Dedicated to innovation in aerospace

innovation for life

OPENBAAR

NLR-CR-2016-167 | juni 2016

Een onderzoek naar de rol van "rattle noise" bij hinder door helikoptergeluid

Publieksrapport

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Defensie

NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het NLR is een toonaangevend, mondiaal opererend onderzoekscentrum voor de lucht- en ruimtevaart. Met zijn multidisciplinaire expertise en ongeëvenaarde onderzoeksfaciliteiten, levert NLR innovatieve, integrale oplossingen voor complexe uitdagingen in de aerospace sector.

De werkzaamheden van het NLR beslaan het volledige spectrum van Research Development Test & Evaluation (RDT&E). Met zijn kennis en faciliteiten kunnen bedrijven terecht bij het NLR voor validatie, verificatie, kwalificatie, simulatie en evaluatie. Zo overbrugt het NLR de kloof tussen onderzoek en toepassing in de praktijk. Het NLR werkt zowel voor overheid als industrie in binnen- en buitenland.

Het NLR staat voor praktische en innovatieve oplossingen, technische expertise en een lange termijn ontwerpvisie. Hierdoor vindt NLR's cutting edge technology zijn weg naar succesvolle lucht- en ruimtevaartprogramma's van OEM's zoals Airbus, Embraer en Pilatus. Het NLR draagt bij aan (defensie)programma's zoals ESA's IXV re-entry voertuig, de F-35, de Apache-helikopter en Europese programma's als SESAR en Clean Sky 2.

Opgericht in 1919 en met 650 betrokken medewerkers, realiseerde het NLR in 2014 een omzet van 73 miljoen euro. Driekwart hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

Voor meer informatie bezoek: **www.nlr.nl**

Dedicated to innovation in aerospace

innovation for life

NLR-CR-2016-167 | juni 2016

Een onderzoek naar de rol van "rattle noise" bij hinder door helikoptergeluid

Publieksrapport

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Defensie

AUTEUR(S):

G.D.R. Zon NLR
S.A. Janssen TNO

NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de eigenaar.

OPDRACHTGEVER	**Ministerie van Defensie**
CONTRACTNUMMER	**001.15.1011.01**
EIGENAAR	**Ministerie van Defensie**
NLR DIVISIE	**Aerospace Operations**
VERSPREIDING	**Onbeperkt**
RUBRICERING TITEL	**ONGERUBRICEERD**

GOEDGEKEURD DOOR:																		
AUTEUR							**REVIEWER**						**BEHERENDE AFDELING**					
G.D.R. Zon / S.A. Janssen							T.A. van Veen						P. Eijssen					
DATUM	0	1	0	6	1	6	DATUM	0	1	0	6	1	6	DATUM	0	2	0	6	1	6

Samenvatting

Dit rapport is een vereenvoudigde versie van het rapport: *Een onderzoek naar de rol van "rattle noise" bij hinder door Helikoptergeluid* (NLR-CR-2014-392).

Helikoptergeluid kan gepaard gaan met “rattle noise”, rammelend geluid in de woning veroorzaakt door trillingen of geluid met lage tonen. Dit rapport beschrijft achtereenvolgens wat precies onder rattle noise wordt verstaan en hoe het NLR en TNO onderzocht hebben of rattle noise zorgt voor extra hinder door helikoptergeluid. Het onderzoek had als doel om een correctie voor rattle noise te bepalen die meegenomen kan worden in de geluidberekeningen. Deze geluidberekeningen worden gebruikt om rekening te houden met de hinder voor omwonenden, waarbij mogelijke hinder door rattle noise tot nu toe echter niet meegenomen werd. De correctie geeft aan hoeveel er bij de berekende geluidniveaus moet worden opgeteld om de extra hinder door rattle noise weer te geven, bovenop de geluidhinder die door het helikoptergeluid verwacht wordt. Die correctie gaat er als het ware van uit dat het helikoptergeluid met rattle noise, qua hinderlijkheid, vergelijkbaar is met een helikopter die harder geluid (zonder rattle noise) maakt.

Het rapport geeft ook aanbevelingen aan Defensie over hoe om te gaan met rattle noise en de woningen van bewoners die daar mogelijk hinder van ondervinden. Het voorstel is om in de geluidberekeningen een correctie van 6 decibel toe te passen op helikoptergeluiden vanaf een geluidniveau dat rattle noise kan veroorzaken.

Inhoudsopgave

Afkortingen en begrippen 7

1 Introductie 9
1.1 Wat is “rattle noise”? 9
1.1.1 Wat zijn bekende oorzaken van rattle noise? 9
1.1.2 Wordt rattle noise vergezeld door andere hoorbare geluiden of trillingen? 10
1.1.3 Helikoptergeluid 11
1.1.4 Geluidhinder 11
1.2 Waarom is het onderzoek uitgevoerd? 12
1.3 Wat wilden we met dit onderzoek te weten komen? 12
1.4 Wat is de eventuele betekenis van rattle noise voor bewoners rond Gilze-Rijen? 12
1.5 Verder lezen. 13

2 Methode 14
2.1 Welke onderzoeksmethode is gekozen, en waarom? 14
2.2 Wat gebeurde er in het onderzoek? 14
2.3 Wie waren proefpersonen? 14
2.4 Welke locaties en woningen? 15
2.5 Welke geluiden zijn gebruikt, en waarom? 16
2.6 Welke metingen zijn gedaan, en waarom? 16
2.7 Welke vragen zijn gesteld aan de proefpersonen en proefleider? 17
2.8 Hoe krijg je met deze gegevens antwoord op de onderzoeksvraag? 17

3 Uitkomsten van het onderzoek 19
3.1 Wat laten de geluidmetingen buiten en binnen zien? 19
3.2 In hoeverre kwam rattle noise voor op de drie locaties? 19
3.3 Zorgt rattle noise voor meer hinder door de helikoptergeluiden? 19
3.4 Welke persoonskenmerken gaan gepaard met extra hinder door helikopters? 20

4 Conclusies 21
4.1 Woningtypen 21
4.2 Ervaring van de proefpersonen 21
4.3 Rekenmodel 21
4.4 Eindconclusie 22
4.5 Aanbevelingen 22

5 Referenties 23

Afkortingen en begrippen

Afkorting / Begrip	OMSCHRIJVING
dB	Decibel, eenheid waarin geluidniveaus worden uitgedrukt. Het is een verhouding op een logaritmische schaal. Elke verhoging met 10 decibel betekent dat het geluid 2 maal zo hard klinkt.
Geluidbelasting	Jaargemiddelde geluidbelasting op leefniveau, uitgedrukt in kosteneenheid (Ke). Geluidbelasting wordt berekend op basis van het geluidniveau en het aantal vluchten dat in de periode van een jaar over een bepaald gebied komen.
Geluidniveau	Sterkte of intensiteit van geluid (van een individuele passage van een vliegtuig).
Ke	Kosteneenheid, eenheid voor de geluidbelasting rond militaire vliegvelden, die gerelateerd is aan de verwachte hinder. Het is de som van een aantal factoren die bepalend zijn voor de geluidbelasting, berekend over de periode van een jaar. Hierin worden bijvoorbeeld meegenomen: de geluidsproductie van vliegtuigen, en hoe vaak en op welke tijdstippen starts en landingen uitgevoerd worden.
NLR	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum; Netherlands Aerospace Centre
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek

This page is intentionally left blank.

1 Introductie

1.1 Wat is “rattle noise”?

Rattle noise is de Engelse vertaling van “geluid veroorzaakt door rammelen”. Hiermee wordt bedoeld het geluid dat ontstaat wanneer meubilair, servies, of andere objecten in een woning in beweging komen en daarbij tegen een ander object aantrillen.

1.1.1 Wat zijn bekende oorzaken van rattle noise?

Rammelen kan verschillende oorzaken hebben. Eigenlijk kunnen alle relatief harde voorwerpen die op een harde ondergrond staan of aan een harde muur hangen rammelen als je de muur of ondergrond laat trillen. Servies, (foto)lijstjes aan de muur of een bloemenvaas op een tafeltje zijn allemaal voorbeelden van zulke voorwerpen. Ook onderdelen van het huis zelf, zoals ramen die wat los in de sponningen zitten, kunnen soms rammelen.

1.1.1.1 Wat zijn de bronnen?

Soms ontstaat rattle noise terwijl je er zelf de oorzaak van bent. Bijvoorbeeld als je hard met de deur slaat kunnen er dingen in huis gaan rammelen. Ook wanneer je een dienblad met veel kopjes draagt, dan kan dat gaan rammelen. Soms ontstaat zo’n geluid door invloeden van buitenaf, bijvoorbeeld wanneer er een zware auto door de straat rijdt, en datzelfde dienblad wanneer het op een tafeltje staat daardoor gaat trillen.
Doorgaans zijn de trillingen relatief klein. Dat betekent dat ze hinderlijke geluiden in huis kunnen veroorzaken, maar dat ze verder geen schade veroorzaken aan gebouwen of voorwerpen. Dat wordt ook bevestigd in het openbaar literatuuronderzoek van TNO en NLR getiteld: “*Literatuurstudie “Rattle Noise” van helikopters*” (TNO 2013 R10188).
Een bijzondere oorzaak van rattle noise is hard en laag geluid. Het komt soms voor dat je een hard en laag geluid niet alleen kan horen, maar ook kan voelen. Je voelt het als een soort van trilling door je lichaam gaan. Dat kan bijvoorbeeld bij een popconcert, als je dicht voor de boxen gaat staan. Zo’n geluid kan voorwerpen in trilling brengen, wat op zich weer nieuwe geluiden veroorzaakt.
Dit fenomeen kan zich ook voordoen wanneer een helikopter, op lage hoogte, overvliegt (zie Figuur 1). Een helikopter kan vrij lage tonen produceren. Dat lage geluid van de helikopter kan voorwerpen beneden bij de grond (zoals de muren en dak van een huis) aan het trillen brengen. Deze trillende voorwerpen kunnen dan geluiden gaan maken, of weer andere voorwerpen aan het trillen brengen.

1.1.1.2 Situaties in en rond huis

Voorbeelden van voorwerpen die in een woning kunnen gaan meetrillen en waarbij rattle noise kan ontstaan zijn:

- Loszittende ramen in de sponningen;
- Fotolijsten aan de muur;
- Tafels of kasten;
- Harde voorwerpen in kasten;
- Vazen op tafel of vensterbank;
- Windhangers voor een raam;
- Pannen op het fornuis;
- Een sleutelbos in het slot van de deur.

Figuur 1: De helikopter rechts boven in beeld veroorzaakt geluidsgolven. Deze komen onder andere terecht op het dak en de gevel van het huis. Deze kunnen daardoor gaan trillen en daarbij geluid veroorzaken. Ze kunnen ook voorwerpen in huis, zoals servies in de kast of vazen op vensterbanken laten meetrillen, waar ook weer geluid door veroorzaakt kan worden.

1.1.2 Wordt rattle noise vergezeld door andere hoorbare geluiden of trillingen?

Rattle noise begint altijd met trillingen. Deze kunnen heel licht zijn en soms zelfs niet waarneembaar voor de mens. Denk bijvoorbeeld aan een metro die diep onder de grond rijdt, maar daarbij wel trillingen, via de grond, naar boven laat gaan. Zulke trillingen kunnen uiteindelijk ook rattle noise veroorzaken. Wanneer dat gebeurt, wordt het rammelende geluid van in trilling gebrachte voorwerpen ook voor de mens hoorbaar. Het gaat om een extra geluid dat veroorzaakt wordt door een andere bron dan die waar het geluid of de trilling direct vandaan komt, bijvoorbeeld een metro. Maar het kan ook door een overvliegende helikopter (zie Figuur 1). Naast trillingen kan de bron ook zelf geluid veroorzaken. Dus, in een omgeving waar rattle noise hoorbaar is, kan ook nog geluid van de bron zelf hoorbaar zijn.

1.1.3 Helikoptergeluid

Helikopters maken geluid doordat hun rotorbladen (wieken) met grote snelheid ronddraaien en ze daarbij lucht met veel kracht naar beneden stuwen. Daarnaast maakt ook de motor van een helikopter geluid, dat ook beneden op de grond hoorbaar is. De Chinook (zie afbeelding hieronder) is een zware transporthelikopter waarvan het geluid herkenbare lage tonen heeft.

Figuur 2: Chinook helikopter.

Deze karakteristieke lage tonen van de Chinook hebben als eigenschap dat ze beter doorgelaten worden door ramen en wanden dan de hogere tonen van een gewoon vliegtuig. Rattle noise wordt juist door die lage tonen veroorzaakt, dat kan zelfs als ze een relatief laag geluidniveau hebben (zacht zijn). En, hoe lager een helikopter vliegt hoe meer geluid (en dus ook lage tonen) op de muren en daken van de huizen terecht zal komen.

1.1.4 Geluidhinder

Geluidhinder is de beleving van verstoring of overlast door geluid, en is daarmee een subjectief fenomeen. Immers, wat voor de één lawaai is kan voor de ander een mooi popconcert zijn. Naast de subjectieve manier om geluid te beschrijven is er ook een objectieve manier. Het voordeel daarvan is dat het hierdoor meetbaar is en dat het relatief eenvoudig is aan te geven hoe zwaar iemand qua geluid belast wordt. Hiervoor gebruikt men rond militaire vliegvelden de Kosten-eenheid (afgekort: Ke). Uit eerder onderzoek is bekend hoeveel hinder er gemiddeld verwacht wordt bij een bepaalde geluidbelasting in Ke. Om bewoners in een bepaald gebied te beschermen tegen hinder door een te hoge dosis van geluidbelasting, is er regelgeving waarin aangegeven is met hoeveel Ke een gebied belast mag worden. In de berekening van Ke wordt o.a. rekening gehouden met: de geluidniveaus die een vliegtuig teweegbrengt, het aantal vluchten en de tijdstippen waarop gevlogen wordt. De eventuele bijdrage van rattle noise aan de hinder speelde hierbij tot nu toe geen rol. Zodra bewoners in een gebied met meer dan 40 Ke belast worden (dus binnen de 40 Ke contour vallen), is er reden te kijken naar geluidsisolerende maatregelen.

1.2 Waarom is het onderzoek uitgevoerd?

In het verleden is in Amerika (VS) onderzoek naar helikoptergeluid en rattle noise gedaan. Het bleek dat de mensen daar helikoptergeluid hinderlijker vonden indien er ook rattle noise optrad.

Vaak zijn Amerikaanse huizen anders gebouwd dan de Nederlandse. Amerikaanse huizen zijn vaak iets lichter, bijvoorbeeld doordat vaker hout gebruikt wordt, in plaats van steen of beton. Daardoor kunnen Amerikaanse huizen misschien gemakkelijker dan Nederlandse huizen meetrillen met het geluid dat een helikopter maakt. We kunnen dus niet zomaar aannemen dat de bevindingen uit Amerika ook voor Nederland gelden.

De vraag was of rattle noise ook in typisch Nederlandse huizen voor kan komen. Als dat zo zou zijn, wilden we ook weten hoe de hinder door rattle noise dan kan worden meegenomen in de geluidberekening. Immers, uit de berekeningen moet blijken hoeveel hinder door een geluid verwacht wordt. Het zou kunnen dat de hinder eigenlijk hoger is dan tot nu toe werd gedacht, omdat de hinder door rattle noise er nog bij opgeteld moet worden. Als dat zo is, dan zou kunnen worden gekeken naar een aanpassing van de geluidberekening.

1.3 Wat wilden we met dit onderzoek te weten komen?

Er zijn vier hoofdvragen die het onderzoek moet beantwoorden:

1. Bij welk geluidniveau, dat een Chinook-helikopter kan veroorzaken op de gevel van een woning, kan rattle noise optreden in huizen die in Nederland vaak voorkomen?
2. Zorgt rattle noise voor extra geluidhinder bij de mensen? En zo ja, hoeveel extra hinder of irritatie wordt door rattle noise veroorzaakt?
3. Hoe kan de geluidberekening gecorrigeerd worden als rattle noise optreedt?
4. In wat voor type woning (met welke bouwkenmerken) is rattle noise vooral te verwachten?

1.4 Wat is de eventuele betekenis van rattle noise voor bewoners rond Gilze-Rijen?

Mensen die wonen in wijken in de buurt van de vliegbasis Gilze-Rijen kunnen hinder ondervinden door overvliegende Chinook-helikopters. Om vast te stellen hoeveel hinder zo'n overvliegende helikopter mogelijk veroorzaakt wordt berekend hoe hard het helikoptergeluid is dat beneden woningen te horen is. Vervolgens wordt berekend hoeveel hinder bij bewoners daardoor veroorzaakt wordt. Als uit dit onderzoek blijkt dat rattle noise voor extra hinder zorgt, dan kan dit gebruikt worden om de bestaande methodiek om de geluidbelasting te berekenen aan te passen.

1.5 Verder lezen.

In 2013 is eerder door NLR en TNO een literatuurstudie naar rattle noise uitgevoerd. Die studie is belangrijk geweest voor de manier waarop het onderzoek dat hier beschreven wordt is uitgevoerd. Die literatuurstudie is te vinden op: https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-244125.pdf.
Naast dit publieksrapport bestaat ook een uitgebreid onderzoeksrapport. Daarin zijn alle exacte meetresultaten terug te vinden. Dat rapport is geschreven door NLR en TNO. Het heet: *Een onderzoek naar de rol van "rattle noise" bij hinder door Helikoptergeluid* (NLR-CR-2014-392).

2 Methode

2.1 Welke onderzoeksmethode is gekozen, en waarom?

Er is gekozen voor een onderzoek met proefpersonen, die in een woonkamerachtige ruimte de hinder van helikoptergeluiden vergeleken met die van vliegtuiggeluiden. Hiervoor zijn drie woningen geselecteerd die qua bouwtype in Nederland vaak voorkomen en die vanwege verschillen in bouwkenmerken naar verwachting uiteen zouden lopen in de gevoeligheid voor het voortbrengen van rattle noise. In elke proef werden dezelfde geluiden via luidsprekers afgespeeld, waarbij het geluidniveau steeds werd gevarieerd. Afhankelijk van het woningtype en het geluidniveau ging het helikoptergeluid dan soms wel en soms niet gepaard met rattle noise. Voordeel van deze methode is, ten opzichte van bijvoorbeeld een vragenlijstonderzoek onder omwonenden, dat door geluiden te variëren precies kan worden nagegaan hoeveel extra hinder wordt veroorzaakt door rattle noise.

2.2 Wat gebeurde er in het onderzoek?

Aan het onderzoek deden in totaal 120 proefpersonen mee. Op elk van de drie testlocaties werden over de tijd van een week 40 mensen uitgenodigd, die in een groepje van vijf tot zeven mensen om een tafel plaatsnamen. Daarbij werden, via luidsprekers buiten, steeds twee geluidfragmenten afgespeeld, één met helikopter- en één met vliegtuiggeluid. In het onderzoek kregen alle proefpersonen dezelfde paren van twee fragmenten in een vastgelegde volgorde te horen, waarbij ze steeds op papier aangaven welke van de twee het meest hinderlijk was. Het onderzoek duurde voor elke proefpersoon ongeveer drie uur, inclusief uitleg, vragenlijst en gehoortest vooraf en een korte pauze tussendoor.

2.3 Wie waren proefpersonen?

Voor het onderzoek zijn neutrale proefpersonen ingezet, dus geen omwonenden van de vliegbasis die al bekend zijn met het geluid van de Chinook en ook geen anderen, zoals defensiemedewerkers, die mogelijk belang hebben bij de uitkomsten. Voor elke testlocatie zijn via uitzendbureaus ongeveer 20 mannen en 20 vrouwen geworven, die voor hun deelname als proefpersoon aan het onderzoek een vergoeding ontvingen. Voor de drie locaties samen ging het om totaal 60 mannen en 60 vrouwen. Hun leeftijd varieerde tussen de 18 en 65 jaar. Hoewel voor dit soort onderzoek vaak studenten als proefpersoon worden gebruikt, is bij de selectie van de proefpersonen gekozen voor een zo goed mogelijke afspiegeling van de bevolking qua leeftijd, geslacht en andere persoonskenmerken. Positief is dat de kenmerken van de proefpersonen weinig verschilden tussen de drie locaties, zodat de resultaten van de verschillende locaties goed onderling kunnen worden vergeleken. Voorafgaand aan het onderzoek is een gehoortest gedaan bij de proefpersonen om te testen of er sprake was van gehoorverlies. Hoewel twaalf personen sommige hoge tonen minder goed konden horen dan normaal is voor hun leeftijd, deden deze proefpersonen wel mee aan het experiment. Achteraf is onderzocht of hun gehoorverlies de uitkomsten van het onderzoek beïnvloed heeft. Dit is verderop te lezen in Sectie 3.4 "*Welke persoonskenmerken gaan gepaard met extra hinder door helikopters?*".

2.4 Welke locaties en woningen?

Voordat het hinderonderzoek kon worden uitgevoerd is gezocht naar geschikte woningen, die aan enkele eisen moesten voldoen. De woningen moesten op een enigszins afgelegen locatie liggen waar geen overlast voor de omgeving te verwachten was door het afspelen van de geluiden aan de buitengevel. Ook moesten het bouwtypen zijn die in Nederland vaak voorkomen. Daarnaast moesten de woningen uiteenlopen in bouwkenmerken (bijvoorbeeld enkel of juist dubbel glas, houten of juist betonnen vloer), zodat ze naar verwachting zouden verschillen in de gevoeligheid voor het voortbrengen van rattle noise. Daarbij is gezocht naar één woning die enigszins gevoelig is voor rattle noise, één woning die zeer gevoelig is voor rattle noise, en een derde die helemaal niet gevoelig is voor rattle noise. Op die manier kunnen de resultaten van het onderzoek gebruikt worden om uitspraken te doen over uiteenlopende typen van woningen die voorkomen in Nederland, waaronder die in de omgeving van Gilze Rijen.

Op basis hiervan zijn de onderstaande drie woningen geselecteerd voor het onderzoek. In alle drie de woningen is een woonkamerachtige ruimte op de benedenverdieping gekozen, waar aan de buitenzijde op enige afstand de luidsprekers werden opgesteld. In elke woning werd een tafel met stoelen eromheen geplaatst en is soortgelijk serviesgoed neergezet op plekken waar het mogelijk rattle kon veroorzaken, zoals op de tafel, in de kast of op de vensterbank.

A. Bungalow in Den Haag

Omstreeks 1975 gebouwde eenlaagse bungalow met plat dak van licht houten constructie, houten ondervloer en lange grotendeels glazen gevel van dun uitgevoerd dubbel glas in houten kozijnen. Vanwege de glazen gevel, de lichte houten vloer, het licht houten plafond en de langwerpige ruimte werd van tevoren verwacht dat de woonkamer gemakkelijk rattle noise zou kunnen voortbrengen.

B. Villa in Den Helder

Omstreeks 1930 gebouwde villa op stalen fundering, met kelder, twee bouwlagen, vliering en schuin pannendak, dubbelsteens gemetselde gevel, openslaande deuren, enkel glas in houten sponningen. Verwacht werd dat de woning zeer gevoelig zou zijn voor rattle noise vanwege het enkel glas en sommige losse ramen en dat door de grote afmeting van de ruimte het geluid binnen kon versterken door het galmen van dat geluid.

C. Flat in Den Helder

Omstreeks 1960 gebouwde flat van drie bouwlagen op stalen fundering met betonnen kelder, gevel van betonnen platen, recent aangebrachte dubbel glas ramen in aluminium sponningen en kozijnen en systeemplafond. Vanwege de betonnen gevel, relatief kleine kamer, goed sluitende ramen en deuren, en klein raamoppervlak met goed bevestigd dubbelglas werd verwacht dat de flat ongevoelig is voor rattle noise.

2.5 Welke geluiden zijn gebruikt, en waarom?

Het geluid van een Chinook helikopter is vergeleken met ongeveer even luid of iets luider vliegtuiggeluid. Het Chinook geluid kan vanwege de lage tonen rattle noise veroorzaken, het vliegtuiggeluid doet dat over het algemeen niet.

Vliegtuiggeluid is het meest geschikt om het helikoptergeluid mee te vergelijken omdat het in een aantal opzichten veel lijkt op helikoptergeluid. Het komt ook voor in de woonomgeving, en komt op ongeveer dezelfde manier tegen de gevel van het huis aan. Bovendien wordt bij de huidige manieren van berekenen hoe hinderlijk het geluid van luchtvaartuigen is, uitgegaan van vliegtuiggeluid. Door helikoptergeluid te vergelijken met vliegtuiggeluid kunnen we goed laten zien hoe helikoptergeluid, in het bijzonder wanneer dit gepaard gaat met rattle noise, verschilt van een geluid dat we al kennen en waarvan we al weten hoe hinderlijk mensen het meestal vinden.

Voor de helikoptergeluiden zijn twee verschillende opgenomen fragmenten gebruikt: één van een over de woning vliegende Chinook (Boeing CH-47), en één van een aanvliegende Chinook die vervolgens met een bocht langs het huis vliegt. Voor de vliegtuiggeluiden zijn eveneens twee opgenomen fragmenten gebruikt: één van een vertrekkend F-16 jachtvliegtuig, en één van een naderend verkeersvliegtuig (Airbus A-319). Voor helikoptergeluid zijn vier verschillende geluidniveaus gebruikt, met steeds 5 decibel verschil ertussen. De gebruikte geluidniveaus zijn representatief voor de verschillende niveaus die in een echte situatie kunnen voorkomen tijdens het overvliegen van een Chinook. Elk niveau van helikoptergeluid werd gecombineerd met vier verschillende niveaus van vliegtuiggeluid: één van 5 decibel zachter, één even hard, één van 5 decibel harder en één van 10 decibel harder dan het helikoptergeluid. Het verschil van steeds 5 decibel is gekozen omdat dat een verschil is dat mensen net goed kunnen horen. In het onderzoek werden volgorde en geluidniveau van de fragmenten op een vooraf bepaalde manier gevarieerd, zodat de proefpersonen de geluiden steeds in een andere combinatie zouden horen die ze niet konden voorspellen. Iedere proef bestond uit 32 paren, namelijk 16 (4 x 4) combinaties van verschillende geluidniveaus, elk één keer met helikoptergeluid eerst, en één keer met vliegtuiggeluid eerst (om te voorkomen dat de resultaten beïnvloed zouden worden door welk fragment als eerste afgespeeld werd). Ook is er voor gezorgd dat de twee fragmenten met Chinookgeluid en de twee fragmenten met vliegtuiggeluid even vaak voorkwamen, maar niet elk fragment werd op elk geluidniveau afgespeeld. Proefpersonen gaven achteraf aan dat de geluiden goed herkenbaar waren als helikoptergeluid en vliegtuiggeluid.

2.6 Welke metingen zijn gedaan, en waarom?

Voor elk fragment dat de proefpersonen vanuit de luidsprekers te horen kregen is het geluidniveau ter controle gemeten. Meten gebeurde buiten (op één meter afstand van de buitengevel) en binnen (op oorhoogte boven de tafel waaraan de proefpersonen zaten). De metingen buiten werden gedaan om te controleren of de beoogde geluidniveaus aan de gevel inderdaad bereikt werden. De metingen binnen werden gedaan om achteraf te kunnen nagaan welk geluidniveau (na demping door de gevel) de proefpersonen binnen te horen kregen.

2.7 Welke vragen zijn gesteld aan de proefpersonen en proefleider?

Voorafgaand aan het onderzoek vulden proefpersonen een korte vragenlijst in met vragen over leeftijd, geslacht en andere persoonskenmerken, over hun gevoeligheid voor geluid in verschillende situaties, en over eventuele geluidhinder die ze thuis ervaren. Dit is gedaan om achteraf te kunnen nagaan of de proefpersonen op de drie verschillende locaties hierin geen grote verschillen vertoonden die een vergelijking tussen de locaties zouden bemoeilijken. Vervolgens, na een korte oefensessie, kregen de proefpersonen de 32 paren van helikopter- en vliegtuigfragmenten te horen, waarbij steeds werd gevraagd aan te geven welke van de twee het meest hinderlijk was en hoe moeilijk deze keuze was. Om niet te veel prijs te geven over de achterliggende reden van het onderzoek, werd proefpersonen pas helemaal aan het eind gevraagd naar eventueel ervaren rattle noise of trillingen tijdens de fragmenten. Ook noteerde de proefleider, die bij de proefpersonen aan tafel zat, na elk fragment of het gepaard ging met rattle noise of trillingen .

2.8 Hoe krijg je met deze gegevens antwoord op de onderzoeksvraag?

Met de verzamelde gegevens kon vervolgens de onderzoeksvraag worden beantwoord of rattle noise leidt tot meer hinder door helikoptergeluid.

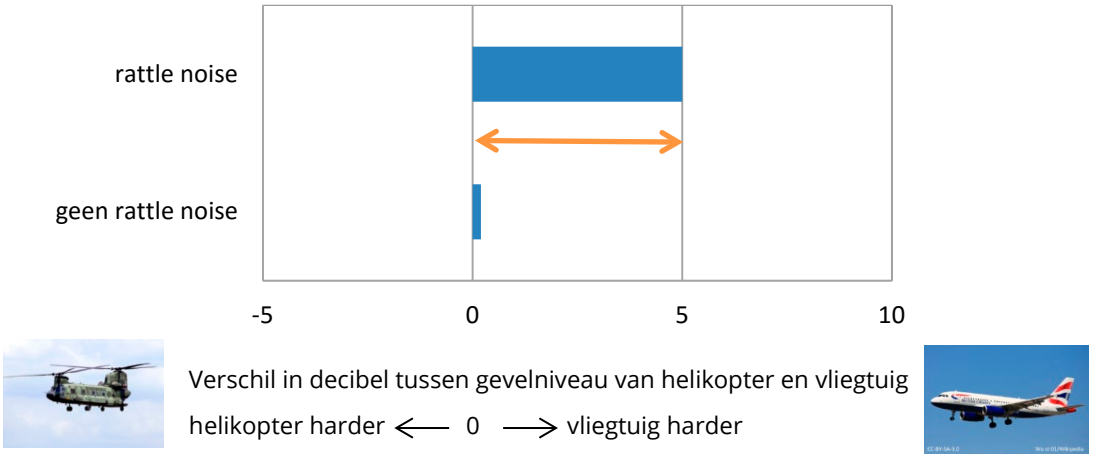
Door de proefpersonen steeds twee geluiden te laten vergelijken hadden de proefpersonen uiteindelijk alle 32 combinaties van helikopter- en vliegtuiggeluid gehoord. Voor iedere combinatie kon bepaald worden hoeveel proefpersonen het helikoptergeluid het meest hinderlijk vonden en hoeveel proefpersonen het vliegtuiggeluid. Daarmee kon weer worden bepaald bij welk verschil in geluidniveau het helikoptergeluid en het vliegtuiggeluid als even hinderlijk werden ervaren. Dit is namelijk wanneer de helft van de proefpersonen het helikoptergeluid, en de andere helft het vliegtuiggeluid het meest hinderlijk vond.

Vervolgens werd gekeken bij welke helikoptergeluiden de proefleider rattle noise gehoord had. We wilden immers weten of, als er rattle noise te horen was, dit er voor zorgde dat helikoptergeluid vaker hinderlijker werd gevonden dan vliegtuiggeluid dan als er geen rattle noise te horen was. Als rattle noise zorgt voor extra hinder door helikoptergeluid, zal het vliegtuiggeluid harder moeten zijn dan het helikoptergeluid om toch als even hinderlijk te worden ervaren. Dit verschil geeft aan met welke verhoging in geluidniveau de hinder door rattle noise vergelijkbaar is.

Uit het onderzoek volgt dus per onderzochte woning bij welk verschil in geluidniveau het helikoptergeluid en het vliegtuiggeluid als even hinderlijk worden ervaren, in het bijzonder met welke verhoging in geluidniveau de extra hinder door rattle noise vergelijkbaar is. Ook levert het onderzoek informatie op over bij welke geluidniveaus en bij welk type woning rattle noise verwacht kan worden.

In Figuur 3 wordt voor de geïnteresseerde lezer wat uitgebreider uitgelegd hoe met de verzamelde gegevens kan worden bepaald met welke verhoging in geluidniveau de extra hinder vergelijkbaar is, en hoe hieruit de benodigde correctie volgt voor helikoptergeluid met rattle noise.

De figuur hieronder laat zien hoe met dit onderzoek de vraag beantwoord kan worden of rattle noise leidt tot extra hinder door helikoptergeluid. Let op: dit is alleen een voorbeeld, dus het zijn niet de echte resultaten! Onderaan de figuur staat het verschil in decibel tussen het gevelniveau van het helikoptergeluid en het vliegtuiggeluid, in het onderzoek was dit verschil -5, 0, 5 of 10 decibel (dB). Bij 0 dB zijn ze dus even hard, bij -5 dB is de helikopter 5 decibel harder, bij 5 en 10 dB is juist het vliegtuiggeluid harder. De blauwe balkjes laten zien bij welke combinatie van geluidniveaus het helikoptergeluid en het vliegtuiggeluid als even hinderlijk worden ervaren. Als er geen rattle noise optreedt, is helikoptergeluid naar verwachting ongeveer even hinderlijk als vliegtuiggeluid, dus bij 0 dB verschil. Helikoptergeluid dat gepaard gaat met rattle noise zou echter tot extra hinder kunnen leiden. In dat geval zal het vliegtuiggeluid harder moeten zijn dan het helikoptergeluid om toch als even hinderlijk te worden ervaren. Dit onderzoek geeft antwoord op de vraag hoe groot dit verschil in decibel is (in dit voorbeeld zou het dus 5 dB zijn, aangegeven door de oranje pijl), en daarmee wat de benodigde correctie is voor helikoptergeluid met rattle noise.



Figuur 3: Benodigd verschil in decibel voor gelijke hinder door vliegtuig en helikopter (met en zonder rattle noise).

3 Uitkomsten van het onderzoek

3.1 Wat laten de geluidmetingen buiten en binnen zien?

De metingen buiten laten zien dat de beoogde geluidniveaus aan de gevel inderdaad bereikt werden. De helikopterfragmenten bevatten zoals verwacht bij dezelfde geluidniveaus meer lage tonen dan de vliegtuigfragmenten. Deze lage tonen van helikoptergeluid kunnen mogelijk rattle noise en trillingen in de woning veroorzaken. Verder bleek uit de metingen binnen dat de helikoptergeluiden minder werden gedempt door de gevel dan de vliegtuiggeluiden. Dit komt doordat de lage tonen van het helikoptergeluid gemakkelijker door de gevel naar binnen kwamen, vooral bij woning B (Villa). Dit had gevolgen voor de geluidniveaus die proefpersonen binnen te horen kregen: terwijl de vliegtuiggeluiden een stuk minder hard werden, bleven de helikoptergeluiden daar relatief hard.

3.2 In hoeverre kwam rattle noise voor op de drie locaties?

Zoals verwacht gaf de proefleider bij de vliegtuigfragmenten niet of nauwelijks rattle noise of trillingen aan, terwijl dit bij de helikopterfragmenten wel voorkwam. De mate van rattle noise of trillingen hing af van enerzijds het woningtype en anderzijds het geluidniveau van de helikopter. Dat geluidniveau hangt in een werkelijke situatie af van de afstand waarmee de helikopter overvliegt: hoe dichter bij de woning, hoe hoger het geluidniveau. Bij woning A (Bungalow) had de proefleider alleen bij de twee hoogste geluidniveaus (vergelijkbaar met een laag overvliegende Chinook) lichte tot duidelijke trillingen gevoeld, maar geen rattle noise gehoord. Bij woning B (Villa) had de proefleider naast trillingen ook duidelijke tot hevige rattle noise ervaren. Rattle noise kwam hier voor bij alle geluidsniveaus, behalve bij het allerlaagste niveau. Dit betekent dat in woning B rattle noise al op kan treden wanneer een Chinook op wat grotere afstand vliegt. Bij woning C (Flat) had de proefleider alleen bij het hoogste geluidniveau lichte trillingen gevoeld, maar geen rattle noise gehoord. De proefpersonen, die achteraf eenmalig bevraagd werden over rattle noise, gaven ook vooral bij woning B aan dat ze rattle noise en trillingen hadden ervaren, en niet of in veel mindere mate bij de andere twee woningen. De rattle noise betrof vooral rammelende ramen, soms ook glas- of aardewerk, en in enkele gevallen deuren of plafonds. De trillingen werden in de meeste gevallen via de vloer gevoeld.

3.3 Zorgt rattle noise voor meer hinder door de helikoptergeluiden?

Eerst is nagegaan of de helikoptergeluiden als hinderlijker werden ervaren dan de vliegtuiggeluiden wanneer de geluidniveaus aan de gevel gelijk waren. Bij woning A en woning C, waar geen rattle noise en alleen soms trillingen optraden, was het verschil maar klein. Bij woning B, waar wel duidelijke rattle noise optrad, bleek het verschil veel groter. Voor een deel kan dit komen doordat het helikoptergeluid vooral in woning B minder gedempt werd door de gevel, waardoor het geluidniveau binnen hoger was. Daarnaast kan echter de extra hinder vanwege rattle noise een belangrijke rol hebben gespeeld. De

centrale vraag van dit onderzoek is of rattle noise zorgt voor meer hinder door helikoptergeluid, en wat dan de benodigde correctie voor rattle noise is. Het antwoord op deze vraag wordt hieronder gegeven.

Soms registreerde de proefleider dat een helikopterfragment gepaard ging met rattle noise of trillingen en soms niet. Om te weten te komen of het optreden van rattle noise of trillingen zorgt voor meer hinder door de helikoptergeluiden, is gekeken of het helikoptergeluid door de proefpersonen vaker als hinderlijker werd ervaren dan vliegtuiggeluid wanneer de proefleider trillingen (woning A) of rattle noise (woning B) had waargenomen. Dit bleek zo te zijn: in woning A bleek dat de helikopter vaker als meest hinderlijke fragment werd gekozen bij lichte tot duidelijke trillingen dan wanneer er geen trillingen waren. Dit was vergelijkbaar met een verhoging van het gevelniveau met 2,5 decibel. In woning B bleek dat proefpersonen, wanneer er duidelijke tot hevige rattle noise te horen was, de helikopter veel vaker als meest hinderlijke fragment kozen, vergelijkbaar met een verhoging van het gevelniveau met 6 decibel. Oftewel, helikoptergeluid met rattle noise wordt als net zo hinderlijk ervaren als dat je zou verwachten van helikoptergeluid zonder rattle noise dat 6 decibel harder is. In woning C kwamen vrijwel geen trillingen en helemaal geen rattle noise voor, dus daar was een effect hiervan op de hinder niet van toepassing.

De onderstaande tabel zet de hierboven beschreven onderzoeksuitkomsten per woning op een rij:

	Woning A (Bungalow)	Woning B (Villa)	Woning C (Flat)
Rattle noise en/of trillingen	Geen rattle noise, lichte trillingen	Duidelijke rattle noise en trillingen	Geen rattle noise, vrijwel geen trillingen
Bij welk geluidniveau van de helikopter	Alleen bij hoogste niveaus	Bij vrijwel alle niveaus	Alleen bij allerhoogste niveau
Extra hinder door rattle noise en/of trillingen	+2,5 dB	+6 dB	n.v.t.

3.4 Welke persoonskenmerken gaan gepaard met extra hinder door helikopters?

Er is ook gekeken of sommige kenmerken van de proefpersonen gepaard gingen met extra hinder door helikopters, zoals hun leeftijd, of ze man of vrouw zijn, of ze gehoorverlies hebben, hoe gevoelig ze in het algemeen zijn voor geluid en of ze thuis geluidhinder ervaren. Van al deze kenmerken bleek alleen gehoorverlies van enige invloed: de 12 personen met gehoorverlies kozen iets minder vaak de helikopter als meest hinderlijke fragment. Dus als dit goed horende personen geweest zouden zijn, dan mag je verwachten dat de helikopter als iets hinderlijker uit de bus zou komen dan nu gevonden. Het belangrijkste resultaat van het onderzoek, namelijk het effect van rattle noise en trillingen, zou dan echter wel hetzelfde blijven. Omdat gehoorverlies ook in het echt nu eenmaal voorkomt, is er toch voor gekozen om iedereen mee te nemen.

4 Conclusies

4.1 Woningtypen

Het onderzoek werd uitgevoerd in uiteenlopende woningtypen die in Nederland vaak voorkomen. In een vooroorlogse woning met enkel glas en sommige losse ramen werd door helikoptergeluid rattle noise en trillingen opgewekt . Dit fenomeen trad op bij verschillende geluidniveaus op de gevel zoals die ook veroorzaakt kunnen worden door in het echt overvliegende helikopters In een naoorlogse woning met een glazen gevel en lichte houten constructie traden ten gevolge van de luidste helikoptergeluiden lichte tot duidelijke trillingen op. In een derde, goed geïsoleerde woning met stevige constructie en goed bevestigd dubbel glas werden vrijwel geen rattle noise of trillingen opgewekt.

Vooral in de woning waar rattle noise optrad bleek dat helikoptergeluid minder dan vliegtuiggeluid gedempt werd door de gevel. Vermoedelijk gaat dit vaak samen op: bij bepaalde bouwkenmerken dringt juist helikoptergeluid beter door dan vliegtuiggeluid en ontstaat tegelijkertijd ook gemakkelijker rattle noise.

4.2 Ervaring van de proefpersonen

Helikoptergeluid van gelijke sterkte buiten gemeten bleek, door de proefpersonen binnen in huis, vooral in de woning waar rattle noise optrad als hinderlijker te worden ervaren dan vliegtuiggeluid. Dit kwam grotendeels door rattle noise: in combinatie met rattle noise werd het helikoptergeluid als hinderlijker ervaren dan puur helikoptergeluid zonder rattle noise. In getallen uitgedrukt: als rattle noise optreedt ervaren mensen geluidhinder van een helikopter alsof het geluid 2,5 tot maximaal 6 decibel harder is.

4.3 Rekenmodel

Het rekenmodel voor de geluidbelasting om hinder door helikoptergeluid mee te voorspellen is gebaseerd op vliegtuiggeluid. Echter, Chinook-helikoptergeluid kan bij hetzelfde geluidniveau meer hinder veroorzaken dan vliegtuiggeluid. Dat komt omdat er meer van doordringt in de woning, en omdat het rattle noise kan veroorzaken. Omdat rattle noise en het beter doordringen in de woning van helikoptergeluid vaak samen optreden, is het voorstel van de onderzoekers om een correctie toe te passen wanneer rattle noise verwacht kan worden. Op die manier wordt de extra hinder door helikoptergeluid met rattle noise meegenomen in de berekeningen. In een getal uitgedrukt zou die correctie maximaal 6 decibel op de geluidniveaus buiten voor de gevel moeten zijn, afhankelijk van het type woning. Die correctie wordt in de berekeningen meegenomen voor elke overvliegende Chinook-helikopter die een geluidniveau tot gevolg heeft waarbij rattle noise verwacht kan worden. Als dit maar een enkele keer gebeurt zal het niet zoveel uitmaken, maar wanneer het vaak gebeurt zal de berekende geluidbelasting vanwege de correctie hoger zijn dan die op basis van het rekenmodel dat momenteel gebruikt wordt.

4.4 Eindconclusie

Chinookgeluid kan vanaf bepaalde geluidniveaus rattle noise veroorzaken, vooral bij woningen die daar gevoelig voor zijn. Mensen kunnen hierdoor extra hinder van het Chinookgeluid ervaren. Voor de meest gevoelige woningen blijkt dat de extra hinder die door de rattle noise veroorzaakt wordt vergelijkbaar is met een verhoging van het geluidniveau met 6 decibel.

4.5 Aanbevelingen

1. Op sommige plaatsen is het mogelijk dat een overvliegende Chinook rattle noise veroorzaakt. Onderzoek en metingen hebben laten zien dat dit kan gebeuren door Chinooks die minimaal een bepaald geluidniveau buiten op de gevel tot gevolg hebben. Het voorstel is om vanaf dit geluidniveau (onafhankelijk van het woningtype) de gevonden maximale correctie van 6 decibel toe te passen. Met de correctie zal rattle noise niet worden voorkomen, maar zullen naar verwachting meer woningen een berekende geluidbelasting hebben hoger dan 40 Ke. Hierdoor kunnen door wet- en regelgeving een aantal extra woningen in aanmerking komen voor maatregelen (zie aanbeveling 2).

2. Voor woningen op plaatsen waar de berekende geluidbelasting hoger is dan 40 Ke wordt standaard bescherming aangeboden in de vorm van geluidsisolatie. Deze isolatie zal rattle noise niet kunnen voorkomen, maar wellicht wel verminderen. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of er specifieke maatregelen aan de woningen kunnen worden getroffen om rattle noise verder te verminderen. Dit zal met name van toepassing zijn op woningen die vanwege bepaalde bouwkenmerken gevoelig zijn voor rattle noise.

5 Referenties

1. NLR en TNO *Een onderzoek naar de rol van "rattle noise" bij hinder door Helikoptergeluid* (NLR-CR-2014-392).

2. TNO en NLR *Literatuurstudie “Rattle Noise” van helikopters* (TNO 2013 R10188).

This page is intentionally left blank.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210

e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl