

## **Gutachten**

### **zu Auswirkungen von Wirbelschleppen auf Dächer südwestlich des Flughafens Dortmund bei Anflügen auf die Landebahn 06**

#### **1.     *Untersuchungsgegenstand***

In Ergänzung unseres Gutachtens vom 22.04.2020 für den Flughafen Dortmund ist Gegenstand dieses Gutachtens die Untersuchung von Wirbelschleppen der Flugzeugtypen A321NEO und B737MAX8, die aus Südwest anfliegen und auf der Landebahn 06 landen. Durch die Analyse des Wirbelschleppenverhaltens werden die Gebiete SW-lich des Flughafens bestimmt, in denen die Wirbelschleppen durch Überschreiten eines Grenzünterdrucks Schäden an Dacheindeckungen verursachen können. Dabei wird die additive Wirkung des Unterdrucks im Wirbel und der durch den atmosphärischen Wind verursachten Sogwirkung analysiert. Basierend auf derselben 10-jährigen Windstatistik wie im ersten Gutachten aus dem etwa 20 km entfernten Werl werden für die verschiedenen Flugzeugtypen die Wahrscheinlichkeiten für das Driften der Wirbelschleppen während ihres Absinkens und das entsprechende Überschreiten der Grenzünterdrücke für potentielle Schäden an Dacheindeckungen berechnet. Die daraus resultierenden Einzugsgebiete werden in eine Karte eingetragen.

#### **2.     *Die konkrete Situation in Dortmund, Datenlage und Methodik***

##### **2.1 Die Bebauung und das Gelände südwestlich des Flughafens**

Wir gehen als *worst-case*-Annahme von Dacheindeckungen mit kleinformatischen Ziegeln und großen Dachneigungen aus. Solche Dächer sind im Gebiet südwestlich des Flughafens Dortmund in einer Entfernung ab etwa 3.400 m von der Schwelle und im nördlichen Teil von Sölde an der Flügelstraße (südlich der BAB 1) häufig anzutreffen. Ansonsten liegen näher an der Schwelle Gewerbeeinheiten mit Flachdächern und landwirtschaftlich genutzte Flächen.

Das Gelände südwestlich des Flughafens ist orografisch leicht gegliedert: Die Schwelle 06 selbst ist mit 129 m über NN im interessierenden Gebiet am niedrigsten gelegen, nach Südwesten entlang des Anflugweges steigt das Gelände bis zur Wohnbebauung relativ stetig bis auf etwa 152 m an und fällt im weiteren Verlauf wieder etwas ab. Diese Neigung des Geländes in Anflugrichtung wird bei der Berechnung der Anflughöhe berücksichtigt.

## 2.2 Die Berechnungen

Für die weiteren Parameter und die Berechnungsmethode verweisen wir auf das Gutachten vom 22.04.2020.

Auch hier werden die Anflüge aus Südwest (Landung auf Bahn 06) mit einem Gleitpfadwinkel von  $3^\circ$  und einer Schwellenüberflughöhe von 15 m angenommen, wodurch der Aufsetzpunkt 286 m hinter der Schwelle liegt. (Die Schwelle selbst liegt 300 m vom Rand der Piste entfernt.) Der Ursprung des verwendeten Koordinatensystems wird auf den Aufsetzpunkt der Bahn 06 gelegt.

Analysiert werden der Wirbelschleppentransport und -zerfall an 15 Gleitpfadpositionen  $(x, z) = (8586 \text{ m}, 450 \text{ m})$  bis  $(572 \text{ m}, 30 \text{ m})$  vor dem Aufsetzpunkt im Intervall von  $(\Delta x, \Delta z) = (572 \text{ m}, 30 \text{ m})$ .<sup>1</sup> Lateral zu den Gleitpfaden erstreckt sich die Untersuchung auf ein Gebiet zwischen  $-4000 \text{ m} \leq y \leq 4000 \text{ m}$  mit einer Schrittweite von  $\Delta y = 50 \text{ m}$ . Dabei repräsentiert jede Position  $(x, y)$  ein Gebiet von  $x - 286 \text{ m}$  bis  $x + 286 \text{ m}$  und von  $y - 25 \text{ m}$  bis  $y + 25 \text{ m}$ .

Berechnet wird die Häufigkeit, mit der für die gegebene Windstatistik bei einem Anflug der Grenzdruck für das Lösen unbefestigter Dachziegel aus dem Verbund von  $-380 \text{ Pa}$  ( $-0,0038 \text{ bar}$ ) an den oben beschriebenen Stützstellen unterschritten wird. Dabei ist es zweckmäßig die Häufigkeiten auf 100% der Landungen pro Anflugrichtung zu beziehen. Dazu müssen die Häufigkeitsverteilungen der Windsektoren aus der Windstatistik korrigiert werden: Anflüge auf die Bahn 06 finden statt, wenn der Wind zwischen einschließlich  $330^\circ$  und  $150^\circ$ , also in 36,7% aller Fälle weht (Korrekturfaktor als Kehrwert 2,72). Landungen mit Rückenwind gehen nicht in die Berechnungen ein.

---

<sup>1</sup> Die Zahlenwerte sind auf volle Meter gerundet.

### 3. Ergebnisse

Die resultierenden Einzugsgebiete für potentielle Dachschäden südwestlich der Bahn (Anflug 06) mit Unterschreitungen des Grenzdrucks sind im Bild 1 und im Anhang für Quoten über 0,01% (1 potentieller Schaden auf 10.000 Anflüge des jeweiligen LFZ-Typs) für die beiden Flugzeugmuster dargestellt.

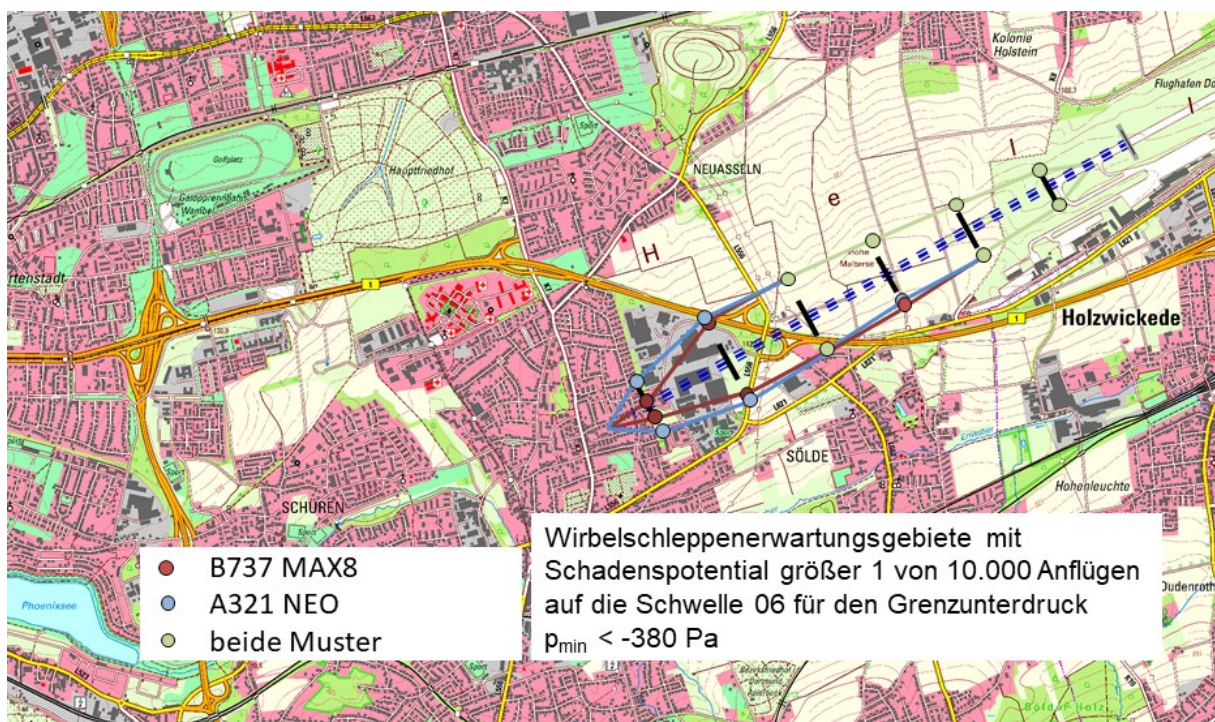


Bild 1. Wirbelschleppenerwartungsgebiete für die zwei untersuchten Flugzeugmuster bei Anflügen auf die Schwelle 06.

Die Wirbelschleppen beider untersuchter LFZ können im Bereich von der Schwelle bis 3.700 m vor der Schwelle so tief absinken, dass sie prinzipiell Dächer in jeder typischen Höhe unterhalb sowie bis zu 350 m nördlich und bis zu 300 m südlich des Anflugweges treffen und dabei Ziegel anheben können. Allerdings gibt es nur zwischen 3.400 m und 3.700 m (also an der sechsten schwarzen Stützstelle unseres Berechnungsgebietes plus einer halben Maschenweite) Dacheindeckungen, die von Wirbelschleppen erreicht und potentiell angehoben werden können: Westlich des Grünstreifens zwischen Gewerbe- und Wohngebiet bis etwa Ravensweg 13 und von da entlang einer Linie bis zum Ostende der Rörigstraße (südlich des Anflugweges) bzw. bis zur Verlängerung der Kaldernstraße am Grünstreifen (nördlich des Anflugweges).

ges). Außerdem ist auch der westliche Teil der Flügelstraße in Sölde-Nord potentiell betroffen.

Die Gebiete für die beiden LFZ-Muster bei Landungen auf der Schwelle 06 sind ähnlich. Nur an der sechsten Stützstelle weichen die lateralen Erstreckungen stärker voneinander ab: dort erstreckt sich das Gebiet nördlich und südlich des Anflugweges bis 200 m für die A321NEO, während für die B737MAX8 laterale Abstände von 50 m nördlich und 100 m südlich erreicht werden.

Wir stellen fest, dass sich das Wirbelschleppeneinzugsgebiet bei Anflügen auf die Bahn 06 um zwei Stützstellen weiter entlang des Anflugweges erstreckt (insgesamt 6 Stützstellen) als bei Anflügen auf die Bahn 24 (4 Stützstellen, siehe erstes Gutachten). Dies liegt an den unterschiedlichen Geländehöhen SW-lich und NO-lich des Flughafens: Der Höhenunterschied zwischen dem Anflugpfad in diesem Gebiet und dem Boden ist im SW (Anflug 06) ca. 50 m geringer als im NO (Anflug 24). Wirbelschleppen können also im SW in Abständen von etwa 2.600 m und 3.400 m von der Schwelle den Boden noch erreichen, während sie im NO in diesen Entfernungen bereits stärker zerfallen sind.

Wir stellen weiter fest, dass die seitliche Ausdehnung des Wirbelschleppeneinzugsgebietes für Anflüge auf die Landebahn 24 etwas größer ist als für Anflüge auf die Bahn 06. Dies liegt zum einen an den tendenziell stärkeren Windgeschwindigkeiten aus südwestlichen Richtungen, die zu einer größeren seitlichen Drift der Wirbel bei Anflügen auf Bahn 24 führen, und zum anderen an den wegen des abfallenden Geländes im NO größeren Absinkhöhen, die ebenfalls eine stärkere seitliche Wanderung der Wirbel ermöglichen.

#### **4. *Fazit***

In dem vorliegenden Gutachten wurden in Ergänzung unseres Gutachtens vom 22.04.2020 die Wirbelschleppenerwartungsgebiete am Flughafen Dortmund für die zwei Luftfahrzeugmuster B737 MAX8 und A321 NEO bei Anflügen auf die Schwelle 06 berechnet. Das Wirbelschleppenerwartungsgebiet ist definiert als der Bereich unterhalb und seitlich des Anflugweges, in dem die Wirbel der untersuchten LFZ-Muster tief genug absinken, um in die Nähe von Dächern mit typischen Bebauungshöhen zu gelangen und das Potential haben, einen unbefestigten Dachziegel aus dem Verbund zu lösen. Begrenzt werden die Gebiete durch den Wahr-

scheinlichkeitswert 0,01% (also 1 von 10.000 Anflügen). Es ist dabei zu beachten, dass generell alle Gebäude in dem Erwartungsgebiet von einer Wirbelschleppe getroffen werden können, wobei die entsprechende Wahrscheinlichkeit mit der Gebäudehöhe ansteigt.

Die Untersuchungen zeigen, dass sich die Größen der Treffergebiete für die beiden LFZ-Muster nur gering unterscheiden. Die unterschiedlich großen Einzugsgebiete bei Anflügen auf Bahn 06 oder Bahn 24 resultieren im Wesentlichen aus dem von SW nach NO abfallenden Gelände. Es liegt in der Natur der Wirbelschleppen begründet, dass sich ihr Verhalten in der Atmosphäre und die sich daraus eventuell ergebenden Schäden nicht genau vorhersagen lassen. Das trifft insbesondere auch auf die Wechselwirkung der Wirbelschleppe mit Dächern zu. Daher haben wir zum einen einen statistischen Ansatz gewählt, um Wahrscheinlichkeitsaussagen zu möglichen Schäden machen zu können, und andererseits dort eine Reihe konservativer Annahmen getroffen, wo genaue Angaben oder Zusammenhänge nicht bekannt sind.

Wir wiederholen unsere Betonung aus dem ersten Gutachten, dass ein potentieller Schaden bei 10.000 Anflügen nicht bedeutet, dass dann auch Ziegel aus dem Dachverband herausgelöst werden, sondern dass die Wirbelschleppen aus physikalischen und geometrischen Gründen das Potential dazu haben. Ob Ziegel tatsächlich herausgelöst werden, hängt von der Gestalt und Kohärenz des Wirbels, wie er auf das Dach trifft und von der Art und dem Zustand der Dachdeckung ab. Tatsächlich eintretende Dachschäden sind statistisch also noch weniger wahrscheinlich als die hier berechneten potentiellen Schäden.

München und Utting, im August 2021



Dr. Thomas Gerz



Dr.-Ing. habil. Frank Holzäpfel

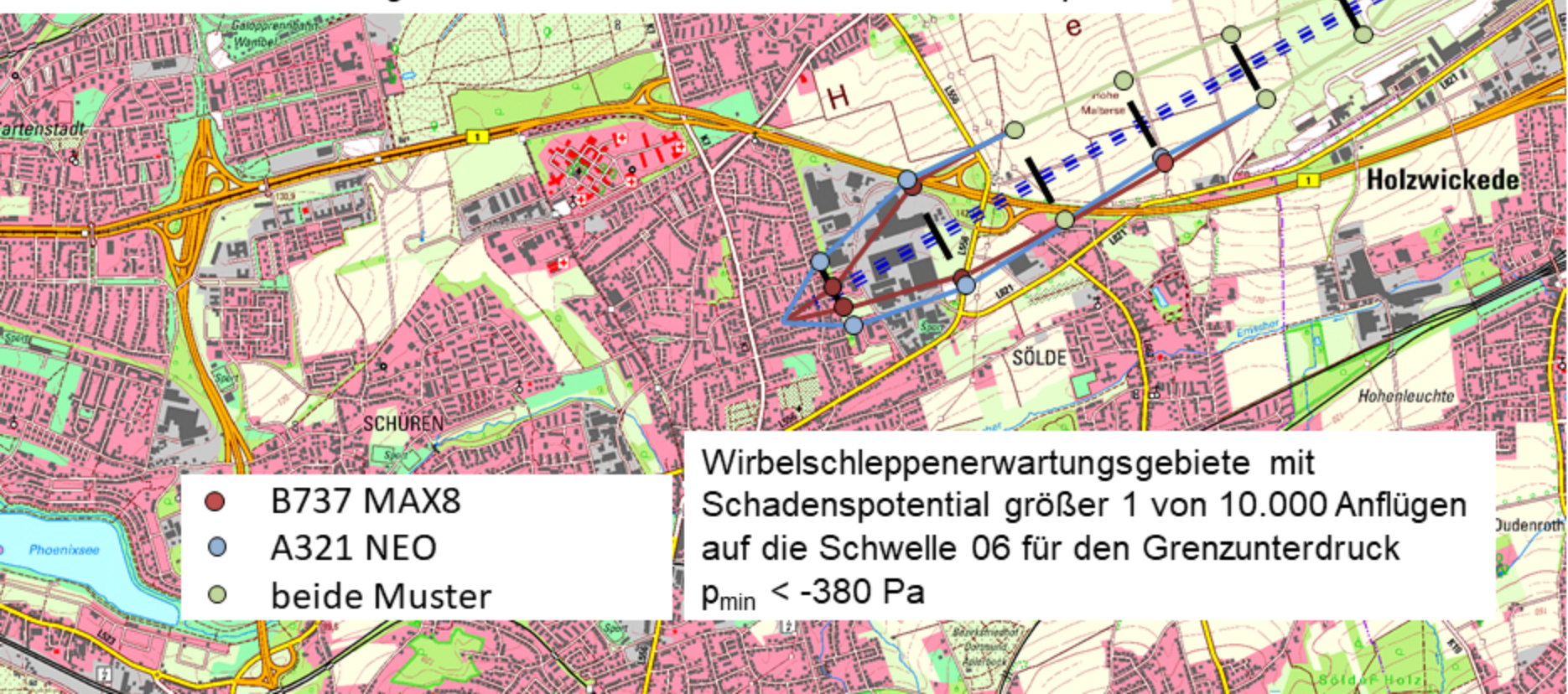
Anhang:

1 Karte



24. 08. 2021 Gutachten zur  
Auswirkungen von Wirbelschleppen auf  
Dächer SW-lich des Flughafens Dortmund

Dr. Thomas Gerz  
Dr. Frank Holzäpfel



- B737 MAX8
- A321 NEO
- beide Muster

Wirbelschleppenerwartungsgebiete mit  
Schadenspotential größer 1 von 10.000 Anflügen  
auf die Schwelle 06 für den Grenzunterdruck  
 $p_{\min} < -380 \text{ Pa}$