

Rekenmethode vliegtuiggeluid; een betrouwbare knecht van meerdere meesters

De beoordeling, ontwikkeling, vergunningverlening en handhaving rond Schiphol is gebaseerd op berekeningen met een geluidmodel. Dit leidt tot de vraag of we wel voldoende betrouwbaar kunnen rekenen, of een enkel rekenmodel wel geëgend is al deze verschillende taken uit te voeren en welke plaats we onnauwkeurigheid geven in de rekenresultaten.

Door: Gijssjan van Blokland (m.m.v. Dr. Tjeert ten Wolde)

Over de auteur:

Dr. G.J. van Blokland is sr. adviseur en directeur bij M+P. Hij werkt ondermeer aan de ontwikkeling van reken- en meetvoorschriften voor weg-, rail en industriegeluid en is partner geweest in het Europese onderzoeksproject Imagine waarin een Europees geüniformeerde rekenmethode voor omgevingsgeluid is opgesteld. Recent is hij als deskundige vanuit de Commissie MER betrokken bij de bepaling en beoordeling van vliegtuiggeluid in het kader van de m.e.r. procedures ingevolge wijziging wet- en regelgeving voor Schiphol.

INLEIDING

Geluid van vliegtuigen rond Schiphol is geen te verwaarlozen milieuprobleem en veel partijen zoals luchthavendirectie, belangengroepen, deskundigen binnen en buiten de ministeries en allerlei overlegorganen discussiëren over hoeveel geluid er is, hoeveel geluid aanvaardbaar is en wat er allemaal wel of niet aan te doen is. Na het afwegen van de vele belangen van de sector en van de omgeving zijn er vervolgens handhavingpunten gedefinieerd waarop een vastgesteld jaargemiddeld geluidsniveau niet overschreden mag worden. Met zeer veel oog voor detail worden controleberekeningen uitgevoerd om met een nauwkeurigheid van 0,01 dB de luchthaven Schiphol aan deze verplichtingen te houden.

Als geluidstechnisch ingenieur ben je zeer onder de indruk van zoveel precisie. In ons metier wordt dit nergens anders gerealiseerd en ik kijk met bewondering naar de magie die hierachter moet zitten. Bij nadere beschouwing is de praktijk echter prozaïscher en moeten we vaststellen dat dit soort rekenexercities betrekking hebben op een virtuele wereld, waar de wetten van de natuurkunde niet meer beperkend zijn, de werkelijke geluidssituatie niet meer knellend is en de beschikbaarheid van informatie zeer groot.

In dit artikel wordt ingegaan op de beperkingen in het berekenen van vliegtuiggeluid en wordt de in Nederland gebruikte aanpak vergeleken met die in Duitsland en de methode zoals die in het EU 6FP project IMAGINE is ontwikkeld. Voorts wordt vooruit gekeken naar de methode die beschreven is in DOC 29 [4], die naar verwachting de toekomstige Europees geharmoniseerde methode wordt waarmee onder andere de geluidsbelasting berekend gaat worden ingevolge de Europese geluidsrichtlijn 2002/49/EC. Tenslotte zal er aandacht gegeven worden aan de foutenmarge en de mogelijkheid voor verschillende doelen, verschillende methoden te gebruiken.

Het rekenen aan vliegverkeer verschilt sterk van het rekenen aan weg- of railverkeer. Weg- en railvervoertuigen zijn goed te benaderen met een lijnbron waarvan de eigenschap langs een wegtraject niet al te sterk varieert. Het precieze gedrag tijdens optrekken of afremmen is slechts in de directe omgeving van kruispunten of stations belangrijk en laat zich goed met simpele regels voorstellen. Voor vliegverkeer bestaan er veel meer vrijheden en onzekerheden en die geven beperkingen aan het eindresultaat.

De beperkingen in de rekenresultaten liggen in de beperkte kennis van de bron, zijn precieze positie, het overdrachtsgebied en het baangebruik

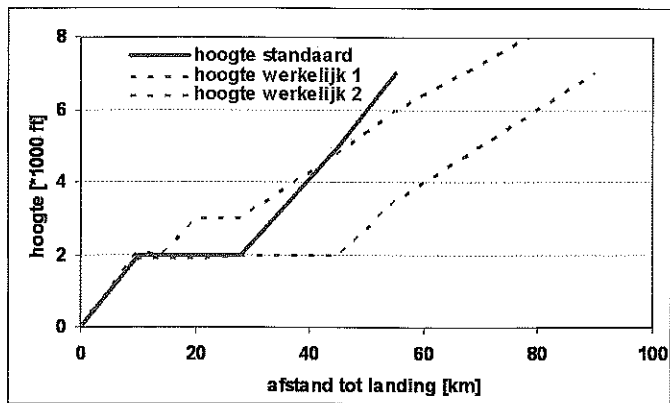
VLIEGTUIG- EN MOTORTYPE, SLAT/FLAP SETTING EN FEITELIJK GELEVERD VERMOGEN

De kern van het probleem van het nauwkeurig berekenen van vliegtuiggeluid is de beperkte kennis die er op de grond bestaat van de bron, zijnde het vliegtuig. De geluidsproductie van een vliegtuig wordt in praktisch alle situaties gedomineerd door het aandrijfgeluid dat afkomstig is van de motoren. Alleen tijdens de landing geven de luchtstroming langs de flaps en slats en langs de vliegtuigromp nog een relevante bijdrage. Om de geluidsproductie te kunnen bepalen moet je het type motor kennen en voorts welk vermogen er geleverd wordt.

Een zeer populair type als de B737 heeft diverse versies, elk met vele verschillende motortypen of uitvoeringen. Elk van deze varianten kent een (iets) andere geluidsemisatie met een totaal variatie van ca. 10 dB (gemeten op het "flyover" meetpunt). Het geleverde vermogen bepaalt vervolgens nog eens voor ca. 20 dB de geluidsproductie. Ook andere veelgebruikte typen komen in zeer veel geluidstechnisch onderscheidende uitvoeringen voor. Voor een precieze berekening moet dus van elk vliegtuigtype de precieze uitvoering en motorvariant beschikbaar zijn. Voorts moet ook de stuwkracht en de stand van de flaps of slats langs het hele vluchtpad bekend zijn. Hoewel de te gebruiken stuwkracht en flap- en slat-standen gedefinieerd zijn in de startprocedures, zal de gezagvoerder daar van af (moeten) wijken om effecten van wind en turbulentie op te vangen en te compenseren voor hoogterverlies in bochten.

POSITIE EN ORIËNTATIE VAN HET VLIEGTUIG

De tweede belangrijke invoervariabele in de geluidsberekening is de positie en oriëntatie van het vliegtuig. Hierover bestaat eveneens een grote mate van onzekerheid. Niet alleen worden de



FIGUUR 1: HOOGTEPROFIEL VAN DE STANDAARD AANVLIEGPROCEDURE EN TWEE VOORBEELDEN VAN EEN WERKELIJK GEVLOGEN PROFIEL [3].

voorgeschreven grondpaden met wisselende precisie gevolgd (dit kan in de berekeningen achteraf verdisconteerd worden), ook het hoogteprofiel tijdens start en landing kent een tamelijk grote variatie. Dit kan het gevolg zijn van bijvoorbeeld snellere stijging bij tegenwind, als gevolg van een hoger motorvermogen of een afwijkend startgewicht. In figuur 1 zijn een tweetal werkelijk optredende hoogteprofielen tijdens de landing vergeleken met het standaard profiel.

Voorts zou rekening gehouden moeten worden met de rolbeweging van het vliegtuig vanwege het afscherpende effect van de vliegtuigromp op het motorgeluid.

Idealiter zou je al deze zaken precies moeten weten om een nauwkeurige berekening van de geluidsproductie te kunnen uitvoeren. De praktijk is dat veel gegevens niet bekend zijn of niet in de rekenmodellen geïmplementeerd zijn.

EIGENSCHAPPEN OVERDRACHTSGEBIED

Aan de rij van onzekerheden valt nog toe te voegen de atmosferische conditie. Voor de geluidsoverdracht wordt uitgegaan van een stabiele atmosfeer met een temperatuur en luchtdruk die niet van de hoogte afhangt. Zoals we allemaal weten is dit niet het geval. Temperatuur en luchtdruk nemen af met de hoogte en de relatieve vochtigheid neemt i.h.a. toe. We vinden deze variatie niet terug in de gebruikte factoren voor de luchtdemping. Straalkromming ten gevolge van gradiënten in de windsnelheid en temperatuur beïnvloeden de bodemreflectie bij scherpende inval. Het in de rekenmethoden opgenomen bodemeffect houdt hier eveneens in zeer globale vorm rekening mee.

LAST BUT NOT LEAST, BAANGEBRUIK

Zou je per start of landing alles wat hierboven opgesomd is precies weten, dan nog wordt een voorspelling van de geluidssituatie bemoeilijkt door het feit dat van te voren niet vaststaat welke baan er voor start of landing gebruikt wordt. Niettegenstaande duidelijke voorkeuren uit geluidstechnisch oogpunt, is het vanuit veiligheidsoogpunt en bij plotselinge topdrukte noodzakelijk hiervan af te kunnen wijken. Met name hoge windsnelheden of rukwinden uit ongunstige richtingen kunnen tot intensiever gebruik van geluidstechnisch ongunstigere banen leiden, waar vooraf minder rekening mee gehouden is. Bij het achteraf vaststellen van de geluidssituatie, speelt dit natuurlijk niet omdat uit radarplots baangebruik en horizontale vliegpaden nauwkeurig bekend zijn.

Een groot deel van de hierboven genoemde lacunes zijn in het voor Schiphol gebruikte rekenmodel [2] ingevuld door te werken met de vooraf gestandaardiseerde start- en landingsprofielen die voor een klasse toestel en gewichtsklasse op elk moment vanaf de start of voor de landing zowel de horizontale afstand en

hoogte, alsook de snelheid, stuwkracht en standen van de flaps definiëren. Vervolgens is per klasse toestel het geluidsniveau dat hoort bij een bepaalde afstand en een bepaalde stuwkracht in matrixvorm beschikbaar. Dit zijn de zogenaamde prestatietabellen en de NPD (noise-power-distance) tabellen die de kern van het rekenprogramma vormen. De gevlogen grondpaden worden gemodelleerd met een voorgeschreven route met daaromheen een normaal verdeelde spreiding.

De grote variatie in typen en versies van de gebruikte toestellen wordt teruggebracht tot een beperkt aantal klassen, gedefinieerd door voorbeeldtypen. De reeds eerder genoemde variatie in versies en typen van de B737 wordt in het huidige rekenmodel van Schiphol gerepresenteerd door een tweetal typen, de B737-300 en de B737-800. De B737 vertegenwoordigt haast 60% van alle toestellen.

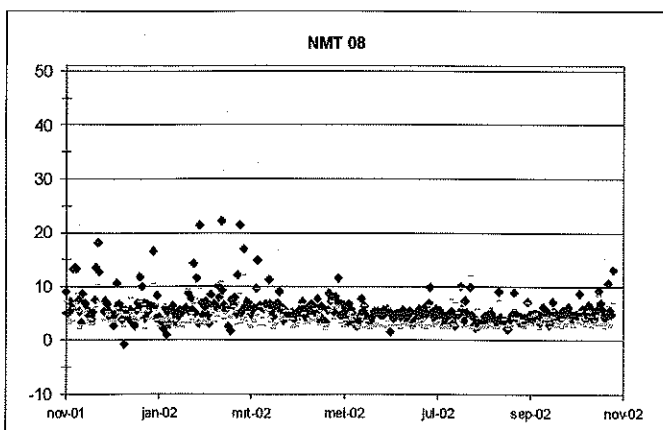
REKENEN VERSUS METEN

De "preciezen" onder de lezers hebben nu de hoop opgegeven om tot een betrouwbaar rekenresultaat te kunnen komen. Maar de "rekkelijken" zouden kunnen stellen dat op papier er veel onbekend is maar dat deze onnauwkeurigheden of onbekenden in de invoer tot verwaarloosbare afwijking leiden of dat het geluidsimmissieniveau van een individuele start of landing weliswaar grote afwijkingen kan vertonen, maar dat door middeling over veel vluchten de fout verdwijnt en er een betrouwbaar jaargemiddelde tevoorschijn komt.

We moeten echter vaststellen dat meettechnische validatie van een groot aantal individuele passages tot een ander beeld leidt. De Commissie Deskundigen Vliegtuigeluid (CDV) heeft in 2005 een tamelijk omvangrijk onderzoek uitgevoerd. Op 19 posities gelegen op of dicht bij de 35 KE contour zijn geluidsmetingen uitgevoerd en zijn deze vergeleken met de berekende niveaus. Hieruit bleek dat op praktisch alle posities het Lden gemiddelde gemeten geluidsniveau één tot enkele dB's hoger lag dan het berekende geluidsniveau. De rekenwaarden waren vastgesteld met het voor Schiphol vigerende rekenvoorschrift [2]. Bij deze vergelijking zijn alleen passages meegenomen waarvan het grondpad uit radarmetingen bekend was. Een voorbeeld van de daggemiddelde waarde over de periode van een jaar op een bepaalde positie is gegeven in onderstaande figuur. Op dit punt bedroeg de over een jaar gemiddelde afwijking 3,8 dB. De gemiddelde afwijking per meetpunt bedroeg 2,5 dB.

DE KNECHT DIENT DE MEESTERS NIET OPTIMAAL

We moeten dus vaststellen dat de gebruikte rekenmethode tekort schiet in het betrouwbaar vaststellen van de geluidsbelasting in de directe omgeving. Uit nadere bestudering van de voorgeschre-



FIGUUR 2: VERSCHILLEN (MET STANDAARDEVIATIE) TUSSEN GEMETEN EN BEREKENDE GELUIDSNIVEAUS VAN VLIEGTUIGPASSAGES, GEMIDDELD PER DAG, IN DB(A), (NOMOS MEEPTUIN UITHOORN) [3].

ven rekenmethode [2] blijkt dat deze ook niet goed te gebruiken is om het effect van allerlei maatregelen ter verbeteringen van de geluidssituatie rond de luchthaven goed te voorspellen. Door de grove toestelindeling, het beperkte aantal vluchtprofielen en de simpele baangeometrie kunnen verbeteringsvarianten niet goed doorgerekend worden. Ten derde wordt de eenduidigheid van de resultaten bedreigd doordat in internationale vergelijkingstudies met andere methodes gewerkt worden die (mag je vrezen) andere resultaten geven.

Op detailniveau kent de methode nog enkele verdere beperkingen. Het remmen op de motor (reverse thrust) wordt niet goed meegenomen. Het geluid tijdens taxiën en het geluid van APU tijdens het wachten op het platform worden verwaarloosd. De bijdrage van deze laatste bronnen aan het geluidsniveau in de omgeving is echter in het algemeen gering.

De geluidproductie van het starten is wel in het rekenmodel meegenomen. Echter als gevolg van het simpele overdrachtsmodel en het ontbreken van een frequentieafhankelijke rekenmethode in het model, is de hinder van de laagfrequent geluid zoals bij Hoofddorp niet goed te voorspellen.

KAN HET BETER?

Verbetering kan worden gevonden in het verder detailleren van de rekenmethode. In het nieuwe Integrated Noise Model 7.0 [5], dat voldoet aan de in DOC29 beschreven rekenmethode, vliegen de toestellen niet meer als een plank door de lucht, maar volgen bochten natuurgetrouwer. Het aantal start- en landingsprocedures is verder uitgebreid en de lijst van beschikbare vliegtuigtypes met allerlei varianten is completer zodat effecten van kleine vlootwijzigingen gedetailleerder kunnen worden voorspeld.

Wordt het resultaat daarmee betrouwbaarder? Het lijkt erop dat de virtuele wereld straks met een hogere resolutie afgebeeld wordt maar dat de relatie met onze dagelijkse werkelijkheid niet verbetert. Immers, het fundamentele tekort aan kennis (of gebruik daarvan in de berekening) van de verticale positie van het vliegtuig en van stuwkracht en stand van flaps wordt niet opgelost. Voorts zijn de gegevens, waar de hele rekenmethode op rust, namelijk de prestatietabellen en de NPD tabellen, niet door een onafhankelijke partij gevalideerd met een daartoe opgezet meetprogramma, maar zijn afkomstig van de fabrikanten.

Biedt het IMAGINE model soelaas? Deze aanpak, waarin bron en overdracht netjes gescheiden worden, waarin de bronsterkte uit directe emissiemetingen vastgesteld is en waarin de overdracht met kennis van de meteorologische grenslaag met de nieuwste technieken doorgerekend wordt, is eleganter vanuit een technisch wetenschappelijk gezichtspunt. Echter de benodigde invoergegevens blijken echter niet anders dan door "reverse engineering" van de prestatie- en NPD tabellen verkregen te kunnen worden, waardoor de intrinsieke onzekerheid niet minder wordt. Een interessante benadering is die gevolgd in Duitsland en vastgelegd in het AzB (Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen) [6]. Daarin wordt verbetering van de betrouwbaarheid gezocht in een hybride aanpak, waarbij vluchtpaden op standaarden zijn gebaseerd maar de invoergegevens uit een continu uitgevoerd meettechnisch validatieprogramma afgeleid worden. Er wordt daarin pragmatisch omgegaan met de variaties die eigen zijn aan het vliegbedrijf. Een hogere stuwkracht tijdens de start levert meer geluid op, maar omdat het vliegtuig sneller stijgt, blijft het niveau op de grond in eerste benadering gelijk. Het heeft dus niet veel zin om een hoog detailniveau op dat punt na te streven. Vliegtuigen worden ingedeeld op basis van functionele specificaties zoals het type (propeller of jet), de "bypass ratio", het maximum startgewicht, ICAO geluidsklasse, bouwjaar en dergelijke. Van elke klasse wordt door metingen op de grond de relevante emissie vastgesteld. Door de omvang van

het meetprogramma wordt de gemiddelde waarde goed benaderd en wordt afgezien van een ambitie om elke passage precies te kunnen bepalen. De beperkingen van deze methode liggen in de onmogelijkheid om effecten van technische verbeteringen aan het vliegtuig door te rekenen voor zover deze verder gaan dan meettechnisch is vastgesteld, om op grotere afstanden dan die waar meettechnische validatie uitgevoerd wordt, te kunnen rekenen en in de onmogelijkheid de resultaten te vergelijken met die uit andere methoden.

HOE ZOU HET OOK KUNNEN?

Een rekenmethode hoeft niet, zoals een Zwitsers zakmes alles te kunnen. De beschikbare rekenmethodes werken vaak goed in een beperkt gebied en zijn minder efficiënt of nauwkeurig in andere gebieden. Men kan zich een aanpak voorstellen waarbij, afhankelijk van de vraagstelling er een daartoe geëigende methode gebruikt wordt.

Pas een gevalideerde maar minder technisch gedetailleerde methode toe om de jaargemiddelde geluidsniveaus vast te stellen, waarbij terughoudendheid betracht moet worden in de geografische reikwijdte van de rekenexercitie, immers daar zal validatie tekort kunnen schieten.

Effecten van technische verbeteringen kunnen daarentegen weer goed met een gedetailleerd maar minder in absolute zin gevalideerd model worden uitgezocht. Immers daar is een relatief effect belangrijker als een absoluut niveau.

Voor ander type detailonderzoek zal, naar gelang de aard van de vraag, een ander soort onderzoeksmethode kunnen worden toegepast. Een voorbeeld daarvan is de reeds vermelde hinder ten gevolge van laagfrequent geluid van startende vliegtuigen in Hoofddorp, die met een op de vraagstelling toegepaste methoden uitgezocht is.

Een verdere stap in de richting van hogere betrouwbaarheid kan gemaakt worden door de impliciete en niet te vermijden onnauwkeurigheid in het rekenresultaat expliciet te vermelden.

Hoewel in het juridische veld onnauwkeurigheid geen plaats heeft, is implementatie daarvan in eerste benadering niet zo moeilijk [7]. Afhankelijk van de vraagstelling kan de beoordeling plaatsvinden op basis van het rekenresultaat als de beste schatting van de werkelijkheid, met de onnauwkeurigheidsmarge daarbij opgeteld als gehandhaafd wordt op overschrijding, of daarvan afgetrokken als aangetoond wordt dat een modificatie binnen de grenswaarde blijft. Een voorbeeld uit de praktijk van alledag is de snelheidscontrole op wegen waarbij de marge verdisconteerd is in de gemeten snelheid.

De reken- en beoordelingsmethodes worden door het gebruik van verschillende rekenmodellen en het verdisconteren van onzekerheidsmarges niet simpeler, maar de geluidstechnische werkelijkheid is vaak niet simpel. Door ons bewust te worden van de beperkingen van de methoden en de onnauwkeurigheden in het beoordelings- en handhavingssysteem te incorporeren, neemt de betrouwbaarheid van het systeem daarentegen wel toe.

REFERENTIES:

1. U. Isermann, "Over de nauwkeurigheid van het berekenen van vliegtuiglawaaï", Geluid, Nummer 4, december 1996, p.141-144
2. H.v.d.Wal, P.Vogel en F.Wubben, "Voorschrift voor de berekening van de Lden en de Lnight geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol; herziene versie, NLR-CR-2001-372-PT-1, juli 2001.
3. TNO, NLR, "Onderzoek naar verschillen tussen gemeten en berekend vliegtuigeluid", Commissie Deskundigen Vliegtuigeluid, januari 2006
4. ECAC/CEAC Doc 29, 3rd Edition, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports
5. Integrated Noise Model(INM) Version 7.0, users guide, US department of Transportation, Federal Aviation Administration, FAA-AEE-07-04, April 2007.
6. T.Myck (UBA), Die neue "Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)", Seminar Müller-BBM 09-10-2007.
7. Tjeert ten Wolde, "Quality aspects of the European and global noise policies on environmental noise" proceedings INTER-NOISE 2006