

Automatische Prüfung der Korrelation von Fluglärmereignissen

Kai Johannsen¹, Thomas Schenk², Konrad Schenk², Lisa Klein³

¹ Flughafen Berlin Brandenburg GmbH, 12521 Berlin, Deutschland, Email: kai.johannsen@berlin-airport.de

² KSZ-Ingenieurbüro GmbH, 13086 Berlin, Deutschland, Email: schenk@ksz-akustik.de

³ Topsonic Systemhaus GmbH, 52146 Würselen, Deutschland, Email: lisa.klein@topsonic.aero

Einleitung

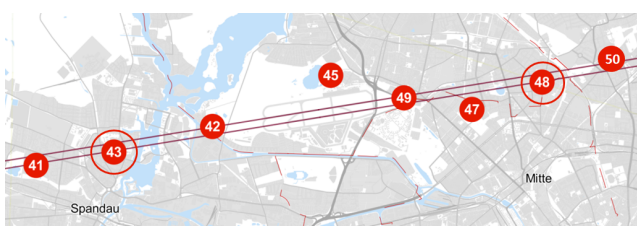
Verkehrsflughäfen sind nach §19a Luftverkehrsgesetz dazu verpflichtet, eine Fluglärmüberwachungsanlage in der Umgebung des Flughafens zu betreiben. Da nur der Anteil des Fluglärms in die Auswertung eingehen soll, werden Fluglärmereignisse automatisch anhand der Radar- und Flugzeiten identifiziert.

Obwohl Radarspuren eine gute automatische Zuordnung gewährleisten, ist eine manuelle Prüfung der Zuordnung für jedes einzelne Flugereignis in der Regel unverzichtbar. Zum Beispiel kann das Fluggeräusch durch Störgeräusche kontaminiert und damit für die Auswertung ungültig sein. Besonders an den für die Entgeltabrechnung herangezogenen Referenzmessstellen ist eine genaue manuelle Überprüfung wichtig.

Um den Aufwand der manuellen Prüfung reduzieren zu können und zukünftig auch eine zeitnahe Abrechnung der Einzelereignisse zur Berechnung der Entgelte zu gewährleisten, sollte eine automatische Prüfung der Lärmereignisse entwickelt werden. Hierzu wurde ein Set von Kriterien definiert, die auf Basis der akustischen Eigenschaften des Signals verdächtige Lärmereignisse identifizieren. Die Prüfungen wurden in die Fluglärmüberwachungssoftware der Flughäfen Tegel und Schönefeld implementiert. Im Folgenden werden die Kriterien beschrieben, auf deren Basis die Prüfungen erfolgen und erste Ergebnisse aus der Praxis dargestellt.

Status Quo

Die Berliner Flughäfen betreiben Fluglärmüberwachungsanlagen an den Flughäfen Tegel und Schönefeld. Am Flughafen Tegel befinden sich acht Messstellen, von denen sechs direkt überflogen werden. Die am weitesten entfernten Messstellen liegen in einem Abstand von sechs Kilometern zur Landeschwelle. Die Lage der Messstellen ist in der Abbildung 1 dargestellt.



Kartengrundlage: OSM - Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0

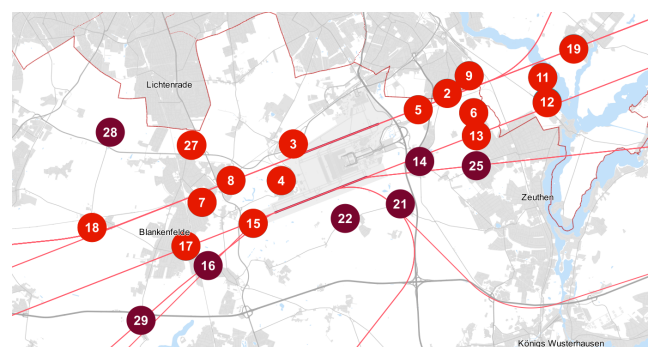
Abbildung 1: Fluglärmmessstellen am Flughafen Tegel. Referenzmessstellen für die Bestimmung der lärmabhängigen Start- und Landeentgelte sind eingekreist.

Am Flughafen Schönefeld sind derzeit 16 Messstellen in Betrieb. Mit Inbetriebnahme des Flughafens Berlin Brandenburg (BER) werden mindestens 23 Messstellen den Fluglärm des Zweibahnsystems messen. Diese Messstellen liegen in bis zu 13 Kilometern Entfernung und haben teilweise größere laterale Abstände zur Überfluglinie. Ein Lageplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Aufgrund des einfacheren Layouts wird im Folgenden zunächst der Flughafen Tegel untersucht.

Die Messstellen zeichnen kontinuierlich jede Sekunde Schalldruckpegel auf. Aus diesen Daten werden zunächst Lärmereignisse generiert. Dies erfolgt nach der in der DIN 45643 [1] vorgegebenen Methodik. Hierzu wird an jeder Messstelle eine Schwelle definiert, ab deren Überschreitung Lärmereignisse erfasst werden. Zusätzliche Kriterien sind durch die Mindest-, Horsch- und Maximalzeit gegeben. Auf diese Art können bereits viele Geräusche, die nicht dem Profil von Fluglärm entsprechen von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen werden.

Für jedes Lärmereignis werden akustische Kenngrößen ermittelt und in der Datenbank gespeichert. Die wichtigsten Parameter sind der Maximalpegel ($L_{AS,max}$), der Einzelereignispegel (L_{AE}) und die Dauer der Schwellenüberschreitung (t_{ges}).

Im nächsten Schritt erfolgt die Berücksichtigung nicht-akustischer Informationen. An den Berliner Flughäfen stehen hierzu sowohl Radar- als auch Flugplandaten zur Verfügung. Hierdurch können die identifizierten Lärmereignisse Flugbewegungen zugeordnet werden. Die Qualität dieser Zuordnung ist am Flughafen Tegel bereits sehr hoch. So werden, abhängig von der jeweiligen Mess-



Kartengrundlage: OSM - Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0

Abbildung 2: Fluglärmmessstellen am Flughafen Schönefeld/BER und Flugstrecken. Messstellen, die derzeit nicht betrieben werden sind purpur dargestellt. Rote Linien kennzeichnen die für den BER festgelegten Flugstrecken.

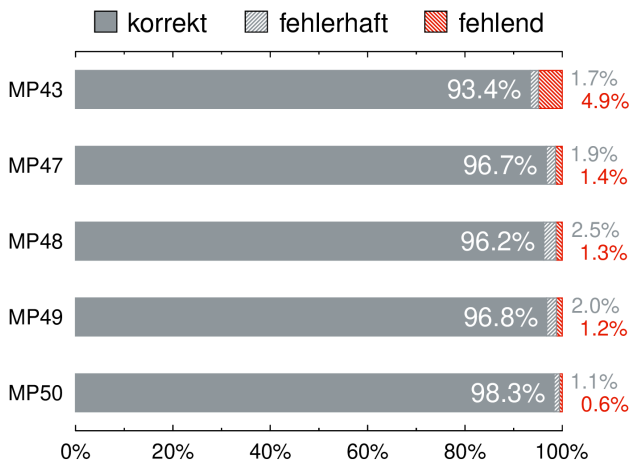


Abbildung 3: Qualität der automatischen Zuordnung an ausgewählten Messstellen des Flughafens Tegel.

stelle, 95-99,5% der Lärmereignisse korrekt zugeordnet. Ein geringerer Anteil von 0,5-5% wird nicht zugeordnet und für sehr wenige Lärmereignisse besteht eine fehlerhafte Zuordnung. Diese kann durch Störgeräusche oder durch die Zuordnung zu einem falschen Lärmereignis gegeben sein. Eine Auswertung zur Qualität der Zuordnung ist in Abbildung 3 dargestellt.

Mit diesem Ergebnis kann von einer hohen Genauigkeit bei der Bestimmung des Dauerschallpegels ausgegangen werden. Auch die Abweichung bei den Maximalpegelstatistiken kann als gering angenommen werden. Normalerweise könnte daher von einer genaueren Qualitätsprüfung abgesehen werden. Die Berliner Flughäfen planen jedoch die Einführung einer verursachergerechten Einzelabrechnung von Lärmertgelten [2]. Seit August 2018 werden bereits die an den Referenzmessstellen gemessenen Maximalpegel informativ auf den Rechnungen ausgewiesen. Da die Einzelabrechnung von den Fluggesellschaften kritisch gesehen wird und hierzu bereits umfangreiche Reklamationen angekündigt worden sind, werden an den Berliner Flughäfen weiterhin alle Fluglärmereignisse manuell geprüft. Diese Überprüfung umfasst die Sichtprüfung der Pegelverläufe und im Zweifelsfall das Abhören der Audiodateien.

Plausibilitätsprüfung

Um den großen manuellen Aufwand bei der Verifizierung der automatisch zu Flugbewegungen zugeordneten Lärmereignissen zu reduzieren, ist eine Plausibilitätsprüfung entwickelt worden, die Fehlzuordnungen identifizieren soll. Falls diese Prüfung gut funktioniert, könnte von einer manuellen Prüfung aller Ereignisse abgesehen werden und dem Bearbeiter werden nur noch die in der Prüfung identifizierten verdächtigen Ereignisse präsentiert. Die Plausibilitätsprüfung soll größtenteils anhand der bereits in der Datenbank gespeicherten Parameter erfolgen. Zusätzlich werden die Audiodateien mithilfe eines von dem Ingenieurbüro KSZ entwickelten Neuronalen Netzes bewertet [3],[4].

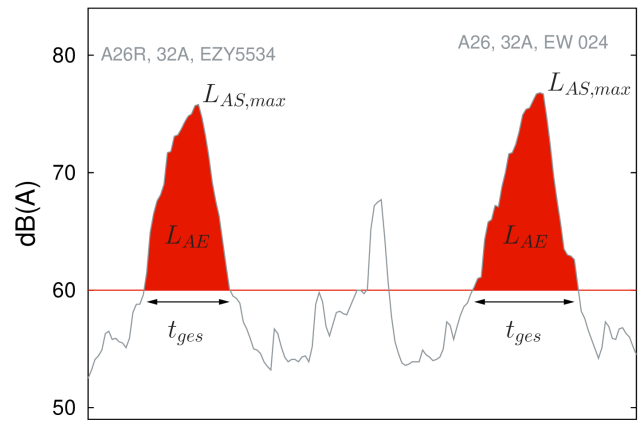


Abbildung 4: Absolute Kriterien am Beispiel der Landung eines Airbus A320 an der Messstelle 48.

Absolute Kriterien

Absolute Kriterien (Abbildung 4) beziehen die Prüfung auf die zu prüfende Messstelle selbst. Folgende Parameter des zu prüfenden Lärmereignisses werden zur Prüfung herangezogen:

- Maximalpegel ($L_{AS,max}$),
- Einzelereignispegel (L_{AE}),
- Dauer der Schwellenüberschreitung (t_{ges}).

Verglichen werden diese Werte mit dem Median eines Kalenderjahres, wobei nach einzelnen Flugzeugtypen und nach Start und Landung differenziert wird. Neben dem Median wird die Standardabweichung berechnet. Ein Lärmereignis wird als verdächtig gekennzeichnet, wenn der Wert des betreffenden Parameters außerhalb eines Intervalls liegt, welches durch eine Anzahl von Standardabweichungen gegeben ist. Hierbei kann der Faktor vor der Standardabweichung für die untere und obere Intervallgrenze jeweils frei pro Messstelle gewählt werden (siehe Abbildung 5).

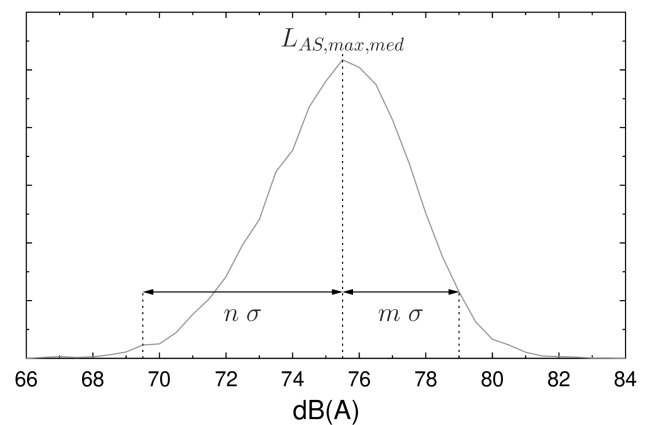


Abbildung 5: Häufigkeit der Maximalpegel am Beispiel des Starts eines Airbus A320 an der Messstelle 48. Das Intervall wird durch die Untergrenze $L_{AS,max,med} - n \cdot \sigma$ und die Obergrenze $L_{AS,max,med} + m \cdot \sigma$ definiert. Die Parameter n und m sind hierbei frei wählbar.

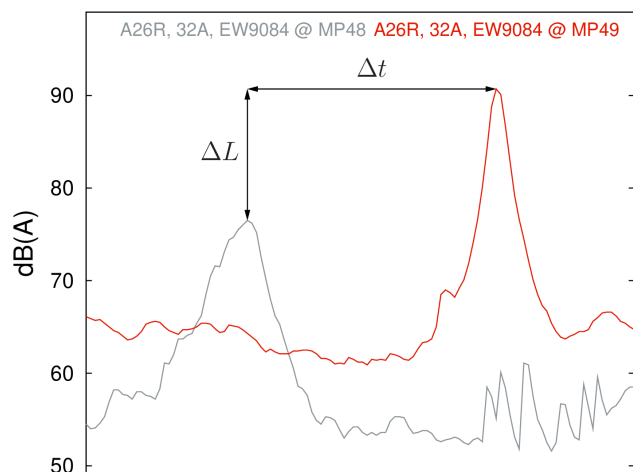


Abbildung 6: Pegel-Zeitverlauf der Landung eines Airbus A320 an den Messstellen 48 und 49. Die für die Plausibilitätsprüfung herangezogenen Pegel- und Zeitdifferenzen sind eingezeichnet.

Relative Kriterien

Da die Fluglärmmessstellen zumeist in einer Kette nacheinander überflogen werden, kann neben der Differenz der Maximalpegel auch die Zeitdifferenz des Auftretens desselben zur Beurteilung der Plausibilität herangezogen werden (siehe Abbildung 6). Es ergeben sich folgende relative Kriterien:

- Differenz des Maximalpegels eines Überflugs an zwei Messstellen (ΔL),
- Zeitdifferenz des Auftretens des Maximalpegels an zwei Messstellen (Δt).

Auch hier wird der Median und die Standardabweichung differenziert nach Start und Landung sowie Messstellenpaar gebildet. Wie bei den absoluten Kriterien sind auch hier die Faktoren vor den Standardabweichungen frei wählbar.

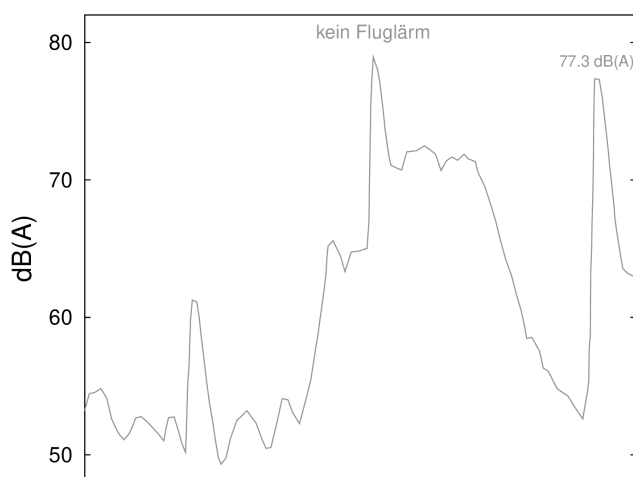


Abbildung 7: Pegel-Zeitverlauf eines Fluggeräuschs mit gleichzeitigem Ruf einer Krähe.

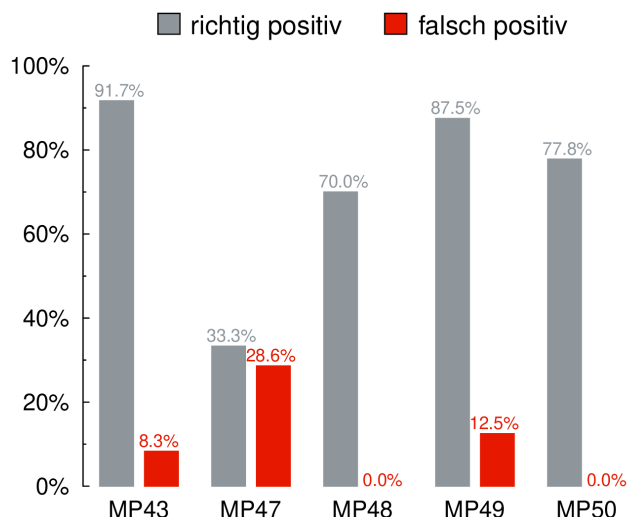


Abbildung 8: Erste Ergebnisse der Anwendung der Plausibilitätsprüfung für ausgewählte Messstellen des Flughafens Tegel. Dargestellt ist der Anteil der richtigen Erkennung von Fehlzuordnungen bzw. mit Störgeräuschen kontaminierten Fluglärmereignissen (grau) und der Anteil der falsch positiven Erkennungen (rot).

Pegelverlauf

Bestimmte Störgeräusche zeichnen sich durch starke Pegelschwankungen aus. Im Vergleich dazu erfolgt die Pegeländerung beim Fluglärm in der Regel gleichmäßig. Das Kriterium Pegelverlauf untersucht das Pegel-Zeitdiagramm nach großen Pegeländerungen innerhalb einer Sekunde. Die Schwelle, ab der das Kriterium anschlägt, kann individuell pro Messstelle festgelegt werden. Diese Ergebnisse erhöhen nicht nur den Verdachtsindex, sondern werden in jedem Fall für die manuelle Prüfung vorgesehen. Ein Beispiel ist in Abbildung 7 dargestellt. Hier ist in dem Fluggeräusch der Ruf einer Krähe enthalten. Da der Maximalpegel hierdurch verfälscht würde, wurde das Ereignis manuell ungültig gesetzt.

Neuronales Netz

Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung kommen auch Tiefe Neuronale Netze zum Einsatz, die mit Hilfe von Audioaufzeichnungen aus der Berliner Fluglärmüberwachung trainiert wurden. Hierbei wird für jedes Geräusch ein Konfidenzwert zwischen 0 und 1 ermittelt. Dieser Teil der Plausibilitätsprüfung wird in einem weiteren Beitrag näher beschrieben [4].

Verdachtsindex

Aus den einzelnen Kriterien wird ein Verdachtsindex gebildet. Die Summe kann maximal einen Wert von sieben erreichen. Für jede einzelne Messstelle kann ein Schwellenwert festgelegt werden, ab dem die Lärmereignisse als verdächtig gewertet werden und somit eine manuelle Prüfung notwendig wird.

Erste Ergebnisse

Die vorgestellten Kriterien wurden vom Topsonic Systemhaus in die Fluglärmüberwachungsanlage integriert. In einer Testphase wurden die einstellbaren Parameter der einzelnen Messstellen justiert, so dass möglichst viele fehlerhafte Zuordnungen erkannt wurden. Anhand der Messstellen des Flughafens Tegel wurde dann die manuelle Überprüfung durchgeführt und mit den Ergebnissen der Plausibilitätsprüfung verglichen. Resultate sind in Abbildung 8 dargestellt.

Die Plausibilitätsüberprüfung erkennt einen hohen Anteil der durch manuelle Überprüfung identifizierten Fehlzusordnungen. Die Erkennungsrate liegt hier an den direkt überflogenen Messstellen zwischen 70 und 92 Prozent. Gleichzeitig lag der Anteil der falsch positiv klassifizierten Ereignisse auf niedrigem Niveau (0-13%).

Für die seitlich überflogene Messstelle 47 ergeben sich hingegen deutlich schlechtere Werte. Dies ist durch die bei Landeanflügen deutlich niedrigeren Maximalpegel erklärbar. Eine denkbare Abhilfe könnte in diesem Fall die Differenzierung der Parametereinstellung nach Start und Landung darstellen.

Da die Plausibilitätsprüfung keine vollständige Erkennung der Fehler ergibt, ist weiterhin eine manuelle Prüfung aller zugeordneten Fluglärmereignisse notwendig.

Zusammenfassung und Ausblick

Die automatische Zuordnung von Flugbewegungen zu Lärmereignissen auf Basis von Radar- und Flugplandaten liefert am Flughafen Tegel zu über 95% richtige Korrelationen. Trotzdem ist aufgrund der geplanten Einführung der einzelereignisabhängigen Erhebung der Lärmentgelte eine manuelle Prüfung weiterhin unerlässlich.

Die nach konventionellen Kriterien durchgeführte Plausibilitätsprüfung findet an den direkt überflogenen Messstellen einen hohen Anteil der Fehler, ohne einen hohen Prüfaufwand durch falsch positive Indikationen zu verursachen. Lateral versetzte Messstellen sind hingegen problematisch.

Bisher wurde die Erkennungsleistung nur an den vergleichsweise unproblematischen Messstellen des Flughafens Tegel geprüft. Im nächsten Schritt sollen auch die Messstellen des Flughafens Schönefeld dieser Prüfung unterzogen werden. Auch ist eine Optimierung der Parametereinstellungen in der Art notwendig, dass zumindest an den für die Ermittlung der Lärmentgelte herangezogenen Messstellen eine nahezu 100-prozentige Erkennung gewährleistet ist.

Literatur

- [1] DIN 45643:2011-02, Messung und Beurteilung von Fluggeräuschen
- [2] Johannsen, K.: Einzelereignisbasierte Abrechnung von lärmabhängigen Start- und Landeentgelten. DAGA 2018. München, 2018

- [3] Schenk, K.: Geräuschklassifikation mit tiefen neuronalen Netzen. KSZ Ingenieurbüro GmbH. DAGA 2016. Aachen, 2016
- [4] Schenk, T., Schenk K., Johannsen, K., Klein, L.: Automatische Prüfung der Korrelation von Fluglärmereignissen - Einsatz Tiefer Neuronaler Netze zur Quellenidentifizierung. KSZ Ingenieurbüro GmbH. DAGA 2019. Rostock, 2019