

DE PERSOONLIJKE
GELUIDEXPOSITIEMETER
EN HET GEBRUIK

Door: ing. R. van den Berg
ing. A.J.M. Rövekamp

Rapport B 462, maart 1981

MG-TNO

postbus 214
2600 AE delft

bezoekadres
schoemakerstraat 97
delft

telefoon 015 - 56 93 30

Onderzoek naar de werking en
de toepassingsmogelijkheden van
de persoonlijke geluidexpositie-
meter

Afdeling:
Geluid, Licht en Binnenklimaat

Projectnr. 2.2.6 (Code : 020010009)

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 uitgifte rapport TNO,
's-Gravenhage.

Onverminderd de rechten van de op-
drachtgever mag niets uit deze uitgave
worden veeelvoudigd 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.”

SAMENVATTING

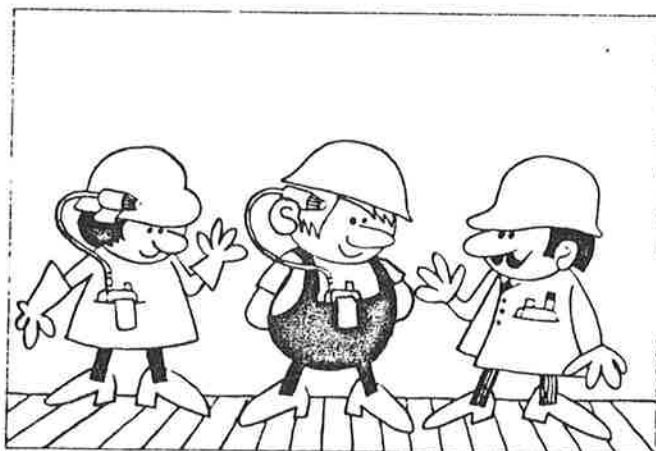
In toenemende mate worden geluidexpositiemeters toegepast voor het bepalen van de geluidbelasting van een werknemer. Op het eerste gezicht lijkt de geluidexpositiemeter het meest ideale instrument. De microfoon van de expositiemeter kan in de directe omgeving van het oor van de betrokken persoon bevestigd worden, zodat een juist beeld van de geluidbelasting wordt verkregen. In de praktijk rezen echter vragen over de betrouwbaarheid van de metingen. De plaats van de microfoon en de invloed van de verschillende geluidsoorten spelen hierbij een rol, evenals andere factoren.

In het laboratorium van het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO is een akoestisch onderzoek verricht naar bovengenoemde aspecten. Dit rapport geeft de resultaten van dit onderzoek weer. Tevens wordt enigszins ingegaan op de werking van een geluidexpositiemeter en de normstelling op het gebied van de expositiemeting en de apparatuur.

Ook wordt ingegaan op de omrekening van de relatieve expositie (in procenten) en de absolute expositie (in Pa^2h) naar equivalente geluidniveaus (in dB(A)). Achterin het rapport zijn voor dit doel nomogrammen en een tabel opgenomen.

Uit het onderzoek blijkt dat de calibratie van de meters onder laboratoriumomstandigheden geen problemen gaf. De frequentiekaracteristieken van de gemeten expositiemeters voldoen in de meeste gevallen aan de nieuwe norm IEC 651. Voor constant en intermitterend geluid werden afwijkingen in de gemeten geluidniveaus gevonden tussen $+3,1 \text{ dB(A)}$ en $-1,3 \text{ dB(A)}$. De exposities zijn hierbij omgerekend naar een equivalent geluidniveau.

De meetresultaten voor impulsgeluid vertoonden grotere afwijkingen (tot $-5,5 \text{ dB(A)}$). Om beter inzicht te krijgen in de verwerking van impulsgeluid door geluidexpositiemeters is nader onderzoek dringend noodzakelijk. Uit het onderzoek naar de plaats van de microfoon blijkt dat de beste resultaten verkregen worden wanneer deze zo dicht mogelijk bij het oor gedragen wordt.



INHOUD

1. INLEIDING	1
2. DE WERKING VAN GELUIDEXPOSITIEMETERS	3
2.1 Algemeen	3
2.2 Expositiemeter met NDC-uitlezing	3
2.3 Expositiemeter met E-uitlezing	7
3. CONTROLE EN CALIBRATIE	9
3.1 Controle	9
3.2 Calibratie	10
4. FREQUENTIEKARAKTERISTIEK	12
5. CONSTANT EN INTERMITTEREND GELUID	15
6. IMPULSGELUID	18
7. HOEK VAN INVAL	23
8. PLAATS VAN DE MICROFOON	24
8.1 Effect van gericht geluidveld in omgeving zonder nagalm	24
8.2 Effect van diffuus geluidveld	27
9. MEETTIJD	28
10. INVLOED VAN "LAAG GELUIDNIVEAU" OP DE TOTALE EXPOSITIE.	31
10.1 Geluidniveaus beneden de drempelwaarde van de expositiemeter	31
10.2 De invloed van perioden met een lager geluidniveau op de totale expositie	33
11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	34
12. LITERATUUR	36
BIJLAGE 1: Nomogram, $L_c=90$ en $q=3$	38
BIJLAGE 2: Nomogram, $L_c=85$ en $q=3$	39
BIJLAGE 3: Omrekeningstabel van geluidexpositie naar equivalent geluidniveau	40

1. INLEIDING

In veel bedrijven zijn de geluidniveaus waaraan werknemers worden blootgesteld erg hoog, in veel gevallen bestaat zelfs kans op gehoorbeschadiging bij langdurige blootstelling aan dat lawaai. Om na te gaan in hoeverre kans op gehoorbeschadiging bestaat worden in toenemende mate persoonlijke geluidexpositiemeters toegepast.

Met behulp van een persoonlijke geluidexpositiemeter wordt over de tijd een functie van de A-gewogen geluiddruk geïntegreerd. Dit noemt men de geluid-dosis of geluidexpositie (Noise Dose Count = NDC). In een binnenkort te verwachten IEC-norm [1] wordt deze maat niet gehanteerd. De geluidexpositie (E) wordt in deze norm gerelateerd aan de over de tijd geïntegreerde waarde van het kwadraat van de A-gewogen geluiddruk. In formulevorm:

$$E = \int_0^T p^2 dt \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

De tot op heden gebruikte benaming persoonlijke geluiddosismeter of dosi(s)meter wordt in deze norm ook niet gehanteerd. Evenals in Engeland is men overgegaan op de benaming persoonlijke geluidexpositiemeter of expositiemeter.

De geluidexpositie kan omgerekend worden naar een equivalent geluiddruk niveau (zie hoofdstuk 2). Alle geluiddruk niveaus, in dit rapport genoemd, zijn gerefereerd naar een referentiegeluiddruk van 20 μPa . Om de juiste geluidexpositie te meten wordt de persoonlijke geluidexpositiemeter, in het vervolg kortweg expositiemeter genoemd, door de persoon in kwestie megedragen.

Op het eerste gezicht lijkt de expositiemeter het meest ideale instrument voor de bepaling van de geluidexpositie. De microfoon van de expositiemeter kan in de directe omgeving van het oor bevestigd en megedragen worden, zodat de werknemer niet gebonden is aan een vaste werkplek, maar zich zo kan verplaatsen als hij gewend is. Hierdoor wordt het geluidbeeld niet vertekend door een vaste microfoonopstelling. In de praktijk is echter gebleken dat er veel vragen zijn over de betrouwbaarheid van de meetresultaten. Ook zijn er vragen op het gebied van de plaats van de microfoon. Het blijkt dat van de juiste toepassing van expositiemeters nog weinig bekend is. In dit

rapport wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de werking van een aantal expositiemeters, hun toepassingen en beperkingen. Het betreft een akoestisch onderzoek naar de technische kwaliteiten van diverse typen expositiemeters, uitgevoerd op het laboratorium van het IMG-TNO.

Hierbij zijn de volgende aspecten bekeken :

- controle en calibratie
- frequentiekarakteristiek, inclusief A-filter en microfoon
- meetuitkomsten bij het meten van :
 - * continu geluid
 - * intermitterend geluid: met 10%, 50% en 90% van de tijd een hoog niveau
 - * impulsgeluid
- het gebruik van expositiemeters ten aanzien van:
 - * plaats van de microfoon
 - * hoek van inval
 - * uitlezing
 - * duur van de meting
 - * invloed van lage geluidsniveaus op de totale geluidsexpositie.

Niet aan de orde komen:

- omgevingscondities :
 - * temperatuurbereik waarboven de meter nog volgens de norm dient te werken
 - * effecten van magnetische en elektrostatische velden
 - * gevoeligheid van het complete instrument voor vocht
 - * invloed van elektromagnetische velden
 - * gevoeligheid voor atmosferische druk
- drempelniveau, dit is het niveau waaronder de meter weinig of geen aanwijzing geeft.

Ook de oversturingsindicator is niet getest. De norm [1] zegt hierover alleen dat de fabrikant bij aanwezigheid van de oversturingsindicator het niveau moet opgeven waarboven de indicatie in werking treedt. Dit moet gebeuren binnen een tijd afhankelijk van de tijdconstante van het middelingscircuit in de beschouwde meter. Een en ander dient in de gebruiksaanwijzing vermeld te zijn.

2. DE WERKING VAN EXPOSITIEMETERS

2.1 Algemeen

Vanaf de microfoon wordt het geluidsignaal toegevoerd aan een geluidniveaumeter waar amplitudeweging, "laag niveau"-detectie, "oversturings"-detectie, frequentieweging via het A-filter en omzetting naar een spanning evenredig aan het geluiddrukkniveau plaatsvindt. In figuur 1 is het blokschema van een expositiemeter gegeven.

2.2 Expositiemeter met NDC-uitlezing

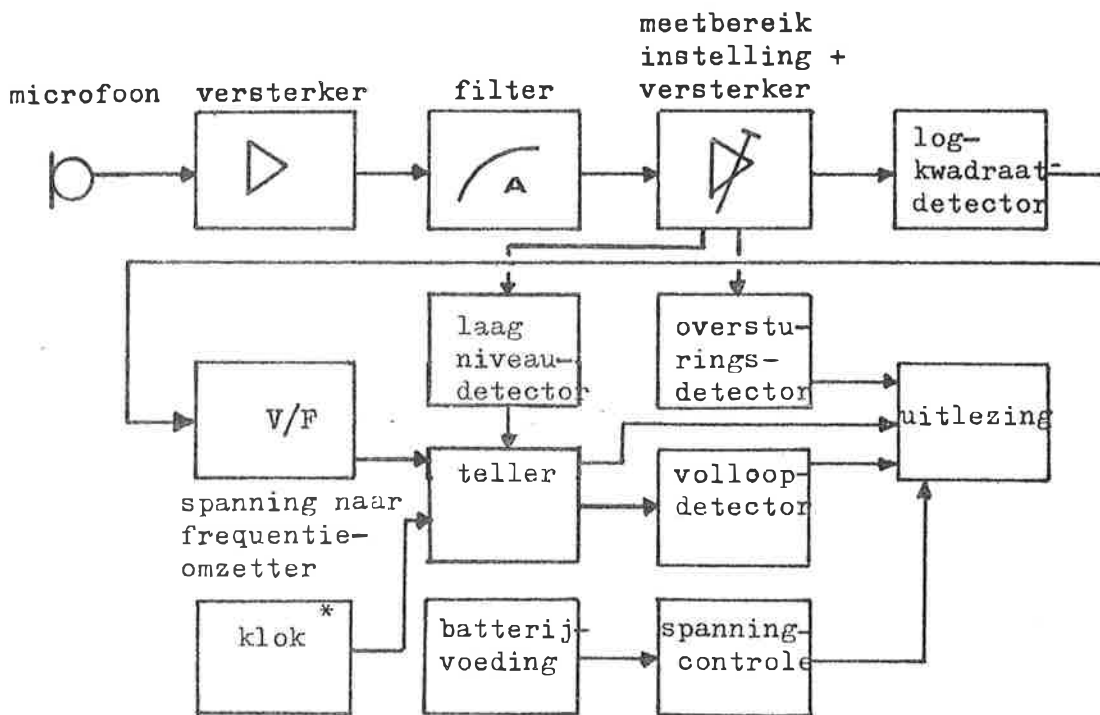
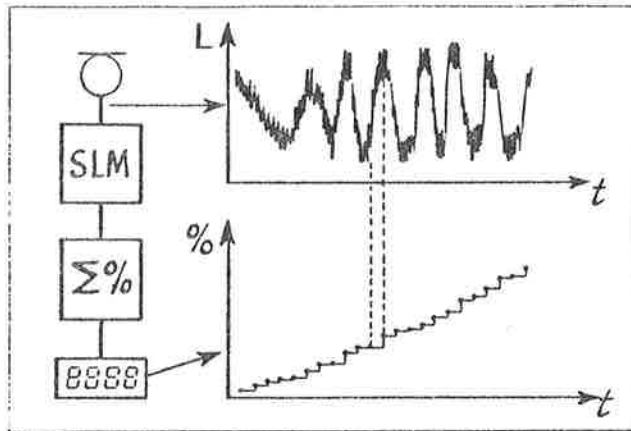
In de meeste expositiemeters wordt deze spanning omgezet in een pulstrein, waarvan de frequentie evenredig met het geluiddrukkniveau varieert. De ingebouwde teller sommeert het aantal geproduceerde pulsen. Het totaal getelde aantal pulsen is evenredig aan de geluidexpositie (= NDC):

$$NDC = 100 * (1/x) * \int_0^T (p(t)/p)^n dt \quad [\%] \quad (2)$$

waarin T = meettijd in uren
x = toegestane expositieduur
p(t) = momentane A-gewogen geluiddruk in Pa
p = geluiddruk behorend bij het maximum toegestane energie-equivalente geluidniveau over een bepaalde expositieperiode x (b.v. 8 uur) in pascal
n = amplitudeweging

De A-weging van de geluiddruk geeft een geschikte maat voor de bepaling van de kans op gehoorschade. Alle expositiemeters zijn daarom uitgerust met een A-filter. De eisen waaraan het filter moet voldoen zijn omschreven in IEC 123 [2] en IEC 179 [3] of de herziene en uitgebreide versie IEC 651 [4]. De eisen waaraan de expositiemeter moet voldoen zijn opgenomen in de ontwerpnorm "Personal Sound Exposure Meter" van de International Electrotechnical Commission, versie juni 1979 [1], waarin twee kwaliteitstypen geluidexpositiemeters worden gespecificeerd, aangeduid met type 2 en type 3. Deze typeaanduiding komt overeen met de aanduiding in IEC Standard 651 [4].

Bovenstaande vergelijking is gerelateerd aan een geluidsexpositie veroorzaakt door een geïntegreerde momentane geluiddruk p gedurende een periode x . De uitkomst wordt door vermenigvuldiging met 100 uitgedrukt in procenten. De geluidsexpositie geeft dus een percentage aan van een bepaalde toegestane expositie. De toegestane expositie wordt bij 100% bereikt.



*) alleen meters volgens de nieuwe norm [1]

Figuur 1. Het blokschema van de geluidsexpositiemeter

In de internationale ISO-normen voor gehoorbescherming [5],[6] gaat men uit van het "equal energy" principe, dat wil zeggen dat de kans op gehoorbeschadiging evenredig is met de energieinhoud van het geluid. Bijvoorbeeld bij verdubbeling van de energie moet de expositietijd gehalveerd worden bij gelijkblijvende kans op gehoorbeschadiging. Een verdubbeling van energie houdt in dat het equivalente geluidniveau met 3 dB toeneemt. In dit geval spreekt men ook wel van een q-factor van 3. De energie van geluid is evenredig met het kwadraat van de geluiddruk. In formule (2) wordt voor n dus 2 ingevuld.

De "Occupational Safety and Health Act" (OSHA) in Amerika past een q-factor van 5 toe, dat wil zeggen dat de expositieduur gehalveerd moet worden voor elke toeneming van het equivalente geluidniveau met 5 dB(A) bij gelijkblijvende kans op gehoorbeschadiging. De waarde van n uit formule (1) is hierdoor 1,2. De ISO-standaard R 1999 [5],[6] hanteert een q-factor van 3 en staat andere q-factoren niet toe.

Veelal gaat men ervan uit dat de maximaal toegestane geluidexpositie van 100% bereikt wordt bij een equivalent geluidniveau van 90 dB(A) gedurende 8 uur.

De geluidexpositie (NDC) kan omgerekend worden naar het equivalente geluidniveau indien de tijd waarover de expositie bepaald is bekend is. De omrekening is gebaseerd op de q-factor en de waarde van het equivalente geluidniveau (L_c) waarbij de expositie over acht uur 100% bereikt. In ons geval is q altijd 3. Bij een waarde van $L_c = 90$ dB(A) geldt:

$$L(AeqT) = 90 + 10 \cdot \log[(NDC/100) \cdot (8/T)] \quad [dB(A)]$$

waarin T = de meettijd in uren

of algemeen:

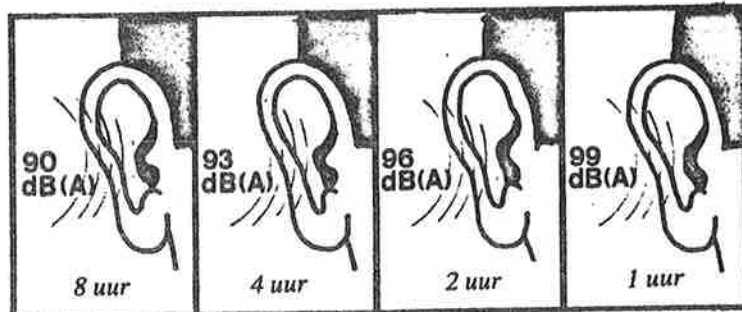
$$L(AeqT) = L_c + 10 \cdot \log[(NDC/100) \cdot (8/T)] \quad [dB(A)] \quad (3)$$

De omrekening van geluidexpositie naar equivalent geluidniveau kan met behulp van een rekenschijf (b.v. CEL type D1951) of een nomogram (B & K en GenRad) gebeuren.

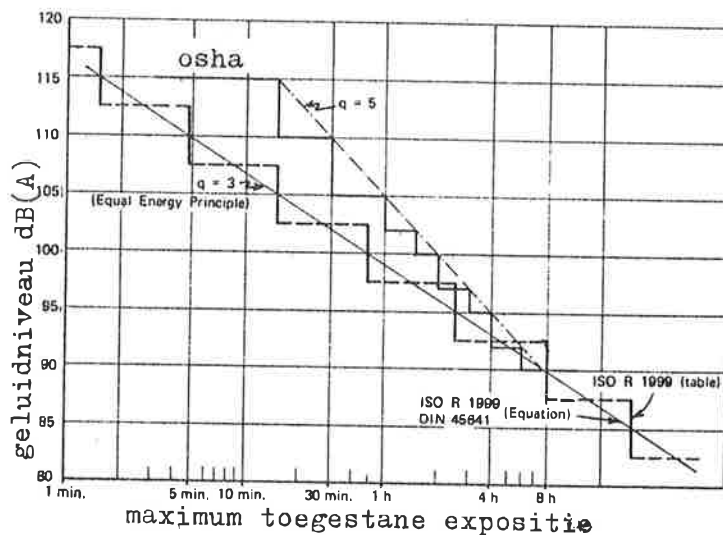
Nomogrammen zijn opgenomen in bijlage 1 en 2. In bijlage 3 is een tabel opgenomen waaruit het equivalente geluidniveau kan worden afgelezen bij bepaalde geluidsexpositie en meettijd. Er dient op gelet te worden dat de juiste schijf of tabel gebruikt wordt. Bij elke q-factor en waarde van L_c behoort een andere schijf, tabel of nomogram. Exposities voor dezelfde q-factor met verschillende waarden voor L_c kunnen gemakkelijk naar een equivalent geluidniveau worden omgerekend met behulp van dezelfde tabel (bijlage 3). Van de gevonden waarde moet dan nog het verschil in waarden van L_c verrekend worden. Onderzoek heeft uitgewezen dat er reeds kans op gehoorbeschadiging bestaat bij jarenlange dagelijkse expositie gedurende 8 uur aan equivalente geluidniveaus van 80 dB(A). Het zou daarom beter zijn de grens van 90 dB(A) terug te brengen naar 80 dB(A) gedurende 8 uur.

Is het equivalente geluidniveau hoger dan de grens van 90 dB(A), b.v. 93 dB(A) (tweemaal zoveel energie), dan wordt de toegestane expositie van 100% in de helft van de tijd bereikt.

even schadelijk:



De toegestane expositieduur wordt telkens een factor 2 lager bij een toeneming van het equivalente geluidniveau met 3 dB(A). Figuur 2 geeft nog eens het verschil aan tussen de OSHA-criteria en de ISO-waarden.



Figuur 2. De relatie tussen geluidniveau en expositietijd bij toepassing van de OSHA-aanbevelingen en de ISO-norm R 1999, waarbij uitgegaan wordt van maximaal 90 dB(A) over een 8-urige werkdag

2.3 Expositiemeter met "E"-uitlezing

In de nieuwe IEC-norm [1] betreffende geluidexpositiemeters gaat men uit van de term geluidexpositie (E), die als volgt is gedefiniëerd:

$$E = \int_0^T p^2(t) dt \quad [\text{Pa}^2 \text{ h}]$$

Ter verduidelijking van de relatie van de term E met de term NDC is het volgende voorbeeld gegeven;

Uitgegaan wordt van een equivalent geluidniveau L_c van 85 dB(A) over een achturige werkdag. Hierbij is NDC dan 100%. Het equivalente geluidniveau over een periode T bedraagt:

$$L(A_{eq}T) = 10 * \log \left[\left(\frac{1}{T} \right) \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p(o)} \right)^2 dt \right] \quad (4)$$

Anders geschreven:

$$L(A_{eq}T) = -10 \cdot \log[p(o)^2] + 10 \cdot \log[(1/T) \cdot \int_0^T p^2(t) dt] \quad (5)$$

waarin $p(o) = 20 \mu Pa$, dus:

$$L(A_{eq}T) = 94 + 10 \cdot \log[(1/8) \cdot \int_0^T p^2(t) dt]$$

formule (1) in formule (5) ingevuld levert:

$$L(A_{eq}T) = 94 + 10 \cdot \log(E/8)$$

Formule (3) en (5) leveren de vergelijking:

$$L_c + 10 \cdot \log(NDC/100) + 10 \cdot \log(8/T) = 94 + 10 \cdot \log(E/8)$$

voor $L_c = 85 \text{ dB(A)}$ en $T = 8$ uur wordt de vergelijking:

$$85 + 10 \cdot \log(NDC/100) = 94 + 10 \cdot \log(E) - 10 \cdot \log(8)$$

$$10 \cdot \log(NDC/100) = 10 \cdot \log(E)$$

$$NDC/100 = E$$

Geeft de expositiemeter een uitkomst van $1 \text{ Pa}^2 \text{ h}$, dan volgt hier dus uit dat het equivalente geluidniveau 85 dB(A) bedraagt indien er acht uur gemeten is.

De maat voor E is een absolute maat, die voor NDC is relatief ten opzichte van de waarde van het equivalente geluidniveau gedurende 8 uur (L_c) waarbij de expositie op 100% gesteld wordt.

3. CONTROLE EN CALIBRATIE

Alle door ons geteste expositiemeters zijn van het type q=3. Het betreft de expositiemeters in tabel 1. In deze tabel zijn tevens de waarden Lc en de meetbereiken opgenomen. De waarde Lc is het toegestane equivalente geluidniveau bij 100% geluidexpositie gemeten over een periode van acht uur (een werkdag).

Het dynamisch bereik is het verschil tussen de hoogste en laagste geluidniveaus waarbinnen de expositiemeter binnen zekere toleranties lineair werkt. Het laagste niveau is het niveau waaronder de bijdrage aan de expositie nihil is.

Tabel 1. De geteste expositiemeters

nr.	type	waarden in dB(A)					
		Lc	meet- bereik	Lc	meet- bereik	Lc	meet- bereik
1.	CEL 179 A (1)	90	85-140	60	55-110		
2.	CEL 179 A (2)	90	85-140	60	55-110		
3.	CEL 179 A (3)	90	85-140	60	55-110		
4.	CEL 179 C (4)	85	80-135	55	50-105		
5.	B & K type 4428	90	80-140	"short dur."*)			
6.	Dupont E100 (0)	90	80-115				
7.	Dupont E100 (1)	90	80-115				
8.	GenRad type 1954	90	80-130	70	60-110	50	40- 90

*) de "short duration"- of "calibratie"stand van deze meter komt overeen met een meetbereik van 59-119 dB(A) en Lc=69 dB(A).

Bij de keuze van de expositiemeter dient men er rekening mee te houden dat bij het meten van geluidniveaus in een bepaalde situatie de niveaus onder de laagste waarde van het dynamisch bereik geen bijdrage zullen leveren tot de aangegeven expositie. In hoofdstuk 10 wordt dit verder behandeld.

Alvorens de expositiemeter gebruikt wordt dient de juiste werking ervan nauwkeurig gecontroleerd te worden.

3.1 Controle

In de eerste plaats moet nagegaan worden of de batterijspanning nog voldoende is om gedurende acht uur te meten. Vooral wanneer langdurige metingen verricht moeten worden is dit van groot belang.

De expositiemeters hebben hiervoor ingebouwde controle-mogelijkheden (zie gebruiksaanwijzingen).

3.2 Calibratie

In de tweede plaats moet de expositiemeter akoestisch gecalibreerd worden. Door een akoestisch signaal van bekend niveau gedurende een bepaalde tijd aan de microfoon van de expositiemeter aan te bieden kan nagegaan worden of de gemeten expositie in overeenstemming is met de aangeboden geluidsexpositie binnen bepaalde grenzen. Sommige fabrikanten leveren hiervoor een apparaat waarmee dit automatisch geschiedt (Dose Meter Calibrator, b.v. CEL type 177) of is dit ingebouwd in het uitleesapparaat (GenRad). In andere gevallen moet een pistonfoon gebruikt worden in combinatie met een stopwatch.

De grenzen waarbinnen de calibratiewaarden liggen is meestal opgegeven met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5$ dB(A) overeenkomstig het gestelde in de norm [4]. Omdat de geluidsexpositiemeting lineair geschiedt en het equivalente geluidniveau een logaritmische waarde is mag voor een afwijking van 0,5 dB(A) de expositiewaarde 10% afwijken. B.v. is 90 dB(A)=100% dan is 89,5 dB(A)=90%.

In onderstaande tabel is aangegeven met welke calibrators de expositiemeters zijn gecalibreerd, welk geluiddrukkniveau gedurende een bepaalde tijd is aangeboden en welke geluidsexpositie (NDC) daarbij hoort.

Tabel 2. Calibratiegegevens

expositie- meter	calibrator	niveau dB(A)	tijd sec.	expositie %
1 CEL179A	CEL 177	114	65,5	56
2 CEL179A	CEL 177	114	65,5	56
3 CEL179A	CEL 177	114	65,5	56
4 CEL179C	CEL 177	114	65,5	177
5 B&K 4428	B&K 4230	94	30	30 "cal"
6 DuPont E100	GenRad 1562A	114	60	52
7 DuPont E100	GenRad 1562A	114	60	52
8 GenRad 1954	GenRad 1954	116,5	-	1,40 *)

- *) opmerking: de calibrator van expositiemeter nr.8 geeft 116,5 dB(A) volgens opgave van de fabrikant. In de calibratiestand behoort op het uitleesdisplay na ca. 10 seconden 1,40 te staan. Dit wordt elektronisch zo gemeten en berekend en kan niet volgens eerder beschreven methode omgerekend worden naar een equivalent niveau. Tevens zijn de microfoon en de calibrator van deze expositiemeter wat betreft afmetingen zodanig op elkaar afgestemd dat geen andere calibrator kan worden toegepast.

In dit onderzoek zijn telkens bij de aanvang van de metingen de expositiemeters gecalibreerd. De calibratiegegevens zijn in onderstaande tabel (tabel 3) samengevat. Alle geluidexposities zijn omgerekend naar equivalente geluidniveaus.

Tabel 3. Equivalente geluidniveaus in dB(A) bij calibratie

exp. meter	calibr dB(A)	data van controle							
		30/10	31/10	3/11	3/11	5/11	19/11	24/11	3/12
1.	114,0	114,1	113,7	114,2	114,1*	114,0	114,9	114,4	114,5
2.	114,0	114,1	114,3	114,1	114,0	114,1	114,1	114,1	114,3
3.	114,0	113,8	113,8	113,7	113,7	113,7	113,8	113,8	113,8
4.	114,0	**	-	-	-	-	114,4	113,9	114,5
5.	93,6	-	93,6	93,6	93,6	-	93,6	-	-
6.	114,0	-	-	-	-	-	112,3	113,9	113,8
7.	114,0	-	-	-	-	-	111,4	113,8	113,2
8.	116,5	-	-	-	-	-	1,53	1,49	1,48

- * = na afregeling en/of batterijverversing
 ** : niet alle expositiemeters waren bij aanvang van het onderzoek beschikbaar, waardoor een aantal metingen ontbreken

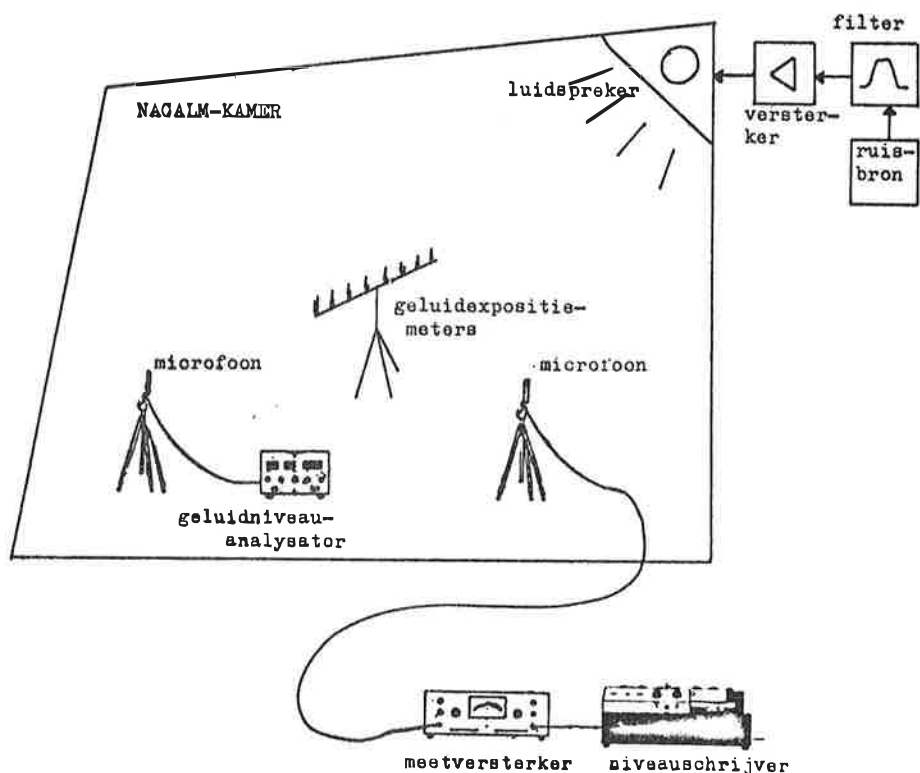
Conclusie: slechts eenmaal moest een expositiemeter opnieuw afgeregeld worden. Dit kwam waarschijnlijk omdat het apparaat van een verse batterij was voorzien. De overige expositiemeters geven slechts kleine veranderingen in de geluidexposities te zien bij calibratie onder laboratoriumomstandigheden. Nog niet bekend is of in de praktijk de expositiemeters zo constant blijven als in dit laboratoriumonderzoek. Het is goed mogelijk dat de expositiemeter door het dragen of door het optreden van trillingen sneller ontregeld is.

Het verdient daarom aanbeveling de expositiemeter zowel voor als na de meting te calibreren. Indien na afloop van de meting blijkt dat de meter verlopen is dan dient men hiervan aantekening te maken en de meting als niet correct te beschouwen.

Bij calibratie dient erop gelet te worden dat de calibrator goed op de microfoon bevestigd wordt met behulp van de juiste "coupler". Soms gaat dit enigszins zwaar. Wanneer de calibrator niet geheel tegen de microfoon geschoven is kunnen grote afwijkingen in de exposities ontstaan.

4. FREQUENTIEKARAKTERISTIEK

Met behulp van gefilterde witte ruis zijn metingen verricht ter bepaling van de frequentiekaracteristieken van de expositiemeters. Volgens de ontwerpnorm voor expositiemeters [1] moet de ijking van de frequentieresponsie plaatsvinden in het vrije veld zonder dat dit door een waarnemer verstoord wordt in de door de fabrikant gespecificeerde richting. De in dit onderzoek toegepaste expositiemeters waren alle voorzien van rondomgevoelige microfoons, zodat de richting van de microfoon in het geluidveld niet van belang is. Om praktische redenen zijn de metingen in de nagalmkamer verricht. In deze ruimte heerst een diffuus geluidveld, waardoor de plaats van de microfoons ten opzichte van de geluidbron niet zo kritisch is als in andere ruimten. Tevens konden nu alle expositiemeters tegelijk gemeten worden. Het geluidveld bestond uit in octaafbanden gefilterde witte ruis. Een schema van de meetopstelling is in figuur 3 gegeven.



Figuur 3. Meetopstelling in de nagalmkamer

Behalve door de expositiemeters is het equivalente geluidniveau bemonsterd door de geluidniveauanalysator B & K type 4426 en is het momentane geluidniveau gemeten met een meetversterker B & K type 2607. De witte ruis is opgewekt met een ruisbron B & K type 1405, in octaafbanden met middenfrequenties van 250 Hz tot en met 8000 Hz gefilterd door een filter B & K type 5612 en versterkt door een versterker B & K type 2706. De meetresultaten zijn vermeld in tabel 4. In deze tabel zijn tevens de geluiddruk niveaus opgenomen die gemeten zijn met de meetversterker.

Tabel 4. Gemeten geluiddruk niveaus van in octaafbanden gefilterde ruis

expositie- meter	middenfrequenties van de octaafbanden (Hz)					
	250	500	1000	2000	4000	8000
1.	95,3	101,4	104,1	106,7	100,7	94,0
2.	-	94,8	101,8	107,4	103,5	96,5
3.	95,2	102,9	105,4	108,5	102,7	96,0
4.	95,9	103,3	105,9	109,3	104,0	97,2
6.	95,1	101,1	104,3	106,5	100,4	91,6
7.	95,1	101,4	103,5	105,7	98,6	-
8.	97,3	103,9	106,4	108,7	102,1	95,1
controle- instrument						
4426 dB(A)	95,0	102,0	105,2	107,7	100,9	98,9
2607 dB(A)	96,0	102,2	105,5	107,6	100,8	93,2
2607 dB lineair	104,0	105,0	105,0	106,8	100,0	93,8

Door nu de meetgegevens uit tabel 4 af te trekken van het geluiddruk niveau, lineair (=ongewogen) gemeten met de meetversterker B & K type 2607, krijgt men de frequentie karakteristieken van de diverse meters. Dit is in tabel 5 weergegeven.

Tabel 5. Verschil van het A-gewogen geluidniveau en het ongewogen geluiddrukkniveau

expositie- meter	middenfrequenties van de octaafbanden (Hz)					
	250	500	1000	2000	4000	8000
1.	-8,7	-3,6	-0,9	-0,1	0,7	0,2
2.	*	-10,2	-4,2	0,6	3,5	2,7
3.	-8,8	-2,1	0,4	1,7	2,7	2,2
4.	-8,1	-1,7	0,9	2,5	4,0	3,4
6.	-8,9	-3,9	-0,7	-0,9	0,4	-2,2
7.	-8,9	-3,6	-1,5	-1,1	-1,4	*
8.	-6,7	-1,1	1,4	1,9	2,1	1,3
4426	-9,0	-3,0	0,2	0,9	0,9	0,1
2607 (A)	-8,0	-2,8	0,0	0,8	0,8	-0,6

* = geen meetresultaten.

De frequentiekaracteristiek voor de A-weging voor expositiemeters is dezelfde als voor geluidniveaumeters en is gespecificeerd in IEC 651 [4]. In tabel 6 zijn deze gegevens gereduceerd voor zes octaafbanden opgenomen voor meters van type 2 en type 3.

Tabel 6. Frequentieweging A-karakteristiek met de toleranties voor instrumenten van type 2 en 3 [4]

	middenfrequenties van de octaafbanden (Hz)					
	250	500	1000	2000	4000	8000
A-weging tolerantie	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
type 2 +/-	1,5	1,5	1,5	2,0	3,0	5,0
type 3 +/-	2,0	2,0	2,0	3,0	5,0	6,0

Hoewel de meetmethode niet overeenkomt met de aanbevelingen in de IEC-norm 651 [4], blijkt uit nadere bestudering van de tabellen 5 en 6 dat expositiemeter nr.2 voor de octaafbanden met middenfrequenties van 500 en 1000 Hz niet zou voldoen aan de specificaties voor type 2 en 3. Ditzelfde geldt voor expositiemeter nr.8 bij de octaafband met middenfrequentie van 250 Hz. Ons insziens is meter nr 2. defect. Aan meter nr.8 zijn door de Technisch Fysische Dienst TPD-TNO-TH een aantal elektrische metingen gedaan die deze afwijking niet bevestigen. Uit dat onderzoek bleek dat de A-kromme geheel binnen de tolerantie viel voor instrumenten van type 2. Alle overige meters voldoen aan de eisen voor type 2 en type 3.

5. CONSTANT EN INTERMITTEREND GELUID

De juiste werking van de expositiemeters ten aanzien van constant geluid is proefondervindelijk nagegaan door de microfoons van de expositiemeters gedurende enige tijd in een diffuus geluidveld met een constant niveau te plaatsen. De meettijd werd gekozen in overeenstemming met de in hoofdstuk 10 vermelde gegevens.

Een diffuus geluidveld werd opgewekt in de nagalmkamer met behulp van een ruisbron die "witte ruis" van 20 Hz tot en met 20.000 Hz produceert. Het niveau werd ingesteld op ongeveer 100 dB(A).

Ter controle werd tevens gemeten met een geluidniveau-analysator van B & K type 4426. De meetresultaten en de werkelijke geluidniveaus zijn vermeld in tabel 7.

Hetzelfde is gedaan voor intermitterend geluid. Door tussenschakeling van een schakelklok werd het geluidniveau telkens 20 dB(A) verzwakt. De klok heeft een cyclustijd van 1 minuut en werd achtereenvolgens ingesteld op 6 seconden (=10%) hoog niveau, 30 seconden (=50%) en 54 seconden (=90%) hoog niveau. Het hoge niveau bedroeg weer ca.100 dB(A) (zie figuur 4).

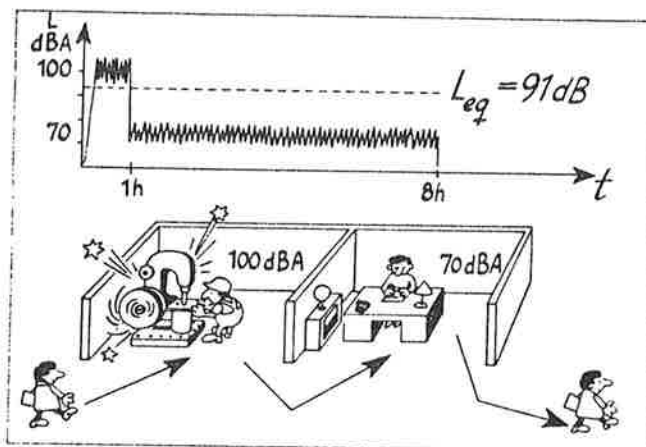
Tabel 7. Equivalente geluidniveaus in dB(A) voor verschillende geluidsoorten

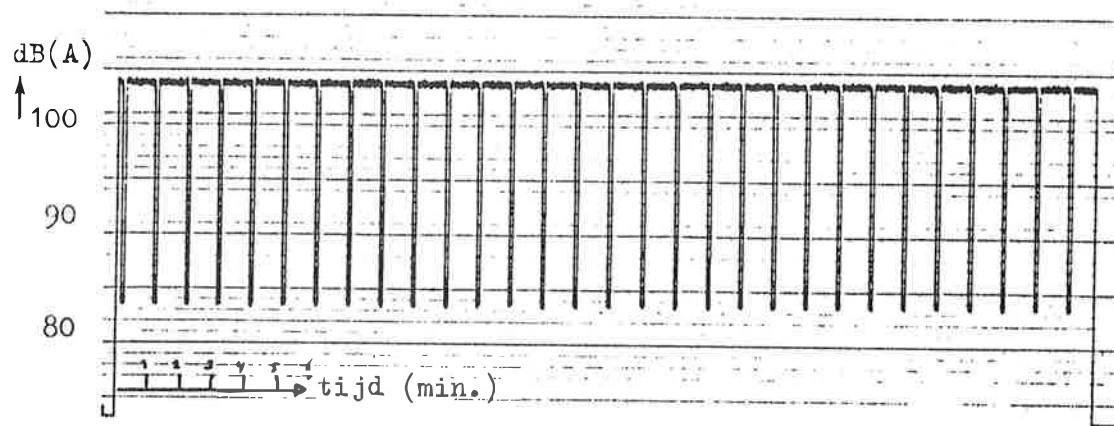
expositie- meter	constant geluid	intermitterend geluid		
		90 %	50 %	10 %
1.	99,8	100,7	98,5	90,2
2.	91,7	95,0	92,9	84,2
3.	101,0	101,9	99,8	91,3
4.	102,0	102,9	100,7	92,5
5.	100,7	101,4	99,4	90,9
6.	99,1	100,0	97,7	89,7
7.	98,3	98,6	96,8	88,3
8.	101,2	102,0	99,8	91,7
geluid- niveau- analysator 4426	99,0	99,9	97,6	89,5

Tabel 8. Afwijkingen van de equivalente geluidniveaus in dB(A) ten opzichte van de geluidniveauanalysator (4426)

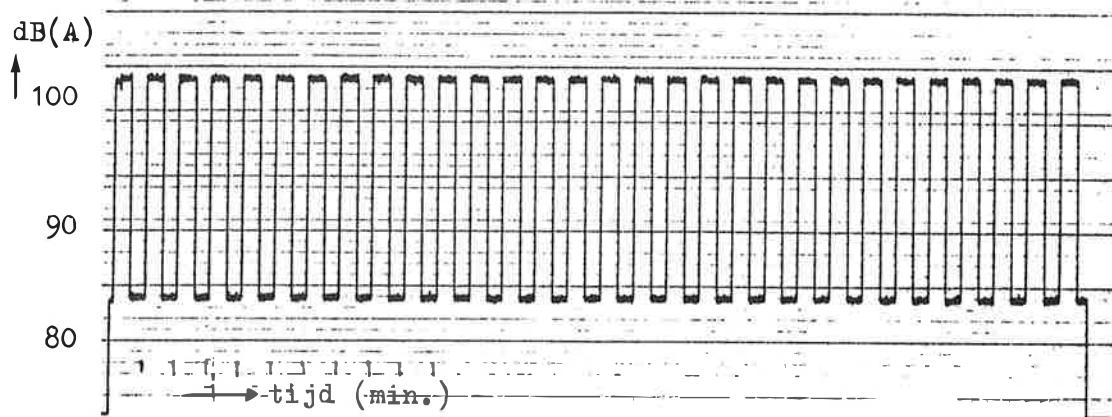
expositie- meter	constant geluid	intermitterend geluid		
		90 %	50 %	10 %
1.	0,8	0,8	0,9	0,7
2.	-7,3	-4,9	-4,7	-5,3
3.	2,0	2,0	2,2	1,8
4.	3,0	3,0	3,1	3,0
5.	1,7	1,5	1,8	1,4
6.	0,1	0,1	0,1	0,2
7.	-0,7	-1,3	-0,8	-1,2
8.	2,2	2,1	2,2	2,2

Uit de meetgegevens in tabel 8 blijkt dat de expositiemeters bij elke meting vrijwel dezelfde afwijking vertonen. De afwijking ten opzichte van de geluidniveauanalysator varieert van +3,0 tot -1,3 dB(A), afgezien van meter nr.2. Hoewel bij calibratie van deze meter geen afwijking gevonden kon worden, geeft deze meter ook bij herhaling niet het juiste equivalente geluidniveau weer. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de meter defect is.

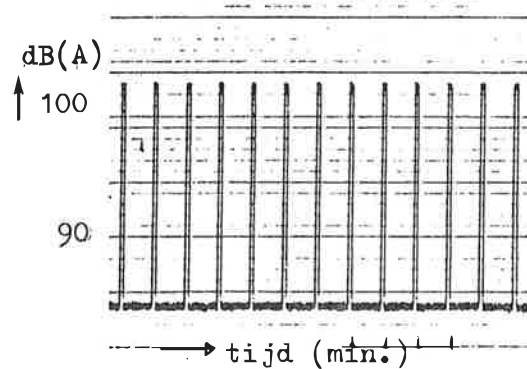




A: 90% hoog geluidniveau



B: 50% hoog geluidniveau



C: 10% hoog geluidniveau

Figuur 4. Het verloop van het intermitterend geluid

6. IMPULSGELUID

In veel arbeidssituaties treedt impulsgeluid op. Dit is geluid dat in zeer korte tijd zeer hoge geluiddruk-niveaus kan aannemen. Het verschijnsel doet zich veelal binnen een halve seconde voor.

De tijd waarin het signaal vanaf een bepaald niveau het maximum niveau bereikt noemt men de stijgtijd $t(s)$.

Deze ligt voor impulsen die in de industrie voorkomen in de orde van grootte van 1 tot 100 ms [6],[7].

Voor de daaltijd noemen we hier twee maten: $t(-10)$ en $t(A)$.

De daaltijd $t(-10)$ is de tijd waarin het signaal afneemt vanaf het maximum niveau tot 10 dB(A) onder het maximum niveau (zie figuur 5). Sommige onderzoekers nemen hiervoor ook wel de tijd nodig voor de geluiddruk om de waarde $1/e$ van de maximale geluiddruk te bereiken, dit komt overeen met een daling van het geluidniveau van 8,7 dB(A). De orde van grootte van $t(-10)$ bedraagt 30 tot 500 ms.

De daaltijd $t(A)$ is de tijd nodig om vanaf het maximum niveau het achtergrondniveau weer te bereiken.

Een maat voor de impulsiviteit van een geluidsignaal zou de crestfactor kunnen zijn. De crestfactor F_c is gedefinieerd als het quotiënt van de piekdruk en de effectieve druk:

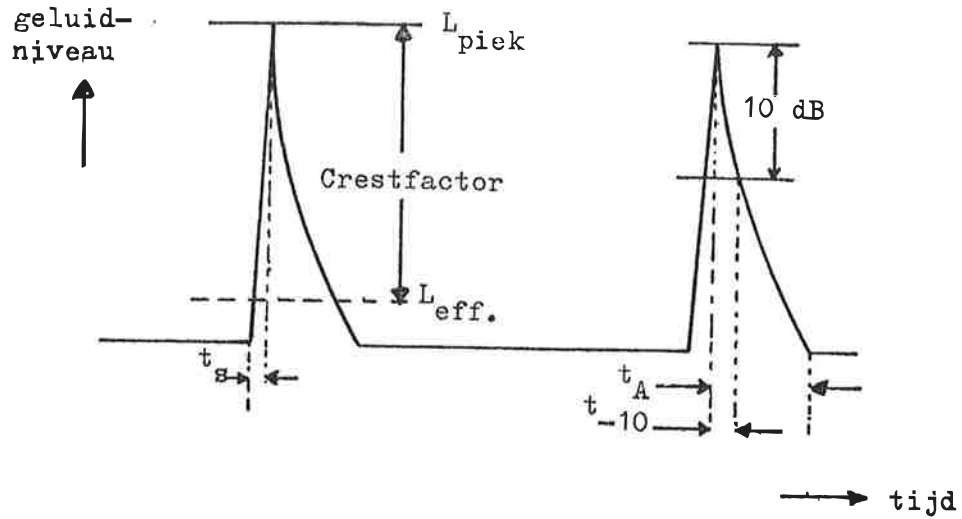
$$F_c = p(\text{piek})/p(\text{eff}) \quad (6)$$

De effectieve waarde wordt bepaald over de herhalingsperiode T . Indien de crestfactor in dB wordt uitgedrukt luidt de formule:

$$F_c = 20 \cdot \log[p(\text{piek})/p(\text{eff})]$$

$$F_c = L(\text{piek}) - L(\text{eff}) \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

Een geluidsignaal met een crestfactor van 30 dB wil dus zeggen dat het piekniveau 30 dB boven het effectieve (of equivalente) geluidniveau ligt.
In figuur 5 is het verloop van het geluidniveau van een impuls weergegeven als functie van de tijd.



Figuur 5. De diverse parameters van een impuls

Het bepalen van het juiste equivalente geluidniveau of het bepalen van de geluidexpositie van impulsachtig geluid is geen eenvoudige zaak. Door de hoge niveaus die kunnen optreden kan de meter gauw overstuur raken. Sommige meters hebben echter een goede crestfactorcapaciteit. De crestfactorcapaciteit van een meter wil zeggen dat het verschil tussen de piekwaarde en de effectieve waarde niet groter mag zijn dan de opgegeven waarde. Wanneer dit verschil groter wordt dan kan vervorming van het signaal optreden waardoor niet meer voldoende nauwkeurig gemeten kan worden. Bijvoorbeeld een crestfactorcapaciteit van 30 dB wil zeggen dat impulsgeluid met een crestfactor van 30 dB in ieder geval nog goed wordt gemeten, ook al ligt de effectieve waarde van het geluidsignaal vlak bij de bovengrens van het dynamisch meetbereik van de expositiemeter.

Om na te kunnen gaan hoe de expositiemeters reageren op geluiddrukkniveaus met een hoge crestfactor werden de expositiemeters gedurende enige tijd blootgesteld aan impulsen met verschillende crestfactoren. Deze impulsen zijn met behulp van een transientrecorder "Transiscope TR 1030" (DIFA) nauwkeurig geanalyseerd.

In de figuren 6 en 7 zijn de impulsen weergegeven waaraan de expositiemeters zijn blootgesteld. Deze impulsen werden bemonsterd met perioden van respectievelijk 1 en 5 microseconde gedurende 32 en 160 milliseconde. Het equivalente geluidniveau werd over deze tijd berekend en gecorrigeerd voor de impuls-herhalingsfrequentie.

De hierdoor verkregen gegevens van de impulsen luiden:

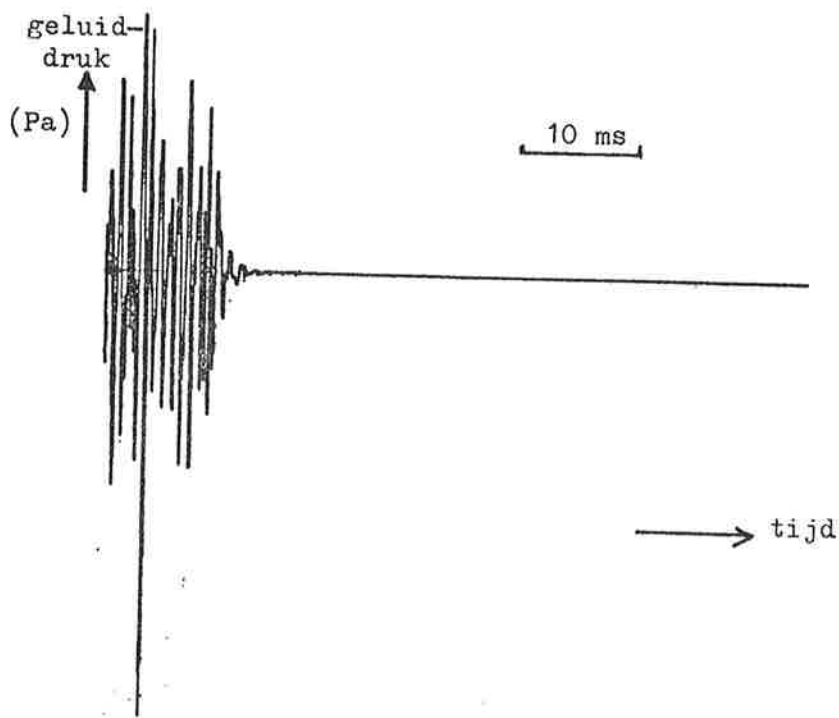
Tabel 9. Gegevens van de parameters van de impulsen

		impuls A	impuls B
L(piek)	dB(A)	132	130
L(eff)	dB(A)	97	89,9
herhalingsfrequentie	Hz	0,5	0,05
stijgtijd	t(s) ms	3,6	4,0
daaltijd	t(-10) ms	2,8	25
crestfactor Fc	in dB	35	40,1

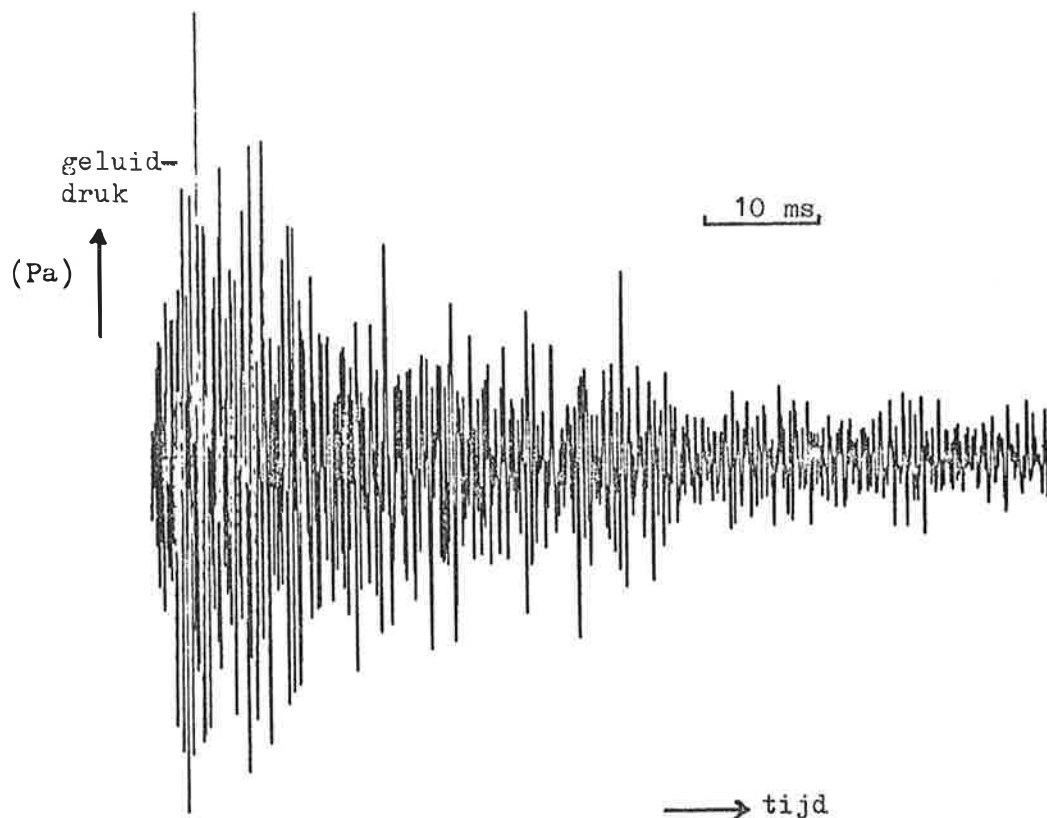
De onderstaande equivalente geluidniveaus van de impulsen werden door de expositiemeters gemeten;

Tabel 10. Verschil in de equivalente geluidniveaus gemeten met de expositiemeters en berekend met behulp van de transientrecorder en computer

expositie- meter	impuls A	impuls B
1.	-3,5	-1,0
2.	+2,6	-
3.	-3,5	-
4.	0,0	+0,1
5.	-3,1	+0,6
6.	-4,6	-1,8
7.	-5,6	-3,0
8.	-5,2	-
2218	-1,4	+1,3



Figuur 6. Impuls A



Figuur 7. Impuls B

Uit tabel 10 blijkt dat er afwijkingen kunnen ontstaan tot minimaal $-5,6$ dB(A) in het gemeten equivalente geluidniveau ten opzichte van het werkelijke equivalente geluidniveau.

Uit ander onderzoek [9] blijkt dat wel fouten tot -10 dB(A) verwacht mogen worden in extreme gevallen en van -3 dB(A) in normale gevallen wanneer impulsachtig geluid met nauwkeurig gecalibreerde expositiemeters gemeten wordt. Uit genoemd onderzoek blijkt echter ook dat de expositiemeters impulsachtig geluid ten aanzien van het equivalente geluidniveau veel beter verwerken dan de gespecificeerde crestfactorcapaciteiten doen vermoeden.

Mogelijke oorzaken in de gevonden afwijkingen kunnen gezocht worden in

- de traagheid van de low-level detector,
- het niveau van het aangeboden signaal dat boven het meetbereik ligt,
- het type microfoon.

Nader onderzoek naar bovengenoemde aspecten is dringend noodzakelijk.

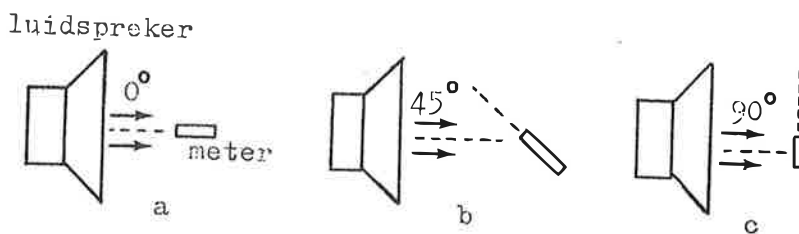
7. HOEK VAN INVAL

De invloed van de hoek van inval op het gemeten geluidniveau is globaal in de reflectievrije kamer nagegaan.

De microfoon is hierbij in het vrije veld opgesteld en het effect van de hoek van inval is dan ook enkel een microfooneigenschap. Een persoonlijke expositiemeter wordt gewoonlijk door een persoon gedragen waarbij de microfoon op de schouder of bij een oor bevestigd is. De resultaten van een in een ruimte opgestelde expositiemeter (of geluidniveaumeter) en de resultaten van een door een persoon gedragen expositiemeter die zich in dezelfde ruimte bevindt zullen waarschijnlijk verschillen vertonen. Door afscherming door bijvoorbeeld oor, hoofd of kleding kan het effect van de hoek van inval op het gemeten geluidniveau veel groter worden. Om deze reden zijn in de ontwerpnorm [1] geen eisen opgenomen ten aanzien van de richtingskarakteristieken (zie ook hfdst. 8). De resultaten van de metingen zijn in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 11. Geluidniveauverschil in dB(A) ten opzichte van loodrechte inval

expositie- meter	invalshoek	
	45°	90°
1.	-0,1	-1,2
2.	-1,3	-0,2
3.	+2,5	+1,3
5.	+1,6	+0,5
4426	+0,6	-0,2



Figuur 8. Diverse invalshoeken

8. PLAATS VAN DE MICROFOON

8.1 Effect van gericht geluidveld in omgeving zonder nagalm

Het effect van een gerichte geluidbron op de gemeten geluidexpositie is onderzocht in de nagalmvrije kamer. Hiertoe werden twee meetmicrofoons van hetzelfde type (B & K 4165) aan de linkerborstzak (positie A) en iets boven het rechteroor (positie B) van een persoon bevestigd.

De persoon ging vervolgens anders staan ten opzichte van het directe geluidveld. Het geluidveld bestond uit witte ruis met een geluidniveau van 70 tot 100 dB(A). In onderstaande tabel worden de waarden behorend bij de diverse posities weergegeven (zie figuur 9).

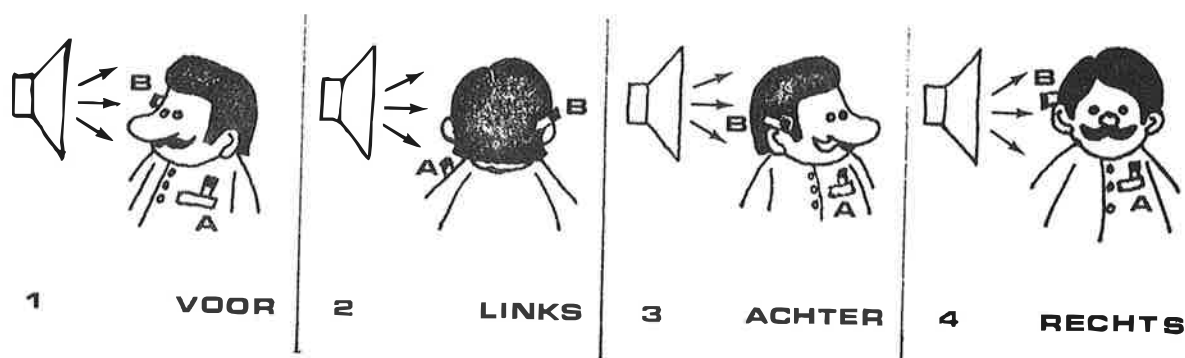
Tabel 12. Gemeten geluidniveaus in dB(A) in verschillende microfoonposities

micr. positie	afst. tot bron	absolute geluidniveau in dB(A)				relatief geluidniveau t.o.v. microfoon B in dB(A).			
		positie geluidbron				positie geluidbron			
		1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
A	2m	80,5	82,5	72,3	78,3	+1,0	+3,0	-7,2	-1,2
B	2m	79,5	72,0	72,5	79,0	*	-7,5	-7,0	-0,5
A	3m	96,5	96,8	86,3	95,3	+2,0	+2,3	-8,2	+0,8
B	3m	94,5	86,5	87,0	93,5	*	-8,0	-7,5	-1,0
A	3m	90,3	91,0	81,5	88,0	+1,8	+2,5	-7,0	-0,5
B	3m	88,5	80,5	80,0	87,5	*	-8,0	-8,5	-1,0

* = referentiepunten

A = linkerborstzak

B = rechteroor



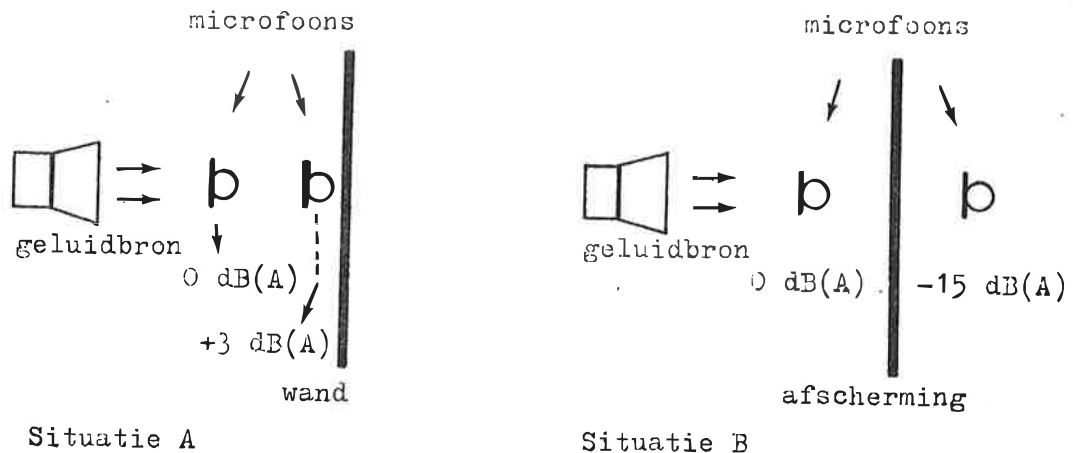
Figuur 9. Positie van de persoon ten opzichte van de geluidbron

In tabel 12 zijn eveneens relatieve waarden weergegeven ten opzichte van microfoonpositie B met de geluidbron in het gezichtsveld van de testpersoon. In deze positie was de microfoon gericht naar de geluidbron (invalshoek = 0°).

Uit tabel 12 blijkt het volgende :

- Het hoofd en de romp van een testpersoon geven een gemiddelde demping van 7,7 dB(A) indien het lichaam de geluidbron afschermt van de microfoon (zie tabel 12, microfoonposities A-3., B-3. en B-2.).
- Het geluidniveau ter plaatse van de linkerborstzak bij linkszijdige inval is 2 tot 3 dB(A) hoger dan de referentiewaarde (tabel 12: A-2). De microfoon bevindt zich vrijwel onbelemmerd in het geluidveld en reflecties zullen eveneens bijdragen.
- Het geluidniveau ter plaatse van de linkerborstzak is bij direct invallend geluid 1 tot 2 dB(A) hoger dan het niveau bij het oor. Extra reflecties spelen hierbij een duidelijke rol (tabel 12: A-1).
- Bij rechtszijdige inval is de verhoging van het geluidniveau ter plaatse van de borstzak minder dan bij linkszijdige inval, namelijk maximaal 1,2 dB(A). De glooing in de kleding kan hierbij een rol spelen (tabel 12: A-4).

Ook reflecties spelen bij plaatsing op de borstzak een rol. In onderstaande figuur zijn de verschillen aangegeven.



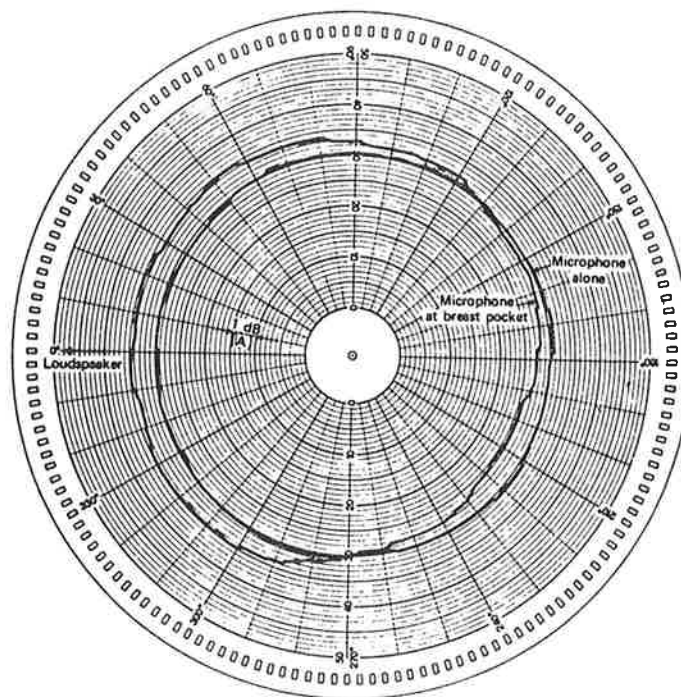
Figuur 10. Geluidniveaunderschillen door reflecties (a) en afscherming (b).

De bovengenoemde meetresultaten leiden tot de volgende conclusies:

- Indien er sprake is van een gericht geluidveld en er praktisch geen nagalm aanwezig is (bijvoorbeeld in het vrije veld) en de geluidbron staat in het gezichtsveld, geeft een microfoon bij het oor geplaatst de beste meetresultaten. Hier is de invloed van reflecties en absorptie minder dan bij de borstzak. Ook andere onderzoekers komen tot deze conclusie [10].
- Is de drager van de expositiemeter erg mobiel, dan wordt de meting in een gericht geluidveld sterk beïnvloed zowel door reflectie als door demping ten gevolge van lichaamsdelen en kleding waardoor geluidniveaus respectievelijk ca. 2 dB(A) te hoog of ca. 7,5 dB(A) te laag worden gemeten.

8.2 Effect van een diffuus geluidveld

Metingen in de nagalmkamer waarin een diffuus geluidveld heerst toonden bij bevestiging van de microfoon op verschillende plaatsen geen verschillen aan groter dan ± 1 dB(A). Ook andere onderzoeken [11,12,13] toonden slechts zeer kleine verschillen aan (zie figuur 11).



Figuur 11. Richtingseffect bij het dragen van de microfoon aan de borstzak in een diffuus geluidveld bij witte ruis [13]

Tabel 13. Overzicht van de meetafwijking bij andere microfoonplaatsen, overgenomen uit [13]

microfoonplaats	dB(A)-verschil
oor	+ 0,3
revers	+ 0,3
borstzak	- 0,6

9. MEETTIJD

De maat voor geluidexpositie is het produkt van tijd en geluiddruk. Er is dus voor het meten van een geluidexpositie een minimale tijd nodig. Deze tijd is afhankelijk van het geluiddrukkniveau: een expositie van een hoog niveau kan in een kortere tijd gemeten worden dan dezelfde expositie bij een lager geluidniveau met dezelfde nauwkeurigheid.

Voor een nauwkeurigheid van +/- 0,5 dB(A) of 10% geluidexpositie moet de expositie minimaal de 10% gepasseerd zijn. Het verband tussen de minimale meettijd en het equivalente geluidniveau kan nu eenvoudig bepaald worden met behulp van formule (3), waarin NDC=10 en Lc=90:

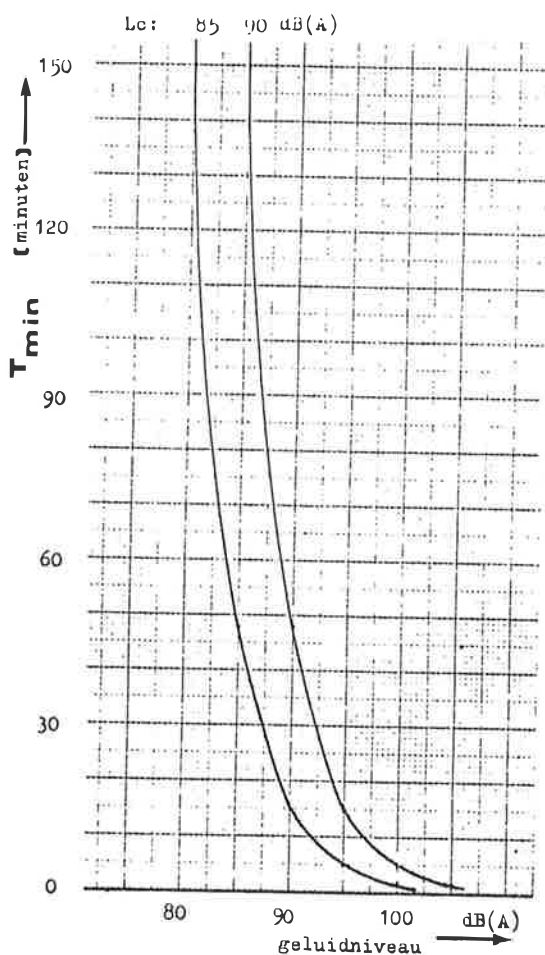
$$L(AeqT) = 90 + 10 \cdot \log[(10/100) \cdot (8/T)] \quad [\text{dB(A)}] \quad (8)$$

$$\text{of: } T_{\text{min}} = 1 / (1,25 \cdot 10^{(L(AeqT) - 90) / 10}) \quad [\text{uur}] \quad (9)$$

Opmerking: bovenstaande geldt voor meters die de expositie in eenheden van 1% (NDC) kunnen weergeven.

Sommige expositiemeters geven een decimaal achter de komma weer waardoor de minimale meettijd voor deze meters korter kan zijn bij gelijkblijvende nauwkeurigheid.

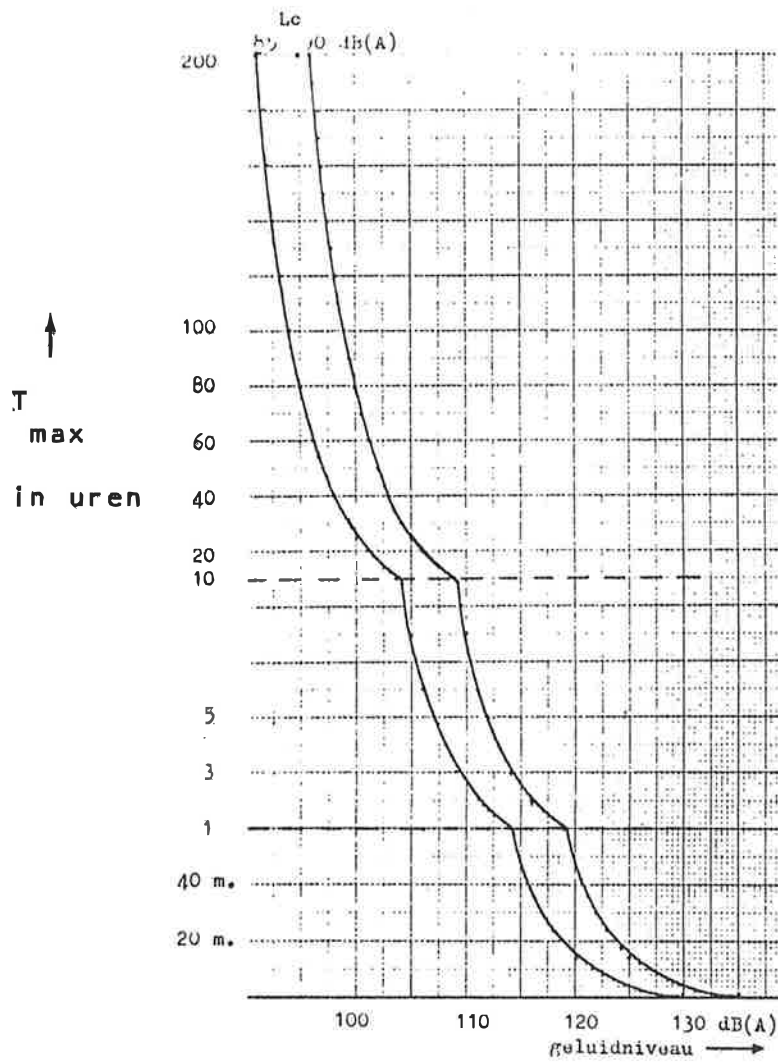
In figuur 12 is het verband tussen de minimale meettijd en het equivalente geluidniveau grafisch weergegeven.



Figuur 12. Het verband tussen geluidniveau en minimum meettijd

De uitlezing van de geluidexpositie op de meter loopt meestal van 0-9999 % en is dus niet onbeperkt. Overschrijdt de geluidexpositie deze bovengrens dan behoort dit op de meter aangegeven te worden door middel van een "overloop"-indicatie. Op dezelfde wijze als boven beschreven kan men het verband tussen de maximum meettijd en het equivalente geluidniveau berekenen, weer voor $L_c = 90$ dB(A) en $q=3$ (zie ook figuur 13).

$$T_{max} = 1 / (0,00125 * 10^{(L(AeqT) - 90) / 10}) \quad \text{[uur]} \quad (13)$$



Figuur 13. Het verband tussen het equivalente geluidniveau en de maximum meettijd

10. INVLOED VAN "LAAG GELUIDNIVEAU" OP DE TOTALE EXPOSITIE

In de berekeningsmethode van de huidige norm R1999 [6] van de ISO worden geluidniveaus beneden 80 dB(A) niet meeberekend.

Bij de meeste expositiemeters is dit de ondergrens van het meetbereik, waardoor de bijdrage beneden 80 dB(A) nihil is. Sommige expositiemeters bezitten een "laag geluidniveau"-detector, die ervoor zorgt dat geluidniveaus beneden deze drempelwaarde van 80 dB(A) niet meegeteld worden.

In dit hoofdstuk wordt nagegaan wat de invloed van een "laag geluidniveau"-detector op het werkelijke equivalente geluidniveau is en daarnaast wat de bijdrage van lage geluidniveaus op de totale geluidexpositie is.

10.1 Geluidniveaus beneden de drempelwaarde van de expositiemeter

Bij uitlezing van een expositiemeter met een drempelwaarde van 80 dB(A) wordt bij toepassing van genoemde norm geen rekening gehouden met de tijd waarin de expositiemeter niet registreerde. De werkelijke waarde van het equivalente geluidniveau ligt hoger als men wel rekening houdt met niveaus beneden 80 dB(A).

Aan de hand van een voorbeeld wordt nagegaan hoe groot deze fout kan worden:

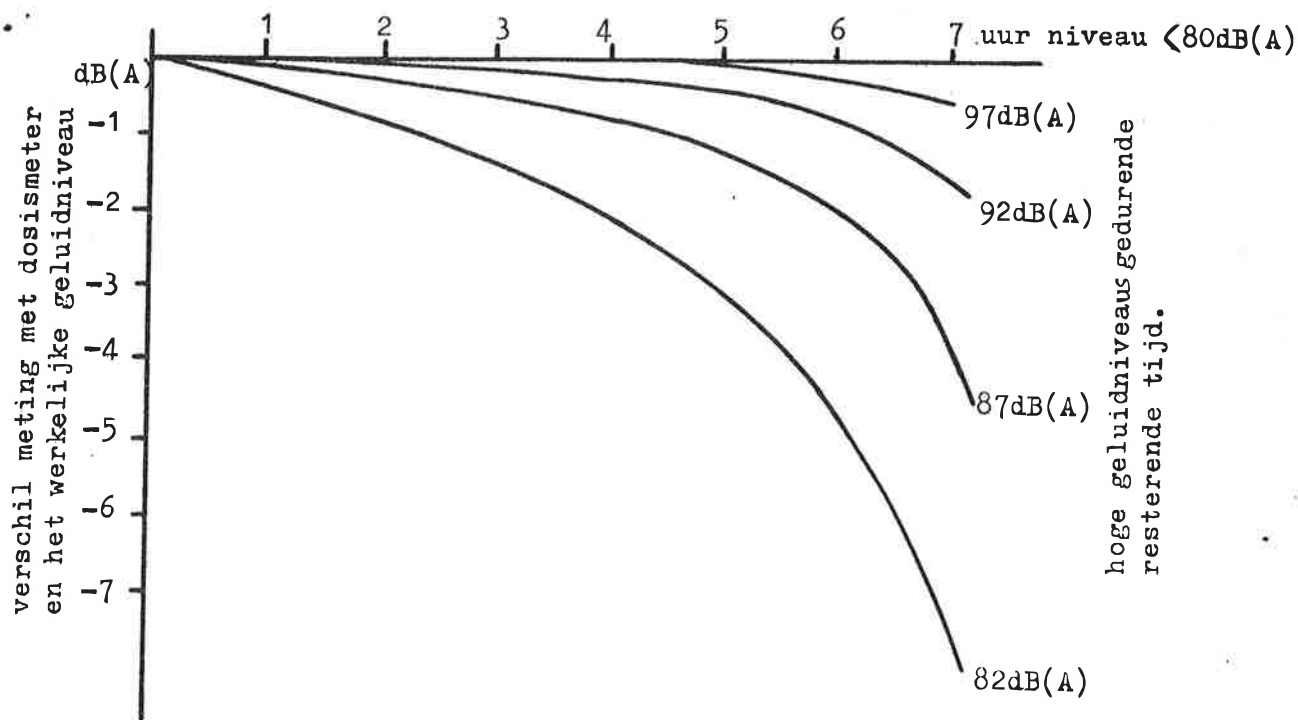
Een equivalent geluidniveau van 82 dB(A) wordt gedurende 4 uur door een expositiemeter gemeten, daarna neemt het geluidniveau af tot 80 dB(A). Stel dat dit laatste niveau geen bijdrage meer geeft aan de totale expositie omdat de meter dit niveau niet meer registreert en de meter na 8 uur afgelezen wordt, dan zou de aanwijzing 79 dB(A) zijn. Dit kan de meter echter niet aanwijzen. Het werkelijke equivalente geluidniveau bedraagt echter 81,1 dB(A), hetgeen een fout van $79,0 - 81,1 = -2,1$ dB(A) impliceert. Wordt het verschil tussen het hoge en lage niveau groter, dan wordt de fout in het door een expositiemeter met laagniveaudetector gemeten equivalente geluidniveau en het werkelijke equivalente geluidniveau kleiner.

Figuur 14 maakt duidelijk hoe groot de verschillen in meetuitkomst kunnen worden. Hierbij zijn de verschillen in meetuitkomst bij bepaalde hoge en lage geluidniveaus uitgezet als functie van de tijd.

In de herziene versie van de ISO norm R1999 [5] is een berekeningsmethode gegeven waarbij wel rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van lage geluidniveaus.

Bij het gebruik van een expositiemeter moet men zoveel mogelijk het meetbereik afstellen op de te verwachten hoge en lage waarden in het geluidniveau.

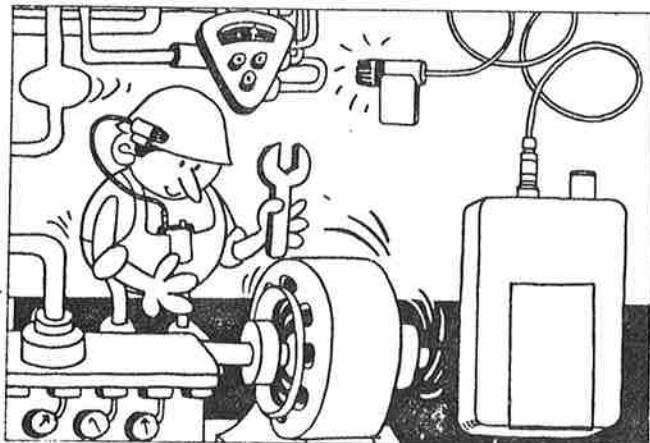
Een groot aantal expositiemeters beschikt over diverse meetbereiken. In tabel 1 worden de beschikbare meetbereiken bij de in dit onderzoek toegepaste expositiemeters gegeven.



Figuur 14: Meetfout door laagniveaudetector, die is afgesteld op 80 dB(A), indien geluidniveaus van 80 dB(A) of lager optreden

10.2 De invloed van perioden met een lager geluidniveau op de totale expositie

In voorkomende gevallen zal de geluidsexpositie ook tijdens de pauzes en dergelijke in werking zijn. De bedoeling van de expositiemeter is echter de expositie tijdens het werk te bepalen. Er zijn een aantal mogelijkheden om correcties hiervoor toe te passen, mits men ongeveer weet hoeveel het geluidniveau tijdens de pauze verschilt met het geluidniveau tijdens het werk en hoelang de pauze duurt. Deze correcties zijn echter zeer gering: indien de geluidniveaus tijdens de pauze even hoog zijn als tijdens het werk (de gemaakte fout is dan het grootst) en de duur van de pauzes bedraagt bij elkaar circa twee uur, dan ligt de correctie in de orde van grootte van 1 dB(A). Treden de lagere niveaus op tijdens het werk en liggen deze niveaus binnen het meetbereik, dan behoeft uiteraard geen correctie te worden toegepast.



Geluidsexpositiemeter in gebruik

11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

1. De geluidexpositiemeter is een ideaal meetinstrument voor de bepaling van de geluidexpositie van een werknemer. De microfoon van de expositiemeter kan in de directe omgeving van het oor bevestigd worden, zodat de werknemer niet gebonden is aan een vaste werkplek, maar zich zoveel mogelijk kan verplaatsen zoals hij gewend is. Hierdoor wordt het geluidbeeld niet vertekend door een vaste microfoonopstelling.
2. Bij de keuze van een geluidexpositiemeter dient men er rekening mee te houden dat bij het meten van geluidniveaus in een bepaalde situatie de niveaus onder de laagste waarde van het dynamisch bereik geen bijdrage zullen leveren tot de aangegeven geluidexpositie. Veel meters bezitten de mogelijkheid om het meetbereik in te stellen.
3. Voordat de expositiemeter in bedrijf wordt gesteld dient deze op de juiste werking gecontroleerd te worden. Bij de controle moet in de eerste plaats nagegaan worden of de batterijspanning nog voldoende is om gedurende acht uur te meten.
4. In de tweede plaats moet de expositiemeter akoestisch gecalibreerd worden. Het is aan te bevelen de expositiemeter zowel voor als na de meting te calibreren. Blijkt na afloop dat de expositiemeter toch verlopen is dan dient men hiervan aantekening te maken en de meting als afgekeurd te beschouwen. De meeste expositiemeters hebben hiervoor ingebouwde controlemogelijkheden. Het spreekt voor zichzelf dat bij controle van de werking zoveel mogelijk de richtlijnen, aangegeven in de gebruiksaanwijzing, opgevolgd dienen te worden. Tijdens het onderzoek in het laboratorium bleek dat de expositiemeters nauwelijks verliepen. Of dit in praktijkomstandigheden ook zo is moet nog worden nagegaan.
5. De frequentiekaracteristieken voldeden vrijwel allemaal aan de eisen.

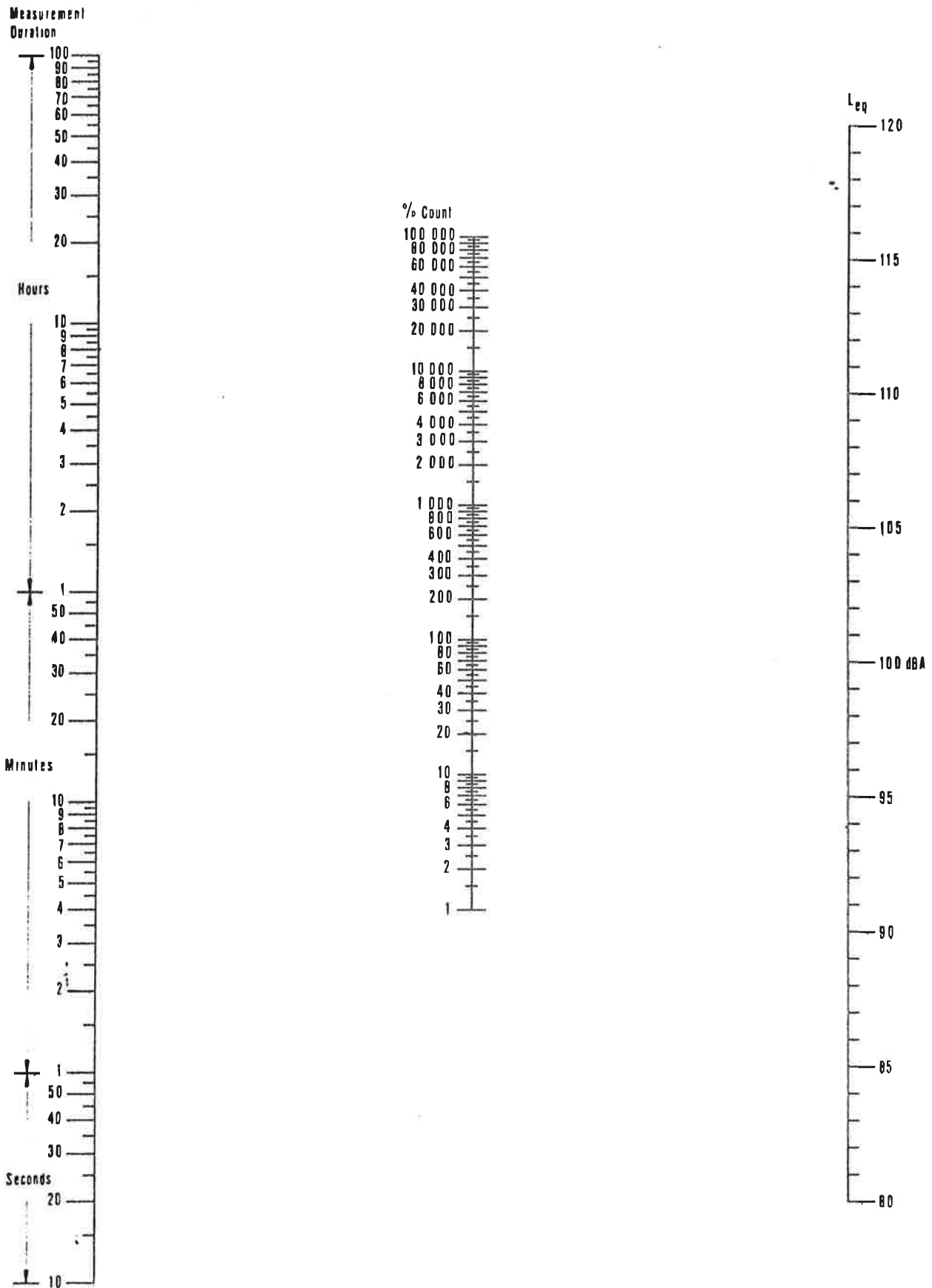
6. Er zijn metingen verricht aan verschillende typen meters, waarbij de meters in een diffuus geluidveld geplaatst werden, bestaande uit constant geluid en intermitterend geluid met een geluidniveau van respectievelijk 100 dB(A) en variërend tussen 80 en 100 dB(A) met verschillende cyclustijden. Uit de meetresultaten bleek dat elke expositiemeter afzonderlijk voor de verschillende geluidsoorten dezelfde afwijkingen vertoonde. Hoewel elke expositiemeter reproduceerbare meetuitkomsten gaf bleken er tussen de meters onderling verschillen te bestaan. Ten opzichte van een geluidniveauanalysator werden afwijkingen variërend van +3,1 tot -1,3 dB(A) geconstateerd.
7. Metingen met impulsgeluid vertoonden grotere afwijkingen in de meetresultaten. Hierbij werd het equivalente geluidniveau van de impulsen met zeer korte stijg- en daaltijden (in de orde van grootte van enkele milliseconden) over het algemeen 3 tot 5 dB(A) te laag gewaardeerd. Impulsen die een langere daaltijd hebben (enkele tientallen milliseconden) werden door de expositiemeters 1 tot 3 dB(A) ondergewaardeerd. Om beter inzicht te krijgen in de verwerking van impulsachtige geluiden door expositiemeters is nader onderzoek noodzakelijk.
8. Metingen met het oog op eventueel optredende afwijkingen in het meetresultaat als gevolg van de plaats van de microfoon leiden tot de conclusies dat:
 - indien er sprake is van een gericht geluidveld en er praktisch geen nagalm is (bijvoorbeeld in het vrije veld) en met de geluidbron in het gezichtsveld geeft een microfoon bij het oor geplaatst de beste meetresultaten. Bij het oor is de invloed van reflecties minder dan bij de borstzak.
 - indien de drager van de expositiemeter erg mobiel is, dan wordt de meting in een gericht geluidveld sterk beïnvloed zowel door reflectie als door demping ten gevolge van lichaamsdelen en kleding. Hierdoor worden geluidniveaus respectievelijk ongeveer 2 dB(A) te hoog of 7,5 dB(A) te laag gewaardeerd.
 - bij toepassing van de expositiemeter in een diffuus geluidveld de meetresultaten geen grotere variaties dan +/- 1 dB(A) vertonen.

12. LITERATUUR

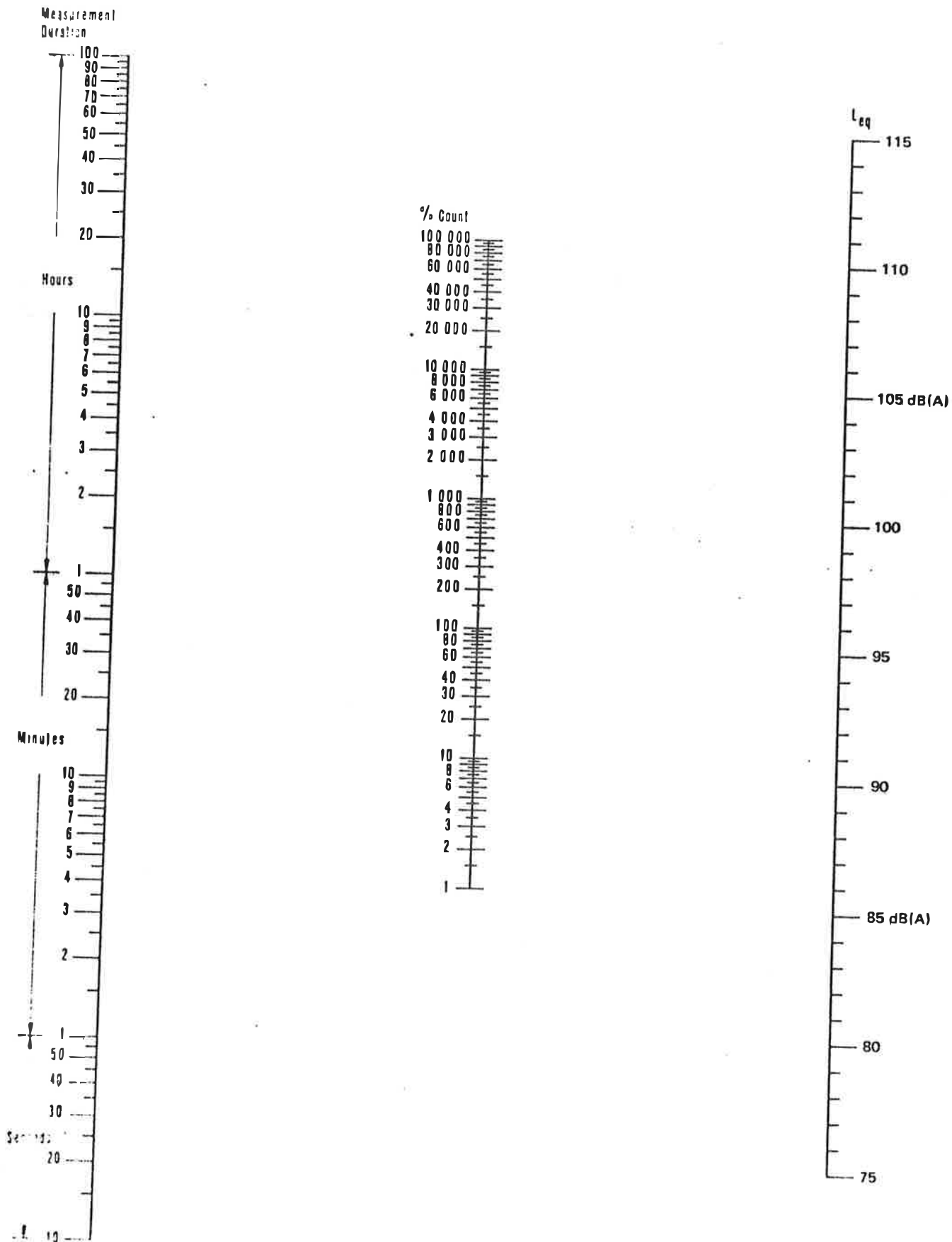
- [1] International Electrotechnical Commission IEC draft, Personal Sound Exposure Meter, prepared by working group II of TC 29C, Geneve, June 1979, 18p.
- [2] International Electrotechnical Commission IEC Recommendation 123, Sound Level Meters, first edition, Geneve, 1961, 24p.
- [3] International Electrotechnical Commission IEC Recommendation 179, Sound Level Meters, first edition Geneve, 1965, 26p.
- [4] International Electrotechnical Commission IEC Standard, Sound Level Meters, publication 651, first edition, Geneve, 1979, 53p.
- [5] International Organization for Standardization ISO-draft, lay-out for ISO DIS 1999 Acoustics-Determination of Occupational Noise Exposure And Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment, Geneve, 1980, 29p.
- [6] International Organization for Standardization ISO Standard, Acoustics, Assessment of Occupational Noise Exposure for Hearing Conservation Purposes, Recommendation R 1999, Geneve, 1971, 11p.
- [7] Leeuw, A.R., Impulsgeluid in de Nederlandse industrie, deel 1, overzicht van een honderdtal metingen in fabrieken. Rapport B 435, Delft, IMG-TNO, 1980, 95p.
- [8] Berg, R. van den Impulsgeluid in de Nederlandse industrie, deel 2, dB(A) metingen van impulsgeluid. Rapport B 436, Delft, IMG-TNO, 1980, 43p.
- [9] Svensson, J Dosimeterresponse to impulsive noise measurement errors and their consequences, Inter-Noise 1978, p.225
- [10] Erlandsson, B. Comparison between stationary and personal noise dose measuring system, Acta Otolaryngol. Stockholm, Suppl.360, 1979, p.105.

- [11] Yerges, Lyle F. Do we correctly measure worker noise exposure, Sound and Vibration 5, (1979), p.8-12
- [12] Håkanson H. Differences in noise doses achieved by simultaneous registrations from stationary and ear-borne microphones, Proceedings of the International Symposium on Effects of Impulse Noise on Hearing, Malmo, August 1980, 7p.
- [13] Christensen, L.S. Sources of Error in Noise Dose and Measurements, Technical Review, J.R. Hemmingway Brüel & Kjaer, 3 (1973), p.3-13

BIJLAGE 1 : Nomogram ($L_c=90$, $q=3$)



BIJLAGE 2 : Nomogram ($L_c=85$, $q=3$)



vervolg BIJLAGE 3 : Omrekeningstabel van geluidexpositie
 naar equivalent geluidniveau

meetijd in minuten →

NDC (%)	1/2	1	2	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	300	360	420	480
1000	129.8	125.8	123.8	119.8	116.3	115.1	113.8	112.0	110.3	109.0	107.5	106.0	104.3	103.0	102.0	101.2	100.5	100.0
1200	131.6	127.6	124.6	120.6	117.5	115.3	114.6	112.2	111.1	109.8	108.1	106.8	105.1	103.3	102.8	102.0	101.4	100.8
1400	131.3	123.3	125.3	121.3	113.3	116.5	115.3	113.5	111.7	110.5	103.7	107.5	105.7	104.5	103.5	102.7	102.0	101.5
1500	131.9	123.9	125.8	121.9	113.9	117.1	115.8	114.1	112.3	111.1	109.3	103.1	106.3	105.1	104.1	103.3	102.6	102.0
1800	132.4	129.4	126.4	122.4	119.4	117.6	116.4	114.6	112.8	111.6	109.8	108.6	106.8	105.6	104.6	103.8	103.1	102.5
2000	132.3	129.3	126.3	122.3	119.3	118.1	116.8	115.1	113.3	112.0	110.3	109.0	107.3	106.0	105.1	104.3	103.6	103.0
2500	133.3	130.3	127.3	123.3	120.3	119.0	117.3	116.0	114.3	113.0	111.2	110.0	108.2	107.0	106.0	105.2	104.6	104.0
3000	134.6	131.6	123.6	124.6	121.6	119.8	113.6	116.8	115.1	113.3	112.0	110.3	103.0	107.3	106.8	106.0	105.4	104.8
3500	135.3	132.3	129.2	125.3	122.3	120.5	119.2	117.5	115.7	114.5	112.7	111.5	109.7	103.5	107.5	106.7	106.0	105.4
4000	135.6	132.9	129.8	125.3	122.3	121.1	119.8	118.1	116.3	115.1	113.3	112.0	110.3	109.0	103.1	107.3	106.6	106.0
4500	136.4	133.3	130.3	125.4	123.3	121.5	120.3	118.6	116.8	115.5	113.8	112.5	110.8	109.5	103.6	107.8	107.1	106.5
5000	136.3	133.3	130.3	125.3	123.3	122.0	120.8	119.0	117.3	116.0	114.3	113.0	111.2	110.0	109.0	108.2	107.5	107.0
6000	137.5	134.5	131.6	127.5	124.6	122.3	121.6	119.8	118.1	116.3	115.1	113.3	112.0	110.3	109.8	109.0	108.4	107.8
7000	138.3	135.3	132.3	123.3	125.3	123.5	122.3	120.5	118.7	117.5	115.7	114.5	112.7	111.5	110.5	109.7	109.0	108.5
8000	138.7	135.3	132.3	123.3	125.3	124.1	122.3	121.1	119.3	118.1	116.3	115.1	113.3	112.0	111.1	110.3	109.6	109.0
9000	139.4	135.4	133.3	129.4	126.4	124.5	123.3	121.6	119.8	118.6	116.8	115.5	113.8	112.5	111.5	110.5	110.1	109.5
	1/2	1	2	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	300	360	420	480
10000	139.8	137.8	133.3	129.3	126.8	125.1	123.8	122.0	120.3	119.0	117.3	116.0	114.3	113.0	112.0	111.2	110.6	110.0
12000	140.6	137.6	134.6	130.6	127.6	125.3	124.6	122.8	121.1	119.8	118.1	116.8	115.1	113.8	112.8	112.0	111.4	110.8
14000	141.3	138.3	135.3	131.3	128.3	126.5	125.3	123.5	121.7	120.5	118.7	117.5	115.7	114.5	113.5	112.7	112.0	111.5
16000	141.9	138.9	135.8	131.9	128.9	127.1	125.8	124.1	122.3	121.1	119.3	118.1	116.3	115.1	114.1	113.3	112.6	112.0
18000	142.4	139.4	136.4	132.4	129.4	127.6	126.4	124.6	122.8	121.6	119.8	118.6	116.8	115.6	114.6	113.8	113.1	112.6
20000	142.3	139.8	136.8	132.8	129.8	128.1	126.8	125.1	123.3	122.0	120.3	119.0	117.3	116.0	115.1	114.3	113.6	113.0
25000	143.9	140.3	137.9	133.8	130.8	129.0	127.8	126.0	124.3	123.0	121.2	120.0	118.2	117.0	116.0	115.2	114.6	114.0
30000	144.6	141.6	138.6	134.6	131.6	129.8	128.6	126.8	125.1	123.3	122.0	120.3	119.0	117.8	116.8	116.0	115.4	114.8
35000	145.3	142.3	139.2	135.3	132.3	130.5	129.2	127.5	125.7	124.5	122.7	121.5	119.7	118.5	117.5	116.7	116.0	115.4
40000	145.8	142.8	139.8	135.3	132.3	131.1	129.8	128.1	126.3	125.1	123.3	122.0	120.3	119.0	118.1	117.3	116.6	116.0
45000	146.4	143.3	140.3	136.4	133.3	131.6	130.3	128.6	126.8	125.5	123.8	122.6	120.8	119.5	118.6	117.8	117.1	116.5
50000	146.8	143.8	140.8	136.3	133.3	132.0	130.8	129.0	127.3	126.0	124.3	123.0	121.2	120.0	119.0	118.2	117.6	117.0
60000	147.6	144.6	141.6	137.6	134.6	132.9	131.6	129.8	128.1	126.9	125.1	123.8	122.0	120.3	119.8	119.0	118.4	117.8
70000	148.3	145.3	142.3	133.3	135.3	133.5	132.3	130.5	128.7	127.5	125.7	124.5	122.7	121.5	120.5	119.7	119.0	118.5
80000	148.9	145.9	142.8	133.9	135.8	134.1	132.8	131.1	129.3	128.1	126.3	125.1	123.3	122.0	121.1	120.3	119.6	119.0
90000	149.4	146.4	143.3	139.4	136.4	134.6	133.3	131.6	129.8	128.6	126.8	125.6	123.8	122.6	121.5	120.8	120.1	119.5