



Stieltjesweg 1
Postbus 155
2600 AD DELFT

www.tno.nl

T 015 269 20 00

F 015 269 21 11

info-enT@tno.nl

TNO-rapport

IS-RPT-033-DTS-2006-00867

Akoestisch onderzoek Mosquito Mark II

Datum	6 november 2006
Auteur(s)	ing. F.J.W. Biegstraaten
Opdrachtgever	Rhine Consulting Group B.V. Postbus 274 3440 AG WOERDEN
Projectnummer	033.13455
Aantal pagina's	17 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vernieuwvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke 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 onderzoekopdrachten 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.

© 2006 TNO



Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Meetprocedure.....	4
2.1	Meetopstelling en meetprogramma galmkamer	4
2.2	Meetopstelling en meetprogramma dodekamer	5
2.3	Gebruikte apparatuur.....	6
2.4	Meetnauwkeurigheid	6
3	Meetresultaten	7
3.1	Metingen galmende ruimte.....	7
3.2	Metingen dode kamer.....	8
4	Conclusies.....	11
5	Literatuur.....	12
6	Ondertekening	13
	Bijlage(n)	
	A Aanvullende gegevens en meetwaarden	

1 Inleiding

In opdracht van Rhine Consulting Group B.V. is een onderzoek uitgevoerd naar het geluidvermogen en de frequentie-inhoud van het Mosquito Mark II ultrasoon geluidssysteem. Het systeem produceert geluid in het frequentiegebied boven 16 kHz.

Met het vorderen van de leeftijd neemt bij de mens het vermogen hoge frequenties waar te nemen af. Jongeren kunnen deze frequenties vaak nog wel horen en ervaren het geluid na enige tijd als irritant. De inzet van het systeem is bedoeld om op deze manier bepaalde gebieden onaantrekkelijk te maken voor hangjongeren. Het systeem wordt zowel buiten als binnen toegepast.

Buiten is sprake van een veldsituatie waarbij het geluidniveau afneemt met het toenemen van de afstand. Door eventuele reflecties kan het geluidniveau plaatselijk iets versterkt worden. In binnenruimten (winkelcentra, parkeergarages) met weinig absorberend materiaal ontstaat een galmveld waarbij de hoogte van het geluidniveau afhangt van de eigenschappen van de ruimte.

Vanwege beide toepassingen zijn metingen uitgevoerd in een galmende en in een geluiddode ruimte. Het onderzoek is verricht op 7 september 2006 in de speciale meetruimten van TNO te Delft, waarbij als galmende ruimte gebruik is gemaakt van isolatiemeetruimte 2 (zie blad A3). Voor de metingen in een geluiddode omgeving is gebruik gemaakt van de reflectievrije kamer (dodekamer, zie blad 5). Onderstaande foto's tonen de opstellingen in beide ruimten. Buiten de metingen aan de Mosquito Mark II zijn, ter vergelijking, enkele metingen verricht met twee andere vergelijkbare bronnen.



2 Meetprocedure

2.1 Meetopstelling en meetprogramma galmkamer

Het geluidvermogen van bronnen wordt gemeten volgens de voorschriften die zijn gegeven in de norm NEN-EN-ISO 3741 "Akoestiek - Bepaling van geluidvermogenenniveaus van geluidbronnen met gebruik van geluiddruk – Precisiemethode voor nagalmkamers".

Het geluidvermogenenniveau L_w wordt per 1/3 octaafband berekend met de volgende formule:

$$L_w = L_p - 10 \log \frac{T}{T_0} + 10 \log \frac{V}{V_0} + 10 \log \left(1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) + 10 \log \frac{B}{1000} - 14$$

waarin:

L_w : het geluidvermogenenniveau van de bron in dB t.o.v. 10^{-12} W;

L_p : het geluiddrukkniveau in dB t.o.v. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa;

T : de nagalmtijd van de meetruimte in s;

T_0 : de referentie nagalmtijd, 1 s;

V : het volume van de meetruimte in m^3 ;

V_0 : het referentievolumen, 1 m^3 ;

λ : de golflengte van de 1/3 octaafband middenfrequentie in m;

S : het totale oppervlak van de meetruimte in m^2 ;

B : de atmosferische druk in hPa.

De onderzochte bron produceert geluid in een frequentiegebied waarvoor in genoemde meetnorm overigens geen eisen meer worden gesteld aan de meetruimte. De gekozen ruimte met een volume van 100 m^3 is zeker groot genoeg voor betrouwbare metingen bij die hoge frequenties.

De bron is achtereenvolgens op twee verschillende posities in de meetruimte opgesteld. In het vertrek is een continue roterende microfoon opgesteld (rotatietijd 64 s). Het signaal wordt over deze tijdsduur geïntegreerd en geanalyseerd met behulp van een real-time frequentie analysator type 2133 van het fabrikaat Brüel & Kjær. Gemeten zijn lineaire geluiddrukkniveaus in het frequentiegebied van 100 Hz t/m 20 kHz. De door de analysator op schijf vastgelegde resultaten zijn verder verwerkt met bewerkingsprogramma's op een Personal Computer.

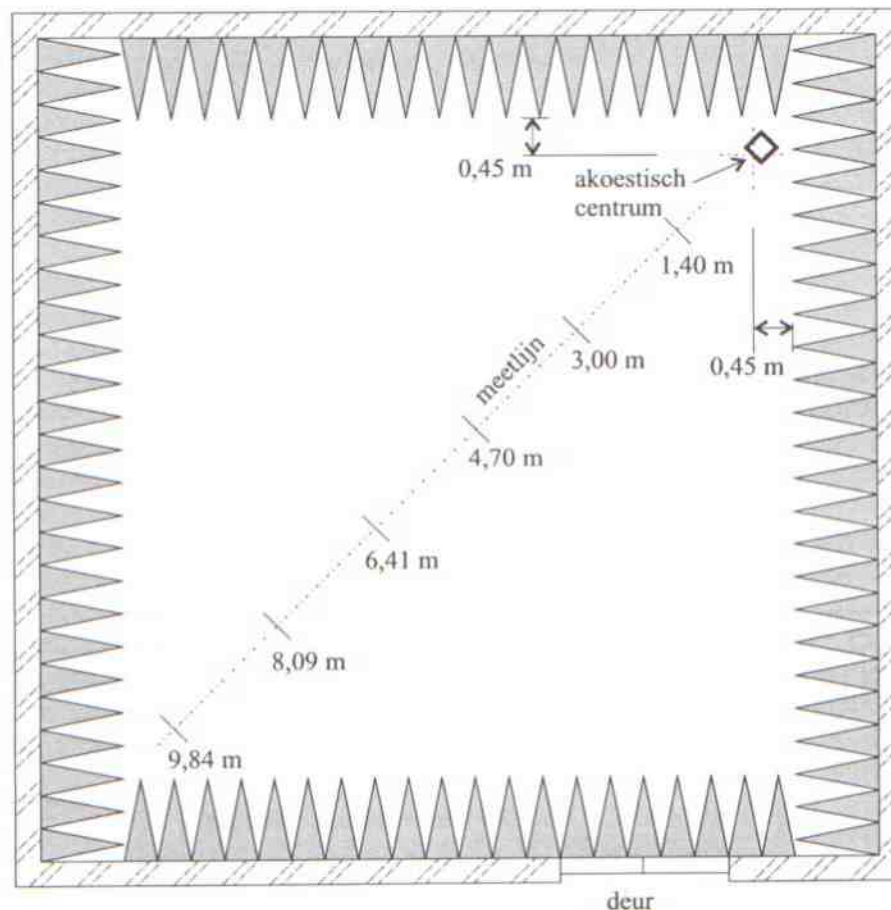
De nagalmtijd is gemeten met stoten breedbandruis waarvan het uitklinken wordt bemonsterd en in de resultaten verwerkt door dezelfde analysator.

De Mosquito Mark II zou, bij aanwezigheid van omgevingsgeluid, ter compensatie automatisch het niveau met 5 dB verhogen. Behalve de metingen ten behoeve van de bepaling van het geluidvermogenenniveau zijn, ter controle hiervan, ook enkele metingen verricht waarbij naast het geluid van de Mosquito Mark II gelijktijdig ook ruis is gegenereerd.

2.2 Meetopstelling en meetprogramma dodekamer

De dode kamer bestaat uit een betonnen doos met inwendige afmetingen 10 x 10 x 10 m³. De wanden, vloer en plafond van de ruimte zijn voorzien van 1 m lange wiggen van minerale wol. Op 70 cm boven de vloerwiggen is een loopnet van staaldraad bevestigd met een maaswijdte van 5 cm. De dode kamer is reflectievrij vanaf een frequentie van circa 80 Hz.

Bij de metingen is de verst van de deur gelegen hoofddiagonaal van de ruimte boven het loopnet gebruikt. De bron is in de tegenover de deur liggende hoek van de dode kamer geplaatst. De afstand tussen het akoestisch centrum van de bron en beide door de toppen van de wiggen gevormde wanden bedroeg 0,45 m. Het akoestisch centrum van de bron lag 1,34 m boven het loopnet. De lijn waarop de metingen zijn uitgevoerd liep vanaf het akoestisch centrum van de bron, horizontaal naar de tegenover liggende hoek, dus diagonaal door de ruimte op 1,34 m boven het loopnet. De onderstaande figuur toont de opstelling.



Figuur 1: Bovenaanzicht van de meetopstelling in de reflectievrijruimte.

Aan beide instellingen van de Mosquito Mark II (hoog en laag) is gemeten op de hiervoor beschreven meetlijn op afstanden van het akoestisch centrum van de bron zoals aangegeven in de figuur. Gemeten is het lineaire geluiddrukkniveau gedurende een meettijd van 64 s.

2.3 Gebruikte apparatuur

De bij de metingen gebruikte apparatuur is in onderstaande tabel opgenomen.

Tabel I: Gebruikte meetapparatuur.

instrument	fabrikaat	type	serienr.	TUI-nr.
¼" condensatormicrofoon	Brüel & Kjær	4136	1393713	15139
microfoonvoorversterker	Brüel & Kjær	2639	1605930	08068/1
microfoonvoeding (200 V)	Brüel & Kjær	2804	1798703	10752
pistofoon	Brüel & Kjær	4220	1475936	15145
½" electreetmicrofoon	Brüel & Kjær	4155	1148015	5302
microfoonvoeding (0 V)	Brüel & Kjær	2804	1584581	8072
geluidniveaucalibrator	Brüel & Kjær	4231	116925	12725787
2-kanaalsanalysator	Brüel & Kjær	2133	1469056	15131
50 W versterker	Quad	50E	9908	3719
luidsprekerbox	TNO			
microfoonrotor	Brüel & Kjær	3923		
thermo- hygrometer	Philips	HR5120		

2.4 Meetnauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van de metingen wordt bepaald door de nauwkeurigheid van de meet- en calibratie-apparatuur, de invloed van de meetomgeving en de reproduceerbaarheid van het signaal.

Zowel de B&K analysator als de calibrator hebben volgens opgave van de fabrikant een maximale afwijking van 0,2 dB. Wordt aangenomen dat dit de grens van het 95% betrouwbaarheidsinterval is dan zal de standaardafwijking van beide apparaten circa 0,11 dB zijn. De standaardafwijking van beide apparaten tezamen is dan circa 0,16 dB. De invloed van meten in de dode kamer volgt uit de afnametest van deze tuimte. In het hoogfrequente gebied blijkt de afwijking maximaal 0,3 dB te zijn met een standaardafwijking van circa 0,15 dB. De totale standaardafwijking van meetapparatuur en meetomgeving bedraagt dan 0,22 dB.

De reproduceerbaarheid van het testsignaal hangt samen met de kwaliteit van de electronica waarmee het signaal wordt gegenereerd en met de kwaliteit van de luidspreker die het signaal afstraalt. Hierover zijn geen gegevens bekend maar wordt aangenomen dat de standaardafwijking van het produceren van het signaal 0,2 dB bedraagt dan is de totale standaardafwijking van de metingen 0,3 dB. Hieruit volgt een meetnauwkeurigheid (95% betrouwbaarheid) van +/- 0,6 dB.

Uit een aantal herhalingen van de metingen moet blijken of deze schatting van de meetnauwkeurigheid correct is.

3 Meetresultaten

3.1 Metingen galmende ruimte

Tijdens de metingen was de temperatuur in de galmende ruimte 22° C, de relatieve vochtigheid 71% en de luchtdruk 1.020 hPa. In de reflectievrije ruimte was de temperatuur 21° C, de relatieve vochtigheid 67% en de luchtdruk 1.020 hPa.

Uit de metingen bleek dat alle drie de bronnen geluid produceren in het frequentiegebied met tertsbandsmiddenfrequenties van 12,5 kHz t/m 20 kHz. De niveaus in de frequentiebanden tot 12,5 kHz zijn tenminste 30 dB lager en dragen niet bij aan het totale niveau. Boven 20 kHz zijn geen metingen verricht.

De resultaten van de geluidmetingen in de galmende ruimte zijn samengevat in onderstaande tabellen.

Tabel 2: Samenvatting van de geluiddruk- en geluidvermogen-niveaus in het galmveld.

frequentie	Mosquito Mark II (hoog)			Mosquito Mark II (laag)		
	L _p (lin)	L _p (A)	L _w (A)	L _p (lin)	L _p (A)	L _w (A)
12,5 kHz	56,2	51,9	60,3	53,5	49,2	57,6
16 kHz	84,7	78,1	87,8	80,7	74,1	83,9
20 kHz	86,4	77,1	87,0	85,3	76,0	85,9
totaal	88,6	80,6	90,4	86,6	78,2	88,0

frequentie	bron 2			bron 3		
	L _p (lin)	L _p (A)	L _w (A)	L _p (lin)	L _p (A)	L _w (A)
12,5 kHz	60,5	56,2	64,7	86,7	82,4	90,9
16 kHz	83,4	76,8	86,6	82,3	75,7	85,5
20 kHz	64,4	55,1	65,0	54,6	45,3	55,2
totaal	83,5	76,9	86,6	88,0	83,2	92,0

Het verschil tussen de hoog-laag stand van de Mosquito Mark II bedraagt in de galmende omgeving circa 2,5 dB. In de praktijk kan het geluiddruk-niveau in een ruimte per tertsbands worden berekend met de volgende formule:

$$L_{pi} = L_{wi} + 10 \log \frac{T_i}{V} + 14$$

waarin:

L_{pi}: het geluiddruk-niveau in tertsbands i in dB t.o.v. 2.10⁻⁵ Pa;

L_{wi}: het geluidvermogen-niveau van de bron in tertsbands i in dB t.o.v. 10⁻¹² W;

T_i: de nagalmtijd van de ruimte in tertsbands i in s;

V: het volume van de ruimte in m³.

Hierbij volstaat het de geluiddruk-niveaus in de tertsbands 16 en 20 kHz te berekenen aangezien de bijdrage van 12,5 kHz band verwaarloosbaar is. Het totale niveau wordt vervolgens berekend met de volgende formule:

$$L_p = 10 \log(10^{0,1L_{p1}} + 10^{0,1L_{p2}})$$

Hierin zijn L_{p1} en L_{p2} de geluiddruk niveaus in respectievelijk de 16 en 20 kHz tertsband.

3.2 Metingen dode kamer

De richtingafhankelijkheid van de Mosquito Mark II is nagegaan door de bron 90° en 180° te draaien ten opzichte van de meetlijn in de dode kamer. Het resultaat is in tabel 3 opgenomen. Hieruit blijkt dat de Mosquito Mark II naar voren uitstraalt. De geluidproductie naar de zij- en achterkant is respectievelijk circa 17 en 32 dB lager dan naar voren.

Tabel 3: A-gewogen en voor luchtdemping gecorrigeerde geluiddruk niveaus op 1,4 m afstand van de Mosquito Mark II (stand hoog) onder verschillende hoeken in dB(A).

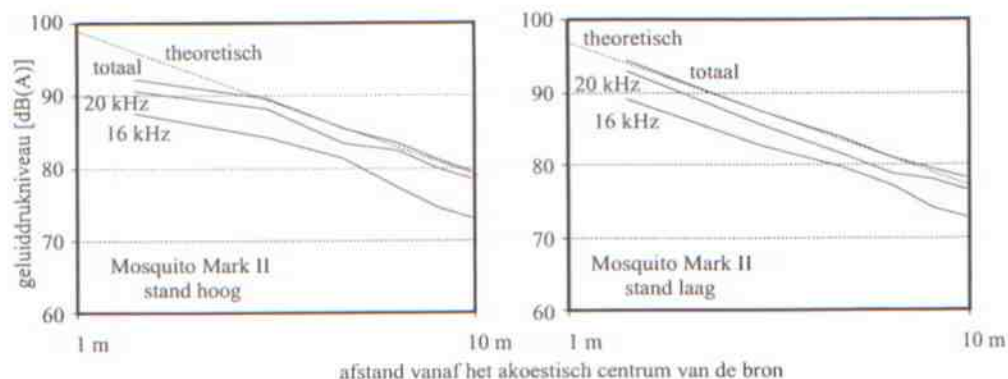
frequentie	0°	90°	180°
12,5 kHz	62,3	45,8	34,6
16 kHz	87,6	71,8	53,3
20 kHz	90,6	72,1	59,6
totaal	92,3	74,9	60,5

In tabel 4 zijn de resultaten opgenomen van de metingen die op de meetlijn in de dode kamer zijn uitgevoerd. Deze niveaus zijn A-gewogen en gecorrigeerd voor de luchtabsorptie.

Tabel 4: A-gewogen en voor luchtdemping gecorrigeerde geluiddruk niveaus gemeten op de verschillende afstanden op de meetlijn in de dode kamer in dB(A).

frequentie [kHz]	Mosquito Mark II stand hoog					
	1,4 m	3 m	4,7 m	6,41 m	8,09 m	9,84 m
12,5	62,3	59,1	55,1	52,0	49,3	47,7
16	87,6	84,3	81,4	77,1	74,5	73,1
20	90,6	88,1	83,4	82,4	80,0	78,4
totaal	92,3	89,7	85,5	83,5	81,0	79,5
Mosquito Mark II stand laag						
12,5	64,2	57,1	53,6	50,7	48,2	46,7
16	89,1	82,7	79,8	77,1	74,0	72,8
20	93,0	85,5	81,8	78,8	78,0	76,6
totaal	94,5	87,4	83,9	81,0	79,4	78,1

De niveaus uit tabel 4 zijn in figuur 2 uitgezet als functie van de afstand tot de bron. De niveaus zouden met 6 dB per afstandsverdubbeling moeten afnemen. Met de bron in de stand laag is dit ook het geval, in de stand hoog is de afwijking op 1,4 m afstand ruim 2 dB.



Figuur 2: Niveau-afname in de dode kamer. De metingen zijn A-gewogen en gecorrigeerd voor de luchtabsorptie.

Vanwege de richtingafhankelijke uitstraling is het bij toepassing buiten van belang de bronbeschrijving in de uitstralingsrichting te kennen. Het vermogensniveau in deze richting wordt de immissierelevante bronsterkte (L_{WR}) genoemd. De geluidvermogensniveaus zijn per tertsbands uit de geluiddrukkniveaus berekend met de formule:

$$L_w = L_p + 10 \log(4\pi r^2)$$

De resultaten van de berekeningen zijn in tabel 5 opgenomen.

Tabel 5: De immissierelevante bronsterkte van de Mosquito Mark II in de standen hoog en laag in dB(A) t.o.v. 10^{-12} W.

	Mosquito Mark II	
	hoog	laag
16 kHz	104,0	103,6
20 kHz	108,1	106,6
totaal	109,6	108,4

Het verschil in geluidproductie tussen de stand hoog en laag is in de buitensituatie slechts 1,2 dB. Dat dit minder is dan de 2,5 dB verschil in de galmende ruimte wordt vermoedelijk veroorzaakt door een verschil in richtingkarakteristiek tussen de stand hoog en laag.

In de praktijk kan het geluiddrukkniveau op afstand van de bron per tertsbands worden berekend met de volgende formule:

$$L_{pi} = L_{wi} - 10 \log(4\pi r^2) - r \cdot a_{lu}$$

waarin:

L_{pi} : het geluiddrukkniveau in tertsbands i in dB(A) t.o.v. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa;

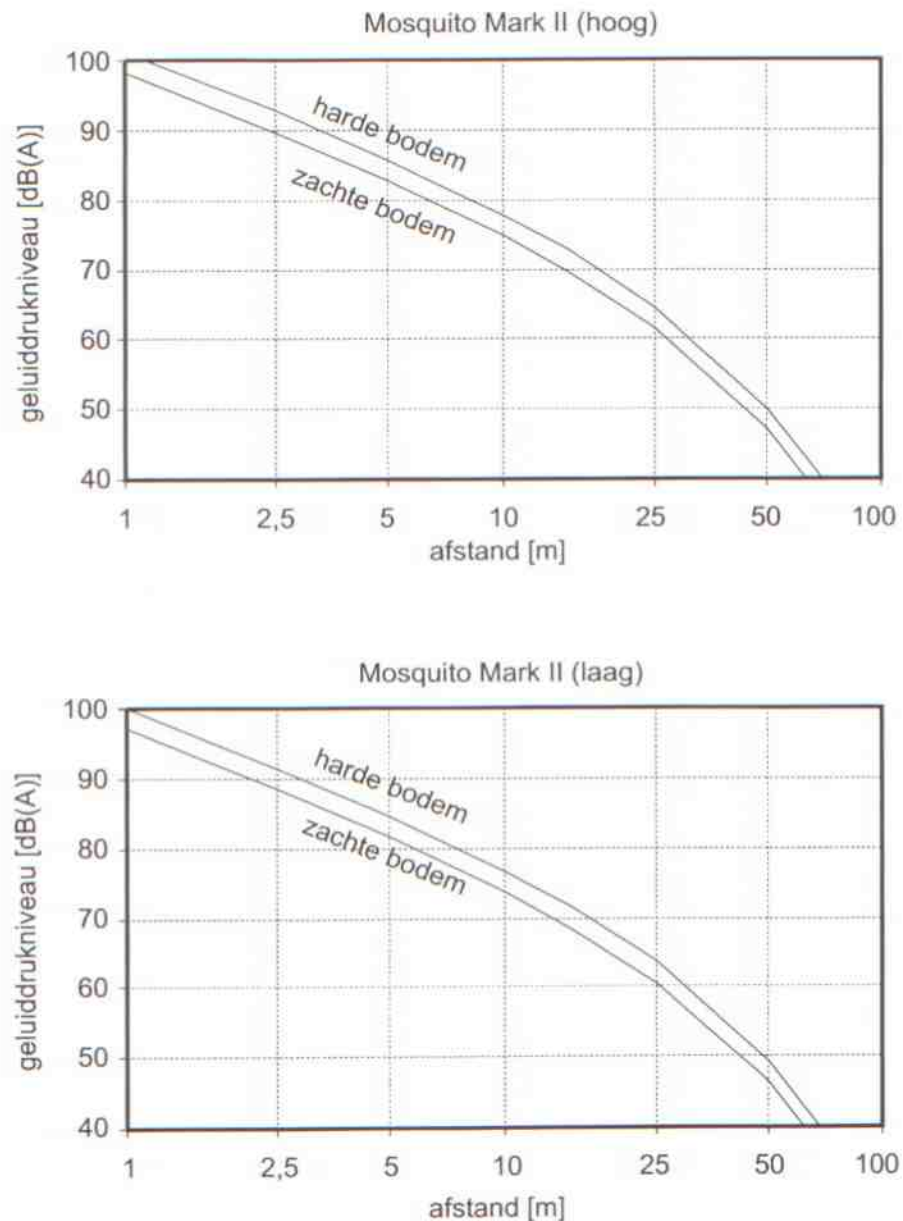
L_{wi} : het geluidvermogensniveau van de bron in tertsbands i (tabel 5) in dB(A) re 10^{-12} W;

r : de afstand tussen bron en immissiepunt in m;

a_{lu} : de luchtabsorptiecoëfficiënt in dB/m.

Deze formule geldt voor geluiduitbreiding zonder nabijheid van een bodem of boven een sterk absorberende bodem. Vindt de geluiduitbreiding plaats boven een reflecterende bodem dan moet de 4 in de formule vervangen worden door 2. De luchtabsorptiecoëfficiënt is afhankelijk van frequentie, temperatuur, relatieve vochtigheid en luchtdruk en wordt berekend volgens ISO 9613-1:1993. In de bijlage is een tabel opgenomen waarin waarden voor a_{lu} zijn gegeven.

Met behulp van voorgaande formule is het geluiddrukkniveau veroorzaakt door de Mosquito Mark II berekend als functie van de afstand boven een zacht en een hard oppervlak. De gebruikte luchtabsorptiecoëfficiënt is berekend voor 21°C, 67% relatieve vochtigheid en 1020 hPa luchtdruk. Het resultaat is opgenomen in figuur 3.



Figuur 3: Verloop van het geluiddrukkniveau van de Mosquito Mark II als functie van de afstand bij toepassing buiten.

4 Conclusies

- Het Mosquito Mark II ultrasoon geluidstelsel produceert geluid in de tertsbanden 16 kHz en 20 kHz. In de 12,5 kHz tertsband is het niveau circa 30 dB lager en niet waarneembaar door maskering. In de lagere frequentiebanden konden met de gebruikte meetopstelling geen niveaus worden vastgesteld hetgeen betekent dat deze lager dan circa 30 dB(A) zijn.
- Het totale geluidvermogeniveau van de Mosquito Mark II bedraagt 90,4 dB(A) en 88,0 dB(A) in galmende ruimten voor respectievelijk de stand hoog en laag.
- Het immissierelevante geluidvermogeniveau in voorwaartse richting in een vrijeveld situatie bedraagt 109,6 dB(A) en 108,4 dB(A) voor respectievelijk de stand hoog en laag.
- De geluiduitstraling van de bron is naar voren gericht. De uitstraling naar achteren is meer dan 30 dB lager. Wordt de bron nabij een buitenwand van een woning geplaatst dan zal het geluid in de woning niet waarneembaar zijn.
- In afgesloten (galmende) ruimten kan het geluiddrukkniveau, geproduceerd door de Mosquito Mark II, maximaal 81 dB(A) bedragen. Vanwege de hoge luchtabsorptie bij hoogfrequent geluid zal het in grote ruimten slechts in een beperkt deel van de ruimte waarneembaar zijn.
- Recht voor de bron, bij toepassing buiten of in grote ruimten, is het geluiddrukkniveau in de stand hoog, vanaf 1 m al lager dan 100 dB(A) en vanaf 8 m lager dan 85 dB(A).
- Ter voorkoming van gehoorschade wordt in de Nederlandse wetgeving (Arbeidsomstandighedenbesluit) gebruik gemaakt van de norm NEN-ISO 1999 [1]. Deze norm is geldig voor het hoorbare frequentiegebied (onder circa 10 kHz) en is dus niet toepasbaar op het geluid veroorzaakt door de Mosquito. In een ISVR-rapport [2] wordt uit literatuuronderzoek geconcludeerd dat bij frequenties vanaf 20 kHz bij tertsbandniveaus van 105-115 dB geen gehoorschade optreedt. Dit komt gemiddeld overeen met een A-gewogen niveau van ruim 100 dB(A). Op grond hiervan zou dus al op korte afstand van de bron niet voor gehoorschade gevreesd hoeven worden.
- Vanwege de grote invloed van de luchtabsorptie op de geluidoverdracht bij hoge frequenties is de geluidimmissie sterk afhankelijk van de atmosferische omstandigheden. Bij koud weer met een lage relatieve vochtigheid is de overdrachtsverzwakking het laagst en zijn de ontvangen niveaus dus het hoogst. Op een afstand van 20 m van de Mosquito Mark II kan dit tot verschillen van meer dan 10 dB leiden.

5 Literatuur

- [1] NEN-ISO 1999: 1990 Akoestiek - Bepaling van de beroepsmatige blootstelling aan geluid en het schatten van de door geluid veroorzaakte gehoorbeschadiging.
- [2] B.W. Lawton, Damage to human hearing by airborne sound of very high frequency or ultrasonic frequency, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton.

6 Ondertekening

TNO Industrie en Techniek

Delft, 6 november 2006

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes that form a stylized representation of the name F.J.W. Biegstraaten.

ing. F.J.W. Biegstraaten

A Aanvullende gegevens en meetwaarden

Tabel A1: Spectrale resultaten van de in de galmende ruimte uitgevoerde metingen (ongewogen geluidrukniveaus in dB t.o.v. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

frequentie	nagalm-tijd [s]	achtergrond-niveau	Mosquito Mark II						roze ruis	bron 2	bron 3
			hoog	laag	laag ¹⁾	hoog ²⁾	hoog	laag		positie 1	
			positie 1			positie 2					
100	1,48	26,5	42,8	41,2	94,5	78,1	42,0	42,2	94,8	41,5	41,6
125	2,55	17,3	38,7	36,6	96,6	80,0	44,6	44,7	96,4	37,0	44,5
160	3,49	17,6	38,2	36,7	98,8	83,3	43,9	43,8	98,9	37,0	44,0
200	2,76	22,1	38,6	38,3	97,6	81,7	28,7	32,5	97,5	38,0	27,4
250	2,71	18,8	36,9	35,9	100,0	84,2	44,9	45,1	100,2	36,2	45,1
315	2,79	21,0	36,8	36,0	102,8	86,8	45,1	45,1	102,7	36,1	45,2
400	2,49	20,0	35,7	34,9	102,0	86,7	16,3	23,0	102,3	34,9	19,3
500	2,56	19,2	35,0	34,5	101,2	85,7	44,8	44,7	101,3	34,5	45,0
630	2,66	17,4	34,5	34,1	99,9	83,8	45,0	44,8	100,0	34,1	45,1
800	2,59	17,5	34,2	33,9	99,7	83,7	-14,9	-14,9	99,7	33,8	18,3
1.000	2,43	15,8	33,9	33,7	98,3	82,2	44,8	45,1	98,3	33,5	44,8
1.250	2,21	13,0	33,8	33,7	95,6	79,2	42,6	42,5	95,7	33,5	42,4
1.600	1,98	16,5	33,5	33,4	99,7	83,5	7,3	24,5	99,7	33,2	12,3
2.000	1,90	16,0	33,3	33,3	98,8	82,5	44,9	45,1	98,7	33,1	44,9
2.500	1,85	14,8	33,2	33,3	98,0	81,4	42,5	42,5	98,0	33,2	42,4
3.150	1,76	13,1	33,3	33,4	95,5	79,0	30,6	-20,9	95,5	33,4	-20,9
4.000	1,62	14,5	33,4	33,4	95,6	79,1	44,9	45,0	95,6	33,3	45,0
5.000	1,43	16,1	35,3	34,8	95,3	78,8	42,7	42,5	95,4	33,6	42,5
6.300	1,24	17,7	34,1	34,1	95,8	79,0	37,7	10,1	95,8	33,9	43,5
8.000	1,03	18,4	34,5	34,6	95,7	79,2	44,9	44,9	95,8	34,4	45,1
10.000	0,83	14,0	35,2	35,3	90,1	74,1	42,8	42,7	90,3	35,0	49,4
12.500	0,65	9,7	55,6	54,4	84,2	68,3	56,7	52,5	84,3	60,5	86,7
16.000	0,48	9,6	84,3	82,8	83,8	85,4	85,0	78,6	76,5	83,4	82,3
20.000	0,47	3,9	85,9	85,3	85,3	87,6	86,8	85,3	63,7	64,4	54,6

1) met roze ruis

2) met roze ruis 20 dB verzwakt

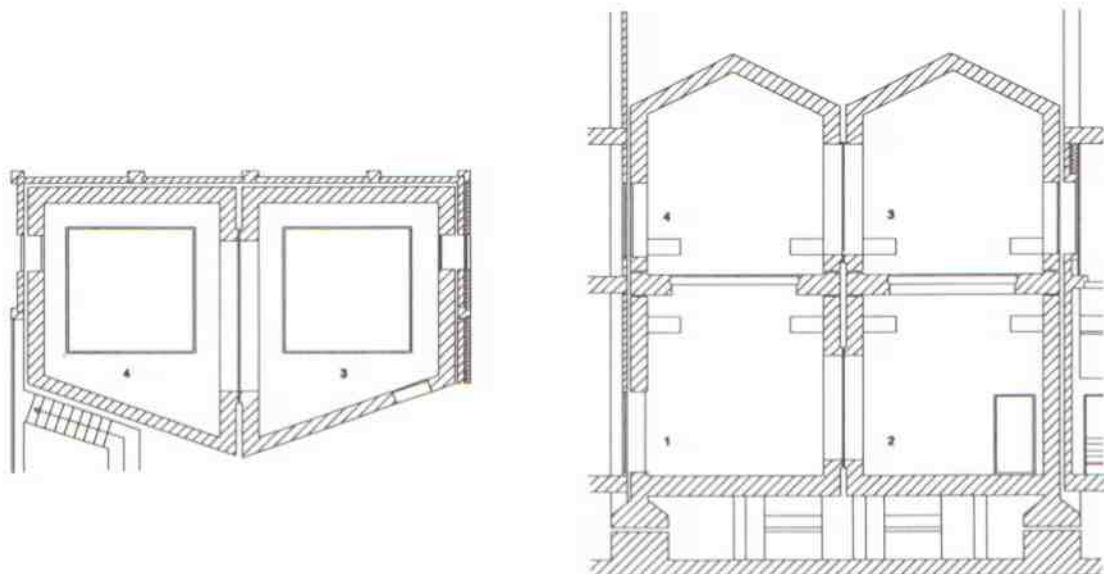
Tabel A2: Spectrale resultaten van de in de dodekamer uitgevoerde metingen (ongewogen geluidrukniveaus in dB t.o.v. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

frequentie	Mosquito Mark II stand hoog							Mosquito Mark II stand laag							bron 2
	1,4	3	4,7	6,41	8,09	9,84	9,84	8,09	6,41	4,7	3	1,4	9,84		
100	38,3	38,0	38,1	37,7	37,7	37,8	37,8	38,2	37,8	42,9	37,6	37,7	37,9	45,1	60,0
125	37,8	37,5	37,7	37,4	37,5	37,5	37,4	37,5	37,4	41,1	37,4	37,5	37,3	42,7	54,7
160	37,1	36,8	36,9	36,8	36,8	36,9	36,6	37,0	36,6	39,1	36,7	36,7	36,6	40,4	50,2
200	36,7	36,4	36,6	36,1	36,3	36,3	36,1	36,3	36,1	38,3	36,0	36,4	36,2	38,8	47,2
250	36,6	36,6	36,8	36,4	36,5	36,7	36,5	36,5	36,5	37,4	36,5	36,5	36,5	38,0	45,9
315	35,9	35,8	36,1	35,8	35,9	35,8	35,8	36,0	35,8	36,5	35,9	35,9	35,9	36,5	42,9
400	35,1	34,9	35,3	34,7	35,0	35,0	34,8	35,1	34,9	35,1	34,7	34,8	34,9	35,2	40,0
500	35,8	35,9	35,9	35,9	35,7	35,9	35,8	35,9	35,8	36,0	35,8	35,7	35,8	36,0	38,6
630	35,1	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,3	35,3	35,3	35,2	35,3	35,2	35,5	37,1
800	34,2	34,2	34,4	34,1	34,1	34,1	34,0	34,3	34,1	34,2	34,1	34,0	34,2	34,2	35,6
1000	35,2	35,2	35,4	35,2	35,2	35,2	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3	35,2	35,8
1250	33,6	33,6	33,8	33,6	33,6	33,6	33,7	33,8	33,7	33,9	33,7	33,7	33,9	33,9	34,6
1600	33,7	33,4	33,5	33,5	33,5	33,5	33,2	33,5	33,3	33,5	33,4	33,4	33,6	33,7	34,1
2000	35,1	35,0	35,1	35,0	35,0	35,0	35,1	35,1	35,0	35,1	35,1	35,0	35,3	35,2	35,4
2500	33,3	33,3	33,5	33,4	33,4	33,5	33,4	33,5	33,8	33,7	33,6	33,5	34,1	33,8	34,3
3150	33,1	33,2	33,4	33,2	33,1	33,3	34,1	33,4	36,8	33,3	33,2	33,1	36,1	33,9	34,6
4000	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,3	36,0	35,5	36,4	35,3	35,3	35,2	37,1	35,7	36,1
5000	37,4	33,7	33,8	34,4	33,9	33,9	34,4	34,5	34,4	34,2	33,9	33,9	35,1	35,1	35,4
6300	34,9	34,2	34,4	34,6	35,4	35,1	34,5	34,7	35,0	35,0	34,6	34,3	35,3	35,4	35,4
8000	36,3	35,9	36,0	36,0	35,9	36,0	36,1	36,0	36,2	36,0	36,0	35,9	36,4	36,3	36,1
10000	37,4	35,5	35,4	36,7	36,0	35,8	35,9	35,9	36,0	35,8	35,9	35,8	36,8	37,8	36,5
12500	66,3	49,8	38,6	62,9	58,6	55,2	52,2	50,2	49,2	51,1	53,9	57,1	60,9	68,2	52,5
16000	93,8	78,0	59,5	90,1	86,7	82,0	78,9	77,0	76,7	78,4	82,0	85,1	88,5	95,3	75,5
20000	99,3	80,8	68,3	96,2	90,7	89,0	85,9	83,6	81,8	83,9	85,4	89,1	93,6	101,7	56,8

ISOLATIEMEETRUIMTEN TNO DELFT

De isolatiemeetruimten van TNO te Delft vormen een blok van vier kamers, elk met een volume van ca. 100 m^3 . De kamers zijn onderling constructief gescheiden. De kamers hebben een hard afgewerkte vloer en hard afgewerkte wanden, waarvan tenminste twee onderling niet parallel zijn geplaatst. In elke kamer zijn 4 diffusoren opgehangen met een totale eenzijdige oppervlakte van $5,7 \text{ m}^2$.

Tussen meetruimten 1 en 2 bevindt zich een testopening voor wandconstructies van $3,75 \times 2,65 \text{ m}^2$; tussen meetruimte 3 en 4 bevindt zich een dubbele draagconstructie met een testopening voor glasmetingen met afmetingen $1,500 \times 1,250 \text{ m}^2$. Tussen meetruimte 1 en 4 bevindt zich een standaard beton vloer van 100 mm (ca. 260 kg/m^2) en tussen meetruimten 2 en 3 een testopening voor vloerconstructies van $3,15 \times 3,15 \text{ m}^2$.



De isolatiemeetruimten voldoen aan ISO 140-1:1997. De testopening voor glas voldoet aan ISO 140-3:1995 en de standaard vloer voldoet aan ISO 140-8:1997.

De meetprocedure met 2 luidsprekerposities en een roterende microfoon voldoet aan ISO 140-3:1995 en de meetprocedure met vier posities voor de hamermachine en een roterende microfoon voldoet aan ISO 140:6:1998.

Er wordt hiermee voldaan aan de eisen voor herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van ISO 140-2:1991.

Tabel A3: Luchtabsorptiecoëfficiënten voor de tertsbanden 16 kHz en 20 kHz in dB per meter voor enkele temperatuur, luchtdruk en vochtigheidscombinaties.

luchttemperatuur 0° C		luchtdruk 1000 hPa				
freq. kHz	relatieve vochtigheid %					
	10	30	50	70	90	
16	0,055	0,128	0,218	0,288	0,322	
20	0,078	0,152	0,248	0,335	0,393	

luchttemperatuur 0° C		luchtdruk 1020 hPa				
freq. kHz	relatieve vochtigheid %					
	10	30	50	70	90	
16	0,056	0,132	0,224	0,293	0,324	
20	0,078	0,156	0,255	0,342	0,398	

luchttemperatuur 10° C		luchtdruk 1000 hPa				
freq. kHz	relatieve vochtigheid %					
	10	30	50	70	90	
16	0,099	0,307	0,393	0,369	0,322	
20	0,122	0,349	0,490	0,503	0,463	

luchttemperatuur 10° C		luchtdruk 1020 hPa				
freq. kHz	relatieve vochtigheid %					
	10	30	50	70	90	
16	0,101	0,315	0,393	0,363	0,314	
20	0,124	0,358	0,494	0,498	0,454	

luchttemperatuur 20° C		luchtdruk 1000 hPa				
freq. kHz	relatieve vochtigheid %					
	10	30	50	70	90	
16	0,227	0,463	0,365	0,282	0,230	
20	0,254	0,595	0,530	0,427	0,353	

luchttemperatuur 20° C		luchtdruk 1020 hPa				
freq. kHz	relatieve vochtigheid %					
	10	30	50	70	90	
16	0,234	0,459	0,355	0,273	0,223	
20	0,262	0,596	0,518	0,414	0,342	