

NLR-TN-AOSI-AAM-01, versie 1.0**AAN :** Robert Jense**OPGESTELD DOOR:**
P.J. van der Geest**ONDERWERP:**
Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport**FIRMA:**
Maastricht-Aachen Airport
AFDELING:
NLR-AOSI
CODE / ORDERNUMMER:
1488111
DATUM:
25 oktober 2018
PAGINA:
1 / 8

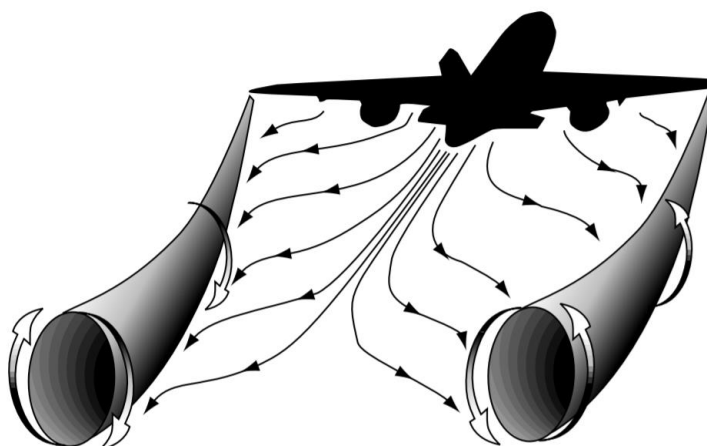
1. Inleiding

In de afgelopen drie jaar hebben zich rond de Maastricht-Aachen Airport een aantal gevallen voorgedaan, waarbij de zogturbulentie van overvliegende vliegtuigen schade heeft veroorzaakt aan de bebouwing onder de aanvliegtrajecten naar de luchthaven. Het betreft schade in de gemeenten Beek en Meerssen.

In opdracht van de luchthaven wordt in deze Technische Notitie een beknopte analyse gemaakt van het fenomeen zogturbulentie en de mate waarin dit tot woningschade kan leiden. Een zogenaamd "impact area" is gedefinieerd als gebied (gerelateerd aan de baankop) waarbinnen zich mogelijk woningschade kan voordoen als gevolg van zogturbulentie. Dit gebied is afgeleid vanuit eerdere onderzoeken. Verder is onderzocht of bekende schadegevallen in buurt van Maastricht-Aachen Airport zich binnen dit gebied bevinden. Tenslotte wordt ingegaan op de mogelijkheden van potentiële maatregelen om de effecten van zogturbulentie en de kans op gerelateerde schade te verminderen.

2. Wat is zogturbulentie?

Het verschijnsel dat tot zogturbulentie, achter en onder vliegtuigen, leidt wordt veroorzaakt door de luchtkrachten die op het vliegtuig werken om het gewicht te kunnen dragen. De hoge druk onder de vleugel drukt als het ware een bepaalde massa lucht onder de vleugel naar beneden om de draagkracht te genereren. Het gevolg is dat er buiten de vleugeltip eenzelfde hoeveelheid lucht weer omhoog stroomt. Dit leidt tot het vormen van een paar tegengesteld roterende wervels rond de vleugeltip, zoals aangegeven in onderstaande figuur.



(VERVOLG)**ONDERWERP:**

Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport

DATUM:

25 oktober 2018

PAGINA:

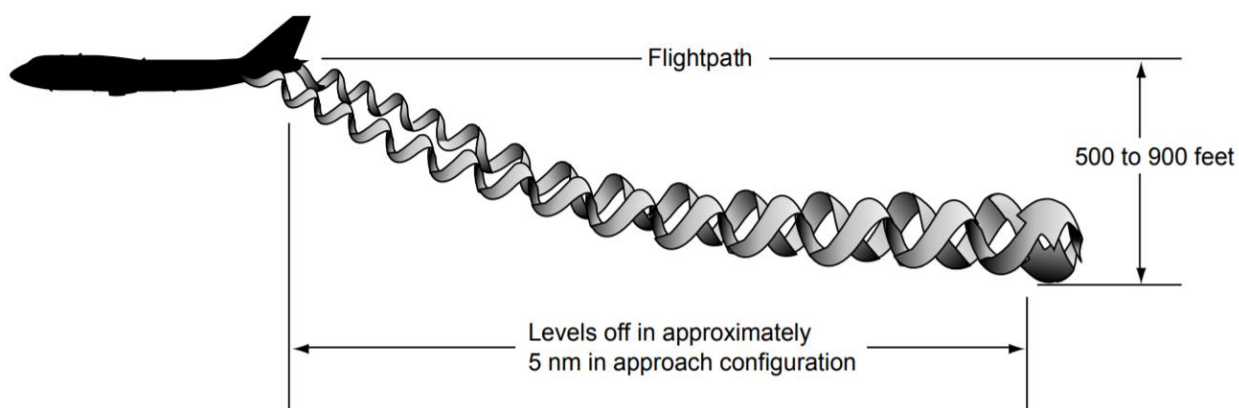
2 / 8

Deze tipwervels kunnen zeer krachtige drukverschillen veroorzaken, die mogelijk een gevaar kunnen opleveren voor vliegtuigen die erdoorheen vliegen. Dat is de reden dat er bepaalde minimale afstanden bestaan (zowel horizontaal als verticaal) tussen vliegtuigen onderling.

De sterkte van de tipwervels wordt voornamelijk bepaald door het gewicht van het vliegtuig (hoe zwaarder het vliegtuig hoe meer lucht verplaatst moet worden), de vliegsnelheid (de wervelsterkte is omgekeerd evenredig met de snelheid) en de spanwijdte van het vliegtuig (grotere spanwijdte leidt tot sterkere wervels). Om deze reden genereren zware en grote vliegtuigen de hevigste zogturbulentie, waarbij het effect het grootst is bij lage snelheid (en dus in eindnadering).

De tipwervels zakken achter het vliegtuig naar beneden, en nemen in de tijd in sterkte af, als gevolg van de interactie met de omringende (ongestoorde) lucht. De snelheid van de afname is daarbij sterk afhankelijk van de atmosferische omstandigheden (met name de windsterkte, turbulentieniveau en stabiliteit van de atmosfeer). In het algemeen geldt dat in zeer rustige weersomstandigheden (stabiele atmosfeer en weinig wind - minder dan ongeveer 5 knopen), de wervelsterkte in ongeveer 50 seconden halveert. Onder minder gunstige omstandigheden (sterkere wind en turbulentie) neemt de halveringstijd toe tot 10 tot 20 seconden.

De snelheid waarmee de tipwervels naar beneden zakken is initieel in de orde van 3 tot 4,5 meter/seconde, en neemt als functie van de tijd af naar nul. Dit betekent dat tipwervels tot ongeveer 900 voet beneden het vliegtuig nog enige sterkte kunnen hebben. Beneden 900 voet (275 meter) wordt de wervelsterkte in het algemeen als verwaarloosbaar beschouwd. Dit wordt geïllustreerd in onderstaande figuur.



Wanneer het vliegtuig zich dichtbij de grond (minder dan 1000 voet) zal het zakken van de tipwervels uiteindelijk worden tegengehouden door de grond. In dat geval zullen de tipwervels, wanneer zij ongeveer een hoogte van één spanwijdte boven de grond hebben bereikt, in tegengestelde richting langs de grond van elkaar weglopen, met een snelheid van ongeveer 1,5 – 2 m/s. Tegelijkertijd neemt de wervelsterkte snel af als gevolg van de interactie met de grond. Omdat de wervels zich lateraal verplaatsen met de snelheid van de dwarswind,

(VERVOLG)

ONDERWERP:

Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport

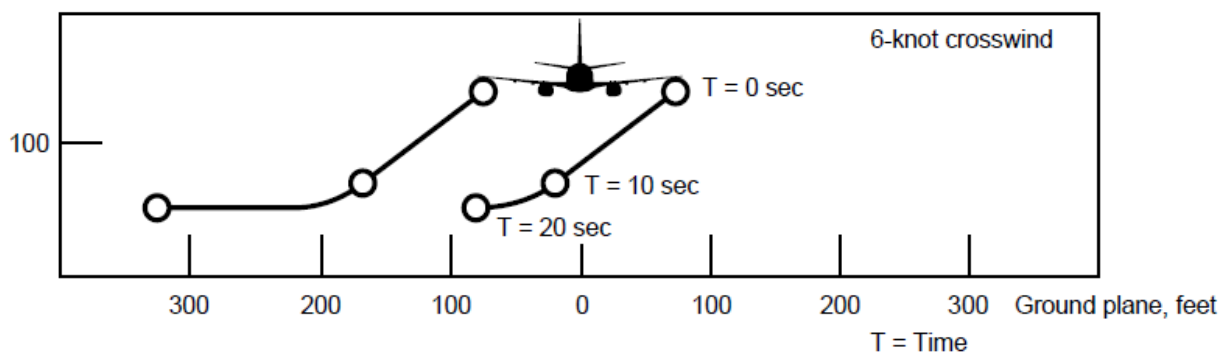
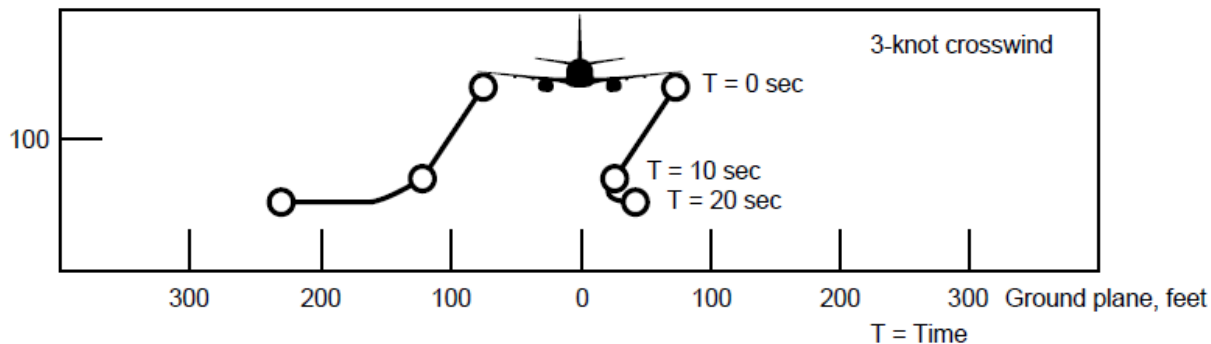
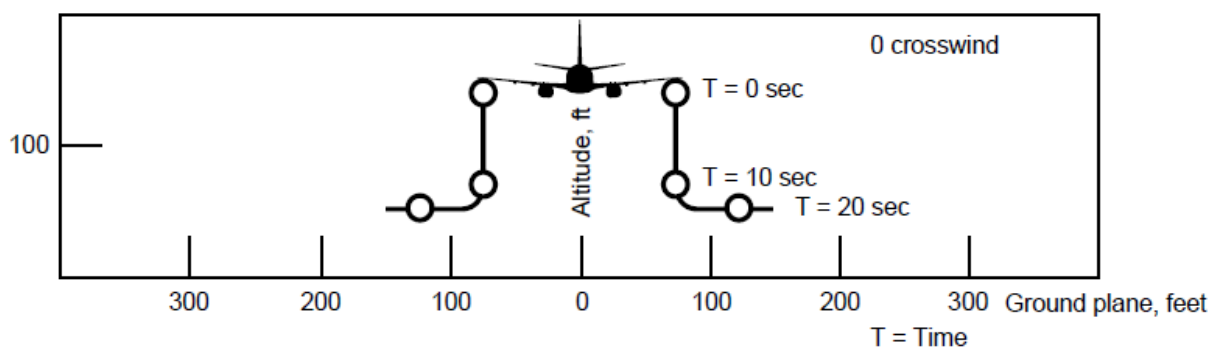
DATUM:

25 oktober 2018

PAGINA:

3 / 8

is het mogelijk dat bij een bepaalde dwarswind één van de tipwervels ongeveer stationair ten opzichte van de grond blijft. Dit wordt geïllustreerd met de onderstaande figuur.



(VERVOLG)**ONDERWERP:**

Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport

DATUM:

25 oktober 2018

PAGINA:

4 / 8

2. Zogturbulentie en woningschade

Zoals hiervoor aangegeven zakken tipwervels naar beneden, en kunnen zij tijdens de eindnadering (vanaf een hoogte van minder 1000 voet) in aanraking komen met de grond, en in het geval van bebouwing is het mogelijk dat dat tot schade kan leiden. Normaliter maken commerciële vliegtuigen zogenaamde precisienaderingen voor het landen op een luchthaven (met behulp van het Instrument Landing System (ILS)), zoals ook op Maastricht-Aachen Airport het geval is. In dat geval vliegen de vliegtuigen een recht eindnaderingspad, met een daalhoek van 3 graden naar de landingsbaan. Omdat een wervel beneden 1000 voet een significante sterkte kan hebben, geldt dat tot een afstand van circa 5,5 kilometer voor de baan een wervel in principe waarneembaar zou kunnen zijn op de grond, beneden het aanvliegtraject. De vraag is echter of op deze maximale afstand de wervelsterkte nog zodanig zou kunnen zijn dat er schade aan bebouwing zou kunnen optreden. En zo niet, op welke afstand van de baan er mogelijk wel schade zou kunnen ontstaan. Het NLR heeft deze vragen in een eerder project, in opdracht van het Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung nader onderzocht in het kader van mogelijke woningschade in de buurt van de luchthaven van Frankfurt. Het belangrijkste doel van deze studie was het evalueren of een door het Ministerie gedefinieerde "impact area" voldoende dekkend was voor het gebied waarin schade aan woningen door tipwervels in principe zou kunnen plaatsvinden. Het hierover uitgebrachte rapport¹ is confidentieel en er kan niet direct uit gekopieerd worden. Desondanks zijn de onderliggende beschouwingen wel relevant voor de huidige studie.

Allereerst is onderzoek gedaan naar het niveau van wervelsterkte, waarbij mogelijk schade aan woningen kan ontstaan. Hiervoor is gebruik gemaakt van resultaten van een Engels rapport², waarin de onderdruk in wervels gemeten is en gecorreleerd met schade aan woningen. Schade aan woningen betreft hier schade aan daken, en dan met name het afwaaien of verschuiven van dakpannen. Er is daarbij uitgegaan van een standaard dakpan (230 x 380 mm) met een gewicht van 2,4 kg. Er is ongeveer een onderdruk nodig van 270N/m² om de dakpan door aerodynamische krachten te kunnen oplichten en te verschuiven. Omdat de meeste dakpannen gedeeltelijk over elkaar gelegd zijn, zal in de praktijk een iets hogere druk nodig zijn om schade te veroorzaken. Uit de metingen is gebleken dat de meeste tipwervels, op het moment van het bereiken van de grond, een sterkte tussen de 150 en 200 N/m² hadden. Maar in sommige gevallen werd tussen 500 en 700 N/m² gemeten, met uitschieters naar 1000 N/m². Hieruit kan geconcludeerd worden dat het zeker niet onmogelijk is dat tipwervels dakpannen van daken kunnen afblazen.

De vraag is in welk gebied voor de baan de wervelsterkte nog voldoende sterk is, zodanig dat zich schade kan voordoen? Voor de Luchthaven van Frankfurt wordt een gebied gebruikt, dat zich uitstrekt tot 7 km vanaf de baandrempel. Dit gebied is trapeziumvormig van vorm met een breedte van 210 meter op de baandrempel, en met een divergentie van 2,4 graden van de middenlijn van de baan. Op 7 km van de baan is de breedte van het gebied dan 797 meter. Op 7 km voor de baan heeft een vliegtuig dat een standaard instrumentnadering uitvoert, met behulp van het Instrument Landing Systeem, een minimale hoogte van 1100 voet (338 meter) boven de baanhoogte, met een maximale afwijking van ongeveer 62 voet (19 meter).

De gedachte achter de dimensionering van de "impact area" was dat vanaf een hoogte beneden 1100 voet boven de grond een tipwervel van een groot/middelgroot vliegtuig, dat onder gunstige omstandigheden naar de grond zakt, voldoende krachtig zou kunnen zijn om schade te kunnen veroorzaken.

Aan het NLR is gevraagd de omvang van de "impact area" te verifiëren. Hiertoe heeft het NLR zogenaamde Monte Carlo simulaties uitgevoerd met verschillende vliegtuigtypes, waaronder een Boeing 777-300, Boeing 757-200 en een Fokker 100. Hierbij zijn de weersomstandigheden (wind, turbulentie en atmosferische

¹ NLR-CR-2013-535, Evaluation of Wake Turbulence Impact Area Around Frankfurt Airport

² Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, No.52, The effects of trailing vortices on house roofs, P. Blackmore, 1994

(VERVOLG)**ONDERWERP:**

Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport

DATUM:

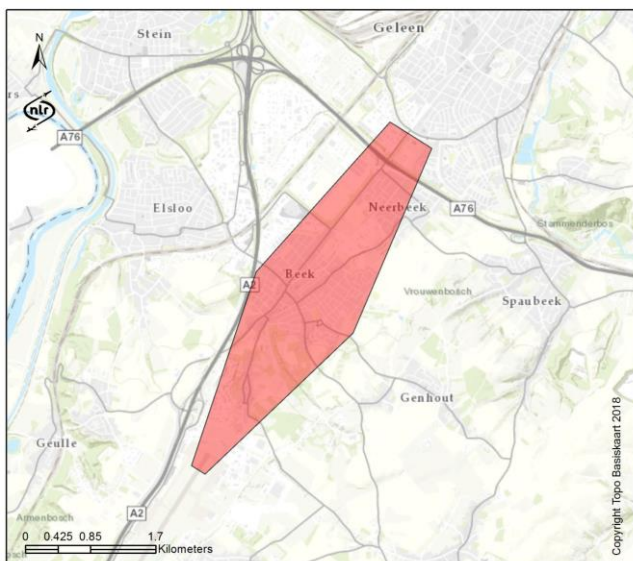
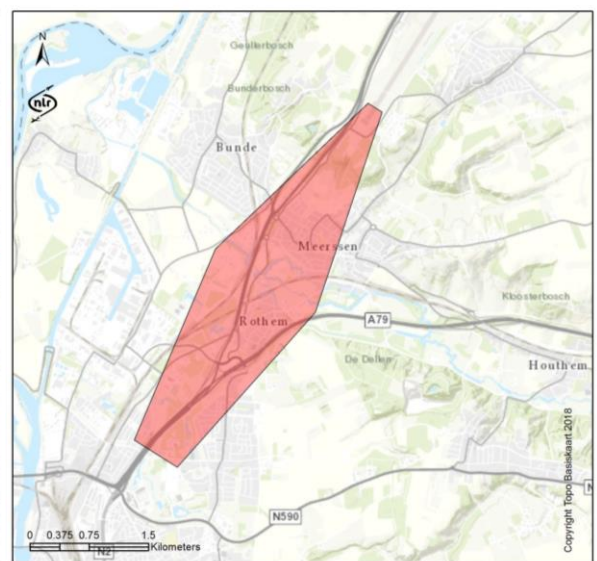
25 oktober 2018

PAGINA:

5 / 8

stabiliteit) willekeurig gevarieerd in overeenstemming met de weersomstandigheden in Frankfurt. Tevens zijn de landingstrajecten gesimuleerd overeenkomstig de te verwachten spreiding op het eindnaderingspad. Vervolgens zijn 20,000 naderingen gesimuleerd, en is voor iedere nadering berekend hoe de tipwervels zich in de tijd ontwikkelen en in de ruimte verplaatsen.

Uit deze simulaties is naar voren gekomen dat tot een afstand van ongeveer 5,2 km van de baandremmel de tipwervels een onderdruk van 270 N/m^2 kunnen veroorzaken op de hoogte van de bebouwing. Deze druk wordt als de minimale druk beschouwd die een enkele dakpan kan liften en verschuiven. Een onderdruk van 540 N/m^2 wordt als een druk beschouwd waardoor significante schade aan een dak met over elkaar liggende dakpannen kan ontstaan. Uit de simulaties is naar voren gekomen dat deze waarde bereikt kan worden op iets meer dan 3 km van de baan. Ook laten de simulaties zien dat de tipwervels zich lateraal buiten de aangenomen "impact area kunnen bewegen". Hierbij speelt een complex fenomeen een rol. Er is dwarswind nodig om een tipwervel lateraal te transporteren, maar anderzijds neemt met toenemende wind de turbulentie toe, waardoor de tipwervel sneller zal verzwakken. De combinatie van beide fenomenen bepaalt tot waar een significante tipwervel lateraal zou kunnen reiken. Uit de simulaties blijkt dat gekozen "impact area" te smal is om alle significante tipwervels te kunnen omvatten. Het blijkt dat tipwervels met een onderdruk van 270 M/m^2 nog tot circa 750 meter van de middenlijn op een afstand van ongeveer 2,6 km van de baandremmel kunnen voorkomen. Op basis van deze informatie kan een aangepaste "impact area" worden geschetst, die tenminste alle tipwervels met een onderdruk van 270 M/m^2 bij het bereiken van de grond omvat. Deze contour is geprojecteerd op een kaart van de omgeving van Maastricht.

Maastricht Aachen Airport RWY21**Maastricht Aachen Airport RWY03**

Hierbij moet voor de goede orde worden vermeld dat dit is gebaseerd op weergegevens van de Luchthaven van Frankfurt. Aangenomen is dat mogelijke andere weersomstandigheden op de Maastricht-Aachen Airport geen significant effect hebben op deze resultaten. Mogelijk heeft het wel een effect op de waarschijnlijkheden waarmee een tipwervel van een bepaalde sterkte kan ontstaan, maar niet zozeer op de contour zelf.

(VERVOLG)

ONDERWERP:

Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport

DATUM:

25 oktober 2018

PAGINA:

6 / 8

3. Woningschade rond de luchthaven

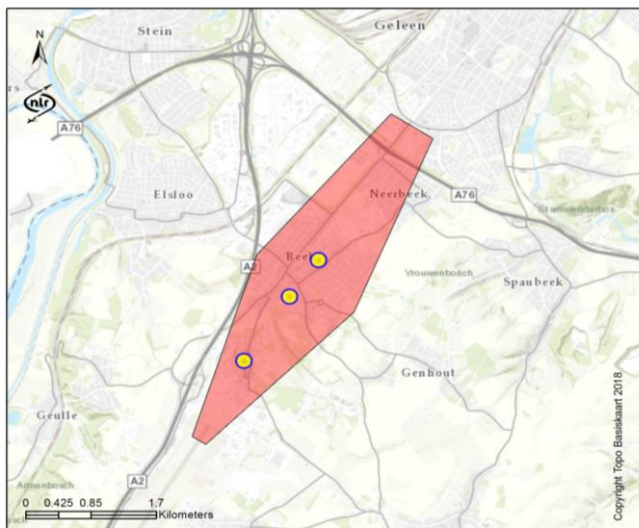
Door de luchthaven zijn gegevens aangeleverd van woningschade die in het verleden mogelijk is veroorzaakt als gevolg van overvliegende vliegtuigen.

Het betreft de volgende gevallen, die in de volgende tabel zijn weergegeven. Hierbij is tevens aangegeven wat de afstand tot de baandrempel en tot de middenlijn van de baan is, op de betreffende plaatsen. Voor zover bekend is ook het vliegtuigtype opgenomen.

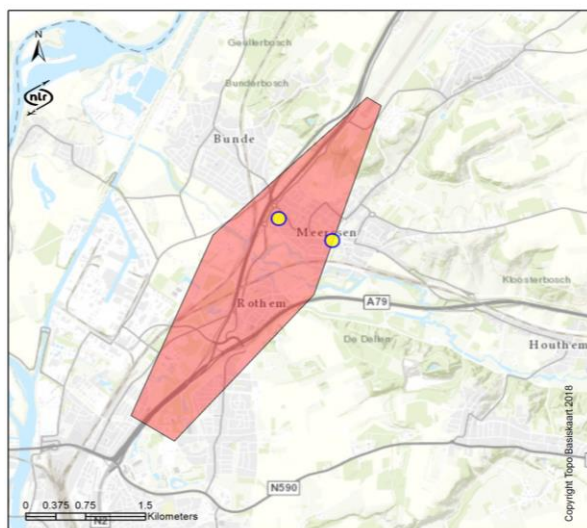
Adres	Jaar	Baan	Vliegtuigtype	Afstand tot Baandrempel [m]	Afstand tot middenlijn [m]
Sonsbeeklaan, Beek	2016	21	??	2960	25
Weeterbroekplantsoen, Meerssen	2018	03	Boeing B777	1970	166
Bunderstraat, Meerssen	2018	03	Boeing B777	1860	558
Geverikerstraat, Beek	2018	21	Boeing B737-800	1250	92
Gundelvingenstraat, Beek	2018	21	Airbus A310	2330	75

De bekende schade gevallen zijn weer gegeven in onderstaande figuur samen met de geschetste "impact area"

Maastricht Aachen Airport RWY21



Maastricht Aachen Airport RWY03



Uit de tabel blijkt dat in de meeste gevallen de schade is veroorzaakt door zware, wide-body, vliegtuigen. In alle gevallen bevinden de schadegevallen zich binnen de "impact area". In één geval (Bunderstraat, Meerssen) ligt het schadegeval net op de rand van het gebied. Dit betekent dat de kans op schade op deze plek relatief laag is, maar dus niet geheel onmogelijk. De andere gevallen hebben plaatsgevonden dicht bij de middenlijn van de baan. Hier is de kans ook relatief gezien het hoogst. In één geval is de schade veroorzaakt door een middelgroot vliegtuig (Boeing B737-800). In dit geval vond de schade, zoals te verwachten, relatief dicht bij de baandrempel plaats. De contour van de "impact area" wordt namelijk bepaald door grote vliegtuigen, zoals een Boeing B777.



(VERVOLG)

ONDERWERP:

Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport

DATUM:

25 oktober 2018

PAGINA:

7 / 8

3. Mogelijke maatregelen

De vraag is welke maatregelen genomen kunnen worden om schade aan bebouwing te voorkomen.

Hierbij zijn in principe een aantal maatregelen denkbaar:

1. Lateraal andere routes vliegen, zodat bebouwing zoveel mogelijk buiten de impact area blijft.
2. Hoger aanvliegen zodat de tipwervels zwakker zijn wanneer zij de grond bereiken.
3. Het baangebruik zo aanpassen dat de kans op schade verminderd wordt (door een preferente baan vaker te gebruiken).
4. De sterkte van tipwervels bij de bron (vliegtuig) zelf verminderen.

Deze mogelijk maatregelen worden hieronder nader besproken.

Laterale route aanpassing

Het probleem met de tipwervels doet zich voor ruwweg vanaf 5 km van de baandrempel. Het vliegtuig bevindt zich daar ongeveer op 800 voet boven de luchthaven. Op deze hoogte is het vliegtuig voorbij de zogenaamde Final Approach Fix en moet het vliegtuig stabiel en recht voor de baan zijn. Bochten dit segment van de eindnadering zijn niet toegestaan. Om deze reden zijn laterale aanpassingen van de route niet mogelijk. Deze optie biedt dus geen mogelijkheid om de kans op schade door zogturbulentie te verminderen.

Steiler naderen

De dalhoek voor de naderingsprocedures, zowel voor baan 03 als baan 21 bedraagt 3°. Dit is de standaard dalhoek, zoals door ICAO (de International Civil Aviation Organization) wordt aanbevolen. ICAO geeft aan dat het om operationele redenen niet verstandig is hiervan af te wijken. Vliegers zijn namelijk tijdens de eindnadering gewend aan een bepaald baanperspectief, waarmee zij een redelijke schatting van de afstand en hoogte tot de baan kunnen maken, wanneer zij op zicht het laatste stuk van de eindnadering uitvoeren. Desondanks, is het mogelijk om de dalhoek iets te verhogen, in de orde van maximaal een halve graad. Er zijn luchthavens die een iets steiler naderingspad gebruiken om bijvoorbeeld voldoende obtstakelklaring te kunnen realiseren. Er zijn geen luchthavens bekend waar dit gebeurt om reden van vermindering van de kans op schade door zogturbulentie.

De opbrengst is in principe ook redelijk gering. Door bijvoorbeeld de dalhoek tot 3,5° te verhogen wordt vooral de lengte van de "impact area" verminderd. Ruwweg zou de lengte dan verminderen met 500 meter tot circa 4700 meter.

De breedte van de "impact area" zou niet significant anders zijn. Een dergelijke verkleining van de "impact area" zou echter geen effect hebben voor de bebouwing in Beek en Meerssen. Hooguit zou de kans op schade een fractie kleiner worden. De effectiviteit van deze maatregel is dus zeer beperkt, en weegt niet op de operationele consequenties (en ook de kosten die gepaard zouden gaan met het ontwerp en publicatie van nieuwe naderingsprocedures). Deze optie lijkt dus geen realistische mogelijkheid.

Baangebruik aanpassen

In het geval dat het probleem zich voornamelijk aan één kant van de baan zou voordoen, zou overwogen kunnen worden om de baanrichting met de laagste kans van voorkomen op schade, als preferente baanrichting te beschouwen. Deze baan zou dan zoveel mogelijk gebruikt moeten worden, indien de weersomstandigheden dit toelaten. Omdat echter aan beide kanten van de baan bebouwing bestaat (Beek aan de ene kant en Meerssen aan de andere kant) is er geen sprake van een preferente richting. Schadegevallen doen zich aan beide zijden voor. Dit betekent dat deze optie geen oplossing biedt.



(VERVOLG)

ONDERWERP:

Woningschade door zogturbulentie vliegtuigen, Maastricht-Aachen Airport

DATUM:

25 oktober 2018

PAGINA:

8 / 8

Zogturbulentie verminderen

Zoals uit Hoofdstuk 2 blijkt is het niet eenvoudig om de mate van zogturbulentie aan de bron te verminderen. Het is immers voornamelijk het gewicht van het vliegtuig dat bepalend is voor de mate van zogturbulentie. Zoals ook aangegeven, is er ook een effect van de snelheid, waarbij een hogere snelheid tot een lager niveau van zogturbulentie zal leiden. De mogelijkheid om tijdens de eindnadering de snelheid te variëren is echter beperkt. De naderingssnelheid wordt bepaald door het gewicht van het vliegtuig en de gebruikte stand van de kleppen. Voor een Boeing B777 is de naderingssnelheid, bij een typisch landingsgewicht van 200 ton, 140 knopen met klepstand 30 en 147 knopen met klepstand 25. De snelheid neemt dus met 5% toe bij een lagere klepstand, en dit resulteert ruwweg tot 5% lagere wervelsterkte. De kans op schade zal hierdoor dus lager worden. Door niet met de volledige klepstand te naderen neemt ook de vereiste baanlengte toe, en is het mogelijk dat een groot vliegtuig niet meer voldoende heeft aan de beschikbare baanlengte. Een Boeing B777 heeft echter in principe, bij een typisch landingsgewicht van 200 ton, voldoende aan de beschikbare baanlengte op Maastricht-Aachen Airport, bij klepstand 25.

In principe is het dus mogelijk om naderende vliegtuigen te verzoeken niet met de maximale klepstand te naderen. De opbrengst in termen van vermindering van zogturbulentie zal echter beperkt zijn en zal zeker niet voldoende zijn de kans op schade binnen de "impact area" naar nul te brengen.

4. Conclusies

Op basis van de analyse in deze notitie kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- Een groot gedeelte van de bebouwing in Meerssen en Beek ligt binnen de contour waarbinnen mogelijke woningschade kan ontstaan door vliegtuigen die naderen op respectievelijk baan 03 en baan 21.
- De kans op woningschade wordt sterk beïnvloed door de heersende weersomstandigheden. De grootste kans bestaat bij een windsterkte van circa 5 knopen of minder, bij een stabiele atmosfeer.
- De grootste kans op schade doet zich voor rond de verlengde middenlijn van de baan, maar tot een afstand van 750 meter is schade denkbaar.
- Een aantal maatregelen zijn denkbaar om de kans op woningschade door zogturbulentie te verminderen:
 - Laterale route aanpassing: dit is niet mogelijk voor vliegtuigen op het eindnaderingspad
 - Steiler naderen: hiervan zijn de mogelijkheden beperkt, in verband met de aanbevolen dalhoek. Een kleine verhoging van de dalhoek zou vooral verder weg van de luchthaven enig positief effect hebben. Voor de bebouwing in Meerssen en Beek lijkt de opbrengst gering en weegt niet op tegen de operationele (vliegtechnische) nadelen.
 - Baangebruik aanpassen: omdat de bebouwing zich aan beide baaneinden bevindt, zal het toepassen van baanpreferentie het probleem alleen verschuiven en niet oplossen.
 - Zogturbulentie verminderen: een kleine verbetering kan worden verkregen door vliegtuigen niet met de maximale klepstand te laten landen. De opbrengst hiervan is naar verwachting echter gering.

Op basis van de bovenstaande observaties luidt de hoofdconclusie, dat het verminderen van de kans op woningschade bij de Maastricht-Aachen Airport door zogturbulentie niet of nauwelijks mogelijk is met realistische en uitvoerbare maatregelen.