

**LAWAIBESTRIJDINGSMAATREGELEN AAN
LAWAIBRONNEN IN DE BOUW
LITERATUURONDERZOEK**

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten TNO', dan wel de betreffende
terzake tussen partijen gesloten
overeenkomst.

© TNO

**Dit rapport werd opgesteld in
opdracht van de Stichting Arbouw**

februari 1990

**NIPG-Publikatienummer
90.011**

R. van den Berg

**aantal pagina's : 32
aantal bijlagen : 0
aantal tabellen : 4
aantal figuren : 1**

INHOUDSOPGAVE

blz.

SAMENVATTING

1.	INLEIDING	1
2.	LAWAAIBESTRIJDINGSMAATREGELEN PER TYPE GELUIDBRON	3
2.1	Grondverzetmachines	3
2.1.1	Dragline	3
2.1.2	Laadschop	3
2.1.3	Hydraulische graafmachine en graaf-laadcombinatie	6
2.1.4	Motorjapanner	8
2.1.5	Trekker	9
2.1.6	Dumper en dumptruck	9
2.1.7	Terrein-vorheftruck	9
2.1.8	Bulldozer	10
2.1.9	Graders	11
2.2	Hei-installaties	11
2.3	Hijswerktuigen	17
2.4	Betonverwerking	18
2.4.1	Betonmolen	18
2.4.2	Betonverdichten	19
2.5	Metaalbewerking in de bouw	21
2.6	Houtbewerking in de bouw	21
2.7	Wegenbouwmachines	21
2.7.1	Walsen	21
2.7.2	Stampers en trilplaten	22
2.7.3	Asfalt-afwerkmachines	22
2.8	Compressoren	22
2.9	Stukadoorswerkzaamheden	23
2.10	Bewerkingen in (natuur)steen en beton	23
2.10.1	Steenzaag, diamantzaag	23
2.10.2	Beitels, hamers, brekers en boren	24
2.11	Overige geluidbronnen	26
3.	LITERATUUR	27

SAMENVATTING

Op verzoek van de Stichting Arbouw is een rapport samengesteld over mogelijke lawaaibestrijdingsmaatregelen aan lawaaibronnen die in de bouw voorkomen. Dit rapport is samengesteld uit een literatuuronderzoek naar lawaaibronnen in de bouw (Berg, R. van den, 1990), waarbij in een aantal artikelen en rapporten ook lawaaibestrijdingsmaatregelen werden voorgesteld en beschreven. Het is niet bekend welke van de beschreven maatregelen er op dit moment al standaard door de fabrikant worden uitgevoerd, met name in de wat oudere artikelen worden maatregelen beschreven die misschien nu tot de standaard-uitvoering behoren. De maatregelen worden in dit rapport alleen weergegeven zoals ze in de literatuur beschreven zijn. Wellicht dat hierdoor de beschreven maatregelen niet altijd op de betreffende categorie bronnen uitvoerbaar zijn vanwege een ander model of afwijkende constructie. Het gaat in dit rapport dan ook om algemene richtlijnen zonder dat de maatregelen in technische zin gedetailleerd uitgewerkt zijn.

Voor een aantal geluidbronnen zijn geen lawaaibestrijdingsmaatregelen in dit rapport aangegeven. Dit zijn voornamelijk geluidbronnen die bij de houtbewerking en metaalbewerking in de bouw worden toegepast. Hiervoor kan ook verwezen worden naar diverse ICG-publikaties op dit gebied (zie Literatuur: ICG). Ten slotte kan een aantal algemene publikaties genoemd worden met betrekking tot lawaaibestrijdingsmaatregelen, namelijk "inventarisatie basiskennis geluidarm construeren" (Tukker, 1984) en "inventarisatie basiskennis geluidarm installeren" (v.Steenbrugge, 1985).

Ook in het veelvuldig aangehaalde rapport van H. Straatsma (1988) wordt een aantal algemene maatregelen aangegeven, zoals:

- cabines (geluidisolatie, trillingisolatie en geluidabsorptie),
- akoestische voorzieningen aan verbrandingsmotoren (aktieve voorzieningen en passieve voorzieningen, zoals omkasting, afscherming, koelventilator, uitlaatsysteem, aanzuigsysteem, trillingisolatie),
- akoestische voorzieningen aan hydrauliek installaties (keuze type installatie, omkasting, trillingisolatie, trillingdemping),
- voorzieningen aan compressoren,
- tandwiel overbrengingen,
- perslucht,
- hei-installaties.

1. INLEIDING

Bij vele bouwvakkers komt gehoorschade voor die mede door het lawaai op de bouwplaats is veroorzaakt. De omvang van de lawaaiproblematiek in de bouwnijverheid is, net zoals in de andere nijverheidstakken, groot. Beroepsslechthorendheid vormt, na rugklachten, de belangrijkste beroepsziekte in de bouwnijverheid. Om op termijn de gehoorschade bij bouwvakkers terug te dringen heeft de Stichting Arbouw voorbereidingen getroffen tot uitvoering van integrale gehoorbeschermingsprogramma's in de bouw. In dat kader heeft de Stichting Arbouw onder meer opdracht verllend aan het NIPG-TNO tot het uitvoeren van een aantal beleidsvoorbereidende studies. Mede op basis van de resultaten van deze studies wordt door de Stichting Arbouw een plan voor gehoorbescherming en lawaaibestrijding voor de bouwnijverheid opgesteld. Dit rapport vormt een onderdeel van de verslaglegging in het kader van de opdracht door de Stichting Arbouw aan het NIPG-TNO. De serie rapporten die in dit kader door het NIPG-TNO zijn opgesteld betreffen:

- Lawaaibronnen in de bouw; literatuuronderzoek. R. van den Berg. Leiden, NIPG-TNO, 1990 (publikatienummer 90010);
- Lawaaibestrijdingsmaatregelen aan lawaaibronnen in de bouw; literatuuronderzoek. R. van den Berg. Leiden, NIPG-TNO, 1990 (publikatienummer 90011);
- Lawaaiexposities in de bouw; literatuuronderzoek. R. van den Berg. Leiden, NIPG-TNO, 1990 (publikatienummer 90012);
- Lawaai op en buiten de bouwplaats; wettelijke regelingen en bepalingen. W. Passchier-Vermeer. Leiden, NIPG-TNO, 1990 (publikatienummer 90013);
- Bedrijfsgeneeskundige begeleiding bij het voorkomen van gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats bij werknemers in de bouwnijverheid; advies aan BGD-en. W. Passchier-Vermeer. Leiden, NIPG-TNO, 1990 (publikatienummer 90014).

Dit rapport betreftde lawaaibestrijdingsmaatregelen aan lawaaibronnen in de bouw. De maatregelen worden per bron beschreven.

Het gaat hierbij om de volgende categorieën geluidbronnen:

- grondverzetmachines,
- hei-installaties,
- hijswerktuigen,
- betonverwerking,
- metaalbewerking,
- houtbewerking,
- wegebouwmachines,
- compressoren,
- stukadoorswerkzaamheden,
- bewerkingen in (natuur)steen en beton.

Voor een aantal geluidbronnen zijn geen lawaaibestrijdingsmaatregelen in dit rapport aangegeven. Dit zijn voornamelijk de geluidbronnen die bij de houtbewerking en metaalbewerking in de bouw worden toegepast. Hiervoor kan ook verwezen worden naar diverse ICG-publikaties op dit gebied (zie Literatuur: ICG).

Van de beschreven maatregelen is het niet bekend welke er op dit moment al standaard door de fabrikant worden uitgevoerd, met name in de wat oudere artikelen worden maatregelen beschreven die misschien nu tot de standaard-uitvoering behoren. De

maatregelen worden in dit rapport alleen weergegeven zoals ze in de literatuur beschreven zijn. Wellicht dat hierdoor de beschreven maatregelen niet altijd op de betreffende categorie bronnen uitvoerbaar zijn vanwege een ander model of afwijkende constructie. Het gaat in dit rapport dan ook om algemene richtlijnen zonder dat de maatregelen in technische zin gedetailleerd uitgewerkt zijn.

2. LAWAAIBESTRIJDINGSMAATREGELEN PER TYPE GELUIDBRON

2.1 Grondverzetmachines

2.1.1 Dragline

"Op ergonomisch gebied de meest verguisde grondverzetmachine is ongetwijfeld de dragline. Mede veroorzaakt door het tamelijk oude concept en de lange levensduur van dit soort machines, ondervindt een dragline-machinist praktisch altijd fysieke overlast van lawaai, hitte en kwalijke dampen. Dit alles ten gevolge van het feit dat de cabine een integraal deel is van de bovenwagen."

Aldus begint een artikel over grondverzetmachines van W.Mol (1978). Het artikel vervolgt echter met de mededeling dat een importeur een Nederlandse cabine (fabrikaat Jogro), geheel los van de motorruimte heeft aangebracht, waardoor dampen en hitte er niet meer in kunnen doordringen en de geluidmetingen, zowel met open (!) als gesloten cabine leverden waarden op van niet meer dan 82 dB(A). Onder welke omstandigheden de metingen werden verricht vermeld het artikel niet.

Uit gegevens van importeurs en uit metingen (DHV, 1982) blijkt dat geluidgedempte draglines (met het motorcompartiment voorzien van geluidabsorberende bekleding en een extra of verbeterde geluiddemper op de uitlaat) tijdens het beulen geluidvermogen-niveaus kunnen hebben die variëren van 101 tot 104 dB(A).

In Baulärm (1973) worden van een groot aantal bouwmachines oktaafbandspectra gegeven. Voor draglines zijn in de cabine tijdens graaf- en laadwerkzaamheden niveaus gemeten van 95 tot 100 dB(A). Het betreft niet-geïsoleerde cabines. Tevens wordt een spectrum gegeven van een Zweedse dragline met een geïsoleerde cabine, het geluidniveau blijft hierbinnen beneden 85 dB(A).

2.1.2 Laadschop

In deze paragraaf betreft het alleen wiellaadschoppen. Slechts in een gering aantal gevallen is een geluidniveau van minder dan 80 dB(A) gemeten. Alleen bij die machines waarbij uitgebreide akoestische voorzieningen met betrekking tot de cabine en het motorcompartiment zijn uitgevoerd wordt de 80 dB(A), gemeten volgens ISO-meetmethode, niet overschreden (H.Straatsma, 1988). Deze akoestische voorzieningen betreffen:

- geluidisolatie,
- geluidabsorptie,
- trillingsisolatie.

Uit observaties van wielladers is gebleken dat in 14 van de 15 cabines geluidabsorberend materiaal was aangebracht, maar geluidisolatie rond de motor, die veel effectiever is, was slechts in 7 van de 15 wielladers toegepast (Pasmooij, 1982).

In een artikel van Van der Wal (1985) wordt beschreven hoe een wiellader stiller gemaakt kan worden en wat het effect ervan is op het brandstofverbruik. Het betrof een wiellader (merk Werklust, type WG35), die vergeleken met andere merken toch al

vrij stil te noemen is. Het geluidvermogeniveau bedroeg voor de modificatie 106 dB(A). Door de fabrikant waren de volgende maatregelen al getroffen:

- uitlaatdemper met hoge verzwakking en "low back pressure",
- motoromkasting, van binnen bekleed met absorberend materiaal,
- bodemplaat onder de motor,
- trillingsdemping van de omkasting, bodemplaat, spatborden en andere metalen bekledingsdelen.

De koelluchtinlaat en -uitlaat blijkt nu de grootste bron te zijn. Hierop zijn dempers geplaatst. Ook de koelventilator werd geoptimaliseerd en de motorsnelheid gereduceerd. Ten slotte werd er een "sealing" aangebracht tussen bodemplaat en frame. De geluidreductie bedroeg ongeveer 5 dB(A). Zonder geluidlekken tussen omkasting en frame zou de reductie ongeveer 8 dB(A) kunnen bedragen. Het betreft lawaai-uitstraling naar de omgeving.

In Noise Control and Vibration Isolation (N.N., 1979) worden eveneens de effecten van maatregelen op het geluidniveau in de cabine en daarbuiten beschreven. Aan zes typen werden metingen verricht en maatregelen getroffen. De machine met het laagste niveau in de cabine (80 dB(A)) had een speciale demper op de uitlaat, stijve zijpanelen en de binnenkant van de motorkap was bekleed met geluidabsorberend materiaal. De demper was van het drie-kamer type. Een opwaarts gerichte uitlaat buigt het ventilatorgeluid en de luchtstroom naar boven af, waardoor lawaai voor de toeschouwer afneemt. Het motorcompartiment is gesloten en met 25 mm dik absorptiemateriaal bekleed. Een goede geluidisolatie van de cabine werd bereikt door de cabine te bekleden met isolerende materialen. In het artikel worden de toegepaste materialen genoemd.

Het geluidniveau in de cabine kon bij stationaire machine bij maximum toerental teruggebracht worden van 104 naar 90 dB(A). Gedurende een voorgeschreven werkcyclus bedroeg het niveau 84 dB(A). Op 7 meter afstand bedroegen de niveaus op vier plaatsen rondom de ongeïsoleerde machine 88 tot 92 dB(A), deze konden met 2 dB(A) worden teruggebracht.

In Baulärm (1973) welke een Duitse uitgave is van de Engelstalige Zweedse uitgave (Constructional Noise, 1973) worden van veel bouwmaachines de oktaafbandspectra gegeven, alsmede voorstellen tot geluidreducerende maatregelen: *"ein wirkungsvolleren Lärmschutz für den Motor einbauen"*. De machine moet geölied worden en klapperen van de rupsketting moet worden vermeden. Het betreft waarschijnlijk een rupslader.

In een rapport over sloopmethoden (DHV, 1982) worden metingen beschreven (verricht conform IL-HR-13-01). Er blijkt ook bij de wiellaadschoppen (shövels) evenals bij de hydraulische graafmachines geen eenduidig verband te bestaan tussen het geluidvermogen en het vermogen van de machine. De geluidvermogeniveaus van de niet extra gedempte wiellaadschoppen lopen sterk uiteen, waarschijnlijk door het verschil in de reeds getroffen geluidwerende maatregelen.

In 'de stille laadschop' (D.Hubbeling, 1979) wordt de uitvoering beschreven van lawaai-reducerende maatregelen aan een relatief stil exemplaar (merk Volvo), gemodificeerd zodat hij aan Franse geluidnormen voldoet, namelijk op 7,5 meter afstand 83 dB(A) (werkend). De gekozen machine is reeds uitgevoerd met de volgende voorzieningen ten opzichte van de standaard demping:

- uitlaatdemper onder de beschermkap van de motor geplaatst,
- aanzuigopeningen voor de koellucht voorzien van geluiddempende koulissen,

- praktisch volledig gesloten bodemplaat,
- motoromkasting gedeeltelijk voorzien van ontdreuning en absorberende binnenbekleding,
- verbeterde geluidabsorptie in de cabine.

Gekozen is een oplossing van het probleem in twee fasen, fase 1 hield in:

- aanbrengen van 3 mm stalen scherm tussen motor en cabine, voorzien van ontdreuning en absorptie,
- dichten van alle openingen in de bodemplaat,
- plaatsen van een geluidabsorberend dak over de bestaande omkasting,
- vervangen van de bestaande absorberende laag in de standaard kast door een combinatie van ontdreuning en absorptie,
- aanbrengen van een tweede uitlaatgasdemper onder de kast vòòr de aanzuigopening voor de motorkoellucht.

Opmerkelijk was de verbetering van de uitlaatgasdemper. De combinatie reduceerde bijna 40 dB(A) (?). Het uittredende geluid was niet meer te onderscheiden van het door de omkasting uitgestraalde geluid.

De tweede fase hield voornamelijk in:

- aanbrengen van ontdreuningsmateriaal onder de spatschermen,
- loskoppelen van hydrauliek-besturingsleidingen van het chassis door ophanging met behulp van rubber-buffers,
- aanbrengen van rubber-slabben rondom het knikbesturingsmechanisme,
- ontdreunen van de vloerplaat van de cabine,
- bekleden van het stalen voetscherm.

Na uitvoering van de extra maatregelen bedroeg het geluidniveau op 7,5 meter nog slechts 67 dB(A). Vermeld wordt dat als aanvullende eis van de gebruiker een maximaal toelaatbaar niveau van 67 dB(A) in de cabine werd gesteld. Of dit gehaald werd vermeldt het artikel niet. Wel dat *"het geluid in de cabine hetzelfde beeld vertoonde als daarbuiten"*.

In een artikel van D.Stephenson (1975) tenslotte nog de beschrijving van geluidreducerende maatregelen aan een gelede wiellader (Articulated Wheeled Shovel Loader). Op 7 meter afstand, afhankelijk van de plaats, varieerde het niveau van 94 tot 104 dB(A), na de diverse modificaties 85 tot 87 dB(A). In de cabine 113 dB(A) en 84 dB(A), respectievelijk voor en na de modificaties. Alle metingen gelden voor een stationaire machine met de onbelaste motor op maximum toegestaan toerental.

De modificaties bestonden uit:

- de standaard koelventilator en radiator werden 2½ inch naar achteren (verder van de motor) verplaatst,
- het achter-rooster werd verwijderd,
- de ventilator snelheid werd gereduceerd,
- in plaats van het achter-rooster werd een lucht-uitlaat geplaatst met afbuiging van de luchtstroom naar boven gericht,
- de cabine werd akoestisch behandeld.

Een hiermee vergelijkbaar artikel is dat van N.Dixon (1982). Hierin worden maatregelen beschreven aan een tweetal voorladers (rubber tired front-end loader) (merk: Caterpillar 988 en International H-400 B) die op de plaats van de machinist 90 en 101,5 dB(A) veroorzaakten bij hoog toerental. Een geluidreductie van 12 dB(A) werd bereikt in de cabines van beide machines. Over het algemeen waren het de luchtgeluidwegen door gaten en kieren in de cabinewanden en -vloer die het meeste bijdroegen in het niveau

in de cabine. De meest effectieve behandeling is daarom die wegen te blokkeren die het luchtgeluid van de primaire geluidbronnen (motor en ventilator) naar de cabine voeren en het dichten van alle openingen in de vloer en zitting om alle secundaire bronnen (transmissie en hydrauliek) te reduceren. Het aanbrengen van geluidabsorberend materiaal onder het cabine-dak en aan de cabinewanden bleek ook een effectieve behandeling te zijn.

2.1.3 Hydraulische graafmachine en graaf-laadcombinatie

Straatsma (1988) geeft van 60 verschillende hydraulische graafmachines de geluidniveaus op de bedieningsplaats als functie van het motorvermogen. De metingen zijn verricht volgens de richtlijnen van ISO 6394, dat wil zeggen bij onbelast draaiende motor bij nominaal toerental (stationaire testcondities). De gemeten niveaus hebben betrekking op gesloten cabines en kunnen als volgt worden samengevat.

Tabel 2.1 Geluidniveau op de bedieningsplaats als functie van het motorvermogen bij 60 hydraulische graafmachines (Straatsma, 1988)

motorvermogen (kW)	geluidniveau dB(A)
< 50	72 - 92
50 - 100	68 - 86
> 100	74 - 85

Indien de cabinedeuren of -ramen geopend zijn is het geluidniveau ongeveer 5 dB(A) hoger. Evenals bij de wiellaadschoppen blijken de geluidniveaus gemeten onder stationaire omstandigheden bij hydraulische graafmachines een goede indicatie te zijn voor de geluidniveaus in werksituaties. Bij machines waar aandacht geschonken is aan akoestische aspecten kunnen niveaus van minder dan 80 dB(A) in de cabine bereikt worden.

Door Pasmooij (1982) zijn 14 hydraulische graafmachines bij de importeur gemeten en 9 bij machinisten. Met cabine open en ontkoppelde motor op volle toeren levert dat de volgende verdeling:

bij de importeur: één machine in de klasse van 75 - 79 dB(A), de meeste machines namelijk zeven stuks in de klasse van 80 - 84 dB(A) en in de klassen 85 - 89 dB(A) en 90 tot 94 dB(A) respectievelijk vier en twee stuks.

Bij de machinisten ligt de verdeling ongeveer hetzelfde: meer dan de helft (vijf van de negen stuks) in de klasse van 80 - 84 dB(A). De graaf-laadcombinaties die hoofdzakelijk bij de machinisten gemeten zijn (vier stuks) liggen alle in de klasse van 85 tot 89 dB(A). De isolatie van de cabine die alleen bij de importeurs gemeten is, bedraagt voor hydraulische graafmachines ongeveer 4 dB(A) (14 stuks) en voor graaf-laadcombinaties 2 dB(A) (twee stuks). Ongeveer een kwart van de machines had nog geen voorzieningen die geluid dempen.

Frenking (1974) heeft ook veel metingen aan 'Bagger' (50 stuks) verricht. Over het algemeen is gemeten in stationaire toestand met de motor bij nominaal toerental, in enkele gevallen ook tijdens arbeidscycli. In dit laatste geval kunnen de geluidniveaus soms wel 15 dB(A) hoger liggen. De niveaus in stationaire toestand variëren van 87 tot 102 dB(A). (Bij goed gedempte en geconstrueerde machines en een goede cabine kan dit

niveau dalen tot 75 dB(A)!) Op een afstand van 1 meter rondom de machine variëren de gemiddelde niveaus tussen 91 en 103 dB(A).

Een aantal artikelen handelt over het stiller maken van machines; onder andere dat van Stephenson (1975) over een rupsgraafmachine (hydraulic crawler excavator). De metingen zijn verricht op de bedieningsplaats in de cabine bij stationaire motor, maximum onbelast toerental. In originele toestand bedroeg het niveau 103,5 dB(A), na diverse modificaties 88 dB(A). Op 7 meter afstand onder dezelfde condities daalde het niveau van 91 dB(A) naar 83 dB(A). De modificaties bestonden uit:

- dichten van de "tunnel" tussen cabine en motorcompartiment,
- ander type ventilator (puller-fan) (verbeterde luchtstroom),
- bodemplaat onder de motor,
- gewijzigde uitlaatdemper,
- absorberend materiaal in de cabine,
- flexibele hydrauliek-leidingen.

Dat in het verleden al resultaten geboekt werden met lawaaibestrijding is te lezen in het artikel van W. Bick (1969) waarin geluidmetingen genoemd worden aan diverse gemodificeerde graafmachines van één bepaald merk ("*Universal Bagger, die mit Breitlöffeln, Hochlöffeln, Greifern oder Schlepkäbeln ausgerüstet werden können*"). Maatregelen bij verschillende merken machines waren onder andere:

- gesloten cabine aanbrengen,
- "grootvolumige" uitlaatdemper aanbrengen,
- doelmatige koellucht aanvoeren en verbrandingslucht afvoeren,
- geluiddempende motorkappen of deelomkappingen aanbrengen,
- nieuwe vormgeving en geluiddempende bekleding van de koellucht-aanzuiging en afvoerleidingen,
- vermijden van openingen en ramen nabij het motorcompartiment,
- afdichting en ontdreuning van schuifdeuren.

Op een afstand van 7 meter werden niveaus bereikt van 70 tot 75 dB(A) voor machines met motorvermogens tussen 21 en 85 kW bij toerentallen van 1350 tot 1700 per minuut en diverse grijperinhouden van 0,03 tot 1,2 m³. Dit betekent een vermindering van ongeveer 8 dB(A) ten opzichte van de standaard uitvoering. Van een ander merk werden niveaus van dezelfde orde grootte gemeten: 73 tot 77 dB(A) voor gemodificeerde machines met een motorvermogen van 46 tot 114 kW, bij toerentallen van 1700 à 1800 per minuut, dit is 75% van het nominale toerental. Bij het nominale toerental liggen de niveaus 3 à 4 dB(A) hoger. De standaarduitvoering levert niveaus van 82 tot 85 dB(A), dus 8 à 9 dB(A) hoger.

Een derde merk betreft een "Universal Hydrobagger" eveneens met dieselmotor. Metingen aan vier typen, uitgerust met een "Tieflöffel" (inhoud respectievelijk 0,6 en 0,4 m³) worden gegeven: de standaarduitvoering op 7 meter afstand 83 tot 86 dB(A), respectievelijk motorvermogens van 48 en 37 kW toerental ongeveer 2400 à 2500 per minuut (dit is nominaal toerental), de "stille" uitvoering 79 tot 78,5 dB(A).

Ten slotte een laatste firma die het geluidniveau op 7 meter afstand van een Hydraulik-Bagger met een vermogen van 49 kW (2050 toeren per minuut) wist terug te brengen van 82 naar 76 dB(A).

Bij al deze machines zijn geen meetresultaten in de cabine vermeld.

Het Franse Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) (1985) heeft verschillende testen uitgevoerd aan 91 voertuigen, waaronder 20 hydraulische graafmachines en

acht graaf-laadcombinaties, in het kader van de bescherming van werknemers tegen machinelawaai. De testen betroffen een vergelijking van de meetresultaten van de gelijksoortige voertuigen onder verschillende testcondities met de meetresultaten onder praktijk condities, waarbij de machinist gevraagd werd een bepaalde taak zo snel mogelijk uit te voeren zonder dat de veiligheid in het geding kwam. Uit de vergelijking van de diverse testen werden correlatiecoëfficiënten berekend voor cabines in geopende en gesloten toestand. De hoogste correlatie leverde de dynamische test waarbij het voertuig wel in beweging is maar geen grond verzet (gesimuleerde werkcyclus). De overige (statische) testen correleerden veel slechter.

De graafmachines (Pelle) kwamen in praktijksituaties op 86 dB(A) voor de niet gemo-dificeerde typen en op 85 dB(A) voor de "sound-proofed vehicles". De graaf-laadcombi-naties liggen gemiddeld in dezelfde ordegrootte: 85,5 dB(A).

Metingen van DHV (1982) aan graafmachines leveren waarden voor geluidvermogen-niveaus van 100, 101, 105, 110 en 113 dB(A), voor hydraulische dieplepels eveneens 100, 101, 105 en 110 dB(A). In dit rapport wordt tevens een aantal geluidreducerende maat-regelen genoemd. De belangrijkste zijn:

- aanbrengen van ontdreunend en geluidabsorberend materiaal tegen de binnenkant van de bestaande stalen beplating;
- aanbrengen van extra of verbeterde geluiddemper op uitlaat;
- verlagen van het toerental (vaak mogelijk bij hogere vermogens, geeft soms verla-ging van het brandstofverbruik);
- aanbrengen van damping in luchtaanzuig (koellucht);
- richten van de uitlaatopening naar boven.

Vaak is bij niet extra gedempte uitvoeringen reeds een aantal van bovengenoemde maatregelen getroffen. In de literatuur is een scheiding vaak niet te maken tussen beide categorieën, omdat de getroffen maatregelen meestal niet genoemd worden.

Geluidniveaus in cabines van hydraulische graafmachines kunnen waarden lager dan 80 dB(A) halen. In een artikel van W. Mol (1978) wordt een niveau van 77 dB(A) genoemd bij open cabine, terwijl bij gesloten cabine het niveau oploopt tot 81 dB(A). In veel artikelen wordt meestal het omgekeerde vermeld: een hoger niveau bij geopende cabine zoals in hetzelfde artikel voor een andere graafmachine 74 dB(A) werd gemeten bij gesloten cabine en 76 dB(A) bij geopende cabine. De metingen zijn tijdens werkzaamhe-den uitgevoerd. Het betreft "*de onbetwiste kampioen onder de wielgraafmachines*" van een Zweedse fabrikant (merk: Akerman H9M).

2.1.4 Motorjapanner

Motorjapanners zijn kleine gemotoriseerde transportwagens die op bouwplaatsen worden toegepast voor het vervoer van zand, grind en beton en dergelijke. Een cabine is meestal niet gemonteerd. De motor die meestal naast de bestuurder is gesitueerd, is meestal niet voor geluid afgeschermd en heeft een vermogen tussen ongeveer 5 en 25 kW.

De geluidniveaus op de bedieningsplaats kunnen sterk verschillen: bij oudere typen zonder akoestische voorzieningen bedraagt het niveau wel 95 tot 100 dB(A), bij goede geluidisolatie rond de aandrijfmotor en bij toepassing van een goede uitlaatdemper kan het niveau echter tot beneden 85 dB(A) worden teruggebracht (H.Straatsma, 1988).

Hoewel het door Hallman (1977) beschreven voertuig "dumper" genoemd wordt heeft het voertuig op de illustratie erg veel weg van een japper. Ook de capaciteit van 2300 kg en het motorvermogen van 13,4 kW en geen cabine doen dit vermoeden. Er wordt een zestal geluidwerende maatregelen beschreven waardoor het geluidniveau op de bestuurdersplaats van 93 à 94 dB(A) teruggebracht kan worden tot 84 à 85 dB(A). De stationaire test op 7 meter afstand van de dumper levert in originele staat niveaus variërend van 78 tot 86 dB(A) (afhankelijk van de plaats) en in gemodificeerde staat 73 à 75 dB(A). De dumper was hierbij niet geladen en de motor op maximum toerental: 2000 per minuut. De belangrijkste maatregelen betroffen:

- goede uitlaatdemper,
- cabine,
- bodemplaat,
- verbeterde koeling.

2.1.5 Trekker

In een rapport van het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (J.Maring, 1979) zijn geluidmeetresultaten van 522 metingen verricht in de jaren 1975, 1976 en 1977 vastgelegd. Uit 47 metingen volgens OECD-methode aan trekkers met een cabine blijkt het geluidniveau op oorhoogte van de trekkerbestuurder te liggen tussen 80 en 97 dB(A). Dit zijn de waarden die respectievelijk in 90% en 10% van de gevallen overschreden worden. Het betreffen cabines met en zonder geluidisolatie. In trekkers zonder cabine liggen deze waarden, die alle in 1977 gemeten zijn tussen 94 en 101 dB(A).

De belangrijkste conclusie uit het rapport is dat:

- in 1976 een duidelijke wending ten goede is gekomen door de invoering van de geluidarme cabines. Een ontwikkeling die zich doorzet, met name bij de zwaardere typen.

2.1.6 Dumper en dumptruck

De geluidniveaus op de bedieningsplaats van dumpers en dumptrucks liggen in het algemeen tussen 77 en 90 dB(A). Dit is gebaseerd op metingen aan vijf verschillende dumpers en dumptrucks. Bij uitvoeringen waar aandacht is besteed aan de akoestische aspecten zijn geluidniveaus lager dan 80 dB(A) te realiseren, bij gesloten ramen en deuren. Met geopende ramen kan een verhoging van ongeveer 4 dB(A) optreden (H. Straatsma, 1988).

2.1.7 Terrein-vorkheftruck

De terrein-vorkheftruck verschilt van de gewone vorkheftruck door de grotere diameter van de wielen en de grotere bodemvrijheid. De bestuurder zit dicht op de motor (meestal diesel of LPG). Soms zijn ze voorzien van een cabine. De in Nederland voorkomende terrein-vorkheftrucks hebben in het algemeen een hefvermogen van 2 tot 7 ton met aandrijfvermogens tussen 25 en 60 kW.

Aan vier verschillende terrein-vorkheftrucks zijn geluidmetingen in de cabine verricht door Straatsma (1988), resultaat: 85 tot 98 dB(A) (tijdens het heffen van een last 96

dB(A)). De gemonteerde cabines vertoonden in de praktijk vele geluidlekken. Tijdens het rijden bedroeg het niveau gemiddeld 92 dB(A).

De verreiker is afgeleid van de terrein-vorkheftruck en is een betrekkelijk nieuw ontwerp. In plaats van een mast (bij de vorkheftruck) is er een telescopische giek gemonteerd. De aandrijving en hefvermogens zijn vergelijkbaar met de vorkheftruck. De meeste verreikers zijn voorzien van een cabine.

De op de bedieningsplaats optredende geluidniveaus, gemeten bij vier verreikers bedroeg tussen 85 en 91 dB(A). Ook ten aanzien van verreikers geldt dat de cabines vaak veel geluidlekken vertonen.

2.1.8 Bulldozer

Het geluidniveau in de cabine van een bulldozer ligt in het algemeen tussen 85 en 95 dB(A) (uit meetresultaten aan 18 verschillende machines, H. Straatsma, 1988). Incidenteel komen er bij bepaalde typen ook niveaus van 100 dB(A) voor op de arbeidsplaats, zelfs tot 105 dB(A) bij machines zonder cabine. Ook hier geldt weer dat er geen direct verband is tussen het motorvermogen en het geluidniveau. Dit geldt voor zowel in de cabine als daarbuiten. Het geluidniveau is voornamelijk afhankelijk van de toepassing en uitvoering van de akoestische voorzieningen.

Geluidniveaus lager dan 85 dB(A) zijn niet geconstateerd.

Böhm (1968) beschrijft maatregelen aan de bulldozer: op 7 meter in de originele uitvoering bedroeg het niveau 95 dB(A). Bij een grote machine (?) werd 105 dB(A) gemeten. Na getroffen maatregelen, zoals een goede uitlaatgasdempers, knalpot en aanzuiggeluid-dempers, daalde het niveau soms wel 15 dB(A).

C.K. Pasmooij (1982) heeft bij importeurs vier bulldozers en graders (!) (nieuwe) gemeten en bij machinisten nog eens zes. De niveaus in de geopende cabine, bij ontkoppelde motor op volle toeren lagen bij de importeurs tussen 90 en 94 dB(A) (één bulldozers) en tussen 95 en 99 dB(A) (drie stuks waaronder de graders), bij de machinisten lagen de niveaus lager: 85 tot 89 dB(A) (drie stuks waaronder de graders), 90 tot 94 dB(A) (twee bulldozers) en 95 tot 99 dB(A) (één bulldozer).

Het sluiten van de cabine leverde geen verbetering (0 à 1 dB(A)). Metingen tijdens het werk (machine belast) levert voor de bulldozers en graders een niveauverlaging van 1 tot 2 dB(A) ten opzichte van de stationaire meting. Slechts één van de onderzochte nieuwe machines (van de in totaal vier) had geluidisolatie om de motor en de helft had geluidabsorptie in de cabine.

Een artikel van J. Kovac (1980), gepresenteerd op Inter-Noise '80 handelt over geluid-reducerende maatregelen aan twee bulldozers: één zonder cabine maar met "Roll Over Protective Structures" (ROPS) en één met een standaardcabine (beide Caterpillar D9G). De geluidniveaus op de bedieningsplaats bij maximum toerental was voor de dozer zonder cabine 105,5 dB(A) en voor de ander met gesloten cabine 100 dB(A). Na modificatie waren de niveaus teruggebracht tot respectievelijk 94 en 90 dB(A). Voor de getroffen maatregelen kan verwezen worden naar het artikel van N.Dixon (1982) over laadschoppen (§ 2.1.2), waar vrijwel dezelfde tekst gebruikt werd.

Een ander experiment met twee bulldozers (eveneens Caterpillar) werd gepresenteerd op Inter-Noise '84 door L. Marraccini (1984). Hij stelt dat de machinisten van de bulldozers aan niveaus van 100 tot 104 dB(A) worden blootgesteld. Na een aantal maatregelen konden deze niveaus worden teruggebracht tot 92 (deur dicht) à 94 dB(A) (deur open). Waarschijnlijk betreft het een voortgezet onderzoek van het vorige artikel. Er werden maatregelen in vijf stadia genomen, die achtereenvolgens een behandeling inhielden van:

- plafond van de cabine met absorberend "fiberglas", de vloer met een flexibel, dempend materiaal waar overheen een slijtvaste vloermat,
- de "fire-wall",
- de achterwand,
- "ripper control box" en oppervlak van de hydrauliektank,
- de zijwanden.

De uitgave Baulärm (1973) publiceert waarden van 99 tot 101 dB(A) op de bestuurdersplaats van een bulldozer. De belangrijkste bijdrage aan het geluidniveau zou afkomstig zijn van de uitlaat en het klapperen van de rupsketting.

Een onderzoek naar ergonomische voorzieningen aan bulldozers door W. Mol (1977) meldt dat bulldozers (op rupsen) in Nederland de meest verkochte soort van grondverzetmachines vormt (opmerking: in 1989 is dit niet meer het geval). Er werden 10 verschillende merken bulldozers, onder andere qua geluidniveau op de arbeidsplaats, met elkaar vergeleken. Met geopende cabine werden niveaus gemeten, met de motor op maximum toerental, van 88 tot 101 dB(A) en met gesloten cabine van 84 tot 100 dB(A). Er was één bulldozer in een geluidgedempte versie: geluidniveaus van respectievelijk 86 en 85 dB(A). Dit was in de originele uitvoering 94 en 92 dB(A). De conclusie van de auteur is: *"Het totaalbeeld bij de bulldozers wordt vooral negatief beïnvloed door de resultaten van de geluidmetingen. Tot onze spijt is gebleken dat bulldozers, in vergelijking met de eerder onderzochte machine-soorten nog grotendeels een stiefmoederlijk bedeelde groep vormen als het aankomt op het van fabriekswege doorvoeren van geluidisolerende maatregelen. Met nadruk zeggen we van fabriekswege. We weten immers allemaal dat lapwerk achteraf niet of nauwelijks succesvol is. Bovendien plegen geluidwerende constructies in serie-productie in een fabriek aanmerkelijk minder kostbaar uit te vallen"*.

2.1.9 Graders

Niveaus van 83 tot 86 dB(A) op 7 meter afstand van een ongedempte grader werden gemeten door W.Bick (1969). Door modificatie konden de niveaus aanzienlijk worden teruggebracht tot 75 en 78 dB(A). Het betrof twee graders met motorvermogens van 58 en 122 kW. De toerentallen tijdens de metingen bedroegen ongeveer 2000 per minuut. (zie voor maatregelen § 2.1.3 bij dezelfde auteur).

2.2 Hei-installaties

Door H.Bennenk (1984) worden de volgende geluidbronnen bij heiwerkzaamheden genoemd:

1. de aandrijving van de heimachine,
2. het rammelen van de paal in de stelling en het slaan van de kabels,
3. de geluiduitstraling van de paal (vooral bij stalen palen of stalen damwandplan-ken),

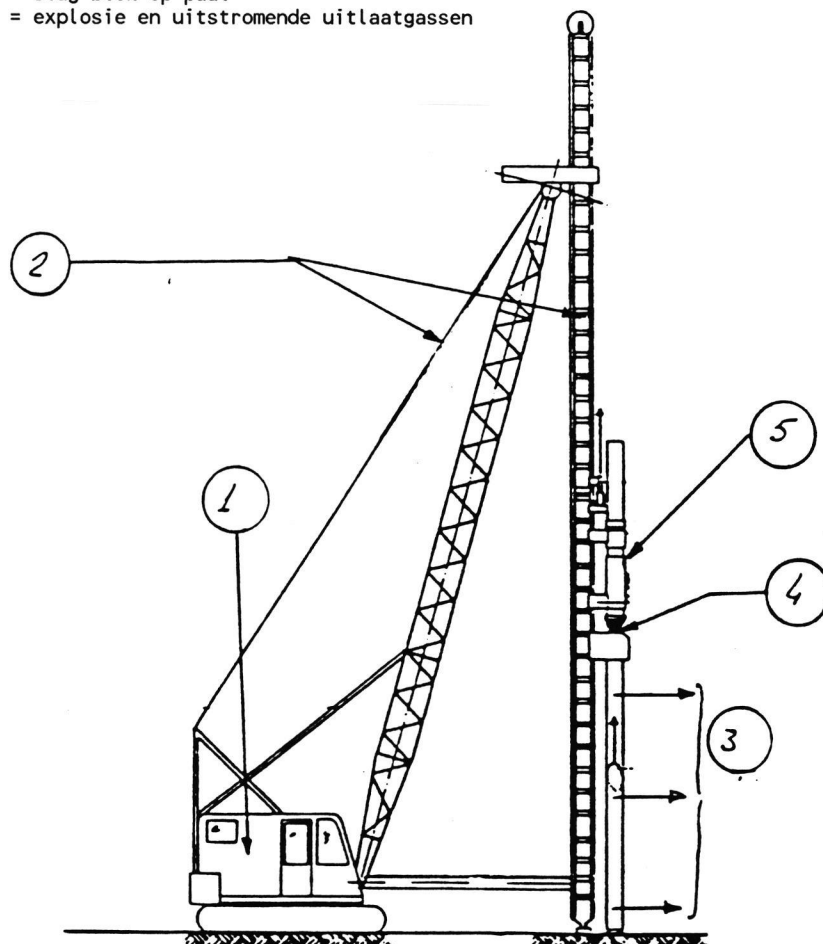
4. de slag van het blok op de paal,
 5. de explosie (blok) en het geluid van ontsnappende stoom c.q. verbrandingsgassen.
- Van deze geluidbronnen overheerst de explosie. Andere belangrijke geluidbronnen zijn de slag van het blok op de paal en de geluiduitstraling van de paal. In figuur 3.1 is weergegeven waar de verschillende geluidbronnen zich bevinden.

Bij het valblok, het trilblok en hydraulische blokken is geen sprake van een explosie. De geluidemissie van heismachines hangt eveneens af van:

- de ouderdom van de stelling,
- de staat van onderhoud,
- het type paal,
- de lengte van de paal boven de grond,
- de bodemgesteldheid, bodemopbouw, waarin geheid moet worden.

Figuur 2.1 Geluidbronnen bij een heistelling (uit H.Bennenk, 1984).

- 1 = aandrijving van de heismachine
- 2 = slaan van de kabels, leiders
- 3 = uitstraling van de paal
- 4 = slag blok op paal
- 5 = explosie en uitstromende uitlaatgassen



Een nadere omschrijving van de akoestische voorzieningen wordt in het onderstaande gegeven (H. Bennenk, 1984).

- geluiddempende mantels

Een geluiddempende mantel bestaat hoofdzakelijk uit een soort kokerconstructie, waarvan de wanden geluidisolierend en -absorberend materiaal bevatten. De koker omsluit tijdens het heien het heiblok en de paal tot op de grond. Door zowel het heiblok als de paal volledig af te schermen van de omgeving worden de volgende bronnen gedempt: de explosie en het geluid van uitstromende lucht, c.q. verbrandingsgassen, de slag van het blok op de paal en de geluiduitstraling van de paal. In tabel 2.2 is een overzicht gegeven van de in de handel zijnde geluiddempende mantels. In het algemeen kan gesteld worden, dat met een geluiddempende mantel een reductie van 15 tot 25 dB(A) is te bereiken, zodat het equivalente geluidniveau op 15 meter afstand bij het heien van een paal met een dieselmotor dan nog 85 tot 75 dB(A) bedraagt. De mantels zijn echter kwetsbaar, werken productieverminderend, worden als belemmerend ervaren en zijn zeer duur.

Tabel 2.2 Overzicht van geluiddempende mantels (uit H. Bennenk, 1984).

Fabrikant	Konstruktie	Opbouw	demping
DELMAG	in 2 panelen hydraulisch openklapbaar, in 2 trappen telescopisch beweegbaar	Raamwerk bestaande uit vierkante kokers, buitenopbouw staalplaat, binnenopbouw aluminiumfolie	23 dB(A)
DELMAG	In onderdelen op te bouwen uit 2½ en 5 m lange schotten. Bodemafsluiting door schorten. Buizenraamwerk.	Dempingsmateriaal: kunststofschuim + rubber matten	20 tot 23 dB(A)
KRUPP	Vast aan de makelaar verbonden achterwand. 3 delen op geleiders telescopisch beweegbaar, 1 vaststaande kap	2½ mm staalplaat, bitumenemulsie met 12 mm kunststof schuimlaag	25 dB(A)
SEELAND	2-delige openklapbare, zelfdragende konstruktie, aan de makelaar bevestigd. In onderdelen op te bouwen	Buitenhuid staalplaat, mineraalwol aluminiumfolie, gaas en geperforeerde kunststofplaten	22 tot 25 dB(A)
ZÜBLIN	2-delig openklapbare koker aan de makelaar bevestigd, afzonderlijke paneellengte 10 m	Buitenhuid van staalplaat, mineraalwol, geperforeerde kunststofplaten	20 dB(A)
LOSINGER	2-delig openklapbaar buizenraamwerk, aan de makelaar bevestigd.	Buitenhuid, dempende laag, vulling isolerende laag, geperforeerde staalplaat.	20 dB(A)
VAN HATTUM	2-delig openklapbaar buizenraamwerk, aan de makelaar bevestigd	Zwaar zeildoek, loodrubber, staalgaas, glaswol, kopergaas	10 tot 15 dB(A)

- geluidbeperkende maatregelen bij valblokken

Valblokken worden hoofdzakelijk gebruikt voor lichte heiwerkzaamheden. Het equivalente geluidniveau op 15 meter afstand van de stelling is 85 tot 90 dB(A). In Zwitserland is een heistelling voor het valblok ontwikkeld, welke bij het heien van betonpalen een geluidemissie van 82 dB(A) heeft. De reductie vindt plaats door :

- de onderdelen waaruit de makelaar is opgebouwd door extra voorbindingen nog stijver tegen elkaar te klemmen.
 - het hijstouw door een speciale constructie met het valblok te verbinden, waardoor het touw altijd onder spanning blijft.
 - de geleiding van het valblok en van de paal met kunststof te bekleden.
 - de geleiding van de paal te laten verlopen via een konisch naar onder wijder wordende stalen ring, die met rubber bekleed is.
 - de slag tussen paal en blok te dempen door het toepassen van een 20 mm dikke houten plank op de paalkop, die bij iedere paal vernieuwd wordt.
- hydraulisch blok
- Met een hydraulisch blok wordt, door de beheersing van de krachten tijdens het gehele hei-proces, schade aan de paal voorkomen en de paal relatief snel op diepte gebracht. Het hydraulisch blok heeft een lagere emissiewaarde dan het dieselblok, 85 tot 90 dB(A) op 15 meter afstand. (Volgens H. Straatsma (1988) is de geluidproductie, zonder speciale voorzieningen van een dieselblok en van een hydraulisch heiblok ongeveer even groot. Het treffen van voorzieningen bij een hydraulisch blok is evenwel eenvoudiger dan bij dieselblokken. Hydraulische heiblokken zijn in de praktijk veelal standaard voorzien van een ommanteling van het heiblok). In tegenstelling tot een dieselblok, waar de geluidafstraling van de paal ondergeschikt is aan de geluidproductie van het blok zelf, is bij het hydraulisch blok de geluidafstraling van de paal belangrijker. Er vindt een geluidniveauverlaging van 5 tot 10 dB(A) plaats als men de paal van de omgeving afschermt door een balg. Bij toepassing van de balg is de geluidreductie van het blok maatgevend. Het equivalent geluidniveau op 15 meter afstand bedraagt dan 80 tot 85 dB(A). Het hydraulisch blok is alleen geschikt voor zwaar tot zeer zwaar heiwerk. Hydraulische blokken voor lichtere heiwerkzaamheden zijn in ontwikkeling, maar nog niet operationeel (1984).
- trilblokken
- Trilblokken zijn bruikbaar voor zowel het inbrengen als trekken van voornamelijk stalen elementen. Ze bestaan in hoofdzaak uit excentrieken die door middel van elektrische- of hydromotoren worden aangedreven. Trilblokken zijn niet in alle grondsoorten toepasbaar. De grondsoort dient waterdoorlatend te zijn. Als nadeel geldt dat door dit inbrengsysteem de bodem in trilling gebracht wordt en daardoor ook de gebouwen die daarop staan. Trilblokken hebben een lagere geluidproductie dan alle soorten heiblokken, ongeveer 80 tot 85 dB(A) op 15 meter afstand.
- hydraulische indrukmechanismen
- In het algemeen zijn methoden, waarbij palen c.q. damwanden hydraulisch de grond ingedrukt worden voor specifieke doeleinden ontwikkeld. Ook bij het hydraulisch indrukken geldt dat niet alle grondsoorten dit toelaten. Het indrukken in de grond gebeurt vrijwel geluidloos, maar de apparatuur die daarvoor nodig is, veroorzaakt een emissie van ongeveer 65 tot 75 dB(A). Deze emissie kan verlaagd worden door het gebruik van elektromotoren.
- sputten
- Een produktiemethode, waarbij het goed mogelijk is om de heitijd te verkorten zonder ernstig produktieverlies, is het sputten. Hierbij wordt door het onder hoge druk sputten van water onder de paalpunt (voorsputten) de weerstand van de grond

verlaagd, of door het spuiten naast de paal (bijsputen) de wrijving tussen de punt en de grond verminderd. Het spuiten moet echter wel altijd met kennis van zaken gebeuren. De kans op het uit de vertikaal lopen van de paal wordt namelijk sterk vergroot, terwijl spuiten ook een ongunstige invloed op het draagvermogen van de paal, de damwand, of de reeds aanwezige elementen kan hebben. De laatste meters van de paal moeten, teneinde voldoende draagkracht te verkrijgen, dan ook altijd zonder spuiten worden geheid.

- alternatieve funderingstechnieken

Het toepassen van in de grond gevormde niet geheide paalsystemen heeft een aanzienlijke geluidreductie tot gevolg in vergelijking tot met een dieselblok geheid paaltipe. De grootte van die reductie hangt af van de manier van inbrengen. Bij het kiezen van een alternatieve funderingstechniek moet onderscheid gemaakt worden tussen inbrengsystemen met grondverdringing en inbrengsystemen met grondverwijdering. Het systeem van inbrengen heeft gevolgen voor het draagvermogen.

H. Straatsma (1988) maakt de volgende opmerkingen ten aanzien van geluidniveaus veroorzaakt door heistellingen:

- Stort- en schroefpalen

De geluidniveaus, die optreden bij stort- en schroefpalen liggen aanmerkelijk onder de geluidniveaus welke optreden bij het heien met diesel- of hydraulische blokken en met een trilblok.

De belangrijkste geluidniveaus worden in het algemeen veroorzaakt door de aandrijving van de installatie. Op 15 meter afstand van dergelijke installaties zijn geluidniveaus lager dan 80 dB(A) realiseerbaar. Bij installaties waarbij de aandrijfmotor zonder goede akoestische omkasting is opgesteld kunnen op 15 meter afstand geluidniveaus tot 90 dB(A) optreden.

Het totale geluidniveau rond een stort- en schroefpaalinstallatie wordt veelal mede bepaald door andere geluidbronnen zoals betonpompen, compressoren en dergelijke. De geluidniveaus die op de bedieningsplaats van de machinist van de installatie optreden hangen sterk af van de uitvoering van de installatie. Bij installaties waarbij deze is bevestigd aan een hydraulische graafmachine zijn (bij gesloten cabine) geluidniveaus lager dan 80 dB(A) realiseerbaar. Daarnaast kunnen bij installaties waarbij bijvoorbeeld een dragline is uitgerust met een extra hydrauliekaggregaat geluidniveaus in de cabine optreden van meer dan 90 dB(A).

Geluidreducerende maatregelen worden ook door de auteur beschreven.

Voor dieselhei-installaties liggen de geluidredukties in de orde van grootte van 10 tot 15 dB(A), voor de hydraulische hei-installaties zijn reducties van 10 tot 20 dB(A) mogelijk. Door H.Bennenk (1984) wordt zelfs gesproken van 15 tot 25 dB(A) bij het toepassen van een geluiddempende mantel. In dat rapport worden uitgebreide maatregelen beschreven (zie ook tabel 2.2).

Door H.S.Gill (1983) worden van een 19-tal verschillende (merken) hei-installaties de equivalente geluidniveaus op 15 meter afstand gegeven (tabel 2.3). De installaties zijn hierbij ingedeeld naar de eerder genoemde driedeling: conventioneel (zes stuks), semi-stil (acht stuks) en stil (vijf stuks). De laatstgenoemde categorie veroorzaakt geluidniveaus van 62 tot 74 dB(A), de semi-stille installaties 76 tot 89 dB(A) en de conventionele typen 93 tot 106 dB(A). In alle categorieën betreffen het verschillende typen (valblokken, dieselblokken, pneumatische blokken, trilblokken). Voor de diverse typen worden ook tertsbandspectra gegeven.

Tabel 2.3 gemeten equivalente geluidniveaus van hei-installaties, genormaliseerd naar een afstand van 15 meter (uit H.Gill, 1983).

nr.	machine type	L_{eq} dB(A)	classificatie
1	SPC "Hush" valblok	62- 63	stil
2	Dawson "Quiet Piling Rig"	69- 72	stil
3	Evans "Stealth hammer"	81- 83	semi-stil
4	DMD "4 ton Solid 3N In.Dr.H."	74	stil
5	DMD "5 ton Solid 3N" valblok	82	semi-stil
6	DMD "6 ton NAP Hammer"	81	semi-stil
7	"Sh-Sh-Shelbourne's Piling Rig"	79	semi-stil
8	Dawson "4 ton" conv. valblok	97	conventioneel
9	SPC "Hush" dieselblok	71	stil
10	Delmag D60 dieselblok	95	conventioneel
11	Delmag D30/02 dieselblok	97	conventioneel
12	Kobe 35 dieselblok	100	conventioneel
13	BSP B15 dieselblok	85	semi-stil
14	BSP "Impulse Pile Driver"	87- 89	semi-stil
15	BSP 700N pneumatisch blok	104-106	conventioneel
16	BSP HD7 pneumatische extractor	93	conventioneel
17	Taywood "Pilemaster"	65- 67	stil
18	Evans "Tomen Vibro VM2-5000"	81- 86	semi-stil
19	Hawker Siddeley "Resonant Driv.	76- 82	semi-stil

In het rapport van J.van Orsouw (1978) betreft het eveneens een literatuurstudie met enkele eigen metingen aan een installatie met open en gesloten omhullende mantel. De laatste meting gaf een demping te zien van 12 dB(A). De absolute waarden bedragen respectievelijk 106 en 94 dB(A), echter niet gegeven is op welke afstand gemeten is.

Door D.Marggraf (1972) worden eveneens maatregelen beschreven in de vorm van een afschermende mantel. Het totale geluidniveau gemeten op 7 meter afstand kan hierdoor teruggebracht worden van 108 naar 82 dB(A).

H.Olschewski (1984) beschrijft de "stand van de techniek" voor diverse typen hei-installaties, te weten:

- het dieselblok, geluidemissieniveau van 120 dB(A). Geluidvermindering is mogelijk van 5 à 7 dB(A) bij afscherming van het blok en van 10 tot maximaal 15 dB(A), ongeacht de aandrijving, bij afscherming van de gehele constructie. Er moet dan wel rekening gehouden worden met een vermindering van het vermogen (prestatie) tot ongeveer 40% van het nominale vermogen. Ook kan de voortgang van het heien niet worden gezien.
- het persluchtblok met afscherming. Het niveau (maximum ?) bedraagt op 10 meter ongeveer 90 dB(A).
- het hydraulisch blok, in tegenstelling tot voornoemde typen kan bij dit type maatregelen aan de bron worden genomen. Het geluidniveau ligt dan ongeveer bij 95 dB(A), met afscherming (in de overdrachtsweg) kan het niveau op 10 meter afnemen tot 80 dB(A).
- het elektrisch trilblok, afhankelijk van de bodem en aandrijving ligt het niveau rond de 90 dB(A) (10 meter ?).
- hydraulisch drukken (pilemaster), het niveau op 10 meter ligt bij ongeveer 70 dB(A) en wordt veroorzaakt door het hydrauliek en andere aggregaten.

In een vrij oud artikel van W.Bick (1969) wordt al gesproken over een hydraulisch aangedreven hei-installatie waaromheen een geluidwerende omhulling aangebracht kan worden. Het geluidniveau daalde hiermee op 7 meter afstand van 105 à 109 dB(A) naar ongeveer 80 dB(A). Het betreft waarschijnlijk maximale niveaus. Bij een ander type afscherming daalde het niveau van ongeveer 104 à 106 dB(A) naar 92 à 94 dB(A), afstand

7 meter bij het heien van een damwand. In hetzelfde artikel wordt gesproken over hydraulisch heien waarbij het aantal slagen ongeveer 550 per minuut bedraagt. Bij deze methode neemt het niveau af met 10 à 15 dB(A) ten opzichte van vergelijkbaar heien met behulp van perslucht.

In een artikel in de 'Sicherheitsingenieur' (1980) wordt een geluidwerende mantel beschreven die geluidniveaus van 114,5 dB(AI) (impulsfilter/waardering volgens DIN 45633) op 7 meter afstand in geopende toestand terugbrengt naar 88,5 dB(AI) in gesloten toestand. De tussenschakelverzwakking (damping) van de mantel is 25 dB(AI).

De allernieuwste ontwikkeling op het gebied van de funderingstechniek wordt beschreven in een artikel in de "ingenieurskrant" (nr.3, 1989) en betreft het "schroeven in plaats van heien". In de rij van diverse soorten palen (heipalen, trekpalen, boorpalen en gietpalen) kan nu de schroefpaal worden toegevoegd. Dit is een geprefabriceerde betonnen schroef, die met behulp van een speciale heistelling (beter: schroefstelling) de grond in wordt gedraaid. De voordelen van een dergelijke paal zijn talrijk:

- het draaien gaat geheel geruisloos, de enige bron is een aggregaat;
- er treden geen trillingen bij op, waardoor de methode in dicht gebouwde gebieden goed toepasbaar lijkt;
- de paal kan precies tot op de goede hoogte worden ingedraaid, waardoor het "koppensnellen" (ook een zeer lawaaiige werkzaamheid) overbodig wordt;
- de paal kan ook uit de grond worden geschroefd;
- de draagkracht is groter dan die van een geheide paal.

Uit een reactie op dit artikel (Ingenieurskrant, nr.6, 1989) blijkt echter dat deze methode honderd jaar geleden ook al werd toegepast bij de aanleg van een spoorbrug over de Delirivier, die een uiterst slappe bodem heeft en tot op grote diepte geen vaste ondergrond. Daarom werd met massief ijzeren schroefpalen op "kleef" gefundeerd.

2.3 Hijswerktuigen

Door Pasmooij (1981) werd een inventarisatie gehouden bij importeurs naar de aanwezigheid van voorzieningen die lawaai en trillingen dempen bij drie soorten kranen (truckkranen, (ruw) terreinkranen en rupskranen). Samenvattend kan vermeld worden dat in vijf kranen (van in totaal 24) geen enkele voorziening aanwezig was, in twee kranen waren alle voorzieningen aanwezig, te weten:

- geluidisolatie om de hijsmotor;
- geluidisolatie in de hijscabine;
- stijve wand hijscabine;
- trillingdempers onder de hijscabine.

Bij ongeveer 1/3 van de kranen was isolatiemateriaal rond de motor aanwezig.

De plaatsing van de (hijs)cabine kan heel verschillend zijn, deel uitmakend van de machinekamer zonder geluidwerende scheiding tot geheel gescheiden van het motorcompartment, vaak aan de andere zijde van de giek. Bij zeven truckkranen zijn geluidmetingen verricht bij de machinist.

Een oud artikel van W. Bick (1969) beschrijft geluidwerende maatregelen (omkapping van de motor en aandrijving, geluidwerende maatregelen aan de cabine) en de resultaten

daarvan aan een aantal bouwmachines, waaronder een kraan op rails (Schienenkran) (59 kW) en een mobiele kraan (Mobilkran) (50 kW).

In de bestuurderscabine van de originele uitvoeringen heersten geluidniveaus van respectievelijk 95 en 90 dB(A); op 7 meter afstand respectievelijk 86 en 83,5 dB(A). In de gedempte uitvoering bedroegen de niveaus voor beide typen zowel in de cabine als op 7 meter afstand tussen 73 en 75 dB(A). De metingen werden verricht bij toerentallen van respectievelijk 1420 en 1900 per minuut.

2.4 Betonverwerking

2.4.1 Betonmolen

Aspecten die het geluidniveau op de arbeidsplaats bij het gebruik van betonmolens beïnvloeden zijn:

- grootte van de molen;
- aard van de aandrijving (electro- of verbrandingsmotor);
- constructie van de aandrijving (tandwiel met rondsel of wrijvingswielen).

De grotere machines hebben vrijwel altijd een elektrische aandrijving. De bedieningsplaats is altijd op korte afstand van de molen.

Het geluidniveau tijdens mengen op de bedieningsplaats, gemeten op 1 meter afstand rondom betonmolens is door H. Frenking (1974) verdeeld naar inhoud van de menger (Betonmischer) en wijze van aandrijving.

Voor inhouden van:

75 - 150 dm³, met electromotor : 84 tot 93 dB(A), 7 stuks, gemiddeld 89 dB(A);
 75 - 150 dm³, verbrandingsmotor : 84 tot 96 dB(A), 5 stuks, gemiddeld 90 dB(A);
 150 - 500 dm³, met electromotor : 80 tot 104 dB(A), 16 stuks, gemiddeld 92 dB(A);
 150 - 500 dm³, verbrandingsmotor : 90 tot 102 dB(A), 13 stuks, gemiddeld 95 dB(A);
 meer dan 500 dm³, met electromotor: 88 tot 103 dB(A), 11 stuks, gemiddeld 94 dB(A).
 Molens met een elektrische aandrijving zijn over het algemeen iets stiller dan die met een verbrandingsmotor.

Het aantal literatuurgegevens van dit type bouwmaschine is verder tamelijk beperkt. Alleen door H. Straatsma (1988) worden nog gegevens verstrekt. Dit zijn echter hoogstwaarschijnlijk de gegevens die ook al door H. Frenking zijn gemeld. Tevens worden twee spectra gegeven: één bij een betonmolen tijdens mengen met gietijzeren rondsel: 85 dB(A) en: één met kunststof rondsel: 84 dB(A). De spectra zijn overgenomen uit "Bouwlawaai" van de Stichting Bouwresearch (1970).

Er zij op gewezen dat er automatische mengers zijn en mengers die met de hand bediend moeten worden. Dit kan van belang zijn voor de blootstellingstijd.

In "Bouwlawaai" van de Stichting Bouwresearch (1970) wordt een aantal spectra en dB(A) waarden gegeven van betonmengers in diverse uitvoeringen:

- betonmixers, gemeten tijdens mengen op 7 meter afstand, 250 l met tandwielaandrijving bouwjaar 1953 (!) 81 dB(A), 375 l, bouwjaar 1963 met trommel en tandwiel ingekapseld 66,5 dB(A);
- 500 l betonmixer, gemeten tijdens mengen op 7 meter afstand (niet ingekapseld) met tandwielaandrijving 92,5 dB(A) en met rubberwielaandrijving 86 dB(A);

- 100 l betonmixer zonder vulling gemeten op 0,5 m (!) afstand met gietijzeren rondsel 84 dB(A) en met kunststof rondsel 72 dB(A);

Door A. Böhm (1968) worden niveaus op 7 meter afstand gemeten van niet meer dan 90 dB(A). Hij merkt daarbij het volgende op: *"Bei der Konstruktion von Betonmischer sind zum Teil große Fortschritte in bezug auf die Lärmdämpfung zu verzeichnen. Durch die Verwendung von Gummilaufrollen, die Auskleidung der Gefäße mit Gummimatten und durch das Bespritzen der Außenwände mit Schalldämmenden Stoffen (Antidröhnmaterial) sind erhebliche Schallpegelverminderingen erreicht worden. Es wurden schon Schallpegelreduzierungen von 10...15 dB(A) erzielt, so daß das Geräusch der Betonmischer aus dem normalen Schallpegel der Baustelle nicht mehr hervortritt".*

Aan transportbetonmixers kunnen mogelijk de volgende maatregelen getroffen worden (H. Straatsma, 1988):

- separate aandrijfmotor voorzien van geluidisolierende omkasting,
- mengtrommel ontdreunen,
- overbrenging van de aandrijfmotor naar de trommel omkassen,
- trommel aandrijven met rubber aandrijvingswielen.

2.4.2 Betonverdichten

Deze paragraaf handelt vrijwel geheel over machines die in betonfabrieken staan. Uit diverse literatuurgegevens, met name van "de stichting voor onderzoek, voorschriften en kwaliteitseisen op het gebied van beton" (CUR-VB, 1981) is de onderstaande verdeling van nieuwe ontwikkelingen bij het betonverwerken te maken:

- vacuümbehandeling (laag geluidniveau)
- persen (statisch hydraulisch, hydraulische generator 90 tot 100 dB(A)).
- hydrovibratie (trillen van beton in een vloeistofbed, praktische bruikbaarheid waarschijnlijk gering).
- additioneel trillen van wapening (geluidniveau laag).

Ten aanzien van conventionele methoden kan het volgende worden opgemerkt:

Tril tafels en triljukken

Met eenvoudige laagfrequente (3000 omw/min) tril tafels wordt zonder verdere voorzieningen een laagfrequent niveau van 95 tot 105 dB(A) opgewekt (negen metingen). Met mallen van eenvoudige vorm zonder rammelende onderdelen, is bij de toepassing van een verende laag op de tafel een geluidniveau tussen 90 en 95 dB(A) realiseerbaar (twee metingen). Verdere reducties moeten mogelijk zijn (volgens CUR-VB, 1981) bij hydraulische en elektromagnetische klemming van de mal en tafel tot één star geheel. Bij hoogfrequente trillingen (6000 omw/min) zijn geluidniveaus tussen 100 en 110 dB(A) en zelfs tot 115 dB(A) te verwachten (vier metingen aan gecompliceerde wand- en vloerelementen). Verlaging tot 95 à 100 dB(A) is realiseerbaar door toepassing van verende lagen en zo min mogelijk verbindingen (twee metingen). Hoogfrequente trillingen van 6000 omw/min komen overeen met een laag frequente geluidstrilling van 100 Hz

In een tweetal artikelen van H.Seiler (beide 1978) wordt ingegaan op het stiller maken van triltafels (Betonsteinfertiger, Rüttelwagen, Rütteltisch). Talrijke metingen hebben uitgewezen dat het equivalente geluidniveau op de arbeidsplaats tussen 105 en 120 dB(A) ligt. De beschouwde machine produceerde in de oorspronkelijke staat 115 dB(A) op 1 meter afstand (Meßflachenschalldruckpegel), na het ombouwen nog maar 88 dB(A).

Bekistingstrillers

In CUR-VB (1981) wordt er onderscheid gemaakt naar diverse typen bekistingstrillers:

- verticale elementen en lange banken (6000 en 9000 omw/min), zonder voorzieningen bedraagt het niveau op 1 meter afstand 105 tot 115 dB(A) (zes metingen), zonder rammelende onderdelen en met afgeschermd trilmotor is reductie mogelijk tot 95 à 100 dB(A) (twee metingen).
- Bij schokken (ongeveer 5 maal per seconde) vindt de opwekking afgeschermd onder de mal plaats en is daardoor in principe stiller: 98 tot 105 dB(A).
- Bij bovengrondse buizenmachines (6000 omw/min) bedraagt het geluidniveau 100 tot 110 dB(A) (vier metingen).
Voor ondergrondse machines met absorptie in de kuil, is dat lager: 93 tot 100 dB(A) (vijf metingen).
- Bij horizontale elementen, as van de trilmotor horizontaal aan de zijkant van het plateau, niveaus van ongeveer 93 dB(A).

M.P.J. Lejeune (1988) geeft een aantal mogelijkheden het geluidniveau bij triltafels te verlagen. Omdat geluid en trillingen bij het werken aan triltafels heel direct met elkaar samenhangen, zullen maatregelen die het geluidniveau omlaag brengen vaak tevens de trillingsbelasting verlagen en omgekeerd. Maatregelen die genomen kunnen worden om het totale lawaainiveau te verlagen zijn:

- het toepassen van nieuwe betonverwerkingstechnieken,
- het ontwerpen van geluidarme apparatuur,
- het aanpassen van de geluidbron,
- het beperken van de blootstelling,
- het beschermen van de blootgestelden (persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen).

Het uitstellen van onderhoud en het voorkomen van lasbreuken aan onderdelen van machines en gereedschappen blijkt daarnaast een grote rol te spelen in het ontstaan van het trillingsniveau, en dus ook van het geluidniveau.

De introductie van nieuwe verdichtingstechnieken, zoals vacuüm-speciebehandeling en hydraulisch persen, wordt in feite door de kwaliteitseisen, die gebaseerd zijn op de bestaande technieken, tegengehouden.

In bestaande situaties kan bij bestrijding aan de bron gedacht worden aan het aanpassen van de geluid- en trillingsbronnen. *"Hierbij blijkt nog wel het één en ander mogelijk. Het ontwerp van een triltafel is ronduit primitief en beslist geen voorbeeld van hoogstaande technologie: een tafel met een trillingsmotor eronder en een grote metalen bak erboven op. De frequentie en de tijdsduur van het trillen zijn niet op duidelijk onderzoek gebaseerd"*. Verbeteringen kunnen gezocht worden in:

- het geïsoleerd opstellen van de triltafel of
- het plaatsen van de triltafel op een verende betonplaat.
- massavergroting, waarbij de triltafel op een aparte betonnen fundering, die eventueel ook verend kan worden uitgevoerd, wordt geplaatst.

- overdracht van trillingen en stoten te beperken door de produktmal op het tafelblad vast te klemmen en deze in rubber kussens aan het tafelframe te bevestigen.
- regelmatig onderhoud, is nodig bij alle trillende machines. Het trillingsniveau en de geluidbelasting wordt aanmerkelijk beïnvloed door versleten onderdelen. Slechte balans, spelingen en overmatig excentrisch bewegen kan daarmee worden voorkomen.
- de bron te isoleren, hierbij kan gedacht worden aan het omkassen van de trilmotoren of het afschermen van de triltafel door het aanbrengen van een flexibele hangende folie, vanaf het tafelblad tot de vloer.
- het treffen van ruimte-akoestische maatregelen.

2.5 Metaalbewerking in de bouw

Vooralsnog zijn bij de geluidbronnen bij de metaalbewerking in de bouw geen geluidwerende maatregelen beschreven.

2.6 Houtbewerking in de bouw

De zaag is wellicht de meest voorkomende machine bij de houtbewerking op de bouwplaats. Hierover zijn dan ook veel gegevens gepubliceerd.

In de reeks "Forschungsberichte" van de "Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung" (BAU) zijn een aantal rapporten verschenen over houtbewerking en houtbewerkingsmachines, waarin emissieniveaus en maatregelen ter beperking ervan worden besproken (H.Laukner, 1985; T.Tchorz, 1985 en 1984; F.Heydt en H.-J.Schwarz, 1979, 1978 en 1976; D.Michel en C.Kemmner, 1984). Meetresultaten hieruit zijn niet in dit rapport opgenomen.

2.7 Wegenbouwmachines

2.7.1 Walsen

In een artikel van W. Bick (1969) worden lawaaibestrijdingsmaatregelen beschreven aan "Bodenverdichtungsplatten und Vibrationswalzen", met name aan de uitlaatdemper.

De trilwals (9 kW) levert tussen 80 en 82 dB(A) op 7 meter afstand afhankelijk van de uitlaatdemper. In een aantal stappen werden omkastingen ontwikkeld die uiteindelijk bij de prototypen een niveauvermindering van 10 dB (A?) bereikten. Van een ander merk werden nog eens vier trilwalsen (10-33 kW) onderzocht, die ongedempt tussen 79,4 en 81,3 dB(A) veroorzaakten en gedempt tussen 78,1 en 78,9 dB(A), allen op 7 meter afstand. Twee statische walsen (22 en 33 kW) veroorzaakten ongedempt gemiddeld 80,4 en gedempt gemiddeld 78,4 dB(A). De demping betrof diverse maatregelen zoals:

- geluiddempende bekleding van het motorhuis,
- demping van koel- en verbrandingslucht en
- goede uitlaatdempers.

2.7.2 Stampers en trilplaten

In een artikel van W. Bick (1969) worden lawaaibestrijdingsmaatregelen beschreven aan "Bodenverdichtungsplatten und Vibrationswalzen".

Op 7 meter afstand leveren de trilplaten (2 - 7,5 kW) een geluidniveau, hoofdzakelijk veroorzaakt door de uitlaat, tussen 80 en 84,5 dB(A) en met een goede uitlaaldemper tussen 75,5 en 81,5 dB(A).

2.7.3 Asfalt-afwerkmachines

De asfalt-afwerkmachine kent diverse arbeidsplaatsen. Uit M. van der Grinten (1984) zijn de volgende waarden per functie afkomstig, voor stationaire bedrijfsomstandigheden,

(bij acht machines was isolatie aangebracht):

- | | |
|-----------------------------|--|
| - de asfalt-afwerkmachinist | 91 - 95 dB(A), met isolatie: 86 - 88 dB(A) |
| - de balkman | 87 - 95 dB(A), met isolatie: 86 - 92 dB(A) |
| - de afwerker langsnaad | 84 - 91 dB(A), met isolatie: 84 - 90 dB(A) |
| - de afwerker asfalt | 85 - 90 dB(A), met isolatie: 81 - 87 dB(A) |

"De niveaus zijn ondanks de demping nog aan de hoge kant. Tijdens de bezoeken werd gekonstateerd dat de effectiviteit van de isolatie om de motor goeddeels verloren gaat indien de deksel van de omkasting in verband met de bevordering van de luchtkoeling open gezet wordt, een gebruik dat in de zomer nogal eens voorkomt."

2.8 Compressoren

In de bouw zullen voornamelijk mobiele compressoren worden toegepast. Deze worden meestal door een verbrandingsmotor aangedreven en zijn in het algemeen van het schroef-type. Daarnaast komen ook zuigertypen voor. In een rapport van J. Tukker (1984) worden uitvoerig de verschillende typen geluidbronnen bij een compressor beschreven. De mobiele compressoren komen in drie uitvoeringsvormen voor:

- de ("standaard") niet geluidgedempte uitvoering
Dit zijn alleen oudere compressoren, van vóór 1986, waarbij geen geluidreducerende maatregelen zijn getroffen. In het kader van de Wet Geluidhinder zijn nieuwe compressoren gebonden aan maximale geluidvermogens.
- geluidgedempte uitvoering
Om aan de eisen van de Wet Geluidhinder te kunnen voldoen moeten minstens de volgende voorzieningen worden toegepast:
 - luchtinlaat van de compressor voorzien van geluiddemper,
 - in- en uitlaaten openingen voor de koellucht voorzien van geluiddempers,
 - bij een verbrandingsmotor: de in- en uitlaaten opening voorzien van geluiddempers,
 - een gesloten ommanteling van de installatie, die aan de binnenzijde voorzien is van geluidabsorberend materiaal,
 - soms een vergrote koelcapaciteit.
- extra geluidgedempte uitvoering
Hierbij zijn alle voornoemde maatregelen getroffen, alsmede:
 - extra aandacht voor de luchtinlaat en luchtuitlaat,
 - een grotere koelcapaciteit.

De nieuwe schroefcompressoren die aan de geluideisen (moeten) voldoen hebben een geluidvermogeniveau van maximaal 102 tot 108 dB(A), afhankelijk van het aandrijfvermogen. Het geluidvermogen van zuigercompressoren ligt ongeveer in dezelfde ordegrootte. Dit betekent een geluidniveau op 7 meter afstand van ongeveer 77 tot 83 dB(A). Indien panelen worden verwijderd, zoals in de praktijk veelvuldig voorkomt kunnen de geluidniveaus rond de compressor met 10 tot 20 dB(A) toenemen (J. Tukker, 1984 en H. Straatsma, 1988).

2.9 Stukadoorswerkzaamheden

Tenslotte de beroepssurvey "de spackspuiter" (Stichting Arbouw, 1989). Hierin worden drie bronnen genoemd:

- de compressor,
- de kunststofspuit,
- het spuitpistool.

De compressor en de kunststofspuit staan over het algemeen buiten opgesteld en dragen nauwelijks bij tot de geluidbelasting van de spackspuiter. Ook in dit rapport worden de metingen van O.Larsson (1973) aangehaald en zijn eigen metingen verricht waaruit geconcludeerd werd dat *"het geluidniveau sindsdien (1973) nauwelijks verminderd is"*. Het resultaat van de eigen meting bedroeg 101 tot 104 dB(A) (L_{Aeq} , 60 s) tijdens het spuiten. De gemiddelde expositietijd van de spackspuiter aan dit lawaai is 3 à 5 uur per dag. *"Toch blijken de fabrikanten te werken aan een verlaging van het geluidniveau. Een Nederlandse fabrikant van onder andere spuitpleisterapparatuur introduceerde onlangs een spuitmachine die minder lawaai produceert."* (niveau ?).

2.10 Bewerkingen in (natuur)steen en beton

2.10.1 Steenzaag, diamantzaag

In 1981 is er een uitgebreid rapport verschenen over "de inventarisatie van de arbeid in natuursteenbedrijven in Nederland" (BGBOuw, 1981).

Voor het zagen van natuursteen gebruikt men doorgaans enkelbladige zagen, het snijvlak van de zaag is meestal met diamant bevattend materiaal bekleed. Het geluidniveau dat de zagen produceren is zonder uitzondering hoog, ook bij vrijloop. Bij gebruik van zogenaamde geluidarme zagen is dit beduidend lager. Ook de ruimte waarin de zagen staan opgesteld zijn vaak akoestisch onvoldoende gedempt. De bedieningsorganen van de zaag zijn vaak zo geplaatst, dat vlakbij de lawaaibron gewerkt moet worden. Aan zeven zaagmachines (twee bedrijven) zijn metingen verricht bij het oor van de bediener: in onbelaste toestand 85 tot 97 dB(A), in belaste toestand 94 tot 107 dB(A) bij diverse steensoorten.

Factoren die van invloed zijn op het geluidniveau zijn:

- aard van het materiaal; harde steensoorten geven bij bewerking een hoger geluidniveau dan zachtere;
- soort zaagbladen; "geluidarme" zagen kunnen een geluidreductie van ongeveer 10 dB(A) geven;
- de electromotor; met name lagers (onderhoud!) kunnen veel lawaai veroorzaken;

- methode van aandrijving; zaagmachines met directe aandrijving produceren iets minder geluid dan machines met een haakse overbrenging.

Volgens DHV (1982) wijzen de gegevens er op dat elektrische, pneumatische, motorketting-zagen en diamantzagen in relatief geluidarme uitvoeringen te verkrijgen zijn.

2.10.2 Beitels, hamers, brekers en boren

De natuursteenbewerker modelleert de werkstukken, het steenhouwen, grotendeels met perslucht aangedreven beitels. Deze methode is lawaaiig, niet alleen door het beitelten maar ook door persluchtlekkage.

In "Bouwlawaaï" (Stichting Bouwresearch, 1970) worden geluidspectra gegeven van een pneumatische beitel, werkend in beton 106 dB(A), met afschermende mantel 104 dB(A) en werkend in asfalt 92 dB(A), de meetafstand is echter onbekend.

Ook voor metingen aan pneumatische hamers was de meetafstand onbekend. Waarden van 84 en 88 dB(A) worden opgegeven, respectievelijk met en zonder afschermende mantel. Een andere pneumatische hamer gaf op 7 meter afstand 92 dB(A?), met rubber huls eromheen 88 dB(A?). In het omhulsel kunnen ook nog enkele "kamers" worden aangebracht, die als uitlaatdemper dienen en één om het mechanische geluid te dempen; deze (onderste) kamer ligt als een manchet om de boor of beitel.

Ook de beton- en puinbrekers kunnen in deze paragraaf genoemd worden: op 7 meter afstand is gemeten met en zonder afschermende mantel respectievelijk 83 en 94 dB(A). In beton werkende puinbrekers op 7 meter afstand 94 dB(A) (pneumatisch), 89 dB(A) (benzinemotor) en 87 dB(A) (electrisch, zelfde vermogen als de pneumatische).

In het oude artikel van E. Rathe (1970) staan meetgegevens van persluchthamers. Aan 24 hamers zonder dempingsmechanisme werden niveaus gemeten tussen 80 en 89 dB(A) op 7 meter afstand. Na het aanbrengen van een geluiddemper bedroegen de maximale niveaus 76 tot 83 dB(A). Bij 14 hamers die standaard al geluid gedempt zijn werden niveaus gemeten van 77 tot 85 dB(A) en ten slotte bij 18 boorhamers niveaus tussen 80 en 92 dB(A), alle op 7 meter afstand, gemeten in bedrijf op staalplaat met daarover 20 cm zand.

In het eerdergenoemde rapport over sloopmethoden (DHV, 1982) worden ook de geluidvermogens van boormachines gegeven. Deze worden deels bepaald door het geluid van de beweging van de boor in het te bewerken materiaal en deels door het geluid van de toegepaste boormachine. Ook de benodigde krachtbron (compressor), hydraulisch aggregaat of hydraulische machine) kan mede het geluidvermogen bepalen. Het geluidvermogen bij het boren is veelal voornamelijk afhankelijk van het te boren materiaal en de kracht waarmee de boor in het materiaal wordt gedrukt. *"Van de uit de literatuur beschikbare geluidgegevens ontbreekt de volledige omschrijving van de meetomstandigheden, zodat de gevonden geluidvermogens niet goed onderling te vergelijken zijn".*

Onder andere de volgende geluidvermogens worden door DHV gegeven:

- pneumatische handboormachine, massa < 10 kg: 100-119 dB(A)
- pneumatische handboormachine, massa > 10 kg: 115-124 dB(A)
- en gedempt: 105-124 dB(A)

Uit de tabel blijkt dat de geluidgedempte handboormachines een sterke variatie in geluidvermogen vertonen. Electrische handboormachines hebben gemiddeld genomen een lagere geluidproductie dan pneumatische handboormachines. Tevens blijkt dat de grotere boorhamers veel geluidarmer zijn dan de kleinere.

Door A. Böhm (1968) wordt een persluchtwerktuig genoemd te weten een "Aufbruchhammer" met een geluidniveau op 7 meter afstand tot 95 dB(A). *"Durch Verwendung von Schalldämmmänteln oder Gummikapseln kann auf billige Weise der Schallpegelwert an jedem Abbauhammer bis zu 15 dB(A) gesenkt werden"*.

R. Bartholomae (1980) beschrijft lawaaibestrijdingsmiddelen aan een "percussion drill". Geluidniveaus in de range van 114 tot 118 dB(A) op 1 meter afstand worden door pneumatische "stoper drills" veroorzaakt. Dit apparaat wordt veelal door mijnwerkers gebruikt. Een geheel nieuw ontworpen stil prototype produceert een niveau van ongeveer 95 dB(A) op 1 meter afstand.

Maatregelen aan bestaande machines kunnen het niveau verlagen tot 102 à 106 dB(A). Er kan onderscheid gemaakt worden in:

- luchtgeluid, veroorzaakt door ontsnappende perslucht, onder andere bij de uitlaat,
- mechanisch geluid, veroorzaakt door de impact en het ratelen van de verschillende componenten.

Geluidbeheersing bij het prototype werd bereikt door in het ontwerp de intensiteit van de luchtstroom en mechanische geluidbronnen te reduceren of te elimineren. Enkele van de maatregelen zijn:

- een onafhankelijke luchtmotor voor de aandrijving van de boor (hamer), voordeel: geen over- of onder"rotatie" door goede aanpassing aan hardheid van te boren materiaal,
- luchtuitzetting zonder kleppen (ventielen), de zuiger werkt als klep (de kleppen in een conventioneel type zijn geluidbronnen),
- een plenumkamer, geheel om het klopmechanisme, dit is een "dump"kamer voor de uitlaatlucht van de hamer en de luchtmotor en ze vormt tevens een geluidafscherming voor het mechanische geluid. De wand van de plenumkamer is zo geconstrueerd dat contact- en luchtgeluid worden gedempt.

Een artikel van H. Hülshorst (1980) handelt eveneens over lawaai reducerende maatregelen aan middelzware en lichte "Druckluft-Meisselhämmern". Er zijn vergelijkingsmetingen verricht aan vijf verschillende middelzware hamers variërend in gewicht van 3,2 kg tot 6,5 kg. De geluidniveaus op 1 meter afstand varieerden van gemiddeld 95 tot 101 dB(A). Twee lichte hamers (1,4 en 1,9 kg) produceerden 99 en 94 dB(A). Maatregelen aan onder andere de uitblaaslucht bij de middelzware typen en verandering aan het slagmechanisme bij de lichtere hamers, kunnen het niveau met ongeveer 5 à 6 dB(A) verminderen.

Behalve door de betonwerker en de sloper wordt ook door de voeger een pneumatische hamer gebruikt voor het uithakken van voegen (Stichting Arbouw, 1987). Ze wegen 1 tot 5 kg. De luchtdruk wordt geleverd door een compressor. Pneumatische hamers van het reactievrije type veroorzaken een aanzienlijk lager trillings- en geluidniveau. Er worden enkele meetresultaten gegeven. Bij drie typen hamers werden waarden (gemiddeld over 1 minuut) gemeten van 106 tot 108 dB(A) op oorhoogte van de werknemer. Opgemerkt wordt dat bij de gebruikte hamers niet alle mogelijkheden om het lawaai aan de bron te verminderen benut waren. Hakhamers met voorzieningen als:

- geluiddempende kamers,
- dempers op de uitlaat en
- dempers om de beitelhouder

bereiken een aanzienlijke geluidreductie.

Evenals in het voorgaande document wordt door DHV (1982) onderscheid gemaakt in verschillende typen hamers. Evenals bij het boren geldt dat het totale geluidvermogen van het hakken deels bepaald wordt door het geluid van het stoten van de beitel op het te hakken materiaal en deels door het geluid van de toegepaste sloophamer zelf. Ook het te hakken materiaal en de kracht waarmee de beitel op het materiaal wordt gedrukt bepaald mede het geluidvermogen. Volgens DHV (1982) ontbreekt helaas de volledige omschrijving van de meetomstandigheden bij de beschikbare meetgegevens, waardoor de verschillende geluidvermogens niet goed onderling te vergelijken zijn. De globale gegevens worden in onderstaande tabel vermeld. Hierin wordt onderscheid gemaakt in handhamers van verschillende massa en sloophamers. Een sloophamer is een hamer met ophanging. Ook de aandrijving verschilt. Er zijn hierin namelijk de volgende mogelijkheden:

- pneumatisch, extra gedempt (pge), gedempt (pg) en niet gedempt (pn);
(het gedempte type is door de fabrikant voorzien van een standaardpakket geluid-damping, (kunststof omkasting), de extra gedempte typen zijn door de fabrikant voorzien van meer dan alleen het standaardpakket (namelijk kunststof omkasting en ontdreunde beitel));
- hydraulisch (h);
- electrisch (e);
- benzinemotor (b).

Uit de tabel blijkt dat geluidgedempte pneumatische handhamers ongeveer evenveel geluid produceren als hydraulische handhamers.

Tabel 2.4 Geluidvermoggenniveaus in dB(A) van sloophamers (DHV, 1982).

type hamer	massa	pn	pg	pge	h	e	b
handhamers	< 20	110-119	100-109	?	105-109	?	?
handhamers	35>m>20	115->120	105-119	105-114	105-114	?	?
handhamers	> 35	115->120	105->120	105-119	105-114	105-114	100-104
sloophamers	> 35	110->120	?	?	105->120	?	?

2.11 Overige geluidbronnen

Persluchtpistool

Een persluchtpistool kan bij de bediener een niveau bereiken van 88 tot 93 dB(A) (Van der Meulen, 1981). Op dit gebied is er door de Bond voor Materialenkennis (1981) een uitgebreid vergelijkend onderzoek verricht naar diverse typen blaasmonden. Ook is er een algemener onderzoek verricht door Tukker (1984) naar lawaai door perslucht en persluchtgereedschap.

3. LITERATUUR

ARBOUW, STICHTING. Beroepen in de bouw. De Voeger, Stichting Arbouw, Amsterdam, 1987.

ARBOUW, STICHTING. Beroepen in de bouw. De Spackspuiter, Stichting Arbouw, Amsterdam, 1989 (concept).

BARTHOLOMAE, R.C., J.G. KOVAC. USBM develops a low noise percussion drill. Inter-Noise 1980. Proceedings, p. 317-320, 1980.

BAULÄRM, Untersuchungen an Baustellen; Internationale Sektion für Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten im Hoch- und Tiefbau, 1973
(Engelse versie: Constructional Noise)

BENNENK, H.W., R. EUJEN, W. FAAS. Kostenconsequenties van de maatregelen ter beperking van het geluidniveau van heikwerken. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Onderzoekprogramma Geluid: GH-HR-02-01, Leidschendam, 1984.

BERG, R. VAN DEN, Lawaaibronnen in de bouw, literatuuronderzoek, publikatienr.90010, NIPG-TNO, Leiden, 1990.

BGBOUW. Inventarisatie van de arbeid in Natuursteenbedrijven in Nederland. Stichting Arbouw, Amsterdam, 1981.

BICK, W., Lärmschutz bei Baumaschinen. Kämpf dem Lärm 16, p. 19+65, 1969.

BOND VOOR MATERIALENKENNIS, Geluid en luchtverbruik van blaaspistolen, Studiekern geluid, Zwijndrecht

BÖHM, A., Lärmschutz bei Baumaschinen. Österreichisches Institut für Bauforschung, Wien, 1968.

BRACKENHOFF, H.E.A., Handleiding meten en rekenen industrielawaai. ICG-rapport IL-HR-13-01, Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne. Leidschendam, 1981.

BREY, W., M. KLÖCKER. Geräuschemission von Werkzeugmaschinen und Massnahmen zur Geräuschminderung, Lärmbekämpfung 29, p. 147-159, 1982.

CHRIST, E. Einsatz lärmgeminderter Druckluftnagler bei der Holzverarbeitung. Die Berufsgenossenschaft, Nov. 1978.

COHRS, H.H. Anforderungen an moderne Fahrerhäuser. Baumachindienst H. 9, p. 598, 1986.

CONSTRUCTIONAL NOISE, a survey of noise on building sites, Bygghälsan, 1973
(Duitse versie: Baulärm)

- CUR-VB. Lawaai bij het verwerken van betonspecie, inventarisatie. Stichting voor onderzoek, voorschriften en kwaliteitseisen op het gebied van beton, CUR-VB, rapport 101, 1981.
- DHV RAADGEVEND INGENIEURSBUREAU, BABEX. Sloopmethoden en hergebruik van sloopmateriaal. Deel B: Hergebruiken van sloopmateriaal, milieuaspecten en juridische aspecten, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Leidschendam, 1982.
- DIXON, N.R., R.S. BARTHOLOMAE, Front-end loader noise control. Inter-Noise 1982. Proceedings, P. 277-280, 1982.
- FRENKING, G., Einheitliche Meßmethoden bei der Lärmbekämpfung. VDI-Berichte nr 104, Gesetze und Vorschriften gegen Baulärm, Vorträge der VDI-Tagung Aachen, Düsseldorf, 1966.
- GILL, H.S., Control of Impact Pile Driving Noise and Study of Alternative Techniques. Noise Control Engineering Journal, Vol. 20, nr 2, 1983.
- GRINTEN, M.P., VAN DER, C. PASMOOIJ. Werk en werkomstandigheden in de asfaltwegenbouw. Verkorte versie: conclusies van onderzoek en praktische aanbevelingen. BGBouw, Amsterdam, 1984.
- GRINTEN, M.P., VAN DER, C. PASMOOIJ. Werk en werkomstandigheden in de asfaltwegenbouw. NIPG-TNO pub.nr. 84022, Leiden, 1984.
- HALLMAN, P.J., The development of a Noise-Reduced Dumper. Noise Control Vibration & Insulation, Vol. 8, nr 5, 1977.
- HEYDT, F., H.-J. SCHWARZ, Geräuschemission - Geräuschmmission. Lärminderung von Holzbearbeitungsmaschinen, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 209, Dortmund, 1979
- HEYDT, F., H.-J. SCHWARZ, Geräuschemission von Holzbearbeitungsmaschinen und Maßnahmen zur Lärminderung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 150, Dortmund, 1976
- HEYDT, F., H.-J. SCHWARZ, Geräuschemission von mehrseitigen Hobel -und Fräsmaschinen für die Holzbearbeitung und Maßnahmen zur Lärminderung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 171, Dortmund, 1978
- HUBBELING, D., De stille laadschop. Geluid & Omgeving, december 1979.
- HÜLSHORST, H., S. WITTÖESCH, Lärminderung bei mittelschweren und leichten Druckluft Meißelhämmern. Lärmbekämpfung 31, p. 113-116, 1984.
- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ, Noise level at the driving of Earthmoving Machinery. Inter-Noise '85. Proceedings p.291-294, , Munich, 1985.

ICG - INTERDEPARTEMENTALE COMMISSIE GELUIDHINDER, diverse auteurs, Onderzoekproject "Stand van de techniek" met betrekking tot lawaaibestrijdingsmaatregelen, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Directoraat Generaal van de Arbeid, Voorburg.

rap.nr.	titel	auteur/jaar
LA-HR-02-02	Geluid van perslucht	J.C.Tukker 1984
LA-HR-02-03	Inventarisatie van de geluidoorzaken en geluidverminderende maatregelen bij de machinale houtbewerking	A.M.van Noort 1984
LA-HR-02-04	Lawaai en lawaai beheersing van handgereedschap	J.C.Tukker 1984
LA-HR-02-05	Stand van de lawaai bestrijdingstechniek bij pijpleidingsystemen	P.H.Vos 1985
LA-HR-02-06	Mogelijkheden tot geluidbestrijding bij intern transport	P.F.M.Beumer 1985
LA-HR-02-07	Lawaai op de arbeidsplaats in de kunststofverwerkende industrie	T.M.de Graaf 1987
LA-HR-02-08	Geluid van mechanische overbrengingen	J.C.Tukker 1987
LA-HR-02-09	Geluid van elektrische machines	J.C.Tukker 1987
LA-HR-02-10	Geluid van machines voor grondverzet, wegebouw en bouwactiviteiten	H.Straatsma 1988
LA-HR-02-11	Inventarisatie-onderzoek naar de geluidemissie van verspanende bewerkingen in de metaalindustrie	P.van Rangelrooy 1987
LA-HR-02-12	Lawaai van bewerkingen en machines in de (niet verspanende) metaalverwerkende industrie	J.C.Tukker 1987

ICG - INTERDEPARTEMENTALE COMMISSIE GELUIDHINDER, diverse auteurs, Inventarisatie van de mogelijkheden van de vermindering van de geluidemissie van bepaalde installaties en onderdelen van inrichtingen, Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiene, Leidschendam,

rap.nr.	titel	auteur/jaar
IL-HR-03-01	Geluidemissie van ventilatoren en mogelijkheden tot vermindering	A.von Meier 1981
IL-HR-03-02	Geluidemissie van compressoren en mogelijkheden tot vermindering	H.Straatsma 1982
IL-HR-03-03	Geluidemissie van dieselmotoren en mogelijkheden tot vermindering	M.Alster 1982
IL-HR-03-05	Geluidemissie van hydraulische componenten en systemen voor energieoverdracht en mogelijkheden tot vermindering	J.P.Berhault 1982

KESSLER, F.M., P.D. SCHOMER. Cost Effectiveness of Construction Noise Abatement. Sound and Vibration, mei 1981.

- KÖCKRITZ, S., Erfahrungen bei der Lärmbekämpfung und der Lärmarbeiterbetreuung im Bauwesen. Arb.-Hyg.Inform. Bauwesen 22, nr 1, p. 7, Berlin, 1986.
- KOVAC, J.G., R. BARTHOLOMAE E.A., Bulldozer noise control. Inter-Noise 1980. p.457-460. Proceedings 1980.
- LAUCKNER, H., Lärmarm konstruieren XIV, Lärminderung an Elektrowerkzeugen für die Holzbearbeitung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 437, Dortmund, 1985
- LARSSON, O., Sandpackling, ur ergonomik synvinkel. Bygghälsan, 1973.
- LEJEUNE, M.P.J., A.W. ZWAARD. Triltafels in de betonindustrie. Arbeidsomstandigheden 64, nr 2, 1988.
- MARGGRAF, D., Schallgedämpfte Druckluft-Rammen und -Pfahlzieher. Kämpf dem Lärm 19 Jg, Heft 3, 1972.
- MARING, J., Trekkerlawaa. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (I.M.A.G.), publikatie 120, Wageningen, 1979.
- MARRACCINI, L.C., Experiments in bulldozer retrofit noise control. Proceedings Inter-Noise 1984. p.181-184, 1984.
- MARTIN, D.J., Road Construction Noise. Noise Control Vibration Isolation, Aug/Sep., 1978.
- MEULEN, S.H. VAN DER, Geluidmetingen in een timmerfabriek. RBGD voor het havengebied van Rotterdam en omgeving, rapport nr. G 163, 1981.
- MICHEL, D., Noise Measurements on Electric Power Tools during machining. Inter-Noise 1985. Proceedings p.323-326, München, 1985.
- MICHEL, D., C. KEMMNER, Geräuschemission von Handgeführten Elektrowerkzeugen für die Holzbearbeitung - Maßnahmen zur Lärminderung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 380, Dortmund, 1984
- MOL, W.D., Meer comfortabele en geluidgedempte uitvoeringen van grondverzetmachines in Nederland. Machinepark 13 (1978) 9, p. 16, 1978.
- MOL, W.D., Werken op een bulldozer nog geen pretje. Machinepark, 12 (1977) 10, p. 12, 1977.
- N.N., Schalldämm-Mantel für schlagende Rammen bei Spundwandbau. Sicherheitsingenieur 6/80, p. 12, 1980.
- N.N., Construction Machinery Noise - A Project and a Package. Noise Control Vibration Isolation, February, 1979.
- N.N., Schroeven in plaats van heien, Ingenieurskrant, 1e jaargang nr.3, KIVI/NIRIA, 1989

N.N., Schroefpaal, Ingenieurskrant, 1e jaargang nr.6, KIVI/NIRIA, 1989

OLSCHEWSKI, H.J., 20 Jahre Lärmbekämpfung in Baubetrieb. Strassen-Tiefbau 38 (1984) 3, 1984.

ORSOUW, J.G. VAN., Van bouwput tot gehoordip. Een onderzoek naar de lawaaiproblematiek in de Nederlandse Bouwnijverheid. Scriptie cursus Hogere Veiligheidskundige, 1978.

PASMOOIJ, C.K., M.P. VAN DER GRINTEN. Cabines van grondverzetmachines, een ergonomische veldstudie en constructieve aanbevelingen. NIPG-TNO, Leiden, 1982.

PUTS, B.H.C.M., Lawaaibestrijding in de machinale houtbewerkingsindustrie. PT, Geluid en Trilling 34, nr 1, 1979.

RATHE, E.J., Geräuschmessungen an Baummaschinen. Acustica, vol. 23, p. 149-155, 1970.

SEILER, H., H. WIBBELHOFF. Schallschluckende Nachrüstsätze. Arbeitsschutz 4, p. 91, 1978.

SEILER, H., Lärminderungen an Betonsteinmaschinen durch Schallschluckende Nachrüstsätze, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 177, Dortmund, p.91, 1978.

STEENBRUGGE, B. VAN, Inventarisatie basiskennis geluidarm installeren, Interdepartementale Commissie Geluidhinder, rapport LA-HR-03-01, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Voorburg, 1985

STEPHENSON, N.J., I.D.A. THOMAS, Reduction of Noise from Construction Machines, with Particular Reference to Cooling Systems. Noise Control & Vibration Reduction, vol. 6 nr 2, 1975.

STICHTING BOUWRESEARCH. Bouwlawaaai, lawaaibestrijding bij bouwwerkzaamheden. Samsom N.V., Alphen aan den Rijn, 1970.

STRAATSMA, H., Geluid van machines voor grondverzet, wegenbouw en bouwactiviteiten. ICG-rapport nr LA-HR-02-10, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, DGA, Voorburg, 1988.

TCHORZ, T., Geräuschemission von Fräs- und Hobelwerkzeugen für die Holzbearbeitung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 379, Dortmund, 1984

TCHORZ, T., Lärminderung an Fräs- und Hobelwerkzeugen für die Holzbearbeitung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 435, Dortmund, 1985

TUKKER, J.C., Lawaai en lawaaibeheersing van handgereedschappen. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, ICG-rapport: LA-HR-02-04, Voorburg, 1984.

- TUKKER, J.C., Geluid van perslucht. ICG-rapport nr LA-HR-02-02. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, DGA, Voorburg, 1984.
- TUKKER, J.C., Inventarisatie basiskennis geluidarm construeren, Interdepartementale Commissie Geluidhinder, rapport LA-HR-03-02, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Voorburg, 1984
- WAL, H. VAN DER, A. VON MEIJER, H. WOLTHUIS. Wheel-Loader Noise Control and Implications on Fuel Consumption. Inter-Noise '85. Proceedings p.295-298, Munich, 1985.
- WECK, M., Geräuschemission spanender Werkzeugmaschinen, Wälzfräsmaschinen, Kreissägemaschinen, Schleifmaschinen, Bohrmaschinen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 264, Dortmund, 1981