# Einführung der einzelereignisbasierten Lärmentgelte am Flughafen Berlin Brandenburg

Kai Johannsen

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

## Einleitung

Vom Lärm abhängige Entgeltanteile werden von Flughäfen bereits seit vielen Jahren eingesetzt. Von diesem Werkzeug wird eine Lenkungswirkung erwartet, die dazu führen soll, dass an dem entsprechenden Flughafen mehr lärmarme Flugzeuge eingesetzt werden. Letztendlich kämen dann die Fortschritte in der Triebwerksentwicklung früher bei den Fluglärmbetroffenen an (Abbildung 1).

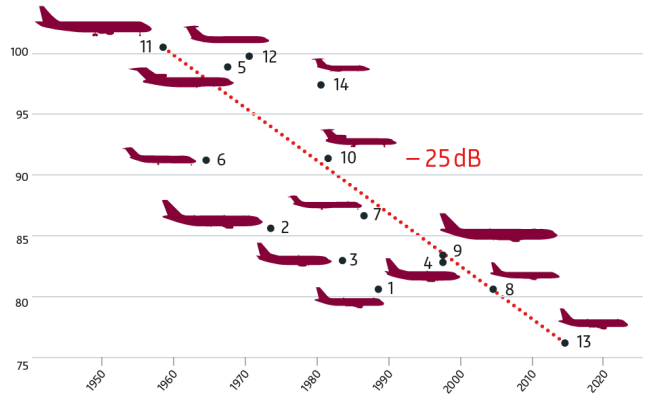


**Abbildung 1:** Fortschritte der Triebwerkstechnologie am Beispiel der an den Berliner Flughäfen verkehrenden Flugzeugmuster 1950-2020 (Angaben Überflugpegel in EPNdB). *1 Airbus A320, 2 Airbus A300, 3 Boeing 737-300, 4 Boeing 737-800, 5 Boeing 727, 6 McDonnell-Douglas DC 9, 7 McDonnell-Douglas MD 8, 8 Embraer E190, 9 Airbus A330, 10 Tupulew TU154M, 11 McDonnell-Douglas DC 8, 12 Ilyushin IL-62, 13 Airbus A320neo, 14 Tupulew TU134A.*

Wurden anfänglich die Grenzwerte der Zertifizierung nach ICAO Annex 16 (sogenannte Chapter) herangezogen, sind spätestens im Jahr 2010 alle größeren deutschen Flughäfen auf Lärmentgelte nach vor Ort gemessenem Lärm umgestiegen.

**Tabelle 1:** Lärmklassen (LK) und Entgelthöhe für Landungen am Flughafen Schönefeld (2006 bis 2014). Ab 2021 je Start und Landung.

| LK | Pegelbereich | 2006 | 2014 | 2021 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | bis 71 dB(A) | 20€ | 18€ | 50€ |
| 2 | 71-74 dB(A) | 30€ | 25€ | 62€ |
| 3 | 74-77 dB(A) | 40€ | 32€ | 80€ |
| 4 | 77-80 dB(A) | 80€ | 80€ | 125€ |
| 5 | 80-85 dB(A) | 420€ | 515€ | 515€ |
| 6 | 85-90 dB(A) | 840€ | 1.030€ | 3.000€ |
| 7 | ab 90 dB(A) | 1.680€ | 2.060€ | 7.500€ |

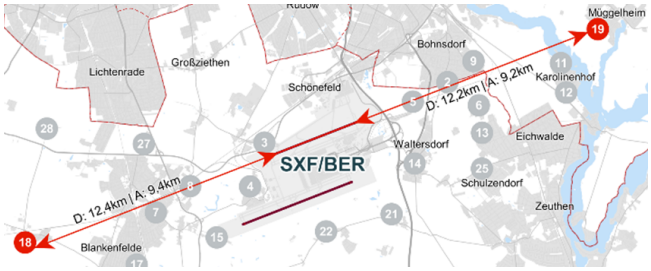


**Abbildung 2:** Messstellen am Flughafen Schönefeld, die zur Abrechnung der Entgelte herangezogen werden (Referenzmessstellen). Kartengrundlage: OSM - Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0

## Lärmentgelte an den Berliner Flughäfen

Die Berliner Flughäfen haben im Jahr 2005 in Tegel und 2006 in Schönefeld vom vor Ort gemessenen Lärm abhängige Entgelte eingeführt und bis heute weiter entwickelt. Hierbei werden die an bestimmten Referenzmessstellen (Abbildung 2) gemessenen Maximalpegel für die verschiedenen Flugzeugtypen gemittelt und in Lärmklassen eingeteilt. Die am Flughafen Schönefeld erhobenen Entgelte und deren zeitliche Entwicklung sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Empfehlungen, die aus einer an den Berliner Flughäfen durchgeführten Diplomarbeit [1] bezüglich Anteil und Spreizung der Entgelte resultierten, wurden konsequent umgesetzt. Somit erfolgte mit den Jahren eine generelle Erhöhung dieser Beträge und eine größere Spreizung. Auch die in den Nachtzeiten festgelegten Zuschläge wurden über die Jahre erhöht, um den Verkehr in der besonders empfindlichen Nachtzeit in Grenzen zu halten (Tabelle 2).

Die Lärmklassen der Einzelflüge werden statistisch erfasst und jedes Jahr ausgewertet. In Abbildung 3 sind die Lärmklassenanteile der Jahre 2010 bis 2020 dargestellt. Bis zum Jahr 2013 ergibt sich, wie gewünscht, eine Reduktion der Anteile der lauten Flugzeugtypen ab Lärmklasse 4. Ab dem Jahr 2014 kam diese Prozess jedoch zum Erliegen. Im Jahr 2017 waren die Anteile der Flugzeuge in Lärmklasse 4 sogar erstmals höher als die der Lärmklasse 3.

**Tabelle 2:** Zuschläge zu den Entgelten in Abhängigkeit der Nachtzeit.

| Zeit | 2006 | 2014 | 2021 |
|---|---|---|---|
| 22:00-23:00 | 20% | 20% | 100% |
| 23:00-23:30 | 50% | 100% | 200% |
| 23:30-24:00 | 50% | 150% | 300% |
| 00:00-06:00 | 100% | 400% | 500% |

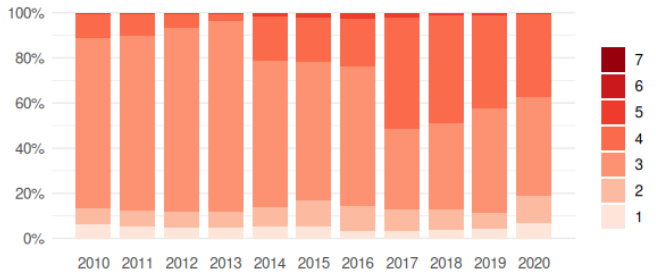


**Abbildung 3:** Lärmklassenstatistik der Berliner Flughäfen. Dargestellt ist der prozentuale Anteil der Flugbewegungen einer Lärmklasse für die Flughäfen Tegel und Schönefeld.

## Ursache der Lärmklassenverschiebung

Die Lärmklassen an den Berliner Flughäfen werden regelmäßig aktualisiert. Einerseits können hierdurch neue Flugzeugmuster eingruppiert werden, andererseits kann auf diese Weise kontrolliert werden, ob die bisherige Einteilung noch mit den in der Umgebung der Flughäfen gemessenen Maximalpegeln korrespondiert. Bei der Auswertung der Daten des Jahres 2012 ergab sich eine Höherstufung der Boeing 737-800 in die Lärmklasse 4. Auch das Flugzeugmuster Airbus A330-300 wurde um eine Klasse höher in die Lärmklasse 5 eingruppiert. Diese Änderungen wurden nach Konsultation im Jahr 2013 im Jahr 2014 gültig.

Im Jahr 2016 erfolgte eine weitere Änderung der Lärmklasseneinteilung. In diesem Fall wurde u.a. der Airbus A320-200 in die Lärmklasse 4 hochgestuft. Die Lufthansa hatte im Jahr 2014 eine Änderung der Startverfahren umgesetzt [3]. So wurde deutschlandweit die sogenannte Cutback-Höhe von 1500 Fuß auf 1000 Fuß herabgesetzt. In der Folge lagen die Überflughöhen im Bereich der am Flughafen Tegel vorhandenen Referenzmessstellen niedriger und aufgrund des geringeren Abstands zu diesen stiegen die gemessenen Maximalpegel.

Diese Veränderung konnte anhand der über die Radarspuren ausgewerteten Flugprofile nachvollzogen werden (Abbildung 4). Bereits im Projekt MODAL erfolgte eine Auswertung, zu welchen Zeitpunkten welche Airline ihre Flugverfahren umgestellt haben [4]. So konnte geklärt werden, dass die oben beschriebene Umgruppierung der Boeing 737-800 und des Airbus A330 im Jahr 2014 aus der Umstellung der Flugverfahren bei Air Berlin resultierte.

Der Einfluss des Startverfahrens konnte auch in einer zusammen mit der Airline easyJet durchgeführten Untersuchung nachgewiesen werden. So hat easyJet vom April 2017 für ein Jahr das Startverfahren am Flughafen Schönefeld auf NADP1 (ein Steilstartverfahren) umgestellt. Im Vergleich zu den normalerweise praktizierten Verfahren NADP2 ergaben sich je nach Messstelle Pegelminderungen von bis zu 2,2 dB. In Abbildung 5 ist die Verteilung der Maximalpegel des Flugzeugtyps Airbus A319 an der Messstelle 11 dargestellt.

Eine airlinespezifische Untersuchung der Maximalpegel der einzelnen Flugzeugtypen ergab größere Unterschiede. Diese sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Unterschiede können z.B. auf unterschiedliches Gewicht durch verschieden entfernte Zielorte oder Auslastung, Triebwerksbestückung aber auch Start- bzw. Landeverfahren zurückgeführt werden.

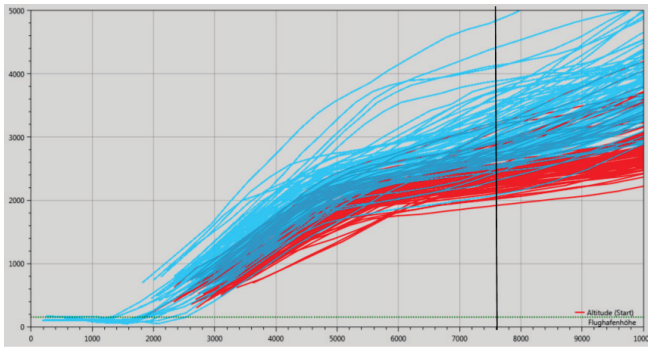

**Abbildung 4:** Massenplot der Flugprofile beim Start eines Airbus A330 am Flughafen Tegel für zwei Airlines. Für die rot dargestellten Plots der Airline Air Berlin liegt der Cutback bei 1000 Fuß. Der Standort der Referenzmessstellen ist durch die senkrechte schwarze Linie markiert. An diesen Messstellen ergeben sich im Mittel Maximalpegel von 80,5 dB(A) für Flugzeuge der Airline Air Berlin und 78,3 dB(A) für die andere Airline.

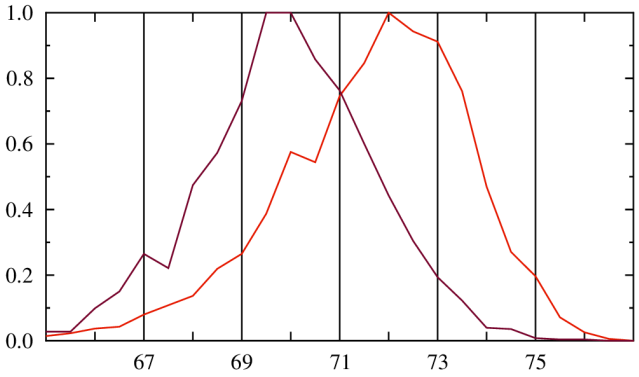


**Abbildung 5:** Einfluss des Startverfahrens. Pegelstatistik der Maximalpegel von Starts der Flugzeugtypen Airbus A319 der Airline easyJet an der Messstelle 11 am Flughafen Schönefeld. X-Achse in dB(A). Purpur NADP1, rot NADP2.

Diese Auswertungen führen zunächst zu der Einschätzung, dass das bisherige Verfahren nur eine geringe Lenkungswirkung entfalten kann, weil die Mittelung soweit gefasst wurde, dass die einzelne Airline wenig Einflussnahme hat. Ergebnis ist auch, dass dieses Verfahren zu Ungerechtigkeiten in der Abrechnung führt und somit die Forderung nach Diskriminierungsfreiheit nach §19b Luftverkehrsgesetz nicht erfüllt sein dürfte.

Hinzu kommt, dass das Verfahren über die Konsultation der Entgelte zu träge ist. In diesem Verfahren werden die gemittelten Messwerte eines Jahres zu den Konsultationen mit den Airlines im Folgejahr herangezogen. Erst im darauffolgenden Jahr erlangen diese dann Gültigkeit und führen zu den neuen Entgelten. Daraus ergibt sich eine Verzögerung von mindestens zwei Jahren.

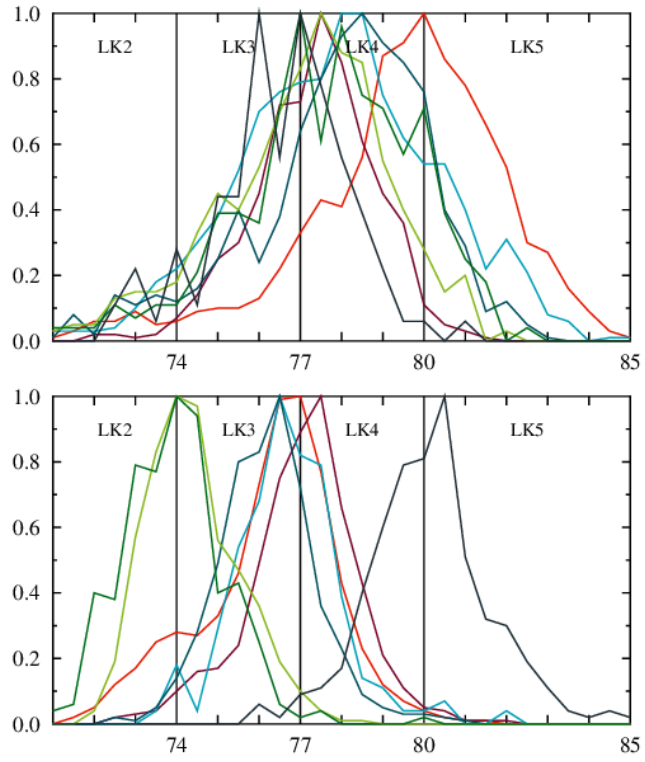


**Abbildung 6:** Pegelstatistik der Maximalpegel an den Referenzmessstellen am Flughafen Tegel differenziert nach Airlines. X-Achse in dB(A) unter Markierung der Pegelklassengrenzen. Obere Graphik: Start Boeing 737-800, untere Graphik: Landung Airbus A319.

## Einführung der verursachergerechten Einzelabrechnung der Lärmentgelte

Eine höhere Differenzierung der Mittelung nach Start/Landung, Flughafen und Airline würde die verursacherbezogene Abrechnung begünstigen und damit zu einer gerechteren Abrechnung führen. Allerdings hätte diese keinerlei Einfluss auf den Hauptnachteil des bisherigen Verfahrens, die zeitliche Verzögerung.

Die Berliner Flughäfen haben sich daher entschieden, das Verfahren der Entgeltberechnung grundsätzlich zu ändern. Statt der jährlichen breitgefassten Mittelung soll nun der Maximalpegel jedes einzelnen Fluges zeitnah abgerechnet werden. Im ersten Schritt sollten hierbei sowohl die Pegelklassen, als auch die lärmklassenbezogene Entgelthöhe unverändert bleiben. Eine nachträgliche Berechnung der Entgelte auf Basis der neuen Methodik ergab keine zu erwartenden Mehreinnahmen für die Berliner Flughäfen. Das Gebot der Aufkommensneutralität nach §19b Luftverkehrsgesetz wäre somit erfüllt.

Um das neue Verfahren einzuführen wurden umfangreiche Anpassungen der IT-Infrastruktur umgesetzt. So müssen die Lärmdaten und die daraus ermittelte Lärmklasse in Echtzeit an die Verkehrs- und Abrechnungssysteme übertragen werden. Außerdem muss ausgeschlossen werden, dass zufällig zeitgleich gemessene Maximalpegel von Störgeräuschen ungeprüft zur Abrechnung gelangen. Um das zu gewährleisten werden verdächtige Lärmereignisse vom System automatisch markiert und erst nach manueller Prüfung zur Abrechnung freigegeben. Diese Prüfung erfolgt anhand auffälliger Werte erfasster Parameter und könnte zukünftig mithilfe der akustischen Mustererkennung erweitert werden.

## Erste Konsultation im Jahr 2017

Die neue Methodik wurde im September 2017 konsultiert mit dem Ergebnis, dass keine der beteiligten Airlines dieses Verfahren befürwortete. Folgende Bedenken wurden dabei von den Vertretern der Airlines geäußert:

- der Pilot hat keinen Einfluss auf das Wetter
- Abrechnung beruht nur auf dem Wert einer Messstelle. Daher nur punktuelle Entlastung
- Anweisungen der Flugsicherung können zu mehr Lärmemissionen führen
- Gewicht/Auslastung führen zu höheren Lärmemissionen
- durch Streuung der Messwerte und den größeren Sprung zur Entgeltklasse 5 kann es zu erheblich höheren Entgelten für einzelne Flüge kommen
- Intersection Takeoffs (Nutzung einer verkürzten Startstrecke) führen zu höheren Entgelten
- Entgelte sind nicht mehr im Voraus kalkulierbar
- die Rechnungsprüfung wird aufwändiger

Aufgrund der Bedenken und der bisher weltweit neuen Methodik wurde die Einführung der neuen Entgeltsystematik zunächst zurückgestellt. Im Jahr 2018 fanden dann mehrere Workshops und auch Einzelgespräche mit Airlines statt. Im Rahmen dieser Gespräche wurden den Airlines auf Basis der vergangenen Jahre detaillierte Informationen bereitgestellt und die Bedenken und mögliche Änderungen an der Systematik diskutiert.

## Anpassungen an der Entgeltsystematik

Auf Basis der Gespräche mit den Airlines wurden verschiedene Änderungen an der Systematik vorgenommen.

Die größte Änderung bestand in der Berücksichtigung von drei Lärmmessstellen pro Flugrichtung statt nur einer. Durch diese Änderung wird sowohl der Einfluss von Ausnahmeereignissen minimiert, als auch generell die Streuung der Lärmwerte der Einzelflüge verringert. Da nicht alle Flugrichtungen über drei geeignete Messstellen verfügten, musste die Fluglärmüberwachungsanlage des Flughafens BER um acht Messstellen erweitert werden. Die sich ergebende Lage der Messstellen ist in Abbildung 7 dargestellt. Vor Mittelung der Maximalpegel der drei Messstellen müssen diese noch nivelliert werden, da sich durch die unterschiedliche Lage der Messstellen zwangsläufig verschiedene Pegelhöhen ergeben. Dies geschieht durch Addition von Korrekturwerten, die auf Basis von Messsungen ermittelt wurden. Als Ankerpunkt wurde hierbei die Messstelle 18 ausgewählt.

Eine weitere Anpassung bezieht sich auf die Preisstufen. Die Dezibel-Stufen der Lärmklassen wurden von 3

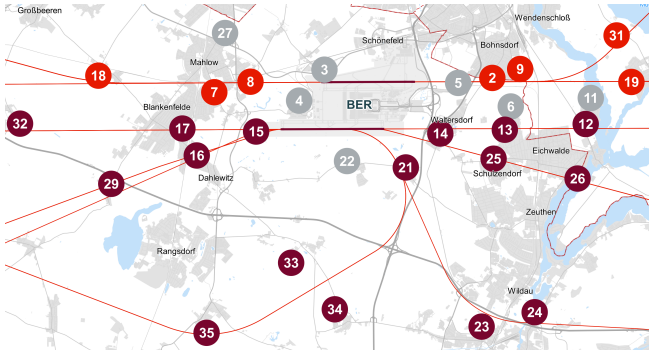


**Abbildung 7:** Messstellen des Flughafens BER. Referenzmessstellen Nordbahn (rot) und Südbahn (purpur).Kartengrundlage: OSM - Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0

bzw. 5 dB auf durchgängig 2-dB-Stufen verringert. Dadurch reduzieren sich die Preissprünge zwischen den einzelnen Lärmklassen. Es ergeben sich 11 anstatt bisher 7 Lärmklassen. Die Preiszuordnung und somit auch die Spreizung wurde soweit möglich beibehalten. Es ergibt sich die in Tabelle 3 aufgelistete Einteilung.

Weiterhin wird nun im System der Aufrollpunkt auf die Startbahn erfasst und bei Intersection-Takeoffs vor Mittelung ein Korrekturwert angewendet. Auch diese Korrekturwerte wurden aus Messungen ermittelt. Mit diesen Anpassungen wurde der überwiegende Teil der geäußerten Bedenken berücksichtigt.

**Tabelle 3:** Geplante Lärmklassen (LK) und Entgelthöhe für Starts bzw. Landungen am Flughafen BER. Da die bisherige Einteilung auf Referenzmessstellen des Flughafens Tegel beruhte und die Messstellen hier etwas näher am Flughafen gelegen waren, muss zur Vergleichbarkeit mit Tabelle 1 ein Wert von 7 dB addiert werden.

| LK | Pegelbereich | Entgelt |
|---|---|---|
| 1 | bis 63 dB(A) | 40€ |
| 2 | 63-65 dB(A) | 50€ |
| 3 | 65-67 dB(A) | 62€ |
| 4 | 67-69 dB(A) | 80€ |
| 5 | 69-71 dB(A) | 105€ |
| 6 | 71-73 dB(A) | 220€ |
| 7 | 73-75 dB(A) | 300€ |
| 8 | 75-77 dB(A) | 515€ |
| 9 | 77-79 dB(A) | 1.500€ |
| 10 | 79-81 dB(A) | 3.000€ |
| 11 | ab 81 dB(A) | 7.500€ |

In Abbildung 8 ist die Verteilung der Maximalpegel an den Referenzmesstellen dargestellt. Zusätzlich ist der sich nach der neuen Systematik ergebende zur Abrechnung heranzuziehende Mittelwert der drei Messstellen angegeben. Gut erkennbar ist, dass die Streuung durch die Mittelung etwas abgenommen hat. Die Standardabweichung sinkt im Vergleich mit der ursprünglich herangezogenen Messstelle 18 von 3 auf 2,4 dB. Dadurch gibt es auch weniger Ausreißer zu hohen Pegeln. Das bedeutet für diesen Fall, dass keine Flüge in die Lärmklasse 7 fallen und somit der höchste Preis bei 220€ liegt. Derzeit liegt das zu

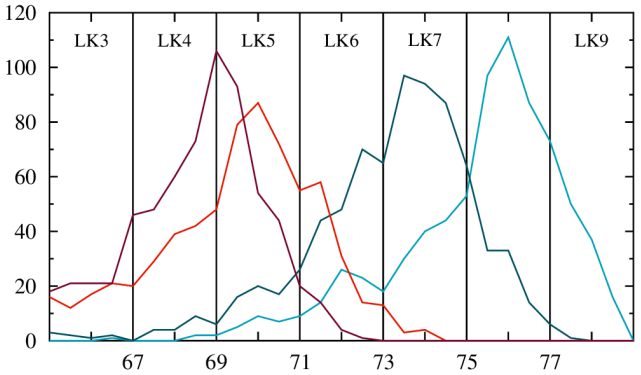


**Abbildung 8:** Pegelstatistik der Maximalpegel von Starts der A320 von easyJet auf der Nordbahn in Richtung Westen. X-Achse in dB(A) unter Markierung der Pegelklassengrenzen. Purpur: neue Systematik, rot: Messstelle 18.

zahlende Entgelt bei 125€.

## Zusammenfassung und Ausblick

An den Berliner Flughäfen wurden die lärmabhängigen Start- und Landeentgelte seit dem Jahr 2005 auf Basis von auf Flugzeugtypen bezogenen mittleren Maximalpegeln erhoben. Ab dem Jahr 2014 wurde trotz einer über die Jahre erfolgten Erhöhung der Spreizung der Entgelte eine Verschiebung zu höheren Lärmklassen beobachtet. Als Ursache konnte die Änderung von Startverfahren bei einzelnen Airlines identifiziert werden. Zur Erhöhung der Lenkungswirkung wurde daher ein System entwickelt, bei dem die Lärmentgelte jedes einzelnen Flugs auf Basis des Mittelwerts des Maximalpegels dreier Messstellen ermittelt wird.

Mit Einführung der Einzelentgelte würden sich auch noch andere Möglichkeiten ergeben: so wäre es denkbar, die Lärmklassen abzuschaffen und die Entgelte direkt aus dem Maximalpegel über eine Formel zu bestimmen.

## Literatur

[1] Hübner, Kristin; Johannsen, Kai: German Airport Noise Surcharges – Method of Calculation and Effects. TU-Berlin. DAGA 2013. Meran, 2013

[2] Johannsen, Kai: Einzelereignisbasierte Abrechnung von lärmabhängigen Start- und Landeentgelten. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH. DAGA 2018. München, 2018

[3] Gemeinnützige Umwelthaus GmbH: Cutback Lufthansa, `https://www.aktiver-schallschutz.de/neue-routen-und-verfahren/cutback-lufthansa/` (abgerufen am 08.09.2021)

[4] Johannsen, Kai; Hertel, Tim: Modelle und daten zur Entwicklung von aktiven Schallschutzmaßnahmen im Luftverkehr: Verbundprojekt im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo IV-4: MODAL: Schlussbericht der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH, Berlin, 2015