

3

LAWAAI: invloed van geluid op de mens

3.1 Definitie van lawaai

Lawaai is geluid dat wordt gehoord en dat ongewenst is vanwege zijn effecten. Men kan hierbij denken aan storend, hinderlijk of schadelijk geluid. Hoewel het woord lawaai in onze taal de connotatie heeft van sterk geluid, is dit allerm minst noodzakelijk voor het veroorzaken van hinder of storing. Men kan bijvoorbeeld uit de slaap worden gehouden door een lekkende kraan. Ook een CD-speler met zachte maar herkenbare bijgeluiden kan een bron van ergernis zijn.

Hier is van belang te benadrukken dat men de begrippen geluid en lawaai niet klakkeloos mag verwisselen.

Geluid is het fysische fenomeen. Lawaai is geluid met ongewenste inwerking op de mens.

Kort zullen we aandacht besteden aan inwerkingen van geluid op de mens. We onderscheiden tussen enerzijds leefmilieu, d.w.z. het milieu waarin we wonen en recreëren en anderzijds het werkmilieu.

Geluidhinder en aantasting van de gezondheid zijn de omvangrijkste effecten zowel in het leefmilieu als op de werksplaats. We gaan hier nader op in onder 3.2 en 3.3. Andere effecten spelen met name op de werksplaats een rol. Aantasting van de *veiligheid* treedt op als geluidsignalen worden gemaskeerd, die als waarschuwing zijn bedoeld. Ook misverstanden tengevolge van een verminderde spraakverstaanbaarheid kunnen de veiligheid aantasten. Voorts

is de invloed van geluid op de *concentratie* van belang. Naarmate meer intellectuele inspanning en meer verbale communicatie is vereist, moeten de geluidsniveaus op de werkplek lager zijn. Daarbij geldt vrij algemeen dat door anderen veroorzaakt geluid meer stoort dan het door een medewerker zelf opgewekte geluid.

3.2 Hinder

Hinder is een subjectieve ervaring. Statistisch gezien neemt het aantal gehinderden toe bij toenemende geluidsterkte, maar het optreden van hinder is ook van vele andere factoren afhankelijk. Zo kunnen onregelmatige geluiden iemand uit zijn slaap houden ook al is de geluidsterkte heel laag. Ook is gebleken dat geluid van burens 's-avonds en 's-nachts hinderlijker wordt gevonden dan overdag.

Ten aanzien van de geluidhinder in het leefmilieu in Nederland toont Tabel 3.1 cijfers. Deze zijn afkomstig uit een inventarisatieonderzoek dat gehouden is tussen 1977 en 1980 en waarvan de resultaten zijn gepubliceerd door de Interdepartementale Commissie Geluidhinder (de Jong, 1981). Ook enkele onderzoekresultaten uit 1987 worden in de tabel vermeld (de Jong, 1988). De belangrijkste bronnen van hinder zijn het wegverkeer, woongeluiden en luchtvaart. Respectievelijk 20, 26 en 15 procent van de bevolking ondervindt van deze bronnen ernstige hinder. Onder de belangrijkste individuele bronnen zijn bromfietsen, stofzuigers, personenauto's en vrachtauto's te vinden.

Het gaat hier stuk voor stuk om bronnen die uit onze moderne, veelzins verstedelijkte samenleving niet meer zijn weg te denken. Daarom zijn technische maatregelen onmisbaar om deze geluidhinderpercentages te verminderen.

Tabel 3.1: Percentage van de Nederlandse bevolking ouder dan 15 jaar dat hinder ondervindt van verschillende bronnen (enquête 1977 – 1980 en 1987).

Geluidbron	Enige hinder		Ernstige hinder	
	1977	(1987)	1977	(1987)
Algemeen				
Wegverkeer	48	(60)	20	(20)
Woongeluiden	40	(66)	15	(26)
Luchtvaart	28	(40)	11	(15)
Industrie	8	(15)	3	(3)
Railverkeer	4		1	
Overige	6		1	

De percentages van de enquêtes 1977 – 1980 zijn inmiddels wat verouderd. Zoals te zien is, is voor enkele grote categorieën geluidbronnen de geluidoverlast in 1987 sterk toegenomen. Men houde er rekening mee dat het bij deze cijfers gaat om percentages van de gehele bevolking. Lokaal rond vliegvelden, industrieën, spoorlijnen, wegen, etc. zijn de hinderpercentages belangrijk hoger.

Gegevens over de omvang en de oorzaken van geluidhinder op de arbeidsplaats in Nederland zijn niet zo gedetailleerd beschikbaar. De Interdepartementale Commissie Geluidhinder heeft in 1985 een door TNO verrichte literatuurstudie hierover gepubliceerd (Miedema, 1985). Hierin komt naar voren dat een belangrijk deel van de beroepsbevolking op de werkplek hinder van geluid ondervindt. In de industrie hoort de geluidssituatie, in het algemeen gesproken tot de meest hinderlijke arbeidsomstandigheden. Op kantoren lijken binnenklimaatfactoren meer hinder teweeg te brengen dan geluid. Geluid is op kantoren, in het algemeen, een factor die in belangrijkheid hierna komt.

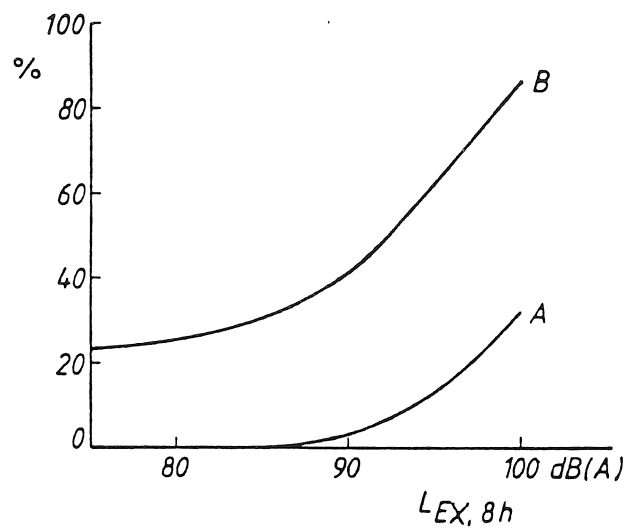
3.3 Gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats

Onder gehoorverlies wordt verstaan een permanente verhoging van de gehoordrempel in vergelijking tot een “normaal” oor. Neemt men als “normaal” de gemiddelde gehoordrempel van gezonde 20-jarigen, dan is er allereerst voor andere personen een met de leeftijd toenemend gehoorverlies.

Daarbij komt er dan voor personen die langdurig aan hoge geluidsniveaus worden blootgesteld, kans op extra gehoorverlies. We bespreken zeer beknopt de omstandigheden en de kans voor het oplopen hiervan. Tevens bespreken we de relatie tussen gehoorschade en een der belangrijkste nare gevolgen, n.l. de handicap in het sociaal verkeer tengevolge van een slechter spraakverstaan. We ontlelen de gegevens vooral aan recente TNO-publicaties (Passchier-Vermeer, 1986; Smoorenburg, 1986; Passchier-Vermeer, 1987). De bespreking heeft tot doel enig begrip te wekken voor de achtergrond van de geldende wettelijke maatregelen om de lawaainiveaus op de arbeidsplaats te beperken.

3.3.1 Kans op gehoorschade

De kans op gehoorschade hangt af van de hoogte van het geluidsniveau en van de totale expositieduur. Men kan deze kans berekenen voor de verschillende frequenties waaruit een toonaudiogram wordt opgebouwd, op basis van statistische gegevens. Men moet hiervoor weten hoe lang en aan welke niveaus personen zijn blootgesteld. Voor de niveaus neemt men het equivalente geluidsniveau A waaraan werknemers gedurende 8 uur per dag, vijf dagen per week, vele jaren achtereen worden blootgesteld. Men noemt dit niveau het lawaaiexpositie-niveau $L_{EX,8h}$ (ISO, DIS 1999/2, 1985; ISO 7029, 1984); zie vgl. (2.30).



Figuur 3.1: Het percentage mensen met een gehoorschade van tenminste 30 dB, gemiddeld over de frequenties 2000 en 4000 Hz en over beide oren, als functie van het geluidexpositieniveau voor:

A: een blootstellingsduur van 10 jaar en een leeftijd van 30 jaar

B: een blootstellingsduur van 40 jaar en een leeftijd van 60 jaar

(Passchier-Vermeer, 1986).

Tabel 3.2 Omvang van de lawaaiproblematiek in de Nederlandse industrie (Passchier-Vermeer, 1988).

Lawaaiexpositieniveau in dB(A)	Percentage werknemers	Aantal werknemers
< 80	50	485.000
80 – 84	18	174.600
85 – 89	22	213.000
90 – 94	7	67.900
95 – 99	2	19.400
≥ 100	1	9.700
totaal	100	970.000 *

* Aantal werkzame personen in de Nederlandse industrie per 1 januari 1988.

Figuur 3.1 geeft de kans op een bepaalde gehoorschade als functie van het lawaaioxpositie-niveau voor een 10- en 40-jarige expositie. De gekozen gehoorschade is daarbij het gemiddelde van de gehoorverliezen in het audiogram bij 2 en 4 kHz (gemiddeld over beide oren) van tenminste 30 dB. Dit voorbeeld is hier gekozen omdat, zoals verderop zal blijken, bij dit gehoorverlies mensen een duidelijke sociale auditieve handicap gaan ondervinden. In een omgeving met achtergrondlawaai hebben ze dan een sterk verminderd spraakverstaan.

Het gehoorverlies waarover figuur 3.1 handelt is ontstaan zowel door veroudering als door lawaai. Het netto-effect door lawaai wordt verkregen door van curve B 23% af te trekken (waarde bij 75 dB(A)) en van curve A 0,2% (d.w.z. praktisch niets). Uit de figuur blijkt dat als een groep van 100 mensen hun gehele arbeidsleven (ca. 40 jaar) in een lawaaioxpositieniveau van 100 dB(A) werkt, er 85 van de 100 mensen een zodanige gehoorschade oploopt dat dit tot een sociale handicap leidt. Voor 90 dB(A) zijn dit er 41. Vermindering van het lawaainiveau van 100 naar 90 dB(A) heeft dus op de lange duur tot gevolg dat het percentage mensen met genoemde gehoorschade daalt van 85 naar 41%. Reductie tot 80 dB(A) betekent op de lange duur een vermindering naar 25%, dus ca. 2% hoger dan voor degenen die niet aan lawaai worden blootgesteld.

3.3.2 De omvang van het probleem in Nederland

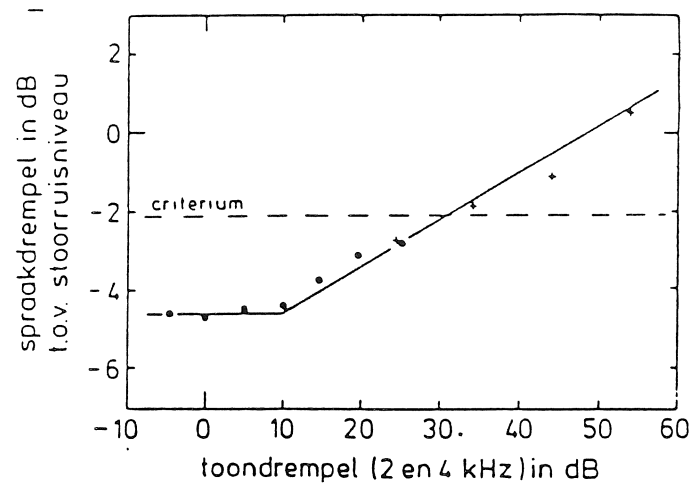
Voor de situatie van de beroepsbevolking in Nederland is eigenlijk alleen voor de industrie een goede schatting beschikbaar. Tabel 3.2 geeft percentages voor expositieniveaus van 80 dB(A) en hoger. Uitgegaan wordt van circa 1 miljoen werknemers in de industrie anno 1988. Circa 50% van alle werknemers (inclusief administratief personeel) werkt in expositieniveaus boven 80 dB(A), circa 32% boven de 85 dB(A), ca. 10% boven de 90 dB(A) en ca. 3% boven 95 dB(A).

Noot: Veronderstel dat de huidige situatie langdurig ongewijzigd blijft. Noem dit situatie A. Veronderstel voor dezelfde werknemers een situatie B waarin geen expositieniveaus boven 85 dB(A) voorkomen. Het aantal op latere leeftijd "slechthorenden" in deze groep vermindert dan met circa 40.000. Als er in situatie B geen niveaus boven 80 dB(A) zouden voorkomen, vermindert dit aantal met circa 65.000 ten opzichte van situatie A (zie ook oefening 3.5.3).

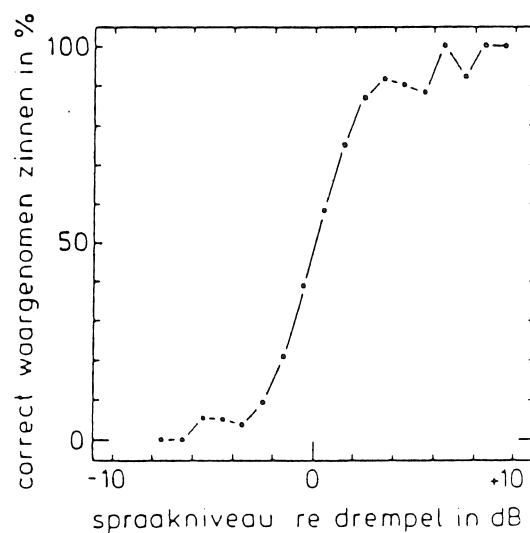
Ook in andere sectoren, zoals de bouwnijverheid, de landbouw en het beroepsgoederenvervoer komen hoge lawaaioxpositieniveaus voor. Voor deze sectoren bestaan echter geen landelijke schattingen van de lawaaioxpositieniveaus en aantallen blootgestelden.

3.3.3 De relatie tussen gehoorschade en sociale handicap

Uit onderzoekingen blijkt dat voor de meeste mensen die een handicap ondervinden door gehoorverlies, deze handicap betrekking heeft op een verminderd spraakverstaan. Wat nu het



Figuur 3.2 Spraakdrempel in stoorniveau als functie van het gehoorverlies, gemiddeld over 2 en 4 kHz. De lijnstukken geven een geïdealiseerde benadering van het verband aan (Smoorenburg, 1986).



Figuur 3.3 Het percentage correct waargenomen zinnen als functie van het spraakniveau. Het spraakniveau waarbij 50% van de zinnen correct wordt waargenomen is per definitie op 0 dB gesteld (Smoorenburg, 1986).

verband betreft tussen lawaaitrauma en achteruitgang in spraakverstaan, leveren de recente studies van onder meer Smoorenburg (1986) en Passchier-Vermeer (1987) het volgende beeld:

- Maatgevend voor het ondervinden van een handicap is vooral de achteruitgang van het spraakverstaan in lawaaiige situaties (aan koffietafels, in openbaar vervoer, in auto's, in openbare gelegenheden, etc.).
- Vroeger heeft men de handicap tengevolge van een lawaaitrauma sterk onderschat omdat slechts werd gelet op het spraakverstaan in stilte.

In ISO 1999 (1975) werd een criterium van 25 dB gehoorverlies, gemiddeld over 0,5, 1 en 2 kHz (de Fletcher-index), gehanteerd voor het bezitten van een merkbare handicap. Dit criterium betekent bij lawaaitraumata een verlies van ongeveer 65 dB gemiddeld over 2 en 4 kHz.

Echter bij een gehoorverlies van 30 dB gemiddeld over 2 en 4 kHz is er reeds een merkbare handicap ten aanzien van spraakverstaan in lawaaiige omstandigheden. Bij 65 dB verlies is men in dergelijke omstandigheden zeer ernstig gehandicapt. Aan de hand van enige experimentele resultaten van Smoorenburg (1986) zullen we de handicap in lawaaiige situaties kort toelichten met behulp van de figuren 3.2 en 3.3.

Figuur 3.2 toont het verband tussen resultaten van toonaudiometrie en spraakaudiometrie voor 400 oren van mensen die in hun werk aan lawaai zijn blootgesteld. De toondrempel welke langs de horizontale as staat is de gemiddelde gehoordrempelverhoging voor tonen bij 2 en 4 kHz ten opzichte van "standaard" gezonde oren (ISO 7029, 1984). De spraakdrempel behorend bij de verticale as is bepaald door proefpersonen series korte zinnen te laten herhalen onder gelijktijdige aanbieding van stoornis met verschillende sterkten en met een spectrum dat representatief is voor spraak. De spraakdrempel is per definitie het niveau van het spraaksignaal waarbij 50% van de zinnen foutloos wordt nagezegd. Het blijkt nu dat voor stoornisniveaus tussen 50 en 80 dB(A) het verschil tussen spraakdrempel en stoornisniveau invariant is voor het stoornisniveau, maar wel afhangt van de toondrempel. Uit de figuur blijkt dat voor mensen met toondrempels van 10 dB of minder de spraakdrempel 4,5 dB onder het stoornisniveau ligt.

Figuur 3.3 toont het percentage correct nagezegde zinnen als functie van het spraakniveau. Uit deze figuur valt af te leiden hoezeer in lawaaiige situaties eigenlijk *elke dB* verschuiving in de spraakdrempel zeer belangrijk is. In lawaaiige situaties komt het spraakniveau vaak niet boven het lawaainiveau uit. Reeds bij een lawaainiveau van 68 dB(A) blijken spraakniveaus op 1 meter van de spreker onder de lawaainiveaus te blijven. De spraakdrempels liggen echter, blijkens figuur 3.2 in de buurt van het lawaainiveau. Figuur 3.3 laat zien dat rond het drempelniveau (0 dB in de figuur) elke dB verlaging van het spraakniveau (of elke dB verhoging van de drempel bij gelijkblijvend spraak- en lawaainiveau) gepaard gaat met een verlaging van de zinsverstaanbaarheid van 18%.

In situaties waarin een normaalhorende nog 90% van alle zinnen goed verstaat (spraakniveau ongeveer 3 dB boven de drempel, dus ongeveer 1,5 dB onder het lawaainiveau) verstaat de slechthorende met een spraakdrempelverhoging van 5 dB (toondrempel circa 60 dB, zie 3.2) slechts ongeveer 10% van de zinnen.

Op grond van bovengenoemde studies kan berekend worden in welke mate voor de mensen die tijdens hun werk aan lawaai worden blootgesteld de kans op een auditieve handicap toeneemt in vergelijking tot niet aan sterk lawaai blootgestelde mensen. Er wordt dan uitgegaan van 2,5 dB verhoging van de spraakdrempel (correspondeert met toondrempel van 30 dB gemiddeld voor 2 en 4 kHz) als criterium voor een merkbare handicap. Gevonden wordt dan dat het percentage auditief gehandicapten in het eindstadium (50- tot 70-jarigen) met 10 toeneemt bij een dagelijkse expositie van lawaai van 86 dB(A). Voor 40-jarigen ligt de toename van dit percentage iets lager. Gaan we uit van een toelaatbare toename van het percentage gehandicapten op latere leeftijd van slechts 5%, dan is het toelaatbare niveau 82,5 dB(A). Deze bevindingen ondersteunen de soms aangevochten stelling dat de in Nederland geldende grenswaarde van 85 dB(A) niet overdreven streng is.

3.4 Wetgeving, richtlijnen

Er zijn in Nederland diverse wetten en regels van kracht waarmee het geluidhinderprobleem kan worden aangepakt. Het geven van een overzicht hiervan valt buiten het bestek van dit college.

We beperken ons hier tot het kort aangeven van die wetten waarmee de constructeurs van werktuigbouwkundige “toestellen” vooral te maken kunnen krijgen. Dit zijn:

1. de Wet geluidhinder;
2. de Hinderwet;
3. De Arbeidsomstandighedenwet (ARBO-wet)

3.4.1 Wet geluidhinder

De Wet geluidhinder heeft betrekking op omgevingsgeluid. De wet is bedoeld om gevaar, schade en hinder door geluid te beperken of te voorkomen. Om dat te bereiken wijst deze wet drie soorten van maatregelen aan: bestrijding van geluid aan de bron, maatregelen in het gebied tussen de bron en de geluidgevoelige gebouwen in de buurt, en geluidwerende voorzieningen aan de gebouwen die met lawaai worden belast.

Bij “bronbestrijding” gaat het om voorschriften voor de maximale geluidproduktie van machines en apparaten, van grote industriële en recreatie-bedrijven en van wegen. Elk nieuw type auto, motor, autobus, vrachtwagen en bromfiets moet een typekeuring ondergaan, waarbij ondermeer aan een grenswaarde voor geluid moet worden voldaan. Verder zijn er geluidemissie-eisen voor bouwmaschinen zoals stroomaggregaten, sloophamers en motorcompressoren. De huidige

ontwikkeling is dat voor steeds meer bronnen via de Wet geluidhinder EEG-eisen van kracht worden. Deze zijn aanvankelijk “vrij slap” maar worden in de toekomst stapsgewijs strenger.

3.4.2 Hinderwet

Het doel van de Hinderwet is het voorkomen en beperken van gevaar, schade en hinder (dus óók geluidhinder) van bedrijven voor hun omgeving. Om dit doel te bereiken kent deze wet een vergunningplicht voor een groot aantal zeer uiteenlopende soorten bedrijven. Zonder zo'n vergunning mogen deze bedrijven niet beginnen, uitbreiden of wijzigen of zelfs maar bouwen als de omgeving door de bedrijfsvoering in enigerlei vorm gevaar, schade of hinder zou kunnen ondervinden.

Aan een hinderwetvergunning kunnen voorschriften worden verbonden, die bijvoorbeeld heel precies voorschrijven welke technische maatregelen men moet treffen om geluidoverlast te vermijden of te beperken.

3.4.3 Arbeidsomstandighedenwet

De ARBO-wet is bedoeld om de veiligheid van werknemers te verzekeren, de gezondheid te beschermen en het welzijn te bevorderen. Dat betekent dat op basis van deze wet ook lawaai op het werk kan worden bestreden. De ARBO-wet geldt voor het hele bedrijfsleven en voor het grootste deel van de werknemers in overheidsdienst.

De ARBO-wet is een zogenaamde raamwet. Het Veiligheidsbesluit voor Fabrieken of Werkplaatsen is een besluit op grond van de ARBO-wet. In dit besluit zijn concrete regels opgenomen voor lawaai op de arbeidsplaats:

- bij blootstelling aan equivalente geluidniveaus vanaf 80 dB(A) (middeling over 40-urige werkweek) moet de werkgever gehoorbeschermingsmiddelen ter beschikking stellen;
- bij equivalente geluidniveaus vanaf 90 dB(A) zijn de werknemers verplicht de ter beschikking gestelde gehoorbeschermingsmiddelen te dragen;
- bij equivalente geluidniveaus boven de 85 dB(A) moet de werkgever technische maatregelen nemen om het niveau terug te brengen tot maximaal 85 dB(A) tenzij zulks redelijkerwijze niet kan worden gevergd.

De niveauwaarden die hierboven zijn genoemd zijn in 1987 van kracht geworden.

De controle op de naleving van voornoemde regels is in handen van de Arbeidsinspecties.

De procedures voor meting en beoordeling van schadelijk lawaai op de arbeidsplaats, zijn beschreven door Tukker (1983).

Richtlijnen

Hoewel de wet de mogelijkheid schept om grenswaarden te stellen voor “hinderlijk geluid” op de arbeidsplaats, zijn deze er niet in Nederland. Om zich te oriënteren kan men echter onder

meer gebruik maken van buitenlandse richtlijnen (VDI 2058, (1981); Heckl, Müller, 1975), waarin immissieniveaus staan. Met behulp van ruimte-akoestische betrekkingen (zie hfdst. 5) kan men gewenste maximale emissieniveaus afleiden.

3.5 Vragen

- 3.5.1 *a* Wat is de reden dat men vroeger de sociale handicap tengevolge van een lawaai-trauma sterk heeft onderschat?
- b* Bij welk gehoorverlies ten opzichte van een “normaal” oor gaat zo’n handicap optreden? (niveau, frequenties)
- c* Hoe groot is het percentage ouderen dat zo’n handicap heeft zonder dat ze zijn blootgesteld aan sterk lawaai (ouderdomsslechthorendheid)?
- 3.5.2 *a* Onder welke Nederlandse wet zijn er geluidemissie-eisen voor motor-compressoren van kracht?
- b* Wat is het equivalente geluidniveau waarboven werkgevers technische maatregelen moeten treffen?
- 3.5.3 In § 3.3.2 is in de noot geponeerd dat het aantal gehoor-gehandicapten in Nederland op den duur met 40.000 afneemt, als er in de industrie geen lawaaiexpositieniveaus boven de 85 dB(A) voorkomen. Toon aan dat dit een redelijke schatting is. Gebruik figuur 3.1 en tabel 3.2.

BASISKENNIS GELUIDARM CONSTRUEREN

4 GELUIDOPWEKKING EN VERMINDERING

4.1	Inleiding	4-01
4.2	Luchtgeluidopwekking	4-02
4.2.1	Brontypen	4-03
4.2.2	Mechanische verdringing	4-04
4.2.3	Stroming	4-05
4.3	Vermindering van luchtgeluidopwekking	4-09
4.4	Constructiegeluidopwekking	4-012
4.4.1	Traagheidskrachten	4-012
4.4.2	Impulsvormige krachten	4-014
4.4.3	Ongelijkmatige krachtwerkingen	4-016
4.4.4	Stroming	4-016
4.4.5	Zelfexcitatie bij wrijving	4-017
4.5	Vermindering van constructiegeluidopwekking	4-017
4.5.1	Traagheidskrachten	4-017
4.5.2	Impulsvormige krachten	4-017
4.5.3	Ongelijkmatige krachtwerkingen	4-018
4.5.4	Zelfexcitatie bij "stick-slip"	4-018
4.6	Vloeistofgeluidopwekking	4-019
4.6.1	Het ontstaan van cavitatie	4-019
4.6.2	Cavitatiegeluid	4-020
4.7	Vermindering van vloeistofgeluidopwekking	4-021
4.8	Vragen en oefeningen	4-021

