

Meten en beoordelen van geluid op de  
arbeidsplaats.

Door: mw.drs. W.Passchier-Vermeer

**ING-TNO**

postbus 214  
2600 AE delft

bezoekadres  
schoemakerstraat 97  
delft

telefoon 015 - 56 93 30

Uitgebreide versie van de lezing ten  
behoefte van de congresdag op 4 november  
1981 te Eindhoven van de Nederlandse  
Vereniging van Arbeids- en Bedrijfs-  
geneeskunde en de Vlaamse Wetenschap-  
pelijke Vereniging voor Arbeidsgenees-  
kunde.

Met ingang van 1 januari 1981 is de  
Gezondheidsorganisatie TNO  
opgeheven en zijn alle rechten en  
verplichtingen van deze Organisatie  
overgegaan op de Centrale Organisatie  
TNO

„Voor de rechten en verplichtingen van  
de opdrachtgever met betrekking tot  
dit rapport wordt verwezen naar de 'Al-  
gemene Voorwaarden voor onder-  
zoeks- en ontwikkelingsopdrachten  
aan TNO, 1979', zoals gedeponeerd ter  
Griffie van de Arrondissementsrecht-  
bank te 's-Gravenhage en bij de Ka-  
mers van Koophandel en Fabrieken.”

„© jaar van uitgave rapport TNO,  
's-Gravenhage.

Onverminderd de rechten van de op-  
drachtgever mag niets uit deze uitgave  
worden veelevoudigd en/of open-  
baar gemaakt worden door middel van  
druk, fotocopie, microfilm of welke an-  
dere wijze dan ook, zonder voorafgaan-  
de schriftelijke toestemming van TNO.”

# IMG-TNO

---

## DIRECTIE

J. H. Møgdels, directeur  
Ir. M. L. Kasteleijn, plv. directeur  
Ir. R. G. de Lange, onderdirecteur

---

## ONDERZOEKGEBIEDEN

**Afdeling Water en Bodem**  
Dr. ir. D. W. Scholte Ubink

**Afdeling Buitenlucht**  
Prof. ir. L. J. Brasser

**Afdeling Binnenlucht**  
Ir. P. B. Meyer

**Afdeling Geluid, Licht en Binnenklimaat**  
Ir. E. van Gunst

---

## ALGEMENE ONDERSTEUNING MILIEU-ONDERZOEK

P. E. Joosting, arts  
Ir. M. J. Leupen, woninghygiënist

**Sectie sociale wetenschappen**  
Drs. R. G. de Jong

---

## VOORLICHTING en VORMGEVING

Ir. J. A. Somers

## HOOFDSTUK 5

### METEN EN BEOORDELEN VAN GELUID

In dit hoofdstuk komen een aantal aspecten van het meten en beoordelen van geluid op de arbeidsplaats aan de orde. Verdelen we geluid in drie categorieën, dat wil zeggen constant geluid, langzaam fluctuerend geluid en impulsgeluid, dan is de ervaring dat met name het meten en beoordelen van de meetuitkomsten van impulsgeluid de meeste moeite oplevert. Daarom is daar in dit hoofdstuk ruime aandacht aan besteed. Paragraaf 5.1 behandelt het meten van geluid, waarbij voor een goed begrip uitgegaan wordt van de effectieve geluiddruk.

Tevens worden een aantal methoden aangegeven waarop effectieve geluiddrukken in de tijd gemiddeld worden.

In paragraaf 5.2 wordt ingegaan op de uitslagen van geluidmeters bij het meten van constant, fluctuerend en impulsgeluid.

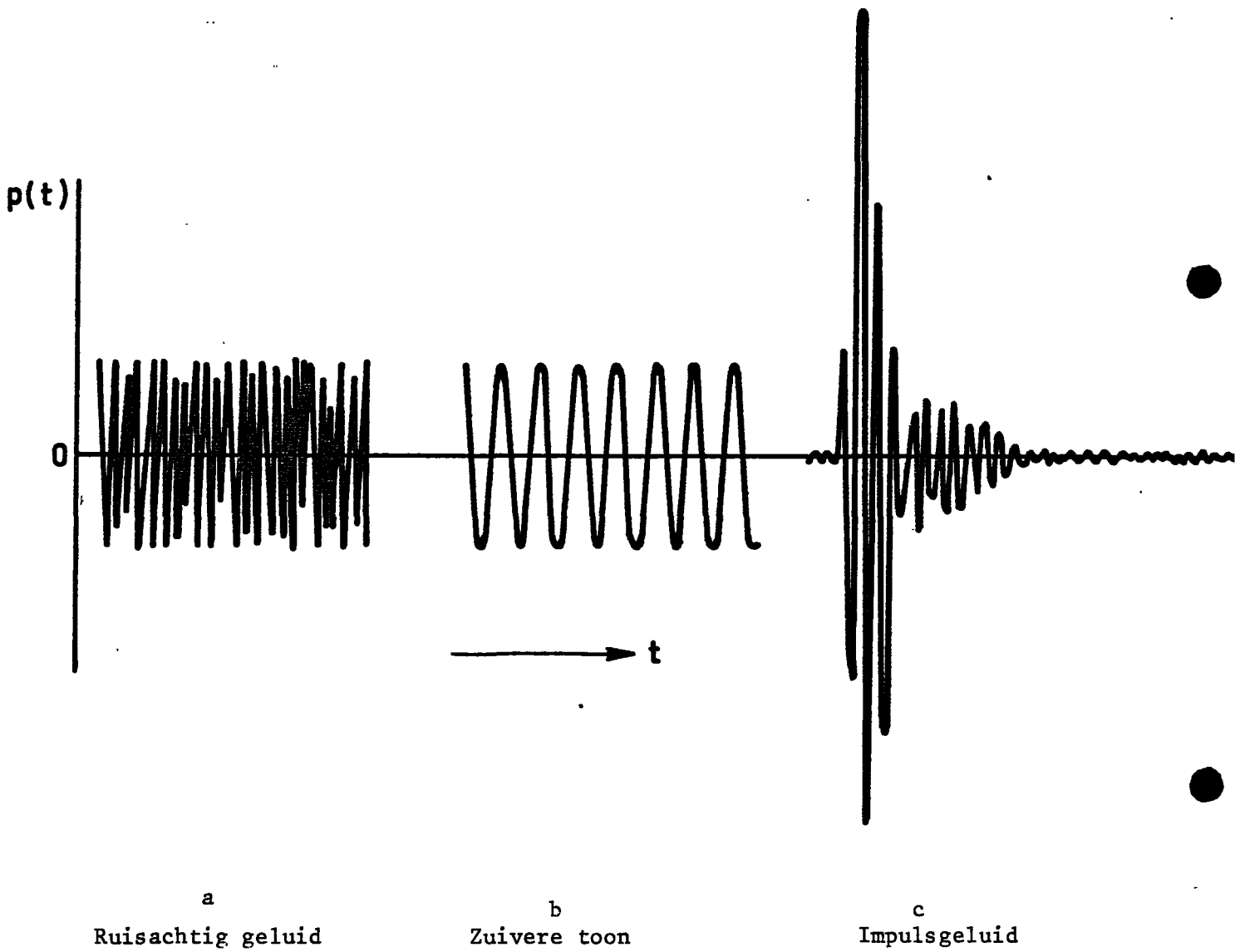
Paragraaf 5.3 behandelt het beoordelen van impulsgeluid. Het beoordelen van andersoortig geluid komt slechts terloops ter sprake. Daarbij is aangenomen dat de lezer bekend is met het feit dat langzaam fluctuerend geluid beoordeeld kan worden met het equivalente geluidniveau over een werkdag, als gehoorschade als beoordelingscriterium gekozen wordt.

#### 5.1 Meten van geluid

Geluid bestaat uit verdichtingen en verdunningen in de lucht, die zich vanaf een geluidbron in alle richtingen voortplanten. Deze verdichtingen en verdunningen gaan op een vaste plaats gepaard met variaties van de druk rond de atmosferische druk. Geluid kan derhalve fysisch beschreven worden met de variaties van de geluiddruk in de tijd. Grafisch is dit weergegeven in figuur 5.1.

Daarbij zijn de drukvariaties relatief ten opzichte van de atmosferische druk weergegeven. Figuur 5.1a geeft de geluiddrukvariaties van een ruisachtig geluid, figuur 5.1b die van een zuivere toon en in figuur 5.1c zijn de geluiddrukveranderingen van een impuls weergegeven.

Bij een zuivere toon is de geluiddruk een sinus als functie van de tijd.

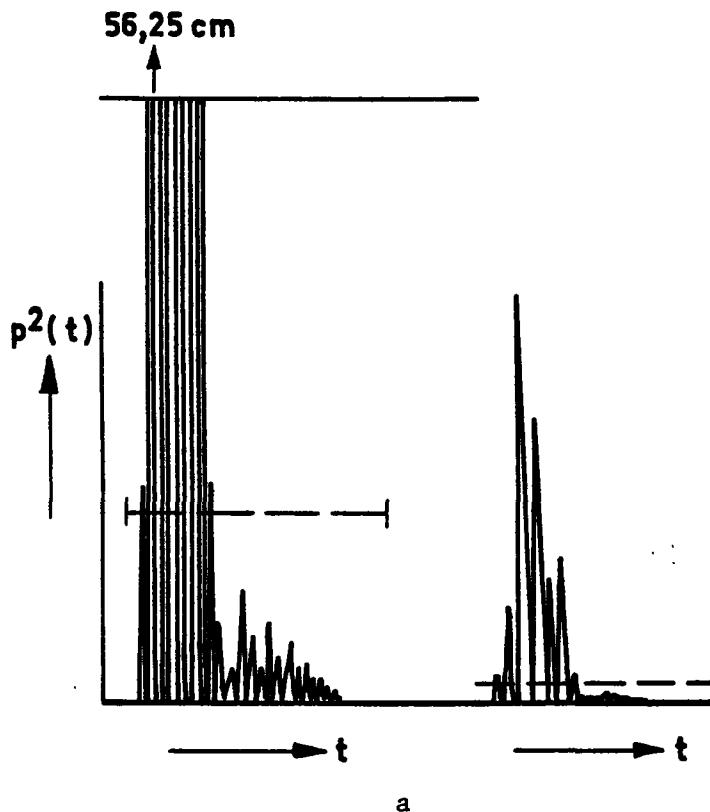


Figuur 5.1 De geluiddruk als functie van de tijd.

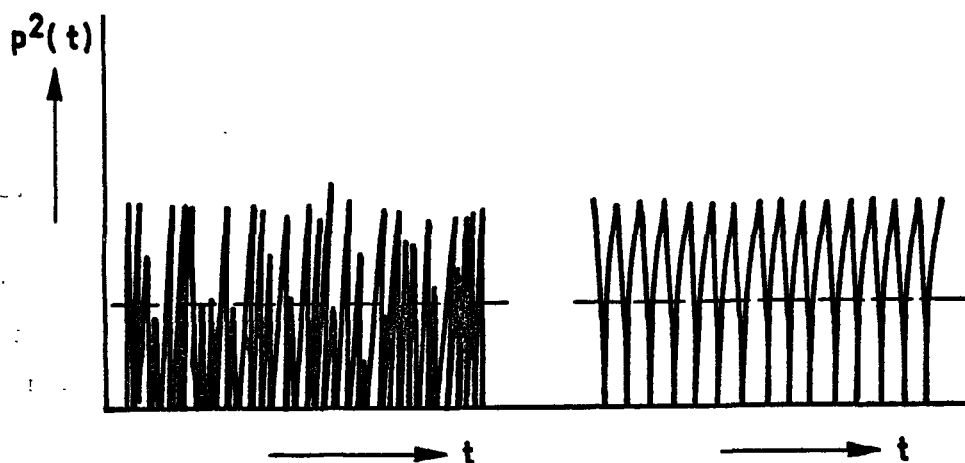
Net zoals men in de elektriciteitsleer bij wisselstromen (ook een sinus als functie van de tijd) uitgaat van de effectieve stroomsterkte en de effectieve spanning, zo gaat men in de akoestiek uit van de effectieve geluiddruk. Over het algemeen vindt bij het bepalen van een effectieve waarde van een functie een bepaalde middeling plaats van deze functie over een bepaalde tijd. Zo'n middeling is als volgt gedefinieerd:

$$x_{\text{RMS}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt \quad (5.1)$$

waarbij T de middelingsperiode is. De effectieve waarde over de periode T is dan gelijk aan de wortel van  $x_{\text{RMS}}^2$ . Uit (5.1) blijkt dat ter bepaling van de effectieve waarde het kwadraat van de functie gemiddeld wordt. In figuur 5.2 is  $p^2(t)$  voor een ruisachtig geluid, een zuivere toon en een impuls weergegeven als functie van de tijd. Tevens is  $x_{\text{RMS}}^2$  ingetekend.



Figuur 5.2 Het kwadraat van de geluiddruk als functie van de tijd. Figuur b en c zie pagina 5.4. In figuur a is in de rechter figuur de verticale schaal een factor tien kleiner dan in de linker figuur.



Figuur 5.2b

Figuur 5.2c

Geluidsdrukken worden uitgedrukt in Pascal (afgekort Pa). In de praktijk komen geluidsdrukken voor van minder dan 20  $\mu\text{Pa}$  (0,00002 Pa) tot meer dan 2 kPa (2000 Pa). Dit houdt een factor van meer dan 100 miljoen in. De resultaten van geluidmetingen worden dan ook niet uitgedrukt in effectieve geluidsdrukken, maar in een van de effectieve geluiddruk afgeleide logaritmische maat: het geluidsdrukniveau. Het geluidsdrukniveau (L) en  $X_{\text{RMS}^2}$  hangen als volgt samen:

$$L = 10 \log \frac{X_{\text{RMS}^2}}{X_0} \quad (L \text{ in dB}) \quad (5.2)$$

Daarbij is  $X_0$  het kwadraat van een effectieve geluiddruk van 20  $\mu\text{Pa}$ . De hiervoor genoemde geluiddruk van 2 kPa komt dan overeen met een geluidsdrukniveau van 160 dB en van 20  $\mu\text{Pa}$  met een geluidsdrukniveau van 0 dB.

Bij geluidmetingen worden geluidsdrukvariatië met behulp van een microfoon en een meetversterker omgezet in spanningsvariatië. Van deze spanningsvariatië worden effectieve waarden bepaald en vervolgens worden deze effectieve waarden logaritmisch omgezet in geluidsdrukniveaus.

In het algemeen kan geluid mathematisch worden voorgesteld als de

som van tonen met verschillende frequenties en effectieve geluidsdrukken. Van een samengesteld geluid kan dan ook zowel het totale geluiddrukkniveau als de geluiddrukkniveaus in bepaalde frequentiegebieden bepaald worden. Bij aaneengesloten gebieden levert dit een frequentiespectrum of geluidsspectrum op. Kiest men de frequentiegebieden een octaaf breed, dan spreekt men van een octaafbandspectrum.

Nu is ons gehoororgaan niet even gevoelig voor geluiden met hetzelfde geluiddrukkniveau, maar met verschillende frequenties. Om met deze gehoorgevoeligheid rekening te houden maakt men bij het meten van geluid vaak gebruik van een filter, dat de geluiddrukkniveaus bij de verschillende frequenties ongeveer zo waardeert in sterkte, als ons gehoor dat ook doet. Dit is een filter met een zogenaamde A-karakteristiek.

Past men bij het meten van geluid een A-filter toe, dat wil zeggen worden de geluidsdrukken volgens de A-frequentiekarakteristiek gewogen, dan verkrijgt men het geluiddrukkniveau in dB(A). In plaats van geluiddrukkniveau in dB(A) spreekt men van geluidniveau in dB(A).

Van geluid kan op diverse manieren de effectieve geluiddruk bepaald worden. De volgende vier middelingsmethoden kunnen hier genoemd worden:

1. Middeling over een lange tijd. De middelingsperiode wordt dan bijvoorbeeld gelijk genomen aan een werkdag van 8 uur.

$$X_{\text{RMS}^2(8h)} = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt \quad (5.3)$$

met T gelijk aan 8 uur.

Worden de geluidsdrukken gewogen volgens de A-karakteristiek en wordt  $X_{\text{RMS}^2(8h)}$  omgezet in een geluidniveau, dan is dit het equivalente geluidniveau ( $L_{\text{Aeq } 8h}$ ) over een werkdag.

$$L_{Aeq\ 8h} = 10 \log \frac{1}{X_0} \int_0^T p_A^2(t) dt \quad (5.4)$$

met T gelijk aan 8 uur. Het equivalente geluidrukniveau over een werkdag is in feite dus niets anders dan een in een geluidniveau omgezette effectieve geluiddruk over die werkdag.

Soms wordt voor  $L_{Aeq\ 8h}$  de term energie-equivalent geluidniveau gebruikt. Dat kan als volgt begrepen worden. Bij geluid is de gemiddelde geluidenergie die door een eenheidsoppervlak gaat, gemiddeld over een tijd T gelijk aan:

$$E/T = I = \frac{1}{\rho_0 c} X_{RMS^2}(T) \quad (5.5)$$

waarbij  $\rho_0$  en  $c$  constanten zijn, E de energie en I de gemiddelde intensiteit.

De gemiddelde geluidenergie en  $X_{RMS^2}$  zijn dus recht evenredig met elkaar.

In dit verband wordt ook wel gesproken van het "equal-energy" principe. Dit principe houdt in dat de totale geluidenergie over een werkdag bepalend is voor de resulterende gehoorschade, onafhankelijk van de verdeling van de geluidenergie over de werkdag. Vertaald naar effectieve geluiddrukken houdt het equal-energy-principe in dat de effectieve geluiddruk over een werkdag bepalend is, onafhankelijk van de verdeling van de geluiddrukken over de werkdag. Hierop wordt in het vervolg teruggekomen.

De tegenwoordig in de handel zijnde integrerende geluidmeters bepalen de effectieve geluiddruk over langere perioden, zodat deze meters het equivalente geluidniveau rechtstreeks over een langere periode kunnen geven. Ook de meeste geluidexpositiemeters (voorheen geluidsdosismeters genoemd) bepalen de effectieve geluiddruk en laten een bepaling van het equivalente geluidniveau over een werkdag toe. Met een integrerende geluidmeter wordt dus op een simpele wijze een

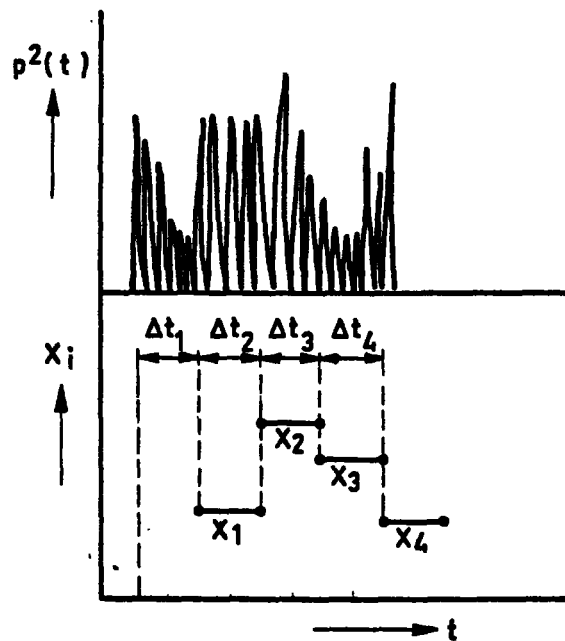


zeer vergaande middeling toegepast die resulteert in bijvoorbeeld één meetgegeven per werkdag. Bij gebruik van een integrerende geluidmeter in geval van impulsgeluid dient er wel op gelet te worden dat het dynamisch meetbereik van het meetinstrument groot genoeg is.

## 2. Stapsgewijze middeling

Bij deze vorm van middeling worden de effectieve geluiddrukken per in de tijd aaneensluitende tijdjes ( $\Delta t$ ) bepaald.

In de loop van de tijd verkrijgt men op die wijze op elkaar volgende waarden van de effectieve geluiddruk. Dergelijke series waarnemingen worden wel gebruikt voor statistische analyses. Grafisch ziet een stapsgewijze middeling eruit als gegeven in figuur 5.3.

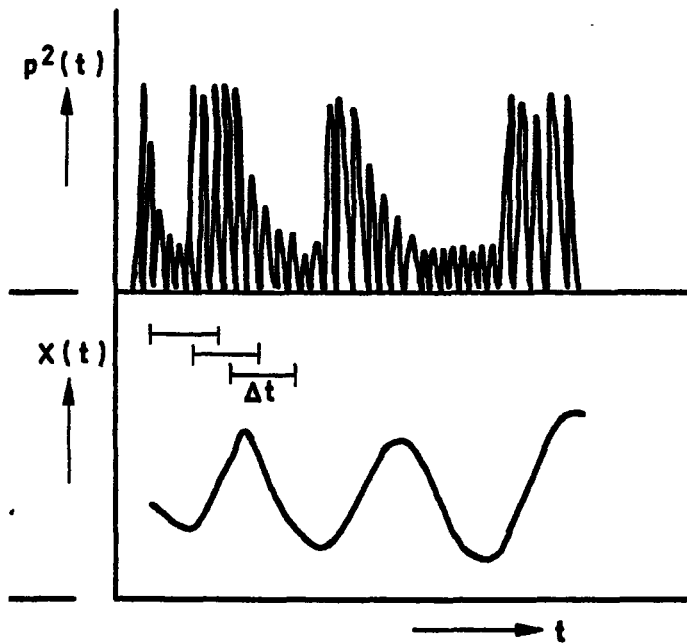


Figuur 5.3 Middeling van  $p^2(t)$  per tijdje  $\Delta t$ .

$$X_i = \int_{\Delta t_i} p^2(t) dt$$

### 3. Lopende middeling

Dit betreft weer een middeling over een tijdje  $\Delta t$ , waarbij nu echter het begin en het einde van de middelingsperiode continu in de tijd veranderen. Een en ander is in beeld gebracht in figuur 5.4.



Figuur 5.4 Middeling van  $p^2(t)$  per lopend tijdje  $\Delta t$ .

$$X.(t^1) = \int_{t^1-\Delta t}^{t^1} p^2(t) dt$$

#### 4. Lopende, exponentiële middeling

Deze vorm van middeling is de meest gebruikelijke bij de middeling van analoge signalen die ook weer analoog uitgelezen worden (bijvoorbeeld met behulp van een wijzeraanduiding). Deze middeling is als volgt in formulevorm te geven:

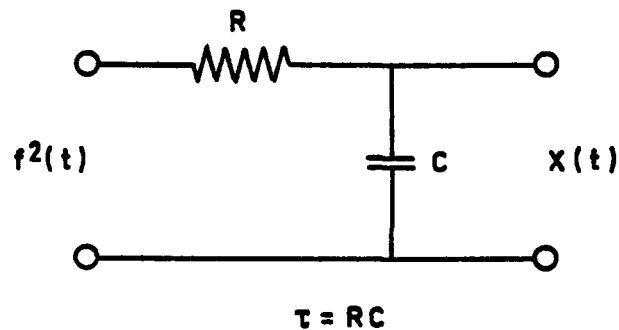
$$X(t) = \frac{1}{\tau} \int_0^t f^2(t^1) e^{-(t-t^1)/\tau} dt^1 \quad (5.6)$$

$\tau$  is een tijdconstante.

Tevens geldt dat de gemiddelde waarde van  $X(t)$  over een voldoende lange periode  $T$  gelijk is aan  $X_{\text{RMS}^2}$  over die periode. In formule is dit weer te geven als:

$$X_{\text{RMS}^2}(T) = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt \quad (5.7)$$

Elektrisch kan de middeling volgens (5.6) worden gerealiseerd als aangegeven in figuur 5.5. Daarbij is  $RC = \tau$ .



Figuur 5.5 Elektrische schakeling voor het realiseren van een lopende exponentiële middeling.

Uit formule 5.6 blijkt dat de waarde van X op tijdstip t wordt verkregen door een integratie (sommeling) van de gewogen functie  $f^2(t^1)$  over de periode voor het tijdstip t.

De functie  $f^2(t^1)$  wordt daarbij gewogen met de factor

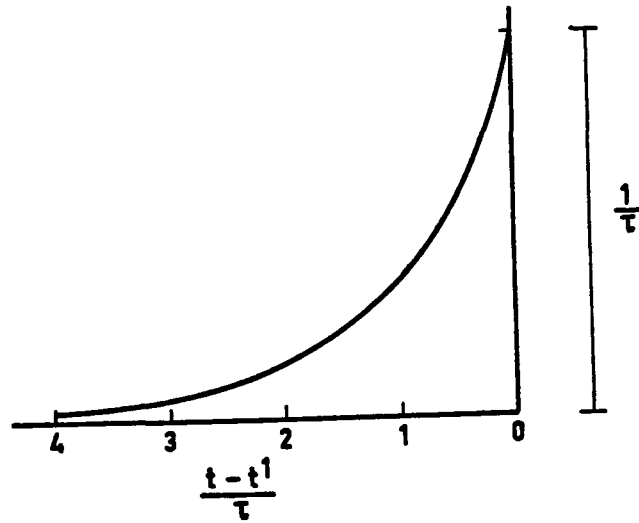
$$\frac{1}{\tau} e^{-(t-t^1)/\tau}$$

In tabel 5.1 is deze wegingsfactor bepaald voor een aantal waarden van  $\frac{t-t^1}{\tau}$ .

Tabel 5.1 Wegingsfactor van  $f^2(t^1)$  als functie van  $\frac{t-t^1}{\tau}$  :

$\frac{t-t^1}{\tau}$	Wegingsfactor
0	$1,00 \times \frac{1}{\tau}$
1	$0,37 \times \frac{1}{\tau}$
2	$0,14 \times \frac{1}{\tau}$
3	$0,05 \times \frac{1}{\tau}$

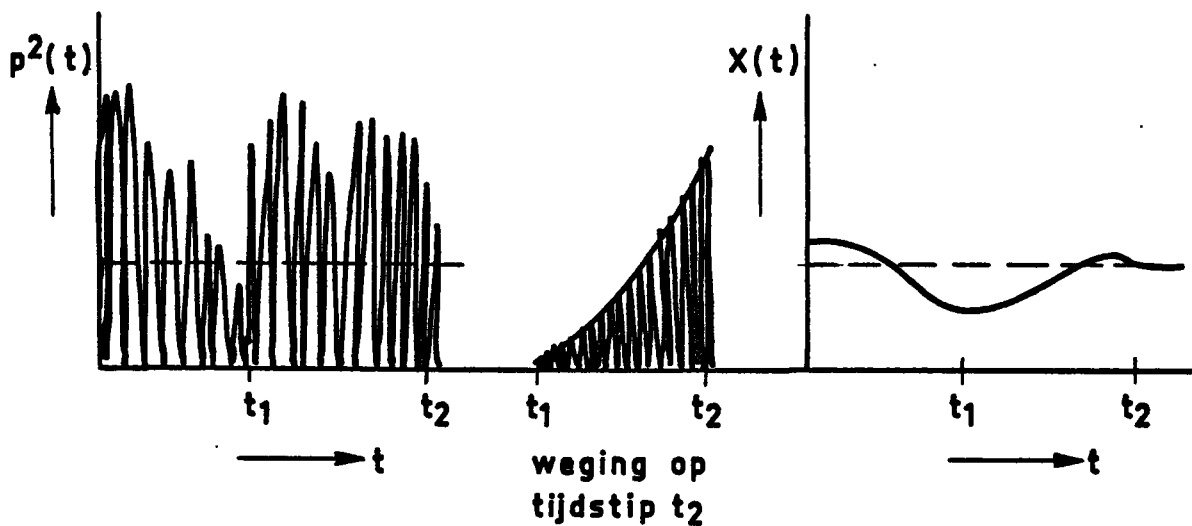
In figuur 5.6 is tabel 5.1 in beeld gebracht.



Figuur 5.6 Wegingsfactor  $\frac{1}{\tau} e^{-(t-t^1)/\tau}$  als functie van  $\frac{t-t^1}{\tau}$

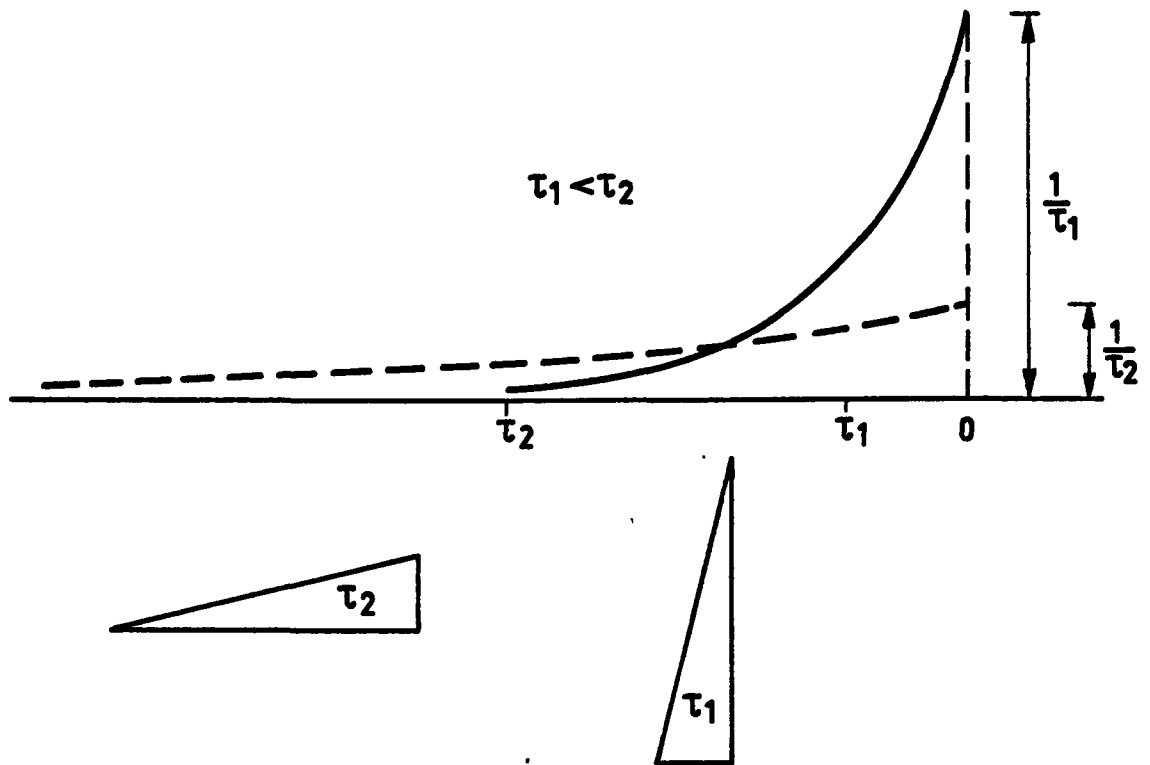
In figuur 5.7 is een exponentiële middeling van een ruisachtig geluid weergegeven. Daarbij is  $p^2(t)$  gewogen met de in figuur 5.6 gegeven functie.

$X(t)$  is de oppervlakte van het middelste figuurtje.



Figuur 5.7 Exponentiële weging van  $p^2(t)$  van een ruisachtig geluid.

Bij de vergelijking van weegfuncties met verschillende tijdconstante  $\tau_1$  en  $\tau_2$  zien we het volgende beeld:



Figuur 5.8 Wegingsfactor voor twee verschillende tijdconstanten  $\tau_1$  en  $\tau_2$ .

Bij een kleinere tijdconstante  $\tau_1$  vindt een bijdrage plaats aan de integratie over een veel kleinere tijd dan bij een grotere tijdconstante.

Voor geluidmeters zijn in de internationale standaard IEC 651 (zie referentie 23) de volgende tijdconstanten gedefinieerd.

Tabel 5.2 Tijdconstanten van geluidmeters volgens IEC 651.

Stand geluidmeter	Tijdconstante in ms.
F (fast)	125
S (slow)	1000
I (impulse Peak)	35/1500 *
	xx

\*

Bij het meten op stand I is aansluitend op het exponentiële middelingscircuit (met  $\tau = 35$  ms) een piekdetectiecircuit ingeschakeld. Dit circuit heeft een zeer kleine tijdconstante bij een in waarde toenemend-sigitaal en een tijdconstante van 1500 ms bij een in waarde afnemend sigitaal.

xx In IEC 651 zijn geen tijdconstanten voor de stand peak gedefinieerd. Deze tijdconstanten mogen door de fabrikant vastgesteld worden. Wel is gespecificeerd dat een impuls met een duur van 50  $\mu$ s een meteruitslag moet geven die niet meer dan 2 dB ligt onder de waarde die een impuls met een duur van 10 ms en een gelijk piekniveau geeft. Dit geldt althans voor de geluidmeters van het type o. Voor onnauwkeuriger typen (type 1, 2 en 3) mag een impuls van 50  $\mu$ s vervangen worden door 100  $\mu$ s.

Een tijdconstante zal derhalve in de orde van grootte van 50 à 100  $\mu$ s liggen. Aangezien de wijzer van een meetinstrument een zekere traagheid heeft, kan hij de effectieve waarde bij een snel wisselend sigitaal niet goed volgen. Daarom kunnen er door de fabrikant voorzieningen worden aangebracht, waarbij een piekwaarde gedurende een tijd (bijvoorbeeld 400 ms) vastgehouden wordt, zodat de wijzer de tijd heeft om tot een juiste indicatie van de piekwaarde te komen. Ook wordt wel een peak-hold circuit ingebouwd. Een dergelijk circuit houdt de hoogste waarde vast die gedurende de meetperiode optreedt.

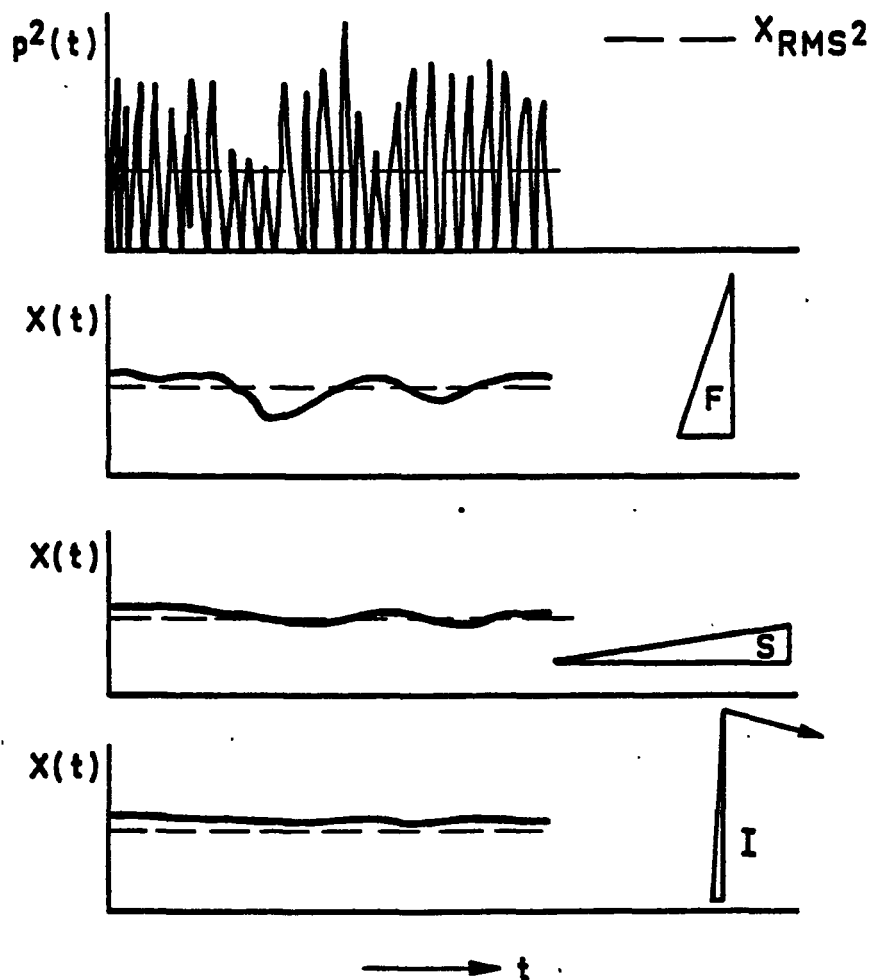


## 5.2 Uitslagen van geluidmeters bij in de praktijk voorkomende situaties.

In het volgende worden een drietal geluidsoorten onderscheiden: ruisachtig geluid, fluctuerend geluid en impulsgeluid. Allereerst wordt daarbij schematisch nagegaan welke meteruitslagen verwacht mogen worden, wanneer de meter op stand F, S en I gezet wordt. De omzetting van effectieve geluiddrukken naar geluiddrukkniveaus (volgens formule 5.2) is daarbij buiten beschouwing gelaten. Vervolgens wordt ingegaan op resultaten van onderzoek naar impulsgeluid in de Nederlandse industrie en de in die situaties waargenomen meteruitslagen bij meting van zeer uiteenlopende soorten impulsgeluid.

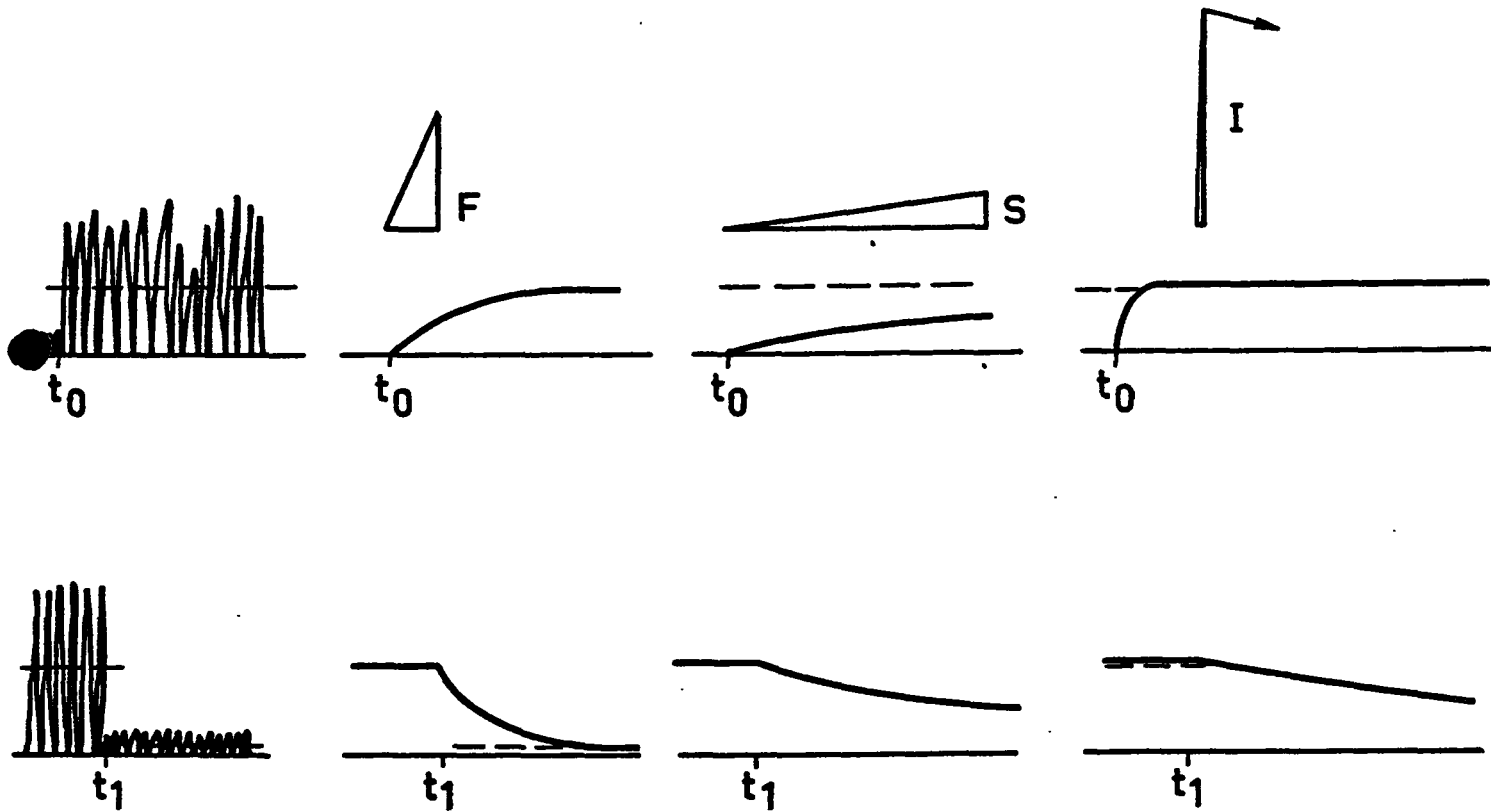
### 1. Ruisachtig geluid

In figuur 5.9 is schematisch weergegeven welke wijzeruitslagen te verwachten zijn bij meting op de standen F, S en I.



Figuur 5.9  $X(t)$  als functie van de tijd voor ruisachtig geluid, waarbij  $p^2(t)$  exponentieel gemiddeld wordt met tijdconstanten volgens stand F, S en I van geluidmeters.

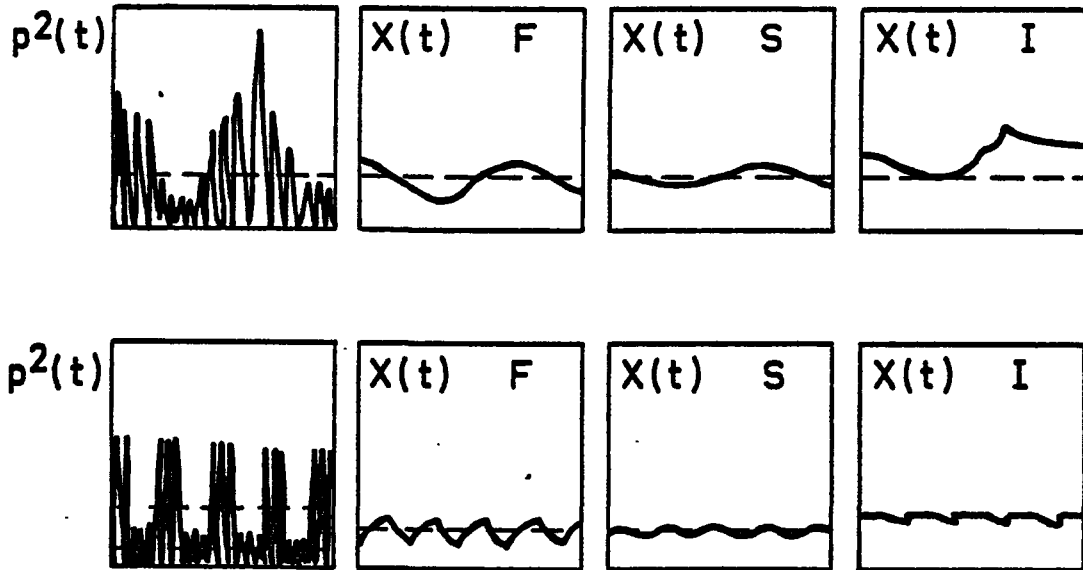
Bij het aanzetten en afzetten van een ruisbron treden de in figuur 5.10 schematisch weergegeven verschijnselen op.



Figuur 5.10 Schematische weergave van  $X(t)$  voor stand F, S en I bij het aanzetten van een geluidbron (figuur a) en het afzetten van een geluidbron (figuur b).

## 2. Fluctuerend geluid

In figuur 5.11 is voor twee soorten fluctuerend geluid de meter-uitslag schematisch weergegeven. Duidelijk blijkt nu dat de meter-uitslag op stand I hoger is dan  $X_{RMS}^2$ .



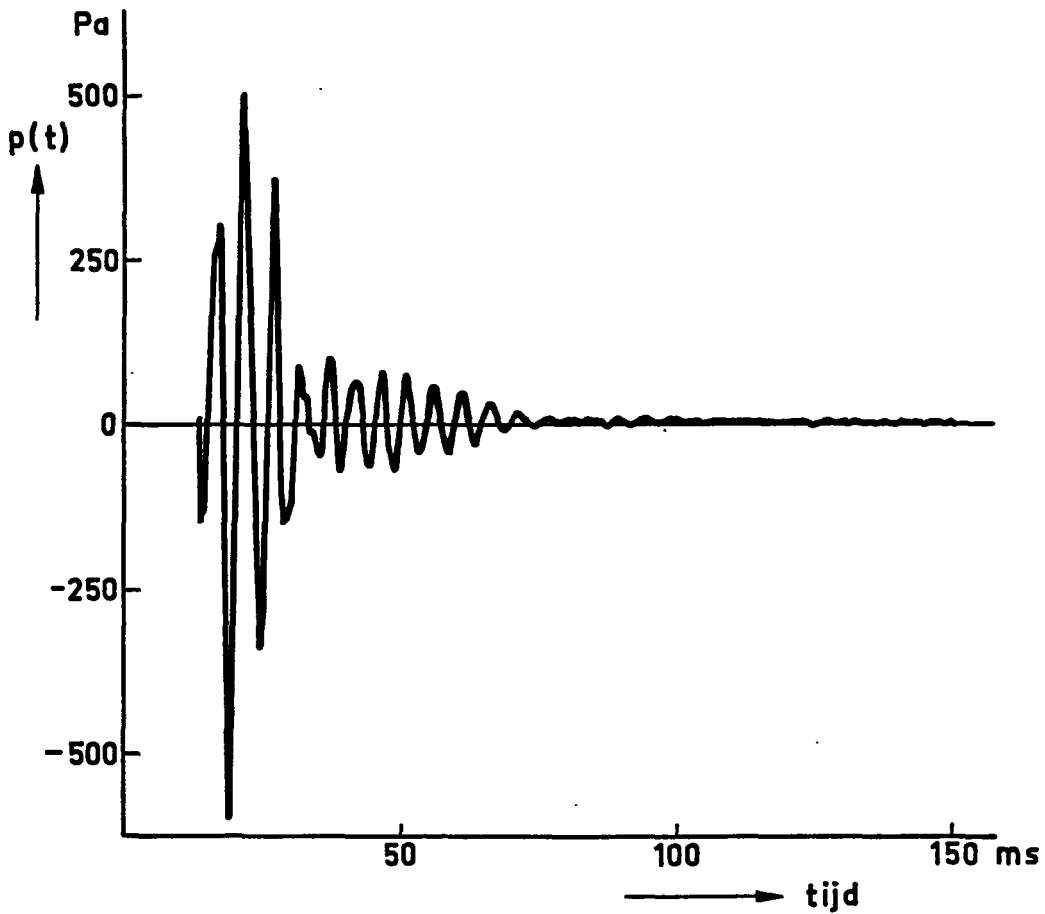
Figuur 5.11 Schematische weergave van  $X(t)$  voor stand F, S en I voor fluctuerend geluid.

## 3. Impulsgeluid/impactgeluid.

Over de definitie van impuls- en impactgeluid is reeds door velen geschreven. In het vervolg wordt een praktisch hanteerbaar voorstel gedaan. Kwalitatief kan in elk geval vastgesteld worden dat impuls/impactgeluid gepaard gaat met grote drukveranderingen. In de figuren 5.12, 5.13 en 5.14 zijn een drietal voorbeelden gegeven.

Figuur 5.12 toont de geluiddruk als functie van de tijd van een impuls afkomstig van een speelgoedklokkertje.

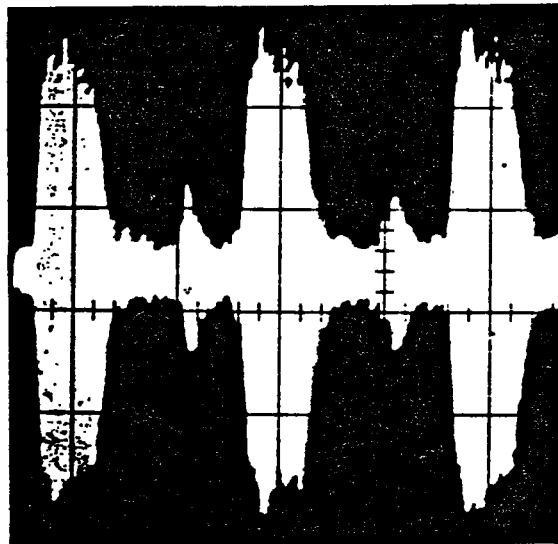
De piekdruk is 600 Pa, hetgeen overeenkomt met een piekniveau van 150 dB. De gehele impuls duurt slechts in de orde van grootte van 50 ms.



Figuur 5.12 De geluiddruk van een impuls als functie van de tijd.

Figuur 5.13 toont de geluiddrukveranderingen bij geluid afkomstig van de uitlaat van perslucht. Duidelijk is een opeenvolging van impulsen te zien. De frequentie waarmee de persluchtimpulsen optreden is in dit geval 1 Hz.

De piekdruk is zo ongeveer 42 Pa, hetgeen overeenkomt met een piekniveau van 126 dB. Figuur 5.13 is gemaakt met behulp van een oscilloscoop.

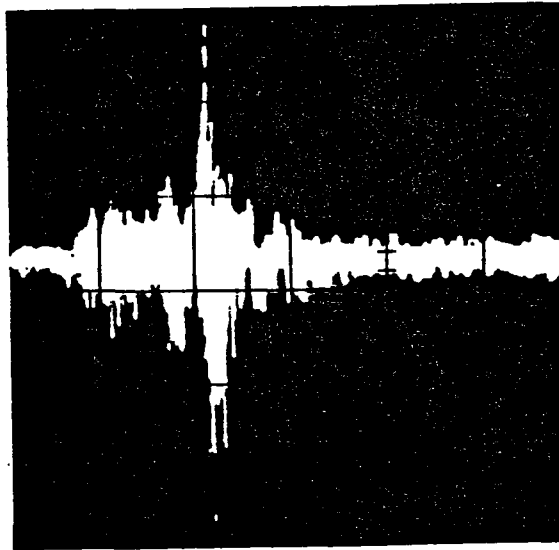


Figuur 5.13 De geluiddruk van impulsen afkomstig van de uitlaat van perslucht. Oscilloscoopplaatje.

Hor.: 1 div. = 500 ms

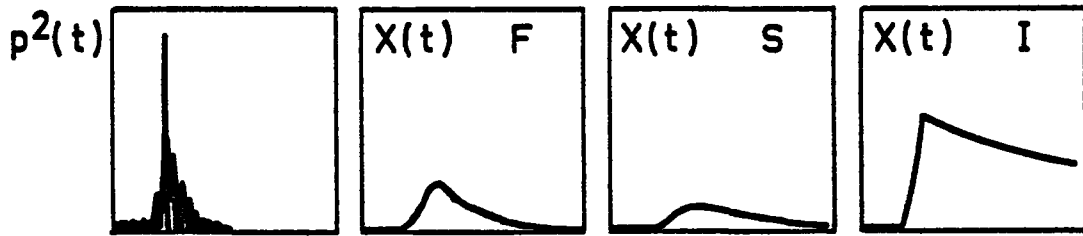
Vert.: 1 div. = 16,8 Pa.

Figuur 5.14 is een oscilloscoopplaatje van geluid dat vrijkomt als met een spijkerschiethamer spijkers in een betonwand worden geschoten. De daarbij optredende piekdruk van zo'n 200 Pa komt overeen met een piekniveau van 140 dB. De impulsen zijn zeer kortdurend, in de orde van grootte van 20 ms.

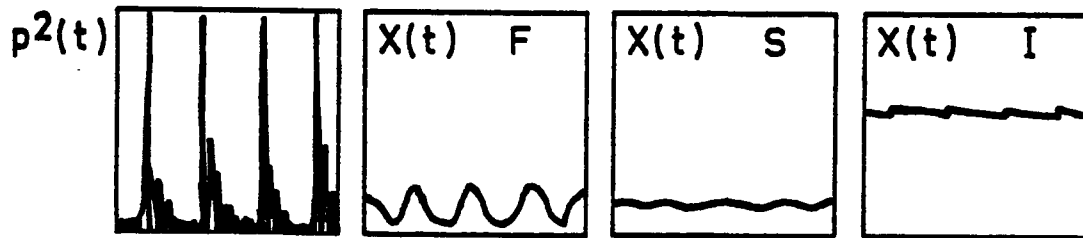


Figuur 5.14 De geluiddruk van een impuls afkomstig van het schieten met een spijkerschiethamer in beton.  
Hor. : 1 div. = 10 ms  
Vert. : 1 div. = 56 Pa.

In figuur 5.15 zijn schematisch de meteruitslagen voor een geïsoleerde impuls gegeven en in figuur 5.16 die voor een serie impulsen. Als voorbeeld is in figuur 5.16 een serie impulsen gekozen met een herhalingsfrequentie van de impulsen van 2 Hz (twee impulsen per seconde).



Figuur 5.15 Schematische weergave van  $X(t)$  voor stand F, S en I van een geïsoleerde impuls.



Figuur 5.16 Schematische weergave van  $X(t)$  voor stand F, S en I van een serie impulsen.



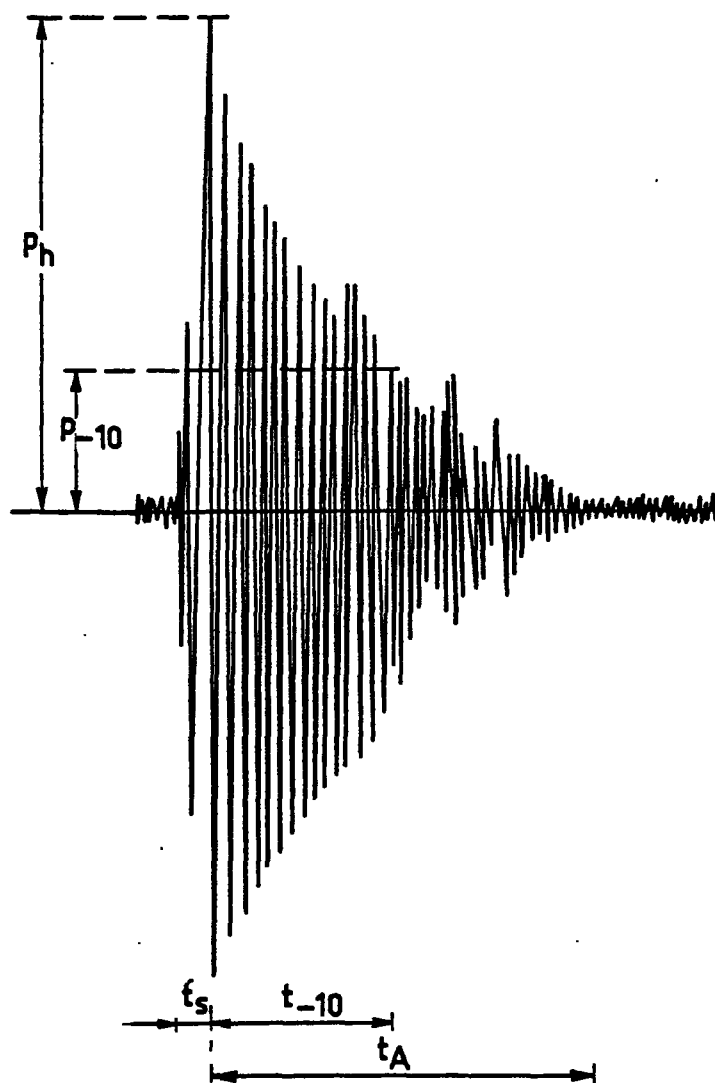
Door het IMG-TNO is in de Nederlandse industrie een onderzoek verricht naar impulsgeluid (zie referenties 1, 2 en 3). Daarbij is nagegaan welke waarden bepaalde karakteristieke grootheden van impulsen zoal hebben. De onderzochte impuls-grootheden waren onder andere piekniveau, stijgtijd, daaltijd  $t_{-10}$  en daaltijd  $t_A$ , het aantal impulsen per tijdseenheid. De onderzochte impulsen zijn geanalyseerd met behulp van een oscilloscoop. Voor een definitie van de hier te beschouwen impuls-grootheden zij verwezen naar figuur 5.17.

In totaal zijn er op 103 arbeidsplaatsen aan 153 soorten impulsen analyses uitgevoerd. De metingen zijn verricht ter plaatse van het hoofd van de door het desbetreffende impuls-geluid meest belaste werknemer.

In de figuren 5.18 tot en met 5.22 zijn de verdelingen van een aantal onderzochte impuls-grootheden gegeven. De gevonden resultaten liggen voornamelijk binnen de grenzen gegeven in tabel 5.3.

Tabel 5.3. Grenzen waarbinnen een groot gedeelte van de waarden van bepaalde impuls-grootheden liggen; metingen in de Nederlandse industrie ter plaatse van het oor van geëxponeerden.

Omschrijving	Grenzen
Piekniveau	110 - 130 dB(A)
Piekdruk	6 - 60 Pa
Stijgtijd	3 - 100 ms
Daaltijd $t_{-10}$	10 - 300 ms
Daaltijd $t_A$	10 - 1000 ms
Herhalings-frequentie	0,05 - 5 Hz.



Figuur 5.17 Kenmerken van een impuls.

$p_h$ : piekdruk, maximaal optredende positieve of negatieve druk

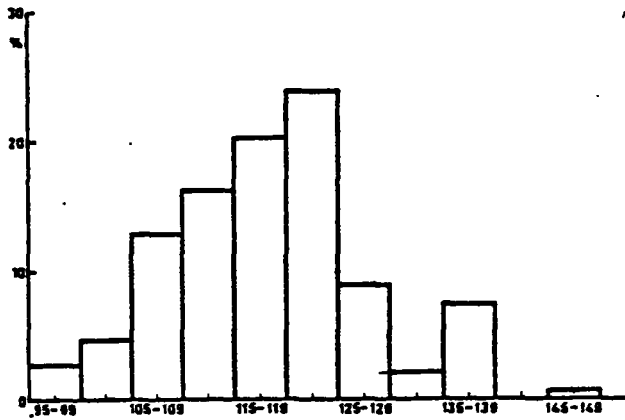
$L_p$ : piekniveau, gelijk aan  $20 \log \frac{p_h^2}{p_0^2}$  met  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

$p_{-10}$ : de druk, gelijk aan  $0,32 \times p_h$ . Bij deze druk is het bijbehorende geluiddrukkniveau 10 dB minder dan  $L_p$ .

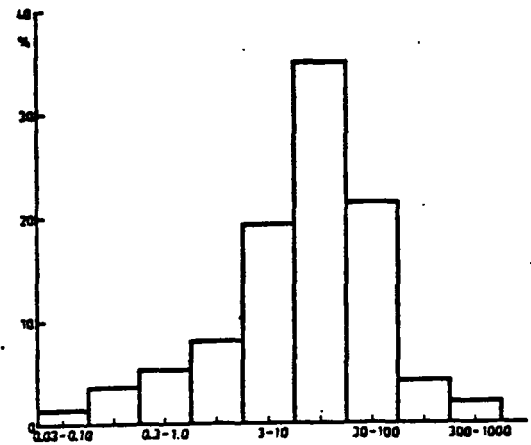
$t_s$ : de stijgtijd, dat wil zeggen de tijd tussen het moment waarop de geluiddruk van het moment voor het eerst te onderscheiden is van die van het achtergrondgeluid en het moment waarop de piekdruk heerst.

$t_{-10}$ : de periode tussen het moment waarop de piekdruk heerst en het moment waarop de omhullende van de geluiddruk voor het laatst gelijk is aan  $0,32 \times p_h$ .

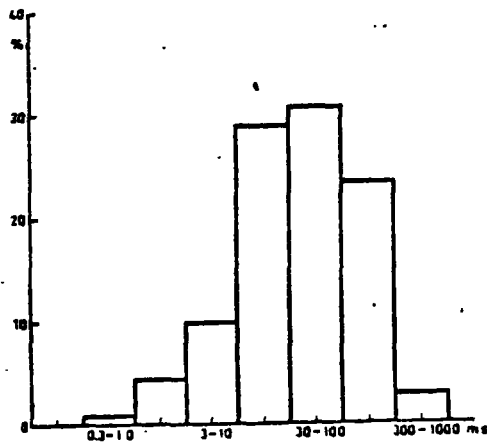
$t_A$ : de periode tussen het moment waarop de piekdruk heerst en het moment waarop de geluiddruk van de impuls voor het eerst niet meer te onderscheiden is van de geluiddruk van het achtergrondgeluid.



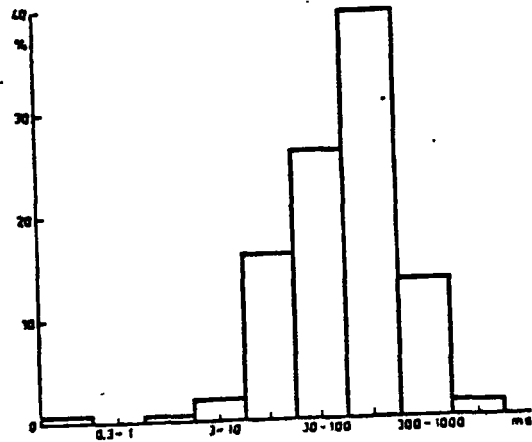
Figuur 5.18 De verdeling van de piekniveaus



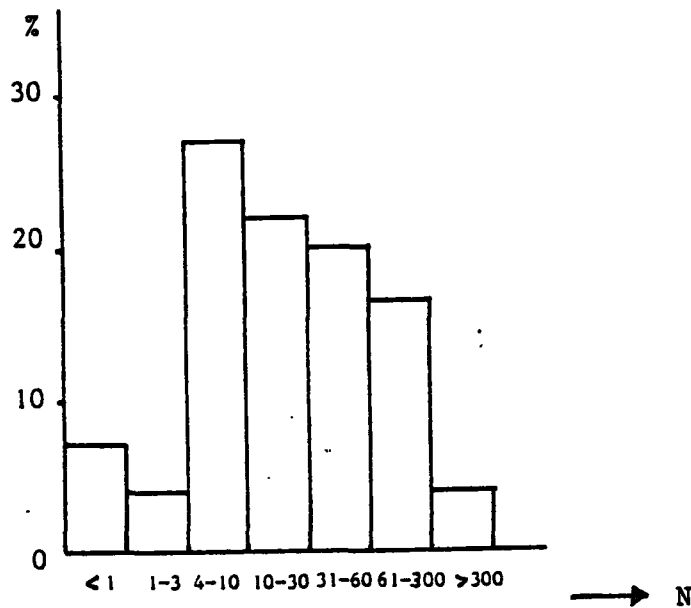
Figuur 5.19 De verdeling van de stijgtijden



Figuur 5.20 De verdeling van de daaltijden  $t_{-10}$



Figuur 5.21 De verdeling van de daaltijden  $t_A$



Figuur 5.22 De verdeling van de herhalingsfrequentie van de impulsen, waarbij N het aantal impulsen per minuut is.

Naast metingen met een oscilloscoop zijn ook metingen uitgevoerd met een geluidmeter op stand peak, I, F en S.

De geluidmeetapparatuur bestond uit een  $\frac{1}{4}$ -inch-microfoon en een meetversterker (B & K type 2607, precisie-geluidniveaumeter).

In het hiernavolgende worden een aantal gemiddelde resultaten gegeven. Betreffende de meetresultaten met de meetapparatuur op stand peak wordt hier volstaan met de volgende opmerking. De maximale uitslag op stand peak is gelijk aan het piekniveau zoals dat uit metingen met een oscilloscoop bepaald kan worden. De correlatiecoëfficiënt tussen het piekniveau gemeten met een oscilloscoop en het piekniveau volgens de meetversterker is zeer hoog, namelijk 0,97.

In het navolgende vergelijken we de maximale uitslagen van de meet-versterker op stand I, F en S (respectievelijk  $L_{A,max,I}$ ,  $L_{A,max,F}$  en  $L_{A,max,S}$ ) met bepaalde karakteristieken van impulsen, zoals het piekniveau, de piekhoogte en het equivalente geluidniveau van een impuls.

- Meten van het piekniveau van impulsen.

Geven we dit piekniveau aan met  $L_{A,peak}$ , dan is het volgende gemiddelde resultaat te vermelden:

$$L_{A,peak} - L_{A,max,I} = 11,8 \text{ dB(A)}$$

$$L_{A,peak} - L_{A,max,F} = 15,8 \text{ dB(A)}$$

$$L_{A,peak} - L_{A,max,S} = 18,6 \text{ dB(A)}$$

Dit resultaat is onafhankelijk van de herhalingsfrequentie van de impulsen. Opvallend is dat de maximale uitslag van de geluidmeter zelfs op stand I toch gemiddeld nog zo'n 12 dB(A) onder het piekniveau van een impuls ligt.

- Meten van de piekhoogte van impulsen.

De piekhoogte van een impuls is het verschil tussen het piekniveau  $L_{A,peak}$  en het geluidniveau van het achtergrondlawaai.

We geven de piekhoogte aan met  $\Delta L_{A,peak}$ .

$\Delta L_{A,peak}$  is vergeleken met de uitwijking van de geluidmeter tijdens een impuls. Deze uitwijking is gelijk aan het verschil tussen

$L_{A,max,I}$  en  $L_{A,min,I}$  van stand I,

$L_{A,max,S}$  en  $L_{A,min,S}$  van stand S en

$L_{A,max,F}$  en  $L_{A,min,F}$  van stand F.

Deze verschillen geven we respectievelijk aan met:

$$\Delta L_{A,I}, \Delta L_{A,S} \text{ en } \Delta L_{A,F}$$

Het gemiddelde resultaat bleek te zijn:

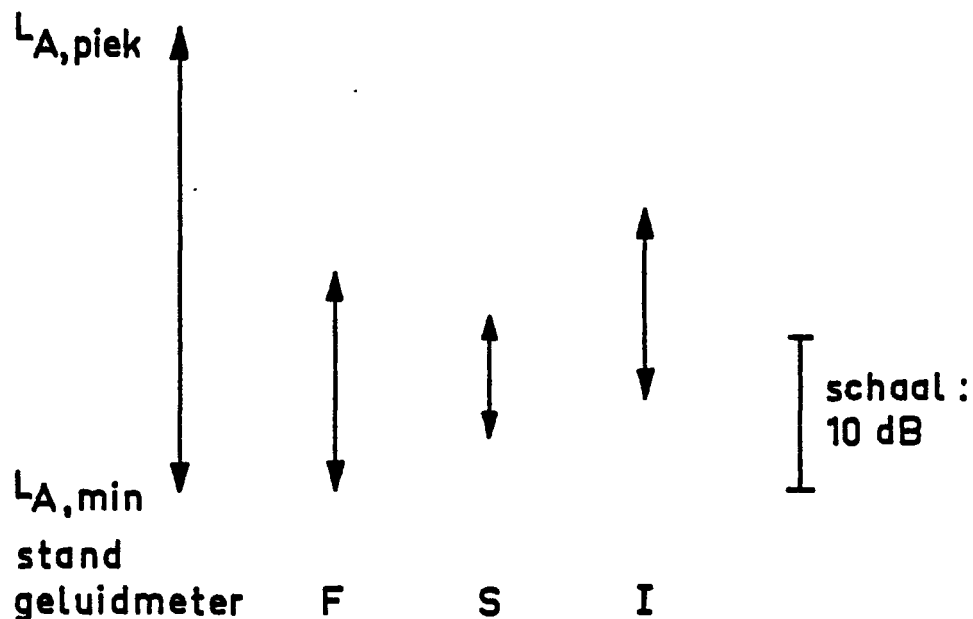
$$\Delta L_{A,peak} - \Delta L_{A,I} = 18,1 \text{ dB(A)}$$

$$\Delta L_{A,peak} - \Delta L_{A,F} = 15,9 \text{ dB(A)}$$

$$\Delta L_{A,peak} - \Delta L_{A,S} = 22,1 \text{ dB(A)}$$

Hieruit blijkt dat de piekhoogte het minst slecht benaderd wordt door de uitwijking van de geluidmeter op stand F. Toch is het gemiddelde verschil nog zo'n 16 dB(A) met de werkelijk optredende piekhoogten. De correlatiecoëfficiënten van  $\Delta L_{A,peak}$ ,  $\Delta L_{A,I}$ ,  $\Delta L_{A,F}$  en  $\Delta L_{A,S}$  bleken respectievelijk 0,74, 0,85 en 0,73 te zijn. De relatief hoge correlatiecoëfficiënt op stand F is een reden te meer om de piekhoogte te meten op stand F.

In figuur 5.23 is een voorbeeld gegeven van de uitslag van een geluidmeter op de standen F, S en I bij een impuls zoals deze gemiddeld in de industrie voorkomt.



Figuur 5.23 Meteruitslagen op stand F, S en I bij meting van impuls-geluid, zoals dat "gemiddeld" in de industrie voorkomt. Voor de piekhoogte is 30 dB(A) gekozen.

- Meten van het equivalentegeluidniveau van impulsen.

Met betrekking tot impulsen is het "single event noise exposure level ( $L_{Ax}$ )" gedefinieerd.  $L_{Ax}$  van een impuls is het equivalentegeluidniveau van die impuls, genormeerd naar één seconde.

In formule 5.8 is een definitie in formulevorm gegeven:

$$X_{SEL} = \frac{1}{t_{ref}} \int_0^{\infty} p_A^2(t) dt \quad (5.8)$$

$t_{ref}$  is een referentietijd, waarvoor één seconde gekozen is. De wortel van  $X_{SEL}$  is dus de effectieve geluiddruk genormeerd naar één seconde. Daaruit kan volgens de bekende formule  $L_{Ax}$  bepaald worden. In de praktijk wordt  $X_{SEL}$  bepaald over het tijdsinterval  $t_2-t_1$  waarin het geluidniveau ligt binnen de 10 dB van het piekniveau.

$$X_{SEL} = \frac{1}{t_{ref}} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \quad (5.9)$$

Bij een bepaling van  $L_{Ax}$  zijn zowel het piekniveau, de duur en de vorm van de impuls van belang.

In het volgende zijn de  $L_{Ax}$ -waarden van de impulsen vergeleken met de maximale meteruitslagen van de meetversterker op stand I, F en S. Zoals in het voorgaande is uitgelegd, betreft de meteruitslag een middeling over de tijd.

Voor stand S is dit in de orde van grootte van een seconde.

Als er meer dan één impuls per seconde optreedt, zal derhalve op stand S over meer dan één impuls gemiddeld worden.

Bij n impulsen per seconde zal de totale  $X_{RMS2}$  n-maal zo groot zijn als bij één impuls per seconde. Daaruit volgt het volgende voor n impulsen per seconde:

$$L_{Aeq}(n \text{ imp}) = L_{Ax}(1 \text{ imp}) + 10 \log n \quad (5.10)$$

We maken in het volgende dan ook onderscheid tussen n groter en n kleiner dan 1 Hz.

In tabel 5.4 zijn een aantal resultaten gegeven.

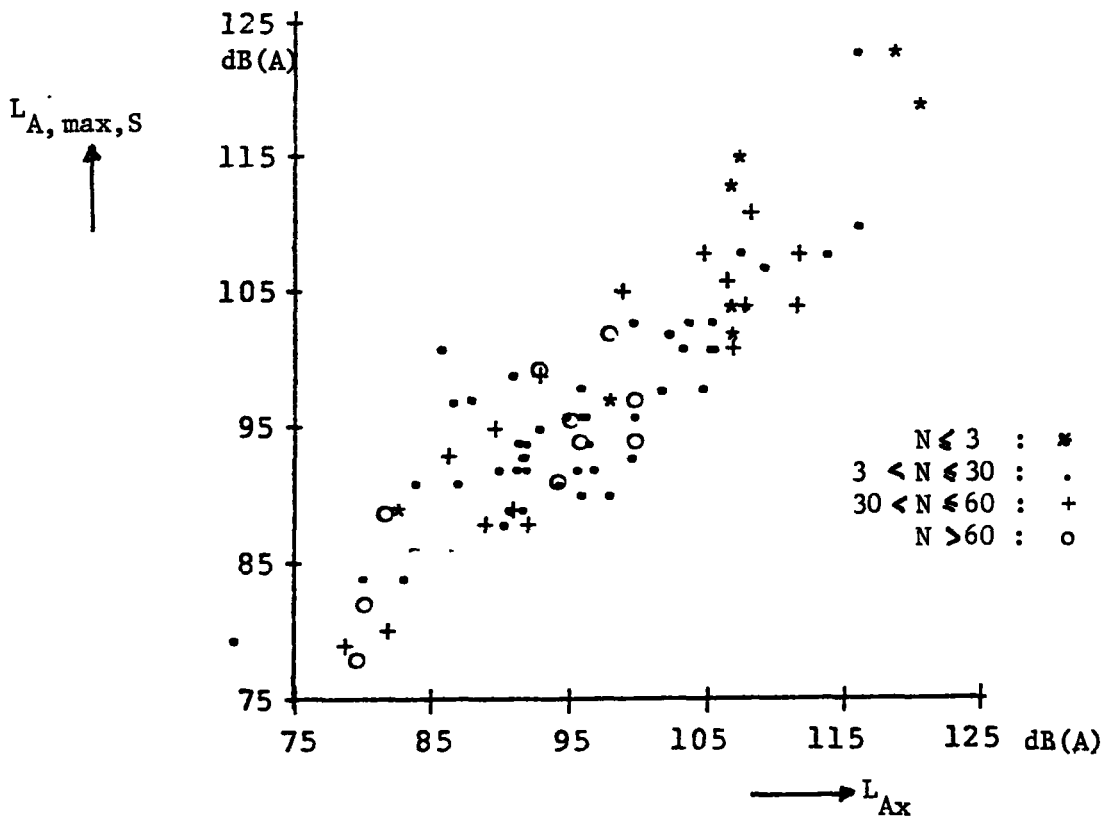
Tabel 5.4 Vergelijking van de maximale meteruitslagen op stand I, F en S en de  $L_{Ax}$ -waarden van impulsen.

Stand geluid- meter	$L_{A,max,..} - L_{Ax}$ in dB(A)	$L_{A,max,..} - L_{Ax}$ in dB(A)	$L_{A,max,..} - L_{Aeq}$ (1 sec) in dB(A)
	$n \geq 1$ Hz	$n \leq 1$ Hz	$n > 1$ Hz
I	11,9	8,1	5,4
F	7,9	3,6	1,4
S	7,1	0,1	0,6

Uit tabel 5.4 blijkt dat voor impulsen met een herhalingsfrequentie van ten hoogste 1 Hz geldt dat de maximale uitslag van de meter op stand S gemiddeld gelijk is aan  $L_{Ax}$  van een impuls.

De correlatiecoëfficiënt tussen  $L_{A,max,S}$  en  $L_{Ax}$  is 0,88.

In figuur 5.24 is  $L_{A,max,S}$  uitgezet als functie van  $L_{Ax}$ .



Figuur 5.24 Het verband tussen  $L_{A,max,S}$  en  $L_{Ax}$  voor impulsen met een herhalingsfrequentie van ten hoogste 1 Hz en  $L_{Aeq}$  (1 sec) voor impulsen met een herhalingsfrequentie van meer dan 1 Hz.



Voor meer dan één impuls per seconde blijkt dat  $L_{A,max,S}$  iets groter is dan  $L_{Aeq}$  over één seconde. De gemiddelde uitslag op stand F en op stand S is in principe gelijk aan  $L_{Aeq}$ , zoals in het voorgaande is uitgelegd. Het gevonden resultaat dat  $L_{A,max,S}$  iets groter is dan  $L_{Aeq}$  en  $L_{A,max,F}$  weer iets groter dan  $L_{A,max,S}$  stemt dus goed met de theorie overeen; het zijn immers maximale en geen gemiddelde uitslagen.

Bij goede benadering kan gesteld worden dat:

$$\begin{aligned} L_{A,max,S} &= L_{Ax} && \text{voor } n \leq 1 \text{ Hz} \\ L_{A,max,S} &= L_{Aeq} && \text{voor } n > 1 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Uit  $X_{RMS^2T} = \frac{N}{T} \cdot X_{SEL}$ , waarbij

N het aantal impulsen per tijd T is, kan worden afgeleid dat

$$L_{AeqT}(\text{impuls}) = L_{Ax} + 10 \log \frac{N}{T} \quad (5.12)$$

daarbij is  $L_{AeqT}(\text{impuls})$  het equivalente geluidniveau van de impulsen over de periode T. Vullen we formule 5.11 in in 5.12 dan volgt:

$$\begin{aligned} L_{AeqT}(\text{impuls}) &= L_{A,max,S} && \text{voor } n > 1 \text{ Hz} \\ L_{AeqT}(\text{impuls}) &= L_{A,max,S} + 10 \log \frac{N}{T} && \text{voor } n < 1 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (5.13)$$

Dit betekent dat  $L_{AeqT}$  bij benadering voor een situatie met meer dan één impuls per seconde gelijk is aan de maximale meteruitslag op stand S. Bij minder dan één impuls per seconde kan het equivalente geluidniveau over een periode T geschat worden uit de som van de maximale meteruitslag op stand S en 10-maal de logarithme van  $\frac{N}{T}$ .

Berekenen we het equivalente geluidniveau ten gevolge van de impulsen over een werkdag, dan is T gelijk aan 28800 s en kan het volgende tabelletje samengesteld worden.

Tabel 5.5  $L_{Aeq\ 8h}$  (impuls) -  $L_{A,max,S}$  voor een aantal impulsen per tijdsinterval.

Aantal impulsen	$L_{Aeq\ 8h}$ (impuls) - $L_{A,max,S}$
1 per dag	-44,6
1 per uur	-35,6
1 per minuut	-17,8
$\geq 1$ per seconde	0

Resumerend kan gesteld worden dat:

- het piekniveau van impulsen het best geschat kan worden uit de maximale meteruitslag op stand I. (Het gemiddelde verschil is toch nog ongeveer 12 dB(A));
- de piekhoogte van impulsen het best geschat kan worden uit de maximale meteruitslag op stand F. (Het gemiddelde verschil is toch nog zo'n 16 dB(A));
- het equivalente geluidniveau ten gevolge van impuls geluid over een werkdag het best geschat kan worden uit de maximale uitslag op stand S.

### 5.3 Beoordelen van impuls geluid

#### 5.3.1 Omvang van de expositie aan impuls geluid op de arbeidsplaats.

Impuls geluid op de werkplek is een veel voorkomend verschijnsel. Voorbeelden zijn het geluid van het stansen van machines, het tegen elkaar stoten of vallen van metalen voorwerpen, het ontsnappen van perslucht, het geluid dat ontstaat doordat glas tegen glas slaat. Het geluid afkomstig van hameren, klinken, heien, klikken of tikken in een machine.

Impuls geluid is hier dus ook het geluid dat veroorzaakt wordt door "impacts".

(In de Engelstalige literatuur spreekt men van impact/impulsive sound). Impulsen kunnen geïsoleerd voorkomen (bijvoorbeeld het af en toe vallen van staalplaten), maar veelal is er in de arbeidssituatie sprake van series impulsen, die met een zekere regelmaat optreden (klinken, stansen).

Een indruk van de omvang van de expositie aan impulsgeluid op de arbeidsplaats wordt verkregen uit onderzoek van Dym [ 4 ], in opdracht van het U.S. Department of Health, Education and Welfare. Uit dit uitgebreide inventarisatie-onderzoek is hier tabel 5.6. opgenomen. In deze tabel is voor de industriële bedrijfsklassen 25 en 33 tot en met 38 het totaal aantal "produktiewerkers" gegeven, evenals het aantal van die werkers dat veelvuldig geëxponeerd is aan impulsgeluid. Het blijkt dat voor deze onderdelen van de Amerikaanse industrie 74,1% der produktiewerkers in impulsgeluid werkt.

Tabel 5.6 Aantal personen en aan impulsgeluid geëxponeerde personen in diverse industriële bedrijfsklassen in de Verenigde Staten.

SIC-code	Omschrijving	Aantal produktiewerkers	
		aan impulsgeluid geëxponeerden	totaal
25	Furniture and Fixtures	192.837	353.200
33	Primary Metal	696.454	943.800
34	Fabricated Metal Products	700.992	997.800
35	Machinery	991.680	1.383.300
36	Electrical Machinery	854.378	1.142.300
37	Transportation Equipment	1.027.599	1.133.800
38	Instruments	169.168	294.000
25, 33-38	Totaal	4.633.118	6.249.200

### 5.3.2 Beoordeling van impulsgeluid in verband met de resulterende gehoorschade.

In de in 1975 gepubliceerde internationale standaard ISO R 1999 "Acoustic-Assesment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes" [6] gaat men voor geluid dat geen impuls-componenten bevat uit van het equal energy-principe. Er is ten aanzien van impulsgeluid een uitzondering op het equal energy-principe gemaakt. Voor impulsgeluid wordt er een straffactor van 10 dB(A) op het gemeten equivalent geluidniveau aangehouden, dat wil zeggen dat volgens ISO R 1999 impulsgeluid met een zeker equivalent geluidniveau gehoorschade veroorzaakt die even groot is als de gehoorschade door constant geluid met een 10 dB(A) hoger equivalent geluidniveau.

Thans is een herziening [7] van ISO R 1999 in voorbereiding. Deze herziening (Draft International Standard R 1999/1) zal binnenkort voor een tweede maal circuleren in de lidstaten van de ISO. Ook in de herziening van ISO R 1999 wordt uitgegaan van het equal energy-principe. In principe zou dit equal energy-principe thans ook geldig zijn voor impulsgeluid met de volgende restrictie, die is opgenomen in de Scope and Field of Application van DIS R 1999/1: "Caution should be applied in the case of impulsive noise. The prediction method is based primarily on data collected with essentially steady noise. The application to impulsive noise represents at present the best available extrapolation. Some users may, however, consider impulsive noise up to 5 dB(A) more harmful than steady noise".

In vergelijking tot de oude ISO-standaard derhalve een vermindering van de straffactor voor impulsgeluid van 10 dB(A) tot maximaal 5 dB(A). De hieraan ten grondslag liggende gedachte is dat de meetapparatuur in de afgelopen jaren zoveel verbeterd is dat het equivalente geluidniveau thans met integrerende geluidmeters in elke willekeurige situatie zonder fouten bepaald kan worden terwijl men zich in vroegere perioden baseerde op geluidmetingen op stand

slow. Zowel voor de vroegere straffactor van 10 dB(A) als de huidige van maximaal 5 dB(A) geldt helaas dat niet kan worden aangegeven in welke gevallen deze straffactor toegepast moet worden. Tevens dient opgemerkt te worden dat beide factoren in de desbetreffende werkgroepen die ISO R 1999 en DIS R 1999/1 hebben voorbereid met de natte vinger zijn bepaald, gedwongen door de eisen van de praktijk die om beoordelingsmethoden vraagt. In feite echter liggen er volstrekt onvoldoende onderzoekgegevens ten grondslag aan de genoemde straffactoren. In het hierna gegeven overzicht van onderzoek naar de invloed van impulsgeluid op de gehoorscherpthe wordt hierop nader ingegaan.

Onlangs heeft de Minister van Sociale Zaken aan de Sociaal Economische Raad een advies gevraagd met betrekking tot beleidsvoornemens ten aanzien van beperking van lawaai in fabrieken en werkplaatsen. Ook in deze SER-adviesaanvraag wordt uitgegaan van het equivalente geluidniveau over een werkdag. Er wordt in de SER-adviesaanvraag geen gewag gemaakt van een straffactor voor impulsgeluid. Dit wordt ook niet gedaan in een ontwerp-richtlijn over geluid op de arbeidsplaats, die thans door de Europese Economische Gemeenschappen wordt voorbereid.

In dit kader dienen ook vermeld te worden de resultaten van twee onlangs gehouden symposia/workshops. In Malmö is een werkdefinitie van impulsgeluid gegeven (hierop wordt hierna ingegaan), terwijl men het er op het symposium in Malmö over eens was dat er over de schadelijkheid van impulsgeluid in feite weinig bekend is. Ook in Engeland kwam men op een workshop, georganiseerd door het Institute for Sound and Vibration Research te Southampton, tot een dergelijke conclusie. Daarbij bleek men het in Southampton wel eens te zijn met de opmerking in ISO/DIS 1999/1 dat de beoordeling van geluid op basis van het equivalente geluidniveau, ook voor impulsgeluid, op het ogenblik de "best available" beoordelingsmethode is.

Resumerend dient gesteld te worden dat er over de schadelijkheid van impulsgekluid nog te weinig bekend is om tot definitieve uitspraken over te gaan. Als impulsgekluid relatief schadelijker is dan constant gekluid, dan dienen ook de termen impuls en impulsgekluid gedefinieerd te worden. In Malmö is daartoe ten aanzien van een impuls een poging gedaan. Vrij arbitrair is daar overeengekomen dat van een impuls gesproken wordt als

$$L_{A,peak} - L_{Ax} \geq 15 \text{ dB(A)} \quad (5.14)$$

In vervolg daarop zouden bij de beoordeling van impulsgekluid de volgende drie situaties onderscheiden kunnen worden:

- de expositie betreft voornamelijk impulsgekluid; het achtergrondgekluid is verwaarloosbaar;
- de expositie bestaat uit een combinatie van impulsgekluid en een constant/fluctuerend achtergrondgekluid;
- de expositie betreft voornamelijk een constant/fluctuerend achtergrondgekluid; de expositie aan impulsgekluid is te verwaarlozen.

Doen we een poging om bovengenoemde drie situaties te vertalen in equivalente gekluidniveaus over een werkdag, dan kan de volgende vrije arbitraire indeling gemaakt worden:

Als:  $L_{Aeq}(\text{impuls}) - L_{Aeq}(\text{achtergrond}) = v$

$v > 5$  : overwegend impulsgekluid

$-5 \leq v \leq 5$  : combinatie impuls/achtergrondgekluid

$v < -5$  : overwegend achtergrondgekluid.

Het totale equivalente gekluidniveau is een combinatie van equivalent gekluidniveau van het impulsgekluid en het equivalente gekluidniveau van het achtergrondgekluid. Uitgaande van effectieve waarden van gekluiddrukken is eenvoudig te zien dat:

$$L_{Aeq}(\text{totaal}) = 10 \log \left[ 10^{\frac{L_{Aeq}(\text{impuls})}{10}} + 10^{\frac{L_{Aeq}(\text{achtergrond})}{10}} \right] \quad (5.15)$$

Als  $v > 5$  dan is  $L_{Aeq}(\text{totaal}) - L_{Aeq}(\text{impuls}) < 1$ .

Als  $v < -5$  dan is  $L_{Aeq}(\text{totaal}) - L_{Aeq}(\text{achtergrond}) < 1$ ,

dat wil zeggen het totale equivalente geluidniveau wordt in het eerste geval bepaald door het impulsgeluid, in het tweede geval door het achtergrondgeluid.

Met behulp van  $L_{Ax}$  van een impuls en het aantal impulsen per werkdag, waarbij  $L_{Ax}$  dan eventueel geschat kan worden uit  $L_{A,max,S}$ , zou op deze wijze vrij eenvoudig in praktische situaties inzicht verkregen kunnen worden of men voornamelijk met impulsgeluid te maken heeft, of dat het een combinatie van impulsgeluid en achtergrondgeluid betreft of dat men voornamelijk met een constant/fluctuerend achtergrondgeluid van doen heeft.

Tot slot een praktijkvoorbeeld.

In een fabriekshal heerst een vrij constant achtergrondgeluid van zo'n 90 dB(A). Af en toe zijn er buizen die van een hoogte van 1,50 m op de grond vallen. Naar schatting gebeurt dit één's per minuut, dus krap 500-maal per dag. Dichtbij de plaats waar de buizen vallen staat een werknemer. De maximale uitwijking in stand S van een geluidmeter, als de buizen vallen, is 120 dB(A). Deze werknemer werkt voornamelijk in impulsgeluid. Immers, volgens 5.13 is  $L_{Aeq}(\text{impuls}) = 120 - 17,8 = 102,2$  dB(A)  $v$  is dan 12,2 dB(A), het is derhalve een situatie met overwegend impulsgeluid.

Op een andere plaats in de hal, verder verwijderd dan de eerder besproken plaats, werkt een andere werknemer. Ter plaatse van het hoofd van die werknemer is de maximale uitslag van de geluidmeter op stand S: 100 dB(A). Dan is  $L_{Aeq}(\text{impuls})$  gelijk aan  $100 - 17,8 = 82,2$  dB(A), en is  $v$  kleiner dan -5 dB(A).

Derhalve hebben we hier te maken met overwegend achtergrondgeluid.

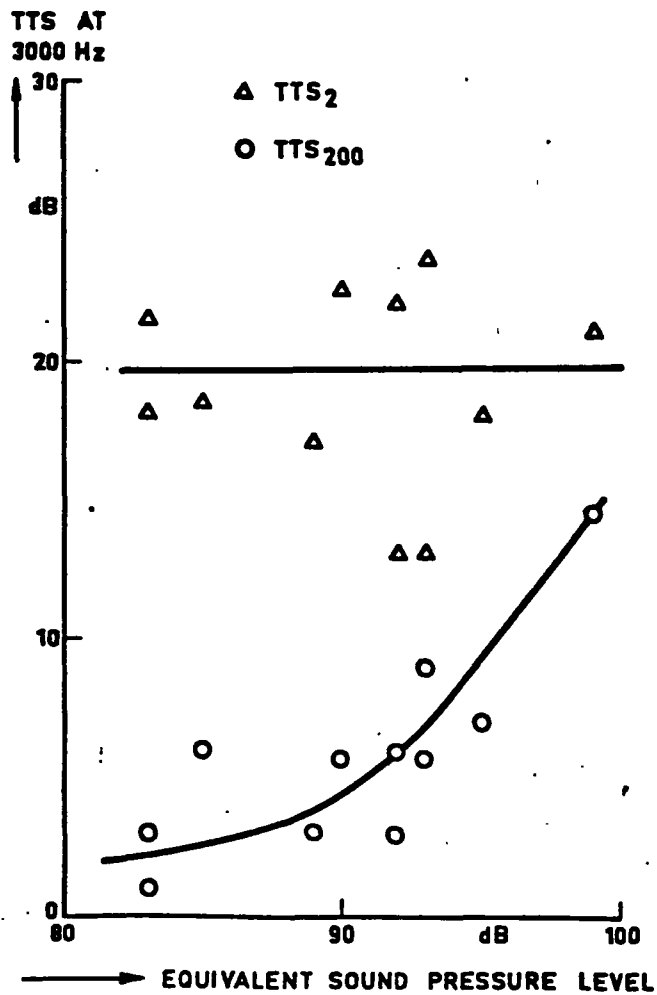
Ook de impulsen afkomstig van de vallende buizen behoren tot dit

achtergrondgeluid en hebben als zodanig vrijwel geen invloed op de hoogte van het totale equivalentegeluidniveau.

5.3.3. Overzicht van literatuurgegevens betreffende het effect van impulsgeluid op de gehoorscherppte.

In het onderstaande wordt slechts gerefereerd aan permanente gehoorschade door expositie aan impulsgeluid op de arbeidsplaats. Onderzoek naar de tijdelijke gehoordrempelverschuiving (TTS) achten wij in dit kader niet relevant. Dit temeer omdat in de literatuur vrijwel uitsluitend gerapporteerd wordt over onderzoek naar de  $TTS_2$  ( $TTS$ , vastgesteld 2 minuten na beëindiging van de expositie) door impulsgeluid en het herstel van de  $TTS$  na afloop van de expositie niet onderzocht is. Aangezien  $TTS_2$  op zichzelf geen eenduidige maat is (zie figuur 5.25 uit Passchier-Vermeer (1973) [11 ]) valt sterk te betwijfelen of er uit  $TTS_2$ -onderzoek zinnige conclusies te trekken zijn over de schadelijkheid van impulsgeluid op de langere duur.





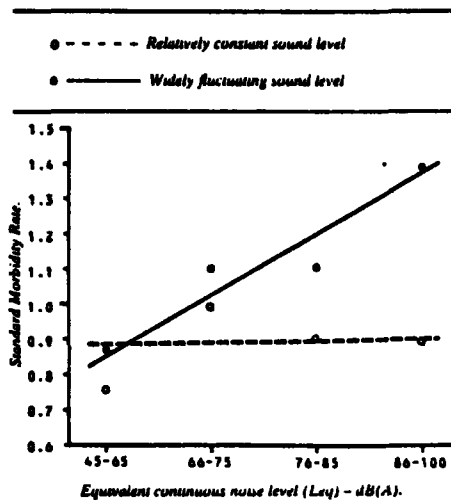
Figuur 5.25 TTS bij 3000 Hz als functie van het equivalente geluid-niveau

De volgende onderzoeken kunnen worden genoemd:

1. Voigt (1980) [12]

Voigt heeft de audiometrische gegevens en gegevens betreffende de

geluidexpositie bewerkt van 123.683 personen, werkzaam in de bouwnijverheid. Hij heeft, afhankelijk van het equivalente geluidniveau van de expositie, het percentage mensen bepaald met een gehoorverlies van 35 dB of meer, gemiddeld bij 500, 1000 en 2000 Hz. In figuur 5.26 is dit percentage uitgezet als functie van het equivalente geluidniveau, waarbij het percentage van de gehele groep van 123.683 personen op 1,0 is gesteld. Het blijkt dat bij sterk fluctuerend geluid - de originele publicatie spreekt van impulsgeluid - het percentage mensen dat genoemd gehoorverlies overschrijdt duidelijk groter is dan bij relatief constant geluid voor equivalente geluidniveaus van 76 tot 100 dB(A).

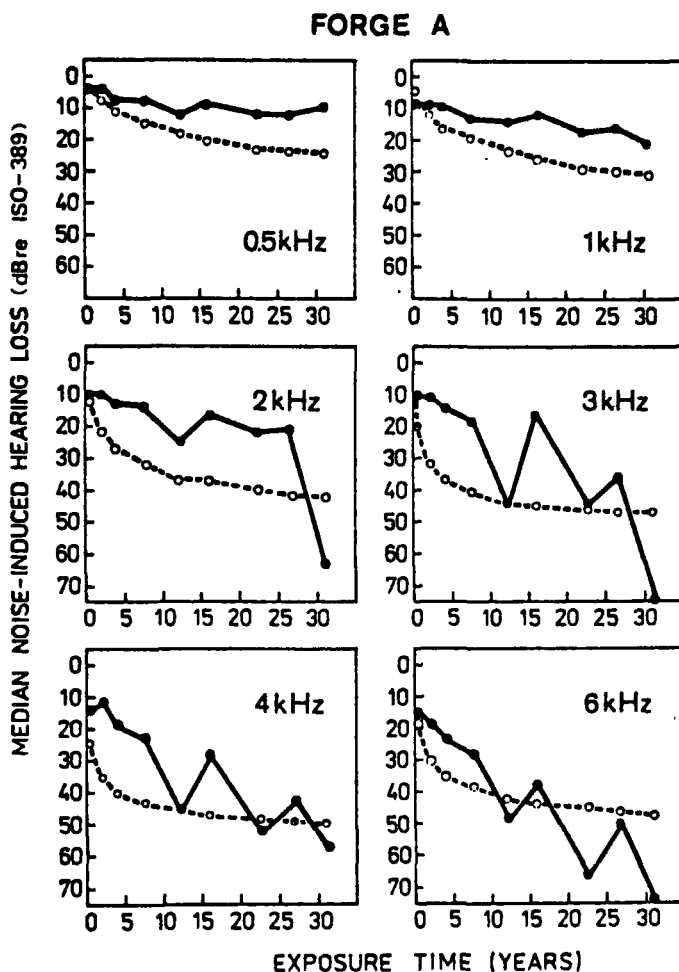


Relationship between noise levels at workplaces and the incidence of severe hearing damage (Standard Morbidity Rate, SMR, of bilateral hearing loss > 35 dB at 500, 1000 and 2000 Hz) for groups exposed to relatively constant noise levels and groups exposed to widely varying noise levels. The groups for which it has been possible to determine noise exposure present a total of 81 114 persons. Groups exposed to  $L_{eq}$  greater than 100 dB(A) have been disregarded, as data on any fluctuations present are not available. In this context, SMR is the quotient of the observed incidence and the frequency of hearing damage corresponding to the mean value for 123 683 persons, which has been set to SMR=1.0. The material has been divided into age groups at ten-year intervals and has been compared by groups (Voigt et al., 1980).

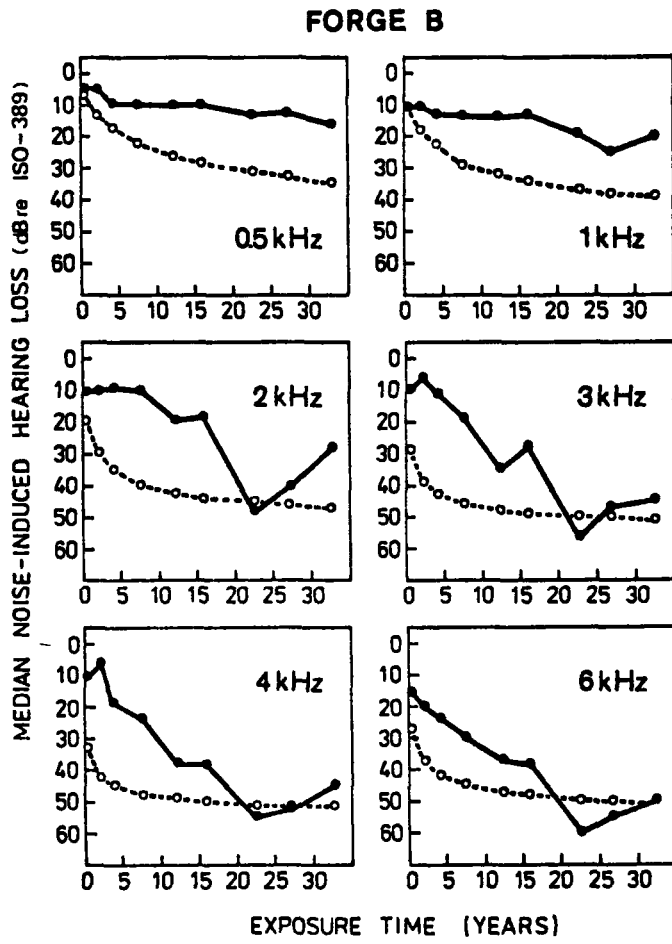
Figuur 5.26 Onderzoekgegevens door Voigt

2. Sulkowski (1980) [13]

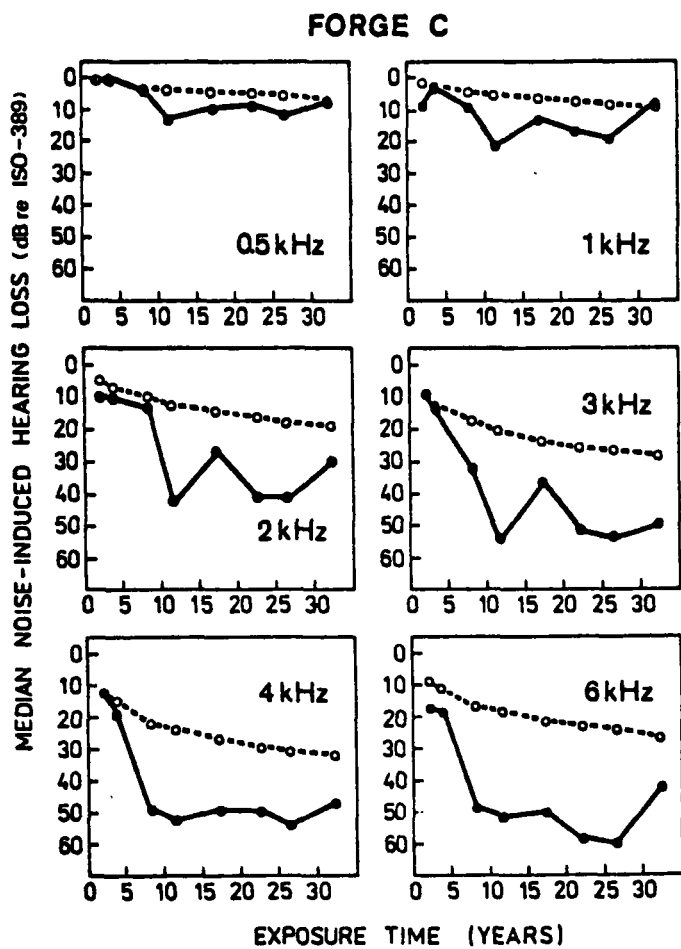
Sulkowski heeft onderzoek verricht naar het lawaai van smeedhamers/persen (dropforging). De gehoorscherpthe van een drietal groepen geëxponeerden, in totaal 511 personen, is onderzocht. De resultaten zijn gegeven in de figuren 5.27, 5.28 en 5.29. De gehoorverliezen van de geëxponeerden zijn vergeleken met de door Robinson [20] gegeven gehoorverliezen voor constant lawaai met hetzelfde equivalente geluidniveau als dat van het impulsgeluid. Voor de groepen A en B blijkt een goede overeenkomst ( $L_{Aeq}$  respectievelijk 114 en 118,5 dB(A)). Bij groep C blijken de gehoorverliezen echter veel groter dan die door Robinson gegeven voor constant lawaai met hetzelfde equivalente geluidniveau (100,4 dBA(A)).



Figuur 5.27 Onderzoekgegevens door Sulkowski



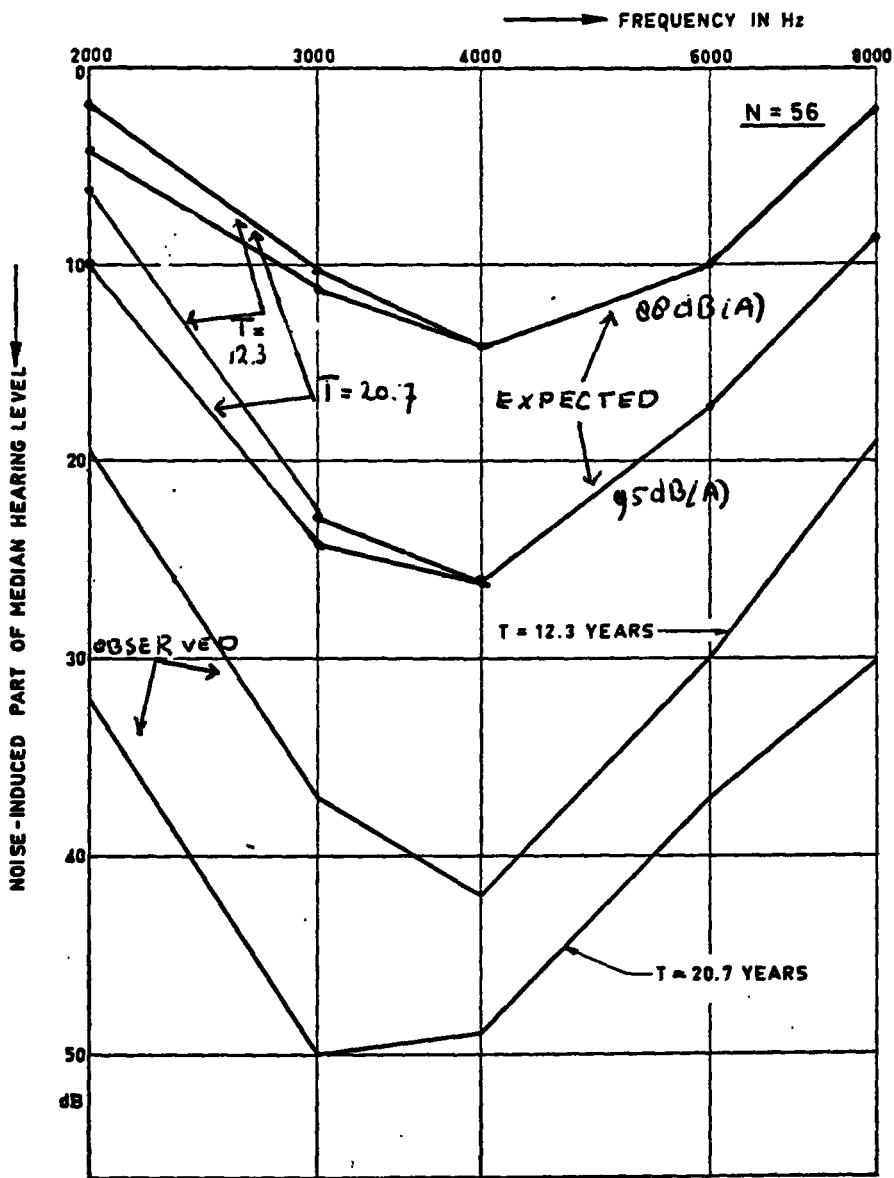
Figur 5.28 Onderzoeksgegevens door Sulkowski



Figuur 5.29 Onderzoekgegevens door Sulkowski

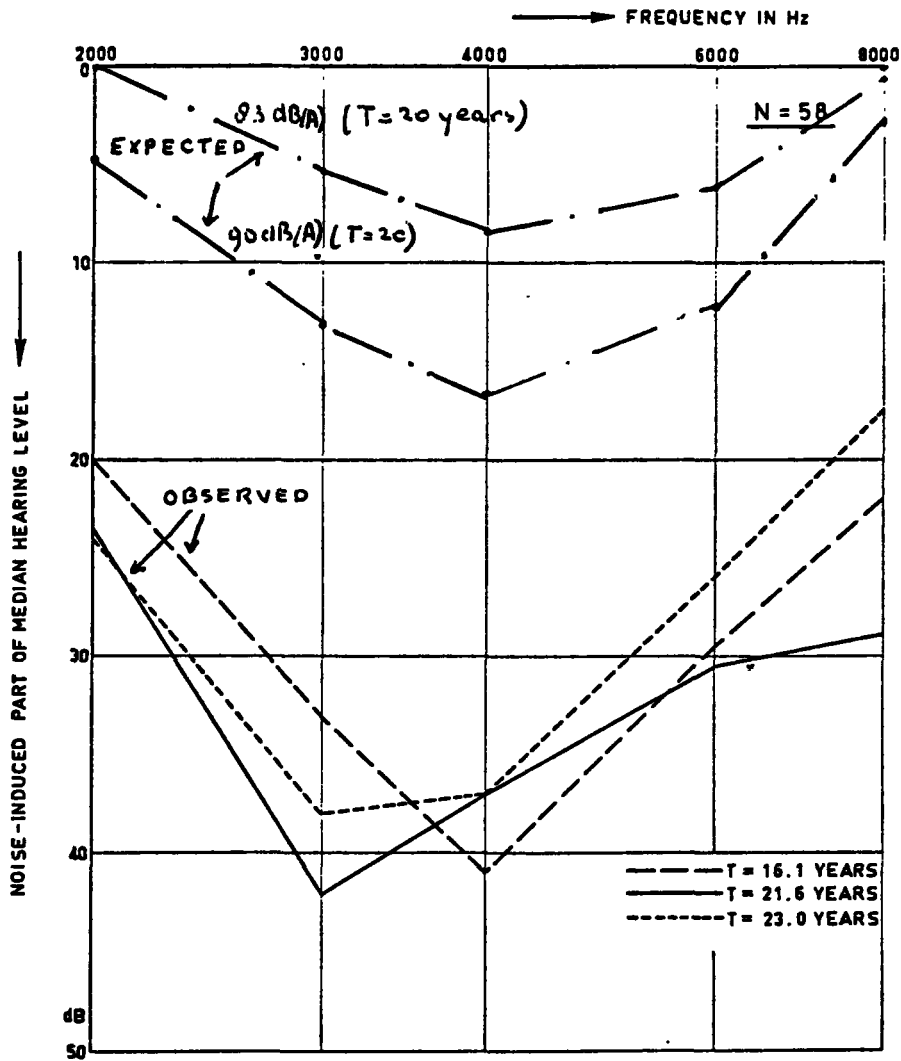
3. Passchier-Vermeer (1970) [14]

In Nederland zijn een tweetal groepen werknemers onderzocht, respectievelijk werkend in een lashaal en een machinale voorberekingshal. De met een integrerende geluidmeter door TPD gemeten equivalente geluidniveaus in het midden van de hallen bedroeg respectievelijk 88 en 83 dB(A). Uit latere metingen door TPD bleek dat de equivalente geluidniveaus ter plaatse van het oor van de geëxponeerden zo'n 7 dB(A) hoger lagen. Derhalve betroffen het equivalente geluidniveaus van 95 dB(A) bij de lassers en 90 dB(A) bij de mensen, werkzaam in de voorberekingshal. De gemeten gehoorverliezen bleken overeen te komen met de gehoorverliezen door constant lawaai respectievelijk van 103 en 101 dB(A). In de figuren 5.30 en 5.31 is een en ander in beeld gebracht.



Noise-induced parts of the median hearing levels of 2 groups of welders (29 persons, 56 ears) as a function of frequency. Mean exposure times of the groups are 12.3 and 20.7 years.

Figuur 5.30 Onderzoekgegevens door Passchier-Vermeer (IASH1)



Noise-induced parts of the median hearing levels of 3 groups of steelworkers (30 persons, 58 ears) as a function of frequency. Mean exposure times of the groups are 16.1, 21.6 and 23.0 years.

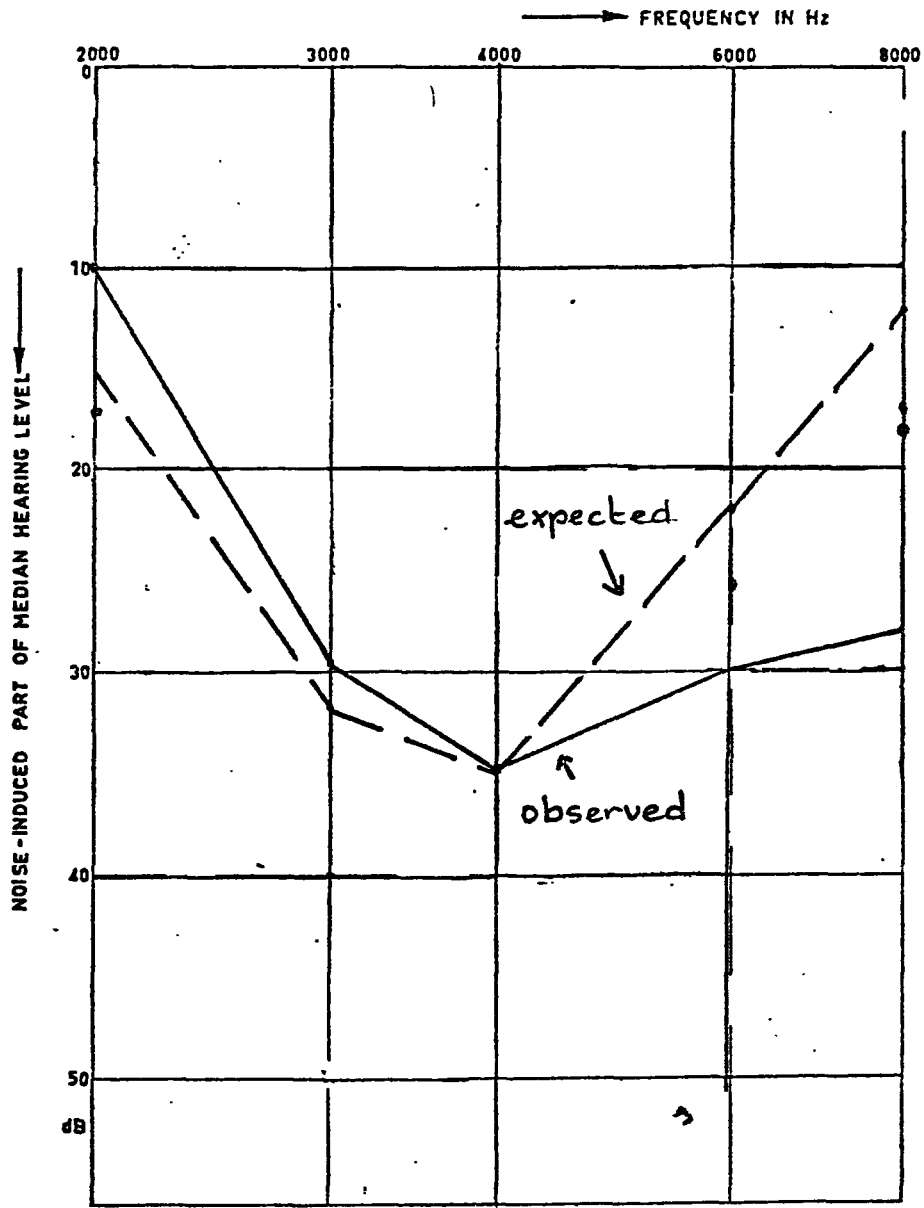
Figuur 5.31 Onderzoekgegevens door Passchier-Vermeer (Machinale voorbewerkingshal).



4. Rangelrooy (1977) [15]

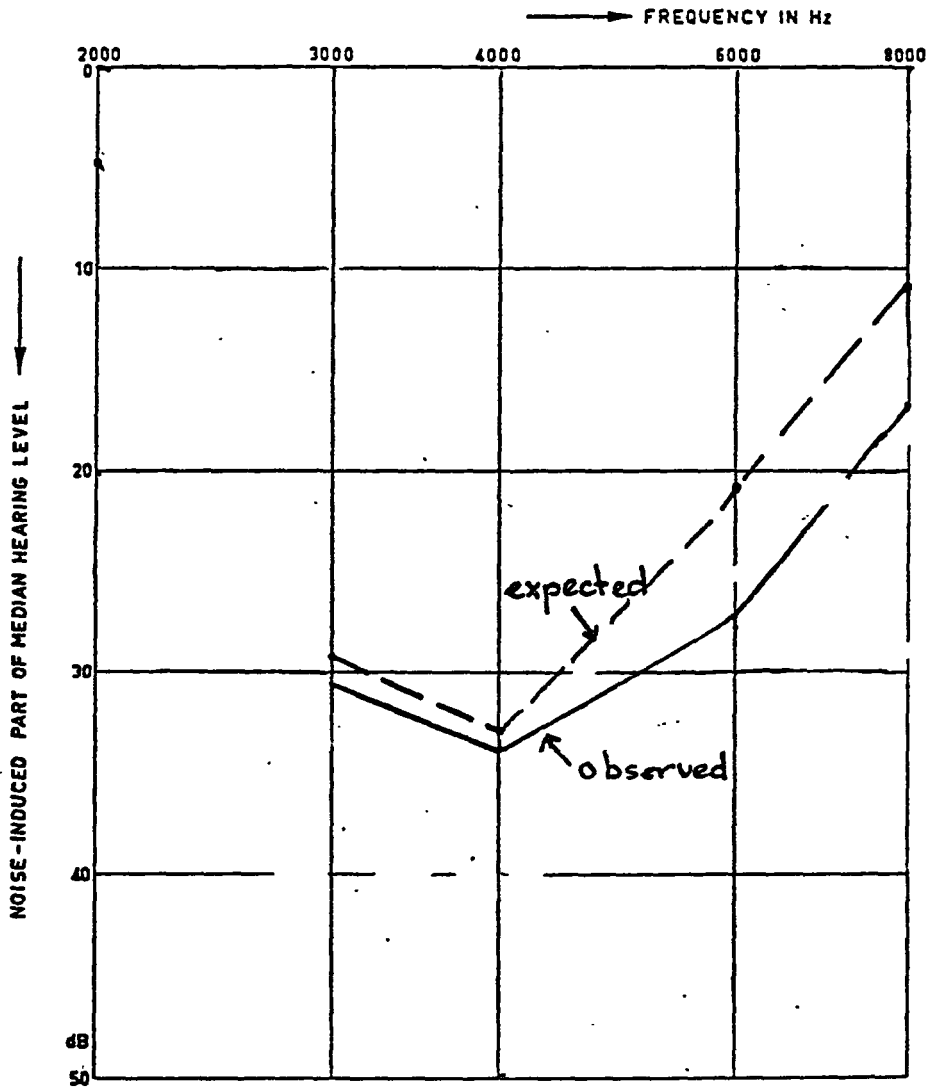
Rangelrooy onderzocht twee situaties waarin impulsgeluid voorkwam. De ene situatie betrof het klinken van vliegtuigen met aluminium klinknagels en de andere situatie betrof een hal waarin staalplaten bewerkt werden. Het klinken veroorzaakte een equivalent geluidniveau van 98 dB(A), terwijl het achtergrondniveau 85 dB(A) was.

In de plaatbewerkingshal heerste een achtergrondniveau van 95 dB(A) terwijl de vallende staalplaten een equivalent geluidniveau van 92 dB(A) veroorzaakten. Dit is de enige situatie die in de literatuur beschreven is, waarbij het  $L_{Aeq}$  van de impulsen lager lag dan het  $L_{Aeq}$  van het achtergrondgeluid. De gehoorverliezen van de klinkers zijn bij frequenties tot 4000 Hz zoals te verwachten is op grond van dosis-effect relaties voor constant geluid, maar bij hogere frequenties treden duidelijk grotere gehoorverliezen op. De gehoorverliezen van mensen in de plaatbewerkingshal zijn iets aan de hoge kant. Rangelrooy heeft de door hem geconstateerde gehoorverliezen vergeleken met de dosis-effect relaties die door Passchier-Vermeer voor constant lawaai zijn opgesteld. Zie figuren 5.32 en 5.33.



Noise-induced parts of the median hearing levels of riveters (29 persons, 58 ears) as a function of frequency. Mean exposure time of the group more than 10 years.

Figuur 5.32 Onderzoekgegevens van Rangelrooy (klinkers).

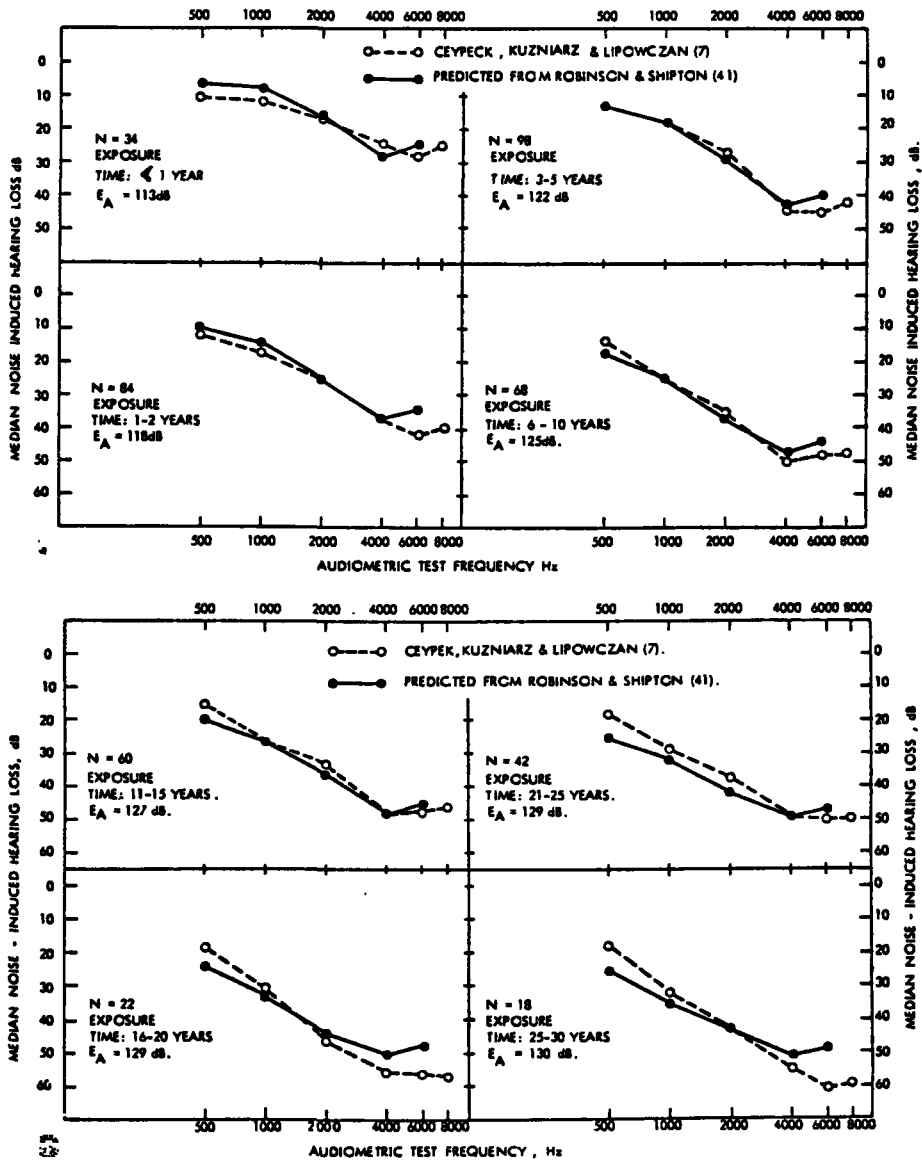


Noise-induced parts of the median hearing levels of a group of steelworkers (36 persons, 72 ears) as a function of frequency. Mean exposure time of the group is 17,5 years.

Figuur 5.33 Onderzoekgegevens van Rangelrooy (plaatbewerkingshal)

5. Ceypek (1973) [16]

Ceypek onderzocht impulsgeluid afkomstig van smeedhamers (dropforgers). Het equivalente geluidniveau bedroeg 116 dB(A), terwijl het achtergrondniveau zo'n 110 dB(A) was. De gehoorverliezen van de 213 onderzochte dropforgers komen zeer goed overeen met de door Robinson gegeven gehoorverliezen voor constant lawaai met hetzelfde equivalente geluidniveau. Het resultaat is gegeven in figuur 5.34. Daarbij zijn de mediane gehoorverliezen door expositie aan lawaai uitgezet als functie van de frequentie, terwijl  $E_A$  parameter is.  $E_A$  is gelijk aan de som van  $L_{Aeq}$  en  $10 \log T$ , waarbij T het aantal expositiejaren is.

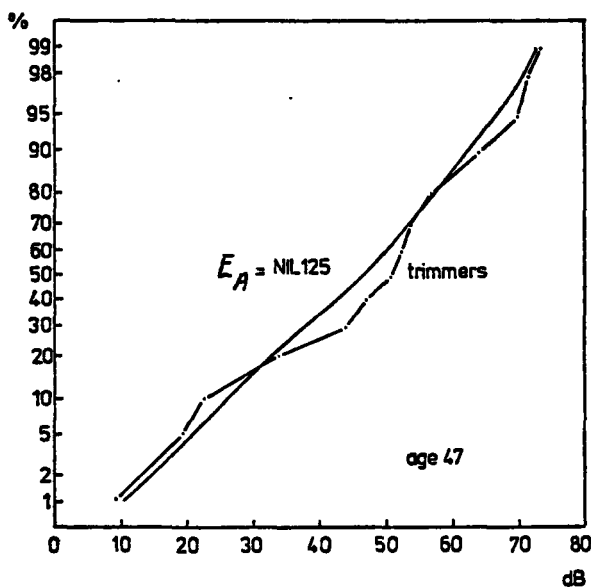


Comparison of median NIHL's reported by Ceypek et al. (7) in the case of drop forging noise with values predicted by Robinson and Shipton (41) for continuous noise, for 8 groups of subjects exposed for various periods of time.

Figuur 5.34 Onderzoekgegevens door Ceypek

6. Atherley (1973) [17]

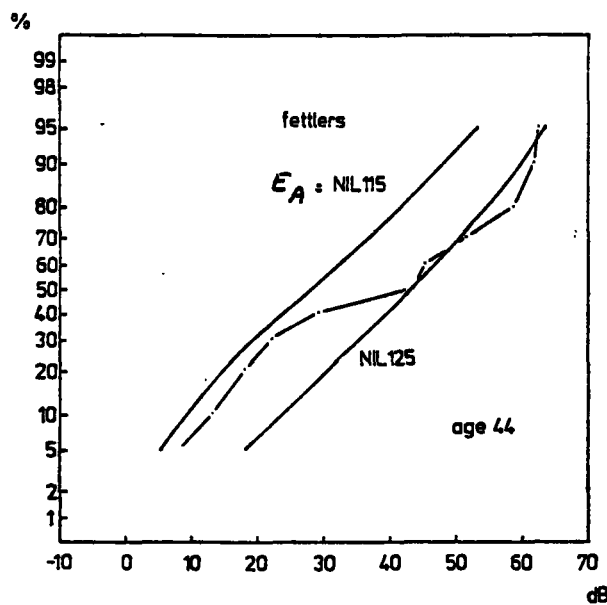
Atherley onderzocht twee groepen personen, die met pneumatische beitels werkten. De "trimmers" hadden een Noise Immission level (NIL: identiek aan  $E_A$ ) gelegen tussen 117 en 127 dB(A). Vergeleken met de gehoorverliezen, gemiddeld over 500, 1000, 2000, 3000, 4000 en 6000 Hz, ten gevolge van een expositie aan constant lawaai met een NIL van 125 dB(A) blijken de gehoorverliezen van de trimmers ongeveer daaraan gelijk te zijn (zie figuur 5.35, waarin de cumulatieve verdeling van de gehoorverliezen is uitgezet). Derhalve dient geconcludeerd te worden dat de gehoorverliezen van de trimmers groter zijn dan op grond van de gegevens voor constant geluid verwacht moet worden.



Calculated cumulative distribution of average hearing levels for noise immission level (NIL) 125 dB at age forty-seven (continuous curve), compared with cumulative distribution of measured hearing levels of trimmers (broken curve). Audiometric standard BS 2497: 1954.

Figuur 5.35 Onderzoekgegevens door Atherley

Atherley onderzocht tevens een groep "fettlers" (21 personen). De Noise Immision Levels van deze fettlers lagen tussen 112 en 120 dB(A). De gehoorverliezen van de fettlers (zie figuur 5.36) blijken boven de mediaan. overeen te komen met de gehoorverliezen door constant lawaai met een NIL van zo'n 125 dB(A). Ook hier zijn dus de gehoorverliezen groter dan verwacht moet worden op basis van de gegevens voor constant lawaai.



Calculated cumulative distributions of average hearing levels for noise immission levels (NIL) 115 dB and 125 dB, at age forty-four (continuous curves), compared with cumulative distribution of measured hearing levels of fettlers (broken curve). Audiometric standard BS 2497: 1954.

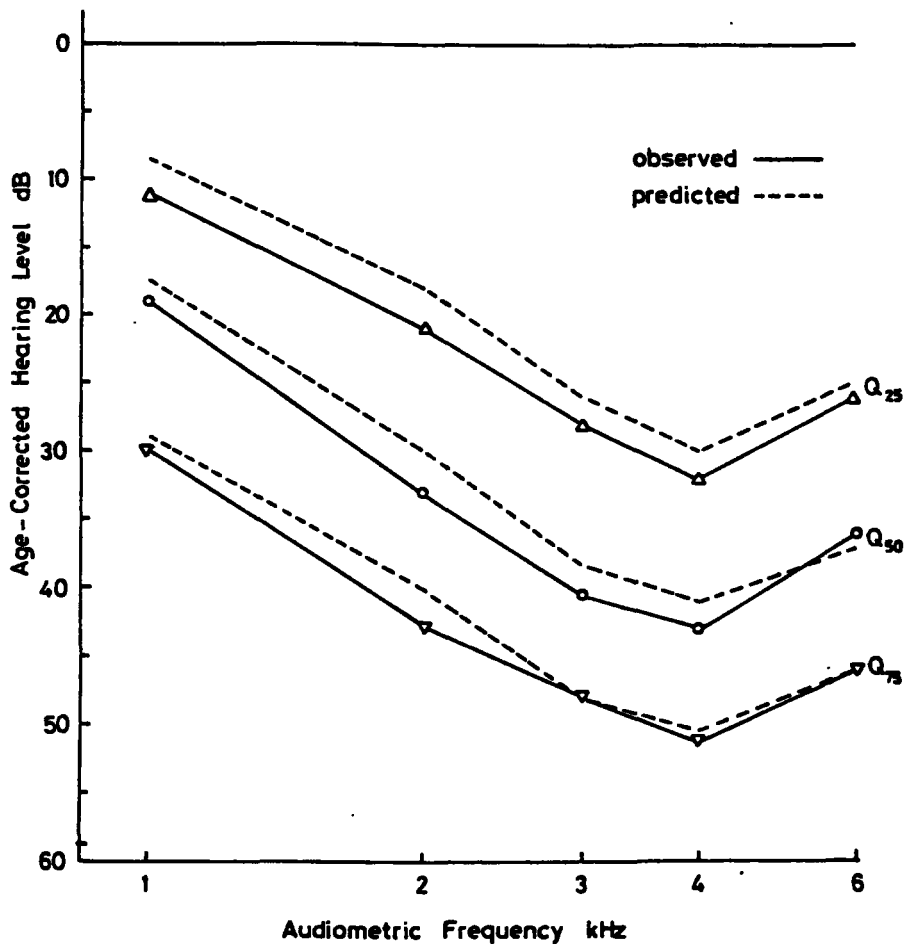
Figuur 5.36 Onderzoekgegevens door Atherley

7. Atherley en Martin (1971) [18]

Atherley en Martin onderzochten twee groepen personen, 76 in totaal, die aan lawaai van smedhamers waren geëxponeerd (drop forging). De equivalente geluidsniveaus bedroegen 110 en 118 dB(A).

De gehoorverliezen van beide groepen tezamen zijn vergeleken met die ten gevolge van expositie aan constant geluid. Een resultaat is gegeven in figuur 5.37 .

Er blijkt een goede overeenkomst.



Figuur 5.37 Onderzoekgegevens door Atherley en Martin



8. Guberan (1971) [19]

Guberan onderzocht de gehoorscherpthe van 70 personen die in elf fabrieken aan smeedhamerlawaai zijn geëxponeerd.

Er zijn een aantal negatieve opmerkingen over dit onderzoek te maken: er wordt niet aangegeven op welke wijze en uit welke grootheden het equivalente geluidniveau is bepaald/gemeten, meer dan de helft van de geëxponeerden heeft een afwijkend otoscopisch beeld en er zijn tevens veel geëxponeerden in de vrije tijd en/of militaire dienst aan schietlawaai geëxponeerd.

De vergelijking met een controlegroep gaat mank aan het feit dat in de controlegroep het aantal personen met afwijkingen nog groter is dan bij de geëxponeerde groepen. Vergelijking van de gehoorverliezen van de geëxponeerden met de gegevens uit DIS R 1999/1 levert het resultaat, gegeven in tabel 5.7.

Tabel 5.7 Vergelijking van gegevens van Guberan en die uit DIS 1999/1

Aantal personen	L <sub>Aeq</sub> in dB(A)	Exp. tijd in jaren	Gehoerverl. in dB bij de frequentie (in hertz)			Gehoerverl. volgens DIS 1999/1 in dB bij de frequentie (in hertz)		
			3000	4000	6000	3000	4000	6000
14	85	13	12,4	11,9	18,0	3	5	3
26	92,5	13	14,3	17,1	25,9	12	15	10
22	97,5	12	22,1	26,4	31,8	21	25	18
8	>100	11	22,7	24,1	32,6	26	31	23

Uit tabel 5.7 blijkt dat de gehoorverliezen van de (kleine) groep met L<sub>Aeq</sub> > 100 dB(A) redelijk overeenkomen met de gegevens uit DIS 1999/1. Bij een L<sub>Aeq</sub> van 85 dB(A) is de gehoorschade door smeedhamerlawaai veel groter dan gegeven in DIS 1999/1 en hetzelfde geldt

eveneens voor de frequentie 6000 Hz bij equivalente geluidniveaus van 92,5 en 97,5 dB(A).

In tabel 5.8 is het resultaat samengevat.

Tabel 5.8 Samenvatting van gegevens betreffende permanente gehoorschade door expositie aan impulsgeluid op de arbeidsplaats.

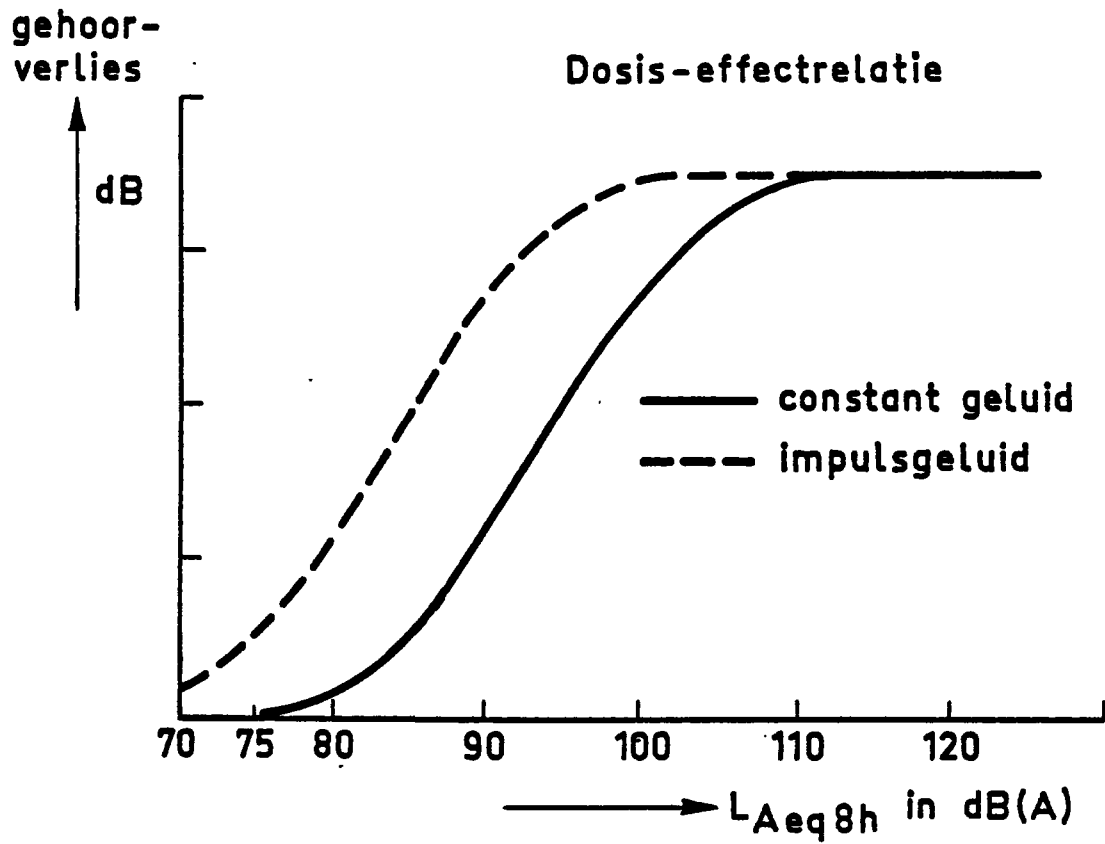
Auteur	Equivalent geluidniveau impulsen	Geconstateerd gehoorverlies door impulsgeluid in relatie tot gehoorverlies door constant geluid		
		Meer gehoorverlies	Eventueel gehoorverlies	Minder gehoorverlies
Voigt	76-100	X		
Sulkowski	114		X	
"	118,5		X	
"	100	X		
Passchier-Vermeer	90	X		
"	93	X		
Rangelrooy	98	X		
"	92		X	
Ceypek	116		X	
Atherley	NIL 117-127	X		
"	NIL 112-120	X		
Atherley+M	110+118		X	
Guberan	100		X?	
"	90-100	X?		
"	90	X?		

Uit tabel 5.8 blijkt dat impulsgeluid met een zeer hoog equivalent geluidniveau (meer dan 110 dB(A)) gehoorverliezen veroorzaakt die even groot zijn als die ten gevolge van expositie aan constant ge-

luid van eenzelfde hoog niveau. Impulsgeluid met een equivalent geluidniveau van ten hoogste 100 dB(A) geeft bij alle beschouwde situaties, met uitzondering van de situatie beschreven door Rangelrooy, meer gehoorschade dan die ten gevolge van expositie aan constant geluid met hetzelfde equivalente geluidniveau. De door Rangelrooy gepresenteerde gegevens bij 92 dB(A) betreffen de enige groep waarbij het equivalente geluidniveau van de impulsen lager was dan het equivalente geluidniveau van het constante achtergrondlawaai.

In figuur 5.38 is aangegeven hoe het mogelijk is dat bij hoge equivalente geluidniveaus het equal-energy principe wel juist kan zijn voor impulsgeluid, en waarom dit bij lagere equivalente geluidniveaus dan toch niet het geval behoeft te zijn.

In figuur 5.38 is als uitgangspunt de dosis-effect relatie van constant geluid gegeven. Vanaf ongeveer 110 dB(A) wordt het grootst mogelijke gehoorverlies door expositie aan lawaai bereikt. Beneden 75 dB(A) is er geen schade. Ter vergelijking is voor impulsgeluid een dosis-effect relatie gegeven die 10 dB(A) verschoven is ten opzichte van die voor constant geluid. Vanaf zo'n 110 dB(A) geven constant- en impulsgeluid dezelfde gehoorschade. Maximale verschillen in de gehoorverliezen door constant geluid en die door impulsgeluid treden op in het gebied van equivalente geluidniveaus van zo'n 85 tot 95 dB(A).



Figuur 5.38 Hypothetisch model van de relatie tussen gehoorverlies en equivalent geluidniveau, voor constant geluid en voor impulsgeluid.

REFERENTIES BIJ HOOFDSTUK 5

- [1] Leeuw, A.R. Impulsgeluid in de Nederlandse industrie. Deel I. Overzicht van een honderdtal metingen in fabrieken. IMG-TNO Rapport B 435, april 1980.
- [2] Berg, R. v.d. Impulsgeluid in de Nederlandse industrie. Deel II. dB(A) metingen van impulsgeluid. IMG-TNO rapport B 436, november 1980.
- [3] Passchier-Vermeer, W. Measurements of impulse noise at work-places: relation between oscilloscopic measurements and measurements with an ordinary precision sound level meter. Scand. Aud. Suppl. 12 (1980). p. 85-97.
- [4] Dym, C.L., F.M. Murray, T.J. Collington. Identification of occupational Impact/impulsive noise sources. Bolt Beranek and Newman, Report no. 3271 (1976).
- [5] Passchier-Vermeer, W. Industrielawaai. Schatting van het aantal personen, werkzaam in de Nederlandse industrie, die op arbeidsplaatsen aan lawaai zijn geëxponeerd. IMG-TNO Rapport B 347, februari 1976.
- [6] ISO R 1999. Acoustics-Assesment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes (1975).
- [7] ISO DIS R 1999/1. Acoustics-Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing-loss (1981).
- [8] Rövekamp, A.J.M., R.v.d.Berg. Meetmethoden van lawaai op de arbeidsplaats. IMG-TNO Rapport B 450, oktober 1980.
- [9] ISO DIS 6189. Acoustics-Pure tone air-conduction threshold audiometry for hearing conservation purposes (1980).
- [10] IEC 645. Audiometers (1980).
- [11] Passchier-Vermeer, W. Noise-induced hearing loss from exposure to intermittent and varying noise. Proceedings of the Int. Congress on Noise as a Public Health Problem. Dubrovnik (1973) p. 169-200.

- [12] Voigt, P., B.Godenheim, E.Ostlund. Impulse noise measurement and assessment of the risk of noise induced hearing loss. Scand. Aud. Suppl. 12 (1980) p.319-325.
- [13] Sulkowski, W.J. Hearing impairment caused by impulse noise: survey in the drop forging industry. Scand. Aud. Suppl. 12 (1980) p. 307-317.
- [14] Passchier-Vermeer, W. Steady-state and fluctuating noise; its effect on the hearing of people. Br. Acoust. Soc. Spec. Vol.1 (1971) p. 15-33.
- [15] Rangelrooy, P.v. Gehoorverlies door impulsvormig geluid in de industrie. Lab. voor Technische Natuurkunde. Afstudeerver- slag (1977).
- [16] Ceypek, T., J.J. Kuzniarz. Hearing loss due to impulse noise. A field study. Proceedings of the Int. Congress on Noise as a Public Health Problem. Dubrovnik (1973) p.219-228.
- [17] Atherley, G.R.C. Noise-induced hearing loss: the energy principle for recurrent impact noise and noise exposure close to the recom- mended limits. Ann. occup. Hyg. 16 (1973) p. 183-192.
- [18] Atherley, G.R.C., A.M.Martin. Equivalent-continuous noise level as a measure of injury from impact and impulsive noise. Ann. occup. Hyg. 14 (1971) p. 11-28
- [19] Guberan, E., J.Fernandez en al. Hazardous exposure to indus- trial impact noise: persistent effect on hearing. Ann. occup. Hyg. 14 (1971) p. 345-350.
- [20] Burns, W., D.W.Robinson. Hearing and Noise in industry. H.M.S.O. (1970).
- [21] Passchier-Vermeer,W. Hearing loss due to exposure to steady- state broadband noise.IMG-TNO Report 35 (1968).
- [22] Aanbevelingen voor audiometrisch onderzoek bij een gehoorbescher- mingsprogramma. CARGO-TNO uitgave (1981).
- [23] IEC 651. Sound Level Meters (1979)