



Stijgtijd van geluid

Kevin Ferreira da Silva

In dit verslag zal aandacht worden geschonken aan de stijgtijd van activiteiten in de industrie.

Voorwoord

Als student van het derde jaar van de Haagse Hogeschool wordt de afstudeerperiode afgesloten met een scriptie. Dit verslag is geschreven naar aanleiding van mijn afstudeeronderzoek over stijgtijden van geluid. De opdracht is gegeven door DGMR. Voor het tot stand brengen van dit verslag wil ik graag mijn dank betuigen aan Ir. R. Witte en Dr. Ir. A Kok productgroep IV&M.

Een Hbo-student technische natuurkunde werkt vanuit een basis van kennis, inzicht en vaardigheden op het gebied van natuurkunde. Bovendien initieert, definieert, organiseert en realiseert een student natuurkunde een technisch natuurkundig onderzoek. Verder voert zo een student experimenten uit ten behoeve van het onderzoek waarin de natuurkunde een centrale rol speelt. De volgende drie competenties zijn tot stand gekomen:

- De theorie van de stijgtijd van geluid in de industrie toepassen;
- Bepalen of de resultaten van de berekeningen realistisch zijn en verwerkt kunnen worden in de nieuwe wetgeving omtrent stijgtijden;
- De apparatuur beoordelen en selecteren voor onderzoek naar de invloed van de omgeving op de stijgtijd van geluid.

Samenvatting

In dit verslag zal aandacht worden geschonken aan stijgtijden van geluidsgebeurtenissen in de industrie. Uit onderzoek¹ is gebleken dat de stijgtijd van een geluidsgebeurtenis als kenmerkend beschouwd kan worden voor de daardoor optredende verstoring, boven de huidige methodiek van de beoordeling van de absolute waarde van de piekgeluiden in dB(A). Er is een bepaalde classificatie tot stand gekomen bij een integratietijd van 125 ms en een sampleperiode van 125 ms. De classificatie is tot stand gekomen op basis van de volgende stijgtijdsindeling:

1. <15 dB/s
2. ≥15 dB/s ≤50 dB/s
3. >50 dB/s

Met de gekozen meetmethode wordt als eerste een geluidsfragment op het internet als geluidsbron genomen. De geluidsgebeurtenis 'glas storten' is nader beschouwd. Er kan geconcludeerd worden dat het gekozen meetapparaat niet de mogelijkheid heeft te samplen bij 125 ms, hoewel in het Hill – 2011 rapport wordt vermeld dat met de Na-27 gemeten is bij een sampleperiode van 125 ms. Dit apparaat heeft de mogelijkheid om te samplen bij 120 ms en 130 ms. De metingen in dit verslag zijn daarom gedaan met deze sampleperiodes. Vervolgens is het gemiddelde bepaald van de uitkomsten om te bepalen wat het resultaat is bij een sampleperiode van 125 ms. De stijgtijd van het storten van glas is $(19,4 \pm 0,2)$ dB/s en zit in klasse 2. De stijgtijd als functie van de sampleperiode is vrijwel lineair dus is de gekozen meetmethode bruikbaar. Het uitsluiten van omgevingsinvloeden op de stijgtijd is niet terecht. Dit in tegenstelling tot wat in het Hill rapport geconcludeerd wordt. Uit het onderzoek in dit verslag is gebleken dat op een afstand van ongeveer 400 meter zal bij een sampleperiode van 125 ms deze geluidsgebeurtenis een klasseverschuiving ondervindt; de gebeurtenis verschuift van klasse 2 naar klasse 1.

Er kan daarnaast geconcludeerd worden dat de luchtvochtigheid, de temperatuur, de bodem, afscherming en geluidsisolatie door een wand daadwerkelijk invloed uitoefenen op de stijgtijd. Bij een constante temperatuur en een vochtigheid van 70% zit deze geluidgebeurtenis na $(361,0 \pm 0,2)$ m in klasse 1. Bij een vochtigheid van 80% na $(379,8 \pm 0,2)$ meter. Bij 90% na $(434,5 \pm 0,2)$ meter.

Bij een constante vochtigheid en een temperatuur van -10°C zit deze geluidsgebeurtenis na $(131,6 \pm 0,2)$ m in klasse 1. Bij een temperatuur van 10°C na $(379,8 \pm 0,2)$ meter. Bij 20°C na $(454,5 \pm 0,2)$ meter. Hoe groter de omweg van het geluid bij afscherming is, hoe kleiner de stijgtijd van de gebeurtenis wordt. Als het geluid als gevolg van een scherm een omweg van 0,06 m maakt, wordt deze geluidsgebeurtenis beschouwd een activiteit in klasse 1. Bij een kleinere omweg hoort deze gebeurtenis in klasse 2. Ten gevolge van bodemdamping verschuift deze geluidsgebeurtenis bij een afstand van 75 meter naar klasse 1. Bovendien heeft de geluidsisolatie van een wand ook invloed op de stijgtijd. Bij een sampleperiode van 125 ms zal de stijgtijd door de damping van een wand met 1,1 dB/s dalen. Met de gekozen meetmethode zijn de metingen in de industrie gedaan. Er zijn geluidsonopnamen gemaakt en deze zijn geanalyseerd bij verschillende sampleperiodes. Als referentie wordt het tabel uit het Hill – 2011 verslag genomen waarin een aantal geluidsgebeurtenissen zijn onderzocht (zie bijlage 5). Van alle onderzochte activiteiten komt alleen het elektrisch slijpen van ijzer niet overeen.

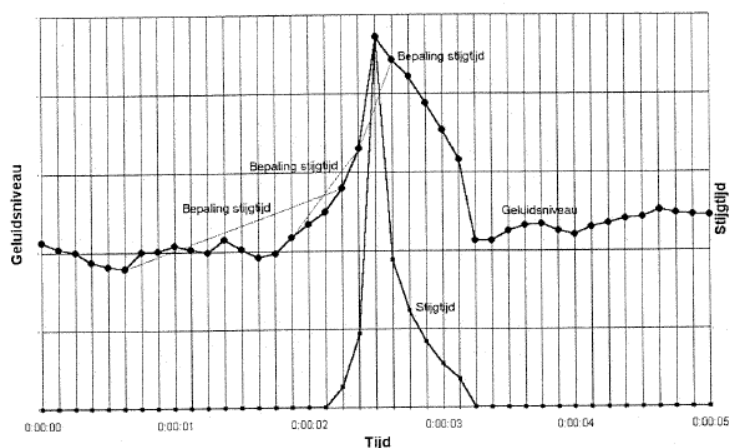
¹ "Beoordeling van piekgeluiden in de woonomgeving" Rapport TNO preventie en gezondheid, 011.40438/01.01, ISBN 90-6743-622-4, d.d.oktober 1999

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Samenvatting.....	4
1. Inleiding	8
2. Theorie	12
2.1 Geluid	12
2.2 Geluidoverdracht in de buitenlucht	13
3. Project.....	20
3.1 Stijgtijdmetingen	21
3.2 Metingen in de industrie.....	45
4. Conclusies	54
5. Literatuur	56
Bijlage 1	58
Bijlage 2	60
Bijlage 3	64
Bijlage 4	66
Bijlage 5	84
Bijlage 6	86
Bijlage 7	88
Bijlage 8	90

1. Inleiding

In opdracht van de ministerie van VROM is een onderzoek uitgevoerd naar de stijgtijden van een aantal geluidsgebeurtenissen die kenmerken hebben van piekgeluiden. Wanneer een maximaal geluidsniveau 10 dB(A) of meer boven het omringende niveau van de betreffende gebeurtenis uitstijgt (het achtergrondniveau) wordt de gebeurtenis beschouwd als een piekgeluid. Door geluidgebeurtenissen in de industrie kunnen omliggende woningen last ondervinden van het geluid afkomstig uit de industrie. Door TNO-PG is onderzocht welke akoestische kenmerken van een piekgeluid bepalend zijn voor de optredende hinder en slaapverstoring. De bevindingen zijn onder meer gepresenteerd in het rapport “Beoordeling van geluidspieken in de woonomgeving”². Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de stijgtijd van een geluidsgebeurtenis als kenmerkend beschouwd kan worden voor de daardoor optredende verstoring, boven de huidige methodiek van de beoordeling van de absolute waarde van de piekgeluiden in dB(A). Van bepaalde activiteiten wordt met een gekozen sampleperiode en integratietijd de stijgtijd bepaald in termen van dB/s. De hoogst gevonden waarde bepaalt vervolgens de karakteristieke stijgtijd van de betreffende gebeurtenis. Dit is weergegeven in figuur 1. Er wordt in deze figuur steeds vanaf een gekozen punt vooruit gekeken wanneer het niveau 10 dB boven het huidige niveau ligt. Om de stijgtijd van een bepaalde gebeurtenis te bepalen is het dus nodig de maximale stijgtijd te berekenen.



Figuur 1: Bepaling van de stijgtijd van een activiteit.

De mate van schrikken is veel minder afhankelijk van de hoogte van het maximale geluidsniveau (in dB(A)) dat uiteindelijk maximaal wordt bereikt dan van de stijgtijd. Heel hoge geluidspieken van bijvoorbeeld meer dan 100 dB(A) zouden echter gehoorbeschadiging kunnen geven. Voor de dagperiode is bescherming tegen slaapverstoring niet nodig. Ook in de avondperiode en de nachtperiode zal in de meeste gevallen voldoende bescherming worden geboden tegen de negatieve effecten van piekgeluiden. Geadviseerd wordt daarom om het L_p niveau te beperken tot de gegeven richtwaarden in tabel 1.

² “Beoordeling van piekgeluiden in de woonomgeving” Rapport TNO preventie en gezondheid, 011.40438/01.01, ISBN 90-6743-622-4, d.d.oktober 1999

Tabel 1: Richtwaarden L_p ³

Geluidgebeurtenis	Beschermingsperiode		
	Dag (07-19 uur)	Avond (19-23 uur)	Nacht (23-07 uur)
Klasse 1 (stijgtijd ≤ 15 dB/s)	Geen	70 dB	70 dB
Klasse 2 ($15 \text{ dB/s} < \text{stijgtijd} < 50 \text{ dB/s}$)	Geen	65 dB	65 dB
Klasse 3 (stijgtijd $> 50 \text{ dB/s}$)	Geen	60 dB	60 dB

Het onderzoek beschreven in dit verslag bestaat uit twee fasen. In de eerste fase van dit onderzoek wordt de meetmethode onderzocht. Er is er bij een aantal geluidsgebeurtenissen onderzocht wat de stijgtijd is. Deze stijgtijden worden vergeleken met de stijgtijden van gebeurtenissen in het Hill - 2011 rapport. De geluidsgebeurtenissen die in de eerste fase zijn onderzocht zijn: het storten van glas, het afvuren van een kanonskogel, een kraaiende haan, een sloopbal dat tegen een gebouw beweegt en een langsrijdende trein. Deze gebeurtenissen staan allemaal op filmpjes die op youtube te vinden zijn. Het apparaat NA-27⁴ wordt aangesloten op de computer. Vervolgens wordt bij een aantal sampleperiodes, respectievelijk, 5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 120 ms, 130 ms, 200 ms en 500 ms, gemeten wat de stijgtijd is voor deze geluidsgebeurtenissen. Om deze metingen goed uit te voeren, wordt het apparaat zo ingesteld dat bij een bepaalde sampleperiode elke meting wordt opgeslagen. Dit gebeurt door de functie 'auto store type' op 'single' te zetten. Als deze metingen gedaan zijn, worden met behulp van Excel de metingen ingelezen en in een tabel gestopt. Dit is gedaan door een invoegtoepassing aan te maken in Excel. Door deze toepassing is het mogelijk de gegevens van het meetapparaat te importeren in Excel. Daarna is met behulp van een programma dat geschreven is in Excel berekend wat de maximale stijgtijd is. De gegevens die ingevuld dienen te worden zijn het geluidsdruk niveau en de bijbehorende tijd. Vervolgens wordt bekeken hoe bepaalde grootheden invloed uitoefenen op de stijgtijd. Daarbij wordt het programma Audacity gebruikt. Het youtubefilmpje wordt geconverteerd naar een mp3 bestand en vervolgens geïmporteerd naar Audacity. Met het programma Audacity kan de invloed van damping worden toegepast als filter op het gemeten signaal. Door op het knopje 'effecten' en daarna op het knopje 'Equalizer' te drukken kan bij verschillende frequenties de damping in geluid worden ingesteld. Ten slotte kan opnieuw gemeten worden met het apparaat waardoor de invloed van bepaalde grootheden op de stijgtijd bepaald kan worden.

In de tweede fase wordt de meetmethode die is aangeleerd in de eerste fase toegepast in de praktijk. Met het apparaat B&K2250⁵ wordt een aantal geluidsgebeurtenissen opgenomen. De geluidsgebeurtenissen die in deze fase zijn onderzocht zijn: het langsrijden van een vrachtwagen, het sluiten van de portier van een auto, het hameren op metaal en het elektrisch slijpen van ijzer. Deze geluidsgebeurtenissen worden ingelezen en afgespeeld in het programma Audacity. Vervolgens worden deze activiteiten geanalyseerd met de NA-27 bij sampleperiodes van 120 ms en 130 ms. Daarna is de stijgtijd bepaald van deze geluidsgebeurtenissen gebruik makend van het geschreven programma in Excel. Er is daarna bekeken

³ Bron: 0111108 Conceptverslag HILL uitgegeven door DGMR

⁴ In bijlage 2 is dit apparaat nader belicht

⁵ In bijlage 2 is dit apparaat nader belicht

welke akoestische aspecten de stijgtijd beïnvloeden. Zodoende zal in dit verslag antwoord gegeven worden op de volgende doelvragen:

- Hoe beïnvloeden bodemdamping, luchtdamping en demping door geometrische uitbreiding het geluidsniveau van een geluidsgebeurtenis?
- Wat is de stijgtijd van een aantal geluidgebeurtenissen in de industrie?
- Wat is het verband tussen de sampleperiode van de meetopstelling en de stijgtijd.
- Hoe wordt de stijgtijd in het vrije veld beïnvloed door de afstand?
- Hoe beïnvloeden de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur de stijgtijd als functie van de afstand?
- Hoe beïnvloedt een scherm tussen bron en ontvanger de stijgtijd van het geluid?
- Hoe beïnvloedt de bodem de stijgtijd van een geluidsgebeurtenis?
- Wat is de invloed van geluidsisolatie van een wand op de stijgtijd van een geluidsgebeurtenis?

2. Theorie

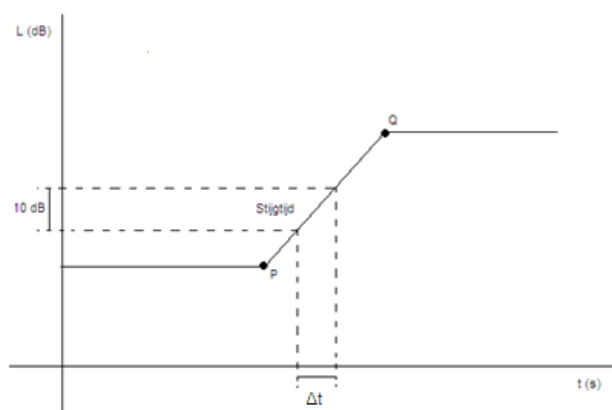
Er zullen enkele grondbeginselen van de akoestiek besproken worden. Deze theorie is essentieel voor een goed begrip van hetgeen in de volgende hoofdstukken wordt besproken.

2.1 Geluid

Geluid is een kleine verandering in de luchtdruk, die zich door de lucht voortplant. Geluid kan door mensen of dieren met een gehoororgaan worden waargenomen wanneer het trommelvlies van het oor in trilling wordt gebracht en het gehoororgaan deze trillingen verwerkt tot signalen die met de hersenen worden geïnterpreteerd. Het mechanische systeem van het opwekken van een trilling en de omzetting van de trillingenergie naar akoestische energie, oftewel een trilling in de lucht, wordt een geluidbron genoemd. Voorbeelden van dergelijke geluidbronnen zijn menselijke stembanden, luidsprekerconus en machineoppervlakken.

Stijgtijd

De stijgtijd is gedefinieerd als de stijgsnelheid in termen van dB/s bij een minimale toename van het geluidsniveau van 10 dB. Een ideale situatie is weergegeven in de schets in figuur 2 waarbij de toename lineair verloopt. Er wordt bij het bepalen van de stijgtijd te allen tijde gekeken naar de stijgtijden in het gebied tussen het moment waarop het geluidsdrukkniveau toeneemt tot de top van de toename; in figuur 2 ligt dit gebied tussen de punten P en Q.



Figuur 2: Het geluidsdrukkniveau als functie van de tijd van een geluidsbron

De stijgtijd kan berekend worden met de volgende formule:

$$t_s = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad [1]$$

waarin:

t_s :	Stijgtijd	[dB/s]
L :	Geluidsdrukkniveau	[dB]
t :	Tijd	[s]

In een minder ideale situatie – de situatie die veel voorkomt in de praktijk – loopt deze toename niet lineair. De stijgtijd zal dan niet voor elk punt in het gebied tussen P en Q gelijk zijn. Wanneer dit het geval is, zal de stijgtijd gedefinieerd zijn als de maximaal gemeten stijgtijd tussen alle gemeten stijgtijden.

2.2 Geluidoverdracht in de buitenlucht⁶

De meest eenvoudige situatie in het vrije veld is degene waarbij de te meten geluidsbron zich in de openlucht bevindt met geïdealiseerde vrije veld condities. Dit houdt in dat er geen reflecties van het geluid optreden en geen luchtabsorptie. Onder deze omstandigheden heeft een puntbron een volledig bolvormige geluidsuitbreiding. Er geldt:

$$L_w = L_p + D_{geo} \quad [2]$$

waarin:

L_w :	Bronvermogen	[dB]
L_p :	Gemeten geluidsniveau op afstand r	[dB]
D_{geo} :	Afname geluidsniveau door geometrische uitbreiding $\{=10 \log(4\pi r^2)\}$	[dB]

Wanneer met behulp van bovenstaande formule de sterkte van een geluidsbron berekend wordt uit een meting, is de afstand de enige factor die in rekening wordt gebracht.

In het algemeen zijn er echter veel meer factoren die een rol spelen:

- moleculaire absorptie;
- windgradiënt;
- temperatuurgradiënt;
- bodemreflectie;
- beplantingen;
- afscherming;
- reflecties in gebouwen.

Deze invloeden worden bij elkaar opgeteld en beschreven in de volgende formule:

$$L_{WR} = L_i + D_{geo} + D_{lucht} + D_{bodem} + D_{scherm} + D_{refl} + D_{veg} + D_{huis} + D_{terrein} \quad [3]$$

waarin:

L_{WR} :	het bronvermogen	[dB/dB(A)]
L_i :	het ontvangen (gemeten) geluidsniveau	[dB/dB(A)]
D_{geo} :	afname van het geluidsniveau door geometrische uitbreiding $(= 10 \log 4\pi r^2)$	[dB]
D_{lucht} :	afname van het geluidsniveau door absorptie in lucht	[dB]

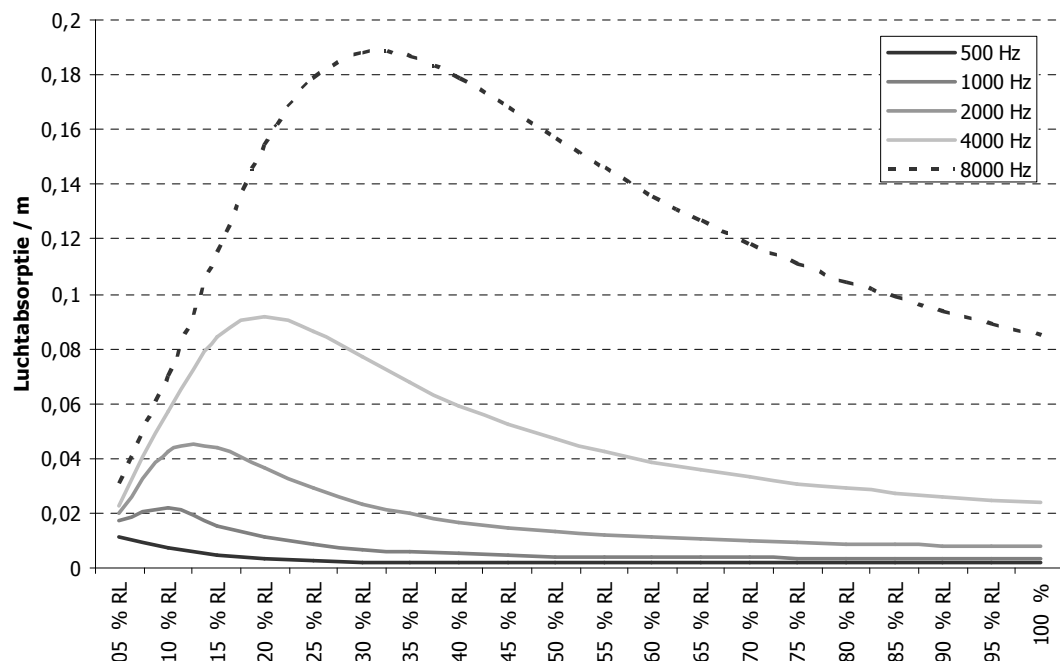
⁶ Bron: 'Dictaat Akoestiek' W.2003.1370.00.001 door DGMR; 'Dictaat Akoestiek' door Peutz

D_{bodem} :	afname ten gevolge van reflectie tegen, verstrooiing door en absorptie van de bodem	[dB]
D_{scherm} :	afname ten gevolge van afscherming door akoestisch goed isolerende obstakels (dijken, wallen, gebouwen)	[dB]
D_{refl} :	afname door reflecties tegen obstakels	[dB]
D_{veg} :	afname door verstrooiing aan en absorptie door vegetaties	[dB]
D_{huis} :	afname door reflecties, afscherming en verstrooiing door bebouwing in de buurt van de ontvanger	[dB]
$D_{terrein}$:	afname door verstrooiing, afscherming en absorptie door installaties voor zover deze niet in de overige termen is begrepen	[dB]

Bij de bepaling van de overdracht wordt uitgegaan van meewind-condities, welke redelijk reproduceerbaar zijn bij metingen.

Atmosferische invloeden

De eerste drie factoren kunnen worden samengevat als “atmosferische invloeden” op de geluidsoverdracht. De moleculaire absorptie ontstaat doordat bij de golfvoortplanting de beweging van de luchtdeeltjes niet geheel verliesvrij is. Deze verliezen zijn sterk afhankelijk van de temperatuur en de relatieve vochtigheid. In figuur 3 is de luchtabsorptie als functie van de luchtvochtigheid weergegeven.



Figuur 3: De moleculaire luchtabsorptie in lucht bij een temperatuur van 10°C voor verschillende frequenties

Luchtdemping wordt bepaald uit:

$$D_{lucht} = a_{lu}(f) \cdot r_i \quad [4]$$

waarin:

D_{lucht} :	Luchtdemping	[dB]
a_{lu} :	LuchtabSORPTIECOëfficiënt	[dB/m]
r_i :	Afstand tussen broncentrum en immissiepunt	[m]

Bodemdemping

De bodem tussen bron en ontvanger wordt in drie gebieden verdeeld:

- brongebied: gebied dat vanaf de bron in de richting van de bron-ontvanger een lengte heeft van r_b :

$$r_b = 30 \cdot h_b \text{ als } r \geq 30 \cdot h_b$$
$$r_b = r \text{ als } r < 30 \cdot h_b$$

waarin:

h_b :	Hoogte bron	[m]
r :	Afstand bron-ontvanger	[m]

- ontvangergebied : gebied dat vanaf de ontvanger in de richting van de bron een lengte heeft van r_o :

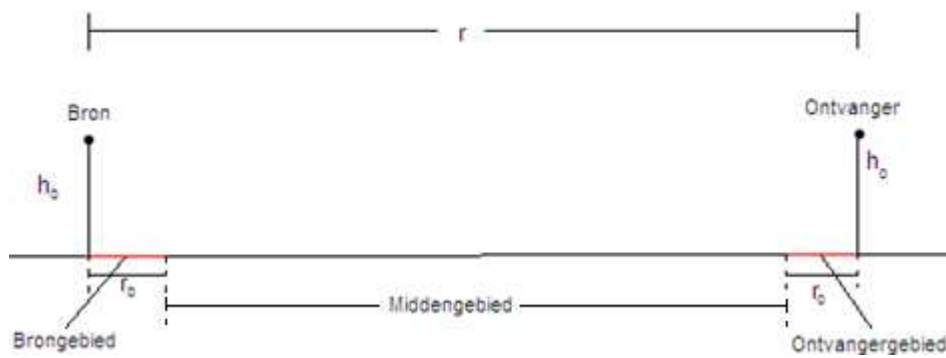
$$r_o = 30 \cdot h_o \text{ als } r \geq 30 \cdot h_o$$
$$r_o = r \text{ als } r < 30 \cdot h_o$$

waarin:

h_o :	Hoogte ontvanger	[m]
r :	Afstand bron-ontvanger	[m]

- middengebied: dit is het gebied tussen bron- en ontvangergebied. Overlappen bron- en ontvangergebied elkaar, dan wordt geen middengebied verondersteld.

In figuur 4 zijn deze gebieden in een schets weergegeven.



Figuur 4: Schets van brongebied, ontvangergebied en middengebied in een bepaalde situatie

In de akoestiek worden twee bodemtypen onderscheiden: harde bodem en zachte bodem. Een akoestisch harde bodem geeft weinig demping van het geluid (veel reflectie). Voorbeelden van akoestisch harde ondergrond zijn klinkers, asfalt en water. Zachte bodemgebieden veroorzaken veel demping. Voorbeelden hiervan zijn aarde en gras.

D_{bodem} wordt per octaafband bepaald met behulp van de formule:

$$D_{bodem} = D_{b,bron} + D_{b,ontv} + D_{b,mid} \quad [5]$$

waarin:

$D_{b,bron}$: Bodemdemping in het brongebied [dB]

$D_{b,ontv}$: Bodemdemping in het ontvangergebied [dB]

$D_{b,mid}$: Bodemdemping in het middengebied [dB]

De bodemdemping in de bron- en ontvangergebieden, respectievelijk $D_{b,bron}$ en $D_{b,ontv}$, worden berekend uit de afstand bron-ontvanger r , de bodemfactor B_b van het brongebied en de bronhoogte h . In onderstaande tabel zijn de reductiefactoren voor harde en zachte bodem per octaafband weergegeven.

Tabel 2: Bodemdemping in dB voor harde en zachte bodem

Octaafband- middenfreq.	Bodemdemping [dB]			
	Bron- en ontvangergebied		Middengebied	
	hard	zacht	hard	zacht
in Hz				
31.5	-3	-3	$-3 * m$	$-3 * m$
63	-3	-3	$-3 * m$	$-3 * m$
125	-1	$a(h)$	$-3 * m$	0
250	-1	$b(h)$	$-3 * m$	0
500	-1	$c(h)$	$-3 * m$	0
1000	-1	$d(h)$	$-3 * m$	0
2000	-1	0	$-3 * m$	0
4000	-1	0	$-3 * m$	0
8000	-1	0	$-3 * m$	0

Voor de functies $a(h)$, $b(h)$, $c(h)$ en $d(h)$ gelden de volgende voorschriften:

$$a(h) = 3,0 \cdot e^{-0,12 \cdot (h-5)^2} \cdot \left(1 - e^{\frac{-r}{50}}\right) + 5,7 \cdot e^{-0,09 \cdot h^2} \cdot \left(1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} \cdot r^2}\right) \quad [6]$$

$$b(h) = 8,6 \cdot e^{-0,09 \cdot h^2} \cdot \left(1 - e^{\frac{-r}{50}}\right) \quad [7]$$

$$c(h) = 14,0 \cdot e^{-0,46 \cdot h^2} \cdot \left(1 - e^{\frac{-r}{50}}\right) \quad [8]$$

$$d(h) = 5,0 \cdot e^{-0,90 \cdot h^2} \cdot \left(1 - e^{\frac{-r}{50}}\right) \quad [9]$$

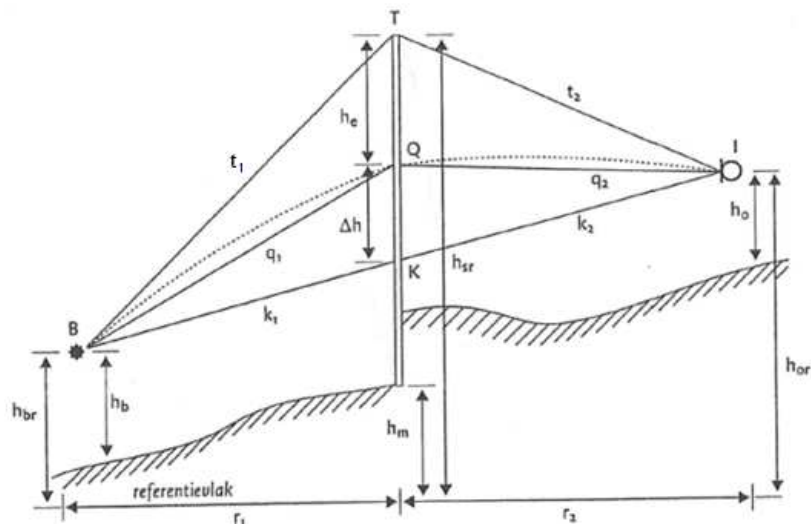
De verzwakking ten gevolge van het middengebied wordt bepaald uit de bodemfactor van het middengebied B_m en de factor m . Voor de factor m geldt:

$$m = 0 \text{ als } r \leq 30 \cdot (h_b + h_0)$$

$$m = 1 - 30 \cdot \frac{(h_b + h_0)}{r} \text{ als } r > 30 \cdot (h_b + h_0)$$

Afscherming

Schermen die zich tussen bron en ontvanger bevinden oefenen invloed uit op de stijgtijd. Het geluid zal zich bewegen rondom het scherm en zal hierom een omweg maken. Een situatie dat zich voor kan doen is geschetst in figuur 5. Er is sprake van een scherm dat loodrecht op de bron-immissielijn BI wordt geplaatst.



Figuur 5: Toelichting op de geometrische parameters bij de berekening van D_{scherm} (Zijaanzicht)

De symbolen in deze plaatjes betekenen als volgt:

- K: snijpunt van de lijn BI met het scherm
- T: top van het scherm in vlak V (snijpunt V met lijn LR)
- Q: snijpunt van het schermvlak met een gekromde geluidsstraal, die de geluidsoverdracht beschrijft als het scherm er niet zou zijn.

Het punt Q ligt te allen tijde boven punt K en wel op afstand Δh , die volgens de onderstaand formule wordt berekend uit de horizontale afstand bron-scherf r_1 en de horizontale afstand immissiepunt-scherf r_2 :

$$\Delta h = \frac{r_1 r_2}{16(r_1 + r_2)} \quad [10]$$

waarin:

Δh :	Afstand tussen Q en T	[m]
r_1 :	Afstand tussen B en het scherm	[m]
r_2 :	Afstand tussen het scherm en I	[m]

De verticale omweg ε_v is te bepalen door de volgende formule.

$$\varepsilon_v = t_1 + t_2 - q_1 - q_2 \quad [11]$$

waarin:

ε_v :	Verticale omweg	[m]
t_1 :	Afstand tussen B en T	[m]
t_2 :	Afstand tussen T en I	[m]
q_1 :	Afstand tussen B en Q	[m]
q_2 :	Afstand tussen Q en I	[m]

Vervolgens kan het Fresnelgetal N voor elk van de omwegen bepaald worden met de volgende formule:

$$N = 0,0059 \cdot \varepsilon \cdot f \quad [12]$$

waarin:

N :	Fresnelgetal	[Hz·m]
ε :	Omweg	[m]
f :	Frequentie	[Hz]

De afscherming wordt voor iedere octaafband middenfrequentie berekend volgens de formule hieronder:

$$D_{scherm} = 10 H_f \log(20N + 3) \quad [13]$$

waarin:

D_{scherm} :	Geluidsdemping door het scherm	[dB]
H_f :	Correctiefactor	[-]

Voor de correctiefactor geldt:

$$\begin{array}{ll} H_f = \frac{(h_{sr}-h_m)f}{250} & \text{als} \quad H_f = \frac{(h_{sr}-h_m)f}{250} < 1 \\ H_f = 1 & \text{als} \quad H_f = \frac{(h_{sr}-h_m)f}{250} \geq 1 \end{array}$$

Er wordt bij de berekeningen met het scherm aangenomen dat $(h_{sr} - h_m)f > 250$ waardoor de correctiefactor $H_f = 1$.

De formule waarmee de schermdeemping berekend wordt is:

$$D_{scherm} = 10 \log(20N + 3) \quad [14]$$

3. Project

In opdracht van de ministerie van VROM is een onderzoek uitgevoerd naar de stijgtijden van een aantal geluidsgebeurtenissen die kenmerken hebben van piekgeluiden. Uit een onderzoek, verricht door TNO-PG, is gebleken dat de stijgtijd van een geluidsgebeurtenis als kenmerkend beschouwd kan worden voor de daardoor optredende verstoring, boven de huidige methodiek van de beoordeling van de absolute waarde van de piekgeluiden in dB(A). In het Hill rapport - 2011 is de stijgtijd van een aantal geluidsgebeurtenissen belicht (zie bijlage 5). Het Hill rapport concludeert dat bij het bepalen van de stijgtijd van activiteiten geen rekening gehouden hoeft te worden met de omgevingsfactoren zoals moleculaire absorptie, temperatuur, bodemdemping e.a. In dit verslag wordt gecontroleerd in welke mate de omgeving invloed uitoefent op de stijgtijd.

Er wordt inzicht verkregen in het geluidsniveau en de stijgtijd van een aantal piekgeluidveroorzakende gebeurtenissen bij industriële activiteiten die relevant zijn in procedures bij vergunningverlening. Teneinde de analyse te kunnen doorvoeren, zijn de voor de te onderzoeken grootheden van belang zijnde analyseparameters nader beschouwd. Hieruit is een keuze gemaakt voor wat betreft met name de integratietijd en de sampleperiode waarmee het signaal wordt bemonsterd. Het meten en analyseren van piekgeluiden teneinde de stijgtijd te verkrijgen vergt een mate van inzicht in de instrumentatie, analysetechnieken en kennis van de grondbegrippen. Met name de keuze voor integratietijd is van wezenlijk belang. Een korte integratietijd (en een hoge samplefrequentie) leiden tot hogere stijgtijden, welke geen relatie meer hebben met de nu gekozen classificatie. De keuze voor een lange integratietijd (en een lage samplefrequentie) zullen ertoe leiden dat veel pieken niet meer voldoen aan het '10 dB criterium' terwijl deze wel als zodanig 'herkenbaar' zijn. Een te snelle samplefrequentie zal al gauw leiden tot het 'herkennen' van ieder piekje binnen een op zich geen piekgeluid kritische gebeurtenis, en te langzame samplefrequentie en te lange integratietijd tot het onderschatten van de stijgtijd van aanwezige piekgeluiden. Het M+P rapport zegt dat na een aantal analyseonderzoeken blijkt dat voor de onderzochte geluidsgebeurtenissen een keuze voor een integratietijd van 125 ms en een sampleperiode van 125 ms een evenwichtige keuze is voor een classificatie welke past binnen de gestelde criteria. De classificatie is tot stand gekomen op basis van de volgende stijgtijdsindeling⁷:

1. <15 dB/s
2. ≥15 dB/s ≤50 dB/s
3. >50 dB/s

Het is interessant geluidsgebeurtenissen met stijgtijden in klasse 2 te onderzoeken, omdat beide stijgtijdgrenzen opgezocht kunnen worden. Er kan bepaald worden of invloeden van de omgeving op de stijgtijd ervoor kunnen zorgen dat er een verandering in klasse plaats kan vinden.

De opzet van het onderzoek in dit verslag is als volgt: allereerst wordt de meetmethode onderzocht op betrouwbaarheid. Als geluidsbron wordt genomen: het storten van glas in een glasbak. Het Hill rapport laat zien dat deze geluidsbron in klasse 2 zit. De stijgtijd wordt als functie van de sampleperiode genomen en er wordt aan de hand van de verkregen resultaten bepaald of de gekozen meetmethode betrouwbaar is. De stijgtijden worden berekend met een zelfgeschreven programma in Excel. Vervolgens wordt de invloed van

⁷ "Inventarisatie stijgsnelheden piek 2002" Rapport M+P

de omgeving op de stijgtijd bepaald. De omgeving bestaat in dit verslag de afstand, afscherming, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, bodem en geluidsisolatie van de wand. In een volgende fase wordt, met behulp van de gekozen meetmethode, een aantal stijgtijden die in het Hill rapport genoemd worden gecontroleerd, namelijk: een langsrijdende vrachtwagen, het elektrisch slijpen van ijzer, het hameren op metaal en het sluiten van een portier van een auto. Ten slotte wordt er geconcludeerd of de gemeten stijgtijden van de activiteiten rijmen met de resultaten in het Hill - 2011 rapport. De geluidsopnamen in de industrie worden gedaan met het apparaat B&K 2250.

3.1 Stijgtijdmetingen

De metingen ten einde de stijgtijd van geluidsgebeurtenissen te bepalen worden met het apparaat NA-27 gedaan. Dit is een geluidsniveaumeter van het merk RION. Het apparaat kan maximaal 1500 samples nemen. Het bereik in geluidniveau van het apparaat kan handmatig ingesteld worden. Dit apparaat wordt aangesloten op de computer. Door deze aansluiting kan er een signaal (een filmpje waarop het storten van glas hoorbaar is) vanuit de computer direct gedetecteerd worden door de NA-27. Het geluid afkomstig van het storten van glas⁸ wordt beschouwd⁹. Allereerst wordt bepaald wat het geluidsniveau als functie van de afstand hiervan is. Vervolgens wordt bepaald wat de stijgtijd als functie van de sampleperiode is. Bij deze meting zijn de volgende sampleperiodes gebruikt: 5ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 120 ms, 130 ms, 200 ms en 500 ms. De integratietijd is constant gehouden op 125 ms. De stijgtijd van de gebeurtenissen worden met behulp van zowel een geschreven programma in Excel¹⁰ als formule 1 berekend. Ten slotte zal de invloed op de stijgtijd bepaald worden.

Het meten van het geluidsniveau bij verschillende afstanden

Om te bepalen wat het geluidsniveau is van het storten van glas in een glasbak op een bepaalde afstand, worden de luchtabsorptie, bodemdemping en de afname van het geluidsniveau door geometrische uitbreiding berekend. Voor de luchtdemping wordt formule 4 gebruikt. Bij een middenfrequentie octaafband¹¹ van 125 Hz boven een harde bodem geldt bij een afstand van 5 meter:

$$D_{lucht} = \alpha_{lu} \cdot r_i = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 5 = (1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ dB}$$

en bij een afstand van 400 meter:

$$D_{lucht} = \alpha_{lu} \cdot r_i = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 400 = (10 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ dB}$$

Voor de demping door geometrische uitbreiding geldt bij een afstand van 5 meter:

$$D_{geo} = 10 \log 4\pi r^2 = 10 \log 4\pi 5^2 = (25 \pm 1) \text{ dB}$$

en bij een afstand van 400 meter:

$$D_{geo} = 10 \log 4\pi r^2 = 10 \log 4\pi 400^2 = (63 \pm 0) \text{ dB}$$

⁸ De link naar dit filmpje is te zien in de literatuurlijst

⁹ Andere geluidsgebeurtenissen zijn te zien in bijlage 4

¹⁰ In bijlage 1 is een omschrijving van de werking van het programma weergegeven

¹¹ Zie bijlage 6

De bodemdemping wordt met behulp van formules 5, 6, 7, 8 en 9 berekend. De bodemdemping (hard en zacht) bij bepaalde middenfrequentie octaafbanden is te zien in tabel 2. De hoogte van de bron is 1 meter en de hoogte van de ontvanger is 1,5 meter. Het bronvermogen van het storten van glas is $123,7 \text{ dB}^{12}$. De verzwakking ten gevolge van het middengebied wordt bepaald uit de bodemfactor van het middengebied B_m en de factor m . Voor de factor m geldt:

$$m = 0 \text{ als } r \leq 30 \cdot (h_b + h_o)$$

$$m = 1 - 30 \cdot \frac{(h_b + h_o)}{r} \text{ als } r > 30 \cdot (h_b + h_o)$$

Bij een afstand van 5 meter tussen bron en ontvanger geldt:

$$r \leq 30 \cdot (h_b + h_o) \rightarrow 5 \leq 30 \cdot (5 + 1,5) \rightarrow 5 \leq 195. \text{ Dus } m = 0;$$

Voor de bodemdemping geldt dan:

$$D_{bodem} = D_{b,bron} + D_{b,ontv} + D_{b,mid} = 1 + 1 + (3 \cdot 0) = (2 \pm 0) \text{ dB}$$

Bij een afstand van 400 meter geldt:

$$r > 30 \cdot (h_b + h_o) \rightarrow 400 > 30 \cdot (5 + 1,5) \rightarrow 400 > 195.$$

$$\text{Dus } m = 1 - 30 \cdot \frac{(h_b + h_o)}{r} = 1 - 30 \cdot \frac{(5 + 1,5)}{400} = (50 \pm 7,5) \cdot 10^{-2}$$

Voor de bodemdemping geldt dan:

$$D_{bodem} = D_{b,bron} + D_{b,ontv} + D_{b,mid} = 1 + 1 + (3 \cdot 0,5) = (35 \pm 1) \cdot 10^{-1} \text{ dB}$$

Op een afstand van 5 meter zal het geluidsniveau bij een middenfrequentie octaafband van 125 Hz met behulp van formule 20 als volgt berekend kunnen worden:

$$L_p = L_{WR} - D_{geo} - D_{lucht} - D_{bodem} = 123,7 - 25 - 1,3 \cdot 10^{-3} - 2 = (96,7 \pm 1,1) \text{ dB}$$

Op een afstand van 400 meter is het geluidsniveau:

$$L_p = L_{WR} - D_{geo} - D_{lucht} - D_{bodem} = 123,7 - 63 - 0,1 - 3,5 = (57,0 \pm 0,2) \text{ dB}$$

Deze berekening is gedaan bij meerdere afstanden. Op die manier kan worden bepaald wat het geluidsniveau als functie van de afstand is bij een middenfrequentie octaafband van 125 Hz. De resultaten van zijn weergegeven in tabel 3.

¹² Bron: 'Bronvermogens diverse adviseurs' door DGMR te zien in bijlage 3

Tabel 3: Geluidsniveaus bij verschillende afstanden bij een middenfrequentie octaafband van 125 Hz

Afstand (m)	Geluidsniveau (dB)	± (dB)
5	96,7	1,1
10	90,7	0,6
50	76,7	0,2
100	70,7	0,1
150	67,2	0,1
200	64,6	0,2
250	62,0	0,2
300	60,0	0,2
350	58,4	0,2
400	57,0	0,2
450	55,8	0,2
500	54,8	0,1

Deze meting is vervolgens ook gedaan bij verschillende middenfrequentie octaafbanden, respectievelijk 31 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz en 8000 Hz.

Tabel 4: Het geluidsniveau bij verschillende afstanden bij een harde bodem

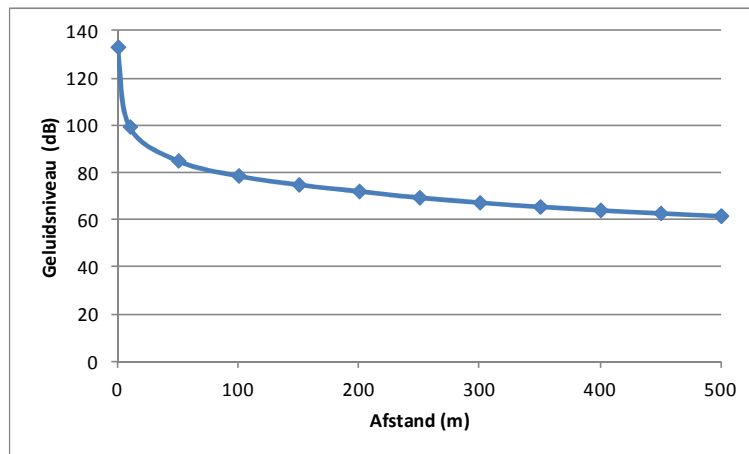
Afstand (m)	Geluidsniveau (dB)										± (dB)
	31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Totaal	
5	92,7	92,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,6	96,4	105,6	1,1
10	86,7	86,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,5	90,0	99,5	0,6
50	72,7	72,7	76,7	76,7	76,7	76,6	76,4	75,8	73,4	85,1	0,2
100	66,7	66,7	70,7	70,6	70,6	70,4	70,1	68,8	64,0	78,8	0,1
150	63,2	63,2	67,2	67,1	67,0	66,8	66,3	64,3	57,1	75,0	0,1
200	60,6	60,6	64,6	64,5	64,3	64,0	63,4	60,8	51,2	72,2	0,2
250	58,1	58,1	62,0	61,9	61,7	61,4	60,5	57,3	45,3	69,5	0,2
300	56,1	56,1	60,0	59,9	59,6	59,3	58,3	54,4	40,0	67,4	0,2
350	54,5	54,5	58,4	58,2	57,9	57,5	56,3	51,9	35,1	65,7	0,2
400	53,1	53,1	57,0	56,8	56,5	56,0	54,7	49,5	30,3	64,2	0,2
450	51,9	51,9	55,8	55,6	55,2	54,6	53,2	47,4	25,8	62,9	0,1
500	50,9	50,9	54,8	54,5	54,1	53,5	51,8	45,4	21,4	61,7	0,1

In de tabel in bijlage 3 is te zien dat bij de omschrijving 'leggen glascontainer' de waarde van het bronvermogen $L_{WR} = 123,7$ dB(A). Om het totale geluidsniveau te berekenen worden per afstand de geluidsniveaus van de octaafbanden logaritisch bij elkaar opgeteld. Bij 5 meter is deze berekening als volgt:

$$L_{tot} = 10 \cdot \log(10^{9,27} + 10^{9,27} + 10^{9,67} + 10^{9,67} + 10^{9,67} + 10^{9,67} + 10^{9,67} + 10^{9,66} + 10^{9,64})$$

$$L_{tot} = 105,6 \text{ dB}$$

Vervolgens is het totale geluidsniveau als functie van de afstand geplot in de figuur hieronder.

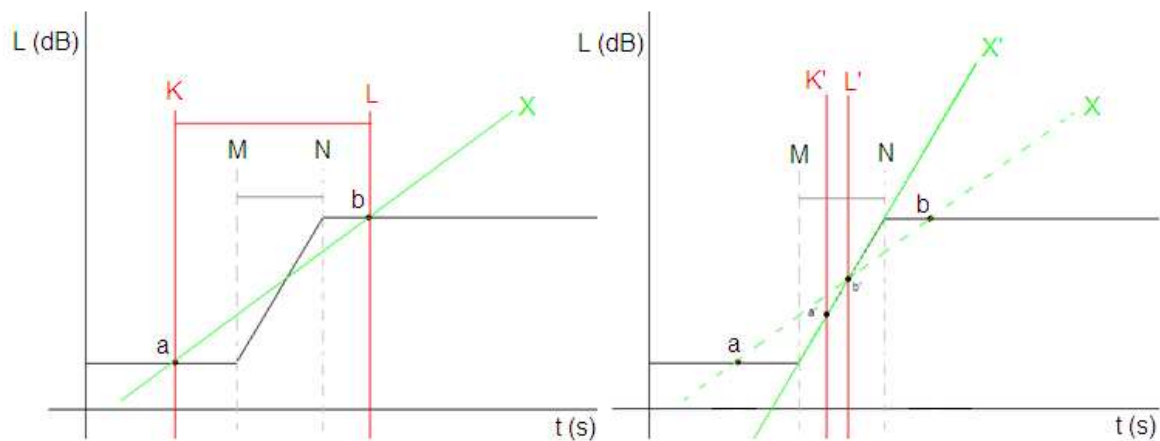


Figuur 6: Het geluidsniveau als functie van de afstand bij het storten van glas

Tabel 1: Richtwaarden L_p laat zien dat als deze geluidsgebeurtenis in klasse 1 hoort dat zowel in de avond als in de nacht minimaal een afstand van ca. 250 meter tussen de bron en ontvanger moet zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen. Als deze gebeurtenis in klasse 2 zit dan geldt voor deze afstand een waarde van ca. 350 meter. Bij klasse 3 is deze afstand ongeveer 500 meter.

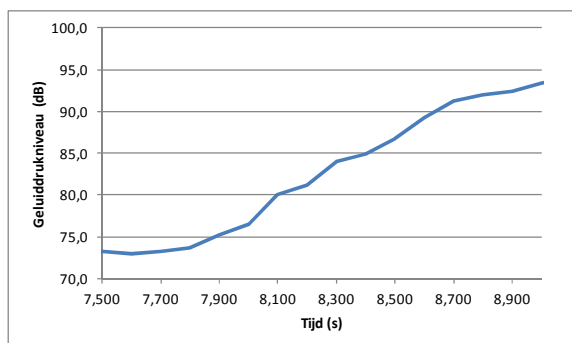
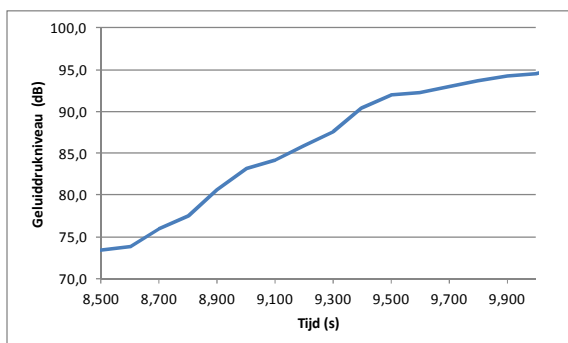
Het berekenen van de stijgtijd

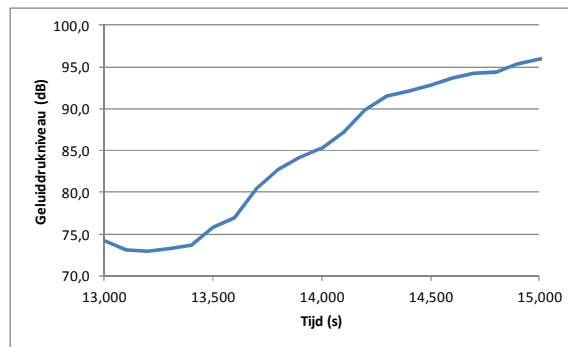
Van bepaalde activiteiten wordt met een gekozen sampleperiode en integratietijd de stijgtijd bepaald in termen van dB/s. De hoogst gevonden waarde bepaalt vervolgens de karakteristieke stijgtijd van de betreffende gebeurtenis. Wanneer met een te grote sampleperiode wordt gemeten, is de onnauwkeurigheid van de berekende stijgtijd groot. In Figuur 77a wordt dit door middel van een schets uitgelegd. Als de sampleperiode (K-L) groter is dan de stijgperiode (M-N) dan is de berekende stijgtijd onnauwkeurig. Stel dat de sampleperiode bij een meting gelijk is aan 100 ms en dat de stijgperiode tussen punt L en K < 100 ms is dan zal de helling X door de punten a en b niet gelijk zijn aan de stijgtijd; de waarde van lijn X is lager dan de waarde van de stijgtijd. De waarde van de stijgtijd is dan, als dezelfde meting drie keer herhaald wordt, elke keer afhankelijk van het beginpunt (punt a) van de sampleperiode.



Figuur 7a en b: Schets van de onnauwkeurige en nauwkeurige bepaling van de stijgtijd

Dit principe wordt bewezen met een aantal metingen. De meting aan een bepaalde activiteit is met een sampleperiode van 100 ms drie keer uitgevoerd. In de figuren hieronder is voor alle metingen de geluidsdruk niveau als functie van de tijd geplott in een grafiek. In de figuren is ingezoomd op de stijgperiode.





Figuur 8: Geluiddrukkniveau als functie van de tijd bij een sampleperiode van 100 ms

De waarde van de stijgtijd is niet gelijk bij alle figuren, ondanks dat de stijgtijden bij deze figuren allen dezelfde bron hebben. In Tabel 5 zijn de stijgtijden bij de drie metingen weergegeven.

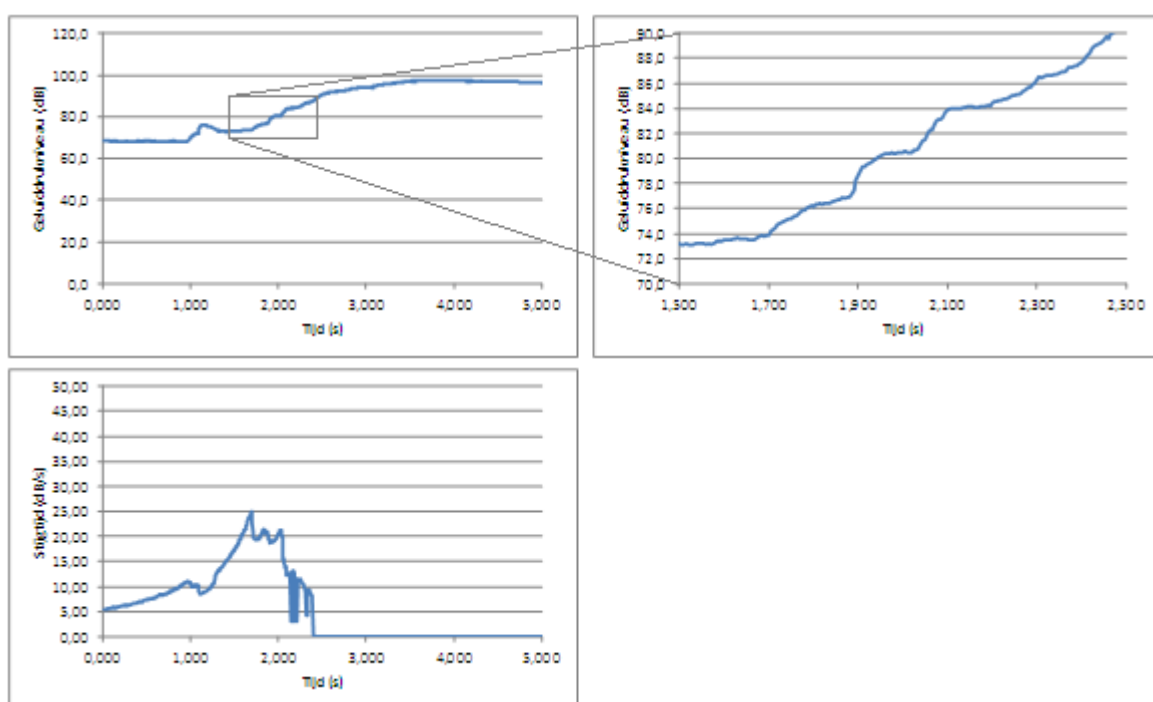
Tabel 5: Stijgtijden bij een sampleperiode van 0,100 s

	Sampleperiode (s)	(Stijgtijd $\pm 0,2$) (dB/s)
Meting 1	0,100	20,8
Meting 2	0,100	20,6
Meting 3	0,100	21,0

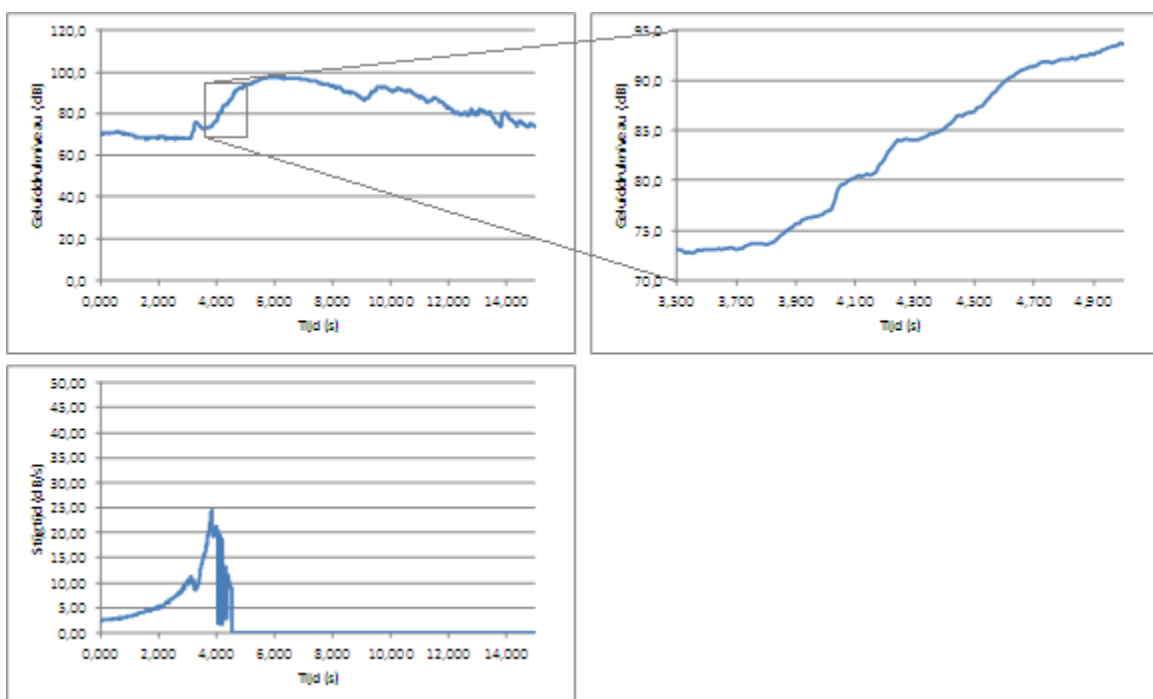
Een nauwkeurige waarde voor de stijgtijd is te verkrijgen door een zo klein mogelijke waarde van de sampleperiode in te stellen, zoals te zien is in figuur 7b. De helling X' die loopt door de punten a' en b' is nu gelijk aan de stijgtijd.

Het storten van glas in een glasbak

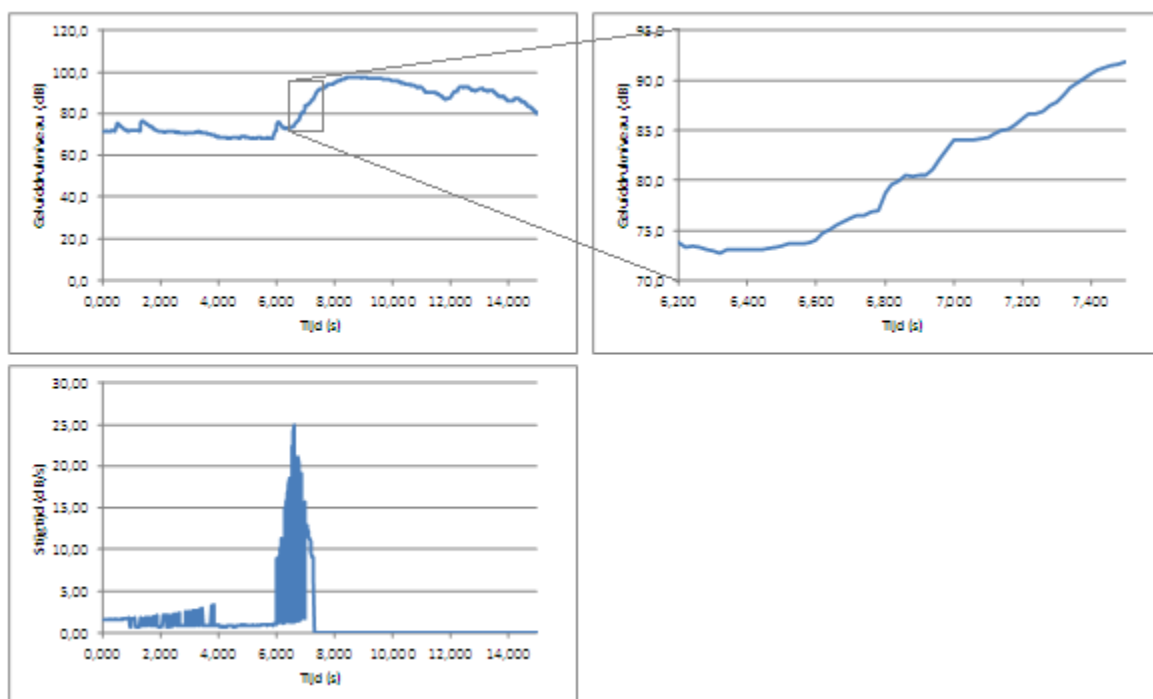
De stijgtijd van het geluid afkomstig van het storten van glas in een glasbak is bij een aantal sampleperiodes (5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 120 ms, 130 ms, 200 ms, 500 ms) bepaald. Het geluiddrukkniveau is bij alle samplefrequenties als functie van de tijd weergegeven in de volgende figuren. Onder de figuren is een grafiek weergegeven waarin de stijgtijd als functie van de tijd is geplot. Er is een 'all pass filter' geselecteerd in het apparaat waarbij alle frequenties gelijk doorgelaten worden. Voor de geluiddrukkniveau L_p is een onnauwkeurigheid van 0,05 dB en voor de tijd t is een onnauwkeurigheid van 0,0005 s genomen.



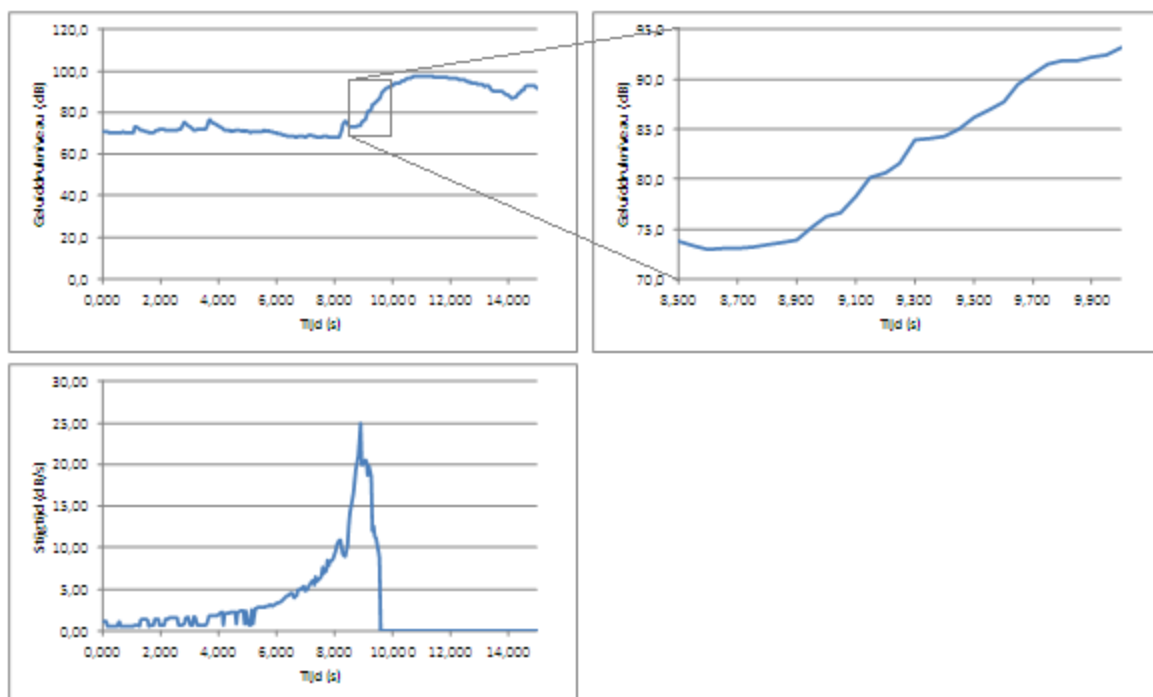
Figuur 9: Geluidrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 5 ms



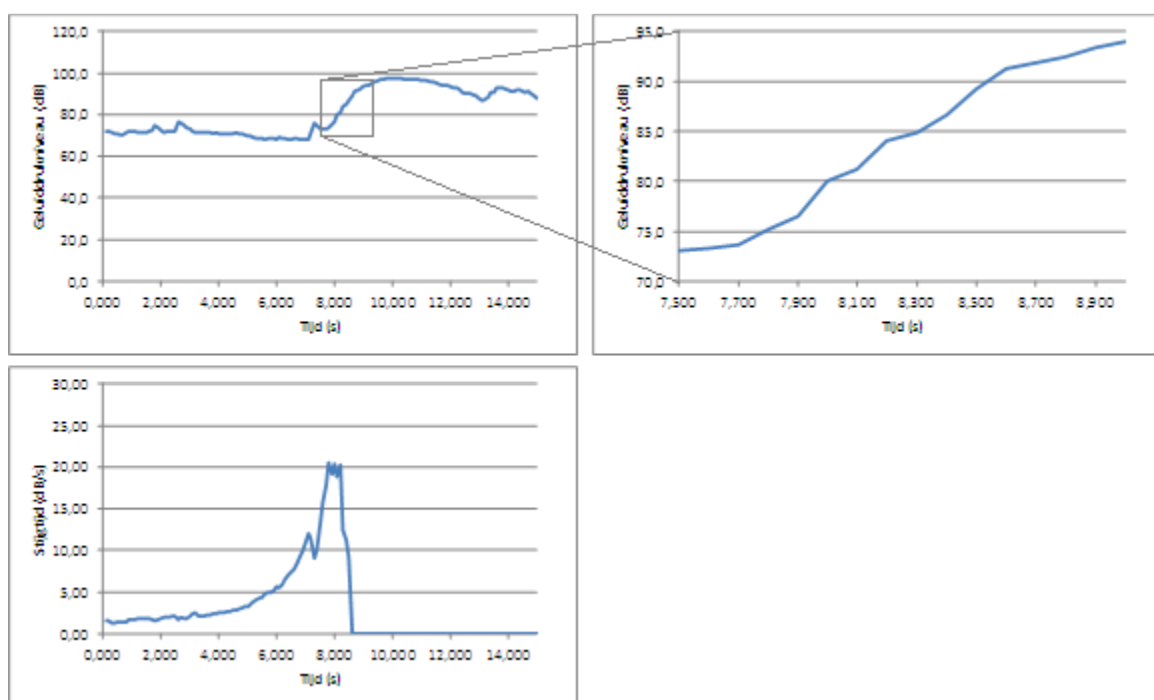
Figuur 10: Geluidrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 10 ms



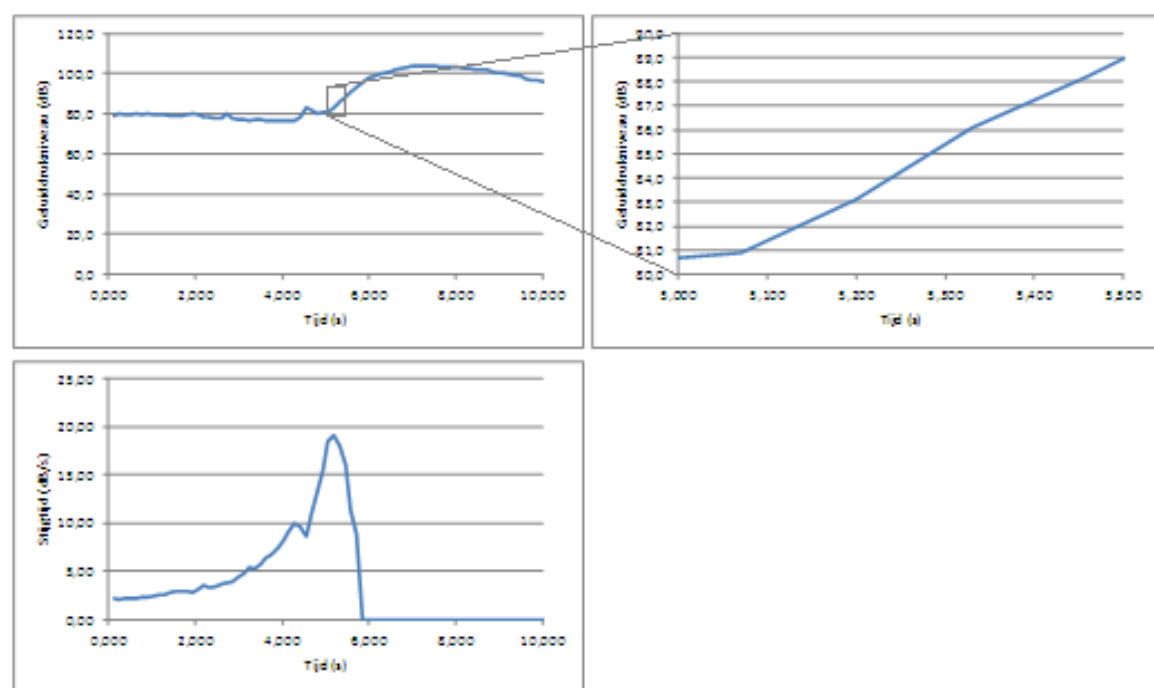
Figuur 11: Geluidrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 20 ms



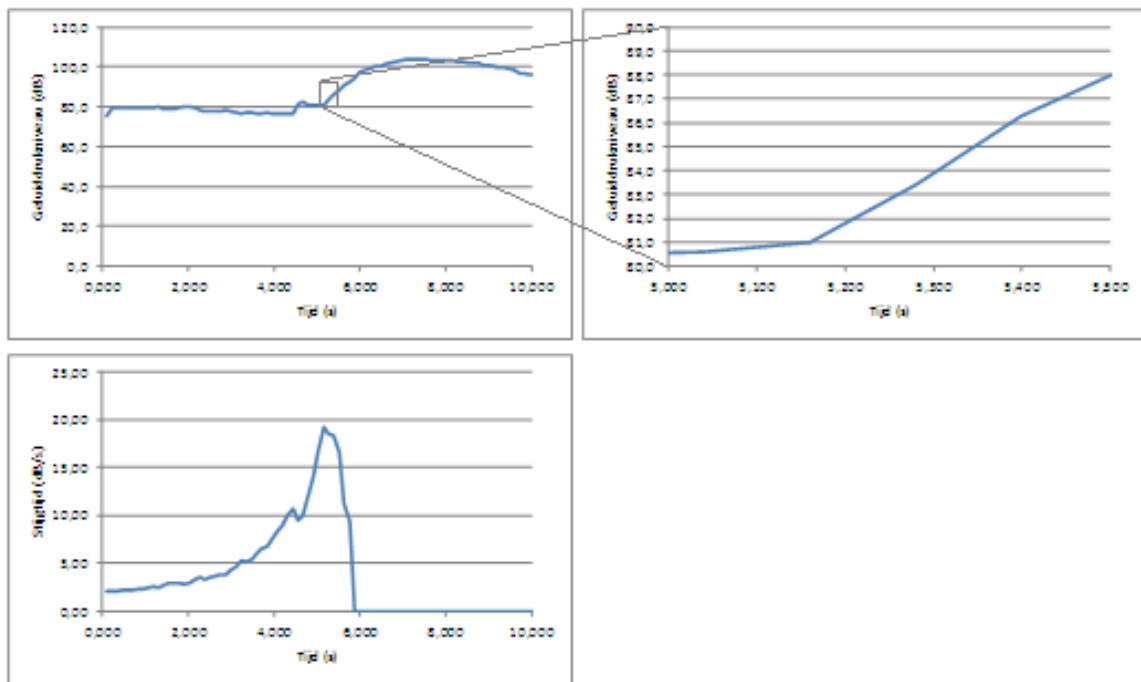
Figuur 12: Geluidrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 50 ms



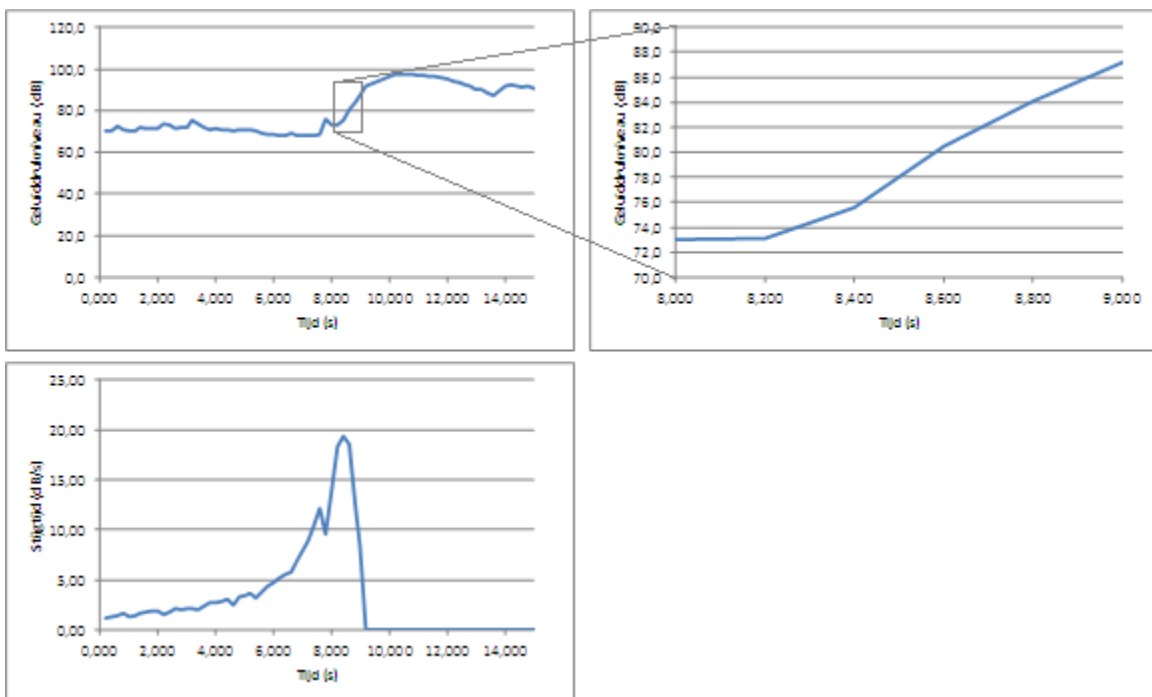
Figuur 13: Geluiddruk-niveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 100 ms



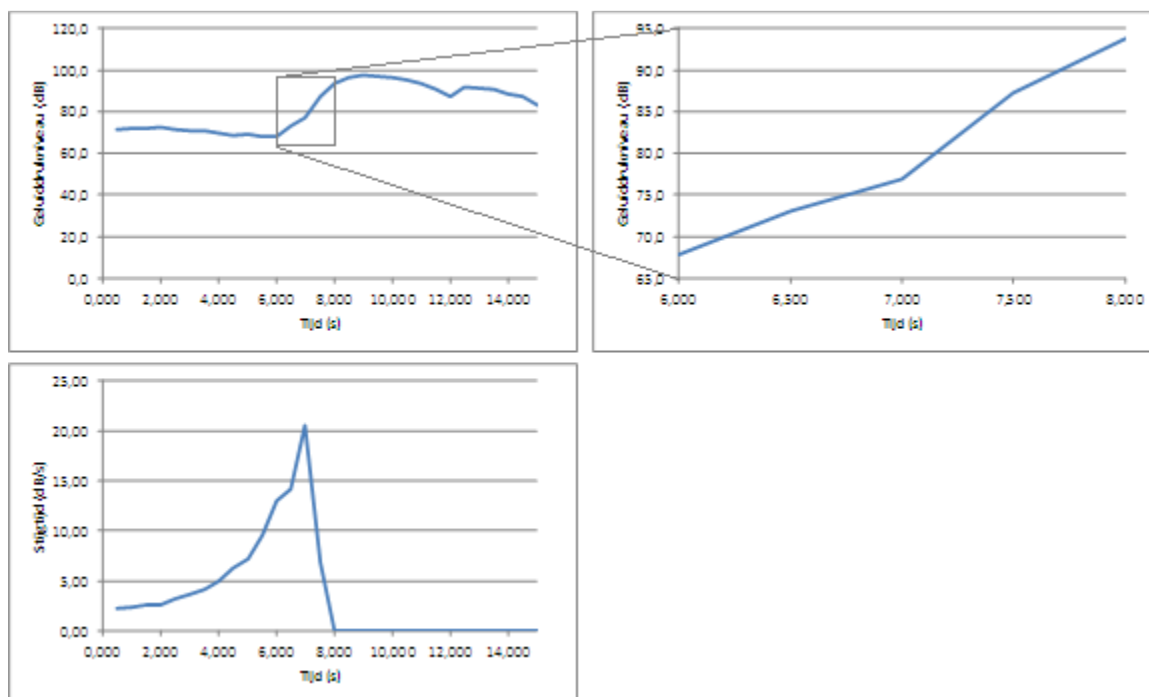
Figuur 14: Geluiddruk-niveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 120 ms



Figuur 15: Geluidrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 130 ms



Figuur 16: Geluidrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 200 ms



Figuur 17: Geluidrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 500 ms

In deze figuren is duidelijk te zien op welk moment het glas in de glasbak wordt gestort. De stijgperiode is steeds vergroot weergegeven op het plaatje naast de originele grafiek (rechtsboven).

Bij een sampleperiode van 5 ms, waarbij het 0,4 seconden duurt om 10,0 dB te stijgen¹³, wordt de maximale stijgtijd volgens formule 1 als volgt berekend:

$$t_s = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{10,0}{0,4} = (25 \pm 0,2) \text{ dB/s}$$

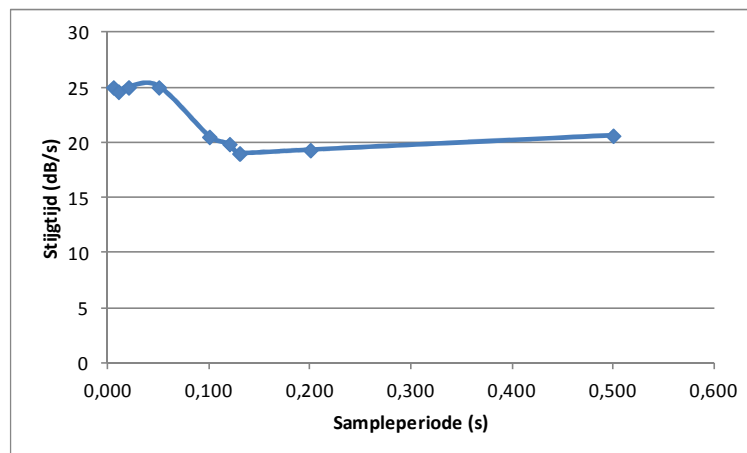
Bij alle sampleperiodes is de stijgtijd berekend van het geluid afkomstig van het storten van glas en de resultaten zijn in een tabel gezet. In Tabel 6 zijn de gegevens te zien.

Tabel 6: De stijgtijden met de bijbehorende sampleperiodes bij het storten van glas

Sampleperiode (s)	(Stijgtijd $\pm 0,2$) dB/s
0,005	25,0
0,010	24,6
0,020	25,0
0,050	25,0
0,100	20,5
0,120	19,8
0,130	19,0
0,200	19,3
0,500	20,6

¹³ Zie figuur 9 voor de numerieke gegevens

In Figuur 18 is het verband tussen de stijgtijd en de sampleperiode uitgezet in een grafiek.



Figuur 18: Stijgtijd als functie van de sampleperiode bij het storten van glas

Er kan geconcludeerd worden dat de stijgtijd als functie van de sampleperiode gemiddeld ongeveer 22 dB is. Door naar de stijgtijd te kijken bij een sampleperiode van 125 ms kan geconcludeerd worden dat de waarde voor de stijgtijd 19,4 dB/s ligt. Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 2.

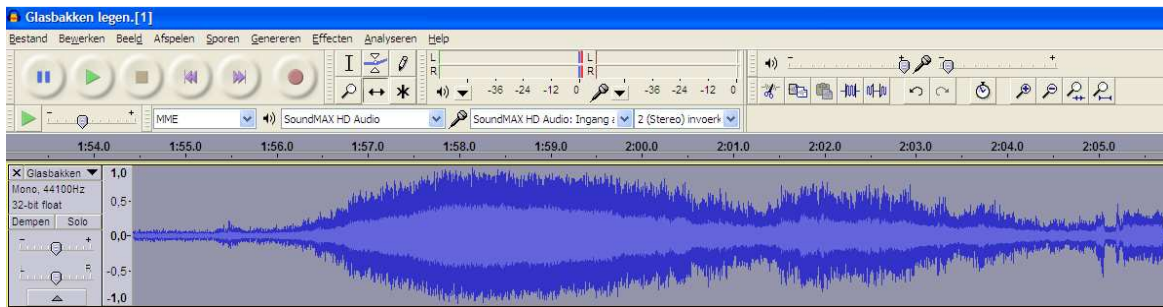
Invloed afstand op de stijgtijd in het vrije veld

Het is interessant te onderzoeken in welke mate afstand invloed uitoefent op de stijgtijd in het vrije veld. In het algemeen zijn er een aantal factoren die een rol spelen in het vrije veld, namelijk: windgradiënt, temperatuurgradiënt, bodemreflectie, de geometrische uitbreiding van geluid en luchtdemping. De stijgtijd is afhankelijk van de frequentie, dus van deze factoren zal onder andere de luchtdemping invloed uitoefenen op de stijgtijd, aangezien deze sterk frequentieafhankelijk is. De bodemreflectie boven een harde bodem (te verwachten situatie in bebouwde omgeving) en de geometrische uitbreiding van het geluid zullen invloed uitoefenen op het geluidsniveau, maar zijn nagenoeg niet frequentie afhankelijk en zullen dus geen invloed uitoefenen op de stijgtijd. Met het programma Audacity kan de invloed van luchtdemping worden toegepast als filter op het gemeten signaal. In

Tabel 7 is de waarde van de luchtabsorptiecoëfficiënt per middenfrequentie octaafband weergegeven.

Het youtubefilmpje waarin het stortende glas te horen is is geconverteerd naar een mp3-bestand.

Vervolgens is dit bestand geïmporteerd in het programma Audacity (zie Figuur 19). Als er op een afstand van 5 meter wordt gemeten ziet de golfvorm er op deze manier uit.



Figuur 19: Het youtube-filmpje weergegeven in Audacity (op 5 meter)

Vervolgens kan met behulp van formule 4 en

Tabel 7 uitgerekend worden wat de luchtdemping is bij een bepaalde frequentieband bij een gekozen afstand. Als berekend wil worden wat de luchtdemping is op een afstand van 205 meter (dus 200 meter verder) wordt de luchtdemping bij een middenfrequentie band van 8000 Hz als volgt berekend:

$$D_{lucht} = a_{lu} \cdot r_i = 6,7 \cdot 10^{-2} \cdot 200 = (13,4 \pm 0,1) \text{ dB}$$

Bij alle middenfrequentie banden is uitgerekend wat de luchtdemping is. Het resultaat is zichtbaar in tabel 7.

Tabel 7: Luchtdemping in octaafbandwaarden op een afstand van 200 m bij een temperatuur van 10 °C en een relatieve luchtvochtigheid van 80%¹⁴

Midden-frequentie Octaaf banden [Hz]	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
a_{lu} [dB/m]	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$25,0 \cdot 10^{-5}$	$76,0 \cdot 10^{-5}$	$16,0 \cdot 10^{-4}$	$29,0 \cdot 10^{-4}$	$62,0 \cdot 10^{-4}$	$19,0 \cdot 10^{-3}$	$67,0 \cdot 10^{-3}$
$\pm$ (dB/m)	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
D_{lucht} [dB]	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$15,00 \cdot 10^{-1}$	$32,00 \cdot 10^{-2}$	$58,00 \cdot 10^{-2}$	$120 \cdot 10^{-2}$	$380 \cdot 10^{-2}$	$1340 \cdot 10^{-2}$
$\pm$ (dB)	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,14 \cdot 10^{-1}$	$0,18 \cdot 10^{-2}$	$0,25 \cdot 10^{-2}$	$0,41 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$

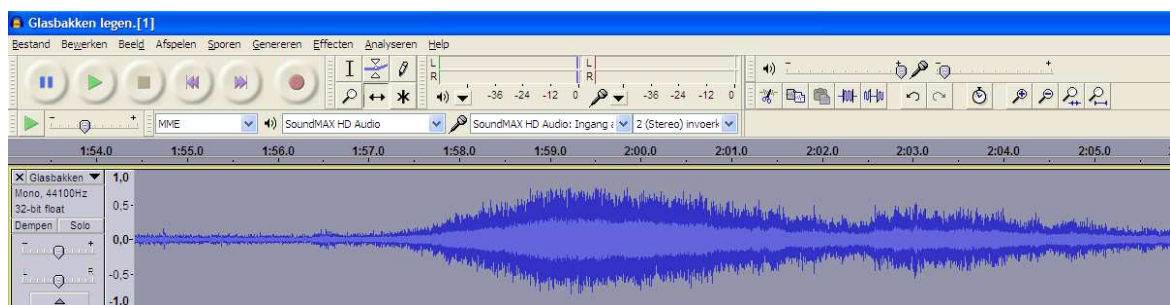
In Figuur 20 is de functie 'Equalizer' in het programma Audacity te zien. Hierin wordt de luchtdemping ingevoerd. Het witte balletje bij 8000 Hz wordt verschoven naar -13,4 dB. Bij elke frequentie wordt de juiste demping gekozen.

¹⁴ Bron: Dictaat akoestiek uitgegeven door DGMR



Figuur 20: De functie 'equalizer' in het programma Audacity

Wanneer vervolgens op 'OK' wordt gedrukt, wordt de golfvorm aangepast naar deze luchtdemping. In Figuur 21 is deze aanpassing weergegeven.



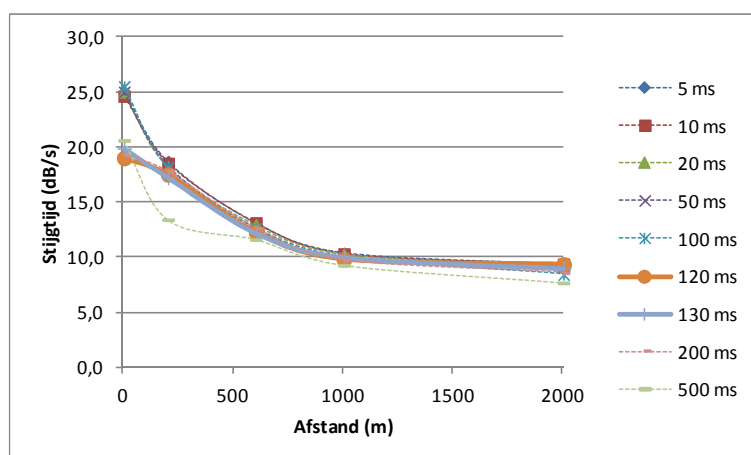
Figuur 21: Het youtube filmpje weergegeven in Audacity (op 205 meter)

Nu wordt de NA-27 opnieuw aangesloten op de computer. Vervolgens wordt dit geluid, dat door de luchtdemping veranderd is, afgespeeld en wordt weer bij de verschillende sampleperiodes gekeken wat de stijgtijden zijn. Deze metingen zijn bij een afstand van 205 m, 605 m, 1005 m en 2005 m gedaan. In Tabel 8 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 8: De stijgtijd met bijbehorende sampleperiode en afstand bij het storten van glas

Sampleperiode (s)	(Stijgtijd $\pm 0,2$) (dB/s)				
	5 m	205 m	605 m	1005 m	2005 m
0,005	25,0	18,7	13,1	10,4	9,3
0,010	24,6	18,5	13,1	10,3	9,4
0,020	25,0	18,2	12,9	10,3	9,3
0,050	25,0	18,3	12,6	10,0	9,1
0,100	25,5	18,2	12,6	10,0	8,4
0,120	19,0	17,5	12,3	9,8	9,4
0,130	19,8	17,2	12,2	10,0	9,0
0,200	19,3	17,8	12,6	9,8	8,6
0,500	20,6	13,4	11,6	9,3	7,7

Vervolgens is bij verschillende sampleperiodes de stijgtijd als functie van de afstand geplott en deze grafiek is weergegeven in Figuur 22.

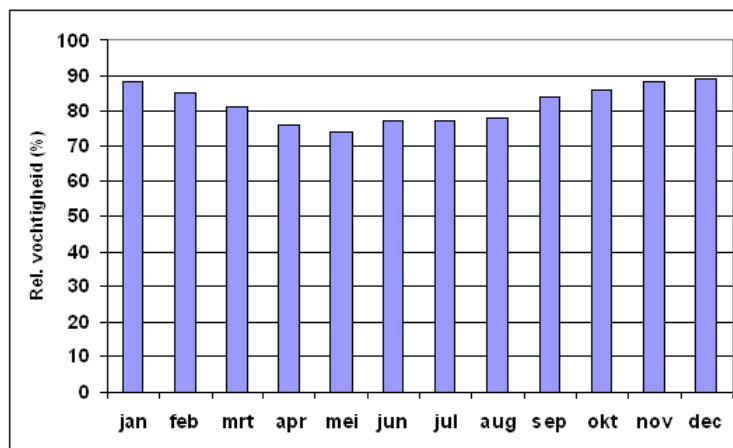


Figuur 22: De stijgtijd als functie van de afstand bij verschillende sampleperiodes bij het storten van glas

Er kan geconcludeerd worden dat naarmate de afstand tussen de geluidsbron en ontvanger groter wordt, de gemeten stijgtijd kleiner zal zijn. Op een afstand van ongeveer 400 meter zal bij een sampleperiode van 125 ms deze geluidsgebeurtenis niet meer in klasse 2 behoren, maar in klasse 1.

Het variëren van de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur

De metingen hierboven zijn allemaal gedaan met een luchtvochtigheid van 80% bij een temperatuur van 10 °C. In deze fase wordt onderzocht of een verandering in luchtvochtigheid en temperatuur invloed uitoefent op de stijgtijd als functie van afstand. Eerst is bekeken wat de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per maand in Nederland is. In Figuur 23: Jaarverloop relatieve vochtigheid is het jaarverloop van de relatieve luchtvochtigheid weergegeven. In mei is dit percentage minimaal en is ongeveer gelijk aan 73 %. In december is dit maximaal en heeft dan een waarde van ongeveer 90%. Bij de temperatuur is een minimale waarde van -10 °C en een maximale waarde van 20 °C aangenomen. Met behulp van een programma dat gemaakt is in Excel kunnen bepaalde grootheden, zoals luchtvochtigheid en temperatuur gevarieerd worden en kan de luchtdemping per frequentieband worden weergegeven.



Figuur 23: Jaarverloop relatieve vochtigheid¹⁵

Relatieve luchtvochtigheid

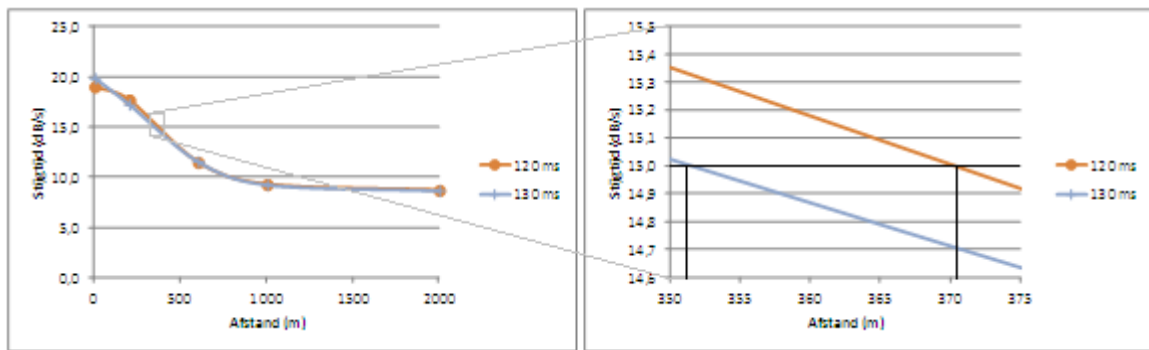
Allereerst wordt de temperatuur constant gehouden op 10 °C en wordt alleen de relatieve luchtvochtigheid gevarieerd. In tabel 9 is te zien wat de luchtdemping in dB per frequentieband is bij de verschillende waarden van de relatieve luchtvochtigheid.

Tabel 9: Luchtdemping bij variërende relatieve vochtigheid

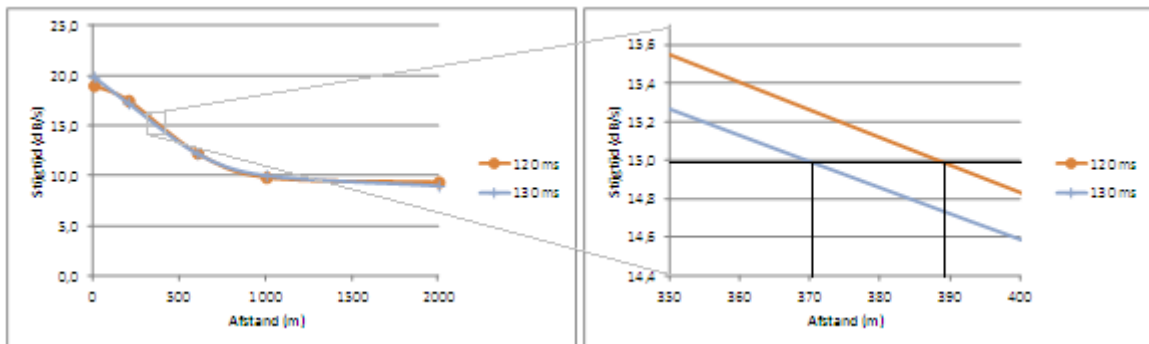
Temperatuur (°C)	Rel. luchtvochtigheid (%)	(Luchtdemping ± 0,005) (dB)								
		31,5 (Hz)	63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)
10	70	0	0,02	0,06	0,20	0,30	0,60	1,40	4,39	15,80
10	80	0	0,01	0,05	0,20	0,30	0,60	1,30	3,87	13,80
10	90	0	0,01	0,05	0,10	0,30	0,60	1,20	3,49	12,40

Met het programma Audacity kunnen deze invloeden worden toegepast als filter op het gemeten signaal. Nu wordt de NA-27 opnieuw aangesloten op de computer. Vervolgens wordt het geluid, dat door de demping ten gevolge van de verandering in relatieve luchtvochtigheid veranderd is, afgespeeld en wordt weer bij de verschillende sampleperiodes gekeken wat de stijgtijden zijn. Deze metingen zijn bij een afstand van 205 m, 605 m, 1005 m en 2005 m gedaan. Vervolgens is bij een luchtvochtigheid van 70%, 80% en 90% de stijgtijd als functie van de afstand geplot. Deze grafieken zijn in de figuren 24, 25 en 26 weergegeven.

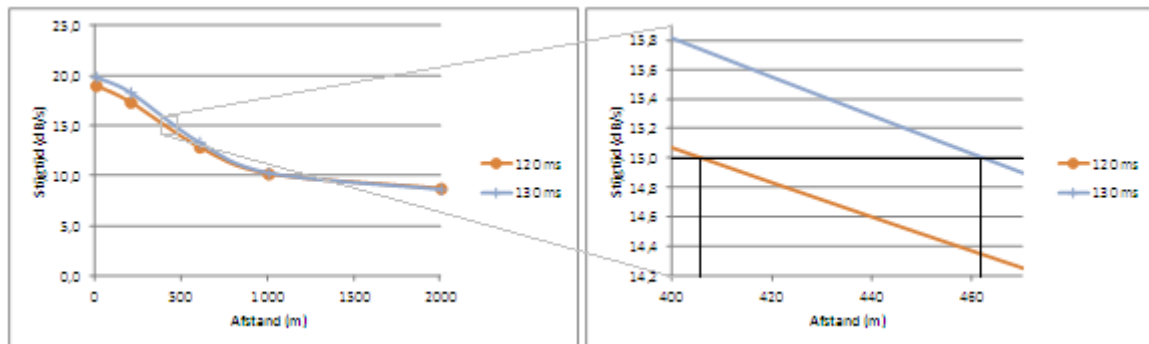
¹⁵ KNMI Langjarige gemiddelden (1971-200)



Figuur 24: Stijgtijd als functie van de afstand bij een luchtvochtigheid van 70% bij het storten van glas



Figuur 25: Stijgtijd als functie van de afstand bij een luchtvochtigheid van 80% bij het storten van glas



Figuur 26: Stijgtijd als functie van de afstand bij een luchtvochtigheid van 90% bij het storten van glas

Bij een vochtigheid van 70% zit deze geluidsgebeurtenis na ongeveer $370,5 - \left(\frac{370,5 - 351,5}{2}\right) = (361,0 \pm 0,2)$ meter in klasse 1. Bij een vochtigheid van 80% zit deze geluidsgebeurtenis na ongeveer $(379,8 \pm 0,2)$ meter in klasse 1. Bij 90% is hier sprake van op een afstand van ongeveer $(434,5 \pm 0,2)$ meter. Er kan geconcludeerd worden dat de luchtvochtigheid daadwerkelijk invloed heeft op de stijgtijd als functie van de afstand. Een lage luchtvochtigheid zorgt ervoor dat de stijgtijd sneller per meter daalt dan bij een hoge luchtvochtigheid.

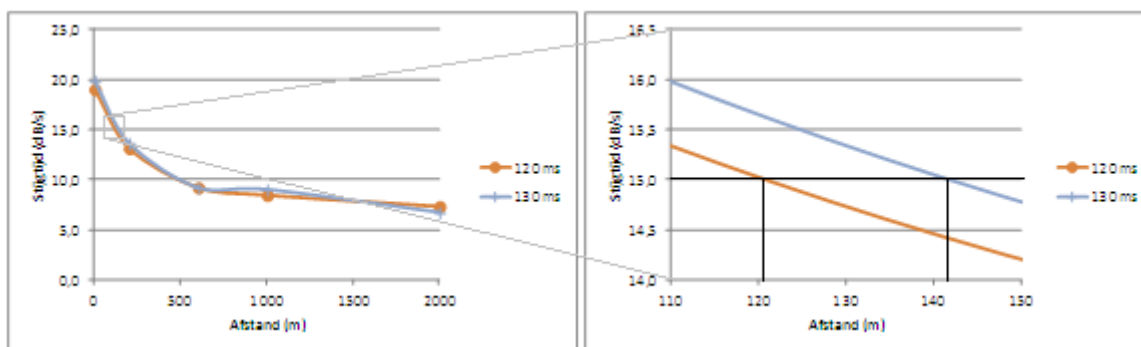
Temperatuur

Nu wordt de relatieve luchtvochtigheid constant gehouden op 80% en wordt alleen de temperatuur gevarieerd. In tabel 10 is te zien wat de luchtdemping in dB per frequentieband is bij de verschillende waarden van de temperatuur.

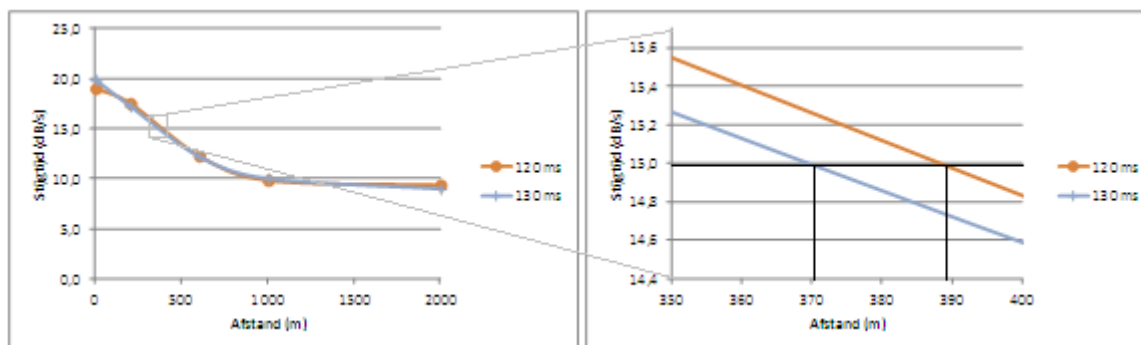
Tabel 10: Luchtdemping bij variërende temperatuur

Temperatuur (°C)	Rel. luchtvochtigheid (%)	(Luchtdemping $\pm 0,005$) (dB)								
		31,5 (Hz)	63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)
-10	80	0	0,02	0,05	0,10	0,30	1,00	3,60	9,63	17,4
10	80	0	0,01	0,05	0,20	0,30	0,60	1,30	3,87	13,80
20	80	0	0,01	0,04	0,10	0,40	0,90	1,50	3,11	9,31

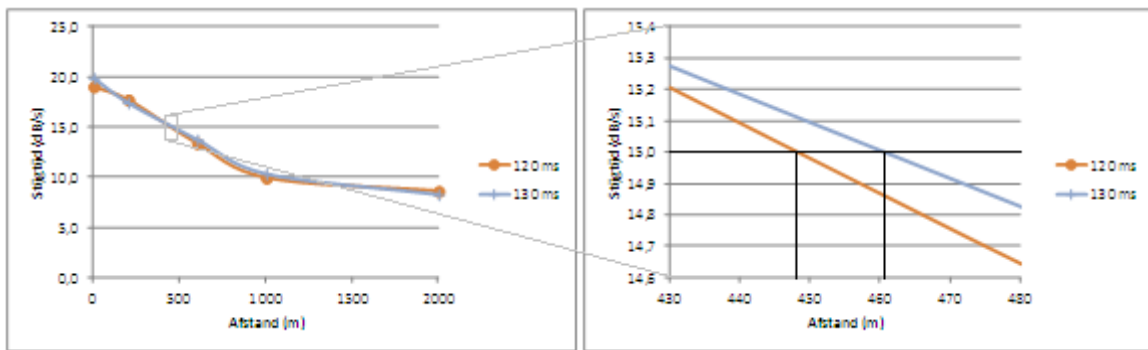
Met het programma Audacity kunnen deze invloeden worden toegepast als filter op het gemeten signaal. Nu wordt de NA-27 opnieuw aangesloten op de computer. Vervolgens wordt het geluid, dat door de demping ten gevolge van de verandering in temperatuur veranderd is, afgespeeld en wordt weer bij de verschillende sampleperiodes gekeken wat de stijgtijden zijn. Deze metingen zijn bij een afstand van 205 m, 605 m, 1005 m en 2005 m gedaan. Vervolgens is bij een temperatuur van -10°C, 10°C en 20°C de stijgtijd als functie van de afstand geplott. Deze grafieken zijn in de figuren 27, 28, en 29 weergegeven.



Figuur 27: Stijgtijd als functie van de afstand bij een temperatuur van -10°C bij het storten van glas



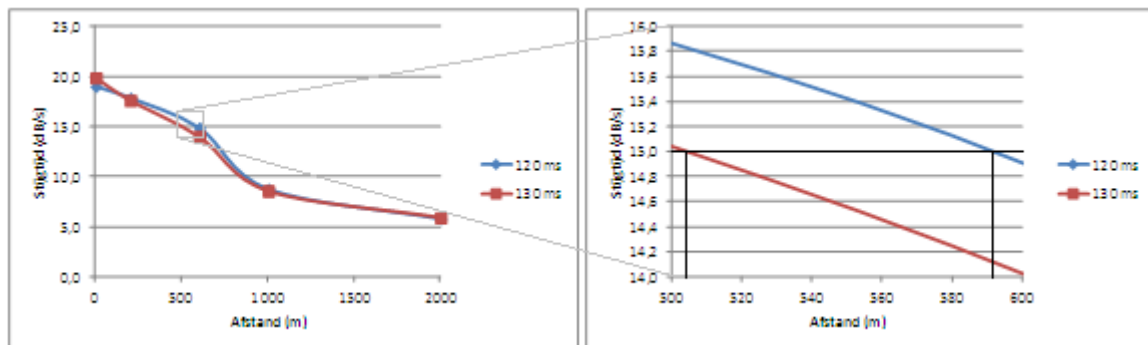
Figuur 28: Stijgtijd als functie van de afstand bij een temperatuur van 10°C bij het storten van glas



Figuur 29: Stijgtijd als functie van de afstand bij een temperatuur van 20°C bij het storten van glas

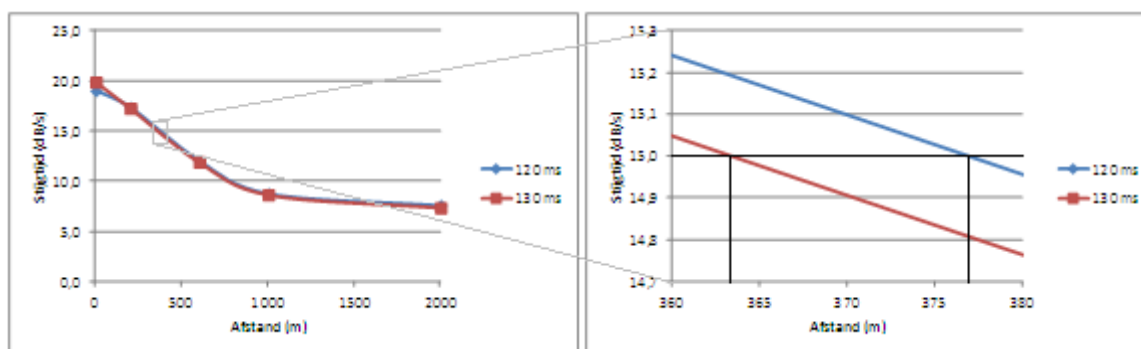
Bij een temperatuur van -10°C zit deze geluidsgebeurtenis na ongeveer $142,0 - \left(\frac{142,0-121,1}{2}\right) = (131,6 \pm 0,2)$ meter in klasse 1. Bij een temperatuur van 10°C zit deze geluidsgebeurtenis na ongeveer $(379,8 \pm 0,2)$ meter in klasse 1. Bij 20°C is hier sprake van op een afstand van ongeveer $(454,5 \pm 0,2)$ meter. Er kan geconcludeerd worden dat de temperatuur daadwerkelijk invloed heeft op de stijgtijd als functie van de afstand. Een lage temperatuur zorgt ervoor dat de stijgtijd sneller per meter daalt dan bij een hoge temperatuur.

Bij een extreme situatie waarbij de temperatuur en luchtvochtigheid relatief laag zijn, respectievelijk -10°C en 25%, geldt dat bij een afstand van ongeveer 548,5 meter deze geluidsgebeurtenis in klasse 1 zit (zie figuur 30). In tabel 11 is te zien wat de luchtdemping in dB per middenfrequentie octaafband is bij de verschillende waarden.



Figuur 30: Stijgtijd als functie van de afstand bij een temperatuur van -10°C en een vochtigheid van 25%

Bij een andere extreme situatie waarbij de temperatuur en luchtvochtigheid relatief hoog zijn, respectievelijk 30°C en 95%, geldt dat bij een afstand van ongeveer 370,0 meter deze geluidsgebeurtenis in klasse 1 zit (zie figuur 31).



Figuur 31: Stijgtijd als functie van de afstand bij een temperatuur van 30° C en een vochtigheid van 95%

In tabel 11 is te zien wat de luchtdemping in dB per middenfrequentie octaafband is bij de verschillende waarden.

Tabel 11: Luchtdemping bij extreme waarden voor temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur (°C)	Rel. luchtvochtigheid (%)	(Luchtdemping ± 0,005) (dB)								
		31,5 (Hz)	63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)
-10	25	0,02	0,04	0,12	0,4	1,10	2,30	3,10	3,64	4,65
30	95	0	0,01	0,02	0,1	0,4	1,10	2,30	3,96	7,85

De invloed van afscherming op de stijgtijd

Het is interessant te onderzoeken of afscherming invloed heeft op de stijgtijd. Er wordt bekeken hoe het geluid zal reageren wanneer een scherm tussen de bron en ontvanger wordt geplaatst. Een object wordt als scherm in rekening gebracht als de massa per eenheid van oppervlakte tenminste 10 kg/m² bedraagt. Het object bevat bovendien geen grote kieren of openingen. Het geluid afkomstig van de bron zal om het scherm heen bewegen; er is sprake van een omweg van het geluid. Als er voor een omweg van 0,1 m gekozen wordt dan is het Fresnelgetal bij een frequentie van 31 Hz volgens formule 12 als volgt te berekenen:

$$N = 0,0059 \cdot \varepsilon \cdot f = 0,0059 \cdot 0,1 \cdot 31 = (1,8 \pm 0,93) \cdot 10^{-2}$$

De demping is dan bij deze frequentie gelijk aan:

$$D_{\text{scherm}} = 10 \log(20N + 3) = 10 \log(0,36 + 3) = (5,26 \pm 0,24) \text{ dB}$$

De scherm demping is bij verschillende frequenties berekend en is weergegeven in tabel 12.

Tabel 12: Schermdemping bij verschillende frequenties

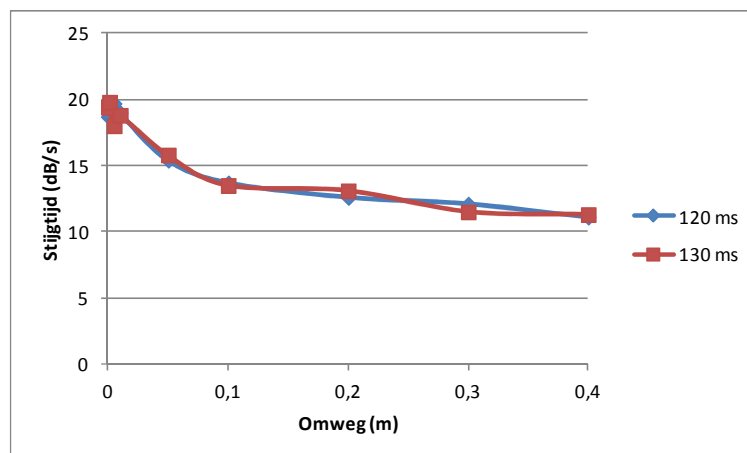
Midden-frequentie Octaaf-banden (Hz)	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Luchtdemping (dB)	5,27	5,73	6,50	7,75	9,49	11,70	14,25	17,01	19,89
± (dB)	0,01	0,02	0,04	0,07	0,15	0,29	0,59	1,18	2,36

Met het programma Audacity kunnen deze invloeden worden toegepast als filter op het gemeten signaal. Nu wordt de NA-27 opnieuw aangesloten op de computer. Vervolgens wordt het geluid, dat door de demping ten gevolge van het scherm veranderd is, afgespeeld en wordt bij een sampleperiode van 120 ms en 130 ms gekeken wat de maximale stijgtijden zijn. Deze metingen zijn bij meerdere omwegen gedaan. De resultaten zijn te zien in tabel 13.

Tabel 13: Stijgtijd bij verschillende omwegen bij het storten van glas

Omweg (m)	(Stijgtijd ± 0,2) (dB/s)	
	120 ms	130 ms
$1,0 \cdot 10^{-5}$	18,7	19,4
$1,0 \cdot 10^{-3}$	18,8	19,8
$5,0 \cdot 10^{-3}$	19,7	18,0
$1,0 \cdot 10^{-2}$	19,0	18,8
$5,0 \cdot 10^{-2}$	15,4	15,8
0,1	13,7	13,5
0,2	12,6	13,1
0,3	12,1	11,5
0,4	11,1	11,3

Deze resultaten zijn vervolgens geplot in een grafiek en is te zien in figuur 32.



Figuur 32: De stijgtijd als functie van de omweg bij het storten van glas

In deze figuur is te zien dat als het geluid als gevolg van een scherm een omweg van ongeveer 0,06 m maakt, deze geluidsgebeurtenis in klasse 1 geclassificeerd wordt. Bij een kleinere omweg hoort deze gebeurtenis in klasse 2.

Invloed bodemdemping op de stijgtijd

In deze fase wordt onderzocht of een zachte bodem invloed uitoefent op de stijgtijd als functie van afstand. Met behulp van een programma¹⁶ dat gemaakt is in Excel kunnen bepaalde grootheden, zoals de hoogte van de bron, hoogte van de ontvanger, afstand en bodemfactor gevarieerd worden en kan de luchtdemping per frequentieband worden weergegeven. De hoogte van de bron en ontvanger worden constant gehouden op respectievelijk 1 m en 1,5 m. Zachte bodems (absorberend) zijn alle bodems waarop vegetatie voor kan komen met weinig of geen geluidsverstrooiende objecten. Bij absorberende bodems geldt een bodemfactor $B_m=1$. De verzwakking ten gevolge van het middengebied wordt bepaald uit de bodemfactor van het middengebied B_m en de factor m . Voor de factor m geldt:

$$m = 0 \text{ als } r \leq 30 \cdot (h_b + h_o)$$
$$m = 1 - 30 \cdot \frac{(h_b + h_o)}{r} \text{ als } r > 30 \cdot (h_b + h_o)$$

Bij een afstand van 100 meter tussen bron en ontvanger geldt dat:

$$r \leq 30 \cdot (h_b + h_o) \rightarrow 600 \leq 30 \cdot (1 + 1,5) \rightarrow 100 > 75.$$

$$\text{Dus } m = 1 - 30 \cdot \frac{(h_b + h_o)}{r} = 1 - 30 \cdot \frac{(1 + 1,5)}{100} = 0,25$$

Voor de bodemdemping bij een middenfrequentie octaafband van 31 Hz geldt dan:

$$D_{bodem} = D_{b,bron} + D_{b,ontv} + D_{b,mid} = (-3) + (-3) + (-3 \cdot 0,25) = (-7 \pm 0) \text{ dB}$$

In tabel 14 is de bodemdemping per middenfrequentie octaafband weergegeven.

Tabel 14: Bodemdemping per middenfrequentie octaafband op 5 meter

Middenfrequentie octaafband (Hz)	Bodemdemping (dB)		
	Brongebied	Ontvangergebied	Middengebied
31	-3	-3	-0,75
63	-3	-3	-0,75
125	0,5	0,7	0
250	6,8	6,1	0
500	7,6	4,3	0
1000	1,8	0,6	0
2000	0	0	0
4000	0	0	0
8000	0	0	0

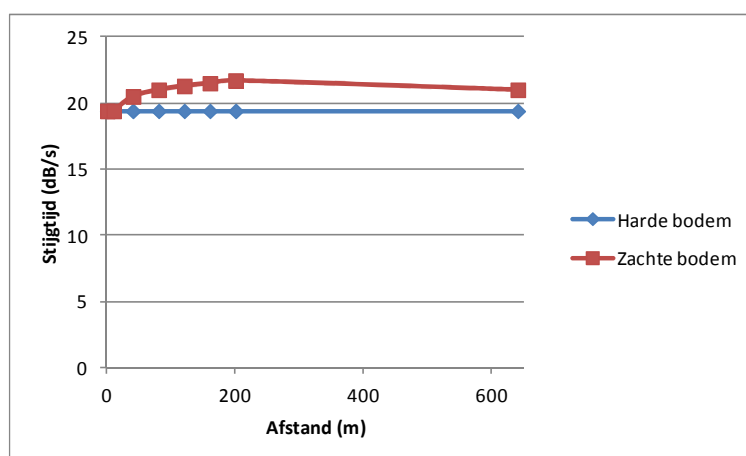
Met het programma Audacity kunnen deze invloeden worden toegepast als filter op het gemeten signaal. Nu wordt de NA-27 opnieuw aangesloten op de computer. Vervolgens wordt het geluid, dat door de demping ten gevolge van de bodem veranderd is, afgespeeld en wordt bij een sampleperiode van 125 ms gekeken wat de maximale stijgtijden zijn. Deze metingen zijn bij een afstand van 10 m, 40 m, 80 m, 120 m, 160 m, 200 m en 640 m gedaan. In tabel 15 zijn de resultaten weergegeven.

¹⁶ Het programma wordt verder uitgelegd in bijlage 7

Tabel 15: De stijgtijd bij verschillende afstanden bij een sampleperiode van 125 ms

Afstand (m)	(Stijgtijd $\pm 0,2$) (dB/s)	
	Harde bodem	Zachte bodem
0	19,4	19,4
10	19,4	19,4
40	19,4	20,5
80	19,4	21,0
120	19,4	21,3
160	19,4	21,5
200	19,4	21,7
640	19,4	21,0

De stijgtijd is bij beide samplefrequenties als functie van de afstand geplot in de figuur hieronder.



Figuur 33: De stijgtijd als functie van de afstand bij een sampleperiode van 125 ms

De invloed van bodemdemping op de stijgtijd is op een afstand van 2560 meter ongeveer 2 dB/s. Interessant is dat de stijgtijd stijgt bij het vergroten van de afstand. Dit komt doordat bij deze demping de lage middenfrequentie octaafbanden (31 Hz, 63 Hz) worden versterkt, het middengebiet (125 Hz – 1000 Hz) wordt gedempt en de hoge middenfrequentie octaafbanden (2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz) noch worden gedempt noch versterkt.

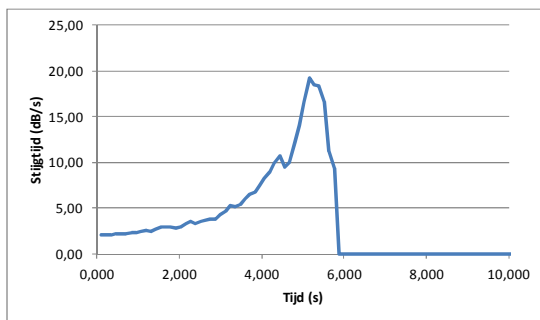
Invloed geluidsisolatie van de wand op de stijgtijd

Wanneer een activiteit plaatsvindt bij een woning dan kunnen de bewoners in de woning last ondervinden door de stijgtijd van het geluid van deze gebeurtenis. Doordat het geluid door een muur beweegt alvorens waargenomen wordt door de bewoner is er sprake van een verandering van het geluid. Door de isolatie van een woning is het interessant te onderzoeken of de geluidsisolatie van de muur daadwerkelijk invloed uitoefent op de stijgtijd van de gebeurtenis. Er wordt een situatie besproken waarbij wordt aangenomen dat een woning alleen bestaat uit muren die geen ramen of deuren bevatten. De muur bestaat enkel uit betonstenen (licht poreus) die ongestuct zijn. Wanneer de dikte van de muur 100 mm dik is en een oppervlaktemassa heeft van 180 kg/m^2 , geldt hiervoor de volgende isolatiewaarden:

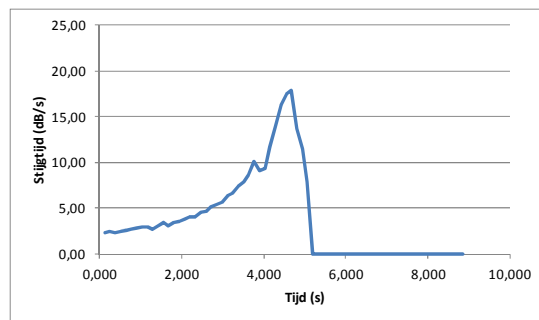
Tabel 16: Geluidsisolatie van betonstenen¹⁷

Frequentie (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Isolatie (dB)	25	27	25	26	30	40

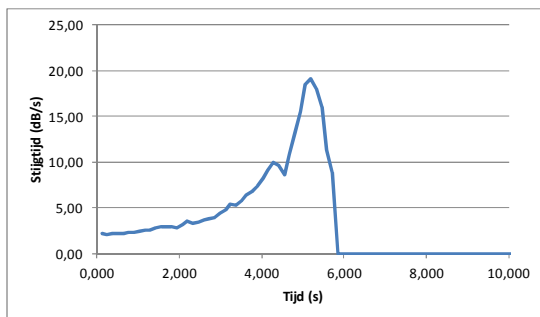
Met het programma Audacity kan deze invloed worden toegepast als filter op het gemeten signaal. Nu wordt de NA-27 aangesloten op de computer. Vervolgens wordt het geluid, dat door de demping ten gevolge van de geluidsisolerende muur veranderd is, afgespeeld en wordt bij een sampleperiode van 120 ms en 130 ms gekeken wat de maximale stijgtijden zijn.



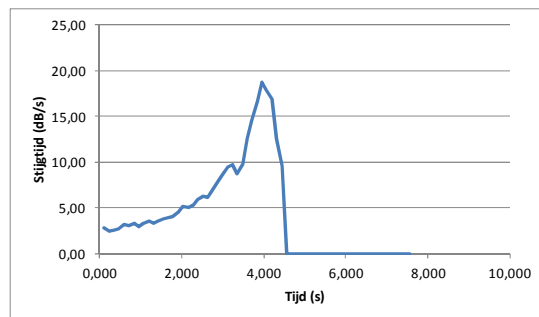
Figuur 34: (a) Stijgtijd als functie van de tijd bij 120 ms zonder wand tussen bron en ontvanger



(b) Stijgtijd als functie van de tijd bij 120 ms met wand



Figuur 35: (a) Stijgtijd als functie van de tijd bij 130 ms zonder wand



(b) Stijgtijd als functie van de tijd bij 130 ms met wand

De figuren hierboven laten zien dat de maximale stijgtijd, als gevolg van geluidsisolatie, daalt. Bij 120 ms is de stijgtijd na de demping door de wand gelijk aan 17,9 dB/s. Er vindt dus een daling plaats van: $19,0 - 17,9 = 1,1$ dB/s. Bij 130 ms is de stijgtijd na de demping door de wand gelijk aan 18,7 dB/s. Er vindt dus bij een daling plaats van: $19,8 - 18,7 = 1,1$ dB/s.

¹⁷ Bron: Handleiding 'Meten en rekenen industrielawaai' 1999 Ministerie van VROM, Zoetermeer

3.2 Metingen in de industrie

In deze fase worden metingen in de industrie gedaan. De geluidsbronnen zijn: het langsrijden van een vrachtwagen, hamerslagen op metaal, het sluiten van een portier van een auto, elektrisch slijpen van ijzer en de overslag van grind. Deze activiteiten hebben zich plaats gevonden bij het bedrijf R.O.S. te Schiedam en het bedrijf Mebin te Rotterdam. De metingen worden gedaan met behulp van de methode die in de eerste fase is toegepast. Allereerst worden geluidsopnamen gemaakt van de gebeurtenis in de industrie. Dit is gedaan met de B&K 2250. Vervolgens zijn deze opnamen ingelezen in het programma Audacity. Het meetapparaat is daarna aangesloten op de computer. Nu kan bij een sampleperiode van 120 ms en 130 ms gekeken worden wat de stijgtijden zijn van de verschillende gebeurtenissen.



Het langsrijden van een vrachtwagen

Om de werkzaamheden in de industrie te bevorderen is de vrachtwagen een belangrijk vervoersmiddel. Bij het vervoeren van bepaalde producten wordt geluid geproduceerd. Er wordt onderzocht of dit geluid minimaal 10 dB boven het achtergrondgeluid komt (piekgeluid). Als dit het geval is dan is het onderzoeken van de stijgtijd een volgende stap. Er is in de industrie een geluidsopname gemaakt van een langsrijdende vrachtwagen (80 km/u) op 3 meter afstand. De hoogte van de bron is 1 meter en de hoogte van de ontvanger is 1,5 meter. Het bronvermogen van het langsrijden van een vrachtwagen is 103,8 dB¹⁸.

¹⁸ Bron: 'Bronvermogens diverse adviseurs' door DGMR te zien in bijlage 3



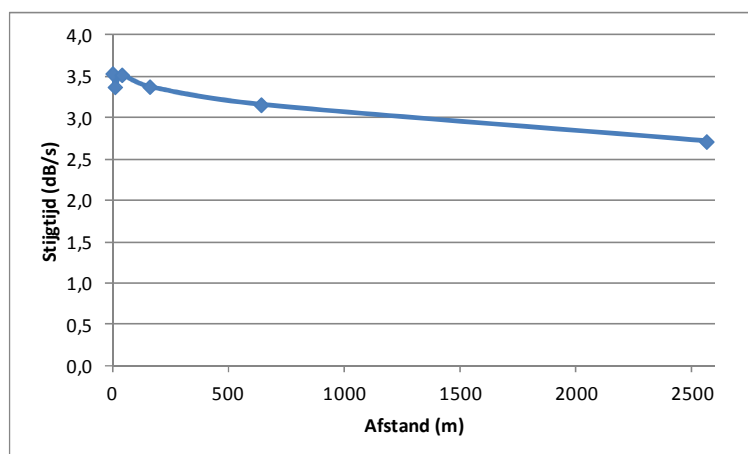
Bij beide sampleperiodes (120 ms, 130 ms) is de stijgtijd berekend van het geluid afkomstig van het langsrijden van een vrachtwagen en de resultaten zijn in een tabel gezet. In tabel 17 zijn de gegevens te zien.

Tabel 17: De stijgtijden met de bijbehorende sampleperiodes

Sampleperiode (s)	(Stijgtijd $\pm 0,2$) dB/s
0,120	3,5
0,130	3,6

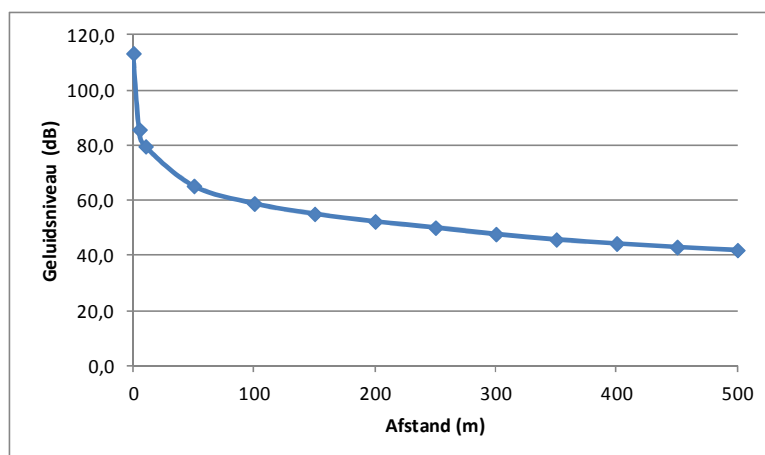
Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 1.

De stijgtijd als functie van de afstand bij een sampleperiode van 125 ms is als volgt.



Figuur 36: De stijgtijd als functie van de afstand bij het langsrijden van een vrachtwagen

Het totale geluidsniveau als functie van de afstand is te zien in de figuur hieronder.



Figuur 37: Het geluidsniveau als functie van de afstand bij het langsrijden van een vrachtwagen

Tabel 1 laat zien dat bij deze geluidsgebeurtenis zowel in de avond als in de nacht minimaal een afstand van ca. 30 meter tussen de bron en ontvanger moet zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

Het sluiten van de portier van een auto

In de industrie wordt er veelvuldig gebruik gemaakt van vervoersmiddelen zoals auto's en vrachtwagens. Bij het in- en uitstappen wordt de portier van het vervoersmiddel open gemaakt en dicht gedaan. Bij het dichtslaan van de portier is er sprake van een piekgeluid. Het is interessant te onderzoeken wat de stijgtijd van deze gebeurtenis is. Er is in de buitenlucht een geluidsopname gemaakt van deze activiteit op 10 meter afstand. De hoogte van de bron is 1 meter en de hoogte van de ontvanger is 1,5 meter. Het bronvermogen van het sluiten van de portier van een auto is 100,0 dB¹⁹.

¹⁹ Bron: 'Bronvermogens diverse adviseurs' door DGMR te zien in bijlage 3



Bij beide sampleperiodes is de stijgtijd berekend van het geluid afkomstig van het sluiten van de portier en de resultaten zijn in een tabel gezet. In tabel 18 zijn de gegevens te zien.

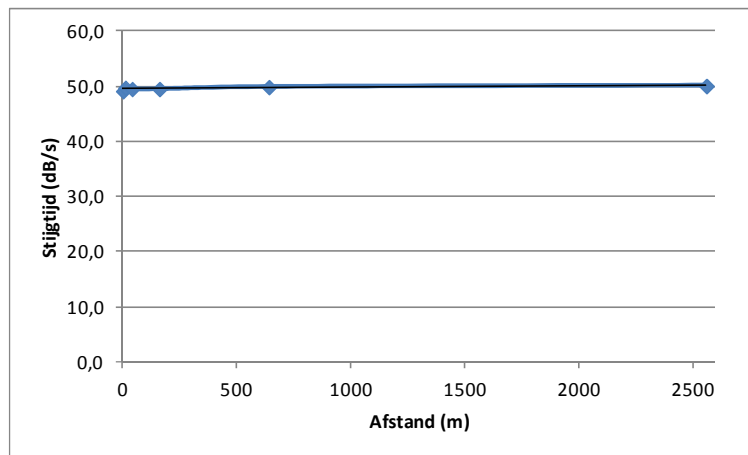
Tabel 18: De stijgtijden met de bijbehorende sampleperiodes

Sampleperiode (s)	(Stijgtijd ± 0,2) dB/s
0,120	51,7
0,130	46,5

Om de stijgtijd te bepalen bij een sampleperiode van 125 ms, is het gemiddelde bepaald van deze twee stijgtijden. Dit is als volgt gedaan: $\frac{(51,7+46,5)}{2} = 49,1$

Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 2

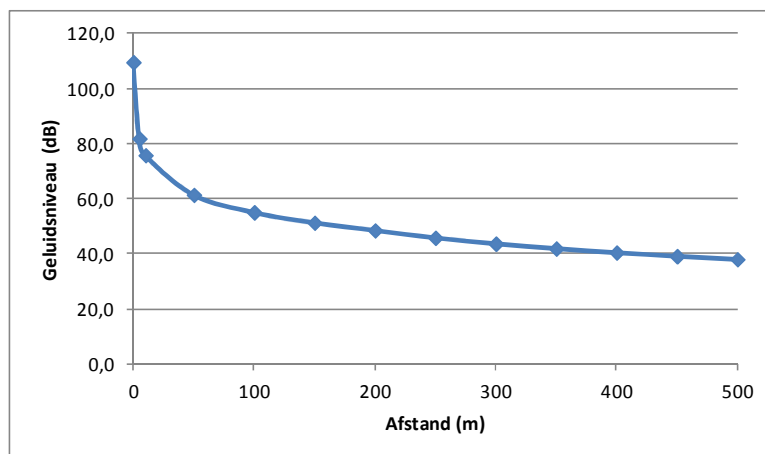
De stijgtijd als functie van de afstand bij een sampleperiode van 125 ms is als volgt.



Figuur 38: De stijgtijd als functie van de afstand bij het sluiten van de portier van een auto

Luchtdemping dempt voornamelijk hoge frequenties. Dit geluid bestaat vooral uit lage frequenties dus is de luchtdemping laag.

Het totale geluidsniveau als functie van de afstand is te zien in de figuur hieronder.



Figuur 39: Het geluidsniveau als functie van de afstand bij het dichtslaan van een portier

Tabel 1: Richtwaarden L_p laat zien dat bij deze geluidsgebeurtenis zowel in de avond als in de nacht minimaal een afstand van ca. 30 meter tussen de bron en ontvanger moet zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

Hamerslagen

Een voorbeeld van een geluid in de industrie dat hinder kan veroorzaken bij omliggende woningen is het hameren op metaal. Ook hiervan zijn in de buitenlucht geluidsopnamen gemaakt op 10 meter afstand. Er wordt bepaald wat de stijgtijd van deze gebeurtenis is bij een sampleperiode van 120 ms en 130 ms en dan zal worden geconcludeerd in welke klasse deze gebeurtenis zit. De hoogte van de bron is 1 meter en de hoogte van de ontvanger is 1,5 meter. Het bronvermogen van de activiteit 'hamerslagen' is 121,0 dB²⁰.

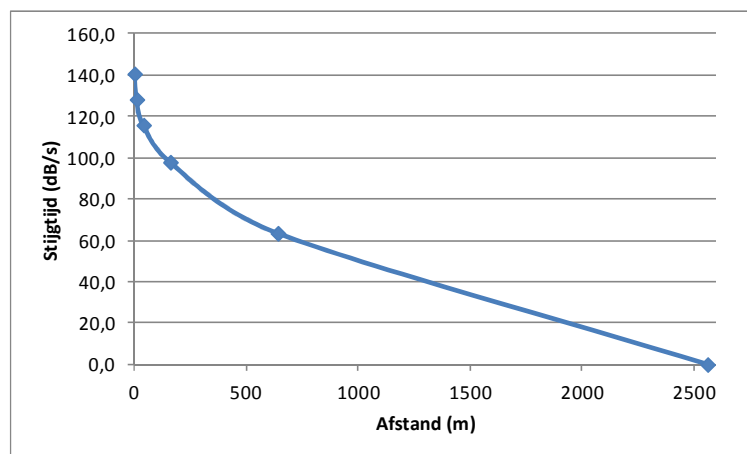
Bij beide sampleperiodes is de stijgtijd berekend van het geluid afkomstig van hamerslagen en de resultaten zijn in een tabel gezet. In tabel 19 zijn de gegevens te zien.

Tabel 19: De stijgtijden met de bijbehorende sampleperiodes

Sampleperiode (s)	(Stijgtijd ±) dB/s
0,120	145,8
0,130	135,4

Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 3

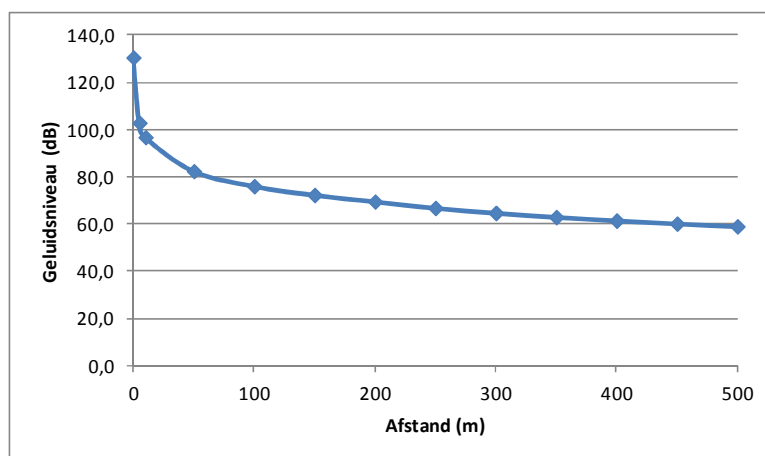
De stijgtijd als functie van de afstand bij een sampleperiode van 125 ms is als volgt.



Figuur 40: De stijgtijd als functie van de afstand bij het sluiten van de portier van een auto

Het totale geluidsniveau als functie van de afstand is te zien in de figuur hieronder.

²⁰ Bron: 'Bronvermogens diverse adviseurs' door DGMR te zien in bijlage 3



Figuur 41: Het geluidsniveau als functie van de afstand bij hamerslagen

Tabel 1 laat zien dat bij deze geluidsgebeurtenis zowel in de avond als in de nacht minimaal een afstand van ca. 450 meter tussen de bron en ontvanger moet zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

Elektrisch slijpen

Een tak van werkzaamheden in de industrie is het elektrisch slijpen van materialen. Er wordt onderzocht of dit geluid minimaal 10 dB boven het achtergrondgeluid komt (piekgeluid). Als dit het geval is dan is het onderzoeken van de stijgtijd een volgende stap. Bij het bedrijf Mebin is een geluidsonname gemaakt van deze activiteit. De afstand tussen bron en het meetapparaat is ca. 10 meter. De hoogte van de bron is 1 meter en de hoogte van de ontvanger is 1,5 meter. Het bronvermogen van het elektrisch slijpen is 115,0 dB²¹.

Bij beide sampleperiodes is de stijgtijd berekend van het geluid afkomstig van het elektrisch slijpen en de resultaten zijn in een tabel gezet. In tabel 20 zijn de gegevens te zien.

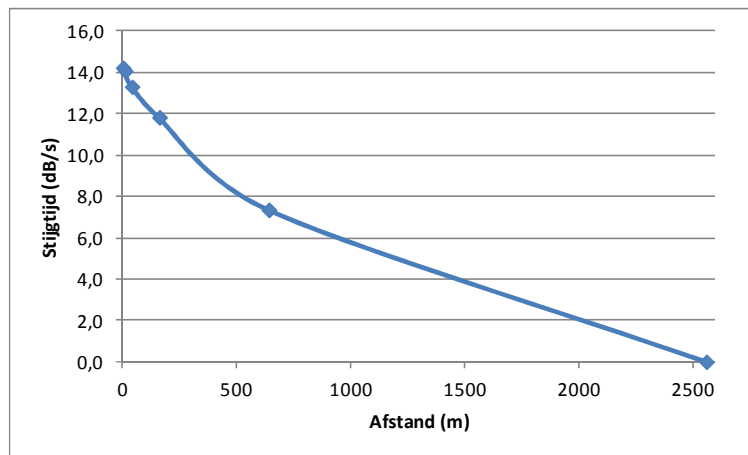
Tabel 20: De stijgtijden met de bijbehorende sampleperiodes

Sampleperiode (s)	(Stijgtijd ± 0,2) dB/s
0,120	14,4
0,130	14,1

Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 1

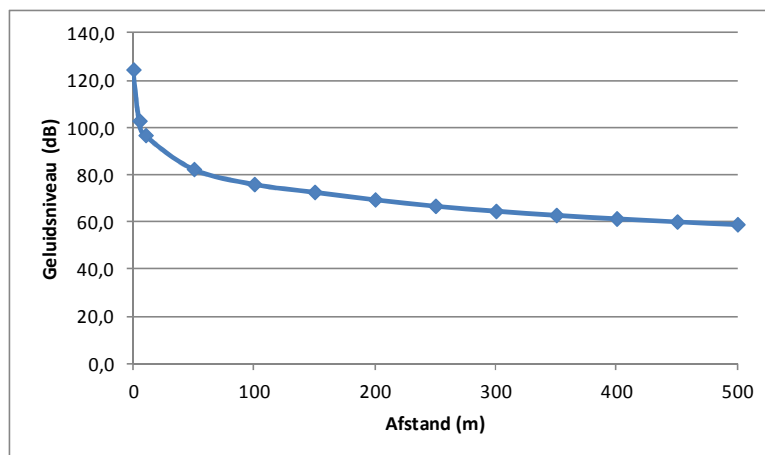
Het totale geluidsniveau als functie van de afstand is te zien in de figuur hieronder.

²¹ Bron: 'Bronvermogens diverse adviseurs' door DGMR te zien in bijlage 3



Figuur 42: Het geluidsniveau als functie van de afstand bij elektrisch slijpen

Het totale geluidsniveau als functie van de afstand is te zien in de figuur hieronder.



Figuur 43: Het geluidsniveau als functie van de afstand bij het elektrisch slijpen van ijzer

Tabel 1 laat zien dat bij deze geluidsgebeurtenis zowel in de avond als in de nacht minimaal een afstand van ca. 175 meter tussen de bron en ontvanger moet zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

4. Conclusies

In dit verslag is een onderzoek gedaan naar stijgtijden van een aantal activiteiten. In de eerste fase is als geluidsbron het storten van glas in een glasbak gebruikt. Na onderzoek is gebleken dat de gekozen meetmethode juist is. Volgens het Hill rapport zit de stijgtijd van het storten van glas in klasse 2. Volgens de meetmethode waarmee figuur 18 tot stand gekomen is klopt dit inderdaad. De stijgtijd van het stortende glas is bij een sampleperiode van 125 ms ongeveer $(19,4 \pm 0,2)$ dB/s.

Het geluidsniveau bij een sampleperiode van 125 ms op een afstand van 5 meter is bij het storten van glas $L_p = (96,7 \pm 2,2)$ dB. Met de kennis dat deze geluidsgebeurtenis in klasse 2 zit laat tabel 6 zien dat zowel in de avond als in de nacht minimaal de afstand tussen de bron en ontvanger ca. 350 meter moet zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen. Vervolgens is bij verschillende sampleperiodes bekeken wat de stijgtijd als functie van de afstand is. Er kan geconcludeerd worden dat de stijgtijd als functie van de sampleperiode gemiddeld ongeveer 23 dB is.

Het uitsluiten van omgevingsinvloeden op de stijgtijd is niet terecht. Dit in tegenstelling tot wat in het Hill rapport geconcludeerd wordt. Uit het onderzoek in dit verslag is gebleken dat naarmate de afstand tussen de geluidsbron en ontvanger groter wordt, de gemeten stijgtijd kleiner zal zijn. Op een afstand van ongeveer 400 meter zal bij een sampleperiode van 125 ms deze geluidsgebeurtenis niet meer in klasse 2 behoren, maar in klasse 1.

Bovendien beïnvloeden zowel de relatieve luchtvochtigheid als de temperatuur de stijgtijd als functie van de afstand. Een lage luchtvochtigheid zorgt ervoor dat de stijgtijd sneller per meter daalt dan bij een hoge luchtvochtigheid. Bij een vochtigheid van 70% zit deze geluidsgebeurtenis na $(361,0 \pm 0,2)$ m in klasse 2. Bij een vochtigheid van 80% na $(379,8 \pm 0,2)$ meter. Bij 90% is hier sprake van op een afstand van $(434,5 \pm 0,2)$ meter.

Een lage temperatuur zorgt ervoor dat de stijgtijd sneller per meter daalt dan bij een hoge temperatuur. Bij een temperatuur van -10°C zit deze geluidsgebeurtenis na $(131,6 \pm 0,2)$ m in klasse 1. Bij een temperatuur van 10°C na $(379,8 \pm 0,2)$ meter. Bij 20°C is hier sprake van op een afstand van $(454,5 \pm 0,2)$ meter.

Daarnaast heeft afscherming ook invloed op de stijgtijd. In figuur 32 is te zien dat afscherming inderdaad invloed uitoefent op de stijgtijd. Hoe groter de omweg is die geluid maakt, hoe kleiner de stijgtijd van de gebeurtenis wordt. Als het geluid als gevolg van een scherm een omweg van 0,06 m maakt, wordt deze geluidsgebeurtenis beschouwd als een activiteit in klasse 1. Bij een kleinere omweg hoort deze gebeurtenis in klasse 2.

Ook een zachte bodem heeft invloed op de stijgtijd als functie van de afstand. De invloed van bodemdemping op de stijgtijd is op een afstand van 2560 meter ongeveer 2 dB/s. Interessant is dat de stijgtijd stijgt bij het vergoten van de afstand. Dit komt doordat bij deze demping de lage middenfrequentie octaafbanden (31 Hz, 63 Hz) worden versterkt, het middengebiet (125 Hz – 1000 Hz) wordt gedempt en de hoge middenfrequentie octaafbanden (2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz) noch worden gedempt noch versterkt. Bovendien heeft de geluidsisolatie van een wand ook invloed op de stijgtijd. Bij een sampleperiode van 125 ms zal de stijgtijd door de demping van een wand met 1,1 dB/s dalen.

Vervolgens zijn in de tweede fase de metingen in de industrie uitgevoerd met de meetmethode aangeleerd in de eerste fase. Het langsrijden van een vrachtwagen met een snelheid van 80 km/u heeft een stijgtijd van $(3,6 \pm 0,2)$ dB/s; deze activiteit bevindt zich in klasse 1. Dit komt overeen met het resultaat in de tabel

in bijlage 5. Volgens tabel 1 moet de afstand tussen bron en ontvanger ca. 30 meter zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

Het sluiten van een portier van een auto heeft een stijgtijd van $(49,1 \pm 0,2)$ dB/s; deze activiteit bevindt zich in klasse 2. Dit komt overeen met het resultaat in de tabel in bijlage 5. Volgens tabel 1 moet de afstand tussen bron en ontvanger ca. 30 meter zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

Een hamerslag op een ijzeren oppervlak heeft een stijgtijd van $(140,6 \pm 0,2)$ dB/s; deze activiteit bevindt zich in klasse 3. Dit komt overeen met het resultaat in de tabel in bijlage 5. Volgens tabel 1 moet de afstand tussen bron en ontvanger ca. 450 meter zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

Het elektrisch slijpen van ijzer heeft een stijgtijd van $(14,2 \pm 0,2)$ dB/s; deze activiteit bevindt zich in klasse 1. Dit komt niet overeen met het resultaat in de tabel in bijlage 5. Volgens tabel 1 moet de afstand tussen bron en ontvanger ca. 175 meter zijn als het aan de richtwaarden wil voldoen.

5. Literatuur

Dictaten

>HILL

Conceptverslag, november 2011. Renvooi
0111108

>“Beoordeling van piekgeluiden in de woonomgeving”
Rapport TNO preventie en gezondheid, oktober 1999
011.40438/01.01, ISBN 90-6743-622-4

>‘Dictaat Akoestiek’

Peutz

W.2003.1370.00.001;

>“Inventarisatie stijgsnelheden piek 2002”

Rapport M+P

>‘Bronvermogens diverse adviseurs’

DGMR

>‘Dictaat akoestiek’

DGMR

>Handleiding ‘Meten en rekenen industrielawaai’

Ministerie van VROM, 1999. Zoetermeer

Internetlinks

Link van het filmpje met als geluidsbron: het storten van glas in een glasbak

<http://www.youtube.com/watch?v=nlxUDaN358E>

Link van het filmpje met als geluidsbron: een langsrijdende trein

<http://www.youtube.com/watch?v=4ABlaUwG6WU>

Link van het filmpje met als geluidsbron: een langsrijdende auto

<http://www.youtube.com/watch?v=2O4eniVFK0I>

Link van het filmpje met als geluidsbron: een sloopbal dat tegen een gebouw beweegt

<http://www.youtube.com/watch?v=new-0-ov2Ng>

Link naar de uitleg van de middenfrequentie octaafband

http://www.sonus.nl/dutch/begrippen/toelichtingen/oct_tert.html

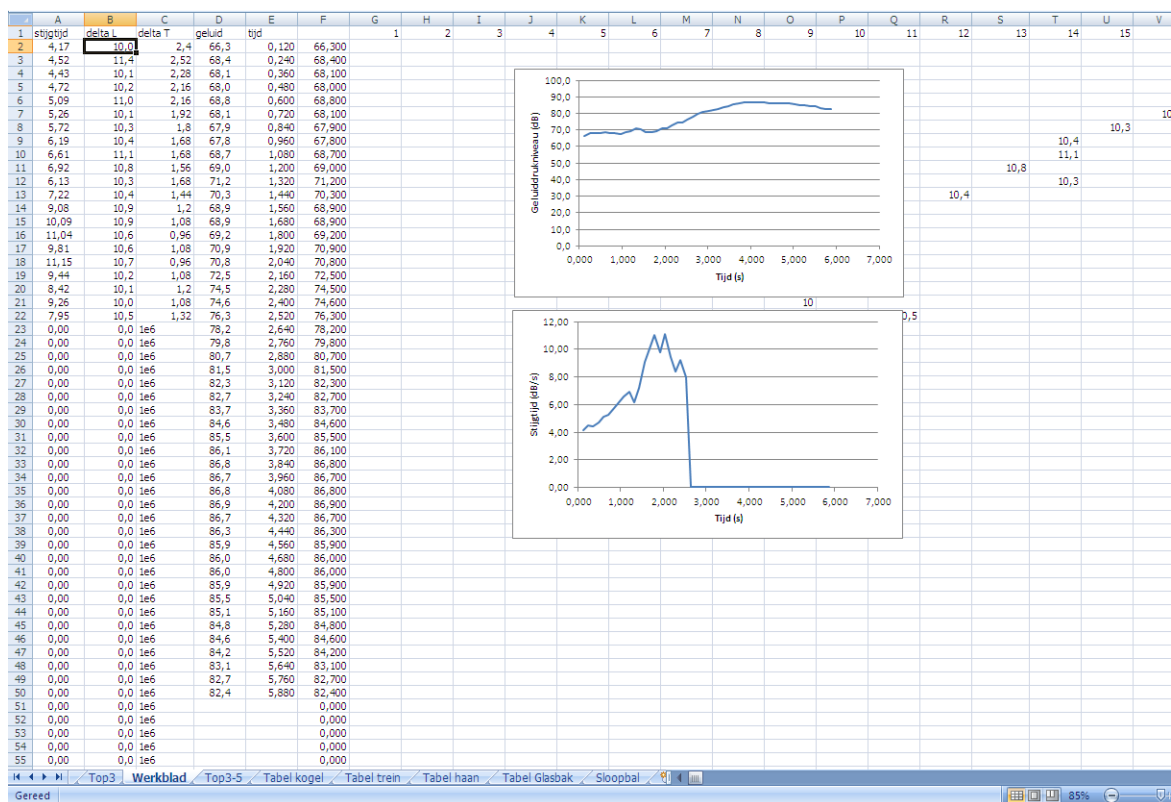
Bijlage 1

In Excel is voor dit onderzoek een programma geschreven waarin, als het geluidsniveau en de bijbehorende tijd ingevuld worden, de maximale stijgtijd wordt berekend. Wanneer de metingen gedaan zijn met de NA-27 worden dezen ingelezen in Excel (zie figuur 44). In kolom A is het aantal samples weergegeven. In kolom B is het aantal geluidsniveaus weergegeven voor alle frequenties (all pass).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Instrument	NA-27																				
2	Date	13-03-2020																				
3	Time	9:25:20																				
4	Memory Block	Auto1																				
5	Auto Store Type	Single																				
6	Measure Mode	Lp																				
7	Lmax/Lmin Hold Type	-																				
8	Auto Store Interval	120 ms																				
9	Main Frequency Weighting	Flat																				
10	Main Time Constant	Fast																				
11	Sub Frequency Weighting	A																				
12	Sub Time Constant	Fast																				
13	Peak Frequency Weighting	A																				
14																						
15																						
16	Address	Lp	16	32	63	125	250	500	1	2	4	8										
17		Main	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	kHz	kHz	kHz	kHz										
18	1	70.0	50.7	60.7	57.2	60.9	64.1	58.1	61.1	62.2	59.2	47.7										
19	2	70.2	47.7	60.2	56.1	61.5	64.0	58.5	61.7	63.1	59.2	47.7										
20	3	70.2	47.7	57.7	58.1	62.5	63.4	57.2	61.8	63.0	59.7	47.7										
21	4	70.8	47.7	58.5	58.8	62.0	62.9	58.8	62.5	63.4	60.2	47.7										
22	5	70.7	47.7	64.0	59.2	60.5	63.6	58.8	61.5	63.3	59.5	47.7										
23	6	70.3	47.7	62.5	58.8	60.5	63.8	58.1	61.8	62.9	59.2	47.7										
24	7	70.8	54.7	60.7	59.5	61.7	64.3	59.5	62.0	62.7	59.2	47.7										
25	8	70.7	52.5	60.2	58.8	63.4	63.7	60.7	62.0	62.5	59.2	47.7										
26	9	70.4	50.7	60.5	58.5	63.1	63.4	59.7	62.2	62.7	59.2	47.7										
27	10	70.2	50.7	60.5	59.7	62.0	63.4	59.2	61.8	62.7	59.2	47.7										
28	11	70.2	47.7	56.7	56.7	62.0	63.9	59.2	61.5	62.6	59.7	47.7										
29	12	70.0	53.7	62.3	56.1	60.0	62.9	58.5	61.7	62.2	59.2	47.7										
30	13	73.3	56.7	61.7	59.7	62.0	64.8	66.0	64.4	64.7	63.1	50.7										
31	14	74.9	55.5	59.5	62.3	63.5	67.5	65.8	64.7	65.5	69.8	57.2										
32	15	73.6	52.5	60.9	60.0	63.3	66.4	64.3	64.5	65.2	67.2	56.1										
33	16	72.8	50.7	60.9	57.7	62.0	65.3	62.7	64.7	65.2	65.2	55.5										
34	17	73.0	47.7	60.7	59.2	62.5	65.2	62.6	65.3	65.4	65.0	56.1										
35	18	73.3	47.7	59.7	58.5	61.8	65.8	63.1	65.5	66.5	65.4	55.5										
36	19	74.5	52.5	59.7	59.2	62.6	66.4	64.5	66.7	67.3	67.2	59.2										
37	20	75.5	52.5	62.6	59.2	61.8	67.5	65.0	67.3	68.6	69.4	61.8										
38	21	77.3	47.7	62.9	61.3	63.6	67.2	66.1	67.9	69.7	72.6	64.2										
39	22	80.1	50.7	64.9	62.9	64.4	68.8	66.3	69.1	72.1	77.3	66.8										
40	23	80.8	52.5	62.6	62.6	64.1	68.6	66.7	70.4	73.4	77.6	69.3										
41	24	83.0	52.5	63.1	62.9	66.4	70.1	68.9	71.9	76.5	79.8	71.4										
42	25	86.1	47.7	62.6	62.7	64.9	68.9	69.2	73.6	80.8	83.3	74.0										
43	26	87.6	47.7	62.7	62.9	67.2	70.4	71.2	74.9	81.7	85.0	75.6										
44	27	88.3	47.7	63.4	65.4	68.6	70.3	72.3	76.2	82.8	85.5	76.1										
45	28	89.6	50.7	63.8	63.1	66.8	71.1	72.7	78.4	83.9	86.8	77.0										

Figuur 44: De ingelezen metingen in Excel

Vervolgens worden de geluidrukniveaus van kolom B in figuur 44 naar kolom D in figuur 456 gekopieerd. In figuur 45 worden in kolom E de bijbehorende sampleperiodes ingevuld. Als voorbeeld wordt rij 13 genomen. Hier wordt in kolom B vervolgens een waarde verkregen door in rij 13 vanaf kolom G te kijken op welk meetpunt, vanaf de 13^e meting, er een minimale stijging plaatsvindt van 10 dB. In dit geval gebeurt dit bij kolom R (12 meetpunten verder). Het geluidrukniveau is dan met 10,4 dB gestegen. Deze waarde wordt ingevuld in kolom B. In kolom C wordt vervolgens ingevuld hoeveel tijd het heeft gekost om 10,4 dB te stijgen. Dit is dus eigenlijk gelijk aan het aantal punten maal de sampleperiode. De sampleperiode is gelijk aan 0,120 s. De totaal verstreken tijd is dus gelijk aan $12 \cdot 0,120 = 1,440$ s (E13). Vervolgens wordt in kolom A de stijgtijd berekend door formule 1 te gebruiken. De stijgtijd is dus gelijk aan $t_s = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{10,4}{1,440} = 7,22$ dB/s (A13). Uit de alle stijgtijden die zijn weergegeven in kolom A wordt ten slotte de grootste stijgtijd belicht. In dit geval A18 met een stijgtijd van 11,15 dB/s.



Figuur 45: Het programma in Excel dat dient om de stijgtijd te berekenen van een activiteit

Bijlage 2

De meetapparaten waarmee gewerkt zijn, worden in deze bijlage beschreven. De informatie van de materialen zijn verkregen uit de handleidingen van de bedrijven waar de componenten bij besteld zijn. Deze meetapparaten zijn gebruikt omdat het aangegeven wordt in het Hill rapport. De meetapparaten zijn gebruikt voor de meetopnamen en stijgtijdmetingen. De B&K 2250 is gebruikt om geluidsopnamen te doen in de industrie. Deze geluidsopnamen zijn vervolgens met de Rion NA-27 bij verschillende sampleperiodes geanalyseerd en is de stijgtijd bepaald van verschillende activiteiten in de industrie. Hieronder worden de twee meetapparaten kort besproken.

B&K 2250

Een B&K 2250 geluidsmeter is een instrument dat is ontworpen voor het meten van geluidsniveaus. De geluidsmeter bestaat uit een microfoon, een voorversterker, een hoofdprocessor en een uitleesunit. De microfoon zet het geluidssignaal in een gelijkwaardige elektrische signaal. Het elektrische signaal is op een zeer laag niveau dus het wordt door de voorversterker versterkt voordat het door de hoofdprocessor wordt verwerkt.



Figuur 46: Een plaatje van het apparaat B&K 2250

Microfoon

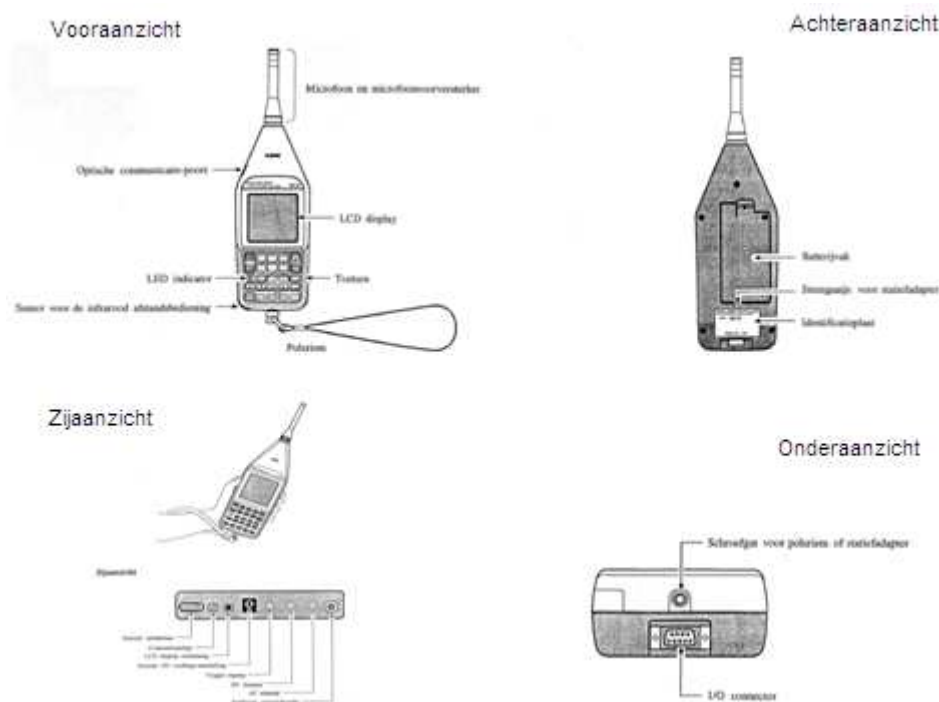
De specificaties van de microfoon zijn in tabel 21 zichtbaar.

Tabel 21: Specificaties van de microfoon

Nominale diameter	1,27 cm
Gevoeligheid	50 mV/Pa
Capaciteit	14 pF
Diafragma material	Titanium legering

Rion NA-27²²

Het meetapparaat dat in dit onderzoek gebruikt is apparaat Rion NA-27. De NA-27 is een precisie integrerende geluidmeter waarmee real-time octaaf- en tertsbandanalyse uitgevoerd kan worden. Dat wil zeggen dat alle octaaf- of tertsbanden gelijktijdig gemeten en weergegeven kunnen worden op het LCD display. Meetgegevens kunnen worden opgeslagen in het grote interne geheugen van de NA-27. Deze gegevens kunnen vervolgens naar de computer worden gestuurd.

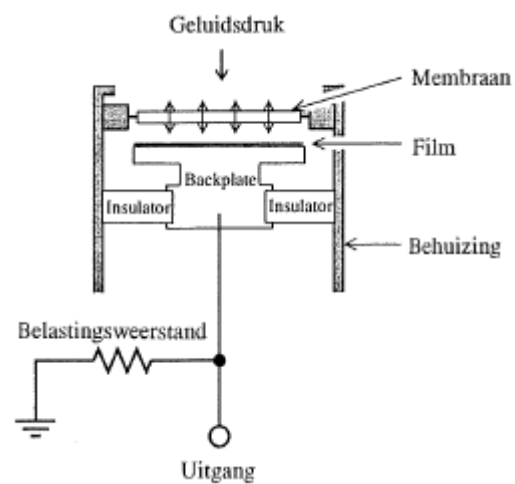


Figuur 47: Verschillende aanzichten van het meetapparaat

Microfoon

Met de UF-53A kunnen geluidsniveaumetingen worden uitgevoerd. Zoals hieronder is weergegeven bestaat deze microfoon uit vier hoofd delen: het membraan, de achterplaat, de isolator en de behuizing. Het oppervlak van de achterplaat is bedekt met een elektrisch geladen film. Wanneer het membraan wordt blootgesteld aan geluidsdruk, verandert de afstand tussen het membraan en de achterplaat. Dit veroorzaakt een verandering van de capaciteit van de condensator, die door het membraan en de achterplaat gevormd wordt. M.b.v. een belastingsweerstand wordt deze capaciteitsverandering omgezet in een spanningsverandering, die verder versterkt wordt en wordt omgezet in een geluidsniveaewaarde (dB). De microfoon en microfoonvoorversterker zijn een samengesteld geheel.

²² Gebruikshandleiding Rion NA-27



Figuur 48: Constructie van de voorgepolariseerde condensatormicrofoon

Hieronder zijn de specificaties te zien van de microfoon

Tabel 22: Specificaties microfoon UC-53A

Nominale diameter	1,27 cm
Gevoeligheid	45 mV/Pa
Frequentie karakteristiek	10 Hz – 12,5 kHz
Capaciteit	12 pF
Diafragma material	Titanium legering
Afmetingen	13,2 mm diameter x 12 mm hoogte

Bijlage 3

Bronvermogen (dB)														Opmerkingen		jaar	projectnummer
omschrijving bron	Hb	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	total	opmerkingen	jaar	projectnummer			
vrachtwagen rijden	1,5	68,8	79,1	87,8	91,9	96,5	100,2	97,5	90,5	83,6	103,8	afsprak binnen deurt					
stationaire vrachtwagen	1,5	69,2	79,1	88,4	88,5	91,1	83,4	88,3	77,5	92,1		afsprak binnen deurt					
vrachtwagen VAV	1,5	72,8	83,1	91,8	95,9	100,5	104,2	101,5	94,5	87,6	107,8						
Lossen vrachtw met stiekwagen	2	67,1	76,3	83,8	89	88,3	87,3	84,3	80,7	69,5	94,3	HP te Amerfoort door Vlaarten					
Lossen vrachtwagen container	2	70,8	85,5	81,7	87,3	88,1	87	84,4	79,9	69	94,2	gemeten door Vlaarten (lossen met kantele)					
Landdorp (hydraulisch) op en nter	1	53,2	64,7	70,6	75	87,4	82,9	80,7	76,1	60,4	89,8	Hans van Leeuwen bij Van Dorster					
paletwagen over wegedek	0,5	57,9	62,9	70,2	75,9	84,7	87,8	86,5	86,7	73,2	92,8	Hans van Leeuwen bij Van Dorster					
rijden personenauto	0,8	65,7	74,4	82	82,1	82,3	89,5	86,3	82,7	73,4	93,8	gemeten door Vlaarten bij WSN/Loodschuren					
rijdende stadsbus (rustig)	1,5	77,3	82,3	88,8	92,6	92,5	93,3	96,8	90,8	83,2	102,4						
elektrische treeler	1	55,9	68,6	77,6	82,1	84,4	84	84,4	77,7	68,6	90,4	uit metingen bij ECT door Henk de Haan	1995				
legen glascontainer	2	76,6	83,4	91	99,8	109	113,2	120,3	119,1	111,7	123,7	gemeten door Erwin (10% effectief lossen)	?				
Shovel Caterpillar 920	1,5	72,5	88,3	89,2	90,5	94,7	99,1	96,5	90,1	78,2	103,4	gemeten door Rob-Vlaarten bij Tel & Zn	1997	W.97.0311			
Mobiele kraan Liebherr 902	1,5	68,1	81,5	90,5	95,4	99,7	101,6	100,7	94,3	85,3	106,4	gemeten door Rob-Vlaarten bij Tel & Zn	1997	W.97.0312			
kinderen spelen in buitenbad	0,5	59,2	50,9	60,2	65,4	75,1	81,3	77,4	70,6	61,8	83,8	gemeten door Vlaarten bij zvenheid poelmeier					
houtbreder groot l.b.v. BSA	1,5	73,4	88,1	105,6	108,3	111,9	119,2	115,5	110,6	99,9	123,3	gemeten door Vlaarten bij Westbreken Zmeer					
houtbreder robben	1,5	25,4	74,7	93	101,5	109,1	109,6	110,3	107,5	99,1	115,6	gemeten door Vlaarten Thuis om de hoek					
blowverspreder (vents)	4	64,3	79,1	84,6	97,6	105,5	108,8	108,5	100,3	88,1	113	gemeten door Vlaarten bij Weststun bv					
blowverspreder (dieselmotor)	4	68,4	71,7	77,5	81,8	87	89,8	86,5	89	78	95,4	gemeten door Vlaarten bij Weststun bv					
gem. 8% boven en 100% motor	4	68,5	73,3	79	87,9	92,2	98,5	95,2	92,2	80,6	102,9	8% van de totale losrijd draaien de ventilatoren de motor draait alrijd					
transiarter	13	72	91,2	91,2	92,2	95,6	94,5	96,5	81,3	72,2	100,3	afsprak met Rob					
topkran	12	70,1	79,9	89,9	91,1	93,6	91,6	87,5	79,3	70,2	98,3	gemeten door Vlaarten bij Weststun bv					
dujvende kraan Barry-Majys	1	75,9	79,5	90,6	95,1	99	100	97	90,7	82,7	104,6	gemeten door Vlaarten bij Albaros					
Kleine Alarco (Cemint)	0,5	50	56,8	61,9	75,4	73,8	69	63,2	57	50	78,5	gemeten door Edward					
Alarco met twee vents (SST/AP/60N-903-40)	1,5	40,7	51,1	61	64,9	65,7	67,5	64,6	58,5	51	72,4	gemeten bij Tegelhandel Lieden door Vlaarten					
schoonsputten containers	1	56	69	83	89	93	99	99	88	81	101,4	afsprak bij deurt					
schoonsputten auto's (lage druk)	1	42	47,3	65,2	70,2	73,4	76,7	86,5	80,8	76,4	85,9	gemeten door Vlaarten bij Nohel					
stoftuigen auto's	1,5	49	56	65	71	79	83	86	83	75	89,7	gemeten door Vlaarten bij Nohel					
rijden tren over teren	1	73,3	83,6	92,3	96,4	101	104,7	102	95	88,1	108,3	v=5 km/h, Lw = 103 + (102+ 10log(wagon))	113,7609	114,1			
aardel wagons	15	79,1	89,4	98,1	102,2	106,8	110,5	107,8	100,8	95,9	114,1						
Hydraulische perscontainer	1,2	40,6	55,3	66,5	76,3	81	79,4	71,4	69,8	60,5	84,9	gemeten door Vlaarten bij DSB Den Haag					
Storten in een vrachter van grond	2,5	64,4	78,1	92,6	97,2	99,5	107,6	105,4	105,3	99,3	112	gemeten door Vlaarten bij Nlehm Beverwijk					
demping na beladen met robber	10	dB															
Laden vrachtwagen bij de PTT Rijswijk																	
meting 1	1,5	50,8	63,5	74,5	79,3	83,2	85,7	84,1	83,4	76	91,3	gemeten bij de PTT te Rijswijk					
meting 2	1,5	46,8	56,7	62,5	67,9	71,9	74,5	72,8	69,2	62,1	79,1						
meting 3	1,5	52,6	65,8	77,4	83,3	91,5	89,7	86,6	81,1	73,2	95,3						
gemiddeld	1,5	50,7	63,4	74,5	81,6	87,4	88,6	81,7	80,7	73,2	92						
rijden PTT kantjes op straat	1	50,6	57,5	80	83,9	90,5	88,6	81,7	76,6	69,6	93,8	gemeten bij de PTT in Rijswijk					
laaddep vrachtwagen	0,5	42,9	52,4	59,1	66,1	83,9	80,9	70,5	60,5	54,4	83,9	gemeten bij de PTT in Rijswijk					
luchthandelsinstallatie	1	61,3	68,9	72,8	75,6	82,3	83,4	81	73,2	68,1	87,8	catégorie III					
	1	53,5	61,1	65	67,8	74,5	75,6	73,2	65,4	60,3	80	catégorie I					
	1	59,5	67,1	71	73,8	80,5	81,6	79,2	71,4	66,3	86	catégorie II					
Laden vrachtwagen met pun dan v. shovel	2	69,2	77,8	87,5	94,1	98,2	99,8	99	94,6	85	104,8	gemeten door Vlaarten bij Westbreker Zmeer					

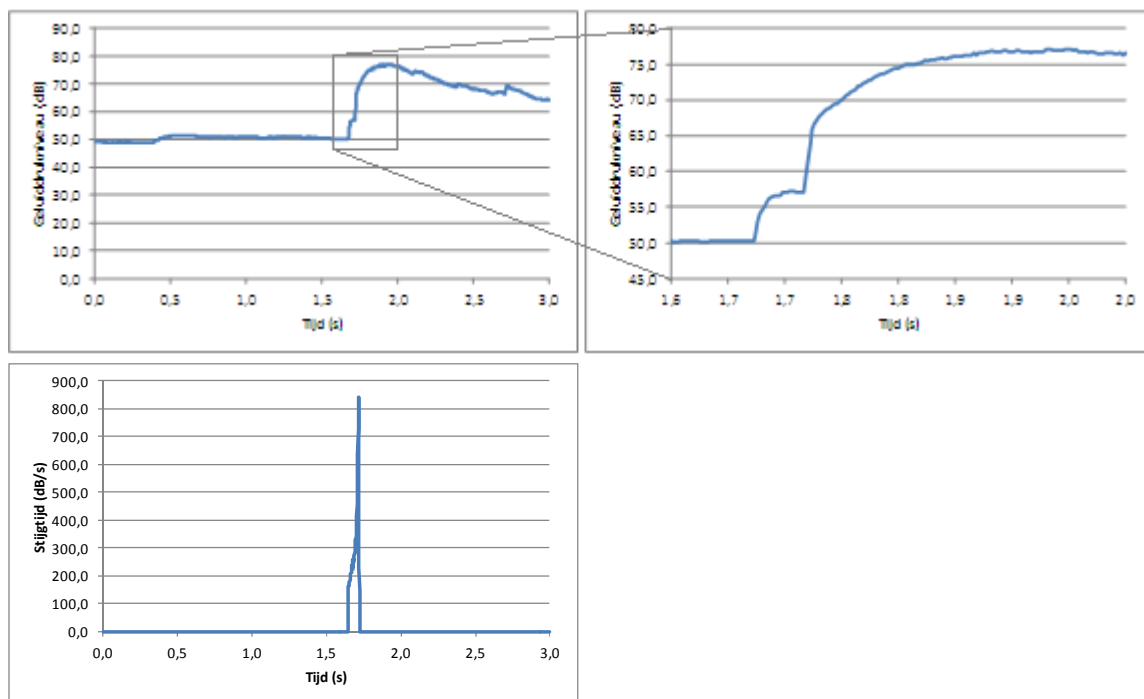
Figuur 49: Bronvermogen van verschillende geluidsbronnen

Bijlage 4

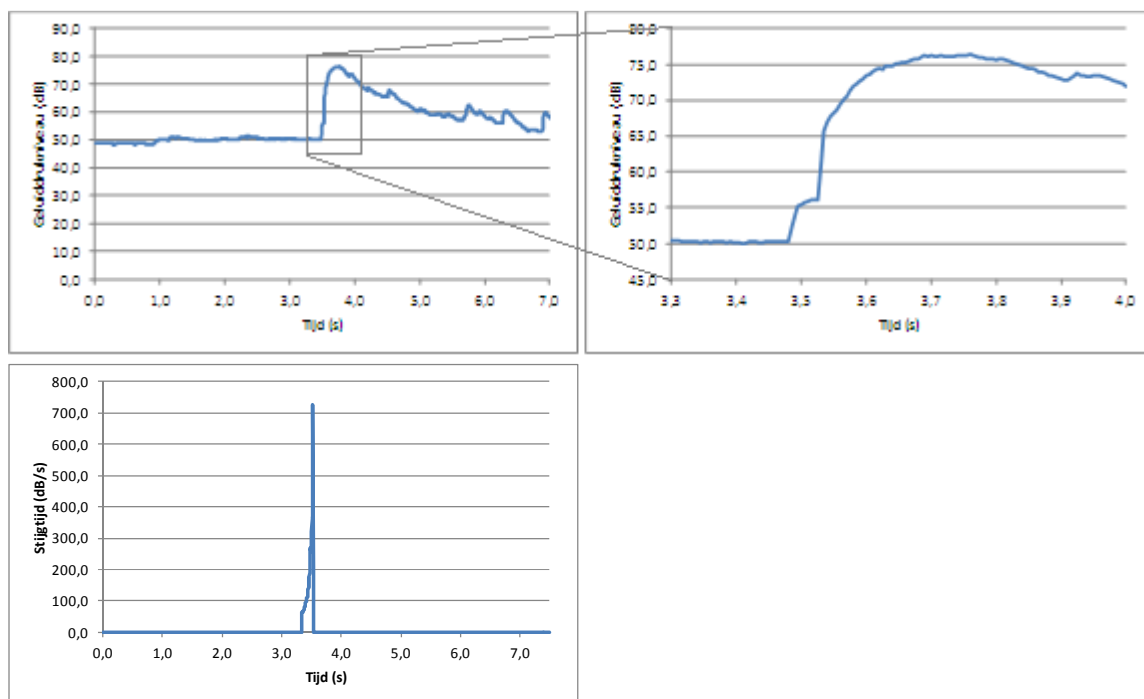
Hieronder zijn de stijgtijden bepaald van het geluid afkomstig van het afvuren van een kanonskogel, een langsrijdende trein en een kraaiende haan.

Kanonskogel

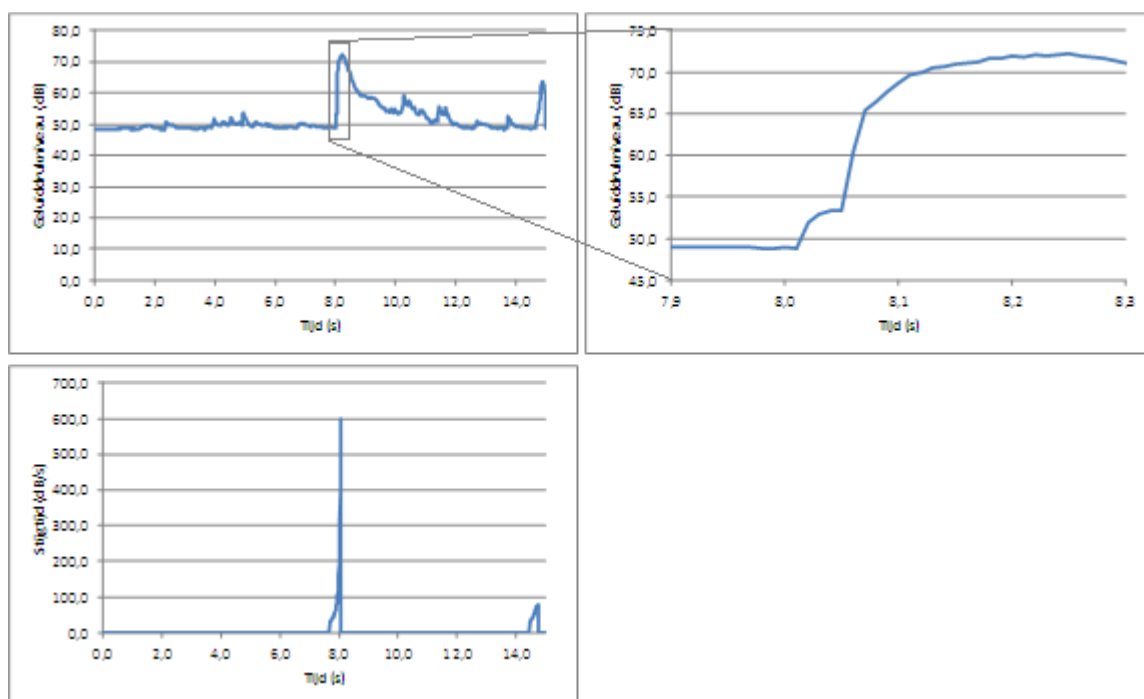
De stijgtijd van het geluid afkomstig uit een kanonskogel is bij een aantal sampleperiodes (2 ms, 5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms) bepaald. Het geluidsdrukniveau is bij alle samplefrequenties als functie van de tijd weergegeven in de volgende figuren. Onder de figuren is een grafiek weergegeven waarin de stijgtijd als functie van de tijd is geplott. Voor de geluidsdrukniveau L_p is een onnauwkeurigheid van 0,05 dB en voor de tijd t is een onnauwkeurigheid van 0,0005 s genomen.



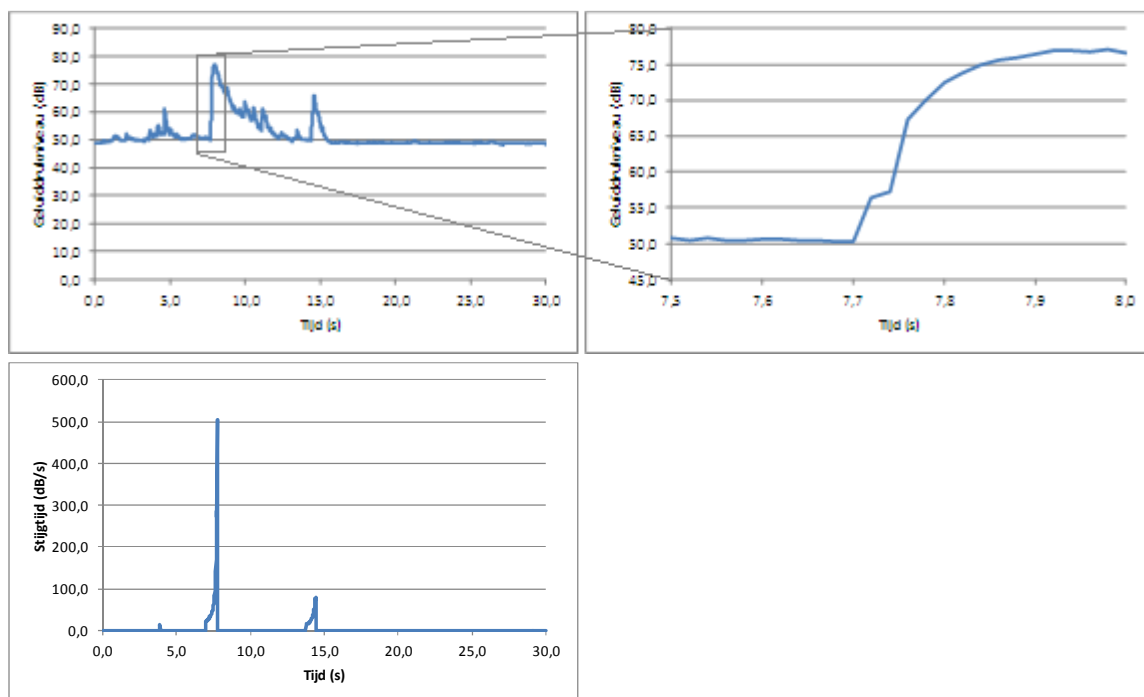
Figuur 50: Geluidsdrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 2 ms



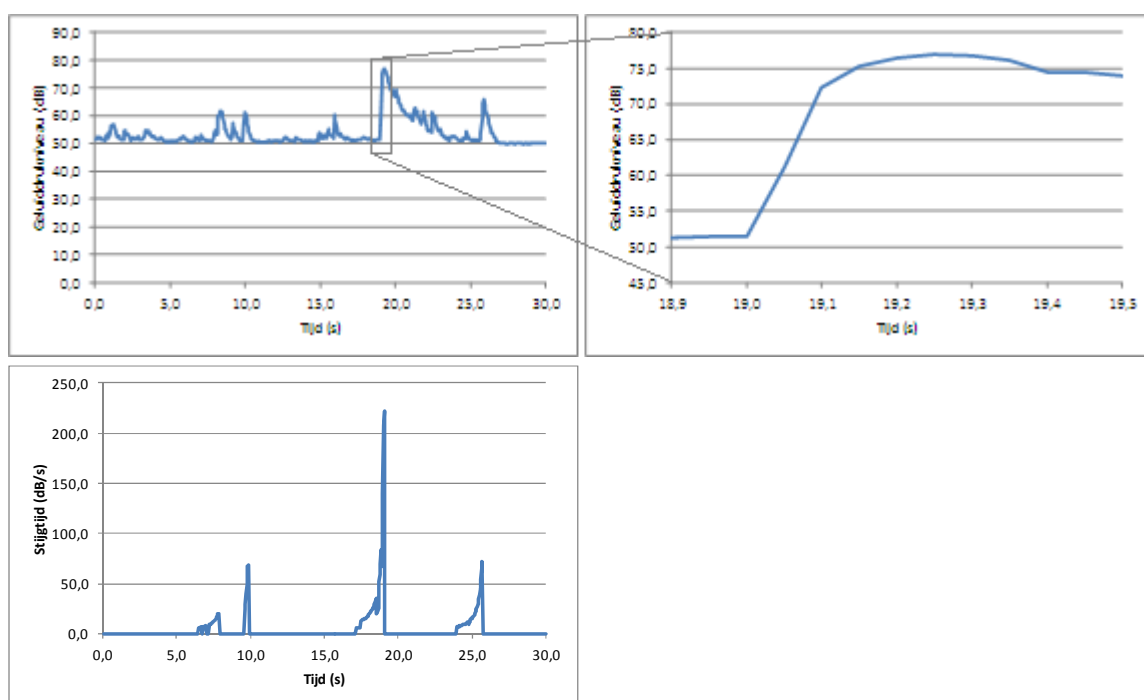
Figuur 51: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 5 ms



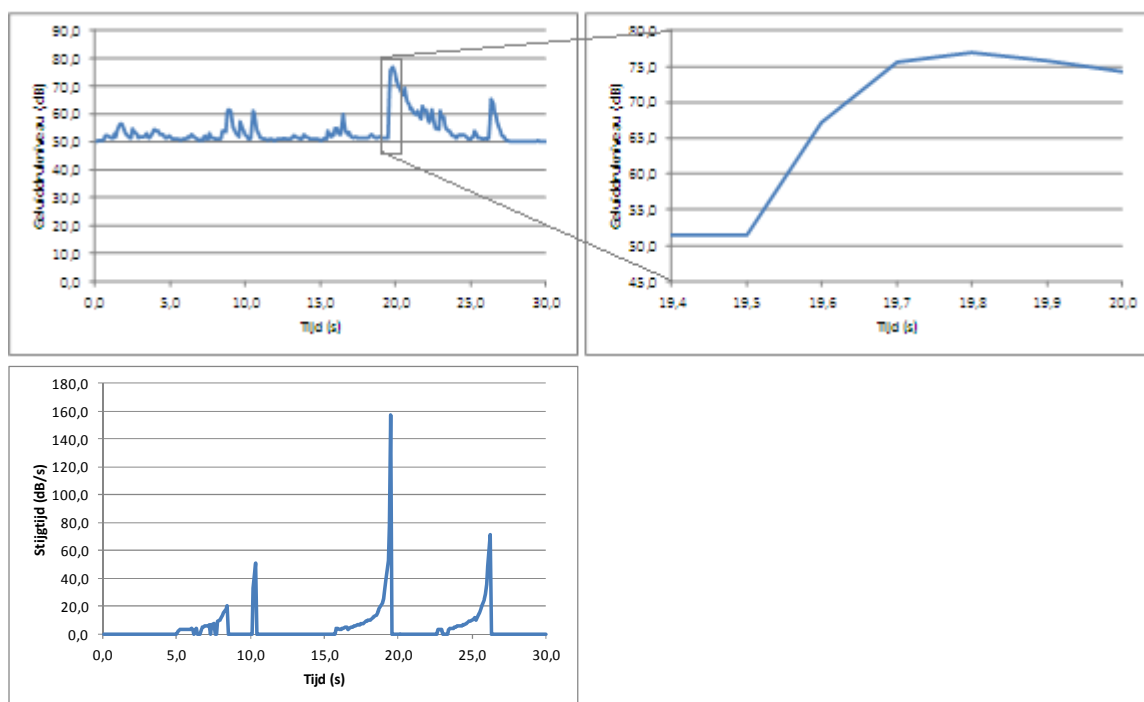
Figuur 52: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 10 ms



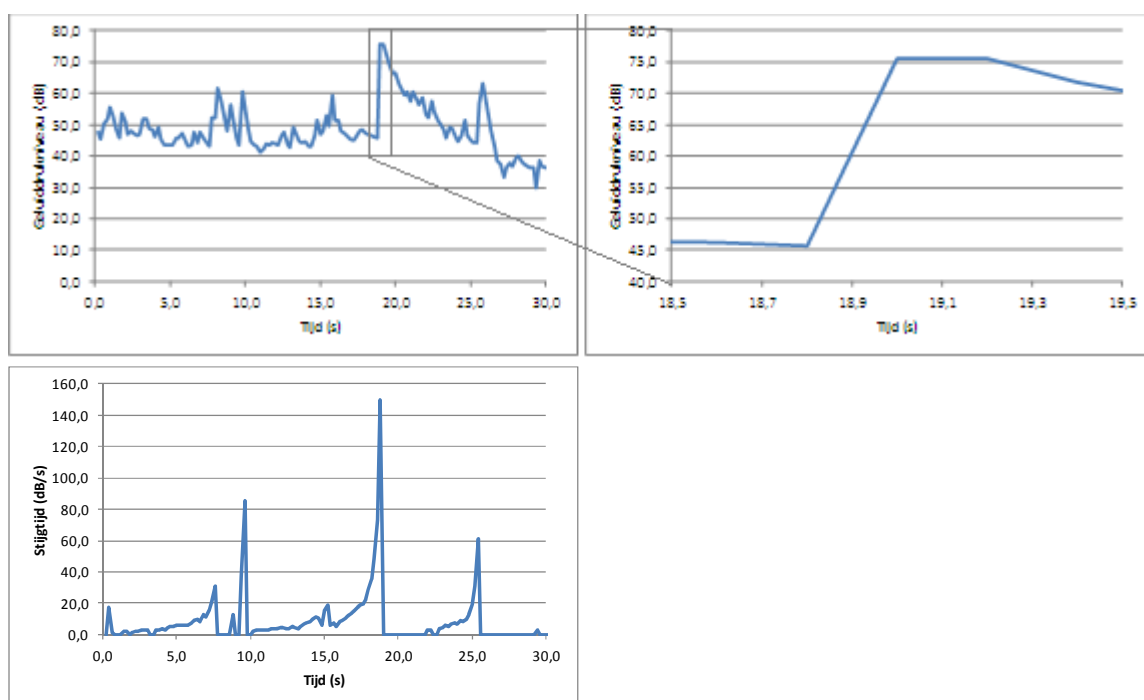
Figuur 53: Geluiddruk-niveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 20 ms



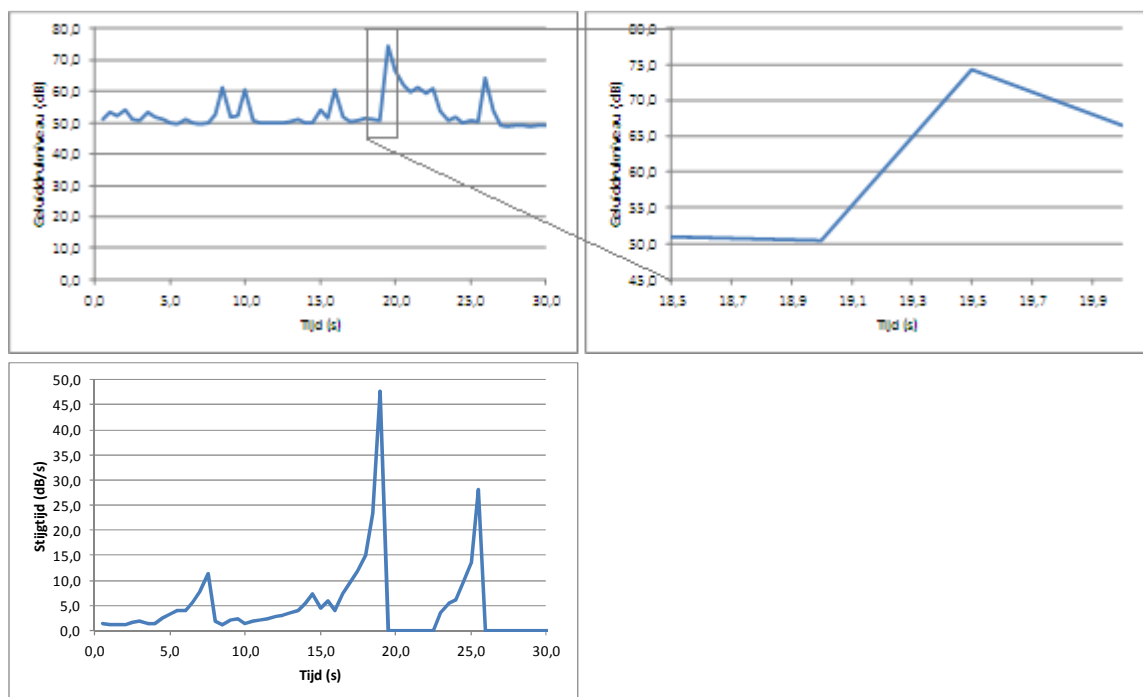
Figuur 54: Geluiddruk-niveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 50 ms



Figuur 55: Geluiddruk-niveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 100 ms



Figuur 56: Geluiddruk-niveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 200 ms



Figuur 57: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 500 ms

In deze figuren is duidelijk te zien op welk moment de kogel afgevuurd wordt. De stijgtijd is steeds vergroot weergegeven op het plaatje naast het originele spectrum (rechtsboven). Vanaf een sampleperiode van 20 ms is na de piek - die het afvuren van de kogel beschrijft - nog een piek te zien na ongeveer 6 seconden. Op het filmpje is te horen dat na zes seconden een gil te horen is. Dit verklaart deze piek. Ook de andere pieken beschrijven een verandering in geluid van de omgeving²³. In het plaatje waarin de stijgtijd als functie van de tijd is weergegeven is echter te zien dat de maximale stijgtijden van de achtergrondgeluiden niet groter zijn dan de stijgtijd van het geluid afkomstig van de kanon. Aangezien de stijgtijd gedefinieerd is als de maximale stijgtijd, zullen de andere stijgtijden niet worden meegenomen bij verder berekeningen.

Bij een sampleperiode van 2 ms, waarbij het 0,012 seconden duurt om 10,1 dB te stijgen²⁴, wordt de maximale stijgtijd volgens formule 1 als volgt berekend:

$$t_s = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{10,1}{0,012} = (8,4 \pm 0,4) \cdot 10^2 \text{ dB/s}$$

Bij alle sampleperiodes is de stijgtijd bepaald van het geluid afkomstig van de kanonskogel en de resultaten zijn in een tabel gezet. In

²³ De link van dit filmpje is te zien in de literatuurverwijzing

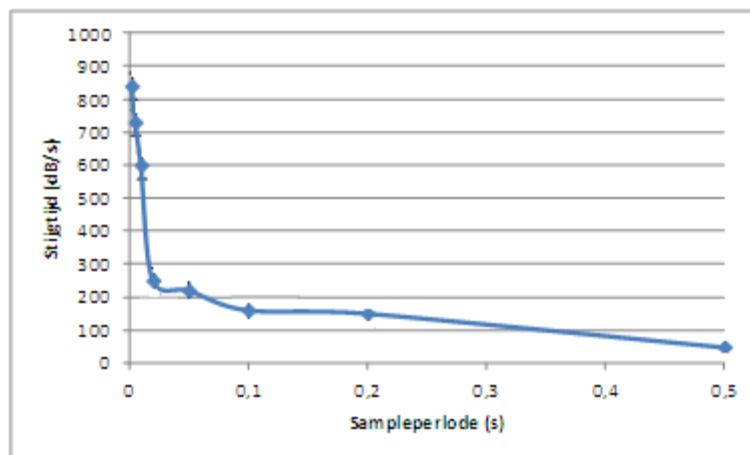
²⁴ Zie figuur 50 voor de numerieke gegevens

Tabel 23 zijn de gegevens te zien.

Tabel 23: Stijgtijden met bijbehorende sampleperiodes

(Sampleperiode $\pm 0,0005$) s	(Stijgtijd ± 39) dB/s
0,002	$8,4 \cdot 10^2$
0,005	$7,3 \cdot 10^2$
0,010	$6,0 \cdot 10^2$
0,020	$2,5 \cdot 10^2$
0,050	$2,2 \cdot 10^2$
0,100	$1,6 \cdot 10^2$
0,200	$1,5 \cdot 10^2$
0,500	48

Door naar deze tabel te kijken kan het lijken dat bij een kortere sampleperiode de stijgtijd groter wordt, maar dit is niet het geval. De stijgtijd is bij elke sampleperiode gelijk, alleen wordt de waarde van de stijgtijd nauwkeuriger als er sneller gesampled wordt. De stijgtijd $t_s = 8,4 \cdot 10^2$ dB/s is dus de meest nauwkeurige waarde. In Figuur 58 is het verband tussen de stijgtijd en de sampleperiode uitgezet in een grafiek.

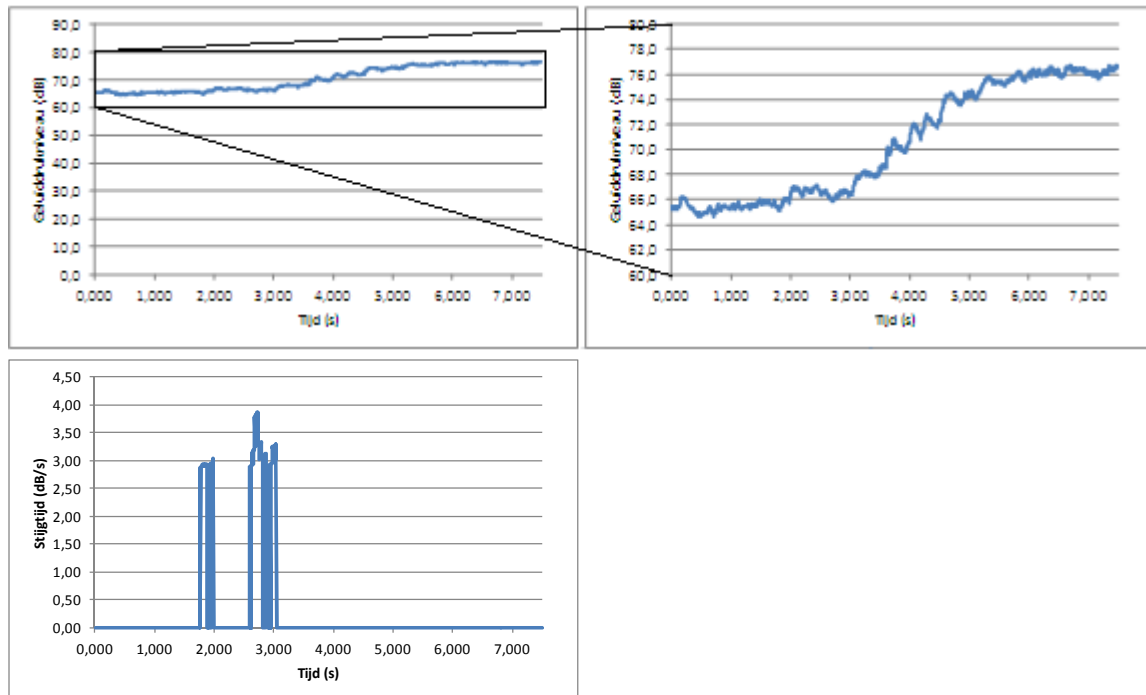


Figuur 58: Stijgtijd als functie van de sampleperiode

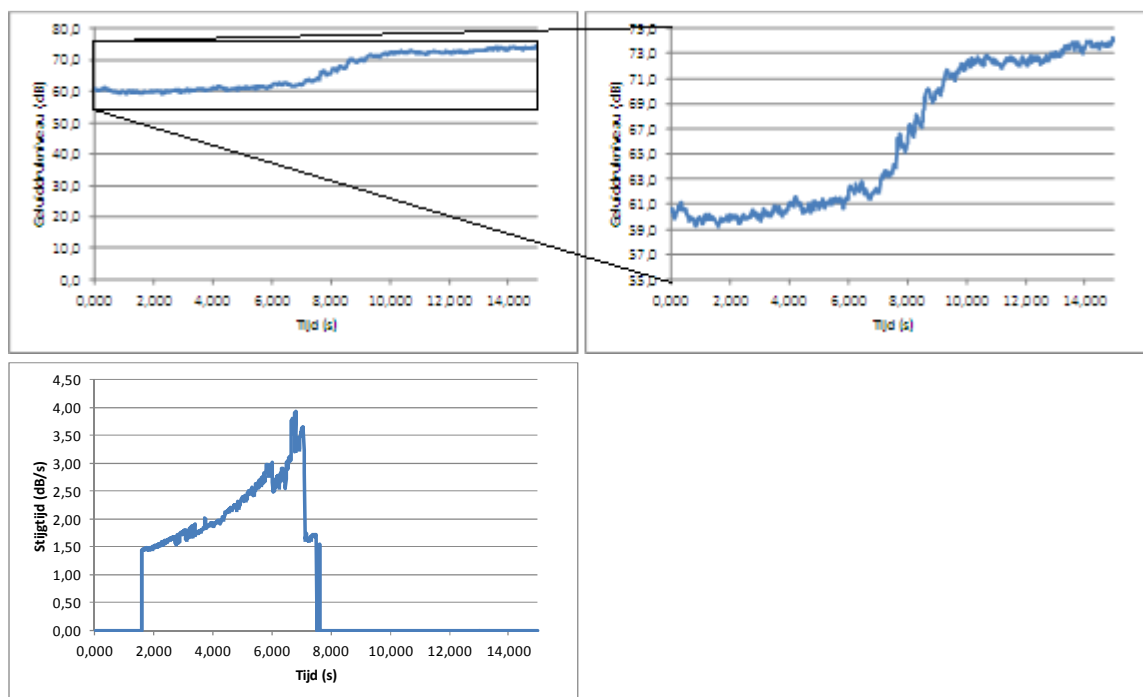
Er kan geconcludeerd worden dat als de sampleperiode verkleind wordt, het resultaat voor de stijgtijd nauwkeuriger wordt; de waarde voor de stijgtijd zal groter zijn. De verwachting is dat alle punten in een lineaire lijn liggen. Dit is het geval tot 20 ms. De drie kortste sampleperiodes hebben allemaal sampleperiodes groter dan 600 ms. Dit komt omdat door bij zulke korte sampleperiodes te meten de metingen erg nauwkeurig worden. Figuur 50, Figuur 51 en Figuur 52 laten zien dat dit komt door de vorm van de lijn. Waar bij de andere figuren sprake is van één top, is er bij deze drie figuren sprake van twee toppen. De maximale stijgtijd bij deze figuren is de stijgtijd meteen na de eerste top. Door naar de stijgtijd te kijken bij een integratietijd van 125 ms (FAST) kan geconcludeerd worden dat de waarde voor de stijgtijd tussen 150 dB/s en 160 dB/s ligt. Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 3.

Langsrijdende trein

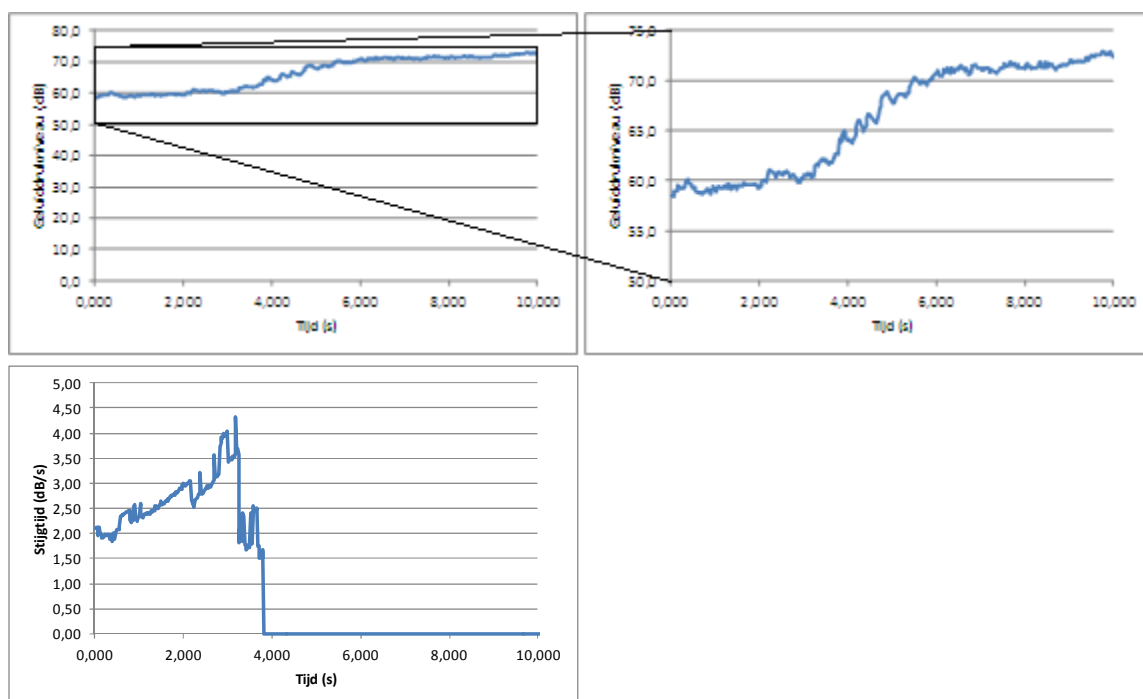
De stijgtijd van het geluid afkomstig uit een langsrijdende trein is bij een aantal sampleperiodes (5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms) bepaald. Het geluidsdrukniveau is bij alle samplefrequenties als functie van de tijd weergegeven in de figuren hieronder. Onder de figuren is een grafiek weergegeven waarin de stijgtijd als functie van de tijd is geplott. Voor de geluidsdrukniveau L_p is een onnauwkeurigheid van 0,05 dB en voor de tijd t is een onnauwkeurigheid van 0,0005 s genomen.



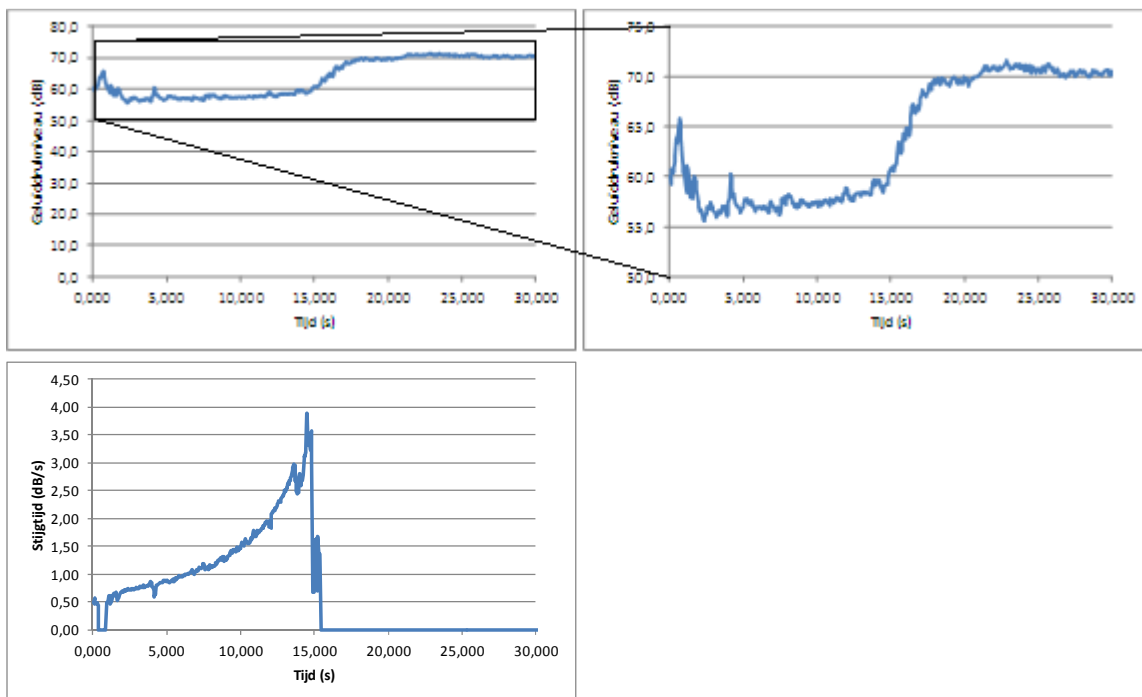
Figuur 59: Geluidsdrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 5 ms



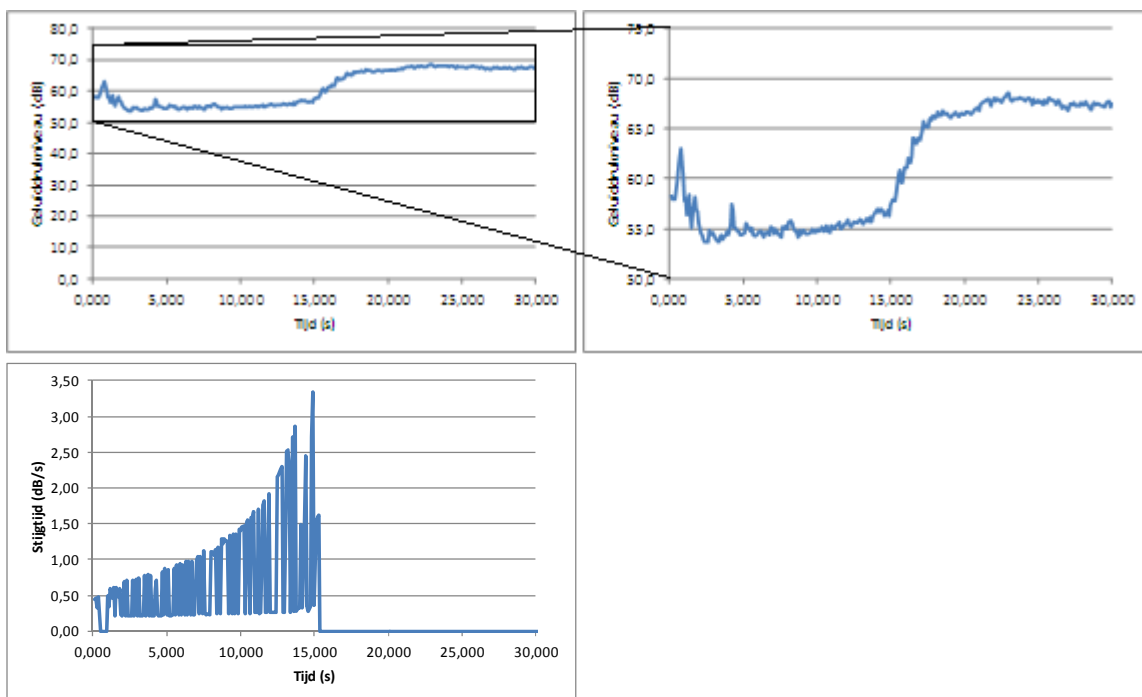
Figuur 60: Geluiddrukniveau als functie van de tijd bij een sampleperiode van 10 ms



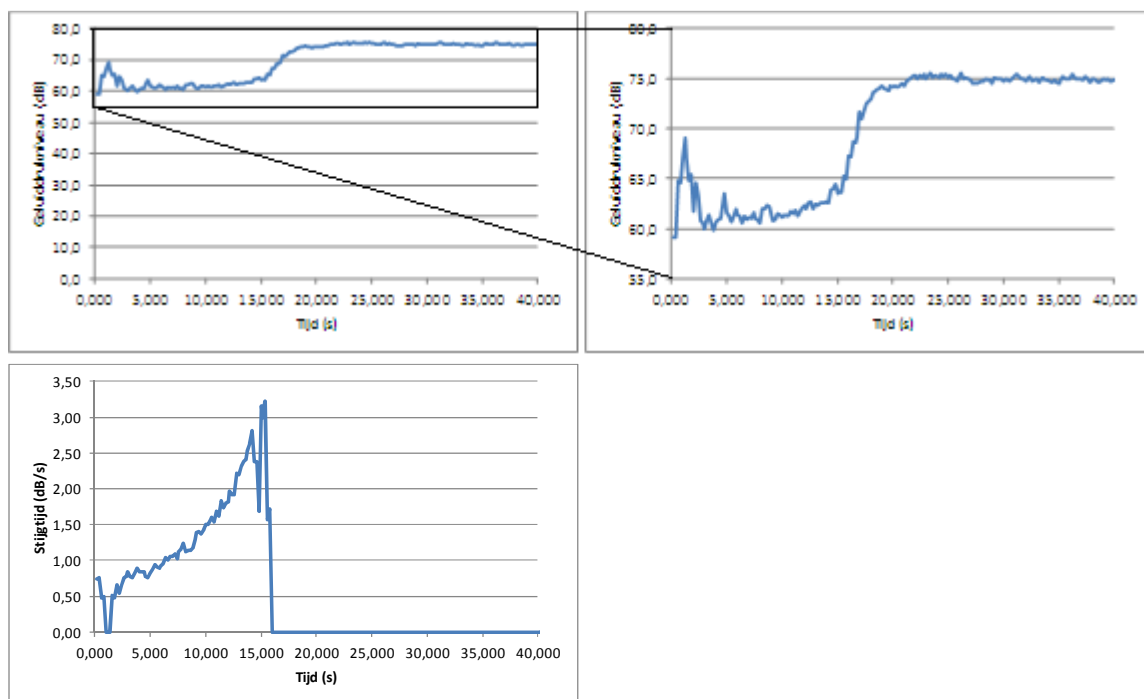
Figuur 61: Geluiddrukniveau als functie van de tijd bij een sampleperiode van 20 ms



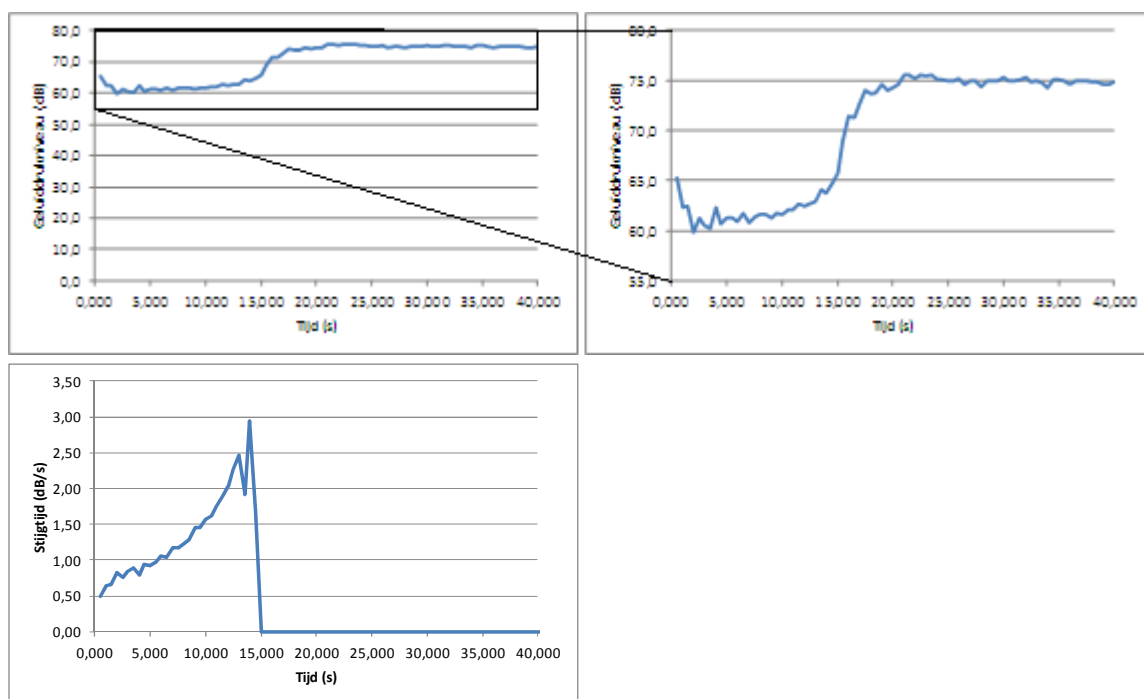
Figuur 62: Geluiddruk niveau als functie van de tijd bij een sampleperiode van 50 ms



Figuur 63: Geluiddruk niveau als functie van de tijd bij een sampleperiode van 100 ms



Figuur 64: Geluiddruk niveau als functie van de tijd bij een sampleperiode van 200 ms



Figuur 65: Geluiddruk niveau als functie van de tijd bij een sampleperiode van 500 ms

In deze figuren is duidelijk te zien op welk moment de trein voorbij rijdt²⁵. De stijgtijd is steeds vergroot weergegeven op het plaatje naast het originele spectrum (rechtsboven). Doordat het apparaat maximaal 1500 samples kan nemen en de meting dus bij een sampleperiode van 2 ms drie seconde duurt, is het niet mogelijk om het hele spectrum (van achtergrond geluid tot het maximale geluid afkomstig van de trein) in één meting te krijgen. Hierdoor is er begonnen bij een sampleperiode van 5 ms.

²⁵ De link van dit filmpje is te zien in de literatuurverwijzing

Bij een sampleperiode van 5 ms, waarbij het 2,59 seconden duurt om 10 dB te stijgen²⁶, wordt de stijgtijd volgens formule 1 als volgt berekend:

$$t_s = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{10}{2,59} = (39,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ dB/s}$$

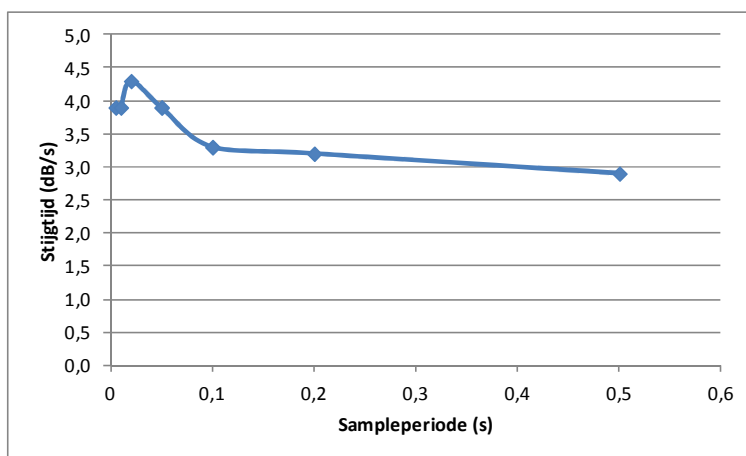
Bij alle sampleperiodes is de stijgtijd bepaald van het geluid afkomstig van de langsrijdende trein en de resultaten zijn in een tabel gezet. In Tabel 24 zijn de gegevens te zien.

Tabel 24: Stijgtijden met bijbehorende sampleperiodes

(Sampleperiode $\pm 0,0005$) s	(Stijgtijd $\pm 2,0 \cdot 10^{-2}$) dB/s
0,005	3,9
0,010	3,9
0,020	4,3
0,050	3,9
0,100	3,3
0,200	3,2
0,500	2,9

Op het filmpje is te zien dat het circa 20 seconden duurt voordat het geluidniveau afkomstig van de trein maximaal is. Dus ook de metingen van 5 ms ($0,005 \times 1500 \text{ samples} = 7,5 \text{ s}$) en 10 ms ($0,010 \times 1500 \text{ samples} = 15 \text{ s}$) zijn te kort om het maximale geluidniveau te bereiken. In Figuur 59 en Figuur 60 is dit inderdaad zichtbaar. Dit verklaart waarom in Tabel 24 de eerste twee metingen lager zijn dan de meting met een sampleperiode van 20 ms. Een sampleperiode van 20 ms ($0,020 \times 1500 \text{ samples} = 30 \text{ s}$) beslaat genoeg seconden om het maximale geluidniveau te bereiken. De stijgtijd bij een sampleperiode van 20 ms ($t_s = 4,3 \text{ dB/s}$) is dus in dit geval de meest nauwkeurige waarde.

De stijgtijd is als functie van de sampleperiode weergegeven in Figuur 66: Stijgtijd als functie van de sampleperiode bij een langsrijdende trein.



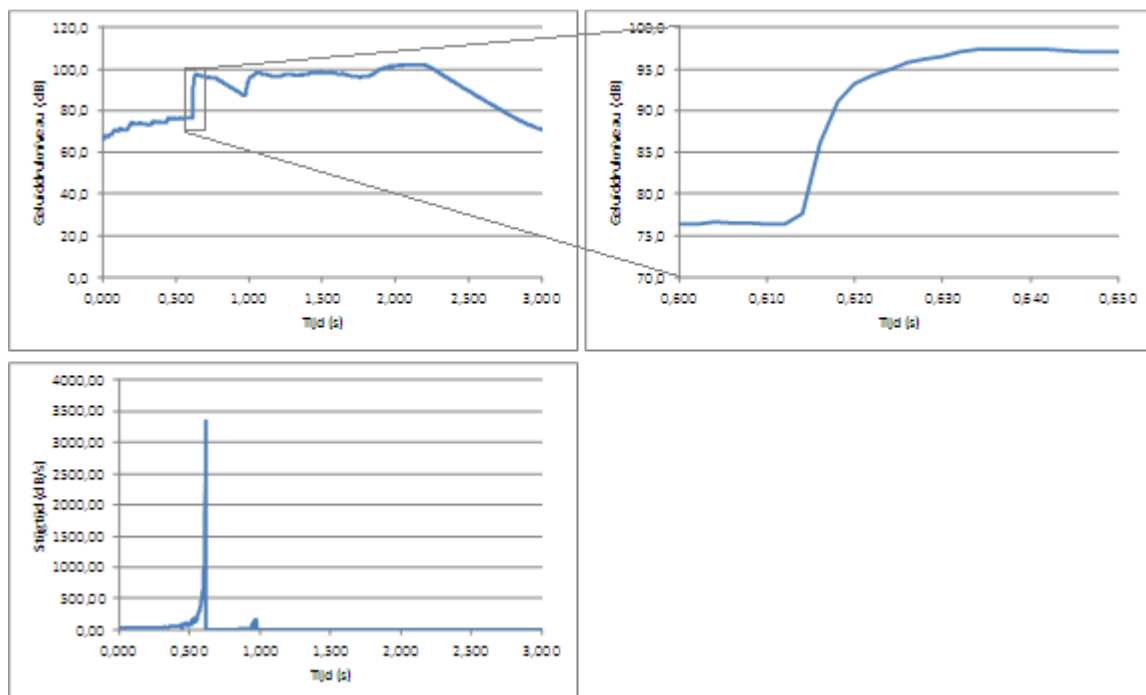
Figuur 66: Stijgtijd als functie van de sampleperiode bij een langsrijdende trein

²⁶ Zie figuur 59 voor de numerieke waarden

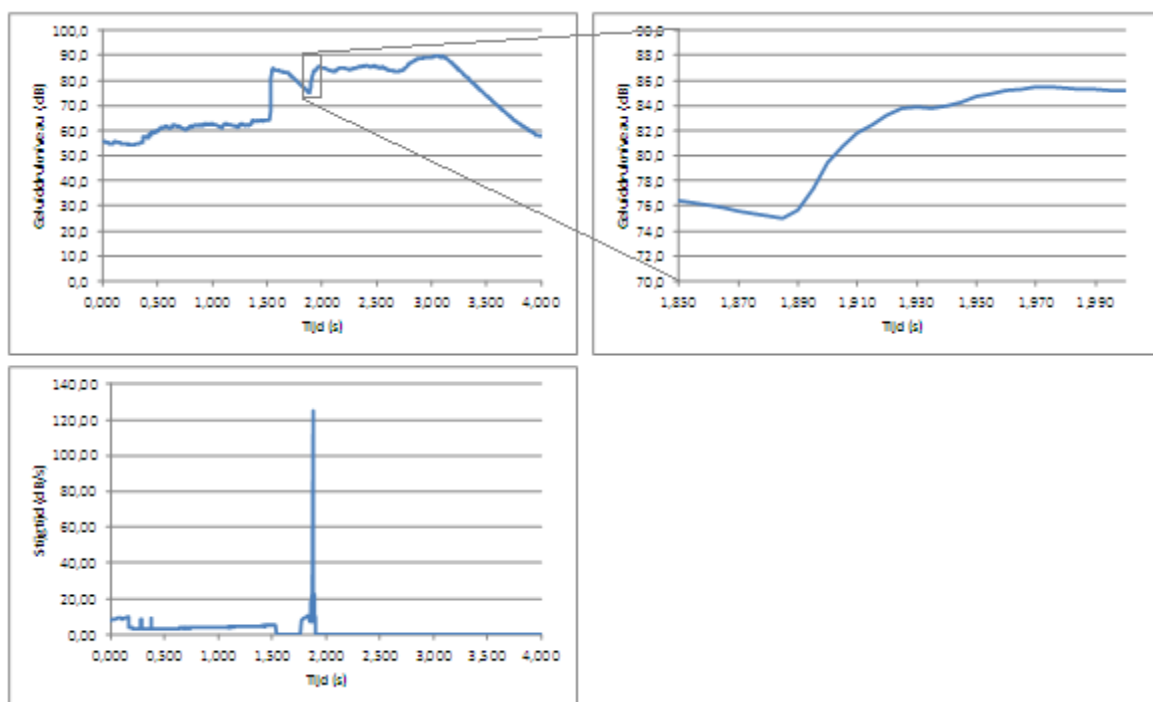
Er kan geconcludeerd worden dat de waarde voor de stijgtijd tussen 3,2 dB/s en 3,3 dB/s ligt. Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 1.

Kraaiende haan

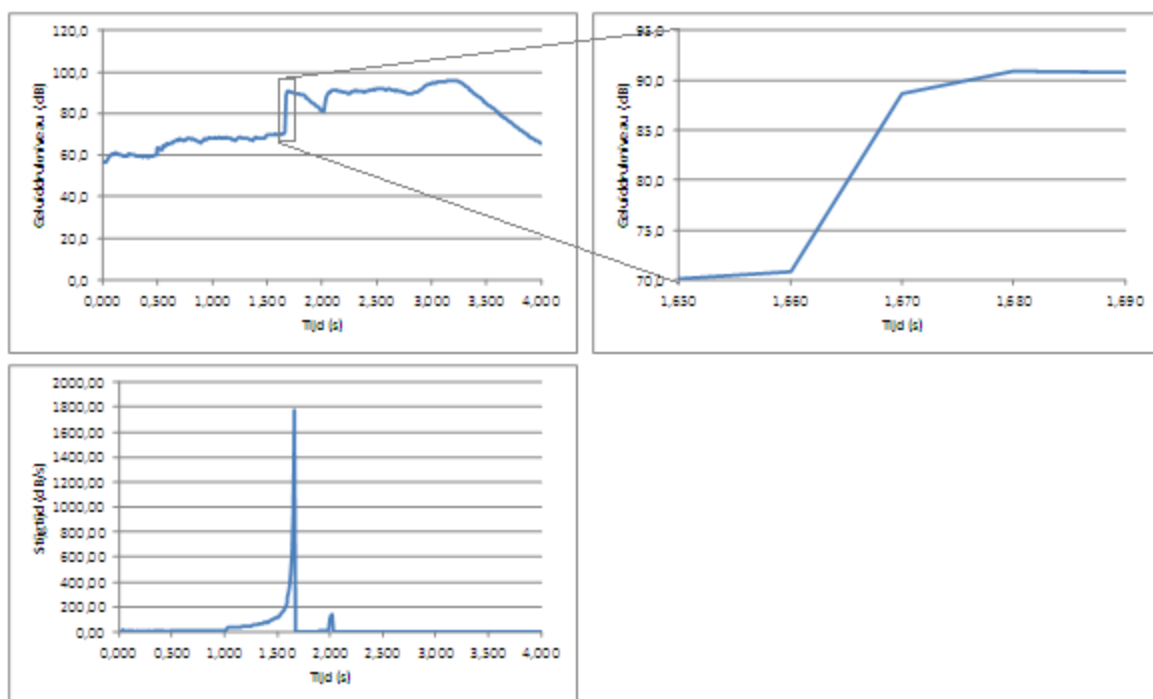
De stijgtijd van het geluid afkomstig van een kraaiende haan is bij een aantal sampleperiodes (2 ms, 5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms) bepaald. Het geluidsdruk niveau is bij alle samplefrequenties als functie van de tijd weergegeven in de volgende figuren. Onder de figuren is een grafiek weergegeven waarin de stijgtijd als functie van de tijd is geplott. Voor de geluidsdruk niveau L_p is een onnauwkeurigheid van 0,05 dB en voor de tijd t is een onnauwkeurigheid van 0,0005 s genomen.



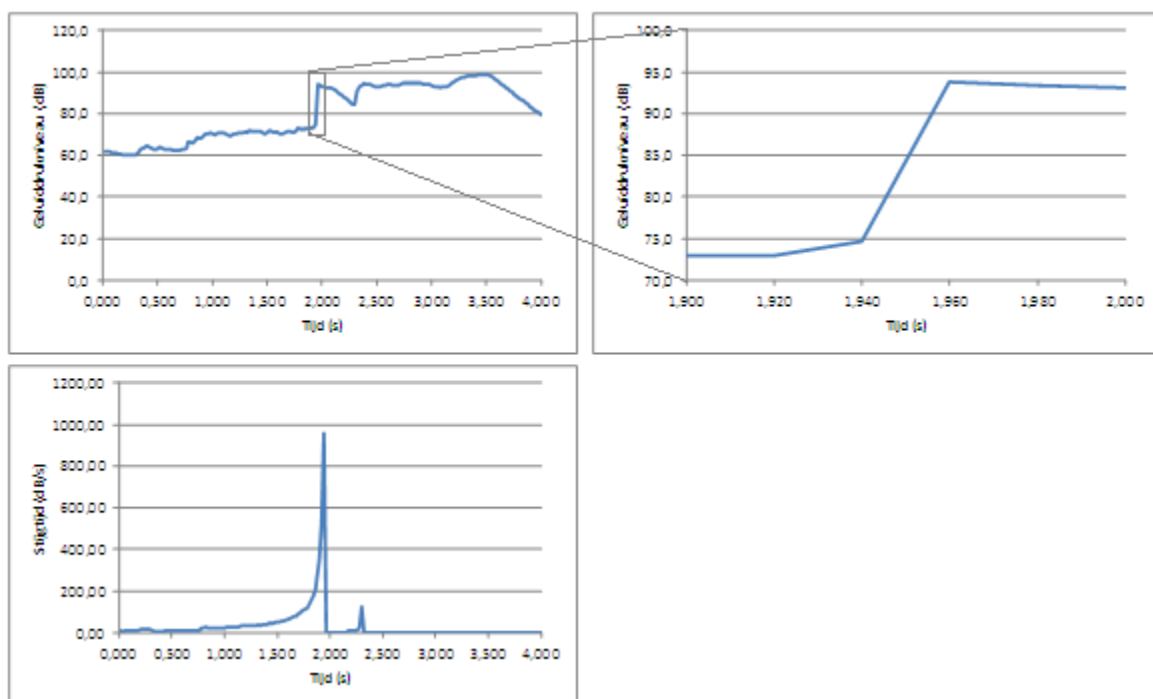
Figuur 67: Geluidsdruk niveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 2 ms



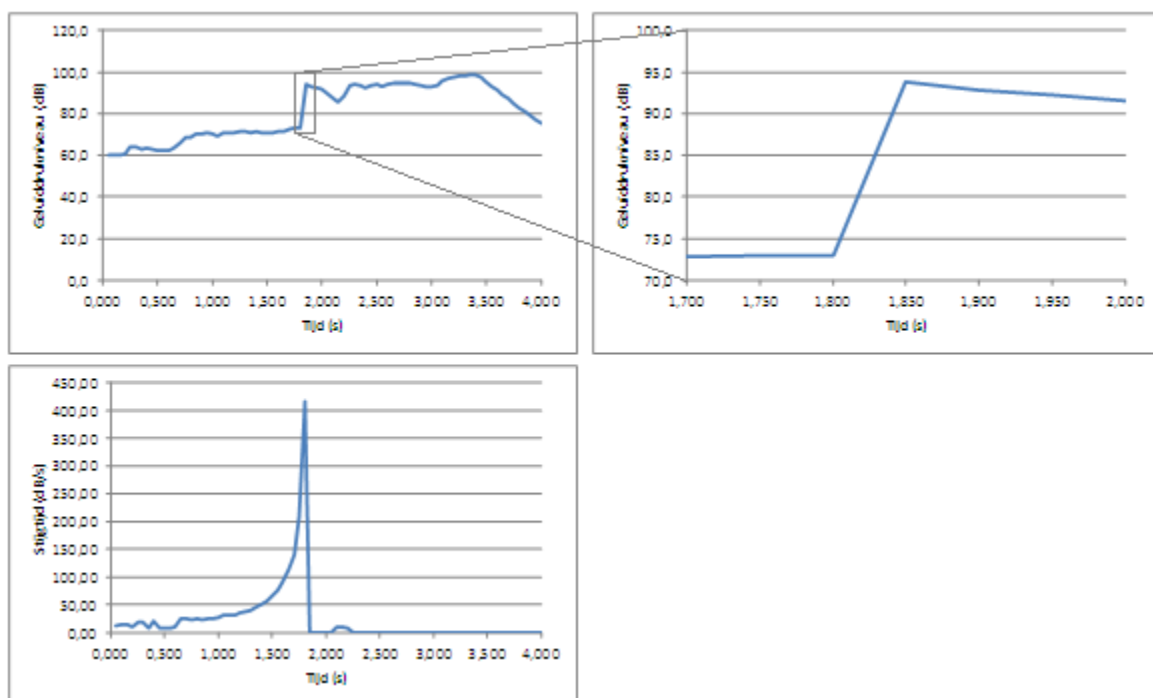
Figuur 68: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 5 ms



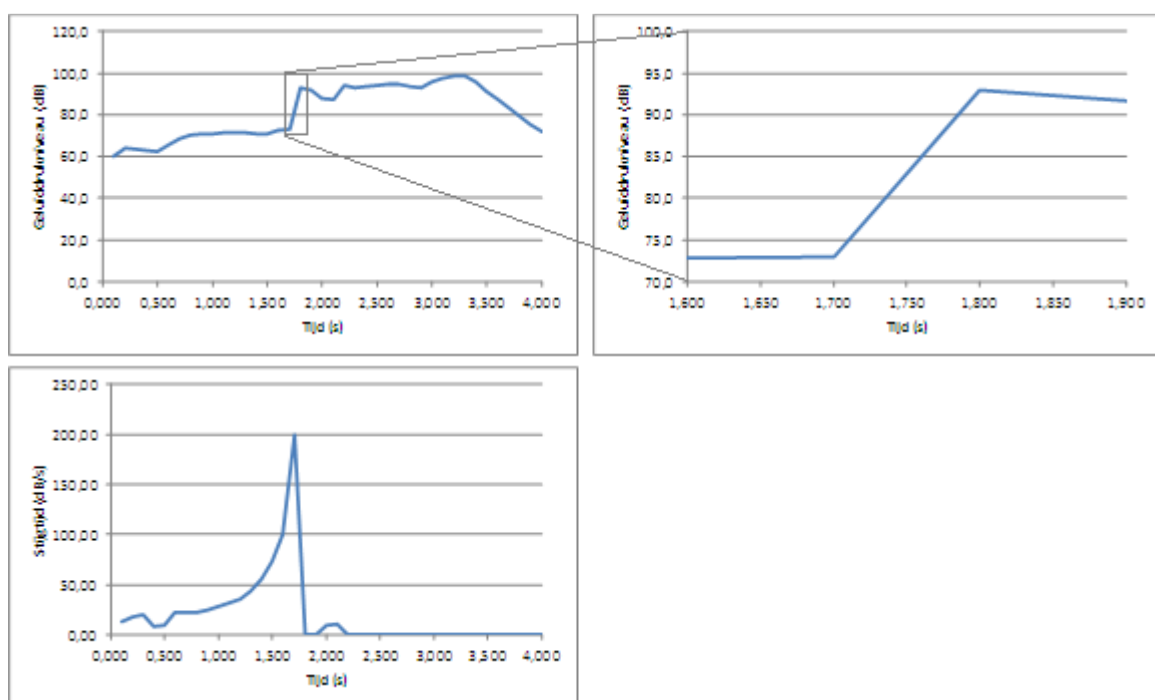
Figuur 69: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 10 ms



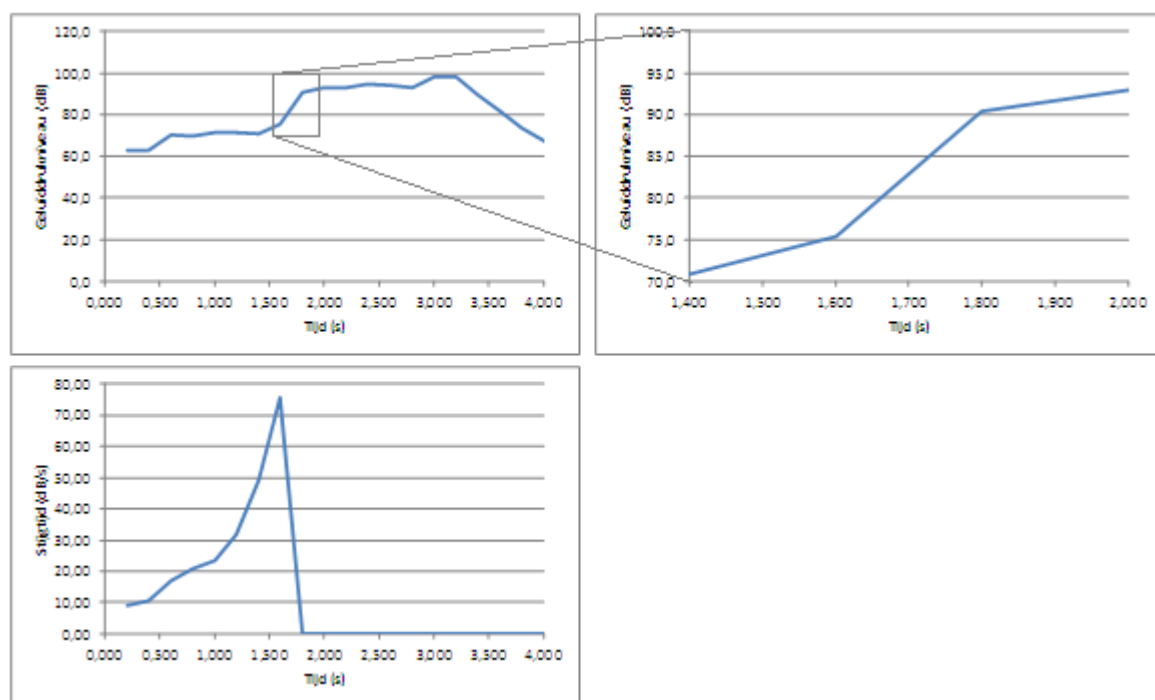
Figuur 70: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 20 ms



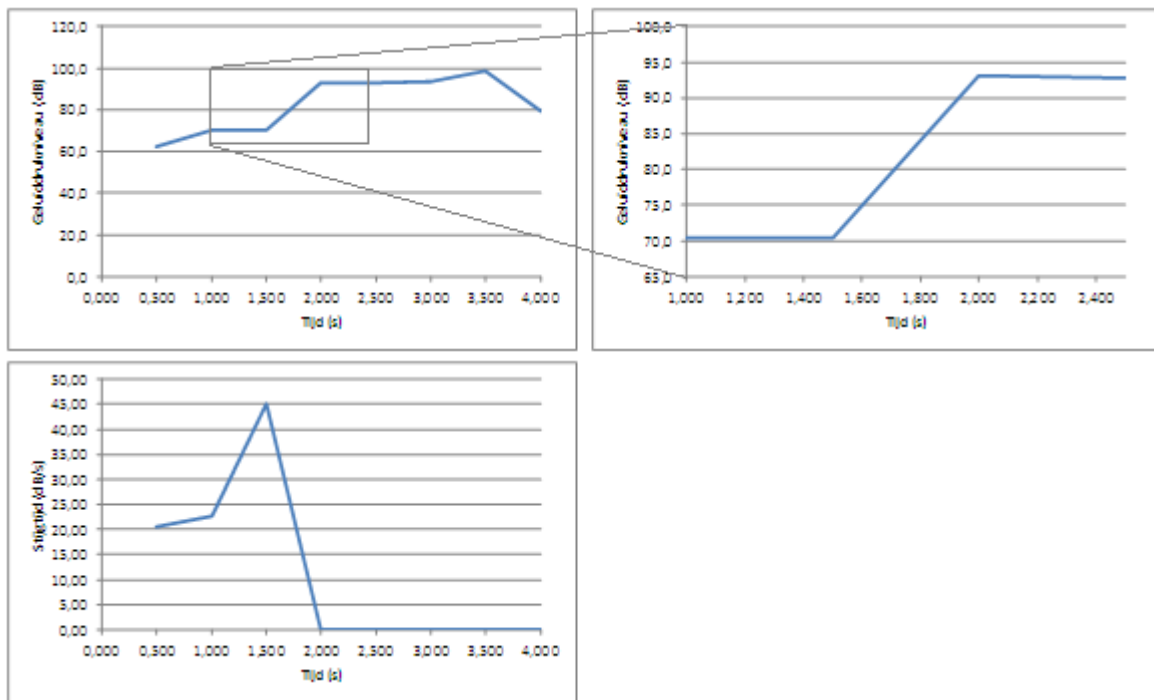
Figuur 71: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 50 ms



Figuur 72: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 100 ms



Figuur 73: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 200 ms



Figuur 74: Geluiddrukniveau en stijgtijd als functie van de tijd bij een sampleperiode van 500 ms

In deze figuren is duidelijk te zien op welk moment de haan kraait. De stijgtijd is steeds vergroot weergegeven op het plaatje naast het originele spectrum (rechtsboven). In het plaatje waarin de stijgtijd als functie van de tijd is weergegeven is echter te zien dat stijgtijden van de achtergrondgeluiden niet groter zijn dan de stijgtijd van het geluid van de kraaiende haan.

Bij een sampleperiode van 2 ms, waarbij het 0,004 seconden duurt om 13,4 dB te stijgen²⁷, wordt de maximale stijgtijd volgens formule 1 als volgt berekend:

$$t_s = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{13,4}{0,004} = (3,4 \pm 0,4) \cdot 10^3 \text{ dB/s}$$

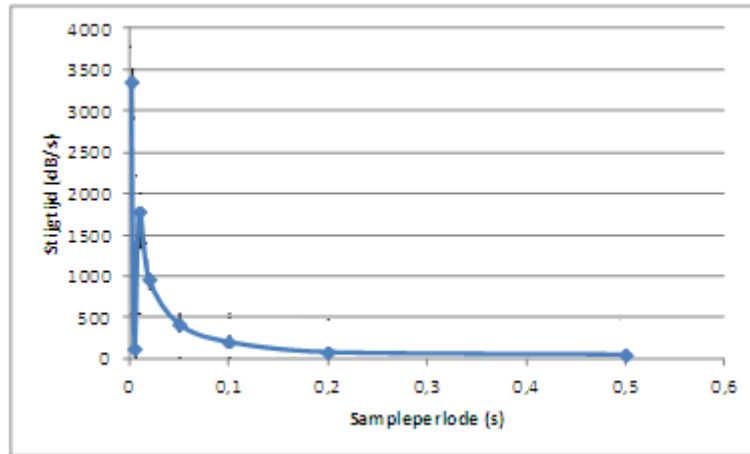
Bij alle sampleperiodes is de stijgtijd bepaald van het geluid afkomstig van de kanonskogel en de resultaten zijn in een tabel gezet. In Tabel 25 zijn de gegevens te zien.

Tabel 25: Stijgtijden met bijbehorende sampleperiodes

(Sampleperiode $\pm 0,0005$) s	(Stijgtijd $\pm 4,4 \cdot 10^2$) dB/s
0,002	$3,4 \cdot 10^3$
0,005	$1,2 \cdot 10^2$
0,010	$1,8 \cdot 10^3$
0,020	$9,6 \cdot 10^2$
0,050	$4,2 \cdot 10^2$
0,100	$2,0 \cdot 10^2$
0,200	76,0
0,500	45,0

²⁷ Zie figuur 69 voor de numerieke gegevens

Er kan geconcludeerd worden dat een steeds kleinere sampleperiode (vanaf 20 ms) ervoor zorgt dat de stijgtijdbepaling erg nauwkeurig wordt. De stijgtijd $t_s = 3,4 \cdot 10^3$ dB/s is de meest nauwkeurige waarde. In Figuur 75 is het verband tussen de stijgtijd en de sampleperiode uitgezet in een grafiek.



Figuur 75: Stijgtijd als functie van de sampleperiode

Er kan geconcludeerd worden dat de waarde voor de stijgtijd tussen 76 dB/s en 200 dB/s ligt. Deze geluidsgebeurtenis zit in klasse 3.

Bijlage 5

Hieronder is een tabel te zien uit het Hill verslag met daarin de stijgtijden van een aantal activiteiten in de industrie.

Tabel 26: Stijgtijden van geluidsgebeurtenissen van Hill - 2011

Geluidsgebeurtenis	Klasse 1	Klasse2	Klasse 3
Hameren op metaal*			X
Gritstralen			X
Lasrups wegblikken			X
Elektrisch slijpen*		X	
Metaal of steen storten In (lege) container			X
Grind en glas storten*		X	
Storten grind in lege trechter			X
Vrachtwagen rijden/ Manoeuvreren*	X		
Vrachtwagen starten		X	
Afblazen remlucht (zonder demper)			X
Afsluiten laadklep			X
Sluiten portier auto of Vrachtwagen*		X	
Klepperen lepels heftruck			X
Neerzetten/ stapelen containers			X
Losslaan van twist- lock's			X

Klasse 1: < 15 dB/s

Klasse 2: ≥15 dB/s ≤50 dB/s

Klasse 3: > 50 dB/s

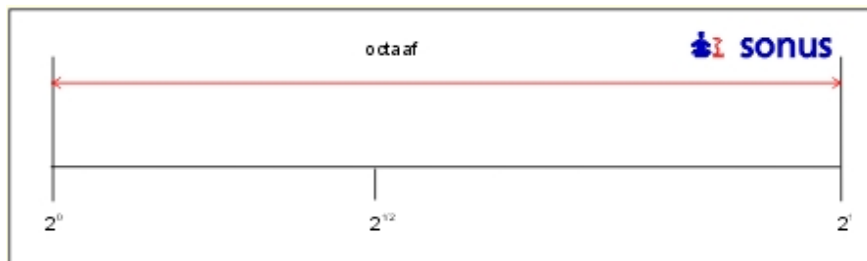
* Deze geluidsgebeurtenissen zijn gecontroleerd in dit verslag.

Bijlage 6

Middenfrequentie octaafband²⁸

In de akoestiek wordt het frequentiespectrum vaak onderverdeeld in zogenaamde frequentiebanden. De meest gebruikte onderverdeling is die in de octaafbanden. Van een octaaf is de hoogste doorgelaten frequentie tweemaal zo groot als de laagste doorgelaten frequentie. De beide grensfrequenties liggen dus een factor 2 uit elkaar.

Octaven worden benoemd met behulp van hun middenfrequentie. Deze middenfrequentie is gedefinieerd als het meetkundig gemiddelde van de hoogste en de laagste frequentie. De middenfrequentie is dus gelijk aan de wortel uit het product van de beide grensfrequenties. De onderstaande figuur geeft de verdeling van de grens- en middenfrequenties in het octaaf weer.

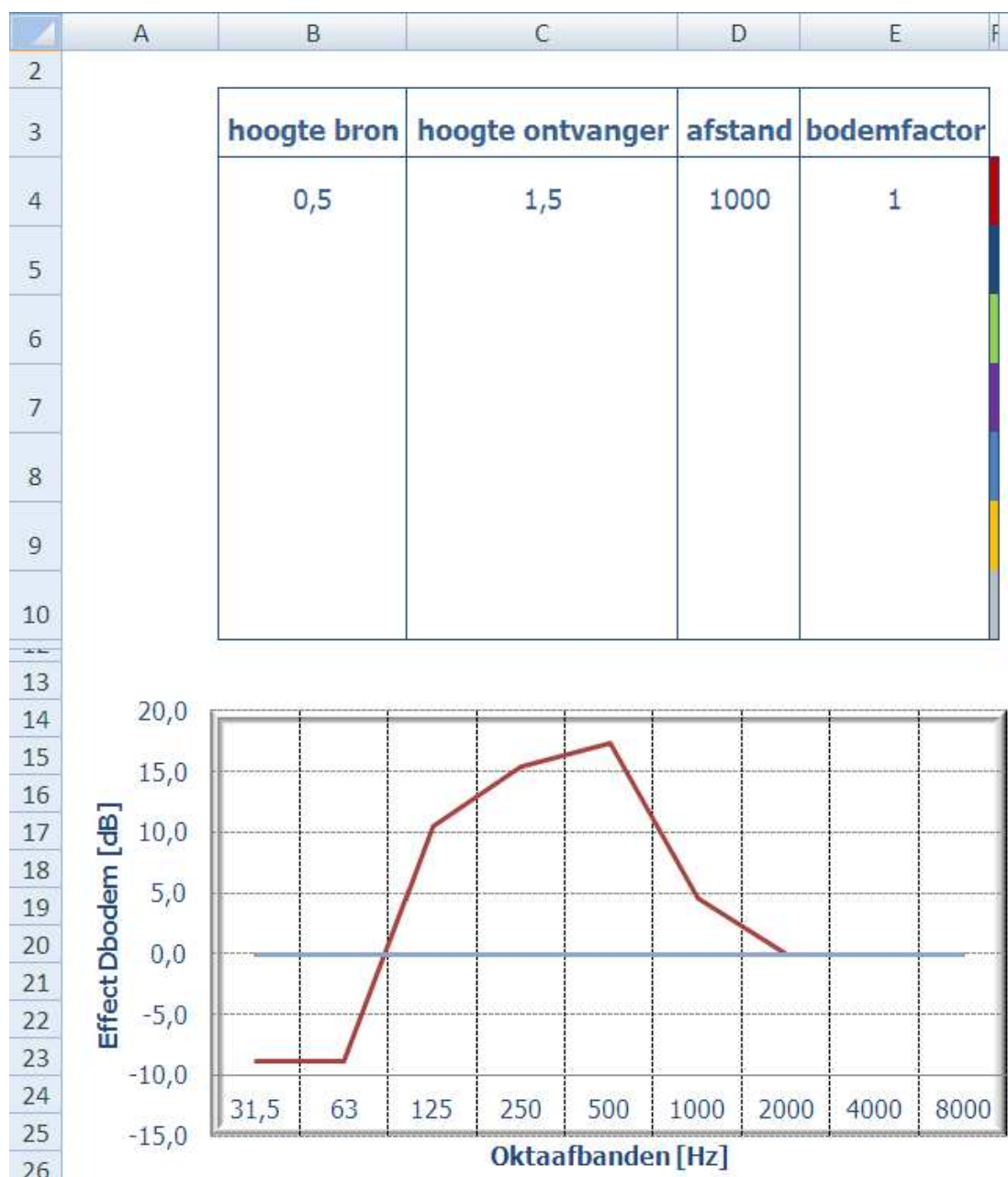


Figuur 76: De verdeling van de grens- en middenfrequenties in het octaaf

²⁸ Bron: http://www.sonus.nl/dutch/begrippen/toelichtingen/oct_tert.html

Bijlage 7

In Excel is voor dit onderzoek een programma beschikbaar waarin, als de hoogte van de bron, de hoogte van de ontvanger, de afstand en de bodemfactor bekend zijn, de bodemdemping per octaafband berekend wordt. In figuur 76 is een plaatje van het programma weergegeven. In B4, C4, D4 en E4 worden respectievelijk de hoogte van de bron, de hoogte van de ontvanger, de afstand en de bodemfactor ingevuld. Vervolgens wordt de bodemdemping per octaafband met behulp van formule 5, 6, 7, 8 en 9 berekend. In het plaatje onder de tabel is de bodemdemping als functie van de octaafband weergegeven. Met het programma Audacity kunnen deze invloeden worden toegepast als filter op het gemeten signaal.



Figuur 77: Programma in Excel waarmee de luchtdemping per octaafband berekend wordt

Bijlage 8

In deze bijlage is weergegeven hoe de onnauwkeurigheid van de stijgtijd, de luchtdemping, het geluidsniveau en het Fresnelgetal is berekend.

Stijgtijd stortend glas binnenmeting

Gegeven:

$$\begin{aligned}L &= 10,0 \text{ dB} & \Delta L &= 0,05 \text{ dB} \\t &= 0,400 \text{ s} & \Delta t &= 0,0005 \text{ s} \\t_s &= 3,9 \text{ dB/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta t_s &= \left(\frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta L}{L} \right) \cdot t_s \\ \rightarrow \Delta t_s &= \left(\frac{0,0005}{0,400} + \frac{0,05}{10,0} \right) \cdot 25 = 1,6 \cdot 10^{-1} \text{ dB/s}\end{aligned}$$

Luchtdemping bij het storten van glas (Audacity)

Gegeven:

$$\begin{aligned}\alpha &= 0,067 \text{ dB/m} & \Delta \alpha &= 0,0005 \text{ dB/m} \\r_i &= 200 \text{ m} & \Delta r_i &= 0,5 \text{ m} \\D_{lucht} &= 13,4 \text{ dB/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta D_{lucht} &= \left(\frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta r_i}{r_i} \right) \cdot D_{lucht} \\ \rightarrow \Delta D_{lucht} &= \left(\frac{0,0005}{0,067} + \frac{0,5}{200} \right) 13,4 = 0,13 \text{ dB}\end{aligned}$$

Geluidsniveau bij een gegeven afstand

Gegeven:

$$\begin{aligned}r &= 5,0 \text{ m} & \Delta r &= 0,5 \text{ m} \\L_{WR} &= 123,7 \text{ dB} & \Delta L_{WR} &= 0,05 \text{ dB} \\D_{lucht} &= 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ dB} & \Delta D_{lucht} &= \left(\frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta r_i}{r_i} \right) \cdot D_{lucht} = \left(\frac{0,000005}{0,00025} + \frac{0,5}{5,0} \right) \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ dB} \\D_{geo} &= 24,97 \text{ dB} & \Delta D_{geo} &= \left| \frac{dD_{geo}}{dr} \right| \cdot \Delta r = \frac{8\pi r \cdot 4\pi}{4\pi r^2 \ln 10} \cdot \Delta r = \frac{8\pi}{r \ln 10} \cdot \Delta r = \frac{8\pi}{5 \ln 10} \cdot 0,5 = 1,1 \text{ dB} \\D_{bodem} &= 2 \text{ dB} & \Delta D_{bodem} &= \Delta D_{b,br} + \Delta D_{b,ont} + \Delta D_{b,mid} = 0 \text{ dB} \\L_p &= L_{WR} - D_{lucht} - D_{geo} - D_{bodem} = 123,7 - 1,25 \cdot 10^{-3} - 24,97 - 2 = 96,7 \text{ dB}\end{aligned}$$

$$\Delta L_p = \Delta L_{WR} + \Delta D_{lucht} + \Delta D_{geo} + \Delta D_{bodem} = 0,05 + 1,5 \cdot 10^{-4} + 0,5 + 0 = 1,1 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned}r &= 400,0 \text{ m} & \Delta r &= 0,5 \text{ m} \\L_{WR} &= 123,7 \text{ dB} & \Delta L_{WR} &= 0,05 \text{ dB} \\D_{lucht} &= 0,1 \text{ dB} & \Delta D_{lucht} &= 2,13 \cdot 10^{-3} \text{ dB} \\D_{geo} &= 63,03 \text{ dB} & \Delta D_{geo} &= 1,36 \cdot 10^{-2} \text{ dB} \\D_{bodem} &= 3,54 \text{ dB} & \Delta D_{bodem} &= 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ dB} \\L_p &= 57,0 \text{ dB}\end{aligned}$$

$$\Delta L_p = 0,2 \text{ dB}$$

Fresnelgetal

Gegeven:

$$f = 31 \text{ Hz} \qquad \Delta f = 0,05 \text{ Hz}$$

$$\varepsilon = 0,1 \text{ m} \qquad \Delta \varepsilon = 0,05 \text{ m}$$

$$N = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{Hz}$$

$$\Delta N = \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} + \frac{\Delta f}{f} \right) \cdot N$$

$$\rightarrow \Delta N = \left(\frac{0,05}{0,1} + \frac{0,5}{31} \right) 1,8 \cdot 10^{-2} = 0,94 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{Hz}$$

Luchtdemping

Gegeven:

$$N = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{Hz} \qquad \Delta N = 0,94 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{Hz}$$

$$D_{\text{scherm}} = 5,27 \text{ dB}$$

$$\Delta D_{\text{scherm}} = \left| \frac{dD_{\text{scherm}}}{dN} \right| \cdot \Delta N = \frac{10}{(20N+3) \ln 10} \cdot 20 \cdot 0,94 \cdot 10^{-2} = 0,24 \text{ dB}$$