



Managementsamenvatting

Hoorbaarheid van een V2-raket op afstand

Probleemstelling

Als onderbouwing voor een passage in een inmiddels uitgegeven boek wordt in deze publicatie, aan de hand van een geluidsoverdrachtsberekening, ingeschat of het waarschijnlijk of onwaarschijnlijk is dat het geluid van een V2-raket op grote afstand nog hoorbaar was, en met name het stoppen van de motor.

Resultaten en conclusies

De conclusie is, dat het zeer onwaarschijnlijk is dat het wegvallen van het raketgeluid bij het stoppen van de motor na ca. 1 minuut op de grond nog hoorbaar was. Dit in tegenstelling tot het wegvallen van het raketgeluid bij het mislukken van een lancering, waarbij al na enkele seconden de motor uitviel dan wel de raket door fouten in de besturing van richting omkeerde.

Rapportnummer

NLR-TP-2010-127

Auteur(s)

H.M.M. van der Wal

Rubricering rapport

ONGERUBRICEERD

Datum

Juni 2010

Kennisgebied(en)

Aëro-akoestisch en experimenteel aërodynamisch onderzoek

Trefwoord(en)

Geluidsverzwakking
Raketgeluid
V2 geluid



NLR-TP-2010-127

Hoorbaarheid van een V2-raket op afstand



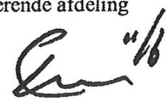
H.M.M. van der Wal

Dit rapport is een onderbouwing van een passage in het boek "Mijn dagelijks leven in oorlogstijd. Herinneringen 1940-1945.", door F.A. Schalekamp.

Uit dit rapport mag worden geciteerd onder de voorwaarde dat volledige bronvermelding plaatsvindt.

Opdrachtgever F.A. Schalekamp
Contractnummer ----
Eigenaar NLR
NLR Divisie Lucht- en Ruimtevaartuigen
Verspreiding Onbeperkt
Rubricering titel Ongerubriceerd
Juni 2010

Goedgekeurd door:

Auteur	Reviewer	Beherende afdeling
 8/6 '10.	 19-7-10	 '10

Samenvatting

Als onderbouwing voor een passage in een inmiddels uitgegeven boek wordt in deze publicatie, aan de hand van een geluidsoverdrachtsberekening, ingeschat of het waarschijnlijk of onwaarschijnlijk is dat het geluid van een V2-raket op grote afstand nog hoorbaar was, en met name het stoppen van de motor.

De conclusie is, dat het zeer onwaarschijnlijk is dat het wegvallen van het raketgeluid bij het stoppen van de motor na ca. 1 minuut op de grond nog hoorbaar was. Dit in tegenstelling tot het wegvallen van het raketgeluid bij het mislukken van een lancering, waarbij al na enkele seconden de motor uitviel dan wel de raket door fouten in de besturing van richting omkeerde.

Inhoud

1 Inleiding	4
2 Ontvangen informatie	4
3 Uitgangspunten voor de berekening	4
4 Berekeningsresultaat en conclusie	7
Referenties	8

1 Inleiding

Doel van deze publicatie is om, aan de hand van een geluids-overdrachtsberekening, in te schatten of het waarschijnlijk of onwaarschijnlijk is dat het geluid van een V2-raket op grote afstand nog hoorbaar was, en met name het stoppen van de motor.

De berekening is uitgevoerd voor de heer Schalekamp, als onderbouwing voor een passage in een door hem geschreven boek [1].

2 Ontvangen informatie

Van de heer Schalekamp is de volgende informatie ontvangen.

- Geluidsemissie van een V2, tijdens of kort na de lancering: 128 dB op 85m afstand.
- De raketmotor werkte na lancering ca. 1 minuut, en stopte dan.
- Ten tijde van het stoppen van de motor bevond de V2 zich op ca. 25 km afstand van de lanceerpositie.
- Ten tijde van het stoppen van de motor volgde de V2 een baan die een hoek van 49° maakte met de verticaal.

3 Uitgangspunten voor de berekening

Voor de geluidsoverdrachtsberekening worden de volgende uitgangspunten gehanteerd, mede op basis van bovenstaande informatie.

- Geluidsemissie van een V2: 128 dB op een afstand r_0 van 85m.
- Richtingseffecten worden niet in rekening gebracht.
- Afname van het geluidsniveau als gevolg van geometrische uitbreiding: $20 \cdot \log[r/r_0]$, met r de afstand van de V2 tot de lanceerpositie en $r_0=85\text{m}$ de bovengenoemde meetafstand. Dit is de zg. $1/r$ -wet, die overeenkomt met een afname van 6 dB per afstandsverdubbeling.
- Ten tijde van het stoppen van de motor bevond de V2 zich op ca. 25 km afstand van de lanceerpositie. Toepassing van de $1/r$ -wet hierop geeft een geometrische afname van 49 dB.
- Aangenomen wordt dat het spectrum van het geluid ongeveer overeenkomt met het spectrum, vermeld in Fig. 1, dat is overgenomen uit Ref. [2]. Hieruit blijkt dat het maximum (ca. 130 dB voor deze meting) wordt bereikt bij ca. 100 Hz.

- Voor afname van het geluidsniveau als gevolg van atmosferische verzwakking (m.n. luchtabsorptie) worden de waarden uit tabel 1 gehanteerd, overgenomen uit Ref. [3]. Hieruit blijkt dat, voor frequenties tussen de 50 en de 100 Hz, het geluid afneemt met 0 à 1 dB per km, ofwel tussen de 0 dB en 25 dB over 25 km, afhankelijk van de temperatuur en de luchtvochtigheid.
- Voor het totale geluid wordt aangenomen dat de atmosferische verzwakking, zeg, 10 dB bedraagt, omdat deze verzwakking voor de zeer lage frequenties nul is. Op grote afstand blijven dus alleen deze zeer lage frequenties over, zeg, 10% van de totale energie.
- De gevoeligheid van het menselijk oor is afhankelijk van de frequentie. Voor lage en (zeer) hoge frequenties is het oor minder gevoelig dan voor de middenfrequenties, zoals in Fig. 2 is weergegeven. Zo is voor 100 resp. 50 Hz de A-weegfactor gelijk aan -19 resp. -30 dB.

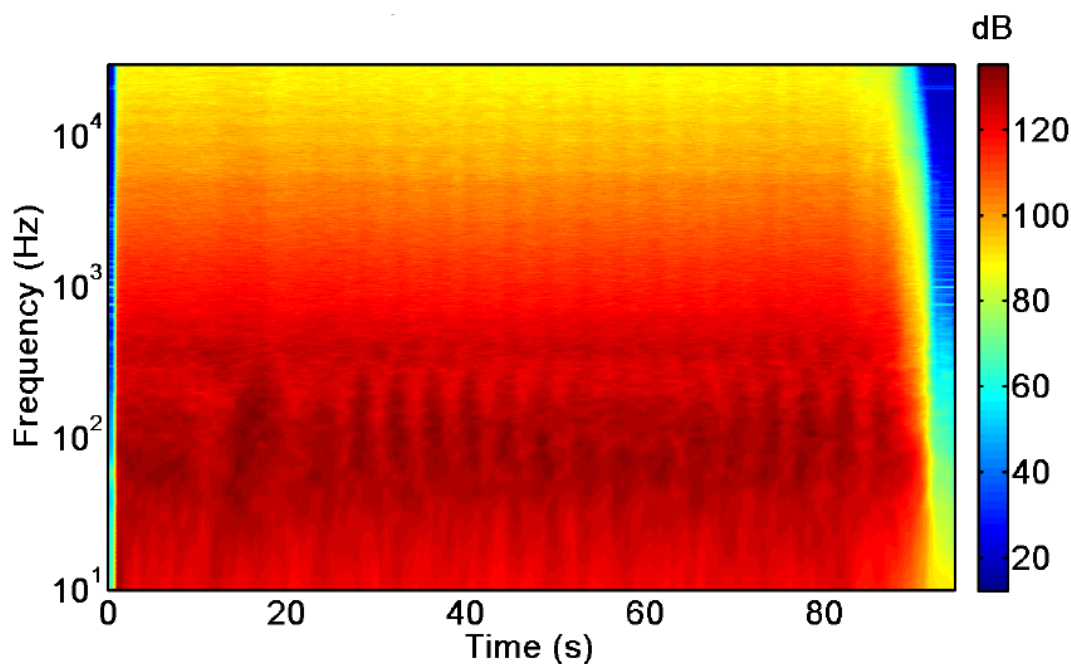


Fig. 1. Spectrogram van raketgeluid, gemeten door Brigham Young University, Provo, UT, USA [2]

- Ten tijde van het stoppen van de motor, bevond een V2 zich op het oppervlak van een kegel met een verticale as, de top samenvallend met de lanceerpositie en een halve tophoek van 49°. Met andere woorden, de V2's bevonden zich dus zo hoog boven de horizon, gezien vanaf de lanceerpositie, dat geen rekening gehouden behoeft te worden met speciale atmosferische effecten, zoals schaduw-effecten als gevolg van gekromde geluidspaden.
- Uitgaande van een totale afstand van 25 km, volgt uit de tekst bij het opsommingsteken direct hierboven dat de V2 zich, ten tijde van het stoppen van de motor, bevond op een

hoogte van meer dan 18 km. Uitgaande van de ICAO standaard atmosfeer [5] is de luchtdruk daar nog slechts 7% en de dichtheid nog slechts 9% van de waardes op het aardoppervlak. Zonder een kwantificering te geven kan worden gesteld dat de geluidsemisatie van een raket op deze hoogte veel lager is dan nabij het aardoppervlak.

- Ten tijde van het stoppen van de motor, heeft een V2 een snelheid van meer dan 830 m/s, uitgaande van een eenparig versnelde beweging, waarbij in 1 minuut een afstand van 25 km is afgelegd. Dit komt overeen met bijna 3 maal de geluidssnelheid, rekening houdend met de bovengenoemde hoogte van 18 km. De belangrijkste component van het raketgeluid is straallawaai, dat schaal met U^8 [6]. U is de (uitstroom)snelheid van de straal (uit de raket) ten opzichte van de omringende lucht. Als wordt aangenomen dat de snelheid van de straal constant blijft ten opzichte van de raket, dan is het dus duidelijk dat de snelheid $U = U_0$ van de straal vlak bij de grond veel groter is dan de snelheid $U = U_{18km}$ op 18 km hoogte. Dit betekent dat de geluidsemisatie van de raket op 18 km hoogte veel lager is dan vlak bij de grond. In dB bedraagt de afname: $80 \cdot \log_{10}[U_0/U_{18km}]$ dB.

Tabel 1. Geluidsverzwakking als gevolg van luchtabsorptie, voor lage frequenties, als functie van de temperatuur, zowel voor een lage als een hoge relatieve vochtigheid [3]

Table A1-7. Sound attenuation coefficient in db/100 m

Band centre frequency	Relative humidity = 10%										
	Temperature, °C										
Hz	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
50	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
63	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
100	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
125	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
160	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
200	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
250	0.2	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
315	0.2	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
400	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
500	0.3	0.5	0.8	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4
Band centre frequency	Relative humidity = 100%										
	Temperature, °C										
Hz	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
125	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
160	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
200	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
250	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
315	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
400	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
500	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4

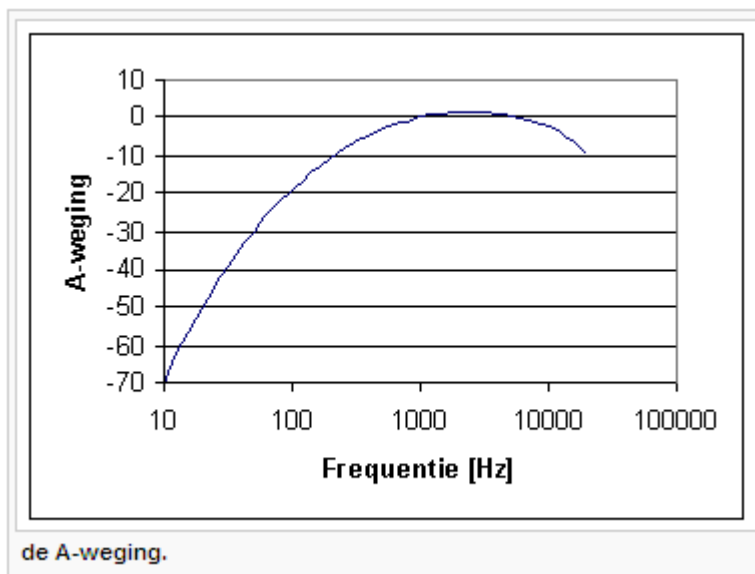


Fig. 2. De A-weging [4]. De schaal op de verticale as is in dB.

4 Berekeningsresultaat en conclusie

Als de afname van de geluidsemissie van de raket op grote hoogte even buiten beschouwing wordt gelaten dan bedraagt, uitgaande van het gemeten geluidsniveau van 128 dB op 85 m afstand, het geschatte geluidsniveau op 25 km afstand 69 dB (= 128 dB – 49 dB geometrische afname – 10 dB luchtabsorptie). Als correctiefactor voor de oorgevoeligheid wordt een waarde aangenomen van – 30 dB (waarde voor 50 Hz). Het A-gewogen niveau wordt dan 39 dB(A). Dit is een geluid dat in een stille omgeving nog hoorbaar is. Als echter de twee effecten uit de laatste twee opsommingstekens uit hoofdstuk 3 in aanmerking worden genomen, d.w.z. een veel lagere geluidsemissie ten gevolge van (1) de ijle lucht op 18 km hoogte en (2) de grote voorwaartse snelheid van de raket, dan kan worden gesteld dat het geluidsniveau veel lager is dan de hiervoor genoemde waarde van 39 dB(A).

De conclusie is derhalve, dat het zeer onwaarschijnlijk is dat het wegvallen van het raketgeluid bij het stoppen van de motor na ca. 1 minuut op de grond nog hoorbaar was. Dit in tegenstelling tot het wegvallen van het raketgeluid bij het mislukken van een lancering, waarbij al na enkele seconden de motor uitviel dan wel de raket door fouten in de besturing van richting omkeerde.

Referenties

1. F.A. Schalekamp, “Mijn dagelijks leven in oorlogstijd. Herinneringen 1940-1945.”, De Nieuwe Haagsche, mei 2010, ISBN 978-94-6010-038-3.
2. Kent L. Gee, Jarom H. Giraud, Jonathan D. Blotter, Scott D. Sommerfeldt, “*Energy-Based Acoustical Measurements of Rocket Noise*”, 15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (30th AIAA Aeroacoustics Conference), 11 - 13 May 2009, Miami, Florida, paper AIAA 2009-3165.
3. “*International Standards and Recommended Practices. Environmental Protection*”, Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I, Aircraft Noise, Fifth Edition, July 2008, International Civil Aviation Organization.
4. [http://nl.wikipedia.org/wiki/DB\(A\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/DB(A)).
5. http://en.wikipedia.org/wiki/International_Standard_Atmosphere en Auld & Srinivas, “*Aerodynamics for Students*“, <http://www.aeromech.usyd.edu.au/aero/atmosphere/atmtab.txt>
6. H.H. Brouwer (NLR), Presentatie “*Airplane Noise Sources*”, Hoofdstuk 12 uit het college aan de TU Delft, 2010.