

# Akoestische modellen

## Gelijkenis met werkelijkheid toeval?

**Uit de uitspraak dat de overeenkomst van de uitkomsten van akoestische modellen met de werkelijkheid louter toeval is, spreekt wantrouwen. Toch hebben akoestische modellen hun waarde bewezen, mits deskundig toegepast binnen de geldende randvoorwaarden.**

Door: Jan Granneman

### Over de auteur:

Ir Jan H. Granneman is werkzaam geweest bij Peutz bv te Zoetermeer, afdeling Industrie; thans redactielid van het blad Geluid, voorzitter van de werkgroep "geluid" van VNO-NCW/MKB-NL en docent van diverse geluidcursussen

### INLEIDING

Dit themanummer van Geluid gaat over akoestische modellen. Elk model is een benadering van de werkelijkheid, en heeft daarmee zijn mogelijkheden en beperkingen. Bij de toepassing ervan dient men zich terdege rekenschap te geven van de randvoorwaarden waaronder het model geldige uitkomsten kan geven. Ook moet bekend zijn wanneer bepaalde factoren de nauwkeurigheid van uitkomsten significant beïnvloeden, denk aan meteorologische effecten op geluidniveaus op grote afstand van bronnen. Daarnaast is het van belang zich rekenschap te geven van de golflengte van geluid, zoals bij de schermwerking van objecten, de geluidafstraling van machineonderdelen en de bepaling van zaalakoestische eigenschappen.

In dit artikel worden de meer algemene aspecten beschreven die een rol spelen bij de toepassing van akoestische modellen.

### NOODZAAK VAN MODELBEREKENINGEN

In diverse situaties en voor verschillende doeleinden worden akoestische rekenmodellen gehanteerd. Redenen voor het gebruik van modellen zijn o.a. dat metingen niet altijd de oorzaak van overschrijdingen tonen (denk aan immissiemetingen nabij een fabriek met een groot aantal geluidbronnen die tezamen de geluidbelasting bepalen), dan wel slechts een momentopname geven in situaties met steeds wisselende bedrijfsomstandigheden (constructiewerkplaatsen, scheepswerven).

Daarnaast kan stoorgeluid directe immissiemetingen verhinderen en zal men zijn toevlucht moeten nemen tot berekeningen.

Ook het vaststellen van geluidcontouren vereist in het algemeen berekeningen.

Voor toekomstige situaties kunnen alleen door middel van rekenmodellen adequate geluidprognoses opgesteld worden om in de plan- of ontwerpfase een beoordeling op het geluidaspect mogelijk te maken. Dat kan geluid naar de omgeving betreffen ten gevolge van geprojecteerde infrastructuur (wegen, luchtvaart) of nieuwe industriële activiteiten dan wel de geluidaspecten in het ontwerp van bouwkundige werken (zaalakoestiek, geluidwering van bouwkundige constructies).

Uiteraard is de nauwkeurigheid van de invoerparameters (geluidvermogens van bronnen, fysieke dimensies en locaties van objecten) essentieel: "garbage in, garbage out". Daar waar sprake is van voortdurend wisselende bedrijfssituaties is een statistische benadering van de geluidemissie noodzakelijk, zoals bij distributiecentra en transportbedrijven. Verantwoorde en verdedigbare uitgangspunten qua bronvermogen, gemiddelde bedrijfsduur, veel voorkomende locaties van bronnen en/of werkzaamheden e.d. dienen daarbij gehanteerd te worden. Van bepaalde geluidbronnen zijn gemiddelde bronvermogens op basis van grote aantallen geluidmetingen afgeleid; denk aan de emissiefactoren van (motor)voertuigen op (spoor)wegen, het gemiddelde bronvermogen van langzaam rijdende vrachtwagens op bedrijfsterreinen in relatie tot rijsnelheid en beladingsgraad.<sup>1</sup> Dergelijke kengetallen bestaan ook voor diverse andere geluidbronnen, zelfs voor crossmotoren.<sup>2</sup>

### NAUWKEURIGHEID

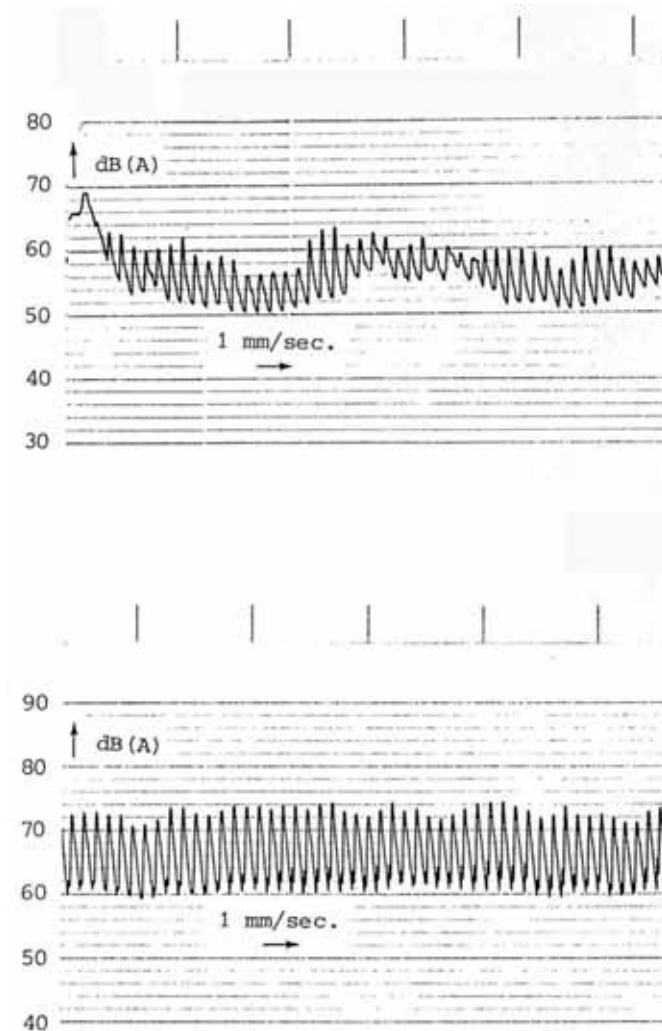
Alvorens verstrekkende conclusies te verbinden aan rekenresultaten is het van belang rekenschap te geven aan de nauwkeurigheid van de toegepaste rekenmethode. In het algemeen wordt de geldende nauwkeurigheid bij rekenmethodes vermeld. Zo stelt de Handleiding meten en rekenen industriewelawaai<sup>3</sup> bijvoorbeeld dat de nauwkeurigheid van meten en rekenen volgens immissiemeetmethode I.1 voor afstanden tot 150 m circa 2 dB bedraagt. Dit kan leiden tot boeiende discussies indien uit de berekeningen een overschrijding van geluidgrenswaarden blijkt. Geluidreducerende voorzieningen dienen dan bedacht te worden. Maar het is ver-

standig de uitvoering van bepaalde voorzieningen aan te houden totdat ook in de praktijk, na realisatie van het project, blijkt dat die nodig zijn, maar alleen als de uitvoering daarvan achteraf ook mogelijk is zonder ingrijpende en extra kostbare aanpassingen.

#### GOLFLENGTE

De geluidreducerende werking van schermen (of andersoortige objecten) wordt mede bepaald door de golflengte van het geluid dat tegengehouden moet worden. Laagfrequent geluid buigt over en om schermen heen. Die specifieke eigenschap houdt verband met diffractie van geluid, zijnde het afbuigen van een geluidsgolf over of langs de randen van een ondoordringbaar obstakel ten gevolge van interferentie van geluidgolven (superpositie van geluidgolven die elkaar kunnen versterken of uitdoven). Dit effect is het sterkst als de golflengte vergelijkbaar is met de lineaire dimensies van het object. Daardoor treedt geen scherpe "geluidschaduw" achter het object op, zoals wel het geval is bij hogere frequenties (en dus kortere golflengtes).

Ook bij het berekenen van geluidniveaus (luidheid) of andere akoestische parameters (zoals ongewenste echo's, nagalmtijd en spraakverstaanbaarheid) in de zaalakoestiek speelt de golflengte van geluid een belangrijke rol. Van die specifiek fysische eigenschap van geluid moet men zich terdege bewust zijn indien men een rekenmodel gebruikt bij de lagere frequenties (grotere golflengten).



FIGUUR 1: GELUIDIMMISSIENIVEAUS TEN GEVOLGE VAN EEN HEI-INSTALLATIE OP 500 M (ONDER) EN OP 1300 M (BOVEN); HET "GOLFJE" IN DE IMMISSIENIVEAUS OP 1300 M WORDT VEROOORZAAKT DOOR STOORGELUID, TE WETEN EEN PASSEREND VOERTUIG

#### METEOROLOGISCHE INVLOEDEN

Vanwege een toenemende onnauwkeurigheid van de berekening van de geluidoverdracht in de buitenlucht is in rekenprogramma's de afstand tussen bron(nen) en ontvanger veelal gemaximeerd. Die randvoorwaarde heeft alles te maken met de dominante invloed van meteorologische parameters die een nauwkeurige voorspelling van geluidniveaus op grotere afstand verhinderen. De kenbare parameters zoals geometrische uitbreiding en luchtabsorptie worden dan overschaduw door de invloed van andere parameters zoals weer en wind (luchtvochtigheid, windsnelheid en -richting, temperatuursinversie). De Handreiking meten en rekenen industriellawaai<sup>3</sup> hanteert om die reden een maximale rekenafstand. Voor schietlawaai is evenwel door TNO een programma ontwikkeld dat berekeningen over grotere afstanden mogelijk maakt, rekening houdend met die meteorologische omstandigheden.

Figuur 1 geeft een praktijkvoorbeeld van de invloed van het "weer" op immissieniveaus. Het betreft een constante geluidbron (offshore-hei-installatie met een wezenlijk geluidvermogen) die op kortere afstand (500 m) nog enigermate gelijke geluidniveaus veroorzaakt, maar op grotere afstand (1300 m) verschillen laat zien tussen piekniveaus tot 8 dB, veroorzaakt door variaties in windsnelheid en -richting.

Een voorbeeld van de invloed van temperatuursinversie betreft een popconcert dat buiten plaats vond in de zomerperiode (augustus) tussen 19.00 en 23.00 uur. Uit metingen in het publiekterrein bleek dat de "geluidbron" vrijwel constant in sterkte was gedurende het gehele concert. Het geluidniveau op grotere afstanden nam tijdens het popconcert echter significant toe naarmate de avond vorderde. Op een monitoringpositie niet onder meteoraamcondities (op circa 400 m) was de toename 7 à 8 dB(A) en op een andere positie (op ruim 800 m) onder meteoraamcondities (dus onder meewind) 13 à 15 dB(A).<sup>4</sup> Een dergelijke buitengewoon grote toename, die dus niet kan worden gerelateerd aan een toename van de geluidemissie, wordt veroorzaakt door zich wijzigende atmosferische omstandigheden. Op relatief warme heldere dagen met weinig wind (in deze situatie 2 à 3 m/s) koelen namelijk in de loop van de avond de onderste luchtlagen - door uitstraling van het aardoppervlak naar het heelal - sneller af dan de hogere luchtlagen, waardoor een omgekeerd temperatuurverloop in de atmosfeer ontstaat (temperatuursinversie: toename van de temperatuur bij toenemende hoogte). Hierdoor neemt de geluidssnelheid ook toe met toenemende hoogte, waardoor geluidgolven naar beneden afbuigen hetgeen de geluidoverdracht sterk bevordert.

De geluidoverdracht in de buitenlucht ondervindt ook op kortere afstanden nog een wezenlijke invloed van de meteorologische omstandigheden. In de wettelijk verplichte Nederlandse modellen wordt op een gestandaardiseerde manier met die invloeden omgegaan. Er dient gerekend te worden "onder meewindcondities" en vervolgens wordt, om de beoordelingsgrootte te krijgen, het rekenresultaat aangepast met standaardwaarden (meteoraamcorrecties) vanwege het feit dat de wind ook regelmatig uit andere richtingen waait.

In Europese projecten is uitgebreid onderzoek gedaan naar methodes om verfijnder met die weersomstandigheden in rekenmodellen om te gaan; zie ook het artikel in dit blad op de uitwerking daarvan in Cnossos-rekenmodellen.<sup>5</sup>

#### VALIDATIE VAN REKENRESULTATEN

Rekenmodellen dienen een valide basis te hebben. Het verschil tussen reken- en meetresultaten kan diverse oorzaken hebben.

Het effect van geluidreducerende maatregelen is vaak sterk uitvoeringsafhankelijk. Toen Victor Peutz zijn adviesbureau begon, koos hij ervoor om ook een akoestisch laboratorium op te zetten. Hij wilde naast de resultaten van berekeningen ook gemeten praktijkwaarden hebben om het waarheidsgehalte van berekeningen te verifiëren op een geconditioneerde manier.

Als nevenproduct zijn uit dergelijke laboratoriummetingen ook weer empirische formules afgeleid waarmee de geluidemissie van bronnen en/of constructies berekend kan worden (denk aan formules voor de berekening van afstralgraden van constructies<sup>2</sup>).

Meer algemeen dient op basis van praktijkmetingen adequaat gevoel te bestaan over wat daadwerkelijk kan optreden of bereikt kan worden. Ervaring met wat in de praktijk de uitkomst van berekeningen zal en kan zijn, is van essentieel belang om grote reken-missers te vermijden.

Soms kan die ervaringskennis over wat in de uiteindelijke praktijk verwacht kan worden bewust gecreëerd worden. Een voorbeeld daarvan betreft de betonnen spoorbrug over de A1 te Muiderberg die moest worden vervangen door een stalen boogbrug met een betonnen rijdek (waarvan het uiteindelijke resultaat is getoond in figuur 2).

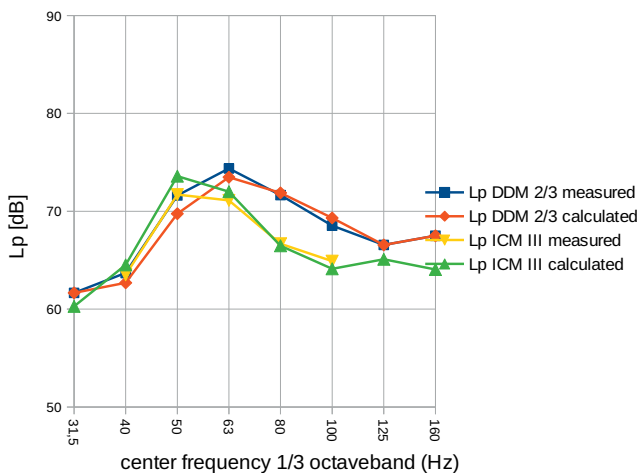


FIGUUR 2: NIEUWE SPOORBRUG OVER DE A2 BIJ MUIDERBERG

Het geluid ter plaatse van nabijgelegen woningen ten gevolge van rijdende treinen over de brug moest vanwege strenge eisen beperkt worden. Van een bestaande en goed vergelijkbare brugconstructie (zie figuur 3) zijn berekeningen met een Eindige Elementen Methode (EEM) model gemaakt die zijn vergeleken met de resultaten van geluid- en trillingmetingen aan diezelfde bestaande brug; zie figuur 4. De rekenresultaten blijken vergelijkbaar met die praktijkmetingen. Op basis van die ervaring is met voldoende vertrouwen een prognose gemaakt van de geluidproductie van de nieuwe brugconstructie in de ontwerpfase.<sup>6</sup>



FIGUUR 3: REFERENTIE-SPOORBRUG



FIGUUR 4: VERGELIJKING MEET- EN EEM-REKENRESULTATEN REFERENTIEBRUG

Ook de emissiefactoren van motorvoertuigen worden regelmatig gecheckt op basis van uitgebreide immissemetingen langs representatieve wegen.

Met name indien verwacht kan worden dat geluidreductie bij een nieuwe constructie noodzakelijk is, kan met een dergelijk gevalideerd rekenmodel het positieve of negatieve effect van constructiewijzigingen rekentechnisch ingeschat worden. Het nut van rekenmodellen is in die situaties niet altijd primair om nauwkeurig een eindresultaat te bepalen, maar (ook) om het effect van maatregelen te voorspellen: wordt het beter of slechter als aan bepaalde ontwerp-technische “knoppen gedraaid” wordt. In rekenmodellen zijn dergelijke aanpassingen van het ontwerp relatief eenvoudig door te voeren. In schaalmodellen (zie ook het volgende) vraagt dat meer inspanning vanwege de fysieke ingrepen in dat model.

#### SCHAALMODELLEN

Naast rekenmodellen wordt voor bepaalde toepassingen ook gebruik gemaakt van schaalmodellen, met name bij zaalakoestische projecten en in fundamenteel onderzoek naar de werking van geluidschermen. Vanwege de golflengte zijn rekenmodellen minder nauwkeurig bij lagere frequenties. Dit heeft o.a. te maken met diffractie van geluid bij lagere frequenties (grotere golflengten); zie ook het voorgaande.

Naast een statistische benadering van geluid en/of specifieke rekenmodellen met ray tracing-technieken wordt in de zaalakoestiek (ook) gebruik gemaakt van schaalmodellen. Daarbij wordt het object op adequate schaal en in voldoende detail fysiek nagebouwd. Met speciale meettechnieken, de juiste afmetingen van het schaalmodel in relatie tot de beoogde nauwkeurigheid, en met adequate schaalfactoren kan ook bij de lagere frequenties een voldoende nauwkeurig beeld van de “akoestiek” van het zaalontwerp verkregen worden (zoals nagalmtijd, ongewenste echo’s, diffusiteit, spraakverstaanbaarheid) en het effect van bepaalde aanpassingen. Een uitgebreide behandeling van dit onderwerp geeft het artikel “Ruimteakoestische modelvorming” in dit blad.<sup>7</sup>

#### AFSPRAAK TUSSEN PARTIJEN

Rekenmodellen zijn een wiskundige benadering van de werkelijkheid. Door allerlei factoren kunnen de verkregen rekenresultaten afwijken van wat daadwerkelijk op enig moment of in een zekere periode wordt gemeten. Dat wordt veroorzaakt doordat metingen momentopnamen zijn. Meetresultaten vertonen in de tijd gezien vrijwel altijd een zekere variatie door veranderingen in de gelui-

demissie van relevante geluidbronnen respectievelijk variaties in de geluidoverdracht-parameters (zoals windrichting en – snelheid, temperatuursinversie); op een ander moment zou een ander meetresultaat optreden. Zelfs bij een industrieën met een relatief constante geluidemissie, zoals in de petrochemie of voedingsmiddelenindustrie (suiker- en zuivelfabrieken), treden op enige afstand variaties in de geluidemissie op, met name door meteorologische wisselingen; zie ook figuur 1.

Bij industrielawaai speelt daarbij ook een rol dat de beoordeling gebaseerd dient te zijn op de zogenaamde representatieve bedrijfssituatie, dus uitgaande van het activiteitsniveau met de hoogste geluidemissie (die meer dan 12 keer per jaar optreedt). Geluidmetingen op dagen die afwijken van die bedrijfsmatige akoestisch-maximale uitgangssituatie zullen in het algemeen lagere geluidemissieniveaus opleveren. Om die reden dienen de rekenresultaten geformaliseerd te worden: mits voldoende nauwkeurig uitgevoerd, wordt de beoordeling van de geluidssituatie (op grond van de representatieve bedrijfssituatie) daarop gebaseerd.

N.B. Bij het in werking treden van de Omgevingswet zal door de invoering van  $L_{den}$  als beoordelingsgrootte voor (thans nog) gezoneerde industrieterreinen de beoordeling plaatsvinden op basis van een jaargemiddelde geluidemissie van (alle) bedrijven. Dit leidt onvermijdelijk ook tot wezenlijke verschillen tussen reken- en meetresultaten, hoewel een kleiner verschil verwacht wordt dan in de huidige situatie. Deze wijziging kan ook op onbegrip stuiten bij de aan dit geluid blootgestelde omwonenden.

Ook bij bedrijven ontstaat weleens onbegrip over hardnekkige verschillen tussen meten en rekenen. Als voorbeeld: stelselmatig werden in de woonomgeving van een groot petrochemisch bedrijf hogere geluidbelastingen berekend dan aldaar werden gemeten. Oorzaken daarvan waren moeilijk vast te stellen. Een en ander leidt tot een strengere beoordeling van het bedrijf. Illustratief is de benadering van de milieuoördinator van dat bedrijf van dergelijke verschillen: het zij zo, maar dan wordt het rekenmodel het formele uitgangspunt bij de beoordeling van elke verandering.

Om tot een objectieve beoordeling van de geluidssituatie te komen, zijn dus afspraken noodzakelijk over de wijze waarop met rekenresultaten wordt omgegaan. Die afspraken betreffen bijvoorbeeld het rekenen met gestandaardiseerde geluidoverdracht-parameters zoals windrichting en –snelheid, de geluidafschermmende c.q. –reflecterende werking van objecten en wallen. Dit

kan tot discussies leiden met belanghebbenden die twijfels uiten vanwege meetresultaten die afwijken van rekenresultaten. In dergelijke discussiesituaties is een adequate toelichting vereist over de rekenmethode en de daarop gebaseerde beoordeling, alsmede de waarde maar ook de beperkingen van de rekenresultaten. Bij blijvende en gerechtvaardigde discussies kan het gewenst zijn langeduurmetingen uit te voeren waarmee een geluidbeeld over een langere periode wordt verkregen, mits de omstandigheden qua geluidbronnen (bijvoorbeeld de verkeersintensiteiten of de bedrijfssituatie bij de fabriek) gedurende de metingen wordt vastgelegd. Dat laatste is van belang om een correcte vergelijking tussen meet- en rekenresultaten te kunnen maken. Terughoudendheid met de uitvoering van langeduurmetingen is echter op zijn plaats, omdat rekenafspraken, met name voor wegverkeer, op uitgebreid onderzoek zijn gebaseerd.

#### GEPASTE AANDACHT VOOR DETAILS

Het heeft weinig zin een rekenmodel ten aanzien van bepaalde fysische factoren zeer verfijnd in te richten indien andere factoren meer bepalend zijn voor de nauwkeurigheid van de uitkomsten. Dit kan bijvoorbeeld gelden voor de methode om schermwerking van objecten te berekenen; meteorologische factoren kunnen veel bepalender zijn voor de uitkomsten, zoals uit uitgebreid TNO-onderzoek is gebleken.

#### TOT SLOT

Akoestische modellen kennen een veelsoortigheid aan toepassingen en hebben ruimschoots hun waarde bewezen bij omgevingsgeluid, het geluid-ontwerp van machines en apparaten, en in de bouw- en zaalakoestiek. De specifieke randvoorwaarden voor toepassing van rekenmodellen dienen bekend te zijn en gerespecteerd te worden. Invoergegevens dienen een voor de toepassing adequate nauwkeurigheid te hebben. Praktijkervaring om het realiteitsgehalte van rekenresultaten te beoordelen is essentieel.

#### REFERENTIES

- 1 W. van der Maarl, E. de Beer E, "Geluidemissie van langzaam rijdende vrachtwagens - Een update na 10 jaar", Geluid, maart 2019
- 2 J.H. Granneman, "Industriële geluidbeheersing in de praktijk", Uitgave Peutz bv, 2017
- 3 Handleiding meten en rekenen industrielawaai, rijksoverheid, online-versie.
- 4 Informatie vanuit een Peutz-project
- 5 R. Witte, Cnossos, Geluid, september 2021
- 6 J. Oostdijk, M. Vercammen, T. Weekenstroo, Noise prediction of a steel-concrete railway bridge using a FEM, EAA-NAG-ABAV-congres, 2015
- 7 M. Lautenbach, M. Vercammen, "Ruimteakoestische modelvorming", Geluid, september 2021