

SYLLABUS GELUID

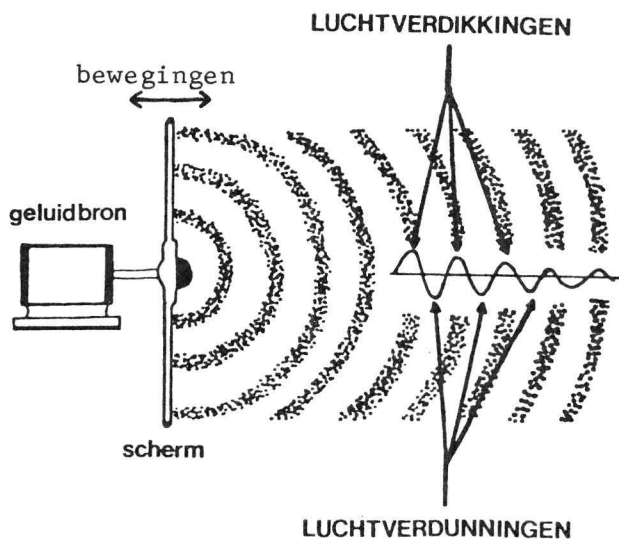
- . Geluid
- . Meten en analyseren van geluid
- . Meetmethode lawaai op de arbeidsplaats



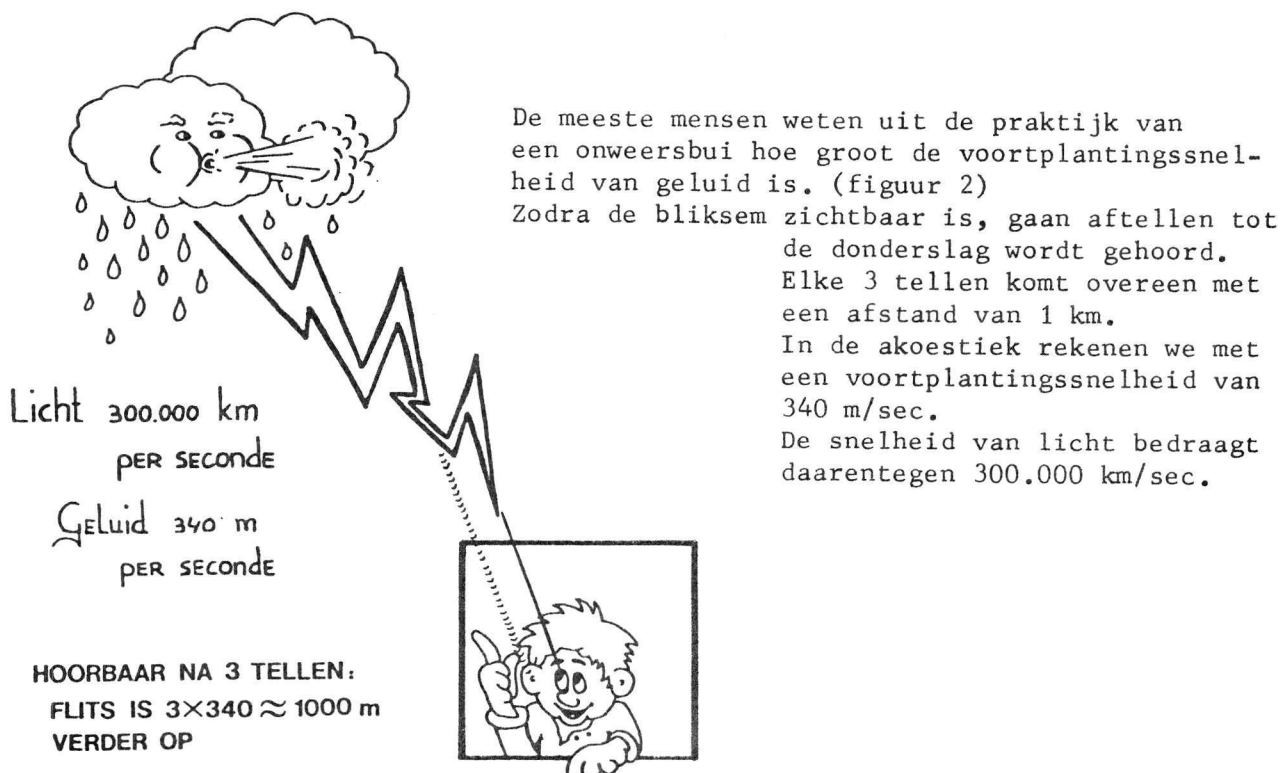
Wat is geluid ?

Geluid is gedefinieerd als een drukverandering in een medium zoals lucht, water of andere stoffen, die ons oor kan waarnemen.

In de lucht kunnen deze drukveranderingen, welke veroorzaakt worden door een geluidbron (figuur 1) bestaan uit verdichtingen en verdunningen in de lucht, die zich vanaf de bron in alle richtingen voortplanten.



Figuur 1: Geluid, een drukverandering in de lucht.



Figuur 2: Voortplantingssnelheid.

Drukveranderingen.

Zoals gezegd: geluid is een drukverandering. Drukveranderingen in de lucht kunnen wij meten met een barometer.

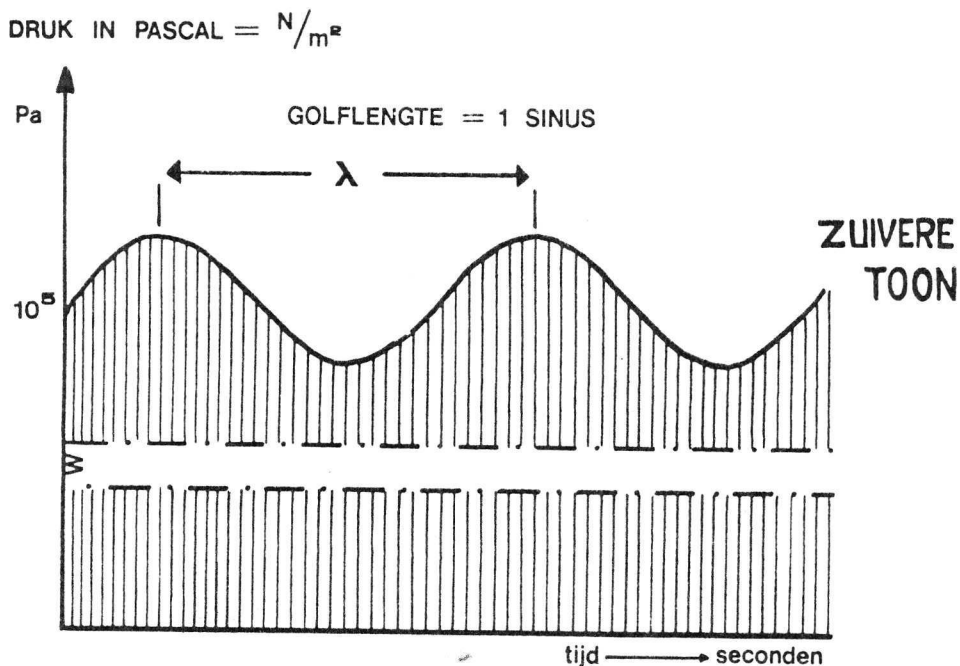
Het gaat hierbij om langzame wisselingen in de luchtdruk, welke wij niet met ons gehoor kunnen waarnemen.

Pas als de veranderingen in atmosferische druk sneller gaan verlopen -zo vanaf 20 keer per seconde- dan kunnen we ze horen en noemen we het geluid. Vanwege de grote traagheid van het materiaal, zal de barometer het laten afweten. Hiermee kunnen we dus geen geluid meten.

Het aantal drukwisselingen per seconde wordt de frequentie van het geluid genoemd en wordt aangegeven in Hertz (afgekort Hz).

Verloopt de wisseling in de geluidsdruk sinusvormig dan noemen wij dit meestal een toon. (figuur 3)

Het aantal sinussen per seconde is dan de frequentie van de toon.

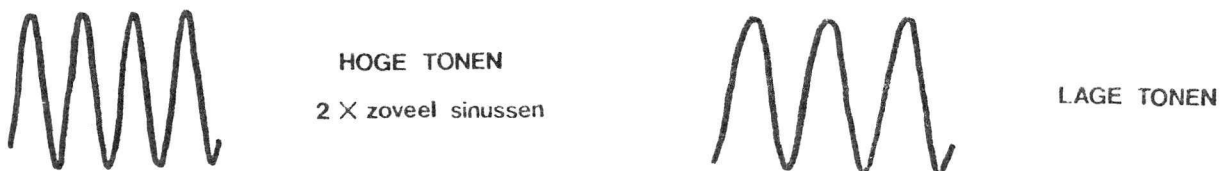


Figuur 3: Frequentie = aantal sinussen per seconde.

Tonen.

Hoge tonen, dus veel sinussen, zoals bijvoorbeeld 3000 per seconde geven een piepend geluid.

Lage tonen, weinig sinussen, bijvoorbeeld 100 per seconde, geven een brommend geluid. (figuur 4)



Figuur 4: Hoge en lage tonen.

Voortplantingssnelheid.

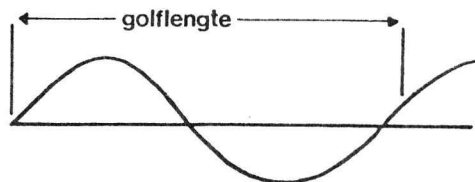
De voortplantingssnelheid van geluid door de lucht is bekend, namelijk 340 meter per seconde.

Als we dan ook de frequentie van de toon weten, kunnen we de afstand van de ene sinustop naar de volgende uitrekenen. Die afstand noemen we de golflengte en is gelijk aan:

$$\frac{\text{voortplantingssnelheid}}{\text{frequentie}} \quad \text{of in formule} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

VOORBEELD :

BIJ	20 Hz	\Rightarrow	$340/20$	=	17 m
	200 Hz	\Rightarrow	$340/200$	=	1,7 m
	2000 Hz	\Rightarrow	$340/2000$	=	17 cm
	20000 Hz	\Rightarrow	$340/20000$	=	1,7 cm



Figuur 5: golflengte = $\frac{\text{voortplantingssnelheid}}{\text{frequentie}}$

Van drukken naar deciBellen : dB.

Naast de frequentie van een toon kan ook de sterkte onderscheiden worden.

De sterkte van een toon kan worden uitgedrukt in het geluiddrukkniveau.

Het zwakste, door de mens nog waarneembare, geluid bestaat uit drukvariaties van 20 micro Pascal (of 20 μ Pa).

De atmosferische druk bedraagt ongeveer 1 kg/cm of 100.000 Pascal.

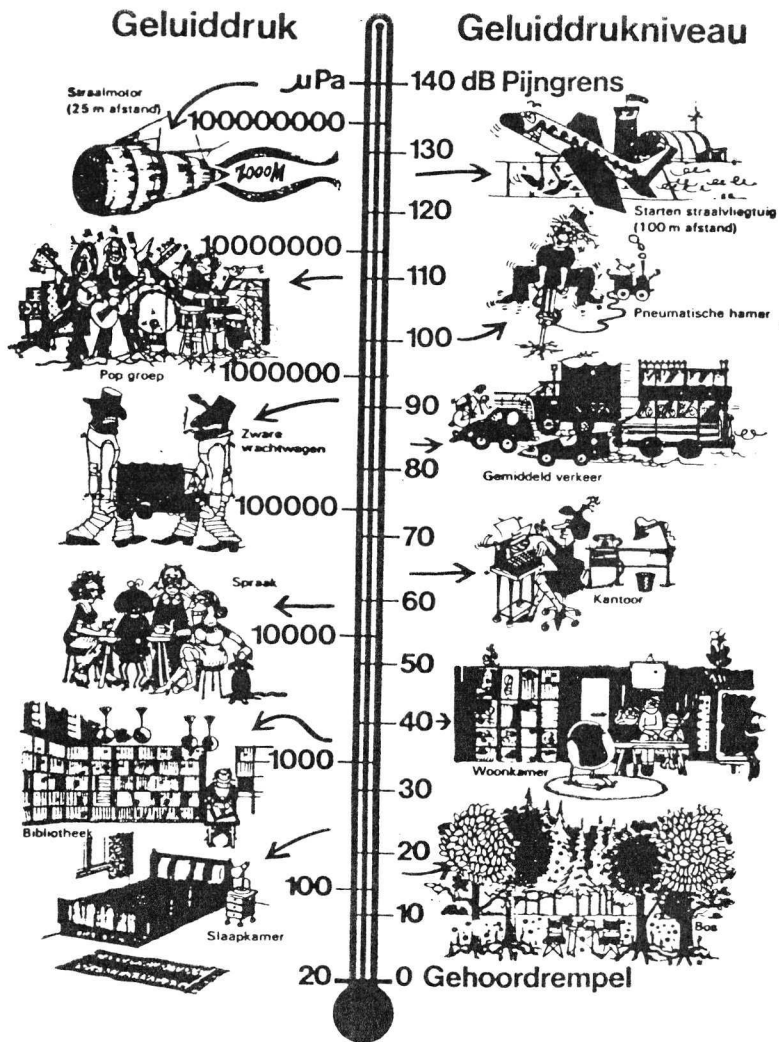
De drukverandering van 20 μ Pa is zo klein, dat het trommelvlies van het oor slechts een uitwijking ondergaat die niet groter is dan de diameter van een waterstofatoom.

Maar het oor kan ook geluiddrukken verdragen die maar liefst een miljoen maal hoger zijn.

Kijkt u maar naar de geluiddruk "thermometer".(figuur 6, linkerkant)

Als we dus geluid in Pascals zouden meten, resulteert dat in grote onhandelbare getallen.

Daarom kozen we voor de deciBel schaalverdeling.(figuur 6, rechterkant)



Figuur 6: Geluidthermometer.

De deciBel is een logaritmische maat.

Logaritmen, wat zijn dat ook al weer ?

Allereerst : LOGARITMISCHE SCHALEN ZIJN VERHOUDINGSSCHALEN.
 In formule is de definitie van een logaritme :

	$g^n = a$	$10^x = 100$
	↓	↓
<p>g = grondtal n = exponent a = uitkomst</p>	$g \log a = n$	${}^{10} \log 100 = 2$

De logaritme van een getal is de exponent waartoe het grondtal verheven kan worden om het oorspronkelijke getal weer terug te krijgen.

In grafiekvorm moet men zich onderstaand figuur voorstellen :

$\log x$	0	1	2	3
x	1	10	100	1000

De tussenliggende waarden bestaan natuurlijk ook. Kijk maar eens op uw rekenmachine of in de ouderwetse logaritme tafel !

Verder zijn er uiteraard nog een aantal rekenformules zoals :

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$

$$\log(100) = \log(10) + \log(10)$$

$$\begin{array}{c} \downarrow \qquad \qquad \downarrow \\ 1 \quad + \quad 1 \quad = \quad 2 \end{array}$$

De deciBel.

In de akoestiek gebruikt men de effectieve geluiddruk niet als maat. Er wordt gebruik gemaakt van een logaritmische maat van deze druk ten opzichte van de juist nog hoorbare drukveranderingen bij 20 μ Pa.

Deze laatst genoemde drukveranderingen noemt men de referentie druk en is dan ook het beginpunt van de schaal. (figuur 6)

Dit alles resulteert dan in een maat voor het geluiddrukniveau en wordt uitgedrukt in deciBel, afgekort dB, genomen ten opzichte van de referentie druk van 20 μ Pa.

In formule vorm is het geluidniveau :

$$L = 10 \log \frac{(\text{effectieve druk})^2}{(\text{referentie druk})^2} \text{ (dB)}$$

OF

$$L = 10 \log \frac{(P_{\text{eff}})^2}{(P_0)^2} \text{ waarbij } P_0 = 20 \mu \text{ Pa}$$

deci logarithmische verhouding : Bel

Figuur 7: Formule geluiddrukniveau.

Wat moet ik me voorstellen bij dB waarden ?

Zoals gezegd is de dB in de akoestiek een maat voor de sterkte van een geluid. In onze geluidsthermometer (figuur 6) zijn als voorbeeld een aantal alledaagse geluiden uitgezet, zowel in μPa als in dB.

Het oor reageert op kleine veranderingen in het geluid. De kleinst waarneembare verandering is 3 dB. Het voordeel van deze dB schaal is nu dat deze relatieve verandering over het gehele gebied op dezelfde manier wordt waargenomen.

Bekijken we nog eens de thermometer, dan zien we dat ons gehoororgaan een bereik heeft van ruim 130 dB.

Gevoeligheid van ons gehoor.

Het oor is het meest gevoelig in het frequentie gebied van 1000 tot 4000 Hz. Buiten dit gebied horen we de tonen pas bij toenemende sterkte. (figuur 8) De overgang naar de sterkte waarop ons gehoor een toon kan waarnemen noemen we de gehoordrempel.

In het figuur is bij verschillende toonhoogten de benodigde geluiddruk weergegeven.

De gevoelsdrempel of veelal de pijndrempel genoemd, loopt veel rechter.

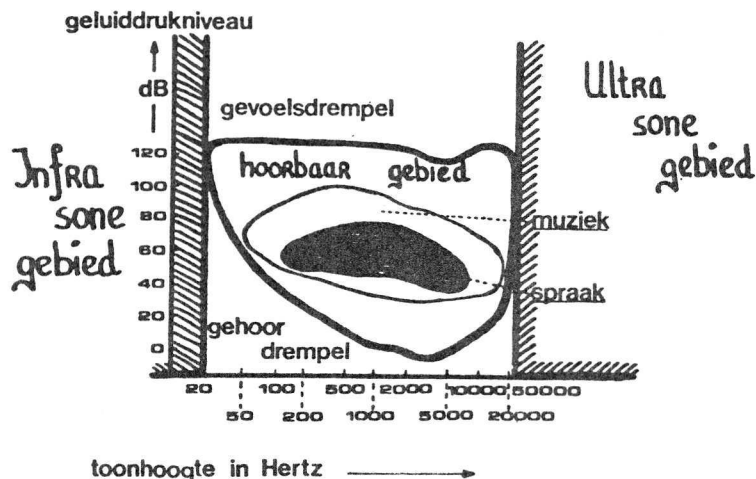
De twee drempelcurven beslaan een gebied van 20 tot 20.000 Hz voor menselijke wezens. Bij dieren zijn deze gebieden soms uitgebreider. Bijvoorbeeld vleermuizen hebben een gehoorrens van 80.000 Hz.

Het voor ons niet hoorbare gebied boven de 20.000 Hz noemen wij het gebied met de ultra-sonore frequenties. (figuur 8)

Trillingen van machine's kunnen we vaak voelen maar niet horen. Zij liggen beneden de 20 Hz en worden infra-sonore frequenties genoemd.

In figuur 8 ziet u het hoorbare gebied. Verder tekenden we het spraak- en muziek gebied in.

Duidelijk is nu ook dat het gebied tussen de 500 en 5000 Hz voor de spraak een belangrijk gebied is.



Figuur 8: Gevoeligheid van het gehoor.

De gehoordrempel verschuift bij de meeste mensen naarmate zij ouder worden, omhoog in ons plaatje.
Het eerst treedt de verschuiving op bij de hogere tonen.

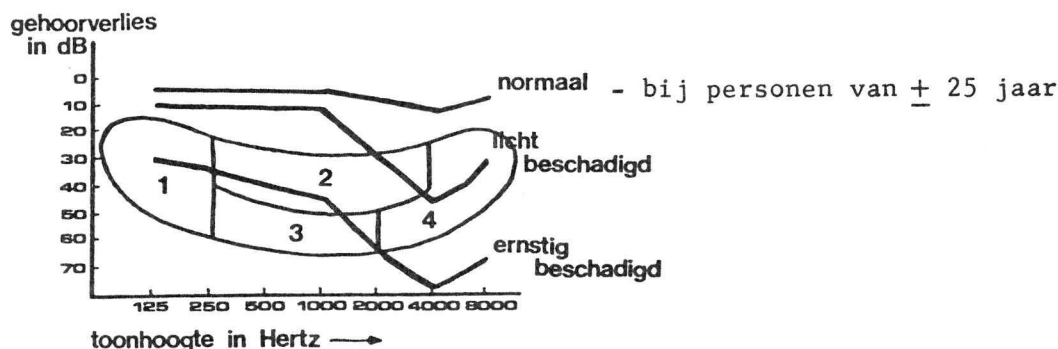
Bij blootstelling aan veel lawaai kan eveneens een verschuiving van de gehoordrempel ontstaan.

De verschuiving ten opzichte van de onderste gehoordrempel noemt men gehoorverlies.

Leeftijdsverlies noemt men presbyacuses.
Verlies ten gevolge van blootstelling aan lawaai noemen wij een gehoorbeschadiging.

Het verschil van de gemeten gehoordrempel van een persoon van ongeveer 25 jaar ten opzichte van de in figuur 8 getekende gehoordrempel is in figuur 9 naar beneden uitgezet. Indien er geen gehoorverlies wordt geconstateerd, ontstaat er in figuur 9 een rechte lijn door 0 dB.

audiogram



① FUNDAMENTEEL TOONGEBIED

③ STEMHEBBENDE MEDEKLINKERS

② BELANGRIJKSTE KLINKERS

④ STEMLOZE MEDEKLINKERS

Figuur 9: Gehoorverlies in grafiek.

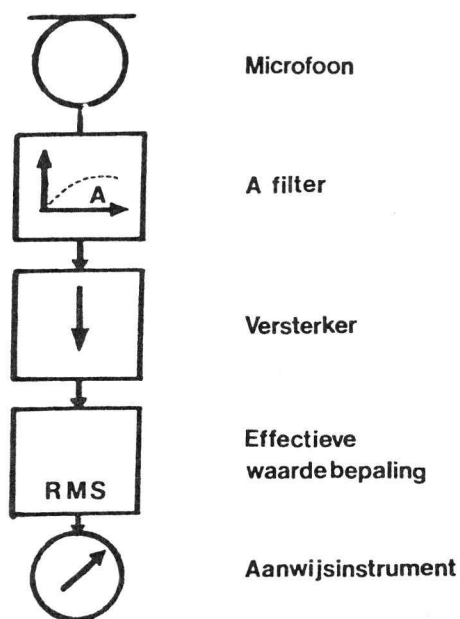
Het meten van geluid.

Uit de voorgaande figuren blijkt duidelijk dat de gevoeligheid van het oor varieert met de diverse toonhoogten. Het heeft dan ook weinig zin om de geluidsdruk van een geluidssignaal te kennen.

De toon met de meeste energie bepaalt hierbij immers de uitslag van de geluidsniveaumeter. We noemen een dergelijke meting een lineaire meting.

Bekijken we nu een geluidsniveaumeter dan zien we dat er diverse "wegende" filters zijn ingebouwd. Met behulp van zo'n filter wordt nu nagebootst hoe het oor bij verschillende geluidsdruk-niveaus en frequenties reageert. Het subjectieve oordeel van de luisteraar omtrent de sterkte van het geluid kan op deze manier meegewogen worden. En wel zodanig dat alle tonen even sterk gehoord worden.

In figuur 10 is schematisch een eenvoudige geluidniveaumeter weergegeven met daarin het "A"-filter, waarmee zoveel mogelijk de gevoeligheid van het menselijk gehoor benaderd wordt.



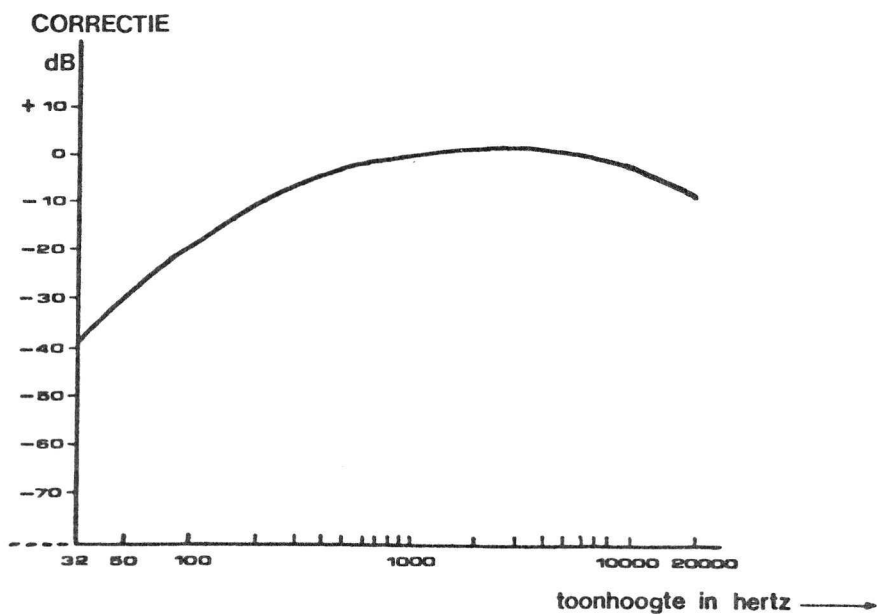
Figuur 10: Geluidniveaumeter.

In figuur 11 is de demping van het "A"-filter weergegeven bij verschillende frequenties.

Meet men nu het geluid met een geluidniveaumeter met ingeschakelde "A"-weging, dan noemen we het meetresultaat : het geluidniveau uitgedrukt in dB(A).

Voor de verschillende frequenties is de geluiddruk gereduceerd door middel van het "A"-filter.

Dit "A"-waarderingsfilter is internationaal een aanvaard filter ter benadering van de oorkromme bij meting van geluid.



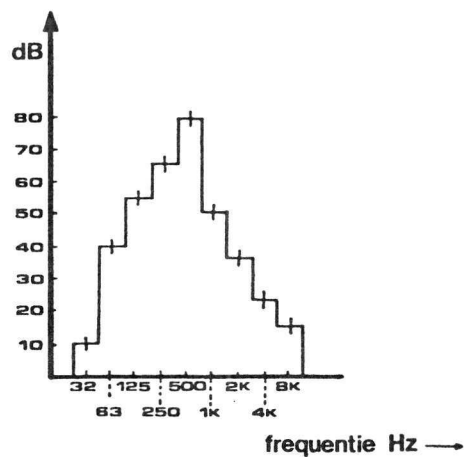
Figuur 11: Dempingskarakteristiek van het "A"-filter.

Analyse van geluid.

Wanneer we wat meer over het karakter van geluid willen weten, kunnen we het frequentiegebied van 20 Hz tot 20.000 Hz verdelen in stukken die bijvoorbeeld een oktaaf of een terts ($=\frac{1}{3}$ oktaaf) breed zijn.

Een frequentieband van een oktaaf of een terts breed kan gefilterd worden uit het geluidsignaal.

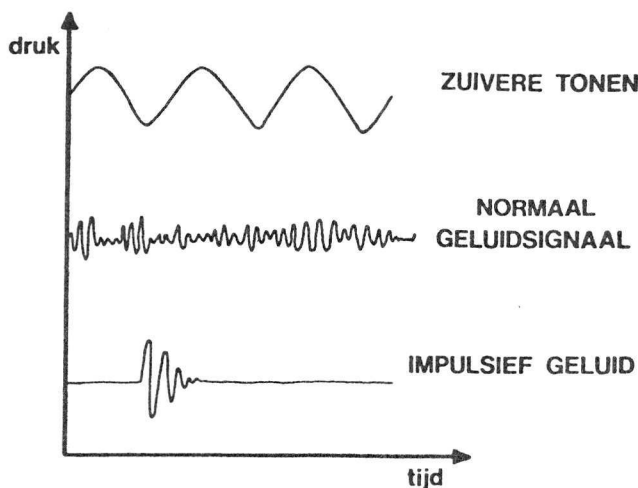
Metten we nu bijvoorbeeld de geluidniveau's over het gehele frequentiegebied steeds per oktaaf- of per tertsband en zetten de waarde per band uit in een grafiek, dan ontstaat een frequentiespectrum van een geluidsignaal.(figuur 12)



Figuur 12: Geluiddrukniveau per oktaafband in dB.
in dB

Naast filtering met oktaaf of tertsbanden zijn er uiteraard ook mogelijkheden gebruik te maken van nog smallere bandbreedtes. Men noemt deze methode de smal-band analyse.

Deze bovengenoemde methoden van analyse passen wij hoofdzakelijk toe om meer te weten te komen over de inhoud van ingewikkelde geluidsignalen (figuur 13). Men kan nu eenvoudiger nagaan waar verschillende geluiden van afkomstig zijn.

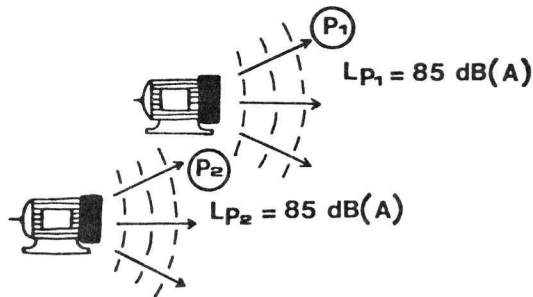


Figuur 13: Diverse typen van geluid.

Bijvoorbeeld in de bedrijven, waar veel machine's staan is men op deze manier in staat na te gaan in welke frequentiebanden het meeste geluid heerst. Beschermende maatregelen door verlaging van het toerental of isolatie kunnen nu beter en gericht genomen worden.

Rekenen met dB's : optellen.

Indien van twee machine's de geluidniveau's apart zijn gemeten en men benieuwd is naar wat het geluidniveau zal zijn wanneer beide machine's gelijktijdig in bedrijf zijn, dan moeten de geluidniveau's bij elkaar opgeteld worden.



Omdat het geluidniveau weergegeven wordt in dB, een logaritmische maat, is direkt optellen fout.

Dus 85 + 85 is geen 170 dB(A), want dit geluidniveau komt overeen met kanongebulder !

Wij mogen niet de geluidniveau's optellen, maar moeten de geluiddrukken optellen, dus dan wordt de formule :

$$L_A = 10 \log \frac{(\text{geluiddruk } 1)^2 + (\text{geluiddruk } 2)^2}{(\text{referentiedruk})^2}$$

of algemener :

$$L_A = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n P_{A_i}^2}{P_0^2} \quad (1)$$

IN ONS GEVAL WAS $P_1 = P_2$

Wanneer deze waarden in formule 1 ingevuld worden ontstaat de formule :

$$\begin{aligned} L_A &= 10 \log 2 \times \frac{P_1^2}{P_0^2} = \\ &= \boxed{10 \log \frac{P_1^2}{P_0^2}} + 10 \log 2 = \\ &= L_{P_1} + 10 \log 2 = \\ &= 85 + 3 = 88 \end{aligned}$$

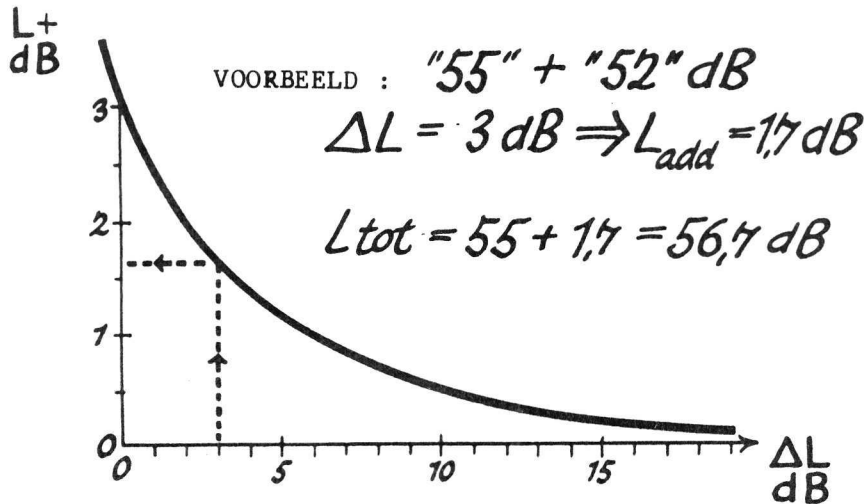
Dus als de druk per geluidbron even groot is wordt de formule :

$$L_A = L_{Bron} + 10 \log (\text{aantal})$$

Bij 10 dezelfde bronnen wordt dit dan :

$$10 \log n = 10 \log 10 = 10 \text{ dB(A) toename}$$

Hebben de bronnen verschillende niveau's, dan moet men door middel van berekening de som der geluidniveau's bepalen. Figuur 14 geeft een grafische methode van optellen aan. Men zoekt in de tabel bij het verschil van twee op te tellen waarden de bijkomende L_{+} waarde. Deze L_{+} waarde telt men daarna op bij de hoogste waarde (hier 55) en aldus ontstaat de som der geluidniveau's.



Figuur 14: Optellen van dB's met behulp.

Terug naar het meten.

Aan de hand van het blokschema (figuur 10) wordt hieronder de geluidmeter beschreven:

- * de microfoon zet het geluidsignaal om in een elektrisch signaal.
- * na versterking vindt "A"-filtering plaats.
- * na verdere versterking komt het signaal in de "RMS"-detector, waar de effectieve waarde wordt bepaald.
- * deze detector bestuurt nu het aanwijsinstrument.

Meteraanwijzing.

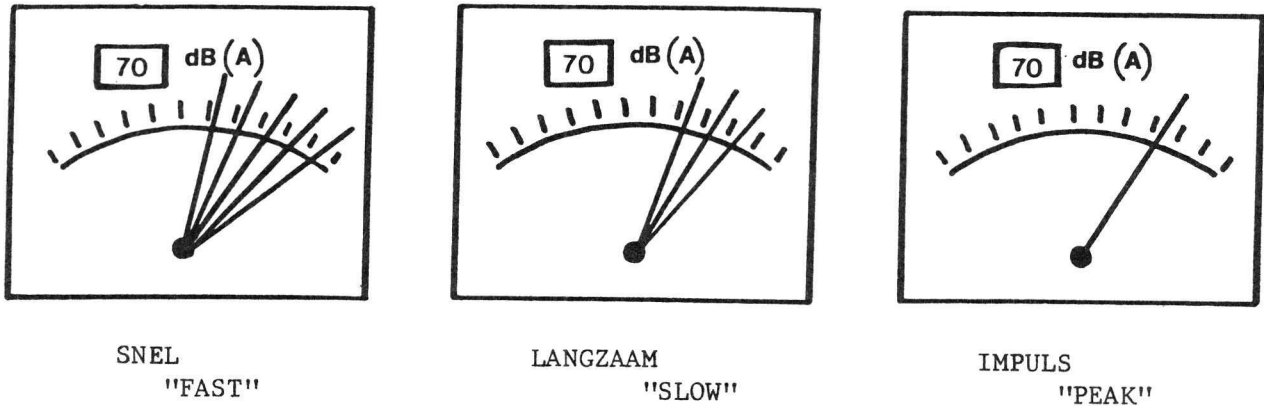
De wijzer van het meetinstrument moet nauwkeurig de wisselingen in het geluidniveau kunnen volgen.

Gaan de wisselingen te snel, dan beweegt ook de wijzer wild. Men kan geen waarden aflezen.

Om deze reden bezitten de geluidniveaumeters nog twee inschakelbare meterdempingen. En wel : snel : "fast" (figuur 15)
langzaam : "slow"

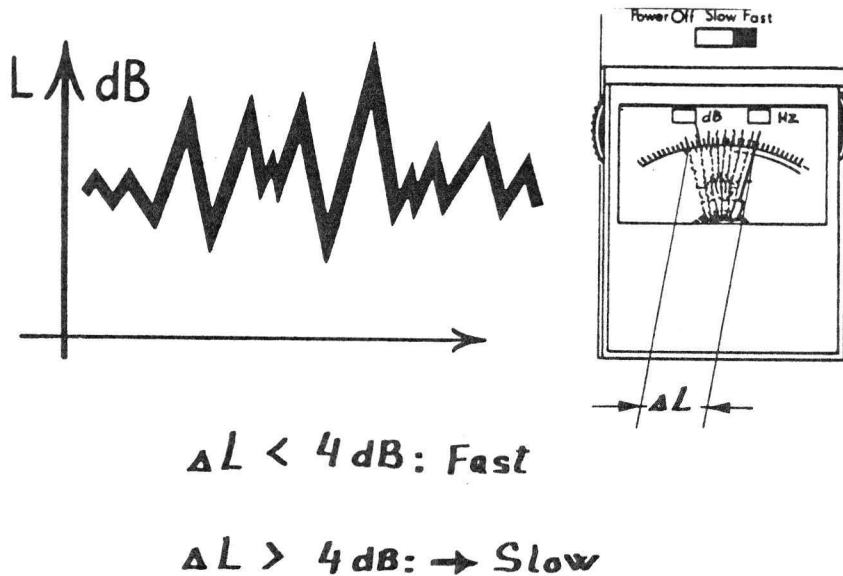
Bij "fast" reageert de meter snel : constante signalen kunnen eenvoudig en snel afgelezen worden.

Bij "slow" reageert de meter langzaam : een vrij trage meterbeweging volgt sterk fluctuerende signalen door middel van middeling. Daardoor kan men toch de meter goed aflezen.



Figuur 15: Meteraanwijzing.

Figuur 16 geeft aan welke van de standen we moeten kiezen. Is de verandering in het geluidniveau groter dan 4 dB, dan moeten we een betere middeling van de meteruitslag tot stand brengen, we kiezen dan ook voor stand "slow". Is de verandering in het geluidniveau minder dan 4 dB, dan komt de stand "fast" in aanmerking.



Figuur 16: Keuze van de meterstand.

Sommige duurdere meters bevatten naast de standen "slow" en "fast" ook nog de stand "impuls" of "peak".

Na inschakeling hierop zal de meter optredende pieken in het geluid vasthouden via een "houd" schakeling, waardoor de meter de piek-waarde via de wijzer gedurende bepaalde tijd toont.

Analyse van het geluidniveau over langere tijd.

Varieert het geluid in de loop van de dag sterk, dan gebruikt men in de akoestiek de maat : equivalent geluidniveau over een bepaalde periode. Indien het geluid ook nog gewogen werd via een "A"-filter dan ontstaat de formule :

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \text{ in dB(A)}$$

Hierbij wordt het kwadraat van de geluiddruk gemiddeld over een bepaalde periode. Ook kunnen door middel van statistische analyse de waarden, welke gedurende een percentage van een bepaalde periode overschreden worden, vastgesteld worden.

Bijvoorbeeld L95 : achtergrondgeluid
 L50 : mediaan
 L10 : pieken
 L1 : extreme pieken

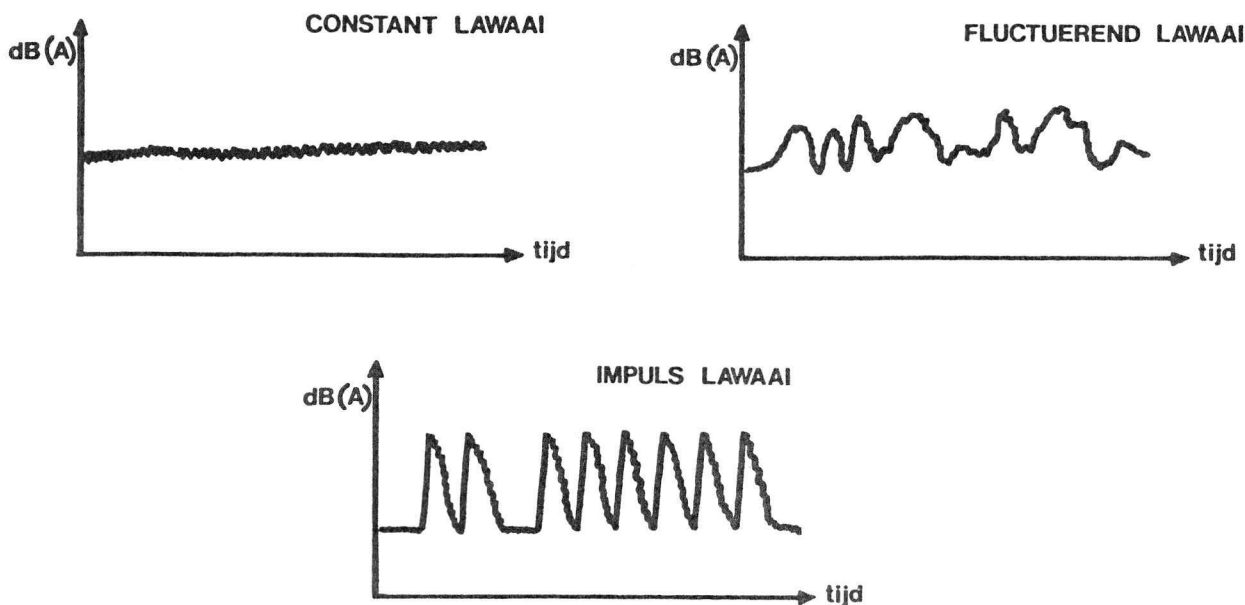
Het meten van lawaai op de arbeidsplaats.

We gaan nu nader in op de aspecten van het meten van lawaai op de arbeidsplaats, uit oogpunt van mogelijke bepaling van de kans op gehoorschade.

Het geluid dat voorkomt op de arbeidsplaats kan men grofweg onderverdelen in :

- constante geluiden
- fluctuerende geluiden
- impulsvormige geluiden (veel scherpe pieken)

Veelal treft men in een fabriek mengvormen van deze soorten aan.



Figuur 17: Geluid soorten.

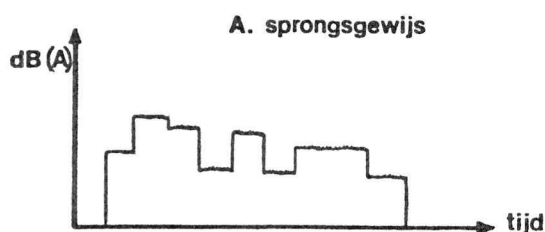
Bij het meten van dergelijke geluiden moet men rekening houden met eigenschappen van diverse meetgrootheden. In onderstaand schema maken wij dit duidelijker:

GELUIDSOORT

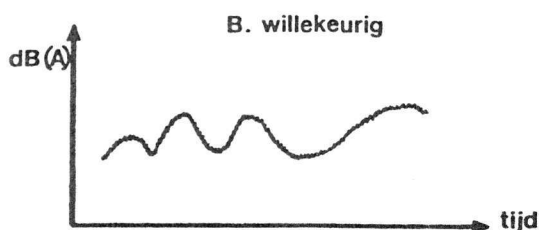
Informatie	Constant	Fluctuerend	Impulsief
gehele frequentie gebied -Integraal-	dB(A) fast	dB(A) slow dB(A) max statistische analyse Leq, L ₁₀ L ₅₀ , L ₉₀	dB(A) peak dB(A) impuls aantal pulsen per periode Leq
frequentie opbouw	dB per oktaaf	idem dB per oktaaf	frequentie spectrum van impuls
bijzonderheden	—	—	stijgtijd daaltijd

Metten van de totale lawaaidosis.

Om de kans op een gehoorbeschadiging te bepalen moeten we op de hoogte zijn van de lawaaidosis waaraan het gehoororgaan werd blootgesteld. Leq is een maat voor de lawaaidosis, immers met behulp van deze maat zijn we in staat een equivalent geluidniveau te bepalen bij fluctuerend lawaai. (figuur 18) Als het geluid sprongsgewijs varieert is het mogelijk met een horloge en een geluidniveaumeter de benodigde gegevens te krijgen om Leq te berekenen, maar bij willekeurige veranderingen is dat al vaak ondoenlijk.



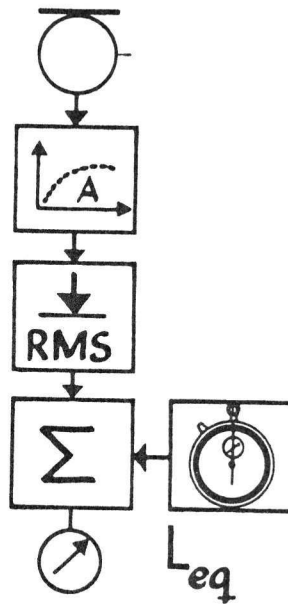
A: meten met geluidmeter en stopwatch, daarna berekenen



B: te ingewikkeld met de hand, kies nu voor een Leq meter

Figuur 18: Bepalen Leq-waarde.

In zo'n geval kan een persoonlijke geluiddosismeter uitkomst bieden. Deze meter berekent namelijk automatisch de L_{eq} -waarde. (figuur 19)



Figuur 19: Schema geluidexpositiemeter.

Deze dosismeter is klein en kan door de werknemer persoonlijk megedragen worden tijdens het werk. Mobiliteit van de werknemer is dan ook een groot voordeel. (figuur 20)

Een nadeel kan zijn ... experimenten ...
... onzorgvuldig gebruik en dergelijke ...



WERKNEMERS MET VERSCHILLENDE WERKPLEKKEN

VOORDEEL
**BEPALING GELUID-
EXPOSITIE BIJ**

NADEEL
**NODIGT DE EERSTE
DAG UIT TOT**
EXPERIMENTEREN

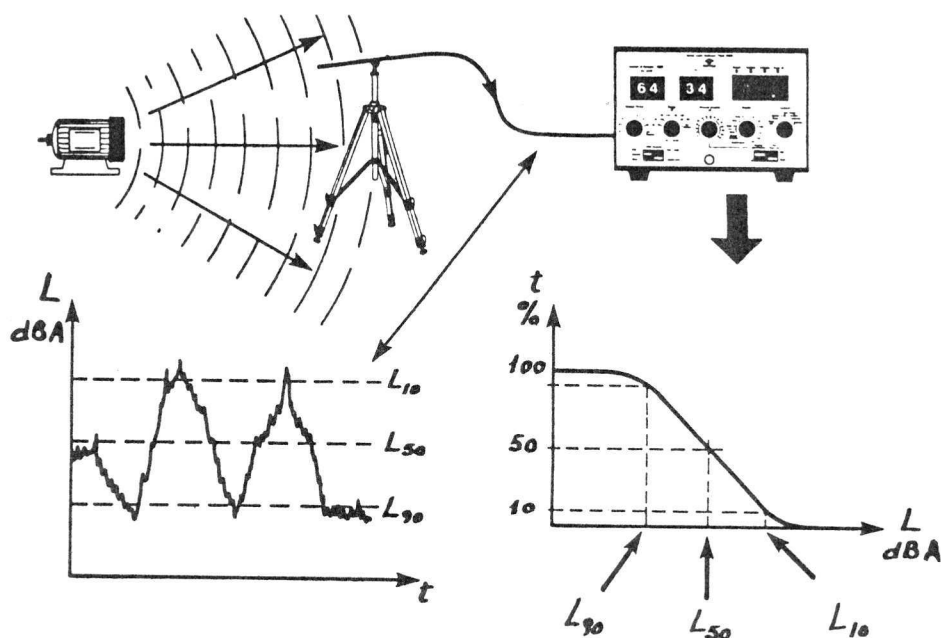


Figuur 20. Voor- en nadelen geluidexpositiemeters.

Bij de toepassing van de persoonlijke geluidexpositiemeter moeten een aantal zaken in acht genomen worden, wil men verzekerd zijn van goede meetresultaten:

- * de metingen moeten over een langere periode uitgevoerd worden, waarbij de meetresultaten van de eerste meetdag niet in aanmerking worden genomen.
- * daar de meetinstrumenten kwetsbaar zijn, kunnen tijdens een meetdag meetfouten gemaakt worden. Voor en na iedere meetperiode moet dan ook een calibratie uitgevoerd worden.
- * leg aan de werknemers het doel van de metingen uit.
- * microfoon posities moeten zorgvuldig uitgezocht worden. Speciaal geldt dit voor gerichte geluidbronnen.
- * batterij controle dient ook regelmatig te geschieden.
- * twijfelt u aan de meetresultaten, doe het dan gerust nog eens over.
- * neem een goed geïnstrueerde technicus voor deze zaken.

Is mobiliteit niet een eerste vereiste, dan kunnen we ook gebruik maken van de statistische geluidniveau analysator. (figuur 21)



Figuur 21: Statistische geluidniveau analysator.

Naast L_{eq} komen ook andere meetgrootheden beschikbaar. De ISO stelt dat iemand die gedurende 8 uur wordt blootgesteld aan geluid met een equivalente waarde van 90 dB(A), een lawaaidosis van 100% te verwerken heeft gekregen.

Kans op gehoorschade.

Is er gedurende iedere werkdag van de werkweek een blootstelling aan lawaai van 80 dB(A) of meer, dan is er de kans dat na verloop van een aantal jaren bij voortdurende blootstelling een gehoorbeschadiging ontstaat zoals aangegeven in de tabel (figuur 22).

geluidniveau in dB(A)	expositie in jaren*			
	10	20	30	40
80	3%	7%	14%	33%
85	6%	13%	22%	43%
90	13%	22%	32%	54%

* vanaf 18 jarige leeftijd

Figuur 22: % werknemers met gehoordrempel van minstens 25 dB.
-gemiddeld over 500, 1000 en 2000 Hz-

De kans op gehoorschade bij impulsvormig lawaai kan groter zijn. De ISO beveelt dan ook aan in het geval van aanwezigheid van impulslawaai gebruik te maken van goede meetapparatuur. Indien geen geschikte apparatuur aanwezig is voor de verwerking van impuls-geluid, moet men 10 dB(A) bij de meteruitslag optellen.

Nog even rekenen aan het Equivalente Geluidniveau of totale lawaaidosis.

Een man wordt blootgesteld aan een geluidpatroon als :

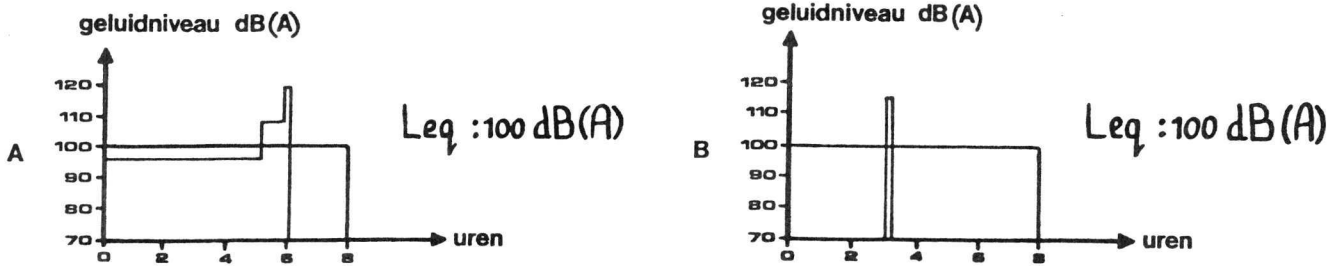
115	dB(A)	gedurende 10 minuten
105	dB(A)	gedurende 45 minuten
95	dB(A)	gedurende 5 uur

De rest van de dag is het niveau 70 dB(A) of lager. Volgens de ISO rekenmethode vinden we als Leq waarde 100 dB(A). (figuur 23)

Een ander geval geeft gedurende 16 minuten 115 dB(A) en de rest van de dag een niveau lager dan 70 dB(A).

Ook hier wordt de Leq waarde 100 dB(A).

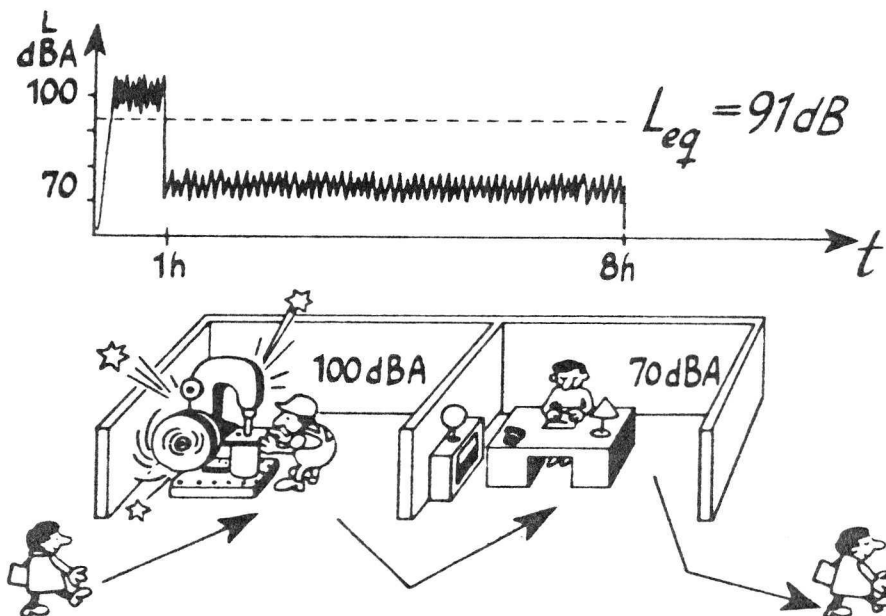
Bij beide situaties is het risico op gehoorbeschadiging even groot. (figuur 23)



A - dosis	B - dosis
115 dB(A) – 10 min	115 dB(A) – 16 min
105 dB(A) – 45 min	
95 dB(A) – 5 uur	

Figuur 23: Zelfde lawaaidosis.

Figuur 24 geeft nog een voorbeeld van iemand die erg mobiel is en overal in de fabriek komt.



Figuur 24: Mobiele werknemer.

Dus even schadelijk is ook :

- 1 uur werken in 99 dB(A)
- 2 uur werken in 96 dB(A)
- 4 uur werken in 93 dB(A)
- 8 uur werken in 90 dB(A)



WAT DOEN WE TEGEN LAWAAI ?

Beperk het geluid bij de bron :

- wijzig het ontwerp
- zorg voor goed technisch onderhoud
- vervang de betreffende bron door een betere welke minder lawaai maakt
- let bij aanschaf van apparatuur op geluideigenschappen

Verdere aanpak van de lawaaibron :

- omkast de machine
- zet de machine in een aparte ruimte
- zorg door middel van absorberende materialen dat er zo min mogelijk reflecties van geluid kunnen optreden
- voorzie de machine van trillingsdempers

Bescherming van de mens :

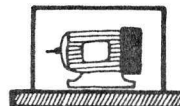
- bescherm het bedienend personeel door middel van cabines van waaruit de bediening van de machine kan plaatsvinden
- zorg voor roulatie van het personeel zodat zij niet de gehele dag in het lawaai behoeven door te brengen
- als het niet anders kan, zorg dan voor beschermingsmiddelen zoals oordopjes of oorkappen
- voer een audiometrieprogramma uit ter bepaling van de gehoorscherpthe van de werknemers
- indien een werknemer een te grote gehoorbeschadiging opgelopen heeft of dreigt op te lopen, overweeg dan overplaatsing naar een stillere werkruimte

BESTRIJDEN BIJ DE BRON



- bij aanschaf
- ontwerp
- vervanging
- onderhoud

BRON „INPAKKEN”



- aparte ruimte
- afscherming
- omkapping

MENS „BESCHERMEN”



- oorkappen
- watten
- doppen
- periodiek
gehooronderzoek

Normen.

In de loop der jaren zijn door de ISO (International Standardization Organisation) en de IEC (International Electrotechnical Commission) normen uitgebracht op het gebied van het meten van geluid, kwaliteit van meetinstrumenten en de effecten van geluid op de mens.

Hieronder worden de belangrijkste normen genoemd :

- ISO 1996 Assessment of noise with respect to community response.
- ISO R1999 Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes.
- ISO 2204 Guide to the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on man.
- IEC 651 Sound level meters.

De bovengenoemde ISO normen moeten gezien worden als richtlijn. Zo wordt in de ISO norm 1996, de meetmethode voor lawaai dat buiten voor kan komen aangegeven. Eveneens worden zaken als spraakverstaanbaarheid en subjectieve beleving van geluid behandeld.

Ten aanzien van mogelijke gehoorschade door lawaai is de ISO norm R1999 opgesteld welke richtlijnen ten aanzien van de expositieduur bij verschillende geluidniveau's in relatie tot de kans op gehoorschade geeft. Daarbij komt ook de meetmethode voor de bepaling van de geluidsdosis aan de orde.

In de ISO norm 2204 worden basisbegrippen en meetmethoden omschreven. Ook wordt er een opsomming gegeven van andere belangrijke ter zake doende normen.

De IEC norm 651 geeft in een overzicht aan welke nauwkeurigheidseisen geluidniveaumeters moeten voldoen.

Een aantal praktijkrichtlijnen bij het meten.

Als afsluiting volgt nu een oriëntatie op het gebied van het in de praktijk meten van geluid.

Richtlijnen vooraf:

- ga na of er bepaalde meetvoorschriften zijn, zoals de Wet op Geluidhinder, normen of aanbevelingen van de ISO c.q. IEC.
- bekijk zorgvuldig de bedieningshandleiding van het meetinstrument.
- controleer het meetinstrument op de juiste werking:
 - . controleer de batterijen
 - . bekijk of het instrument goed geijkt is. Gebruik hiertoe een akoestische calibrator, welke een bepaald geluidniveau produceert. Leq meters kunnen hiermee ook getest worden. Daartoe moet men de calibrator gedurende een bepaalde tijd aanzetten, waarna het equivalente geluidniveau afgelezen kan worden.
- kies het juiste filter. Meestal passen we in eerste instantie het "A"-filter toe
- bepaal eerst aan de hand van een aantal metingen en wat men zelf hoort in welk soort geluidveld men zich bevindt. Stel dan de meter in zoals gegeven in de tabel.
- vermijdt bij het meten eventuele lichaamsreflecties. Houdt daartoe de geluidniveaumeter op enige afstand van het lichaam vast. Meet nu in de richting van de bron.
- komt het geluid van alle kanten, kies dan bij de geluidniveaumeter een rondomgevoelige microfoon. (meestal zit deze soort microfoon er al op gemonteerd) Men kan ook de microfoon op een zwanehals monteren, zodat de afstand tot de bedienaar groter wordt.
- meet op een bepaalde afstand van een object. Noteer bij meetresultaten deze meetpositie.
- bij de vaststelling van de lawaaidosis kan het beste gekozen worden voor de plaats waar de oren van de bedienaar van een machine zich bevinden.

Verder moet men letten op:

- . eventuele extra bijdragen van het geluidniveau welke ontstaan in de buurt van oppervlakken die het geluid terugkaatsen.
- . meet men objecten, ga dan ook na hoe groot het achtergrond geluidniveau is.
- . ga ook na of de omgevingscondities niet van invloed zijn op de meteruitkomst.
- . wind buitensluiten met behulp van een bol van poreus polyurethaan schuim. (beschermt ook tegen stof, vuil en neerslag) De meeste microfoons functioneren nog bij een relatieve vochtigheidsgraad van 90%. Daarboven zijn beschermingsmiddelen beschikbaar.
- . vermijdt plotseling grote temperatuurverandering. (condensatie kan optreden) Pas bij deze situaties microfoon"drogers" toe.
- . vermijdt zware trillingen en schokken.

SAMENVATTING uit NIPG-rapport Geluidmetingen op de arbeidsplaats.....
(zie voetnoot)

1. MEETMETHODE LAWAAI OP DE ARBEIDSPLAATS

1.1 Inleiding

Voor het meten van lawaai op de arbeidsplaats is een standaard meet- en beoordelingsmethode ontwikkeld, beschreven in het ICG-rapport LA-HR-07-01.

Deze methode beoogt de lawaaিসituation in een bedrijf vast te leggen en van daaruit de lawaaibelasting van (groepen) werknemers. Ten behoeve van bedrijfsgezondheidsdiensten is een meetprotocol ontwikkeld (1)

waarbij de benadering meer persoonsgericht is. Daardoor ligt in deze methode het accent meer op metingen van geluid-exposities en in de standaard meet- en beoordelingsmethode op werkzaamheidsgebonden geluidmetingen. Belangrijk daarbij is dat er bij het meetprotocol van wordt uitgegaan dat metingen worden verricht in het kader van een gehoorbeschermingsprogramma en veelal door iemand die reeds bekend is met het bedrijf, terwijl de standaard meetmethode van LA-07-01 ook geschikt is voor controle door bijvoorbeeld de Arbeidsinspectie. Zowel het meetprotocol als het ICG-Rapport LA-HR-07-01 is gebaseerd op uitgangspunten die zijn vastgelegd in ISO/DIS 1999.1. Centraal daarbij staat het equivalente geluidniveau, gemeten in dB(A). Er bestaat alleen een verschil in benadering tussen beide methoden.

In september 1985 heeft de ministerraad de beleidsvoornemens van de regering ten aanzien van lawaai op de arbeidsplaats vastgelegd. Hierin zijn grensvoorwaarden vastgesteld voor lawaai op de arbeidsplaats die zullen worden opgenomen in de desbetreffende artikelen 179a en 184 van het Veiligheidsbesluit voor fabrieken of werkplaatsen 1938.

Voor de uitvoering van dit beleid is het vanzelfsprekend noodza-

(1) NIPG-rapport Geluidmetingen op de arbeidsplaats in het kader van gehoorbeschermingsprogramma's
- Meetprotocol ter bepaling van geluidexpositieniveaus -
Door R.v.d.Berg, april 1985

kelijk dat er een eenduidige meetmethode bestaat voor het vaststellen van geluidniveaus op arbeidsplaatsen, en tevens dat de toetsing van deze geluidniveaus aan de grenswaarden op eenduidige wijze geschiedt. In het navolgende is een samenvatting gegeven van het meetprotocol, dat aan het vorengestelde voldoet.

Het geluidonderzoek bestaat in principe uit twee delen:

- het vooronderzoek, waar nodig gevolgd door
- het uitgebreide akoestisch onderzoek.

1.2 Vooronderzoek

Het doel is in een bedrijf een overzicht te maken van werkzaamheden die een potentieel schadelijk geluidniveau, dat wil zeggen meer dan 80 dB(A), veroorzaken. In het vooronderzoek worden uitsluitend werkzaamheidsgebonden metingen verricht. De grootte die gemeten dient te worden is het equivalente geluidniveau van de werkzaamheid in dB(A): L_{Aeqw} .

Apparatuur

Er wordt gebruik gemaakt van een integrerende geluidniveaumeter (minimaal type 2, IEC 651).

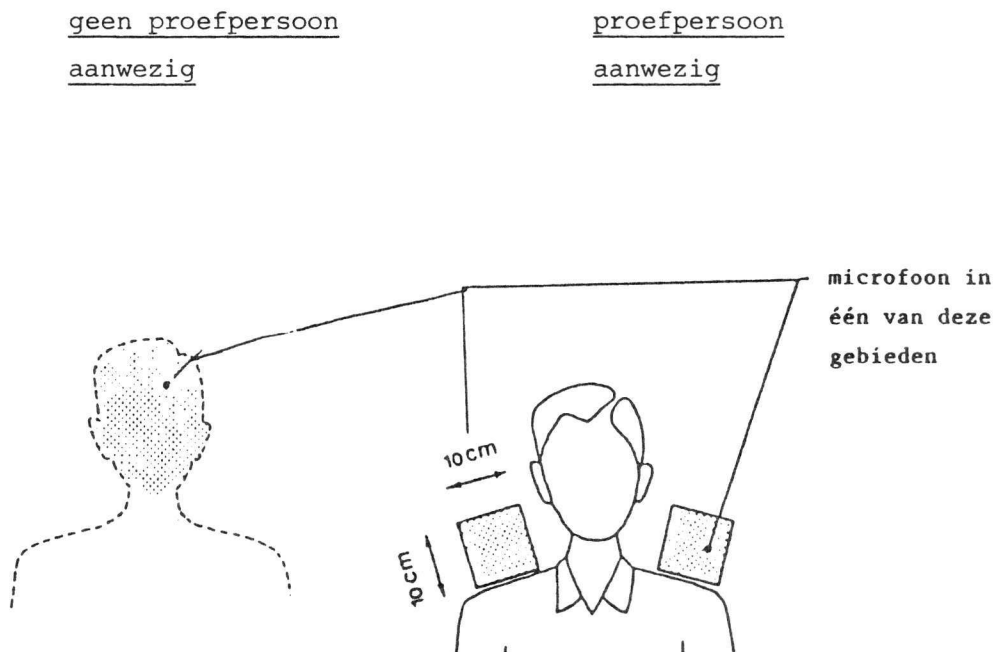
Meetplaats

Alle lawaaiige werkzaamheden dienen te worden geïnventariseerd. De microfoon moet worden geplaatst ter hoogte van het oor van de werknemer die de werkzaamheid uitvoert (zie figuur 3.1).

Het minimaal aantal meetplaatsen per afdeling is:

- 2 bij 1 tot 10 arbeidsplaatsen;
- 3 bij 11 tot 50 arbeidsplaatsen;
- 4 bij meer dan 50 arbeidsplaatsen.

Figuur 3.1. Microfoonpositie



Meettijd

De beoordelingstijd bedraagt minimaal 10 minuten. Wanneer de periodiciteit van een werkzaamheid langer dan 10 minuten is dan wordt de beoordelingstijd gelijk gekozen aan de periodetijd van de werkzaamheid (dit is de tijd waarin het geluidpatroon terugkeert). De meettijd hoeft niet gelijk te zijn aan de beoordelingstijd, maar dient minimaal 1 minuut te bedragen.

Bij fluctuerende geluidexpositie moet de meting een aantal malen worden herhaald. Middeling van de niveaus geschiedt volgens de formule

$$L_{Aeqw} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^N (t_i/T) \cdot 10^{L_{Aeqti}/10} \right)$$

$$\text{waarin } T = \sum_{i=1}^N t_i$$

en L_{Aeqti} = het equivalente geluidniveau gedurende de i-de periode.

t_i : de i-de beoordelingstijd.

Beoordeling

Als uit het vooronderzoek blijkt dat er op bepaalde afdelingen in een bedrijf potentieel schadelijk geluid (L_{Aeqw}) 80 dB(A) voorkomt, dient een uitgebreid akoestisch onderzoek plaats te vinden op de betreffende afdelingen.

1.3 Uitgebreid akoestisch onderzoek

Het doel van het uitgebreide onderzoek is om ten aanzien van de in het vooronderzoek geselecteerde werkruimten de volgende grootheden vast te stellen:

- het totale geluidexpositieniveau ($L_{EX, 8h}$) in dB(A) van elk der betrokken werknemers;
- de equivalente geluidniveaus die ten gevolge van werkzaamheden (machines/apparaten) op bepaalde arbeidsplaatsen heersen (L_{Aeqw}).

Daartoe dient uit een werkanalyse van de betrokken werknemer allereerst vastgesteld te worden welke werkzaamheden er worden verricht op welke plaatsen. Daarbij dient ook een schatting gemaakt te worden van de tijdsduur van deze werkzaamheden gemiddeld over langere tijd.

Vaak komt het voor dat een aantal werknemers min of meer dezelfde werkzaamheden uitvoert in dezelfde ruimte. Nagegaan moet worden of deze werknemers als één groep mogen worden beschouwd.

Het totale geluidexpositieniveau van een werknemer (of een groep werknemers) wordt bepaald uit een sommatie van de partiële niveaus volgens formule:

$$L_{EX,t} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_{EX,ti}/10} \right) \quad \text{waarin } L_{EX,ti} = L_{Aeqwi} + 10 \lg (t_i/T).$$

Het geluidexpositieniveau en de equivalente geluidniveaus ten gevolge van werkzaamheden/apparaten/machines kunnen op een tweetal manieren worden vastgesteld, namelijk door:

- 1) persoonsgebonden metingen, met behulp van geluidexpositiemeters/geluiddosimeters;
- 2) werkzaamheidsgebonden metingen, met behulp van integrerende geluidniveaumeters.

Zowel aan het gebruik van integrerende geluidmeters als geluiddosimeters kleven voor- en nadelen. Ten aanzien van geluiddosimeters betreft dit:

Voordelen:

- De huidige op de markt verkrijgbare dosimeters zijn relatief gemakkelijk instelbaar. De calibratie kan eenvoudig worden uitgevoerd

- Vele meters kunnen gelijktijdig worden ingezet, waardoor snel een redelijk beeld kan worden verkregen omtrent de geluidexpositie bij bepaalde functies of van groepen werknemers
- In gevallen waarbij men niet plaatsgebonden kan werken is dosimetrie een uitkomst, evenals op plaatsen waar een meettechnicus moeilijk kan komen (bijvoorbeeld vorkheftrucks, torenkranen e.d.).

Nadelen:

- Indien de werknemers middels voorlichting niet goed gemotiveerd en betrokken worden bij een gehoorbeschermingsprogramma moet men op zijn hoede zijn voor eventuele sabotage.
- Vooral resultaten uit de eerste meetperiode kunnen onnauwkeurig zijn, omdat het nogal eens voorkomt dat de werknemer gaat experimenteren
- De huidige meters leveren niet alle noodzakelijke informatie ten behoeve van het opstellen van een lawaai-bestrijdingsplan. Daarvoor is meestal een diepergaande analyse noodzakelijk zoals een oktaafanalyse of de meting van nagalmtijden.

De eerste twee genoemde nadelen zijn grotendeels te voorkomen door de dosimetrie bewaakt uit te voeren. Dit betekent dat een geluidmeettechnicus het grootste deel van de meettijd in de betreffende ruimten aanwezig is. Dit geldt met name voor de eerste periode waarin geluiddosimeters gedragen worden. Als in de praktijk blijkt dat er bij het gebruik van geluiddosimeters geen moeilijkheden optreden kan men overgaan tot een beperkte bewaking.

Een ontwikkeling op het gebied van de dosimetrie moet nog genoemd worden.

Momenteel zijn er voor diverse klimaatfactoren te gebruiken dosimeters met een uitgebreid geheugen verkrijgbaar bij diverse fabrikanten die tevens als geluidniveaumeter dienst kunnen doen. Gebruikt men deze meter als geluiddosimeter dan kan men deze meter zodanig instellen dat het momentaan gemeten geluiddrukniveau in dB(A) per minuut wordt omgerekend in een equivalent geluidniveau. Vervolgens wordt deze waarde opgeslagen in het geheugen van de meter. Stel men meet gedurende een gehele werkdag, dan heeft men na afloop de beschikking over het verloop van het equivalente geluidniveau van minuut tot minuut. Ook worden deze minuutwaarden aan het einde van de periode omgerekend naar het equivalente geluidniveau over de gehele meetperiode.

Met behulp van een dergelijk meetinstrument is het mogelijk na te gaan welke geluidbelasting een bepaalde werkzaamheid veroorzaakt als men deze werkzaamheden gedurende de meettijd registreert. Met behulp van een dergelijk meetinstrument is het mogelijk na te gaan welke geluidbelasting een bepaalde werkzaamheid veroorzaakt als men deze werkzaamheden gedurende de meettijd registreert. Een meer uitgebreide analyse is met een dergelijk instrument veel eenvoudiger en comfortabeler geworden.

Voor- en nadelen van het gebruik van integrerende geluidmeters zijn:

Voordelen:

- de geluidmeettechnicus is precies op de hoogte van de gang van zaken tijdens de metingen
- ten behoeve van het opstellen van een lawaai bestrijdingsplan kunnen deexpositieniveaus veroorzaakt door één enkele geluidbron nauwkeurig vastgesteld worden. Veranderingen aan geluidbronnen, bijvoorbeeld door het nemen van lawaai bestrijdingsmaatregelen, of door het uitvoeren (of nalaten) van onderhoud, komen dan duidelijker tot uiting.

Nadelen:

- soms is het niet mogelijk om de metingen op de juiste plaats te verrichten, omdat het niet mogelijk is het instrument op de juiste plaats te houden
- door één geluidmeettechnicus kan slechts één meting tegelijkertijd verricht worden
- omdat de meettijd veelal veel geringer is dan de beoordelingstijd is een nauwkeurige schatting van de beoordelingstijd noodzakelijk. Deze schatting berust op beoordelingen van werknemers/afdelingsleiding en niet op (objectieve) meting.

Als van iedere werknemer (of groep werknemers) het geluidexpositieniveau bekend is kunnen zij ten behoeve van de rapportering van de resultaten worden ingedeeld in zogenaamde geluidexpositieklassen met een breedte van 5 dB(A): 80 tot 85 dB(A), 85 tot 90 dB(A), enzovoort. Ook is voorzien in een (niet schadelijke) klasse van minder dan 80 dB(A).

1.3.1 Apparatuur

Er wordt gebruik gemaakt van geluidexpositiemeters en integrerende geluidniveaumeters (minimaal type 2, IEC 651).

Ook kan eventueel andere geluidmeetapparatuur worden gebruikt zoals een statistische geluidniveau-analysator of een niveauschrijver.

De instrumenten dienen te worden gebruikt met ingeschakeld A-filter en dienen voor en na de metingen akoestisch gecalibreerd te worden.

1.3.2 Persoonsgebonden metingen

Om een nauwkeurig beeld te krijgen van de geluidexposities van de werknemers is het noodzakelijk erop toe te zien dat de metingen op de juiste wijze worden uitgevoerd, gecontroleerd en op verschillende dagen onafhankelijk van elkaar en van het productieproces worden herhaald. De gekozen dagen dienen representatief te zijn ten aanzien van de geluidbelasting.

Meetplaats

De meest gunstige microfoonplaats voor een geluidexpositiemeting is die zoals aangegeven in figuur 3.1 (rechter plaatje), dus ter hoogte van het oor van de betreffende werknemer.

Meettijd en aantal metingen

De metingen met een geluidexpositiemeter dienen op tenminste drie verschillende dagen uitgevoerd te worden. Als er verschillen optreden in de uitkomsten op de verschillende dagen van meer dan 5 dB(A) dan dient vastgesteld te worden waardoor deze verschillen zijn opgetreden, en dient het totale geluidexpositieniveau te worden gebaseerd op partiële geluidexpositieniveaus.

Als een groep werknemers ongeveer dezelfde werkzaamheden uitvoert en elkaar bij bepaalde werkzaamheden afwisselt, dan dienen expositiemeters gedragen te worden door tenminste 25% van deze werknemers. Liggen de geluidexpositieniveaus over een werkdag van deze mensen binnen 5 dB(A), dan kunnen deze personen als één groep worden beschouwd.

1.3.3 Werkzaamheidsgebonden metingen

Door middel van meting van het geluidniveau L_{Aeqw} van bepaalde werkzaamheden en een nauwkeurige schatting van de expositieduur t van deze werkzaamheden kan worden vastgesteld waaruit het totale expositieniveau is opgebouwd.

Van werkzaamheden die per dag niet even lang duren moet een gemiddelde per dag worden berekend, evenals van werkzaamheden die niet elke dag voorkomen.

Meetplaats

De plaats van de microfoon is op ten hoogste 10 cm afstand van het meest belaste oor van de werknemer (zie figuur 3.1).

Het aantal meetplaatsen zou in principe gelijk moeten zijn aan het aantal verblijfplaatsen van de diverse werknemers in een bedrijfsruimte. In de praktijk zal men trachten het aantal meetplaatsen te beperken.

Als de uitkomsten van oriënterende metingen op diverse plaatsen in een range van ten hoogste 5 dB(A) liggen, kunnen de metingen in eerste instantie op één meetplaats worden verricht. Is dit niet het geval dan dient op diverse meetplaatsen gemeten te worden. De verblijfplaatsen kunnen dan niet als identiek worden beschouwd.

Meettijd en aantal metingen

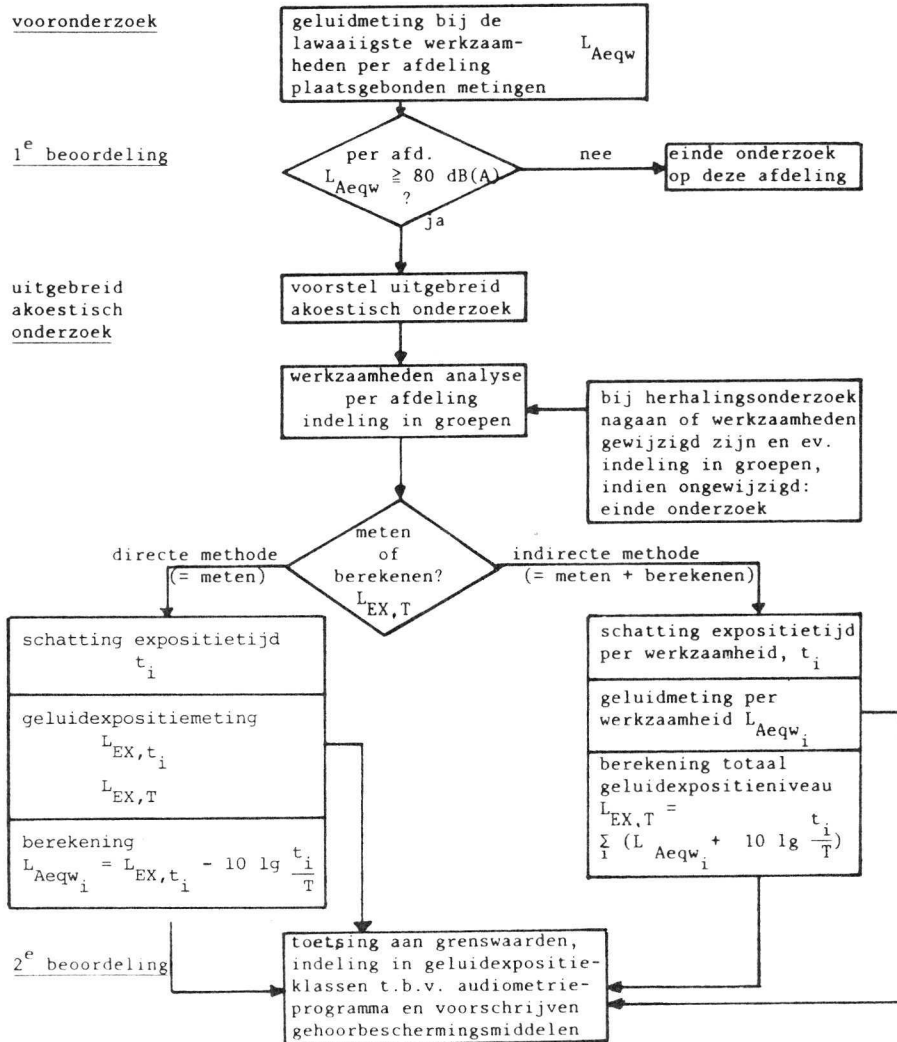
De meettijd is sterk afhankelijk van de geluidssituatie. Kies de meettijd bij voorkeur gelijk aan de periode waarin een bepaalde werkzaamheid/handeling met/bij bepaalde geluidproducerende bronnen wordt verricht. Is deze periode te lang, maak dan gebruik van de volgende vuistregel. Kies de meettijd zodanig lang dat de uitkomst van de meting met een integrerende geluidmeter een vrijwel constante waarde blijft houden.

Het aantal metingen per meetplaats dient tenminste drie te zijn. Als er verschillen optreden in de uitkomsten van meer dan 5 dB(A), dan dient vastgesteld te worden waardoor deze verschillen zijn opgetreden. Zijn de verschillen 5 dB(A) of minder, dan wordt een gemiddeld niveau bepaald.

1.4 Stroomschema meetprotocol

In figuur 3.2 is een stroomschema gegeven van het meetprotocol met daarin de verschillende fasen van het onderzoek.

Figuur 3.2 Stroomschema van werkzaamheden in het gehele geluidonderzoek



2 Nauwkeurigheid van de uitkomsten van geluidmetingen

Er zijn in de praktijk een aantal onzekere factoren die het expositieniveau kunnen beïnvloeden waardoor het berekende of gemeten expositieniveau kan afwijken van het werkelijke expositieniveau. Deze factoren zijn:

- Onbekendheid van de blootstellingstijd.
In de praktijk blijkt vaak dat een werknemer niet exact weet hoe lang hij met iets bezig is. Bovendien is dit heel vaak sterk afhankelijk van het werkaanbod en soms ook van eventuele storingen in een productieproces.

- De exacte positie van het oor ten opzichte van de bron.
Vaak is de positie van het oor ten opzichte van de geluidbron variabel, de ene keer zal de werknemer dichterbij de bron zijn, een andere keer iets verder ervan af. Vooral op korte afstanden tot de geluidbron kan een kleine verandering in de afstand een groot verschil in geluidniveau tot gevolg hebben. Dit is met name het geval bij gebruik van handgereedschap (houtindustrie, Technische Diensten).

- Storingen.
Bij storingen moet de werknemer vaak handelingen verrichten waarbij het oor een andere positie inneemt dan onder normale omstandigheden en vaak is het geluidniveau dan ook anders.
Bij kortdurende metingen in het vooronderzoek kunnen deze bijzondere omstandigheden meestal niet gemeten worden.

- Het te bewerken materiaal.

Het geluidniveau is afhankelijk van de soort materiaal dat bewerkt wordt; bijvoorbeeld in de metaal- en houtindustrie (vergelijk hardhout met zachthout). Ook de hoeveelheid die in één keer verspaand wordt bepaalt het geluidniveau. Bij hout heeft vaak ook de richting van de bewerking invloed op het geluidniveau.

- Variaties in het productieproces.

Een voorbeeld hiervan is de snelheid van drukpersen. Het geluidniveau is hiervan afhankelijk. Over het algemeen geldt hoe langzamer het proces verloopt des te lager het geluidniveau.

- Onderhoud van machines en gereedschappen.

Zagen en andere snijgereedschappen die niet meer scherp zijn veroorzaken hogere geluidniveaus. Dit kan van machine tot machine verschillen en varieert uiteraard in de tijd. Ook rammelende, loszittende onderdelen, aanlopende transportkettingen en dergelijke, kunnen het geluidniveau (onnodig) verhogen.

- Overige werkzaamheden door anderen in de naaste omgeving.

Vaak worden op een afdeling verschillende lawaaiige werkzaamheden verricht. Het geluidniveau op een arbeidsplaats is dan mede afhankelijk van de geluidproductie op naastgelegen en andere arbeidsplaatsen op de afdeling.