

Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61

Dit rapport is opgesteld
in samenwerking met
Level Acoustics & Vibration
De Rondom 10
5612 AP Eindhoven



TNO-rapport

TNO 2017 R10771A

Inventarisatie van maatregelen tegen rattle noise door Chinook-helikopters voor woningen rond de vliegbasis Gilze-Rijen

Datum	december 2017
Auteur(s)	Arno Eisses (TNO) Claire Laudij - Van Koot (Level Acoustics & Vibration) Arnold Koopman (Level Acoustics & Vibration) Okke Bronkhorst (TNO)
Aantal pagina's	44 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Staf Commando Luchtstrijdkrachten Postbus 8762, 4820 BB BREDA
Contactpersonen	E. Kwast en A.J.P. Hardenbol
Projectnummer	060.11616/01.04.06

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2017 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Achtergrond	3
1.2	Aanpak.....	4
2	Inventarisatie van woningen rond de vliegbasis	6
2.1	Aandachtsgebied	6
2.2	Woningen binnen het aandachtsgebied	9
2.3	Aandachtspunten voor de gevoeligheid van woningen voor rattle noise	10
2.4	Bevindingen	11
3	Maatregelen tegen rattle	15
3.1	Onderdelen die rattle veroorzaken	15
3.2	Maatregelen.....	16
3.3	Aanpak afhankelijk van rattle-gevoeligheid	18
3.4	Kosten van maatregelen.....	19
4	Conclusie	21
5	Referenties	22
6	Ondertekening	23
	Bijlage(n)	
	A Specificatie rattle-gevoeligheidscategorieën	
	B Maatregelen tegen rattle noise	
	C Uitvoeringsprotocol	
	D Samenvatting kostenberekening	

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In opdracht van het Ministerie van Defensie heeft TNO in samenwerking met Level Acoustics & Vibration onderzoek uitgevoerd naar het nemen van bouwkundige maatregelen tegen “rattle noise” voor woningen rond de vliegbasis Gilze-Rijen. Rattle noise, of kortweg “rattle”, is het geluid dat kan ontstaan wanneer bouwdelen (zoals wanden, daken, deuren of ramen) van gebouwen of voorwerpen in gebouwen in trilling komen. Rond de vliegbasis wordt dit veroorzaakt door laag-frequente luchtdrukgolven¹ tussen 0 en 100 Hz van overvliegende helikopters van het type Chinook.

NLR en TNO hebben in 2012 en 2014 onderzoeken uitgevoerd naar het ontstaan van rattle noise en de effecten van dat geluid op mensen [1, 2]. Het eerste onderzoek betrof een literatuurstudie. Hieruit bleek dat veruit het meeste onderzoek is uitgevoerd in de Verenigde Staten. Er is geen literatuur gevonden van studies naar rattle en hinder ten gevolge van rattle in Nederland.

Aangezien de Nederlandse situatie voor wat betreft de woningconstructies moeilijk te vergelijken is met die in de VS, is in 2014 een vervolgonderzoek gedaan naar enerzijds de rattle-gevoeligheid van Nederlandse woningen en anderzijds de hinder die mensen als gevolg van rattle ervaren. Uit dit onderzoek [1, 2] zijn de volgende conclusies getrokken:

- Rattle kan optreden als het geluidniveau tijdens een passage van een Chinook-helikopter buiten voor de gevel van een woning 75 dB(A) of hoger is. Bij andere typen helikopters en vliegtuigen komt rattle niet of zelden voor.
- De rattle zorgt ervoor dat het geluid van een helikopter als extra hinderlijk wordt ervaren. De mate van hinder tijdens een helikopterpassage waarbij rattle optreedt, is gemiddeld gelijk aan de hinder van een 6 dB hoger geluidniveau van een vlucht die geen rattle veroorzaakt.

De aanbeveling uit het onderzoek van 2014 is om die extra hinderlijkheid tot uitdrukking te brengen door de bijdrage aan de geluidbelasting² van een passerende Chinook-helikopter met 6 dB te verhogen (de “rattle-toeslag”), als het maximum niveau (L_{Amax}) tijdens de passage 75 dB(A) of hoger is.

¹ Het frequentiegebied waarbij rattle kan ontstaan ligt voornamelijk tussen 0 en 100 Hz. In het hoorbare deel hiervan, tussen 20 en 100 Hz, is het laagfrequent geluid dat de bouwdelen aanstoot en rattle noise veroorzaakt. Beneden 20 Hz worden de luchtdrukvariaties niet meer als geluid waargenomen. Daarom wordt in plaats van “geluid” gesproken van “drukgolven” of “luchtdrukgolven”.

² De geluidbelasting door militair vliegverkeer wordt uitgedrukt in Kosteneenheden (Ke) en is een gewogen sommatie van alle geluidniveaus (L_{Amax}) van passages van vliegtuigen en helikopters (van in dit geval het aan de vliegbasis Gilze-Rijen gerelateerde verkeer) die in een jaar op een bepaalde plaats optreden. Gewogen wil zeggen dat een bepaald geluidniveau meer of minder zwaar in de sommatie meeweegt afhankelijk van het moment in het etmaal waarop het optreedt.

Het ministerie van Defensie heeft TNO opdracht gegeven om te onderzoeken welke maatregelen aan de woningen rond de vliegbasis mogelijk zijn om het optreden van rattle en de daarmee gepaard gaande extra hinder te verminderen of te voorkomen. Voorliggend rapport doet verslag van dit onderzoek.

1.2 Aanpak

1.2.1 *Inventarisatie van woningen*

Als eerste is een inventarisatie gemaakt van de woningen rond de vliegbasis waar rattle als gevolg van helikoptergeluid kan optreden en die een geluidbelasting door het vliegverkeer hebben die boven de grens ligt die Defensie hanteert voor het treffen van maatregelen. Uitgangspunt hierbij zijn de geluidberekeningen³ van het aan de vliegbasis Gilze-Rijen gerelateerde vliegverkeer (van vliegtuigen, Chinook-helikopters en andere typen helikopters), die het NLR heeft uitgevoerd in het kader van de Milieu-effectrapportage (MER) 2017 ter voorbereiding van het Luchthavenbesluit voor de vliegbasis Gilze-Rijen. Standaard wordt hierbij geen rekening gehouden met de hierboven genoemde rattle-toeslag, maar om vast te stellen in welke gebieden de geluidhinder beïnvloed wordt door rattle, heeft het NLR de berekening ook uitgevoerd met deze toeslag van 6 dB per helikopterpassage. Het verschil tussen de berekende geluidbelasting (in Ke) met en zonder rattle-toeslag geeft aan welk effect er van rattle mag worden verwacht en of het zinvol is om maatregelen tegen rattle toe te passen.

Woningen die in aanmerking komen voor maatregelen tegen rattle zijn na bezichtiging (ter plaatse en via *Google Street View*) ingedeeld in vier groepen, met elk een andere gevoeligheid voor rattle.

1.2.2 *Inventarisatie van maatregelen*

De tweede stap in het onderzoek is het bepalen van de mogelijke maatregelen. Voor alle onderdelen in de woningen die mogelijk rattle kunnen veroorzaken zijn in bijlage B gedetailleerde beschrijvingen van maatregelen opgenomen. In paragraaf 3.2 zijn deze samengevat.

Voor elk van de vier groepen woningen is in paragraaf 3.3 een aanpak gegeven voor het treffen van maatregelen tegen rattle noise. Deze aanpak is de basis voor de kostenschatting in paragraaf 3.4 om alle woningen (die voor maatregelen in aanmerking komen) zodanig aan te passen dat de hinder door rattle met beschikbare, praktisch haalbare en economisch te verantwoorden maatregelen zoveel mogelijk wordt weggenomen.

1.2.3 *Opzet uitvoeringsprotocol*

De uitgevoerde inventarisatie geeft een globaal beeld van de benodigde maatregelen tegen rattle binnen het gebied waar woningen liggen die hiervoor in aanmerking komen. Dit betekent nog niet dat bij al die adressen de maatregelen ook daadwerkelijk nodig zijn om rattle te voorkomen. In een later stadium moet nog per woning worden bepaald welke maatregelen nodig zijn.

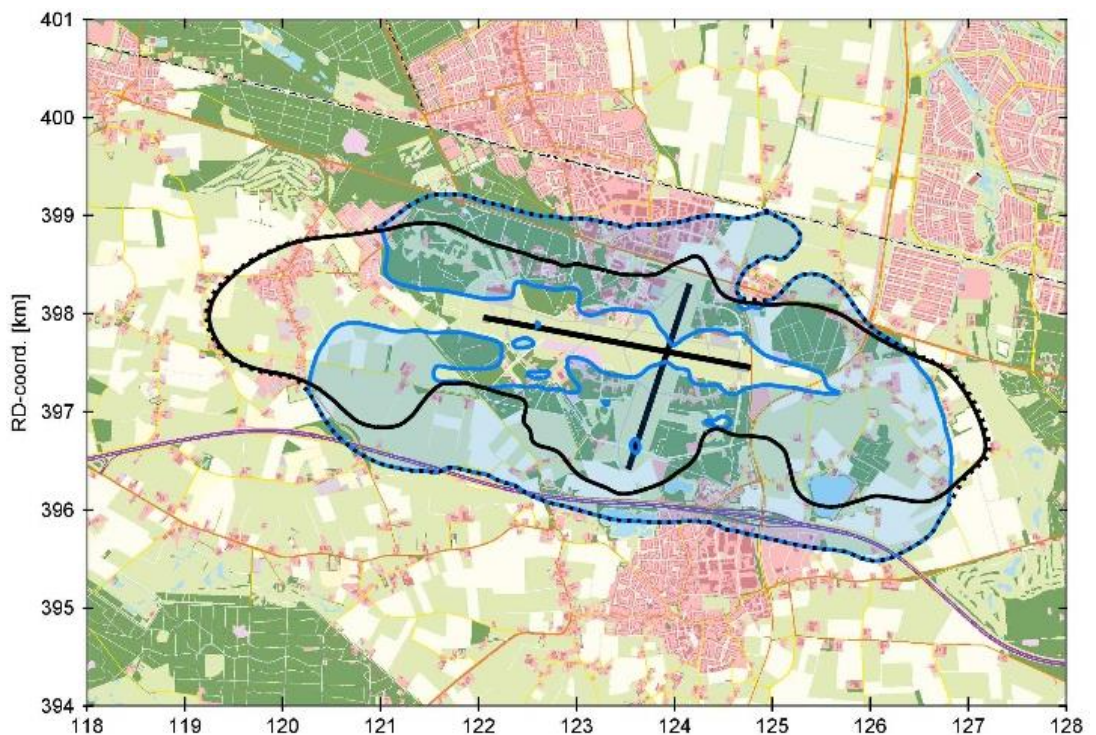
³ De berekeningen worden uitgevoerd volgens het Nederlandse rekenvoorschrift dat voor geluid van vliegtuigen en helikopters van toepassing is. Voor militair vliegverkeer wordt de geluidbelasting uitgedrukt in de Kosteneenheid (Ke).

Dit is maatwerk, waarbij elke woning individueel moet worden bekeken. Level Acoustics & Vibration heeft hiervoor een opzet voor een protocol opgesteld, dat is opgenomen in bijlage C. Het protocol beschrijft welke rattle-gevoelige onderdelen bij de bezichtiging van een woning moeten worden geïnspecteerd en hoe naar aanleiding daarvan moet worden vastgesteld welke van de maatregelen uit het pakket ook daadwerkelijk nuttig zijn om toe te passen.

2 Inventarisatie van woningen rond de vliegbasis

2.1 Aandachtsgebied

Figuur 1 geeft de geluidbelastingscontouren in de omgeving van Gilze-Rijen ten gevolge van helikopters en vliegtuigen die opstijgen vanaf en landen op vliegbasis Gilze-Rijen. De doorgetrokken zwarte lijn is de contour van 40 Ke. Als met de rattle-toeslag wordt gerekend, wordt het gebied met een geluidbelasting van meer dan 40 Ke groter, wat is aangegeven met de gestippelde zwarte lijn⁴.



Figuur 1 Geluidcontouren van 40 Ke met en zonder rattle-toeslag (doorgetrokken, respectievelijk gestippelde zwarte lijn) en het blauwe gebied waarin geldt dat
 a) de geluidbelasting met rattle-toeslag tenminste 1 Ke hoger is dan zonder rattle-toeslag en
 b) de geluidbelasting inclusief rattle-toeslag groter is dan 40 Ke.
 (De gegevens zijn afkomstig van het NLR.)

⁴ De gegevens in figuur 1 heeft het NLR berekend voor de Milieu-effectrapportage (MER) in 2017. In de berekening met rattle-toeslag is op het maximum geluidniveau van elke afzonderlijke vlucht een toeslag van 6 dB toegepast als het een vlucht betreft van een Chinook-helikopter met een maximum niveau in een waarneempunt van meer dan 75 dB.

Hierbij moet men zich realiseren dat het totale geluid door het vliegverkeer ter plaatse van de gevel van een woning feitelijk door het optreden van rattle noise niet groter wordt, maar dat de toeslag alleen is bedoeld om de extra hinder tot uitdrukking te brengen. Dit betekent dat ter plaatse van een punt op de gestippelde zwarte lijn de gemiddelde mate van hinder door geluid van vliegverkeer, die verwacht kan worden in de situatie waarbij rattle optreedt, net zo groot is als de verwachte hinder ter plaatse van een punt op de doorgetrokken zwarte lijn in de (denkbeeldige) situatie waarbij er geen rattle zou optreden.

In het blauw gekleurde gebied in figuur 1 liggen de woningen die aan de volgende twee voorwaarden voldoen:

- a) De geluidbelasting inclusief rattle-toeslag is 40,0 Ke of hoger;
- b) Het verschil tussen de geluidbelasting berekend met rattle-toeslag en de geluidbelasting zonder rattle-toeslag is (afgerond) 1 Ke of meer.

Deze woningen komen in aanmerking voor maatregelen tegen rattle noise. De onder a) genoemde grens heeft Defensie voorgesteld⁵ om de financiële middelen voor maatregelen te concentreren op de woningen waar de geluidbelasting relatief hoog is. De voorwaarde b) is van toepassing omdat specifiek op rattle noise gerichte maatregelen anders niet zinvol zijn. Dit wordt hieronder toegelicht.

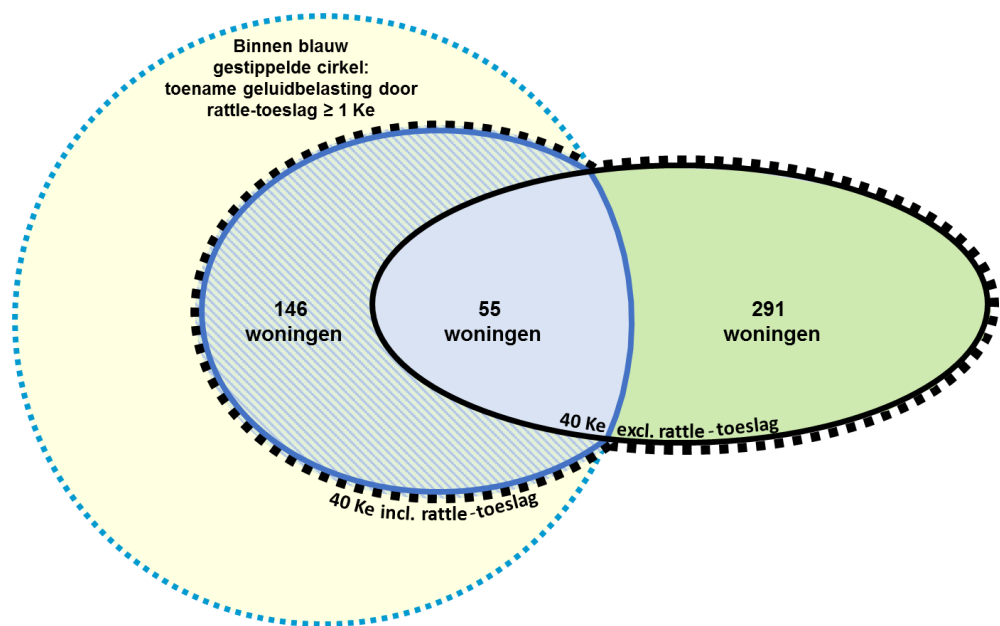
Als voor een bepaalde woning het verschil tussen de twee berekeningen klein is (minder dan 1 Ke), betekent dit dat de geluidbelasting als gevolg van toepassing van de rattle-toeslag nauwelijks hoger wordt en dat de geluidbelasting ter plaatse van die woning vooral wordt bepaald door vluchten met andere toestellen dan de Chinook, of dat passages van Chinook-helikopters vrijwel geen geluidniveaus van 75 dB(A) of hoger veroorzaken. De geluidbelasting van zo'n woning (en de daarmee gepaard gaande hinder door het geluid van het vliegverkeer) kan desondanks relatief hoog zijn, bijvoorbeeld als de woning in de buurt ligt van het verlengde van de start- en landingsbaan, waar de geluidbelasting vooral wordt bepaald door startende en landende vliegtuigen, maar het is dan niet zinvol om specifiek op rattle noise gerichte maatregelen toe te passen.

Het maximale verschil tussen de twee berekeningen met en zonder rattle-toeslag is 8 Ke in een waarneempunt waar de toeslag van 6 dB op het maximum geluidniveau van alle vluchten in rekening wordt gebracht. In dat punt wordt de jaarlijkse geluidbelasting gedomineerd door vluchten van Chinook-helikopters die een maximum geluidniveau veroorzaken van 75 dB(A) of hoger. Het effect van maatregelen tegen rattle op de geluidhinder door het vliegverkeer is hier het grootst.

Het verschil tussen de berekeningen met en zonder rattle-toeslag varieert dus tussen 0 en 8 Ke. In figuur 1 is in blauw het gebied met een verschil van tenminste 1 Ke weergegeven voor zover het zich bevindt binnen de gestippelde lijn van de 40 Ke-contour (geluidbelasting inclusief rattle-toeslag), maar ook buiten die lijn strekt het gebied zich uit waar de rattle-toeslag voor een verschil van tenminste 1 Ke zorgt.

⁵ Voor de ruimtelijke ordening en de restricties die daarbij gelden als gevolg van de geluidbelasting van de vliegbasis Gilze-Rijen, wordt de 40 Ke-contour *zonder* rattle-toeslag gehanteerd. De 40 Ke-contour met rattle-toeslag is alleen berekend om de woningen in kaart te brengen die in aanmerking komen voor maatregelen tegen rattle noise.

Dit is schematisch weergegeven in figuur 2. Woningen die in aanmerking komen voor maatregelen liggen in figuur 2 binnen de blauwe doorgetrokken lijn én binnen de gestippelde zwarte lijn (de 40 Ke-contour inclusief rattle-toeslag). Dit zijn 201 woningen (55 + 146). Daarnaast zijn er nog 291 woningen met een relatief hoge geluidbelasting (gelegen binnen de contour van 40 Ke) in het groene gebied rechts, waar de geluidbelasting met en zonder rattle-toeslag nagenoeg gelijk is en waarvoor het dus niet zinvol wordt geacht om maatregelen tegen rattle toe te passen. Woningen binnen de blauw gestippelde cirkel maar buiten de zwart gestippelde lijn hebben wel een verhoging van de geluidbelasting door de rattle-toeslag, maar een lagere geluidbelasting dan 40 Ke (inclusief rattle-toeslag). (De blauw gestippelde lijn is niet aangegeven in figuur 1.)



Figuur 2 Schematische weergave van gebieden binnen de 40 Ke-contour zonder rattle-toeslag (groen en blauw), binnen de 40 Ke-contour met rattle-toeslag (groen, blauw en blauw gearceerd) en het gebied waar de rattle-toeslag zorgt voor een tenminste 1 Ke hogere geluidbelasting (binnen de cirkel van grotendeels blauw gestippelde lijn).

2.2 Woningen binnen het aandachtsgebied

De adressen van de 201 woningen die voor maatregelen tegen rattle noise in aanmerking komen zijn opgenomen in tabel 1. Het betreft 71 woningen in Gilze, 41 woningen in Hulten, 12 woningen in Molenschot, 27 woningen in Rijen en 50 woningen in Tilburg.

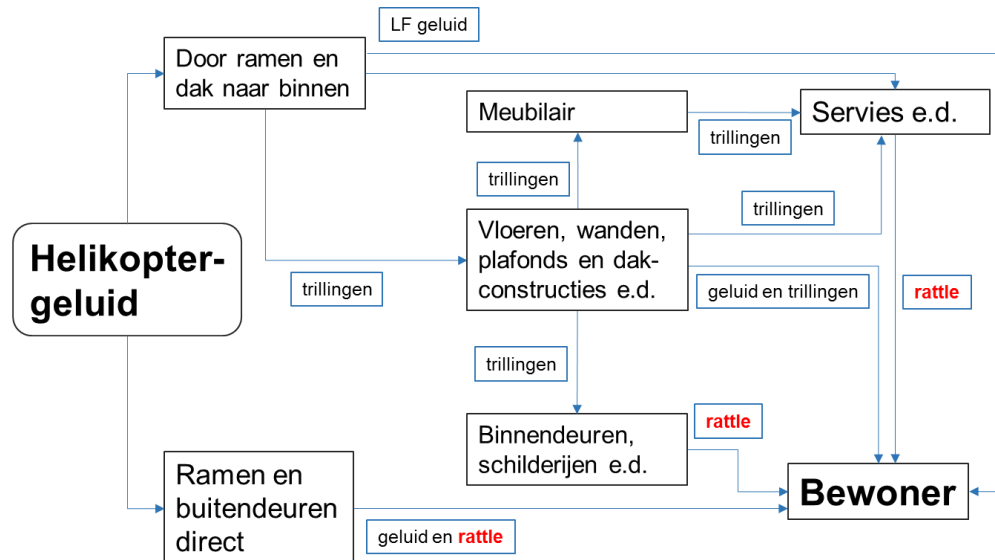
Tabel 1 Adressen van woningen die in aanmerking komen voor maatregelen tegen rattle noise.

Straat en huisnummers	Aantal	Plaats
Boslaan 2, 4, 10, 12	4	Gilze
Burgemeester Krollaan 25	1	Gilze
A. Weteringsstraat 1, 3, 28, 30, 32	5	Gilze
Klein Zwitserland 6, 20	2	Gilze
Lijndonk 1, 2	2	Gilze
Molenakkerweg 5, 7	2	Gilze
Moleneind 5, 13, 15	3	Gilze
Nerhoven 8, 10, 12, 14, 23, 25, 25A	7	Gilze
Nerhovensestraat 17, 21, 25 t/m 37 oneven	9	Gilze
Nerhovensestraat 36, 38, 40, 42, 42A, 44, 46, 46A, 48, 48A, 50, 50A	12	Gilze
Nieuwstraat 158, 160, 165, 167, 168, 169, 171, 177, 179	9	Gilze
P. Paulussenstraat 8, 10, 12	3	Gilze
Vossenbergr 11	1	Gilze
Wethouder v.d. Wildenbergstraat 57, 59, 61, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80	11	Gilze
Burgemeester Ballingsweg 2	1	Hulten
Achterstraat 1, 5, 7, 9, 10, 11, 16, 18	8	Hulten
Broekdijk 3 t/m 9 oneven	4	Hulten
Hulteneindsestraat 1, 3, 4, 4A, 5	5	Hulten
Hultenseweg 89, 95, 96, 99	4	Hulten
Oude baan 2, 3, 58	3	Hulten
Rijksweg 1, 3, 4, 5, 8, 8A, 10, 11, 11D, 12, 14, 16, 18, 27, 29, 34	16	Hulten
Heideweg 10, 13, 15, 17, 19	5	Molenschot
Lijndonk 1A, 3, 4, 5	4	Molenschot
Raakeindse kerkweg 48, 50, 64	3	Molenschot
Europalaan 9	1	Rijen
Haansbergseweg 2	1	Rijen
Rijksweg 100 t/m 108, 110, 111A, 111B, 111C, 113, 115, 117, 119, 217	18	Rijen
Stedenbaan 23 t/m 35 oneven	7	Rijen
Hultenseweg 5, 8, 13, 16, 35, 52, 56, 62, 71, 72, 74, 78, 81, 83, 84, 90	16	Tilburg
Keizersakker 6, 6A, 6B, 7, 8, 10, 10A, 12	8	Tilburg
Klein Tilburg 1, 2, 3, 4	4	Tilburg
Nieuwe lijn 2, 3, 4, 6	4	Tilburg
Oudelijn 3, 5, 7, 7A	4	Tilburg
Prinsenhoef 2, 6, 12	3	Tilburg
Schoorweg 9	1	Tilburg
Van Dieeghemstraat 7, 9	2	Tilburg
Vosheining 2A, 3, 6	3	Tilburg
Wijkevoort 8, 14, 16, 18, 24	5	Tilburg

Het onderzoek richt zich uitsluitend op woningen met woonbestemming. Bedrijfsgebouwen, campings en recreatiewoningen zijn buiten beschouwing gelaten.

2.3 Aandachtspunten voor de gevoeligheid van woningen voor rattle noise

Figuur 3 illustreert de overdrachtspaden van geluid afkomstig van een helikopter (van het type Chinook). Deze figuur is overgenomen uit [1], maar aangevuld met recente inzichten, en dient als basis voor het bepalen van de bouwkundige aspecten van woningen die voor rattle noise van belang zijn.



Figuur 3 Schematisch overzicht van de overdrachtspaden van een Chinook-helikopter voor geluid, trillingen en rattle naar en in een huis, gebaseerd op [1].

Er zijn drie belangrijke gevoeligheidsaspecten voor rattle te onderscheiden:

1. de rattle-gevoeligheid van de gebouwschil⁶, ofwel de mate waarin onderdelen van gevels en dak (zoals ramen en deuren) kunnen rammelen;
2. de geluiddoorlatendheid van de schil, ofwel de mate waarin laagfrequent geluid door de zwakkere delen van de schil (de ramen, deuren en het dak) de woning kan binnendringen om daar rattle te veroorzaken;
3. de rattle-gevoeligheid van de lichtere constructie-elementen van het gebouw (zoals binnendeuren, vloeren en plafonds) die door laagfrequente luchtdruk-golven in trilling komen en trillingen kunnen doorgeven aan voorwerpen binnen het gebouw (zoals schilderijen, serviesgoed en lampen).

Deze aspecten worden hieronder toegelicht.

⁶ De gebouwschil wordt gevormd door de bouwkundige delen die de constructieve en bouwfysische eisen aan het pand verzorgen: het dragen van het gebouw, de winddichtheid, de thermische isolatie, etc.

De rattle-gevoeligheid van de gebouwschil

Bij de rattle-gevoeligheid van de gebouwschil gaat het vooral om de vaste en bewegende delen binnen de kozijnen van oudere woningen, zoals enkel glas dat los kan zitten als de stopverf is verdroogd en ramen en deuren die speling hebben bij verouderd hang- en sluitwerk. Er zijn nog geen duidelijke aanwijzingen dat in de praktijk ook onderdelen van het dak als bron van rattle optreden. Tijdens experimenten die TNO voor eerdere onderzoeken heeft uitgevoerd is het rammelen van dakpannen wel waargenomen, maar alleen bij relatief hoge geluiddrukkniveaus van meer dan 90 dB(A)^{7,8}. Hier was de belangrijkste oorzaak voor rattle het instabiele evenwicht van sommige dakpannen, zonder een directe fixering met de onderliggende constructie. Om bij dit soort instabiele evenwichten dakpannen in trilling te brengen kunnen de benodigde krachten heel klein zijn.

De mate waarin de gebouwschil laagfrequente drukgolven doorlaat

Gevels en daken zijn er niet op ontworpen om specifiek laagfrequent geluid of de drukgolven met nog lagere frequenties (beneden het gehoorbereik) tegen te houden. Ook hier zijn de ramen (het glas) en de deuren de zwakke plekken in de gevels, ervan uitgaande dat de gevels in steen of beton zijn opgebouwd. Daarnaast hebben de meeste woningen een dakconstructie met dakpannen op een houten dakbeschot, die het laagfrequente geluid ook slecht tegenhoudt.

Lichte constructie-elementen in de woning

Lichte onderdelen in de woning zijn bijvoorbeeld binnenwanden van gips, houten vloeren en plafonds. Deze kunnen in trilling komen door de laagfrequente drukgolven die door de schil in de woning zijn doorgedrongen. Vervolgens kunnen de drukgolven bijvoorbeeld binnendeuren, schilderijen, lampen die aan de plafonds hangen en voorwerpen die op de vloeren staan in trilling brengen. Als een woning binnen de schil geen lichte constructie-elementen heeft, is de binnenzijde van de woning weinig gevoelig voor rattle. In dat geval is het voor rattle minder een probleem wanneer de schil laagfrequente drukgolven doorlaat, omdat er desondanks weinig risico is op het in trilling brengen van onderdelen of voorwerpen in de woning.

2.4 Bevindingen

De 201 woningen uit paragraaf 2.2 zijn deels ter plaatse en deels via *Google Street View* bezichtigd om een oordeel te kunnen geven over de gevoeligheid voor rattle noise.

⁷ DGMR raadgevende ingenieurs heeft in 2014 gemeten geluidniveaus van helikopters gerapporteerd tot 98 dB(A) in Gilze, Rijen en Tilburg, maar niveaus boven 90 dB(A) kwamen bij de metingen weinig voor.

⁸ Het dak wordt niet genoemd als mogelijke bron van rattle in [1]. Aanvullend literatuuronderzoek heeft ook geen additionele informatie hierover opgeleverd. Er is echter tijdens de metingen beschreven in [2] wel rattle afkomstig van dakpannen waargenomen op de zolder van 'villa EO' in Den Helder, bij geluiddrukkniveaus van 106 tot 110 dB(A). Eenzelfde effect is waargenomen bij geluidsmetingen voor bepaling van geluidisolatie van dakisolatieplaten. Bij deze metingen werd gebruik gemaakt van "roze ruis" en is rattle door trillende dakpannen geconstateerd bij geluiddrukkniveaus tussen 90 en 95 dB.

Tijdens de inventarisatie zijn de externe delen van de woningen bekeken om vast te stellen hoe rattle-gevoelig de schil is door de aanwezigheid van ramen en deuren, en in welke mate de schil (laagfrequent) geluid door zal laten, waardoor het risico bestaat dat er in de woning rattle ontstaat. Of er in de woning daadwerkelijk lichte constructie-elementen en objecten aanwezig zijn die rattle veroorzaken is nog niet met zekerheid vastgesteld, omdat de woningen alleen aan de buitenkant vanaf de openbare weg zijn bekeken.

Enkele bewoners uit de wijk zijn tijdens de bezichtiging ter plaatse (bij toevallige ontmoetingen) gesproken. De belangrijkste bevindingen uit de gesprekken zijn hieronder samengevat:

- Ramen en deuren in de schil rammelen door overvliegende Chinook-helikopters. Andere typen vliegtuigen en helikopters zorgen wel voor geluidsoverlast, maar niet voor rattle.
- Enkelglas en glas-in-lood zorgt voor meer rattle dan dubbelglas.
- Rammelen van dakpannen is niet opgevallen.
- Sommige bewoners schrijven scheuren en het "kapot springen" van voegsel in het metselwerk van gevels en het breken van glas (in een lichtstraat) toe aan het vliegverkeer;
- De gesproken bewoners geven aan last te hebben van het rammelen van voorwerpen die tegen ramen of kozijnen staan of planten die op (lichte) vloeren staan.

De woningen zijn beoordeeld door onderscheid te maken tussen "zeer", "enigszins" en "niet" gevoelig voor rattle op de in paragraaf 2.3 genoemde bouwkundige aspecten: de rattle-gevoeligheid van de schil, de doorlaatbaarheid van de schil (isolatie met betrekking tot laagfrequente drukgolven) en de rattle-gevoeligheid van de onderdelen binnen de woning. De doorlaatbaarheid van gevel en dak zijn afzonderlijk bekeken. Voor de rattle-gevoeligheid van de schil is gekeken naar de bouwkundige staat van ramen, deuren, glas en kozijnen. Er is vooralsnog vanuit gegaan dat dakpannen geen bron voor rattle zijn⁹.

De gevoeligheid met betrekking tot het tweede aspect, de doorlaatbaarheid van laagfrequente drukgolven, wordt vooral bepaald door het glasoppervlak, uitbouwen (zoals dakkapellen en serres) en de dakconstructie. Er is vanuit gegaan dat er bij schuine daken met een bedekking van dakpannen of riet sprake is van een houten dakconstructie, die laagfrequent geluid relatief slecht buiten houdt. Bij moderne woningen met een plat dak kan een betonnen dakconstructie zijn toegepast, die geen zwakke schakel vormt in de isolatie van laagfrequent geluid.

⁹ Het rammelen van (instabiele) dakpannen is niet geheel uit te sluiten, maar wordt onwaarschijnlijk geacht op basis van de volgende overwegingen: (1) Er is geen literatuur gevonden over rattle van dakpannen; (2) Het is uit gesprekken met bewoners niet naar voren gekomen; (3) Uit metingen blijkt dat hoge geluidniveaus van meer dan 90 dB(A) buiten voor de gevel van een woning (waarbij rattle van dakpannen bij experimenten is waargenomen) weinig voorkomen; (4) Dakpannen bevinden zich aan de buitenkant van de schil waar in het algemeen ruimtes aan grenzen die overdag (als de helikopters vliegen) weinig worden gebruikt (slaapkamers, zolderruimtes), zodat eventuele optredende rattle van dakpannen minder wordt waargenomen.

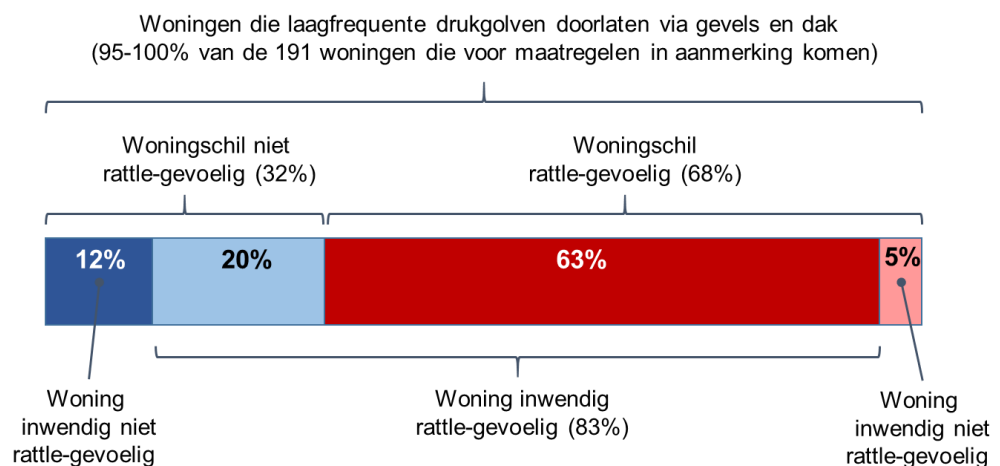
Voor wat betreft het derde aspect is aangegeven of het op grond van bouwjaar en type waarschijnlijk is dat een woning binnen de schil weinig of geen lichte elementen bevat, en daarmee (waarschijnlijk) weinig gevoelig is voor rattle. Dit is een inschatting op grond van uiterlijke kenmerken.

In bijlage A zijn ter illustratie voor de vier onderzochte aspecten foto's weergegeven van type woningen die vallen in de categorie "zeer", "enigszins" of "niet rattle-gevoelig". Deze afbeeldingen dienen als voorbeeld van het type woning dat in elke categorie valt.

Uit de inventarisatie van de woningen komt het volgende beeld naar voren:

1. Alle (of nagenoeg alle) woningen hebben een gevel die laagfrequente drukgolven relatief makkelijk doorlaat via de beglazing. Tussen de woningen is er veel variatie in het aantal ramen en het glasoppervlak.
2. Verreweg de meeste woningen hebben een pannendak en de meeste daarvan zullen onder de pannen een houten dakconstructie hebben. Uitzonderingen zijn woningen met een rieten dak en woningen met een plat dak dat in beton uitgevoerd zou kunnen zijn, maar die laatste groep is kleiner dan 5% van het totaal. Dus bij tenminste 95% van de woningen komen de laagfrequente drukgolven behalve via het glas ook via het dak naar binnen.
3. Bij ruim 30% van de woningen lijkt de schil zelf niet rattle-gevoelig te zijn. Van ongeveer 40% daarvan (dus ongeveer 12% van het totaal) is het op basis van bouwjaar en type waarschijnlijk dat zich binnen de schil ook weinig of geen rattle-gevoelige (lichte) constructiedelen bevinden.
4. Ongeveer twee derde van de woningen (68%) heeft een enigszins of zeer rattle-gevoelige schil. Meestal (bij ruim 90% van die woningen) zijn er in die gevallen naar verwachting ook lichtere constructie-onderdelen binnen de schil, die gevoelig zijn voor rattle.

De resultaten van de inventarisatie zijn met percentages in tabel 2 weergegeven. Daarvan is een samenvatting gemaakt in figuur 4.



Figuur 4 Schematische weergave van de percentages woningen waarvan de schil zelf rattle-gevoelig is en waarvan de inwendige constructie-onderdelen rattle-gevoelig zijn.

Het aspect doorlaatbaarheid van de schil is een aandachtspunt voor 95 tot 100% van de 201 woningen in paragraaf 2.2, ervan uitgaande dat er (nagenoeg) geen woningen zijn waar al maatregelen zijn getroffen om de beglazing en het dak tegen laagfrequente drukgolven te isoleren. Bij (vrijwel) alle woningen komen de laagfrequente drukgolven dus via de schil naar binnen, maar dit hoeft geen rattle binnen de woning te veroorzaken, wanneer de woning inwendig geen lichte constructieonderdelen heeft. Dit is het geval bij de 12% uiterst links en de 5% uiterst rechts in figuur 4. Hierbij geldt dat voor geen enkele woning op basis van alleen bezichtiging van de buitenkant is uit te sluiten dat er binnen de woning geen rattle kan ontstaan en dat dit nog nader bepaald moet worden door inspectie in de woningen.

Tabel 2 Groepering van woningen met percentages, door onderscheid te maken tussen “zeer/enigszins” en “niet” gevoelig voor rattle op de in paragraaf 2.3 genoemde bouwkundige aspecten: de rattle-gevoeligheid van de schil, de doorlaatbaarheid van de schil (isolatie met betrekking tot laagfrequente drukgolven) en de rattle-gevoeligheid van de onderdelen binnen de woning. De doorlaatbaarheid van gevel en dak zijn afzonderlijk bekeken.

Rattle in de schil	Doorlaatbaarheid schil		Rattle-gevoeligheid binnen	Percentage woningen
	gevel	dak		
nee	nee	nee	nee	0%
			zeer/enigszins	0%
		zeer/enigszins	nee	0%
			zeer/enigszins	1%
	zeer/enigszins	nee	nee	0%
			zeer/enigszins	1%
		zeer/enigszins	nee	12%
			zeer/enigszins	18%
zeer/ enigszins	nee	nee	nee	0%
			zeer/enigszins	0%
		zeer/enigszins	nee	0%
			zeer/enigszins	2%
	zeer/enigszins	nee	nee	0%
			zeer/enigszins	0%
		zeer/enigszins	nee	5%
			zeer/enigszins	61%

3 Maatregelen tegen rattle

3.1 Onderdelen die rattle veroorzaken

3.1.1 *Rattle van onderdelen in de schil*

Onderdelen in de schil van de woning die gevoelig zijn voor rattle zijn meestal de beweegbare ramen, de vaste ruiten en de deuren of onderdelen daarvan.

Speling in de sponning kan ertoe leiden dat glas, opzij geduwd door een drukgolf, tegen de binnenkant van de sponning aanslaat. Het type glas bepaalt de manier waarop het glas in de sponning zit en daarmee de mate waarin er sprake kan zijn van speling. Het type glas bepaalt tevens de massa per vierkante meter van het glas en daarmee de mate waarin de geluidgolf het glas verplaatst. Enkel glas is gevoelig voor rattle, omdat het licht is en omdat het vaak aan één kant is vastgezet met stopverf, die op termijn verdroogt en krimpt, zodat speling ontstaat. Dubbel glas heeft een kleiner risico dan enkel glas. Het is zwaarder en voorzien van glaslatten (in plaats van stopverf) met verende rugvullingen tussen het glas enerzijds en de glaslat en het kozijn anderzijds. Glas in lood heeft het hoogste risico: het is licht glas en er zitten geen zachte/dempende elementen in de sponning, terwijl door temperatuurwisselingen en de verschillende uitzettingscoëfficiënten van glas en lood er al snel sprake is van speling.

Bij (te openen) ramen en deuren kan speling tussen raam en kozijn ertoe leiden dat het raam, opzij geduwd door een drukgolf, tegen het kozijn slaat. Hoe lager de massa per vierkante meter van het raam, hoe groter de kans hierop. Rattle ontstaat als er sprake is van speling in de ophanging en/of in de vergrendeling en speling na vergrendeling van het raam in het kozijn. Het grootste risico zijn ramen met enkel glas, vanwege het geringe gewicht, maar ook vanwege de oude en/of versleten ophanging en vergrendeling. In nieuwbouw wordt zwaarder glas toegepast, vaak met een zichzelf klemzettende vergrendeling en bovendien een zachte/verende tochtstrip in het kozijn.

3.1.2 *Rattle binnen de woning*

Treden de laagfrequente drukgolven gemakkelijk door de schil naar binnen, dan is er een groter risico dat binnen de woning rattle ontstaat, doordat de lichtere constructie-onderdelen in trilling worden gebracht. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om houten vloeren, de daaronder hangende plafonds en binnenwanden van gipsplaat of hout, waarbij de massa minder is dan 100 kg/m². Deze onderdelen hoeven zelf niet hoorbaar te rammelen, maar kunnen voorwerpen in trilling brengen, zoals binnendeuren in lichte wanden, glas in de binnendeuren, radiatoren, lampen die aan het plafond hangen, servies op tafel of in een kast, schilderijen aan de muren of voorwerpen op de vloer.

Woningen die inwendig niet rattle-gevoelig zijn, hebben zware scheidingswanden en vloeren (van steen of beton) die moeilijk in trilling komen en daardoor ook de bovengenoemde voorwerpen niet in trilling brengen.

3.2 Maatregelen

Maatregelen tegen rattle noise zijn hieronder samengevat in drie groepen: het verbeteren van de isolatie van de schil tegen laagfrequente drukgolven, het voorkomen van rattle van onderdelen van de schil en het voorkomen van rattle die ontstaat door het trillen van lichtere constructie-onderdelen binnen de woning. Een gedetailleerder overzicht van de maatregelen is opgenomen in bijlage A.

3.2.1 *Verbeteren van de isolatie van de schil*

Voor de doorgifte van (laagfrequent) geluid naar binnen gaat het vooral om het oppervlak en de geluidisolatie van de zwakste onderdelen met relatief lage massa per vierkante meter: het glas, de deuren (inclusief de aansluitingen met de kozijnen) en het dak. Naarmate de massa van die onderdelen hoger is, gaat de kierdichting een grotere rol spelen.

Om de isolatie te verbeteren is zwaar glas nodig, dat vanwege eisen aan thermische isolatie bij vervanging altijd dubbel glas zal zijn, en in dat geval een totale dikte moet hebben van ongeveer 30 mm (8 of 10 mm glas + 15 mm spouw + 6 mm glas). Glas-in-loodramen kunnen worden voorzien van 15 mm dik voorzetglas, of het glas-in-lood kan worden opgenomen in de spouw van twee keer 6 mm glas. De dichte delen van buitendeuren moeten een massa hebben van tenminste 800 kg/m³, wat mogelijk is met massief hout met een dikte van 40 mm. Vervanging van alle kozijnen zal bijna altijd nodig zijn omdat de ruiten zodanig veel dikker worden, dat deze niet in de bestaande kozijnen passen. Bij nieuwe kozijnen moet worden gezorgd voor goede kierdichting en ventilatievoorzieningen.

In het geval van een pannendak telt de massa van de dakpannen niet zonder meer mee in de voor de isolatie benodigde massa, omdat de dakpannen samen het dakbeschoot geen goed gesloten geheel vormen. Een manier om de isolatie van pannendaken met een houten dakbeschoot te verhogen bij lage frequenties is het "activeren" van het gewicht van de dakpannen. Dat kan door het dakbeschoot kierdicht te maken en als één plaat te laten reageren op invallend geluid. Het gewicht van de op het dakbeschoot rustende dakpannen (gemiddeld 50 kg/m²) gaat dan een bijdrage leveren in de geluidisolatie.

In de praktijk kan dit worden gerealiseerd door inwendig of uitwendig direct op het dakbeschoot twee onderling overlappende lagen van 4 mm dik multiplex aan te brengen. Platte daken met een houten dakbeschoot en een bedekking met grind kunnen op dezelfde manier worden voorzien van twee lagen multiplex. Indien er geen grind op het dak ligt moet het dak worden verzwaaard, bijvoorbeeld met 20 mm vezelcementplaat onder het bitumen.

Bij rieten daken kan niet op deze manier het dakbeschoot worden verzwaaard, omdat het riet niet voldoende massa heeft en derhalve niet "geactiveerd" kan worden. Bovendien zal de dakconstructie de zware platen waarschijnlijk niet kunnen dragen. Een alternatief is dan dat lichte (houten) zoldervloeren worden verzwaaard met 15 mm dikke vezelcementplaten. Dit is vooral effectief als de zolder een weinig gebruikte ruimte is gedurende de perioden van het etmaal dat de helikopters overvliegen. De verbeterde zoldervloer fungeert dan als een tweede schil om het laagfrequente geluid buiten de rest van de woning te houden.

3.2.2 *Voorkomen van rattle door onderdelen van de schil*

Indien de in 3.2.1 genoemde maatregelen niet nodig zijn omdat er binnen de woning geen rattle-gevoelige onderdelen zijn, of omdat rattle binnen de woning al wordt bestreden met de maatregelen die hieronder (paragraaf 3.2.3) worden genoemd, kan volstaan worden met het wegnemen van speling in ramen, ruiten en deuren. Maatregelen zijn dan het vervangen van stopverf door glaslatten met rugvulling, glas-in-lood-profielen voorzien van kit, het aanbrengen van tochtstrips of rubberen afdichtingen in de kozijnen en het vervangen of afstellen van hang- en sluitwerk. Omdat hierbij de 'natuurlijke' ventilatie door de kieren niet meer mogelijk is, zal het nodig zijn om ventilatieroosters te plaatsen in woningen waar die nog niet aanwezig zijn.

3.2.3 *Voorkomen van rattle binnen de woning*

Bij maatregelen om het ontstaan van rattle binnen de woningen te voorkomen gaat het in de eerste plaats om het verzwaren van de vloeren, wanden en plafonds die een massa hebben van minder dan 100 kg/m².

Maatregelen hiervoor zijn:

1. het verzwaren van houten vloeren met 15 mm dikke vezelcementplaten, die goed zijn vernageld (vastgeschroefd),
2. het verstijven van de houten draagconstructie onder de vloer (als de massa na toepassen van 1 nog steeds te weinig is), met extra balken dwars op de bestaande balken, stalen strips onder de bestaande balken of één extra stalen ligger dwars op de bestaande balken die de overspanning van de bestaande balken halveert,
3. het vervangen van lichte wanden door wanden van steen (bijvoorbeeld kalkzandsteen),
4. het verstijven van wanden van gipsplaten op een regelwerk door het toevoegen van extra standers,
5. het ophangen van de contactdozen in verlaagde plafonds aan de draagconstructie van de vloer met een starre verbinding (waarna het plafond vaak in zijn geheel weer moet worden afgewerkt), indien er sprake is van een verlaagd plafond onder een zware constructieve vloer.

In de tweede plaats kunnen eenvoudigere maatregelen worden getroffen om het rammelen van onderdelen, voorwerpen en huisraad tegen te gaan, zoals

6. het wegnemen van speling in binnendeuren en binnenramen (zonder dat de deuren zelf vervangen hoeven te worden),
7. het goed vastzetten van radiatoren en het wegnemen van speling in de ophangbeugels,
8. het creëren van steunpunten met zachte materialen voor staande voorwerpen,
9. het plaatsen van een zacht steunpunt in de vorm van een wig onderaan de lijsten die aan muren hangen.

3.3 Aanpak afhankelijk van rattle-gevoeligheid

Volgens figuur 4 zijn van 63% van de woningen zowel de schil als de inwendige constructie-onderdelen rattle-gevoelig. Het is in principe mogelijk het probleem alleen bij de schil op te lossen door er voor te zorgen dat enerzijds de onderdelen van de schil niet meer kunnen rammelen (met maatregelen in paragraaf 3.2.2) en anderzijds de schil minder laagfrequente drukgolven naar binnen laat (paragraaf 3.2.1), waardoor de lichtere constructie-onderdelen in de woning niet meer zodanig in trilling komen dat rattle ontstaat. Bij die aanpak kunnen de in paragraaf 3.2.3 genoemde maatregelen grotendeels achterwege blijven en kan het interieur van een woning grotendeels ongemoeid worden gelaten. Dit hoeft niet in alle gevallen de goedkoopste oplossing te zijn, maar kan veel schelen in uitvoeringslasten voor de bewoners. (Vooral de in paragraaf 3.2.3 onder 2 t/m 5 genoemde maatregelen kunnen zeer arbeidsintensief zijn en ingrijpend voor de bewoners.) Aanpak van de schil zal, in tegenstelling tot een aanpak binnen, het comfort ook op andere gebieden kunnen verhogen door verbetering van de algemene geluidisolatie (niet alleen voor laagfrequent geluid) en de thermische isolatie, waarbij het vaak voor de hand zal liggen om maatregelen te combineren¹⁰.

Bij een klein deel van de woningen (5%, het uiterst rechtse deel in figuur 4) is de schil wel rattle-gevoelig, maar is de woning inwendig als niet rattle-gevoelig beoordeeld. Voor die woningen zouden wel maatregelen nodig zijn om de onderdelen van de schil vast te zetten, maar niet om de schil beter tegen laagfrequente drukgolven te isoleren. De drukgolven binnen de woning geven immers weinig risico op het ontstaan van rattle. Dit zou wel betekenen dat de geluidisolatie niet verbetert, waardoor de eventuele hinder door geluid en in het bijzonder laagfrequent geluid in dezelfde mate blijft bestaan.

Bij woningen die inwendig wel rattle-gevoelig zijn, maar die een schil hebben waarvan de onderdelen weinig gevoelig zijn voor rattle (20% in figuur 4), is een aanpak op twee manieren mogelijk. De beste manier voor de bewoners is om de isolatie van de schil te verbeteren, zodat er geen laagfrequente drukgolven in die mate binnen de woning komen dat er rattle ontstaat. Het ongemoeid laten van de schil en het treffen van maatregelen binnen de woning om te voorkomen dat onderdelen gaan rammelen kan echter in bepaalde gevallen goedkoper zijn.

De aanpak afhankelijk van de rattle-gevoeligheid van een woning is in figuur 5 samengevat. In de praktijk moet per woning worden bekeken wat de beste aanpak is. Hiervoor is een opzet gemaakt voor een protocol, dat is opgenomen in bijlage C.

¹⁰ Aandachtspunt is ventilatie: eventuele kierdichting moet worden gecompenseerd met bijvoorbeeld ventilatieroosters.

		W o n i n g s c h i l	
		rattle-gevoelig	niet rattle-gevoelig
W o n i n g	inwendig	Maatregelen: - isolatie van de schil <i>en voor zover daarnaast nog nodig:</i> - voorkomen van rattle van onderdelen van de schil	Maatregelen: - isolatie van de schil <i>of</i> - maatregelen in de woning
	niet rattle-gevoelig	Maatregelen: - voorkomen van rattle van onderdelen van de schil	Geen maatregelen nodig

Figuur 5 Aanpak voor het nemen van maatregelen tegen rattle noise, afhankelijk van de gevoeligheid van de woning voor rattle van de schil en rattle binnen de woning. Alle of nagenoeg alle woningen (95-100% van de woningen die voor maatregelen tegen rattle noise in aanmerking komen) hebben een schil die niet ontworpen is op het tegenhouden van laagfrequente drukgolven, maar het beter isoleren van de schil is niet in alle gevallen als maatregel nodig om rattle tegen te gaan.

3.4 Kosten van maatregelen

Op basis van de inventarisatie van de 201 woningen is een ruwe schatting gemaakt van de totale kosten van de uitvoering van maatregelen. Uitgangspunt daarbij is dat in 83% van de woningen (de rode en lichtblauwe categorie in de figuren 4 en 5) maatregelen 'aan de schil' worden genomen om zowel rattle door het trillen van onderdelen in de schil tegen te gaan als de isolatie voor laagfrequente drukgolven te verbeteren, zodat maatregelen in de woning niet nodig zijn. De maatregelen bestaan uit:

- vervanging van alle kozijnen door nieuwe kozijnen met dubbel glas 10-15-6, goede kierdichting, ventilatievoorzieningen en nieuwe ramen en buitendeuren met nieuw hang- en sluitwerk;
- verzwaring van het dakbeschot met extra houten beplating of (bij rieten daken) verzwaring van de zoldervloeren met vezelcementplaten.

De ruwe kostenschatting kiest veiligheidshalve de aanpak links boven in figuur 5 (in rood, die volgens figuur 4 voor 63% van de woningen van toepassing is) ook voor de 20% van de woningen rechts boven in figuur 5 (in lichtblauw). Daarbij is ervan uitgegaan dat dubbel glas 10-15-6 (totale dikte ruim 3 cm) of glas met ongeveer dezelfde massa nog nergens in woningen aanwezig is en dat de bestaande kozijnen, ramen en deuren niet geschikt zijn om dit glas te plaatsen.

In de kostenschatting is er geen rekening mee gehouden dat

- voor 20% van de woningen mogelijk met een goedkopere aanpak kan worden volstaan (lichtblauw in de figuren 4 en 5) door het treffen van maatregelen binnen de woningen, in plaats van het isoleren van de schil;

- ventilatie-voorzieningen niet nodig zijn in moderne woningen die zijn voorzien van een ventilatiesysteem met een WTW-installatie (vanaf 2010);
- buitendeuren niet vervangen hoeven te worden als deze al voldoende zwaar zijn en geen glasoppervlak hebben dat groter is dan 0,05 m²;
- maatregel b) voor het grootste deel van de woningen van toepassing is, maar niet voor woningen met betonnen daken;
- verzwaring van zoldervloeren bij maatregel b) niet van toepassing is voor woningen met betonnen vloeren.

De ruwe begroting van de totale kosten met de bovenstaande uitgangspunten bedraagt 12,2 miljoen euro exclusief btw (gemiddeld per woning een bedrag van ruim 60.000 euro). In bijlage D is de berekening opgenomen.

4 Conclusie

Rond de vliegbasis Gilze-Rijen liggen ruim 300 woningen met een geluidbelasting die hoger is dan de grens die Defensie hanteert voor het treffen van maatregelen om de geluidhinder te verminderen die binnen de woningen wordt ervaren. Van die woningen zijn er 201 waarvoor het zinvol is om maatregelen te treffen die specifiek gericht zijn op het voorkomen van rattle noise.

De 201 woningen zijn op grond van de gevoeligheid voor rattle noise in groepen ingedeeld. Hieruit volgt een kostenschatting van 12,2 miljoen euro exclusief btw voor het realiseren van de maatregelen. Voor de meeste woningen is de meest effectieve aanpak om maatregelen te treffen aan de gevels en de daken, die zowel het rammelen van onderdelen van de gevel (zoals ramen en deuren) tegen gaan, als zorgen voor een betere isolatie tegen laagfrequente luchtdrukgolven. Naar verwachting zijn er relatief weinig woningen (ongeveer 10% of minder) die zo ongevoelig zijn voor rattle noise dat maatregelen achterwege kunnen blijven.

Per woning moet nog worden bepaald welke maatregelen nodig zijn. Dit is maatwerk, waarbij elke woning uitwendig en inwendig moet worden bekeken. Een protocol hiervoor is opgenomen in bijlage C van dit rapport.

5 Referenties

- [1] Literatuurstudie "Rattle Noise" van helicopters
TNO-rapport 2013 R10188, februari 2013.
- [2] Een onderzoek naar de rol van "rattle noise" bij hinder door helikoptergeluid
NLR-rapport NLR-CR-2014-392, april 2015.

6 Ondertekening

Den Haag, december 2017



drs. C.M. Ort
Research manager

TNO



ir. A.R. Eisses
Auteur

A Specificatie rattle-gevoeligheidscategorieën

Onderstaande tabellen geven per gevoeligheidsaspect enkele voorbeelden van type woningen per categorie van rattle-gevoeligheid (zeer gevoelig = rood, enigszins gevoelig = lichtblauw of niet gevoelig = donkerblauw). In de resultaten in hoofdstuk 3 zijn de woningen die 'zeer' of 'enigszins' rattle-gevoelig samengepakt. Per aspect van rattle-gevoeligheid worden een of meerdere foto's getoond van een voorbeeldwoning en wordt toegelicht welk type woningen in een bepaalde categorie valt. De woningen die op de foto's te zien zijn liggen niet in het geschouwde gebied, maar zijn vergelijkbare woningen uit andere wijken in Nederland. Alle afbeeldingen zijn afkomstig van *Google Street View*.

Tabel A1 Rattle-gevoeligheid schil

Zeer gevoelig	Enigszins gevoelig	Niet gevoelig
		
<p>Woningen met veel enkelglas met verouderde stopverf, deuren die los in hun sponning zitten en met een schil in slechte staat hebben vaak te maken met rattle in de schil. Ook glas-in-lood bovenluiken zijn zeer gevoelig.</p>	<p>Tot deze categorie behoren woningen met doorsnee dubbelglas, of deels enkel- en deels dubbelglas en een normale bouwkundige staat van de gevel.</p>	<p>Nieuwbouwwoningen met dikker glas, met minder te openen delen en waar ramen en deuren strak in hun sponning worden vergrendeld zijn niet rattle-gevoelig.</p>

Tabel A2 Doorlaatbaarheid gevel (ramen en deuren)

Zeer gevoelig	Enigszins gevoelig	Niet gevoelig
		
<p>Woningen met veel of grote glasoppervlakken en deuren laten veel (laagfrequent) geluid door. Met name enkelglas is hier gevoelig voor. Vrijstaande woningen hebben over het algemeen meer openingen en vallen doorgaans onder deze categorie. Ook uitbouwen en serres maken een schil doorlaatbaar.</p>	<p>Tot deze categorie behoren woningen met een gemiddeld aantal en gemiddelde grootte van openingen. De meeste tussenwoningen worden hiertoe gerekend.</p>	<p>Tot deze categorie worden woningen gerekend met zeer kleine afmetingen van ramen of een klein aantal ramen. Vaak zijn de meeste deuren en ramen echter groot genoeg om laagfrequent geluid door te laten. Dit type woningen komt dus bijna niet voor.</p>

Tabel A3 Doorlaatbaarheid van het dak

Zeer gevoelig	Enigszins gevoelig	Niet gevoelig
 	 	 
<p>Daken met dakpannen en houten dakbeschotten en rieten daken op een houten frame zijn een licht onderdeel van de schil die goed (laagfrequent) geluid doorlaten. Met name grote daken met grote oppervlakken laten veel laagfrequent geluid door.</p>	<p>Woningen met daken met kleinere afmetingen zijn minder doorlaatbaar. Woningen waar het dak pas op de 2^e verdieping begint hebben over het algemeen minder hinder van rattle, omdat zich op deze verdieping vaak minder gevoelige ruimten bevinden.</p>	<p>Wanneer er weinig dakoppervlakte is, is het dak relatief minder doorlatend. Platte daken hebben mogelijk een betonnen dakopbouw, waardoor ze niet laagfrequent geluid niet meer (zo gemakkelijker) doorlaten.</p>

Tabel A4 Rattle-gevoeligheid in de woning

Zeer gevoelig	Enigszins gevoelig	Niet gevoelig
		
<p>Vrijstaande woningen zijn vaak opgebouwd uit lichte vloeren en wanden, bijvoorbeeld van hout. In Gilze-Rijen staan veel oude boerderijen uit de 19^e eeuw. Dit type woningen kent over het algemeen veel lichte bouwelementen (wanden, vloeren, etc.).</p>	<p>Modernere vrijstaande woningen zijn vaak opgebouwd uit (deels) zwaardere materialen, en mogelijk (deels) lichtere materialen.</p>	<p>Rijtuishuizen uit de jaren '60-'80 bestaan vaak uit betonnen constructies. Betonnen bouwelementen (als wanden, vloeren, etc.) zijn niet gevoelig voor rattle en kunnen geen huisraad in trilling brengen.</p>

B Maatregelen tegen rattle noise

Deze bijlage beschrijft per gebouwcomponent wat de oorzaak is van rattle, in welke gevallen er rattle kan ontstaan en (indien nodig) welke maatregelen getroffen kunnen worden om de oorzaak te voorkomen of de rattle te reduceren.

De schil (bestaande uit gevel- en dakvlakken) van een woning is op twee manieren belangrijk voor rattle: onderdelen ervan kunnen zelf ratelen en onderdelen kunnen geluid en trillingen doorgeven naar binnen zodat daar rattle ontstaat (zie ook figuur 3 in hoofdstuk 2). Het betreft in beide gevallen hetzelfde soort onderdelen: de ramen, de deuren en het dak. Aanpak van de schil kan daardoor op twee manieren effectief zijn. In principe is het mogelijk de rattle bij de schil op te lossen waardoor de inrichting binnen ongemoeid kan worden gelaten. Dit kan veel schelen in uitvoeringslasten voor de bewoners, maar kan ook hogere kosten met zich meebrengen. Aanpak van de schil zal, in tegenstelling tot een aanpak binnen, het comfort ook op andere gebieden kunnen verhogen: de algemene geluidisolatie en de thermische isolatie kunnen erdoor worden verbeterd¹¹. In het geval dat de bewoner of eigenaar al van plan is de woning te verbeteren kunnen maatregelen worden gecombineerd. Als bijvoorbeeld voor de reductie van rattle enkelglas vervangen moet worden door veel dikker enkelglas, wat ook de vervanging van de kozijnen met zich meebrengt, kan de bewoner de meerprijs voor dubbel glas (HR++) voor zijn rekening nemen om ook de thermische isolatie te verbeteren.

¹¹ Aandachtspunt is ventilatie: eventuele kierdichting dient te worden gecompenseerd met bijvoorbeeld ventilatieroosters. De verbetering van de thermische isolatie en algemene geluidisolatie kan, afhankelijk van de situatie, passen in ander beleid en dan nog meer voor de hand liggen. Er kan bijvoorbeeld worden gedacht aan geluidsanering (mogelijk staat de betreffende woning op een saneringslijst), subsidies voor energiebesparing of gewenste woningverbetering door huidige eigenaar/bewoner. Per situatie kan worden beoordeeld of van één of meer van deze zaken sprake is en of op die manier financiering beschikbaar is om de benodigde maatregelen verder te optimaliseren.

B.1 Daken

B.1.1 Gevoeligheid voor rattle

Het gaat om:

1. rattle van dakpannen en
2. doorgifte van laagfrequente drukgolven¹² naar binnen.

1. Dakpannen

Er is weinig bekend over de oorzaak van rattle door dakpannen en de omstandigheden waaronder dit kan optreden. Er is geen wetenschappelijke literatuur gevonden over rattle van dakpannen. Op basis van observaties¹³ zijn er twee paden gedefinieerd die verantwoordelijk lijken te zijn. In het geval van het directe pad worden instabiele dakpannen in trilling gebracht door geluid met golflengtes van vergelijkbare grootte als de dakpan. De bijbehorende frequenties liggen in de orde van enkele kHz. De trilling wordt dus niet veroorzaakt door laagfrequent geluid. In het geval van het tweede pad zorgt laagfrequent geluid voor een trilling in de dakconstructie. Deze trilling in de dakconstructie zorgt voor het rammelen van instabiele dakpannen.

Uit literatuuronderzoek¹⁴ blijkt dat voor geluid van een Chinook-helikopter het grote aandeel van het geluidsvermogen (90 tot 100 dB) bij frequenties lager dan 100 Hz ligt, en dat bij frequenties boven 200 Hz de geluidsniveaus veel lager zijn (minder dan 70 dB). Het indirecte pad, via de dakconstructie, lijkt dus het meest waarschijnlijke pad voor rattle van dakpannen als gevolg van het geluid van de Chinook-helikopter. Het maximale geluidniveau gemeten door dgm¹⁵ tijdens helikopterpassages was 98 dB. Veruit het grootste deel van de passages resulteerde in niveaus tussen 70 en 90 dB. Gegeven de eerdergenoemde niveaus waarbij rattle door dakpannen is geconstateerd, lijkt het onwaarschijnlijk dat dit verschijnsel vaak voorkomt. Daarnaast is het zo dat dakpannen zich aan de buitenkant van de schil bevinden en over het algemeen aan ruimtes grenzen die overdag in beperkte mate worden gebruikt (slaapkamers, zolderruimtes). De ontkennende reacties van bewoners op de vraag of rattle van dakpannen voor overlast zorgde en de beperkte informatie over dit onderwerp, onderbouwen het vermoeden dat dakpannen zeer waarschijnlijk geen relevante bron van rattle zijn.

¹² In het frequentiegebied beneden 100 Hz. In het frequentiegebied van 20 tot 100 Hz is dit laagfrequent geluid. Beneden 20 Hz worden de luchtdrukvariaties niet meer als geluid waargenomen en daarom wordt in plaats van "geluid" gesproken van "drukgolven" of "luchtdrukgolven".

¹³ Van Veen, T.A., NLR, persoonlijke communicatie op 21-12-2016 en 22-12-2016 en Lentzen, S., Level Acoustics, persoonlijke communicatie op 25-11-2016 en 21-12-2016.

¹⁴ Literatuurstudie "Rattle Noise" van helicopters, TNO-rapport 2013 R10188, februari 2013.

¹⁵ Kok, A., 2014, Geluidsmetingen helikopters te Gilze, Rijen en Tilburg, M.2013.1161.00.R001.

2. Doorgifte van laagfrequente drukgolven naar binnen

Voor de doorgifte van laagfrequente drukgolven naar binnen gaat het om de geluidisolatiewaarde R van het dak en de verhouding tussen het dakoppervlak en het oppervlak van de totale schil. De geluidisolatiewaarde R is, bij lage frequenties, vaak laag en het relatieve oppervlak juist groot, waarmee het dak potentieel de zwakste schakel is voor het binnendringen van drukgolven. De geluidisolatiewaarde R wordt bij lage frequenties voornamelijk bepaald door de massa per vierkante meter van het dak. Daken van betonnen platen (vaak platte daken) hebben voldoende geluidisolatie. Daken met houten dakbeschot meestal niet, ook al zijn ze inwendig voorzien van thermische isolatie (voorzetconstructies met in de spouw minerale wol). Dergelijke isolatie is weliswaar ook geluidisolierend maar niet voor lage frequenties (lager dan 100 Hz). Een manier om de isolatie van daken met een houten dakbeschot te verhogen bij lage frequenties is het “activeren” van het gewicht van de dakpannen. Dat kan door het dakbeschot kierdicht te maken en als één plaat te laten reageren op invallend geluid. Het gewicht van de op het dakbeschot rustende dakpannen (gemiddeld 50 kg/m²) gaat dan meehelpen voor de isolatie tegen laagfrequente drukgolven.

B.1.2 Maatregelen voor daken

Daken met een houten dakbeschot en dakpannen worden inwendig of uitwendig voorzien van 2 lagen 4 mm multiplex platen direct op het dakbeschot (onderling overlappend), per 20 cm en per plank vastgeschoten op het dakbeschot. Alle kieren worden dichtgekit.

Aandacht moet worden besteed aan de ventilatie. Eventueel wordt de maatregel gecombineerd met verdere thermische- en akoestische isolatie van het dak. Hoewel 8 mm multiplex redelijk vochtdoorlatend is, is het van belang te voorkomen dat het dakbeschot uitdroogt (“verstikt”). Bij verdere isolatie zullen op de juiste plekken dampremmende en dampdoorlatende folies worden aangebracht. Als er echter geen verdere isolatie plaatsvindt moet worden opgelet dat het dakbeschot niet is opgesloten tussen de multiplexplaten en een dampremmende folie. Daken met een houten dakbeschot zonder dakpannen (zoals platte daken) worden evenzo voorzien van 2 x 4 mm multiplex direct vastgeschoten op de planken. Indien er geen grind op de bitumen dakbedekking ligt, wordt het dak (onder het bitumen) verzaagd met 20 mm vezelcementplaat.

B.2 Buitenramen

B.2.1 Gevoeligheid voor rattle

Het gaat om:

1. rattle van de ramen zelf door invallende drukgolven en
2. doorgifte van drukgolven naar binnen.

1. Ratelende onderdelen

- a) Glas in de sponning
- b) Raam in zijn kozijn
- c) Glas-in-lood, glaasjes in de "sponning" van het lood.

Ad a en c: Speling in de sponning kan ertoe leiden dat glas, opzij geduwd door een drukgolf, tegen de binnenkant van de sponning aanslaat. Het type glas bepaalt de manier waarop het glas in de sponning zit en daarmee de mate waarin er sprake kan zijn van speling. Het type glas bepaalt tevens de massa per vierkante meter van het glas en daarmee de mate waarin de drukgolf het glas verplaatst. Glas in lood heeft het hoogste risico: het is licht glas en er zitten geen zachte/dempende elementen in de sponning, terwijl door temperatuurwisselingen en de verschillende uitzettingscoëfficiënten van glas en lood er al snel sprake is van speling. Ook een hoog risico heeft enkelvoudig glas: dit is enerzijds licht en anderzijds vaak (bij oudbouw) aan één kant vastgezet met stopverf, die op termijn verdroogt en krimpt, en daarmee speling creëert. Het minste risico is dubbelglas: dit is zwaar en voorzien van glaslatten (in plaats van stopverf) met (verende) rugvullingen tussen glas enerzijds en glaslat en kozijn anderzijds.

Ad b: Dit speelt bij te openen ramen. Speling tussen raam en kozijn kan ertoe leiden dat het raam, opzij geduwd door een drukgolf, tegen het kozijn slaat. Hoe lager de massa per vierkante meter van het raam, hoe groter de kans hierop. Rattle ontstaat als er sprake is van speling in de ophanging en/of in de vergrendeling en speling na vergrendeling van het raam in het kozijn. Het grootste risico zijn ramen met enkelglas, vanwege het geringe gewicht, maar ook vanwege de oude en/of versleten ophanging en vergrendeling. In nieuwbouw wordt zwaarder glas toegepast, vaak met een zichzelf klemzettende vergrendeling en bovendien een zachte/verende tochtstrip in het kozijn.

2. Doorgifte van luchtdrukgolven naar binnen

Voor de doorgifte van luchtdrukgolven naar binnen gaat het om de geluidsisolatie waarde R van het raam en de oppervlakte van het raam. Hoe groter de oppervlakte van het raam, hoe groter de doorgifte. De geluidsisolatie waarde R wordt, in het geval van laagfrequent geluid, voornamelijk bepaald door de massa per vierkante meter van het raam. Wanneer de massa vrij hoog is (wat gunstig is), speelt ook de kwaliteit van de kierdichting een rol.

B.2.2 Maatregelen voor buitenramen

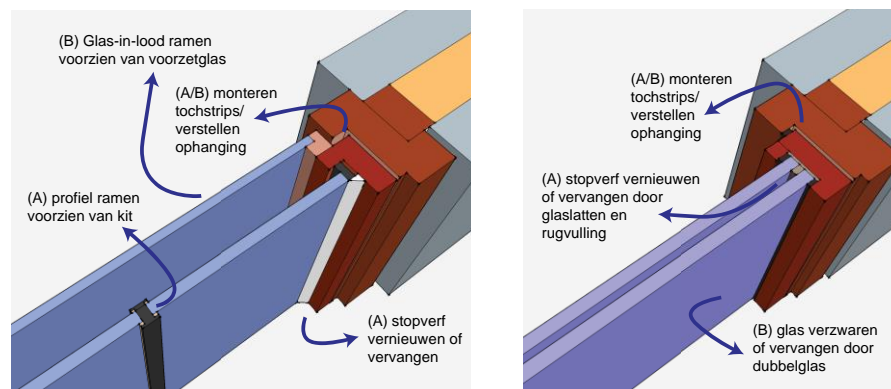
Indien doorgifte van luchtdrukgolven naar binnen niet bestreden hoeft te worden omdat er binnen geen rattle-gevoelige onderdelen zijn of omdat deze zelf al behandeld worden, kan volstaan worden met het wegnemen van speling door:

- het vernieuwen van stopverf vernieuwen of vervangen van stopverf door glaslatten met rugvulling,
- het vervangen van glaslatten en rugvulling (na inspectie op speling),
- het profiel van glas-in-lood voorzien van kit,
- het monteren van tochtstrips in de kozijnen en indien nodig verstellen van de ophanging en/of vergrendeling of vervanging ervan.

Indien nodig moet een ventilatievoorziening (rooster, bijvoorbeeld in het raam of in het kozijn, mogelijk bij een ander raam in dezelfde ruimte) worden geplaatst.

Indien binnen de woningen rattle-gevoelige onderdelen aanwezig zijn kunnen deze worden “beschermd” door de gebouwschil niet alleen rattle-ongevoelig te maken maar ook beter geluidisolierend. Hiervoor zijn de volgende maatregelen:

- glas verzwaren: enkelglas vervangen door enkelglas van 15 mm of dubbelglas vervangen door dubbelglas 8-15-6 of 10-15-6,
- glas-in-lood ramen voorzien van voorzetglas van 15 mm,
- het monteren van tochtstrips in de kozijnen en indien nodig verstellen van de ophanging en/of vergrendeling of vervanging ervan.



In verband met thermische isolatie en algemene geluidisolatie verdient het de voorkeur enkelglas niet door enkelglas te vervangen maar door gespecificeerd dubbelglas. Dat zal zeer waarschijnlijk vervanging van het kozijn noodzakelijk maken (de glasdikte neemt toe van 4 mm naar 30 mm) maar die vervanging is wellicht toch ook al noodzakelijk bij vervanging enkelglas (toename dikte van 4 mm naar 15 mm). In verband met thermische isolatie verdient het de voorkeur bij gebruik van dubbelglas te kiezen voor de HR++ variant (bijvoorbeeld met Argon vulling). In verband met algemene geluidisolatie en thermische isolatie verdient het de voorkeur het glas-in-lood op te nemen in de spouw van dubbelglas (met spouwbladen van tenminste 6 mm).

Indien nodig moeten ventilatievoorzieningen (roosters, bijvoorbeeld in het raam of in het kozijn) worden aangebracht, mogelijk bij een ander raam in dezelfde ruimte.

B.3 Buitendeuren

B.3.1 Gevoeligheid voor rattle

Het gaat om:

1. rattle van de deuren zelf door invallende drukgolven en
2. doorgifte van geluid naar binnen

1. *Ratelende onderdelen*

- a) Glas in de sponning
- b) Deur in zijn kozijn
- c) Beslag (klopper, deurknop, etc.)

Ad a: Zie B.2.1.

Ad b: Zie B.2.2.

Ad c: Het deurbeslag kan "kritisch" bevestigd zijn, bijvoorbeeld een deureklopper waarvan het zwaartepunt recht onder het ophangpunt/draaipunt ligt, een deurknop met speling, etc. Als geluid invalt op de deur en de deur daardoor gaat trillen kunnen deze onderdelen steeds even loskomen en terugvallen c.q. ratelen.

2. *Doorgifte van drukgolven naar binnen*

Voor de doorgifte van drukgolven naar binnen gaat het om de geluid-isolatie waarde R van de deur die bij lage frequenties voornamelijk bepaald wordt door de massa per vierkante meter. Achterdeuren in oudbouw zijn vaak zeer licht uitgevoerd, al dan niet voorzien van licht enkelglas. Maar ook voordeuren hebben een relatief lage massa per vierkante meter, vooral als ze voorzien zijn van panelen en/of (enkel) glas.

B.3.2 Maatregelen voor buitendeuren

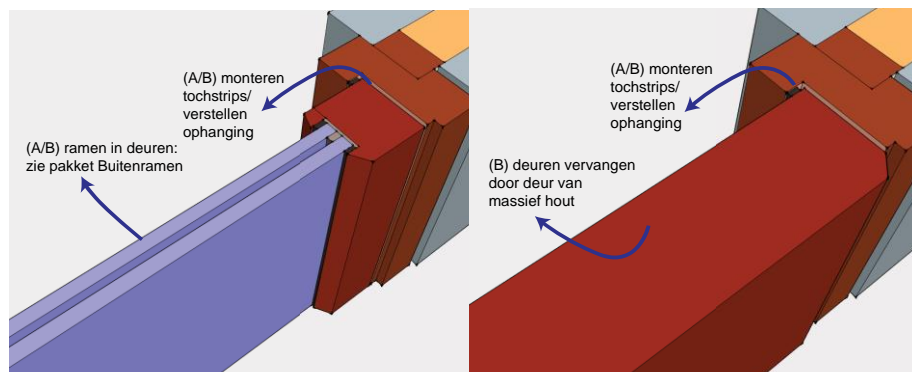
Indien de doorgifte van drukgolven naar binnen niet bestreden hoeft te worden omdat er binnen geen rattle-gevoelige onderdelen zijn of omdat deze zelf al behandeld worden, kan volstaan worden met het wegnemen van speling.

- Voor wat betreft ramen in de deur: zie B.2.2.
- Tochtstrips kunnen worden gemonteerd in de kozijnen en indien nodig kan de ophanging en/of de vergrendeling beter worden afgeregeld of worden vervangen. Indien nodig moet een ventilatievoorziening (rooster, bijvoorbeeld in het kozijn, mogelijk bij een raam in dezelfde ruimte) worden toegevoegd.

Indien binnen de woningen rattle-gevoelige onderdelen aanwezig zijn, kunnen deze worden "beschermd" door de gebouwschil niet alleen rattle-ongevoelig te maken maar ook beter isolerend.

- Een deur kan worden vervangen door een deur van massief hout met een dichtheid van tenminste 800 kg/m^3 (deurdikte: 40 mm).

- Wat betreft ramen in de deur: zie A.2.2. Ramen kleiner dan 0,05 m² hoeven niet vervangen te worden door zwaarder glas of dubbelglas.
- Tochtstrips kunnen worden gemonteerd in de kozijnen en indien nodig kan de ophanging en/of de vergrendeling beter worden afgeregeld of worden vervangen. Deze maatregel werkt dus zowel voor het wegnemen van speling als voor de isolatie tegen het doorgeven van drukgolven van buiten naar binnen. Indien nodig moet een ventilatievoorziening (rooster, bijvoorbeeld in het kozijn, mogelijk bij een raam in dezelfde ruimte) worden toegevoegd.



B.4 Constructie-onderdelen binnen de woning

B.4.1 Gevoeligheid voor rattle

De constructieonderdelen binnen ratelen zelf niet maar worden door de lucht dermate in trilling gebracht dat daaraan verbonden objecten (servies op een tafel op een lichte vloer) tot rattle worden gebracht. Van belang zijn:

1. plafonds,
2. vloeren,
3. wanden en
4. binnenramen en binnendeuren.

1. Plafonds

Van belang is het gewicht van de vloeren boven het plafond. Bij een massa per oppervlakte van minder dan 100 kg/m² is er sprake van een "lichte" vloer.

Zware "constructieve" plafonds, zijnde plafonds die in feite de onderkant zijn van een stenige, dus niet-lichte, basisvloer (zoals kanaalplaatvloeren), zijn niet rattle-gevoelig. Rattle-gevoelig zijn:

- lichte constructieve plafonds (zoals de onderkant van een houten vloer),
- plafonds onder de constructieve vloer, zoals stucwerk aan de balken van houten plafonds en verlaagde plafonds bestaande uit gipsplaten aan regels.

De gevoeligheid bestaat eruit dat de door instraling van laagfrequente drukgolven veroorzaakte trillingen in het plafond worden doorgegeven aan lamparmaturen. Armaturen met losse onderdelen (zoals kroonluchters) kunnen dan gaan ratelen.

2. Vloeren

Vloeren met een massa per vierkante meter van minder dan 100 kg/m² hebben kans om rattle te veroorzaken. Ook bij zware vloeren kan rattle optreden, namelijk bij bepaalde type dekvloeren (zie verderop).

Invallende luchtdrukgolven brengen de vloer in trilling, waarna op de vloer rustende meubels, verlichtingsarmaturen etc. mee gaan trillen alsmede de daaraan verbonden c.q. daarop geplaatste objecten (zoals servies op een tafel). Indien de eerste eigenfrequentie van de vloer samenvalt met dominante frequenties in de aanstoting treedt er resonantie op in de vloer en wordt de kans op rattle navenant hoger. De dominante frequenties bij Chinook-helikopters (de veroorzakers van rattle) liggen tussen de 12 en de 40 Hz. Lichte vloeren dienen dus ten eerste te worden verstijfd, om de eigenfrequentie naar 50 Hz of hoger te brengen, en/of te worden verzwaard, om de massa richting 100 kg/m² te brengen. Een typische vooroorlogse vloer heeft een massa van ongeveer 30 kg/m² en een overspanning van 4 meter. Zo'n vloer kan worden aangepakt door onder de vloer een stalen ligger halverwege de overspanning aan te brengen, die afdraagt op de voor- en achtergevel, om de eigenfrequentie te verhogen, en op de vloer vezelcementplaten van 15 mm te schroeven. De hoogte van de ligger (bijvoorbeeld een H-profiel) wordt bepaald aan de hand van de lengte van de overspanning van de ligger, waarbij maatgevend is dat de eerste eigenfrequentie van de ligger boven de 50 Hz ligt. Het aanbrengen van een ligger kan vooral voor verdiepingsvloeren problematisch zijn, vanwege de plafondhoogte in de kamer(s) eronder en/of gebrek aan sterkte op de afdraagpunten in de gevel (vaak boven een raam). Een alternatief voor de stalen ligger is het aanbrengen van stalen strips onder de balken, zowel in de lengte van de balken als er loodrecht op, of het plaatsen van dwarsbalken. In alle gevallen geldt, ook voor de stalen balk, dat de extra elementen dragend c.q. op stuit dienen te worden aangebracht, dus bijvoorbeeld op spanning dienen te worden gebracht met behulp van wiggen e.d.

Een speciaal risico zijn zwevende dekvloeren, laminaatvloeren en harde vloer-afwerkingen op een zachte tussenlaag. Deze zullen van zichzelf, onafhankelijk van de ondervloer door geluid in trilling worden gebracht. Daarbij speelt de vaak zeer geringe massa van deze vloeren een belangrijke rol.

3. Wanden

Binnenwanden met een massa per vierkante meter van minder dan 100 kg/m² hebben kans om rattle te veroorzaken. Ook voorzetwanden zijn rattle-gevoelig. De luchtdrukgolven brengen de wand in trilling, die op zijn beurt daaraan bevestigde schilderijen, lampen e.d. in trilling brengt. Het gaat in principe altijd om wanden van licht plaatmateriaal, zoals hout en gips, op regels. Stenige binnenwanden, zoals halfsteense wanden, en wanden van kalkzandsteen zijn zwaar genoeg. Het gaat ook alleen om wanden die volledig doorlopen tussen twee overliggende wanden. Wanddelen die bijv. een open keuken gedeeltelijk afschermen of waarin een permanente grote sparing zit (deurgat zonder deur) zijn niet rattle-gevoelig.

Lichte wanden worden vaak toegepast bij renovatie, maar ook in nieuwbouw, waar ze onder andere populair zijn vanwege de vrije indeelbaarheid van de woning die er mee mogelijk wordt gemaakt.

4. Binnenramen en binnendeuren

Naast de constructieonderdelen die indirect tot rattle leiden zijn er onderdelen die zelf ratelen: binnendeuren en binnenramen. Dit kan komen door invallende luchtdrukgolven (die via de gevel de woning zijn binnengekomen) of door het trillen van de wand waarin het binnenraam of de binnendeur is bevestigd.

Ratelende onderdelen zijn

- a) glas in de sponning,
- b) raam of deur in zijn kozijn,
- c) glas-in-lood, glaasjes in de "sponning" van het lood en
- d) beslag (zoals klopper en deurknop).

Voor toelichting zie B.2.1 en B.3.1.

B.4.2 Maatregelen

1. Plafonds

Indien er sprake is van lichte constructieve vloeren die het plafond vormen of waaraan het plafond bevestigd is: zie hieronder bij punt 2, *Vloeren*.

Indien er sprake is van een verlaagd plafond onder een niet-lichte constructieve vloer moeten de contactdozen in het verlaagde plafond worden ophangen aan de constructieve vloer met een starre verbinding. Het plafond zal daar ter plekke voor moeten worden verwijderd en daarna weer worden hersteld en het gehele plafond opnieuw gestuct.

Hoewel niet gebruikelijk in de woningbouw kan er sprake zijn van een verlaagd plafond dat bestaat uit regels en losse platen (systeemplafond, zoals vaak wordt toegepast in de utiliteitsbouw). In dat geval kunnen plafondregels en kabels e.d. die op de platen liggen kunnen "kritisch" liggen en voor rattle zorgen. De maatregel bestaat in dat geval uit:

- het verwijderen van de plafondplaten,
- de regels op alle hoeken voorzien van klemmen,
- het terugbrengen van de plafondplaten, waarbij kabels, contactdozen, e.d. op een verende laag (schuimplaten) worden gelegd,
- het vervangen van lichtarmaturen met losse onderdelen (lamellen e.d.) door niet-rattle gevoelige armaturen.

2. Vloeren

Indien de massa minder is dan 100 kg/m^2 , moet de vloer worden verzwaaard met 15 mm vezelcementplaten, vernageld (bevestigd met 1 schroef per $60 \times 60 \text{ cm}^2$).

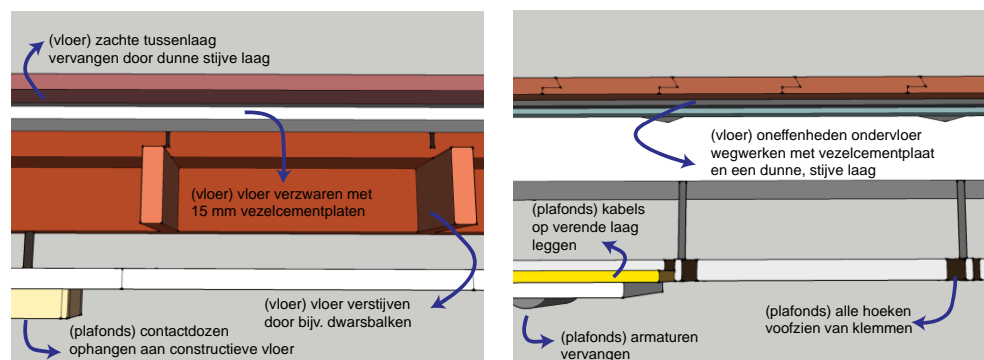
Indien de massa na verzwaring nog steeds onder de 100 kg/m² ligt, moet de vloer ook worden verstijfd door een van de volgende opties:

- introductie van een extra draagweg c.q. verkorting van de overspanning met een stalen ligger met eigenfrequentie > 50 Hz halverwege de overspanning,
- het aanbrengen van een grid van stalen strips onder de balken (maatvoering nader te bepalen) of
- het aanbrengen van dwarsbalken (balken loodrecht op de draagrichting) (maatvoering nader te bepalen).

Indien er sprake is van een zwevende dekvloer kan deze niet worden verwijderd of aangepast, omdat de dekvloer is aangebracht voor een geluidisolerende werking. Voor vloeren met een zwevende dekvloer is dus geen oplossing, anders dan het verminderen van het doorlaten van laagfrequente drukgolven via de schil van de woning, dus het verbeteren van de isolatie van de schil.

Indien er een harde dekvloer op een zachte tussenlaag aanwezig is (zonder dat deze een bijzonder akoestische reden heeft) moet de zachte tussenlaag worden vervangen door een dunne, stijve laag zoals 2 mm rubbergranulaat.

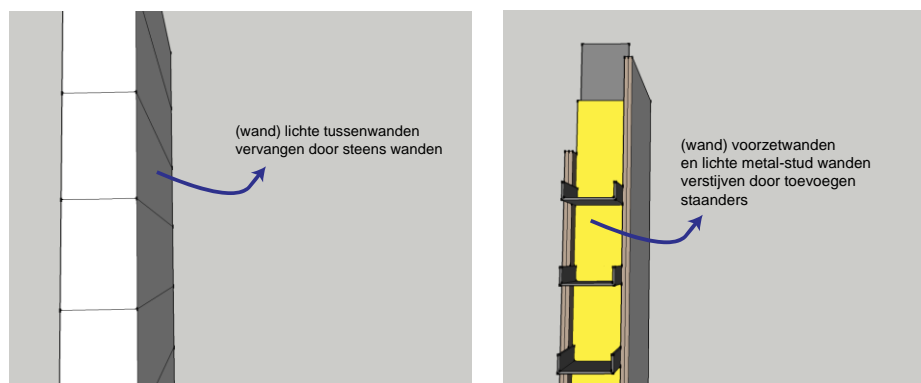
Indien er sprake is van een laminaatvloer moeten eventuele tussenlagen worden verwijderd, zo nodig de oneffen ondervloer worden afgevlakt met vezelcementplaat en een dunne, stijve laag worden toegepast zoals 2mm rubbergranulaat.



3. Wanden

Oplossingen betreffen verzwaring en als dat niet kan, verstijving (om een eigenfrequentie hoger dan 50 Hz te bereiken waardoor opslingering door resonantie in ieder geval niet optreedt).

Indien er sprake is van wanden met een massa van minder dan 100 kg/m², zoals gips op een metal-studconstructie, kan de wand worden vervangen door een stenige wand, bijvoorbeeld van kalkzandsteen. Indien dat geen optie is, of als het gaat om voorzetwanden, kunnen de wanden worden verstijfd door het toevoegen van staanders, met een tussenafstand van 45 cm, in de vorm van stalen C-profielen van 100 mm hoog, 40 mm breed en 5 mm dik. De smalle zijde van het C-profiel wordt bevestigd aan de wand.



4. Binnenramen en binnendeuren

De oplossing is het wegnemen van speling. Dit betekent dat de ramen en deuren zoveel als mogelijk gehandhaafd blijven. Zie voor de uitwerking A.2.2 en A.3.2.

B.5 Voorwerpen binnen de woning

Indien de in de vorige paragrafen beschreven maatregelen worden uitgevoerd, daar waar nodig, is geen rattle meer te verwachten in de woning. Indien niet alle benodigde (bouwkundige) maatregelen kunnen worden getroffen resteert het nemen van maatregelen om het rammelen van losse voorwerpen (zoals radiatoren of de huisraad) te voorkomen.

Rattle-gevoelige voorwerpen zijn met name:

- lijsten (foto's, schilderijen, etc.) aan wanden,
- lampen (kroonluchters e.d.),
- servies (geplaatst naast elkaar en/of op een glad oppervlak),
- radiatoren.

Bij voorwerpen die hangen aan wanden, zoals fotolijsten, kan een vast extra steunpunt worden gecreëerd in de vorm van een wig onderaan een lijst, bij voorkeur met een zacht materiaal. Voor een radiator die gaat rammelen als de wand waaraan deze hangt of de vloer waarop deze steunt bij een bepaalde frequentie in trilling komt, is het meestal eenvoudig om het probleem te verhelpen door de radiator beter vast te zetten.

Voor veel andere voorwerpen is er weinig anders te doen dan het plaatsen op een zachte ondergrond of het veranderen van de huisinrichting en/of de huisraad (zoals het vervangen van een kroonluchter door een lamp zonder losse onderdelen), waarmee het een privé-zaak voor de bewoners wordt.

C Uitvoeringsprotocol

Om per woning definitief vast te kunnen stellen welke rattle-reducerende maatregelen dienen te worden genomen, is een opzet gemaakt voor een uitvoeringsprotocol. Dit protocol beschrijft de stappen die doorlopen moeten worden om de benodigde bouwkundige maatregelen vast te stellen.

Dit protocol bestaat uit enkele onderdelen, die in dit hoofdstuk achtereenvolgend behandeld zullen worden:

1. beschrijving van het protocol
2. inspectieformulier
3. begrippenlijst.

C.1 Beschrijving protocol

Doel

Het vaststellen van de te nemen bouwkundige maatregelen tegen rattle voor elke individuele woning in het aandachtsgebied¹⁶.

Rollen en taken

OPDRACHTGEVER: Defensie

AANNEMER: uitvoerder van bouwkundige maatregelen, te benoemen door OPDRACHTGEVER

INSPECTEUR: onafhankelijke partij, te benoemen door OPDRACHTGEVER

BEHEERDER: de beheerder van het pand (bewoner/eigenaar, verhuurder, etc.)

Namens de OPDRACHTGEVER bepaalt de INSPECTEUR wat er in een woning zou moeten gebeuren. Zijn overwegingen en bevindingen legt de INSPECTEUR vast in het inspectieformulier. Op dat formulier vult de INSPECTEUR ook het onderdeel "Bestek" in, met daarin dermate precieze duiding, aantallen etc., zodat de AANNEMER op grond hiervan een calculatie kan uitvoeren.

Het inspectieformulier wordt overlegd aan de OPDRACHTGEVER en de BEHEERDER. De AANNEMER levert een calculatie aan (op grond van het bestek). OPDRACHTGEVER en BEHEERDER kunnen ondersteund met deze informatie besluiten nemen binnen een door OPDRACHTGEVER nog te op te stellen kader:

- Uitvoering conform advies van de INSPECTEUR;
- Uitvoering met aanpassingen, bijvoorbeeld gewenst door de BEHEERDER, door de AANNEMER met de BEHEERDER als meerwerk te verrekenen;
- Gedeeltelijk uitvoering of geen uitvoering.

¹⁶ a) algemene definitie: gebied van onderzoek, b) specifiek: daar waar de rattle-toeslag > 0 dB en binnen de contour (incl. toeslag) > 40 Ke

Dit protocol gaat verder in op het werk van de INSPECTEUR.

Uitvoering – voorwerk

De uitvoering van het protocol bestaat uit twee stappen: het voorwerk en de inspectie zelf. Wij adviseren voordat de inspectie van de woningen start, de globale inventarisatie die gedaan is door TNO en Level Acoustics & Vibration door te nemen.

Tijdens de inspectie is het volgende inspectiemateriaal nodig:

- zuignap,
- glasdiktemeter,
- heel drop device (n.t.b.),
- fototoestel,
- inspectieformulier,
- bestekformulier.

Uitvoering – inspectie

De inspectie start binnen, in de woning. Daar worden vloeren, wanden en binnendeuren en –ramen gecontroleerd. Er wordt beoordeeld of de binnenzijde van de woning rattle-gevoelig is of niet. De rattle-check vindt als volgt plaats:

- Vloer: uitvoeren van een “heel drop”¹⁷. Criterium: merkbare trillingen¹⁸.
- Wand: kloppen op de wand. Criterium: geluid van lichte en/of holle wand.
- Binnendeur: trekken aan deurknop van dichte deur. Criterium: waarneembare rattle van de deur.
- Binnenraam (in deur of in muur): zuignap op glas aanbrengen en trekken. Criterium: waarneembare rattle van het raam.

Indien de binnenzijde van de woning niet gevoelig is, hoeven alleen de buitenramen en –deuren gecheckt te worden op rattle-gevoeligheid. Het is dan niet meer van belang of de gevel (ramen en dak) geluiddoorlatend is, omdat er binnen geen risico is op rattle. De rattle-check van de buitendeuren en –ramen vindt op dezelfde manier plaats als die van de binnendeuren en –ramen. Indien de gevel rattle-gevoelig is, dienen de zwakke onderdelen geregistreerd en beschreven te worden, waarna oplossingen kunnen worden genoteerd.

Ook indien de binnenzijde van de woning wel rattle-gevoelig is, dienen de buitenramen en –deuren gecheckt te worden op rattle-gevoeligheid. Als deze niet rattle-gevoelig zijn kan de oplossing binnen worden gezocht, welke mogelijk minder ingrijpend is. Indien rattle in de woning oplossen toch niet lukt (hier moet dus de

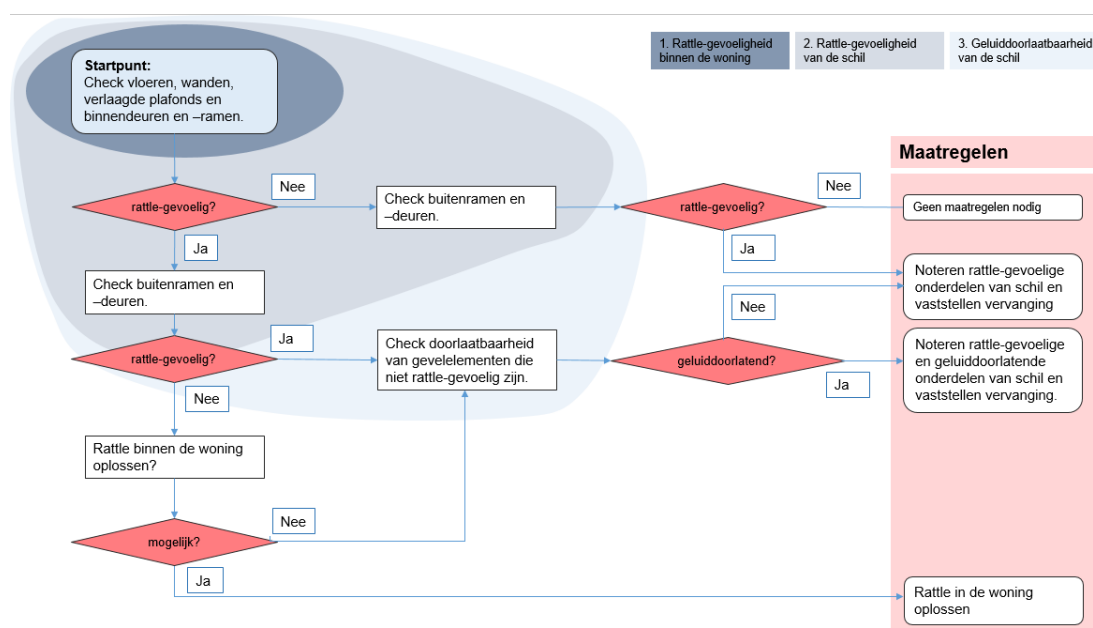
¹⁷ Een heel drop voert een persoon uit door op de bal van de voet te balanceren en dan het eigen gewicht te laten neerkomen op de hiel. Het balanceren gebeurt met gestrekte knieën en het neerkomen op de hiel op ontspannen wijzen (laten vallen).

¹⁸ Een objectief criterium voor rattle-gevoeligheid van vloeren en wanden is een soortelijk gewicht van 100 kg/m²: beneden dat soortelijk gewicht ontstaat kans op rattle vanwege aan een vloer of wand verbonden huisraad zoals schilderijen, serviesgoed, etc. In de huidige Nederlandse bouwstijl zijn vloeren en wanden vaak óf veel lichter, óf veel zwaarder dan dat. Het is echter raadzaam om toch een objectievere methode voor het vaststellen van soortelijke dichtheid te hanteren dan luisteren en voelen. Daartoe kan een smartphone-app worden ontwikkeld en/of een mechanisch instrumentje.

afweging worden gemaakt tussen impact van de ingreep buiten vs. binnen) dan verschuift de inspectie weer terug naar buiten (volgende stap).

Indien de gevel rattle-gevoelig is of de rattle binnen niet op te lossen is, dan betekent dit het vaststellen van aanpassing aan buitenramen- en deuren. Indien bepaalde deuren en ramen niet hoeven te worden vervangen uit oogpunt van rattle-gevoeligheid, dan dienen die ramen en deuren wel nog gecheckt te worden op geluiddoorlaatbaarheid van laagfrequent geluid. Ook het dak dient gecontroleerd te worden.

Bovenstaande werkwijze is in onderstaande flow-chart samengevat.



Figuur B1: Flow-chart voor de te nemen stappen in het uitvoeringsprotocol.

Uit de globale inventarisatie is gebleken dat er geen woningen in het aandachtsgebied aanwezig zijn met zeer lichte gevels (bv. houtskeletbouw). In dit protocol richten we de aandacht bij de doorlaatbaarheid van de schil daarom alleen op ramen, deuren en het dak. Bij uitzonderingen raden we aan hierover contact op te nemen.

C.2 Formulier

Het formulier voor de inspecteur bestaat uit drie elementen:

1. de flow-chart, waarop de bevindingen kwalitatief kunnen worden genoteerd;
2. een bestek, waarin per bouwkundig element kwantitatief beschreven wordt welke maatregelen er nodig zijn en waaruit snel de kosten kunnen worden gecalculeerd;
3. een bijlage, ten behoeve van de inspecteur, met uitleg over de uit te voeren inspectie.

Een voorbeeld van een formulier is hieronder bijgevoegd.

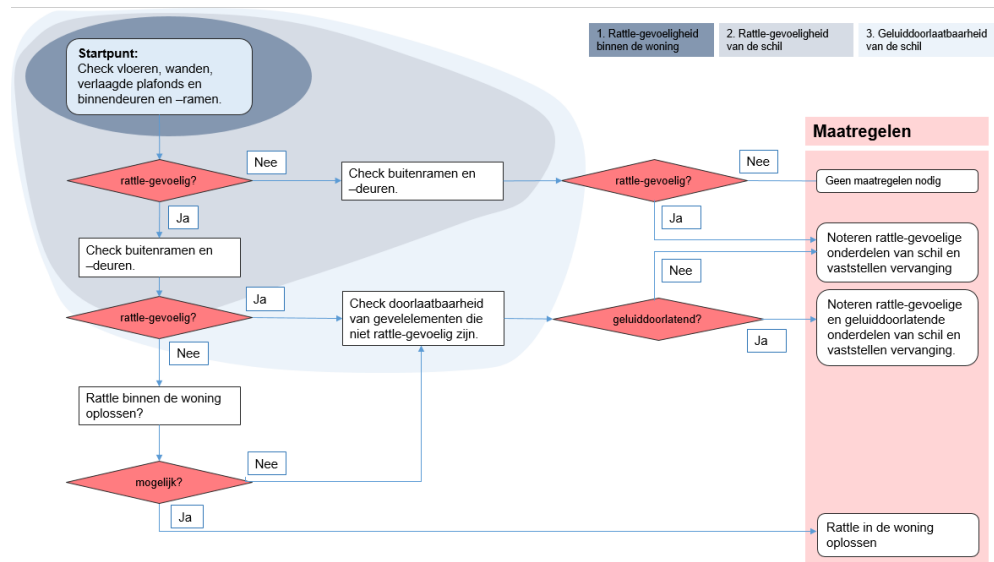
Uitvoeringsprotocol Rattle-onderzoek

Woninginspectie aandachtsgebied Gilze-Rijen

Straat:.....

Huisnummer:.....

Datum:.....



Algemene beschrijving op gevoeligheidsaspecten

1. Rattlegevoeligheid in de woning:
2. Rattlegevoeligheid schil:
3. Doorlaatbaarheid schil:

Toelichting uitvoering inspectie

1. Rattle-gevoeligheid in de woning

De inspectie start in de woning. Daar worden vloeren, wanden en binnendeuren en –ramen gecheckt. Er wordt beoordeeld of de binnenzijde van de woning rattle-gevoelig is of niet.

1.1 Vloeren: Bepalen of de vloer lichter is dan 100 kg/m². Lichte vloeren zijn rattle-gevoelig.

Met behulp van heel drop: in het midden van een overspanning van een vloer gaan staan, dus midden in de kamer, niet in een hoek. Op de tenen gaan staan en het volledige gewicht op de hakken laten vallen (eenmalig).

Met behulp van device (n.t.b.) constateerden of de vloer te licht is.

Constateren van zwevende of harde dekvloeren of aanwezigheid laminaat op tussenlaag.

1.2 Wanden: met de hand tikken op verschillende plekken op de wand.

Gipskartonnen wanden zijn rattle-gevoelig, steens wanden zijn niet rattle-gevoelig. Het betreft hier enkel de wanden die doorlopen tussen twee overliggende wanden (dus wanden die bv. een keuken deels afsluiten hoeven niet geïnspecteerd te worden).

1.3 Plafond: constateren van verlaagd of systeemplafond. Constateren van armaturen die aan het verlaagd plafond hangen.

2. Rattle-gevoeligheid van de schil

De inspectie wordt vervolgd aan de buitenzijde, door de rattle-gevoeligheid van de schil te bekijken.

2.1 Inspecteer het glas in de kozijnen (ook van ramen in deuren). Gebruik eventueel de zuignap om voldoende grip op het raam te krijgen. Wanneer het glas beweegt/ratelt in het kozijn is het gevoelig voor rattle. Constateren van glas-in-lood ramen en ratelende voorzetramen.

2.2 Bekijk ramen en deuren in hun sponning. Wanneer deuren/ramen bewegen in hun sponning zijn zij gevoelig voor rattle. Constateer ratelend beslag (deurkloppers, deurknoppen, enzovoorts).

3. Geluiddoorlaatbaarheid van de schil

Voor de elementen in de schil die op zichzelf niet rattle-gevoelig zijn, dient soms nog gecheckt te worden of deze wel laagfrequent geluid doorlaat (alleen als er in de woning risico is op rattle).

3.1 Bepaal de dikte van het glas. Voor glas in deuren dient ook bepaald te worden wat de dikte is. Ramen van minder dan 0,05m² hoeven niet te worden geïnspecteerd. Enkelglas (met name dunner dan 15 mm) en dubbelglas van minder dan 8-15-6 is laagfrequentgeluiddoorlatend. NB: in de praktijk zal waarschijnlijk altijd laagfrequentgeluiddoorlatend glas worden aangetroffen.

3.2 Bepaal de dikte van buitendeuren. Lichte deuren en massieve houten deuren van minder dan 40 mm dik zijn rattle-gevoelig.

3.3 Bekijk het dakbeschot. Niet na-geïsoleerde houten daken laten geluid door.

Bestekformulier

<voorbeeld>

Waar	Wat	Hoeveelheid	Materiaalkosten	Arbeidskosten
<i>Inpandig</i>	<i>Binnendeuren, voorzien van kierdichting</i>	<i>4 deuren, 2 meter/deur</i>	<i>20 euro</i>	<i>1 uur</i>
<i>Gevel</i>	<i>Ramen, 8-15-6</i>	<i>4 m² + 3 m² + 5 m²</i>	<i>7,5m² x 150 euro/m²</i>	<i>8 uur</i>
	<i>Ramen, nieuw kozijn</i>	<i>10 m + 8 m + 1 m</i>	<i>19 m x 20 euro/m</i>	<i>12 uur</i>
<i>Dak</i>	<i>Binnenzijde 4 mm triplex</i>	<i>50 m²</i>	<i>20 euro</i>	<i>2 uur</i>

D Samenvatting kostenberekening

KOSTENBEREKENING

Maatregelen tegen rattle noise voor woningen binnen 40 Ke (incl. rattle-toeslag) rond vliegbasis Gilze-Rijen

			glasprijs glas 10-15-6 per m2 per stuk	kozijn € 600	dak € 110	buiten- deur € 1.400	ventilatie- rooster € 80	totaal	gewogen
Tussenwoning									
kozijnoppervlak	voorgevel	9 m2							
	achtergevel	16 m2							
	totaal	25 m2	€ 2.000	€ 15.000					
buitendeuren		2 stuks				€ 2.800			
ventilatioorosters		7 stuks					€ 560		
dakoppervlak		85 m2			€ 9.350				
	weging	15 %						€ 29.710	€ 4.457
Hoekwoning / 2-onder-1-kap									
kozijnoppervlak	voorgevel	9 m2							
	achtergevel	16 m2							
	zijgevel	5 m2							
	totaal	30 m2	€ 2.400	€ 18.000					
buitendeuren		2 stuks				€ 2.800			
ventilatioorosters		7 stuks					€ 560		
dakoppervlak		100 m2			€ 11.000				
	weging	10 %						€ 34.760	€ 3.476
Vrijstaande woning									
kozijnoppervlak	voorgevel	12 m2							
	achtergevel	20 m2							
	zijgevels	12 m2							
	totaal	44 m2	€ 3.520	€ 26.400					
buitendeuren		2 stuks				€ 2.800			
ventilatioorosters		7 stuks					€ 560		
dakoppervlak		120 m2			€ 13.200				
	weging	35 %						€ 46.480	€ 16.268
Grote vrijstaande woning									
kozijnoppervlak	voorgevel	20 m2							
	achtergevel	46 m2							
	zijgevels	24 m2							
	totaal	90 m2	€ 7.200	€ 54.000					
buitendeuren		4 stuks				€ 5.600			
ventilatioorosters		12 stuks					€ 960		
dakoppervlak		250 m2			€ 27.500				
	weging	40 %						€ 95.260	€ 38.104
Gemiddeld per aan te passen woning								€ 62.305	
Totaal	201	83 %						€ 10.394.260	
over alle aan te passen woningen									
Stijgerwerk		3%							€ 311.828
Bouwplaatskosten		5%							€ 519.713
Verzekering		0,3%							€ 31.183
Winst en risico aannemer		3%							€ 311.828
Overige kosten		6%							€ 623.656
TOTAAL								€ 12.192.467	(excl. btw)
Gemiddeld over alle woningen, per woning								€ 60.659	