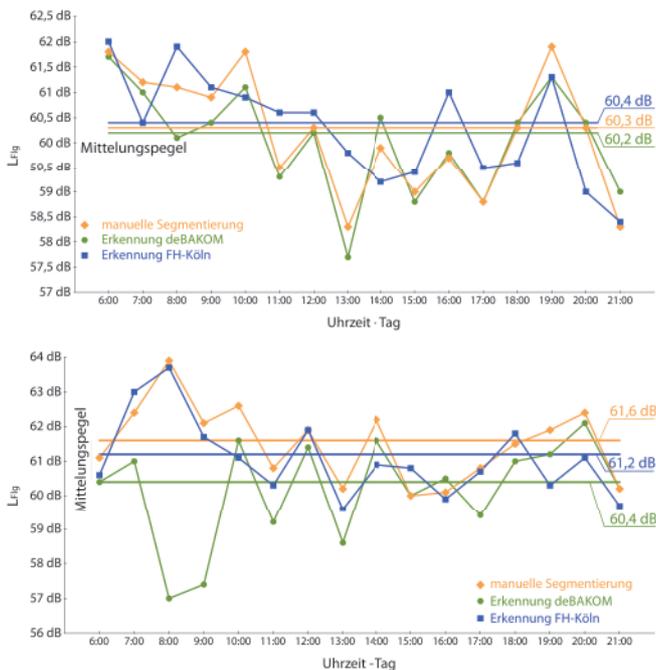


Abbildung 3: Auswertung der Messdaten. Vergleich von Methode 1, Methode 2 und manueller Auswertung. Oben: 23.10.08 (Tag ohne Regen) • Unten: 27.10.08 (Tag mit Regen). Ohne Regen ist die Abweichung der Mittelungspegel nur gering. Erhöht sich durch Regen jedoch das Hintergrundgeräusch, so wird die Erkennung schlechter und der Mittelungspegel weicht stärker ab.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Pegel-Zeitverlauf für einen Zeitabschnitt mit wenig KFZ (5-6 Uhr) und einen Abschnitt mit deutlich mehr Fremdgeräuschen (15-16 Uhr). In Abbildung 4 (unten) ist deutlich zu erkennen, dass eine ‚einfache‘ Zuordnung der Ereignisse – Fluglärm nicht mehr möglich ist.

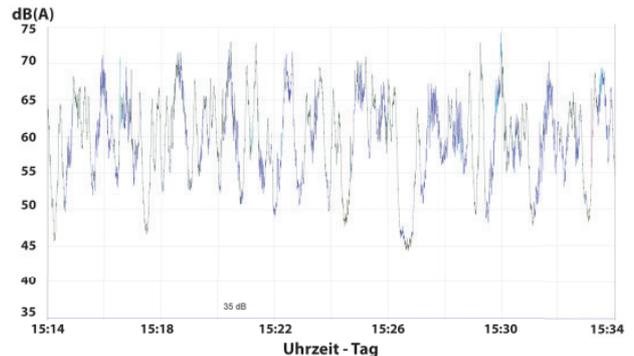
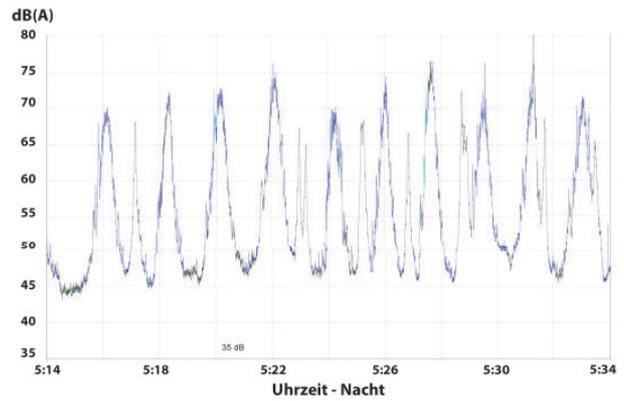


Abbildung 4: Pegelschrieb mit farblich markierter Erkennung der Klasse (blau: Flugzeug, grün: keine Erkennung) - Oben: Nacht • Unten: Tag

Diese Fluglärmereignisse sind auch manuell nicht ohne weiteres zu identifizieren, da es sich bei den Ereignissen um eine Mischung aus Fluglärm und anderen Lärmereignissen handelt. Dies ist mit ein Grund, weshalb in einzelnen Stunden zum Teil größere Abweichungen zwischen den Pegeln aus den drei Verfahren auftreten (Abb. 3). Da der Fluglärmpegel jedoch nicht auf Stundenbasis, sondern anhand eines Langzeitmittelungspegels über 6 Monate bestimmt wird, ist die automatische Erkennung geeignet, Fluglärmereignisse und deren Pegel zu ermitteln (Abb. 2).

Fazit

Bei dem Vergleich der vorgestellten Methoden sind nur geringe Abweichungen im Mittelungspegel zu beobachten. Betrachtet man den Pegel bei dem Vergleich der unterschiedlichen Methoden, so ergeben sich nur geringe Abweichungen beim Mittelungspegel. Allerdings gibt es eine größere Abweichung bei der Betrachtung der Anzahl der erkannten Ereignisse. Die Ursache für die Abweichung liegt maßgeblich an dem gleichzeitigen Auftreten verschiedener Geräuschklassen am Messort. Fluglärmernennung ist jedoch nur ein Beispiel für die Mustererkennung. Die Verfahren sollen nicht nur für Fluglärm, sondern auch für andere Geräushtypen (Straße, Bahn, Industrie etc.) eingesetzt werden.

Literatur

- [1] D. Hemmer, C. Pörschmann (2010). Testsystem zum Vergleich verschiedener Parameter zur Verbesserung der Erkennungsleistung bei der Flugzeuggeräuschidentifikation. In: Fortschritte der Akustik - DAGA 2010, DEGA e.V., D - Oldenburg, pp. 829-830