

Laagfrequent geluid en windturbines

Is een LFG-norm voor windturbines noodzakelijk?

Vaak wordt laagfrequent geluid genoemd bij mogelijke hinder ten gevolge van windturbines. Biedt de Nederlands norm in L_{den} wel voldoende bescherming tegen deze hinder?

Door: Eugène de Beer en Wim van der Maarl

Over de auteurs:

Eugène de Beer en Wim van der Maarl zijn beiden werkzaam bij Peutz bv als senior geluidadviseur en hebben een uitgebreide ervaring in zowel het meten als het berekenen van windturbinegeluid.

Inleiding

Omwonenden koppelen laagfrequent geluid (LFG) geregeld aan hinder door windturbines. Op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat voerde Peutz een verdiepende analyse uit [1]. In dit artikel worden enkele kernvragen en antwoorden toegelicht om het nut van een aanvullende LFG-norm, naast een dB(A)norm, te beoordelen.

Begrenst een geluidnorm in dB(A), zoals die in Nederland geldt, op adequate wijze ook het laagfrequente deel van het geluid-spectrum van windturbines en biedt een grenswaarde in dB(A) voldoende bescherming tegen hinder binnenshuis in het laagfrequente gebied? Dit was één van de vragen die voorlag tijdens het opstellen van het planMER Windturbinebepalingen leefomgeving.

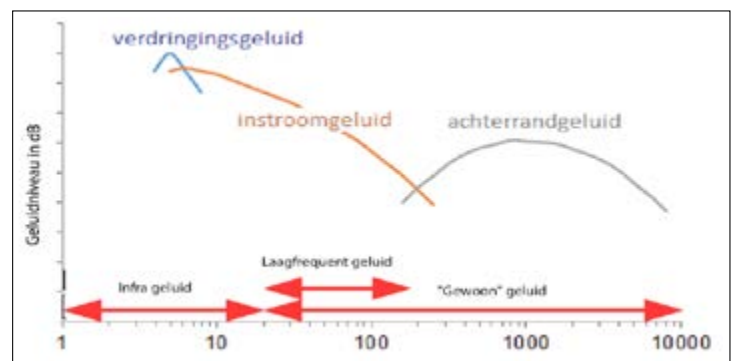
In dit artikel worden de belangrijkste onderzoeksresultaten gegeven en wordt ingegaan op enkele door het ministerie gesteld vragen om inzicht te geven in het nut van een eventuele extra norm voor LFG voor windturbinegeluid binnen woningen in aanvulling op een dB(A)-norm op de gevel. In het onderzoek is een representatief geluidsspectrum van extra grote windturbines (5 - 8 MW) bepaald en is berekend op welke afstand van windturbine(s) in verschillende opstellingsconfiguraties aan de huidige geluidgrenswaarden (buiten op de gevel) wordt voldaan. Vervolgens is het binnenniveau in de lagere frequenties bepaald binnen woningen op die afstand, uitgaande van een representatief te achten geluidwering van oudere en hedendaagse woningen. Het aldus bepaalde LFG is getoetst aan de NSG referentiecurve en de Vercammen curve.

Karakteristiek spectrum van windturbines

Het geluid van moderne windturbines komt hoofdzakelijk voort uit aerodynamische processen rond de rotorbladen. Dat is onder te verdelen in (zie ook figuur 1):

- **Achterrandsgeluid ('trailing edge noise')**: dit ontstaat door turbulentie achter het rotorprofiel, vooral in het midden- en hoogfrequente gebied (circa 200 – 8000 Hz). Dit is sterk afhankelijk van stroomsnelheid en rotatiesnelheid en treedt vooral op bij de bladuiteinden.
- **Instroomgeluid ('inflow noise')**: dit wordt veroorzaakt door turbulentie vóór het blad, vooral in het laagfrequente gebied (circa 20 – 200 Hz).
- **Verdringingsgeluid ('thickness sound')**: dit treedt op bij snelle zijwaartse bewegingen van de rotor, bijvoorbeeld door

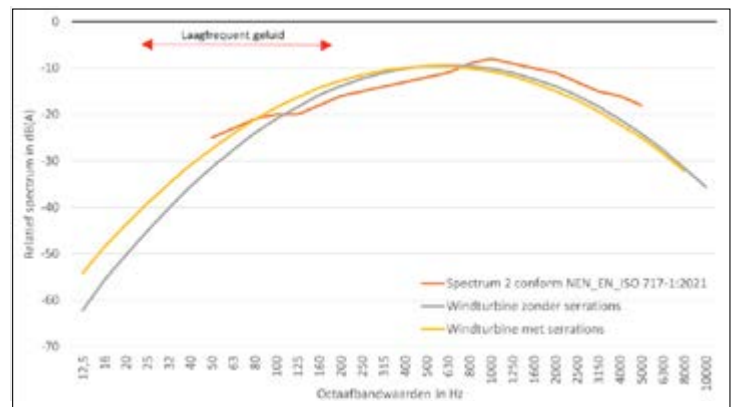
plotselinge windsnelheidsveranderingen; vooral infrageluid (circa 1 – 20 Hz).



Figuur 1. Verschillende vorm van aerodynamisch geluid die optreden bij een windturbine (bron: RIVM)

Om de geluidemissie te beperken worden vaak 'serrations' (vertandingen) aan de achterrands van rotorbladen bevestigd. Die reduceren het achterrandsgeluid met **circa 4–5 dB(A)**, maar niet het instroomgeluid.

Op basis van geaccrediteerde metingen (IEC 61400-11) is een representatief spectrum opgesteld voor grote turbines (5 – 8 MW), met en zonder serrations, en vergeleken met het standaardspectrum 2 uit NEN EN ISO 717:2021, zie figuur 2. Dit standaardspectrum is representatief voor onder andere wegverkeer binnen de bebouwde kom, railverkeer op lage snelheden en industrielaawaai, en is van de onderzochte standaardspectra het spectrum met het meeste LFG.



Figuur 2. Vergelijking A-gewogen relatieve spectra

Hieruit blijkt dat het emissiespectrum van een windturbine niet wezenlijk afwijkt van het spectrum van andere geluidbronnen met een enigszins laagfrequent karakter.

Wat is de gemiddelde LF geluidisolatie van een woning?

In dit kader is van belang de gemiddelde spectrale LF geluidisolatie van een jaren 70 woning en een woning die gebouwd is conform de huidige bouwregels. Daartoe eerst enige achtergrondinformatie over karakteristieken van LFG bij woningen.

Resonanties (eigenfrequenties) in ruimten

Door het specifieke karakter van LFG (met een golflengte $> 3,5$ m) kan er binnen een woning een patroon van staande golven ontstaan, veroorzaakt door interferentie. Hierdoor ontstaat in een ruimte een patroon van knopen (geluiddrukminima) en buiken (geluiddrukmaxima). Een staande golf kan alleen ontstaan als de golflengte "past" in de ruimte. De laagst passende eigenfrequentie komt ruwweg overeen met tweemaal de grootste afmeting van de ruimte. De laagste eigenfrequentie voor een gemiddelde woonkamer (grootste afmeting bijvoorbeeld 9 meter) bedraagt circa 20 Hz en voor een slaapkamer (grootste afmeting circa 4,5 m) circa 40 Hz.

Onder de laagste eigenfrequentie wordt de lucht in de ruimte als het ware 'opgepompt' en weer gedecomprimeerd gedurende een trillingsperiode. Boven de laagste eigenfrequentie kunnen ook bij hogere frequenties staande golfpatronen ontstaan (tweede mode, derde mode, enzovoort). Maar naarmate de frequentie hoger wordt, liggen de modi steeds dichter bij elkaar (de modale dichtheid stijgt), zodat fluctuaties op verschillende plekken in een ruimte minder sterk optreden. In het LF-gebied zijn de afmetingen van de ruimte en de scheidingsconstructie ten opzichte van de golflengte echter zo klein dat de modale dichtheid gering is. Het gevolg is een sterk met de frequentie fluctuerende geluiddruk niveau op verschillende locaties in de ruimte.

Laagfrequente geluidisolatie gevels

Bij toenemende frequenties neemt ook de geluidisolatie van de gevels toe. De geluidisolatie bij midden- en hoge frequenties wordt in belangrijke mate bepaald door de massa-impedantie van de gevelelementen en enigermate door het zogenaamde coïncidentie-effect. Bij toenemende frequentie stijgt de impedantie en daarmee ook de geluidisolatie. Door deze frequentieafhankelijke geluidisolatie zal het geluidsspectrum binnenshuis over het algemeen een meer laagfrequent karakter hebben dan het geluidsspectrum buiten. Bij de relatief lage frequenties wordt de isolatie mede bepaald door de stijfheid (afmetingen van plaatdelen, zoals glas, en de elasticiteitsmodulus E). Kleinere panelen in stijve raamwerken isoleren laagfrequent vaak beter. In het overgangsgebied tussen stijfheids- en massagedrag kunnen resonanties de isolatie merkbaar verlagen en is deze mede afhankelijk van de hoeveelheid demping in het systeem.

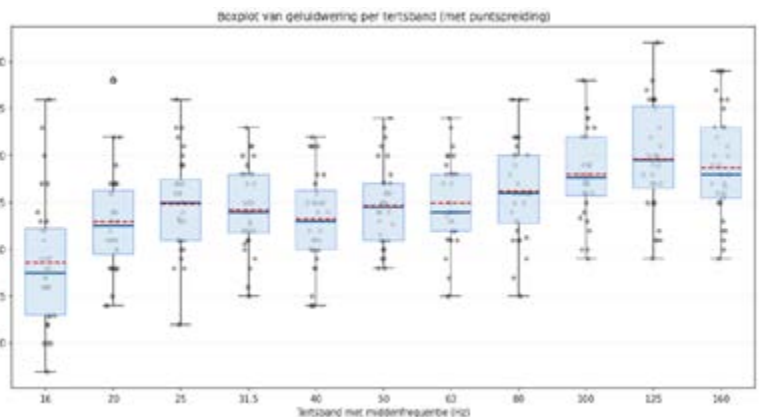
De geluidreducties van gevels van woningen verschillen dus voor de laagfrequenties sterk van die bij de midden- en hogere frequenties:

- resonanties van panelen/delen van de gevel treden met name op in het LF-gebied; bij deze resonanties is de geluidisolatie zeer gering;
- in een ruimte kunnen geluidmodi ontstaan, waardoor plaatselijk ook significante verschillen ontstaan in geluidniveau. Door kleine afwijkingen in afmetingen van ruimten kunnen hierdoor bij min of meer identieke woningen grote verschillen ontstaan in geluidreductie.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen aan de laagfrequente geluidisolaties van de gevels van diverse soorten woningen in Nederland. Het aantal beschouwde metingen is beperkt tot 19 woningen. Bij het merendeel van de woningen zijn twee ruimten

onderzocht, te weten een woonkamer en een slaapkamer. In figuur 3 zijn de in dit onderzoek beschouwde en in Nederland gemeten LFG-geluidisolaties per tertsbands weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat er een zeer grote spreiding is tussen de gemeten laagfrequente geluidisolaties (circa 30 dB) zowel per tertsbands als per woning en per vertrek. Op basis van deze meetgegevens kan daarom geen eenduidig verschil worden vastgesteld tussen de geluidisolatie van de gevels van woonkamers of slaapkamers. Ook kunnen geen duidelijke verschillen worden afgeleid tussen oudere woningen (van vóór 1970) en moderne woningen (gebouwd conform Bouwbesluit 2012).

De grote verschillen worden naar verwachting met name veroorzaakt door de resonanties van panelen/delen van de gevel en de afmetingen van de ontvangerruimte. Dit is onafhankelijk van het bouwjaar van de woning en/of onder welke bouwregels de woningen zijn gerealiseerd.

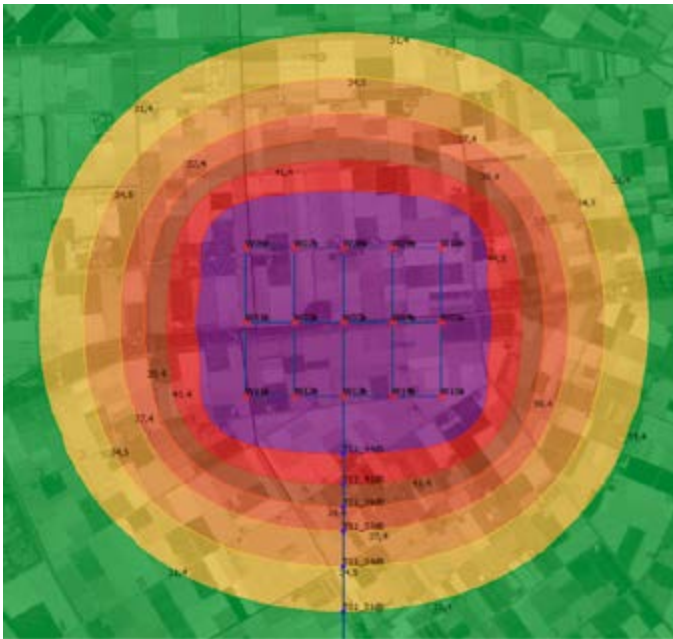


Figuur 3. Gemeten LFG-geluidwering van de gevel van 19 woningen

Om een robuuste uitspraak te kunnen doen over de laagfrequente geluidisolatie van verschillende typen Nederlandse woningen is nader onderzoek (meer woningen meten) gewenst. Voorsnog is voor de LF-geluidisolatie van woningen uitgegaan van de rekenkundig gemiddelde waarde van de gemeten geluidisolaties van de 19 woningen.

Welke laagfrequente binnenniveaus kunnen optreden?

Uitgaande van de geluidemissie van de grootste huidige windturbines is het bijbehorende geluidsspectrum geëxtrapoleerd naar turbinevermogens van 8 MW. Vervolgens is voor een gemiddelde Nederlandse situatie de jaargemiddelde emissie term (L_E in dB) berekend conform de methode uit het reken- en meetvoorschrift windturbines. Deze emissie term is ingevoerd in een akoestisch rekenmodel en zijn met behulp van de berekende geluidcontouren de afstanden bepaald waar voldaan wordt aan geluidnormen van 45 en 47 dB L_{den} . Bij een solitaire, lijn- of matrixopstelling verschillen de afstanden waar voldaan wordt aan de grenswaarden; daarom zijn deze varianten separaat doorgerekend. In figuur 4 zijn als voorbeeld de berekende geluidcontouren (in L_{night} , deze zijn 6 dB lager dan L_{den}) van 15 windturbines in een matrixopstelling weergegeven. De matrixopstelling leidt tot de grootste afstanden waarop aan de normwaarden kan worden voldaan en aldus tot het spectrum waarin, ten opzichte van een solitaire opstelling of een lijnopstelling, relatief gezien het meeste laagfrequent geluid aanwezig is. Door de grotere afstand bij een matrixopstelling wordt het spectrum relatief meer laagfrequent door de invloed van luchtabsorptie bij de midden en hogere frequenties.

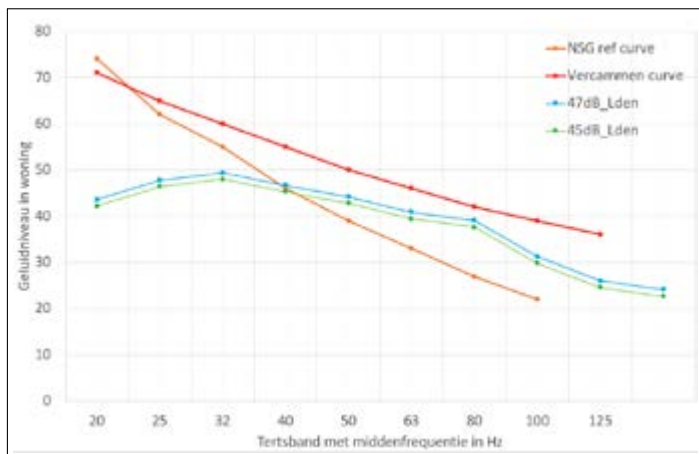


Figuur 4. Geluidcontouren (L_{night} in dB) van 15 windturbines in matrixopstelling (8 MW, zonder serrations)

Uit de afstand berekeningen blijkt onder andere dat bij een matrixopstelling met 15 maal een 8 MW turbine voldaan wordt aan de geluidgrenswaarden op een afstand van 1.195 m bij 47 dB L_{den} en 1.500 m bij 45 dB L_{den} . Bij een solitaire of een lijn opstelling wordt er op kortere afstand voldaan aan de geluidgrenswaarden.

Het laagfrequente geluidniveau in een woning is berekend uitgaande van het precies voldoen aan de grenswaarde van 45 en 47 dB L_{den} voor de bedrijfssituatie dat de windturbines een maximale geluidemissie hebben (bij het nominale vermogen). Uitgegaan is van de gemiddelde laagfrequente geluidisolatie. In figuur 5 zijn de berekende binnengeluidniveaus gegeven uitgaande van de L_{den} grenswaarden van 45 en 47 dB voor de worst-case situatie met matrixopstelling. Tevens zijn in deze grafiek ter beoordeling van dit laagfrequente geluid zowel de referentiecijve van de NSG als de Vercammen-curve weergegeven.

De NSG-referentiecijve betreft een hoorbaarheids criterium voor een groep personen die relatief gezien gevoelig is voor laag-frequent geluid [2]. Indien geen van de tertsbandwaarden de NSG-referentiecijve overschrijdt is er in het algemeen geen laag-frequent geluid hoorbaar en is de kans op hinder verwaarloosbaar. Bij overschrijding van één of meer tertsbandwaarden van de NSG-referentiecijve kan in principe laagfrequent geluid hoorbaar



Figuur 5. Berekende binnengeluidniveaus getoetst aan NSG-referentiecijve en Vercammen-curve

zijn. De Vercammen-curve beschrijft binnen het laagfrequente geluidgebied (in de tertsbanden van 20 tot en met 125 Hz) de geluidniveaus waarbij hinder kan optreden (in tegenstelling tot de NSG-curve waarbij hoorbaarheid het criterium is) [3].

Uit vergelijking met de NSG-referentiecijve en de Vercammen-curve in figuur 5 blijkt aldus:

- Overschrijding van de NSG referentiecijve of NSG-curve tussen 50 en 100 Hz in de worstcase situatie (matrix-opstelling, nominale geluidemissie).
- Geen overschrijding van de Vercammen-curve.

Dit betekent dat LFG in dat frequentiegebied hoorbaar kan zijn voor gevoelige personen, maar dat relevante hinder in het algemeen niet wordt verwacht.

Conclusie

Het LFG-spectrum van windturbines wijkt nauwelijks af van andere (industriële) geluidbronnen.

Door de inzet van vertandingen ('serrations') op de bladen wordt het middenfrequente geluid gereduceerd, maar het laagfrequente geluid niet. Het gevolg is dat het spectrum relatief gezien meer laagfrequent geluid bevat met serrations dan zonder serrations. Daardoor is een kortere afstand tot geluidgevoelige objecten mogelijk, waardoor het laagfrequente geluid (enigszins) toeneemt. Onderzocht is wat de laagfrequente geluidisolatie is van de gevels van woningen in Nederland. De gebruikte resultaten van metingen aan 19 woningen tonen een relatief grote spreiding per tertsband. Nader onderzoek is gewenst waarmee meer praktijkmetingen aan woningen worden gebruikt en tevens meer inzicht ontstaat in de maatgevende variabelen die de laagfrequente geluidisolatie beïnvloeden.

Uit de berekeningen blijkt dat in het frequentiegebied van 50 tot en met 100 Hz de referentiecijve voor laagfrequent geluid van de NSG wordt overschreden. Dit betekent dat in dit frequentiegebied het laagfrequente geluidniveau in een worst-case situatie in de toekomst hoorbaar kan zijn in de woning uitgaande van een geluidgrenswaarde op de gevel van 47 en 45 dB L_{den} . Dit geldt voor zowel een solitaire, lijn- als matrixopstelling. Het maximale verschil tussen de verschillende opstellingen is 2 dB waarbij de solitaire opstelling het laagste laagfrequente binnengeluidniveau veroorzaakt en de matrixopstelling het hoogste.

In het frequentiegebied lager dan 50 Hz is de geluidbijdrage van windturbines (ruimschots) lager dan de NSG-referentiecijve. Bij alle beschouwde tertsbanden wordt voldaan aan de Vercammen curve. Dit betekent dat er weliswaar hoorbaarheid kan optreden maar dat de mate van hinder beperkt is, en in het algemeen als acceptabel wordt beschouwd. Mede op basis van dit onderzoek is in het ontwerpbesluit Windturbines leefomgeving geen aanvullende grenswaarde voor LFG opgenomen [4].

Referenties

- [1] Rapport Peutz "Onderzoek naar laagfrequent geluid ten gevolge van windturbines", nr. F 22656-2-RA-001 d.d. 20 januari 2023, tinyurl.com/windturbinerapportpeutz
- [2] NSG-richtlijn laagfrequent geluid, april 1999, <https://static.nsg.nl/NSG-Richtlijn-rlfg.pdf>
- [3] Rapport Peutz R 548-13 "Laagfrequent Geluid; Grenswaarden, Overdracht en Meten", d.d. 8 juni 1990, M.L.S. Vercammen, P.H. Heringa
- [4] Ontwerpbesluit Windturbines leefomgeving, zie www.platformparticipatie.nl/windturbinesleefomgeving