Bijlage 2 - Reken- en meetvoorschrift windturbines

Zoals geldig op 31-12-2023 als Bijlage 4 bij de Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 3

2 STANDAARDMEETMETHODE 5
2.1 Principe van de meting 5
2.2 Apparatuur 5
2.3 Meetprocedure 6
2.3.1 Geluidsmetingen 6
2.3.2 Windsnelheid op ashoogte 9
2.3.3 Windsnelheid ten behoeve van achtergrondgeluidcorrectie 9
2.3.4 Windrichting, temperatuur en luchtdruk 9
2.4 Verwerking van de meetgegevens 9
2.4.1 Correctie windsnelheid op ashoogte 9
2.4.2 Correctie voor stoorgeluid 10
2.4.3 Bepaling windsnelheidsafhankelijk geluidsvermogen 10
2.4.4 Bepaling van de correctiefactor voor de richtwerking (optioneel) 11
2.5 Geluidsvermogen bij windsnelheden hoger dan V_{rated} 11
2.6 Handhaving 11

3 STANDAARDREKENMETHODE 13
3.1 Principe van de berekening 13
3.2 Beschrijving van de bron 13
3.3 De basisformules 14
3.4 De emissieterm L_E 15
3.4.1 De berekening 15
3.4.2 Bepaling van de bronsterkte 15
3.4.3 Bepaling windsnelheidsverdeling 15
3.4.4 Bijzondere situaties 16
3.5 De geometrische uitbreidingsterm D_{geo} 16
3.6 De luchtdemping D_{lucht} 16
3.7 De term D_{refl} 16
3.8 De schermwerking D_{scherm} 19
3.8.1 Eisen aan afschermende objecten 19
3.8.2 Schematiseren van objecten tot scherm 19
3.8.3 Berekening D_{scherm} 20
3.9 De term D_{veg} 26
3.10 De term $D_{terrein}$ 26
3.11 De bodemdemping D_{bodem} 27
3.11.1 Geometrie 28
3.11.2 Aard van de bodem 28
3.11.3 Berekening van D_{bodem} 29
3.12 Dempingsterm voor woongebieden D_{huis} 31
3.13 De meteocorrectieterm C_{meteo} 31

4 CUMULATIE MET ANDERE BRONNEN 32

5 DEFINITIES 32
5.1 Symbolen 32
5.2 Begrippen 35

1 INLEIDING

Het voorliggende reken- en meetvoorschrift beschrijft de methode om de geluidsbelasting in de omgeving ten gevolge van windturbines en windturbineparken te bepalen. Het voorschrift is in eerste instantie bedoeld voor moderne, hoge windturbines, maar is in principe geschikt voor alle windturbines met horizontale as. Er gelden geen beperkingen met betrekking tot de bronhoogte, de afstand tussen bron en ontvanger, het aantal windturbines, of de technische uitvoering daarvan.

Aanleiding voor het uitbrengen van deze regeling is de wijziging van het beoordelingssysteem. Bij het voorgaande stelsel gold het langtijdgemiddelde beoordelingsniveau $L_{Ar,lt}$ in de dag-, avond- en nachtperiode als dosismaat en waren de normen gebaseerd op het Activiteitenbesluit c.q. de Handreiking industrielawaai en vergunningverlening. De exacte normering was afhankelijk van de Windnormcurve, waarbij de grenswaarde afhankelijk werd gesteld van de windsnelheid op 10 meter hoogte. Uit diverse onderzoeken is echter gebleken dat die beoordelingssystematiek geen goede indicator is voor hinderbeleving, vooral bij hoge windturbines. Bij het nieuwe beoordelingssysteem wordt overgegaan op de Europese dosismaten L_{den} en L_{night}. Bij deze systematiek wordt de geluidsbelasting op de beoordelingspunten gemiddeld over alle etmaal-, respectievelijk nachtperioden van een jaar.

Tevens bleek dat de gangbare extrapolatiemethode voor de bepaling van de windsnelheid op ashoogte, van belang voor het kunnen vaststellen van de geluidproductie, vooral in de nachtelijke periode tot een te lage waarde leidt. Ten gevolge van de zwakkere koppeling tussen luchtlagen kan ´s nachts op ashoogte van moderne turbines een verrassend hoge winsnelheid optreden. De daarmee gepaard gaande hogere geluidsemissie werd onvoldoende in de berekeningen meegenomen. In de hier beschreven reken- en meetmethode wordt aangegeven op welke wijze de emissie van de turbine of turbines, op meer representatieve wijze, afhankelijk van de windstatistiek op ashoogte bepaald wordt. Voorts wordt een rekenwijze beschreven waarin het effect van de statistische verdeling van de windrichting en –snelheid voor de overdracht van het geluid verdisconteerd is.

Het voorschrift omvat een standaardmeetmethode om de windsnelheidsafhankelijke geluidsemissie van windturbines te bepalen indien deze gegevens niet reeds bekend zijn en een standaardrekenmethode, waarmee de geluidsbelasting in de omgeving wordt berekend. Er wordt geen immissiemeetmethode aangereikt. De mogelijkheid om L_{den} door controlemetingen bij geluidsgevoelige bestemmingen vast te stellen, vervalt dus. Hiertoe zouden metingen moeten worden verricht bij alle mogelijke meteorologische omstandigheden, wat praktisch gezien niet goed uitvoerbaar is.

Het voorschrift is uitsluitend gericht op equivalent geluid; piekgeluiden zijn bij windturbines niet relevant. De regeling biedt verder geen mogelijkheden om een toeslag toe te kennen voor tonaal of impulsachtig geluid. Het karakteristieke geluid van windturbines is immers meegenomen bij de normstelling.

<u>Standaardmeetmethode</u>

De geluidsemissie van windturbines is afhankelijk van de windsnelheid ter hoogte van de as van de rotor. Voor de exacte bepaling van de jaargemiddelde situatie is het daarom van belang om emissiegegevens te verwerven, behorende bij een groot aantal verschillende windsnelheden.

De windbranche is sterk internationaal georiënteerd. Om uitwisseling van gegevens te vergemakkelijken, sluit de standaardmeetmethode goed aan bij de wijdverbreide norm NEN-EN-IEC-61400 deel 11 (2002). De belangrijkste verschillen met deze norm zijn:

- Het te bemeten windsnelheidsgebied wordt uitgebreid van 6-10 m/s op 10 meter hoogte tot alle relevante snelheden op ashoogte.
- Het geluidsvermogen wordt gerelateerd aan de windsnelheid op ashoogte in plaats van op de standaardhoogte van 10 meter.

Om de volgende redenen vormen deze verschillen in de praktijk geen belemmering voor het gebruik van door de leverancier opgegeven geluidsspecificaties:

- Gewoonlijk hebben leveranciersgegevens betrekking op een uitgestrekter windsnelheidsgebied dan in de IEC norm is voorgeschreven.
- Het op 10 meter hoogte betrokken geluidsvermogen kan foutloos worden geëxtrapoleerd naar ashoogte, mits de windsnelheid is gemeten conform de vermogenscurve methode. Dit is vrijwel altijd het geval.

Standaardrekenmethode

Voor wat betreft de overdrachtsberekeningen is zo veel mogelijk aansluiting gezocht bij de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai, uitgave 1999 van het Ministerie van VROM. Methode II.8, die de verzwakkingstermen bij gunstige overdrachts-omstandigheden beschrijft, is (behoudens enkele tekstuele aanpassingen) integraal overgenomen.

De meteocorrectie, die geen onderdeel uitmaakt van methode II.8, is wel gewijzigd. De reden hiervoor is dat de verdeling van de windrichting over de windroos niet symmetrisch is. In Nederland is het zuidwesten de overheersende windrichting. Deze windrichting komt niet alleen het meest voor, maar ook de krachtigste winden komen uit die windstreek. Bij overdracht over grote afstanden is gemiddelde overdrachtsdemping in noordoostelijke richting hierdoor lager dan in andere richtingen. Bij andere bronnen dan windturbines (wegen, spoorwegen, industrieterreinen) is dit effect zo klein dat het wordt verwaarloosd. Bij vrijwel alle windturbines neemt de geluidsproductie echter sterk toe met de windsnelheid en doordat de krachtigste winden uit het zuidwesten komen, bestaat er een correlatie tussen geluidsproductie en overdrachtsrichting. Dit leidt er toe dat het effect van een verhoogde geluidsbelasting in noordoostelijke richting wordt versterkt. In geval van windturbines is de asymmetrische verdeling van de windrichting verdisconteerd door meteocorrectieterm afhankelijk te stellen van de richting van de ontvanger ten opzichte van de bron. Het effect hiervan treedt in werking bij grote afstanden tussen windturbine en ontvanger.

2 STANDAARDMEETMETHODE

2.1 Principe van de meting

Het doel van de meting is het bepalen van het geluidsvermogen per octaafband als functie van de windsnelheid op ashoogte. Ter bepaling van het jaargemiddelde geluidsvermogen dient de geluidsemissie bij een uitgestrekt windsnelheidsgebied te worden gemeten.

De geluidsmetingen worden verricht in asrichting, benedenwinds van de turbine (referentierichting). In andere richtingen dan de referentierichting is de geluidsuitstraling van windturbines doorgaans lager. Daarom wordt een (optionele) procedure geboden om een correctiefactor voor de richtwerking vast te stellen. Deze factor is relatief ten opzicht van het in referentierichting uitgestraalde geluidsvermogen.

De windsnelheid op ashoogte wordt afgeleid uit het gemeten elektrisch vermogen van de turbine. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de vermogenscurve van de turbine. Deze curve geeft de relatie tussen de windsnelheid op ashoogte en het opgewekte elektrische vermogen. Deze methode is nauwkeuriger dan het extrapoleren van de windsnelheid, gemeten op relatief lage hoogte (bijvoorbeeld 10 meter).

De geluidsmetingen worden verricht op betrekkelijk korte afstand van de turbine. Om verstoring met stromingsgeluid rond de microfoon en variërende bodemeffecten te voorkomen wordt de microfoon op een vlakke reflecterende plaat bevestigd, zodat er bij elke frequentie sprake is van drukverdubbeling en dus 6 dB toename van het geluidsniveau.

De resultaten van de geluidmetingen worden aangevuld met meteorologische data en met gegevens die door de exploitant van de turbine geleverd dienen te worden, zoals het opgewekte elektrische vermogen en de oriëntatie van de as van de turbine ten opzichte van de heersende windrichting.

2.2 Apparatuur

Bij de geluidsmetingen wordt de volgende apparatuur gebruikt:

a) Een rondomgevoelige microfoon met een diameter van ten hoogste 1/2”.
b) Een instrument waarmee de A-weging kan worden uitgevoerd.
c) Een integrerende octaafbandanalysator.
d) Een akoestische ijkbron, die geschikt is voor het gebruikte type microfoon.
e) Een ronde geluidsreflecterende plaat met een diameter van minstens 1 meter, vervaardigd van akoestisch hard materiaal; bijvoorbeeld 12 mm multiplex.
f) Een voorziening om windgeruis te onderdrukken zonder daarbij het resultaat te beïnvloeden; bijvoorbeeld de helft van een akoestische windbol.

De functionaliteit van de onder b) en c) genoemde instrumenten is meestal samengevoegd in één apparaat. De meetketen dient te voldoen aan de relevante specificaties voor klasse 1 apparatuur van de NEN-EN-IEC-publicatie 61672 en de octaafbandfilters aan NEN-EN-IEC 61260. De akoestische ijkbron voldoet aan de norm voor klasse 1 apparatuur conform NEN-EN-IEC 60942. De specificaties van de instrumentatie dienen minstens iedere twee jaar te worden gecontroleerd.

De meteorologische toestand wordt als volgt geregistreerd:

g) Windsnelheid met een nauwkeurigheid van 0,2 m/s bij windsnelheden van 1 tot 15 m/s.
h) Windrichting met een nauwkeurigheid van 6°.
i) Luchtdruk met een nauwkeurigheid van 1 kPa.
j) Temperatuur met een nauwkeurigheid van 1°C.

2.3 Meetprocedure

2.3.1 Geluidsmetingen

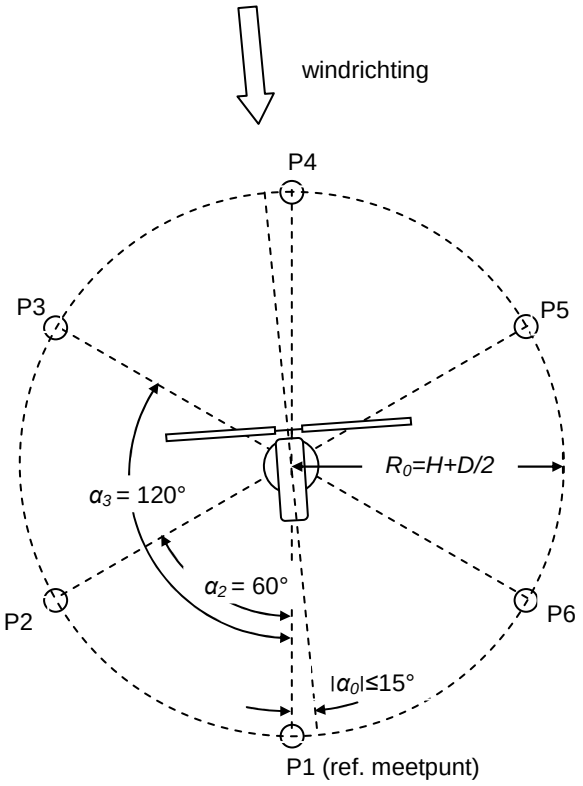
Meetposities en meetopstelling

Het geluidniveau ten gevolge van de turbine wordt op één verplichte positie en optioneel op 6 posities bepaald. De optionele meetpunten zijn gelijkmatig verdeeld over een cirkel met straal R_0, zoals aangegeven in figuur 2.1 en 2.2. Hierbij stelt R_0 de horizontale afstand voor tussen het meetpunt en de verticale hartlijn van de turbinemast. Deze afstand is circa:

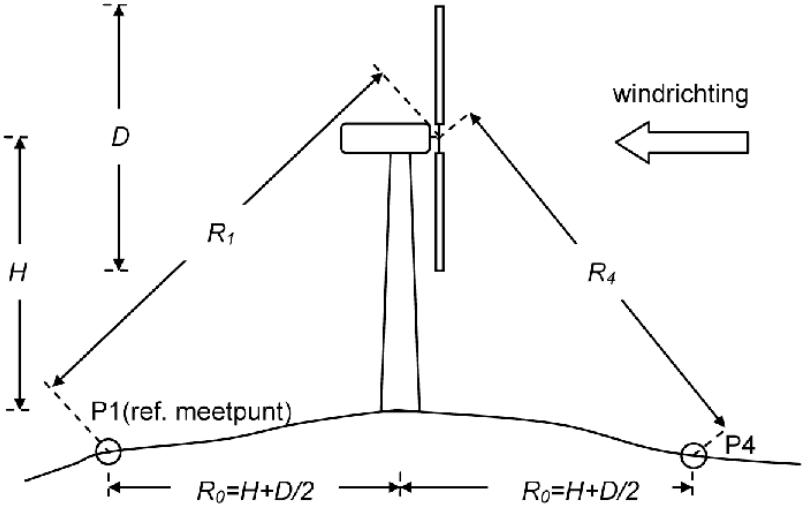
2.1) $R_0=H+D/2$, met

H de verticale afstand tussen het maaiveld en de ashoogte;
D de diameter van de rotor.

Het verplichte referentiemeetpunt P1 bevindt zich benedenwinds van de windturbine en dient ter bepaling van het geluidsvermogen van de turbine. De meetpunten P2 t/m P6 worden gebruikt bij de vaststelling van de correctiefactor voor de richtwerking van de turbine (optioneel). Tijdens de metingen dient de as van de rotor parallel te zijn met de op ashoogte heersende windrichting. Verder mag de richting van de as P1-P4 tot ±15° afwijken v an de heersende windrichting.



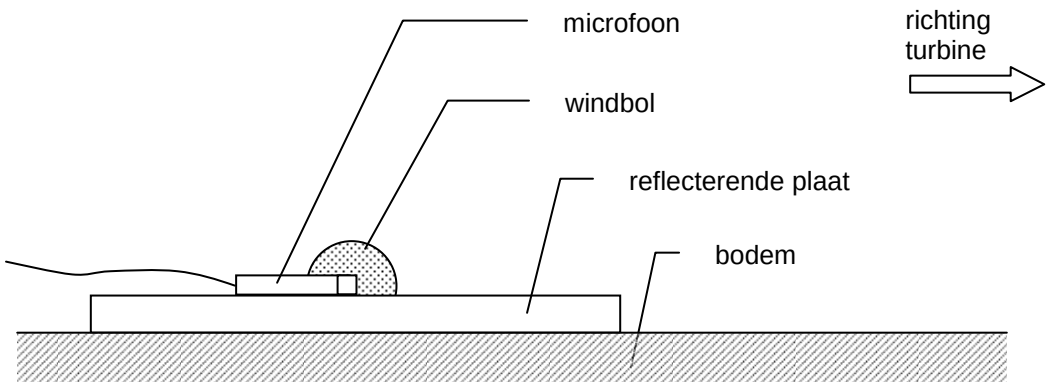
figuur 2.1 bovenaanzicht van de geluidmeetposities



figuur 2.2 schematische weergave meetposities P1 (benedenwinds) en P4 (bovenwinds); doordat het middelpunt van de rotor niet samenvalt met het middelpunt van de mast zullen R_1 en R_4 (in geringe mate) verschillen.

De directe omgeving van de meetpositie en het gebied tussen de microfoon en de windturbine dient vrij te zijn van obstakels die van invloed zijn op het resultaat.

Bij de metingen is de microfoon op de reflecterende plaat bevestigd met de hartlijn van de microfoon gericht op de windturbine, zoals aangegeven in figuur 2.3. Hierbij sluit de reflecterende plaat goed aan op de bodem.



figuur 2.3 weergave van de meetopstelling

Meetcondities

Bij dichte mist of neerslag mag niet worden gemeten.

Voor en na iedere serie metingen dient het meetsysteem te worden gekalibreerd met een akoestische ijkbron. Bij langdurige metingen dient het meetsysteem ook tussentijds te worden gekalibreerd. Indien blijkt dat de kalibratiewaarden meer dan
0,5 dB afwijken van de initiële waarden, zijn de meetresultaten niet geldig.

Periodes waarin sprake is van stoorgeluid met een discontinu karakter (zoals incidentele voertuigpassages, vogels, vliegtuigen) worden niet meegenomen in de analyse. Wanneer er sprake is van stoorgeluid van continue aard (zoals windgeruis) wordt hiervoor gecorrigeerd.

Metingen ter bepaling van het windsnelheidsafhankelijke geluidsvermogen

De metingen ter bepaling van het windsnelheidsafhankelijke geluidsvermogen van de windturbine worden uitgevoerd op meetpunt P1. Bij de metingen worden de equivalente A-gewogen octaafbandspectra met middenfrequenties van 31,5 tot 8000 Hz vastgesteld over periodes met een duur van minimaal 1,0 minuut.
De metingen dienen te worden uitgevoerd bij windsnelheden op ashoogte (V_H) die variëren tussen V_{ci} tot 95% van V_{rated}. Hier wordt onder verstaan:
V_{ci} laagste windsnelheid waarbij de turbine in bedrijf is (cut in snelheid);
V_{rated} windsnelheid, waarbij de turbine juist het nominale vermogen levert.

Bij iedere gehele waarde van de windsnelheid V_H dienen binnen een marge van
±0,5 m/s minstens drie metingen te worden verricht. De totale meetset bedraagt ten minste 30 metingen van minimaal 1,0 minuut.

Om voldoende gegevens te verkrijgen bij alle relevante windsnelheidscondities kan het noodzakelijk zijn om meerdere meetsessies te organiseren. Bij controlemetingen ten behoeve van handhaving kan het meetprogramma echter worden ingeperkt, zie paragraaf 2.6.

Rondommetingen ter bepaling van de richtingsindex (optioneel)

Ter bepaling van de richtingsindex van de windturbine worden simultaan metingen verricht op de meetpunten P1 tot en met P6. Volstaan wordt met de bepaling van het equivalente totale A-gewogen geluidsniveau ten gevolge van de windturbine. De meetserie bestaat uit ten minste 10 metingen per positie met een duur van ieder minimaal 1,0 minuut. De windsnelheid op ashoogte ligt tijdens de metingen tussen 0,75 V_{rated} en 0,95 V_{rated}.

Geluidsmetingen ter bepaling van stoorgeluid

De stoorgeluidcorrectie geschiedt op basis van metingen van het achtergrondgeluid bij uitgeschakelde windturbine. Tijdens de achtergrondmetingen dienen geluidmeetpositie, meetopstelling en omstandigheden overeen te komen met de situatie bij ingeschakelde turbine. Het bereik van de te bemeten windsnelheden moet overeenstemmen met de windtoestand op die hoogte bij ingeschakelde turbine.

2.3.2 Windsnelheid op ashoogte

De windsnelheid op ashoogte wordt afgeleid van het opgewekte elektrisch vermogen en de vermogenscurve van de installatie. De vermogenscurve moet zijn vastgesteld volgens een gangbare en controleerbare richtlijn. De periodes waarover het gemiddelde vermogen wordt vastgesteld, hebben een duur van 1,0 minuut en vallen samen met die van de geluidsmetingen.

Bij sommige windturbines kan de geluidsemissie softwarematig worden gestuurd door het verlagen van het rotortoerental (geluidsmodus). Het rendement is dan wel lager dan bij het toerental dat voor energieopwekking het meest optimaal is. Voor een geluidsmodus geldt daardoor een afwijkende vermogenscurve. Vanzelfsprekend dient de te hanteren vermogenscurve betrekking te hebben op de modus die tijdens de metingen is ingesteld.

Alternatieve methoden ter bepaling van de windsnelheid op ashoogte kunnen worden toegepast, indien wordt aangetoond dat de nauwkeurigheid ervan gelijkwaardig is aan of beter is dan de vermogenscurve methode. Het afleiden van de windsnelheid op ashoogte uit metingen op relatief lage hoogte (bijvoorbeeld 10 meter) is onvoldoende nauwkeurig, tenzij sprake is van een kleine windturbine, waarvan de ashoogte lager is dan 20 meter.

2.3.3 Windsnelheid ten behoeve van achtergrondgeluidcorrectie

Ter bepaling van de correctie voor stoorgeluid wordt de windsnelheid (V_A) gemeten op een afstand van 2*D* bovenwinds van de turbine, zowel bij ingeschakelde als bij uitgeschakelde turbine. Hierbij wordt een hoogte aangehouden van 5 tot 10 meter boven het plaatselijke maaiveld. De periodes waarover de gemiddelde windsnelheid wordt bepaald, komen overeen met die van de geluidsmetingen.

2.3.4 Windrichting, temperatuur en luchtdruk

Informatie over de windrichting op ashoogte, de oriëntatie van de rotoras ten opzichte van de wind, temperatuur en luchtdruk kan worden overgenomen van het informatiesysteem van de turbine. Als alternatief kunnen de metingen worden uitgevoerd op de in paragraaf 2.3.3 aangegeven positie.

2.4 Verwerking van de meetgegevens

2.4.1 Correctie windsnelheid op ashoogte

In het algemeen is de vermogenscurve genormeerd op standaard atmosferische omstandigheden (veelal p_{ref} = 101,3 kPa en T_{ref} = 288°K). Bij grote afwijkingen ten opzichte van d e standaardcondities worden de met behulp van de vermogenscurve afgeleide windsnelheden gecorrigeerd voor de energie-inhoud van de heersende wind volgens:

2.2) $$V_H = V_D\left(\frac{p_{ref}T}{pT_{ref}}\right)^{1/3}$$, waarbij

V_H gecorrigeerde windsnelheid op ashoogte in m/s;
V_D windsnelheid, afgeleid van de power curve in m/s;
p_{ref} referentie luchtdruk;
T_{ref} referentie luchttemperatuur;
p luchtdruk in kPa;
T luchttemperatuur in K.

2.4.2 Correctie voor stoorgeluid

Het niveau van het stoorgeluid L_{stoor} wordt berekend op basis van achtergrondmetingen op het betreffende geluidmeetpunt bij uitgeschakelde turbine. Hiertoe worden de geluidsniveaus op P1 (of P1-P6) uitgezet tegen de windsnelheid, gemeten op de in paragraaf 2.3.3 aangegeven posistie. Vervolgens worden de coëfficiënten bepaald van het tweede graads polynoom dat zo goed mogelijk aansluit bij de meetwaarden.

2.3) $$L_{stoor}(V_A) = a_0 + a_1 V_A + a_2 V_A^{\,2}$$

V_A windsnelheid op 5 tot 10 meter hoogte boven het maaiveld, gemeten op een afstand van 2*D* bovenwinds van de turbine

De 1-minuutgemiddelde geluidsniveaus, gemeten bij ingeschakelde turbine worden vervolgens gecorrigeerd voor stoorgeluid met:

2.4) $$L_{eq} = 10\lg\left[10^{L_{eq}*/10} - 10^{L_{stoor}/10}\right]$$, waarbij

L_{eq} geluidsniveau ten gevolge van de turbine;
L_{eq}* geluidsniveau ten gevolge van de windturbine inclusief stoorgeluid;
L_{stoor} niveau van het stoorgeluid, berekend met de op dat moment heersende windsnelheid (V_A) volgens formule 2.3.

Ten behoeve van de geluidsvermogensbepaling geschiedt stoorgeluidcorrectie met formule 2.3 en 2.4 per octaafband. Bij het bepalen van de correctiefactor voor de richtwerking kan worden volstaan met correctie van totale A-gewogen niveaus. Het stoorgeluidsniveau L_{stoor} wordt beperkt tot een waarde die ten minste 3,0 dB onder het niveau bij ingeschakelde turbine ligt.

2.4.3 Bepaling windsnelheidsafhankelijk geluidsvermogen

De op P1 gemeten octaafbandniveaus bij ingeschakelde turbine worden uitgezet tegen de windsnelheid op ashoogte. Vervolgens wordt per octaafband de best passende derde graads polynoom berekend van de relatie tussen het geluidniveau in de betreffende octaafband en de gecorrigeerde windsnelheid op ashoogte V_H:

2.5) $$L_{eq,i}(V_H) = b_{0,i} + b_{1,i} V_H + b_{2,i} V_H^{\,2} + b_{3,i} V_H^{\,3}$$

i 1,2…9 (31,5, 63…8000 Hz)

Hieruit worden vervolgens bij iedere gehele waarde van de windsnelheid in m/s op ashoogte in het bereik van V_{ci} tot en met V_{rated} de equivalente octaafbandniveaus $L_{eq,i,j}$ berekend.

Het geluidsvermogen per octaafband wordt vervolgens berekend met:

2.6) $$L_{W,i,j} = L_{eq,i,j} - 6 + 10\lg\left(4\pi R_1^{\,2}\right) = L_{eq,i,j} + 5 + 20\lg R_1$$, waarbij

$L_{W,i,j}$ geluidsvermogen per octaafband *i* en per windsnelheidsklasse *j*
R_1 afstand tussen meetpunt P1 en het middelpunt van de rotor, zoals aangegeven in figuur 2.
j integer, gelijk aan de windsnelheid in m/s vanaf V_{ci} tot en met V_{rated}
6 correctie voor drukverdubbeling als gevolg van meting op reflecterende plaat

2.4.4 Bepaling van de correctiefactor voor de richtwerking (optioneel)

Voor iedere meetwaarde op meetpunt *k* (*k* = 1,2,…6) wordt het verschil bepaald met het niveau dat simultaan is geregistreerd op referentiepositie P1. Hierbij wordt als volgt rekening gehouden met het verschil in afstand tot het middelpunt van de rotor:

2.7) $$\Delta L_k = L_{Aeq,k} - L_{Aeq,1} + 20 \lg\left[\frac{R_k}{R_1}\right]$$, waarbij

ΔL_k richtingsindex in dB op meetpunt *k,* relatief ten opzichte van het referentiemeetpunt
$L_{Aeq,k}$ gemeten equivalente geluidsniveau in dB(A) op meetpunt met index *k*
R_k afstand van meetpunt met index *k* tot het middelpunt van de rotor
k 1,2…6

Vervolgens wordt de correctiefactor voor de richtwerking berekend uit:

2.8) $$\Delta L = \frac{1}{6}\sum_{k=1}^{6} \Delta L_k$$

Deze correctiefactor is relatief ten opzichte ten opzichte van het in referentierichting uitgestraalde geluidsvermogen en neemt doorgaans een negatieve waarde aan.

2.5 Geluidsvermogen bij windsnelheden hoger dan V_{rated}

De vaststelling van de windsnelheid op ashoogte op basis van de vermogenscurve geeft betrouwbare resultaten tot aan de windsnelheid V_{rated} waarbij de turbine het nominale vermogen (P_{rated}) levert. Als het windaanbod hoger is dan het nominale vermogen van de windturbine wordt de overtollige windenergie niet benut voor de opwekking van elektriciteit. De vermogenscurvemethode is daarom voor waarden boven P_{rated} niet direct bruikbaar en dientengevolge hoeven voor windsnelheden die uitstijgen boven V_{rated} geen metingen verricht te worden. Voor de berekening van het jaargemiddelde geluidsvermogen is de informatie bij hoge windsnelheden echter wel nodig.

Vrijwel alle moderne turbines beschikken over een zogenaamde *pitch* regeling. Hierbij wordt het aandrijfvermogen boven het nominale vermogen gereduceerd door verkleining van de invalshoek van de rotorbladen. Bij dergelijke turbines is het geluidsvermogen boven P_{rated} nagenoeg onafhankelijk van de windsnelheid. Daarom wordt voor dergelijke windturbines uitgegaan van:

2.9) $L_{W,i,j} = L_{W,i,Vrated}$ bij $V_{rated} < j \leq V_{co}$

Hierbij stelt V_{co} de hoogste windsnelheid voor, waarbij de turbine in bedrijf is (*cut out* snelheid).

Bij een beperkte groep windturbines wordt het elektrisch vermogen boven P_{rated} passief gereduceerd, doordat de rotorbladen in overtrektoestand geraken (*stall* regeling). Bij *stall* geregelde turbines neemt de geluidsemissie boven P_{rated} in de regel sterk toe met de windsnelheid. Voor dit type windturbines mag worden uitgegaan van formule 2.9 als de windsnelheid op ashoogte niet meer dan 10% van de tijd hoger is dan V_{rated}. Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, dient een specialistische meet- of rekenmethode te worden gehanteerd ter bepaling van het geluidsvermogen in het betreffende windsnelheidsgebied.

2.6 Handhaving

Handhaving door middel van immissiemetingen is door de invloed van stoorgeluid en problemen ten aanzien van representativiteit niet goed mogelijk. Daarom worden handhavingsmetingen toegespitst op controle van het geluidsvermogen.

Het bepalen van het geluidsvermogen bij alle voorkomende windsnelheden kan tijdrovend zijn en is in het algemeen niet nodig. Daarom kan - ter beoordeling van het bevoegd gezag - worden volstaan met steekproefsgewijze controle van het geluidsvermogen. De uitvoering en uitwerking hiervan geschiedt conform de methode die in voorgaande paragrafen is beschreven, met uitzondering van het volgende:

- Bij de te onderzoeken gehele waarde van de windsnelheid op ashoogte (index *j*) worden binnen een marge van ±0,5 m/s minstens zes metingen verricht met een duur van ten minste 1,0 minuut per meting.
- De totale A-gewogen niveaus worden beschouwd in plaats van octaafbandniveaus.
- Op de gemeten totale A-gewogen niveaus wordt lineaire regressie uitgevoerd, waarna het geluidsvermogen bij de gehele waarde van de windsnelheid op ashoogte (index *j*) wordt berekend.

Bij de bepaling van de windsnelheid op ashoogte wordt in principe uitgegaan van door de exploitant aan te leveren productiegegevens. De gegevens kunnen in veel gevallen extern worden getoetst door registratie van het rotortoerental.

3 STANDAARDREKENMETHODE

3.1 Principe van de berekening

De geluidsbelasting wordt uitgedrukt in L_{den} en L_{night}. De beoordelingsmaat L_{den} is het gewogen jaargemiddelde van het equivalente geluidsniveau met een toeslag van 5 dB voor de avond- en 10 dB voor de nachtperiode. De maat L_{night} is het gemiddelde equivalente geluidsniveau over alle nachtperioden in een jaar.

In algemene zin wordt het equivalente geluidsniveau $L_{Aeq,T}$ in dB(A) over een tijdvak T van t_1 tot t_2 als volgt bepaald

$$L_{A,eq,T} = 10\log\left(\frac{1}{T}\int_{t1}^{t2}\left(\frac{p_{A,t}}{p_0}\right)^2 dt\right)$$

met T = t_2 - t_1
$p_{A(t)}$ = de A-gewogen momentane geluidsdruk
p_0 = referentiedruk van 20 µPa

Het equivalente geluidsniveau L_{eq} van een windturbine wordt berekend als de som van de jaargemiddelde geluidsemissie L_E, de geluidsoverdracht van de bron naar het beoordelingspunt bij gestandaardiseerde (gunstige) omstandigheden $\sum D$ en de meteocorrectieterm C_{meteo}. De berekening wordt uitgesplitst per dag-, avond- en nachtperiode.

De emissieterm wordt bepaald uit de convolutie van het windsnelheidsafhankelijke geluidsvermogen en de langjaargemiddelde lokale windsnelheidsverdeling op ashoogte. Indien de bron niet kan worden gekenmerkt door een zuivere monopool en dus niet in alle richtingen gelijkmatig uitstraalt, kan de richtingsindex worden meegewogen.

De geluidsoverdracht bij gestandaardiseerde omstandigheden wordt getypeerd door een positieve verticale geluidssnelheidsgradiënt. Dit betekent wind in de richting van het beoordelingspunt en een geringe invloed van de temperatuursgradiënt. De methode om de overdracht te berekenen is integraal overgenomen uit de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai, uitgave 1999 van het Ministerie van VROM (methode II.8). Deze methode wordt veelvuldig gebruikt bij andere geluidsbronnen van industriële aard en behoeft om die reden geen nadere toelichting.

Met de meteocorrectieterm wordt het verschil tussen de gestandaardiseerde en de gemiddelde overdrachtssituatie in rekening gebracht. De hier gebruikte term wijkt, zoals reeds aangegeven, af van de in de HMRI-1999 gedefinieerde term als gevolg van het meenemen van de windrichtingstatistiek. De correctieterm is daarom afhankelijk van de richting van de ontvanger ten opzichte van de bron.

3.2 Beschrijving van de bron

De geluidsuitstraling ten gevolge van een windturbine kan worden gemodelleerd met één puntbron, indien de horizontale afstand tussen de hartlijn van de mast en het immsiepunt ten minste gelijk is aan de ashoogte, vermeerderd met de helft van de rotordiameter, ofwel

$r_{HOR} \geq H + D/2$.

H ashoogte
D rotordiameter

De hoogte van de puntbron h_b ten opzichte van het maaiveld ter plaatse komt daarbij overeen met de hoogte van de rotoras:

$h_b = H$

3.3 De basisformules

De geluidsbelasting ten gevolge van windturbines wordt uitgedrukt in de dosismaat L_{den}. Deze maat geeft de jaargemiddelde geluidsbelasting weer, waarbij de avond- en nachtperiodes zwaarder wegen dan de dagperiode. De berekening van L_{den} en L_{night} gaat als volgt:

3.1) $$L_{den} = 10\lg\left(\frac{12}{24}10^{\frac{L_{dag}}{10}} + \frac{4}{24}10^{\frac{L_{avond}+5}{10}} + \frac{8}{24}10^{\frac{L_{nacht}+10}{10}}\right)$$

$L_{night} = L_{nacht}$

Hierbij representeren L_{dag}, L_{avond} en L_{nacht} de equivalente A-gewogen geluidsniveaus L_{eq} per dag-, avond- en nachtperiode. De beoordelingsperioden zijn als volgt gedefinieerd:
dag 07:00-19:00 uur;
avond 19:00-23:00 uur;
nacht 23:00-07:00 uur.

Het jaargemiddelde equivalente A-gewogen niveau L_{eq} per beoordelingsperiode volgt uit:

3.2) $$L_{A,eq} = 10\lg\sum_{i=1}^{9}\sum_{n=1}^{N}10^{L_{eq,i,n}/10}$$, waarbij

$L_{eq,i,n}$ bijdrage aan het equivalente niveau van één octaaf (index *i*) van één windturbine (index *n*) per beoordelingsperiode
i 1,2…9 (31,5, 63…8000 Hz)
n 1,2,…*N* (*N* is het aantal windturbines)

$L_{eq,i,n}$ wordt berekend uit het jaargemiddelde geluidsvermogen van de windturbine, verminderd met de gemiddelde geluidsoverdracht naar het immissiepunt. Berekend wordt het invallend geluid. De berekening gaat per octaafband, per beoordelingsperiode en per windturbine:

3.3) $L_{eq,i,n} = L_E - D_{geo} - D_{lucht} - D_{ref} - D_{scherm} - D_{veg} - D_{terrein} - D_{bodem} - C_{meteo}$, met

L_E jaargemiddeld geluidsvermogen van de turbine in octaafband *i* in de betreffende beoordelingsperiode
D_{geo} afname van het geluidsniveau door geometrische uitbreiding
D_{lucht} afname van het geluidsniveau door absorptie in lucht
D_{refl} afname door reflectie tegen obstakels (deze term is negatief)
D_{scherm} afname ten gevolge van afscherming door akoestisch goed isolerende obstakels (dijken, wallen, gebouwen)
D_{veg} afname vanwege geluidsverstrooiing aan en absorptie door vegetatie
$D_{terrein}$ afname door verstrooiing en absorptie door installaties op het industrieterrein voor zover deze niet in de overige termen is begrepen
D_{bodem} afname ten gevolge van reflectie tegen, verstrooiing aan en absorptie door bodem (deze term kan ook negatief zijn)
C_{meteo} term die het verschil in rekening brengt tussen de gestandaardiseerde geluidsoverdracht (meewind) en de gemiddelde meteorologische situatie

In de navolgende paragrafen wordt op de verschillende termen nader ingegaan.

3.4 De emissieterm L_E

3.4.1 De berekening

De emissieterm L_E representeert het jaargemiddelde geluidsvermogen per octaafband dat door de turbine wordt uitgestraald. Het wordt berekend uit het windsnelheidsafhankelijke geluidsvermogen van de installatie, de lokale langjaargemiddelde windsnelheidsverdeling op ashoogte en de correctiefactor voor de richtwerking. De berekeningen worden uitgesplitst per dag-, avond- en nachtperiode. De emissieterm wordt als volgt berekend:

3.4) $$L_E = 10\lg\left(\sum_{j=V_{ci}}^{V_{co}}\left(\frac{U_j}{100}10^{L_{W,i,j}/10}\right)\right) + \Delta L$$, waarbij

$L_{W,i,j}$ bronsterkte per octaafband *i* en per windsnelheidsklasse *j* in dB(A)
ΔL correctiefactor voor de richtwerking van windturbines in dB
U_j frequentie van voorkomen van windsnelheidsklasse *j* op ashoogte per beoordelingsperiode in procenten
j windsnelheden in gehele getallen op ashoogte in m/s, gelegen tussen V_{ci} en V_{co}
V_{ci} laagste windsnelheid waarbij de turbine in bedrijf is (ci = cut in)
V_{co} hoogste windsnelheid waarbij de turbine in bedrijf is (co = cut out)

3.4.2 Bepaling van de bronsterkte

De broneigenschappen $L_{W,i,j}$ en ΔL volgen uit de in hoofdstuk 2 beschreven of een daaraan gelijkwaardige procedure. Indien geen richtingsinformatie beschikbaar is, geldt ΔL= 0 dB. In dat geval wordt het jaargemiddelde geluidsvermogen van de turbine mogelijk in enige mate overschat, wat vanuit milieuhygiënisch oogpunt acceptabel wordt geacht.

3.4.3 Bepaling windsnelheidsverdeling

De windsnelheidsverdeling voor de dag-, avond- en nachtperiode is in tabellen beschikbaar op vaste roosterpunten in Nederland. De gegevens zijn afkomstig van het KNMI en zijn gebaseerd op langjarige windstatistiek van 2004 tot en met 2013.

De windverdelingen zijn beschikbaar in tabellen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de dag- (07–19 uur), avond- (19–23 uur) en nachtperiode (23–07 uur). De informatie heeft de vorm van frequentieverdelingen, waarbij per klasse wordt aangegeven hoe groot de waarschijnlijkheid van die klasse in de betreffende beoordelingsperiode is. De getalswaarden zijn gegeven in procenten, afgerond op twee decimalen. De windverdelingen zijn opgedeeld in 25 klassen. De middenwaarden van de klassen komen overeen met gehele waarden van de windsnelheid. De klassenbreedte bedraagt 1 m/s.

Door het KNMI geleverde data is gegeven in tabellen op vaste gridpunten. De gridpunten liggen op een equidistant en orthogonaal rooster. De afstand tussen de gridpunten is 2.5 km in beide richtingen. De coördinaten in het horizontale vlak zijn gedefinieerd volgens het Amersfoortse coördinatenstelsel (RDnew). Per roosterpunt zijn de histogrammen beschikbaar voor 14 hoogtes (10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260). De hoogte (z in meters) is relatief ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte. Indien de voet van de turbinemast uitsteekt boven het omringende terrein, dient dit te worden verdisconteerd in de ashoogte z

3.4.4 *Bijzondere situaties*

Bij bepaalde typen windturbines kan de emissieterm worden beïnvloed door het tijdelijk programmeren van een zogenaamde geluidsmodus. Hierbij wordt het rotortoerental actief lager ingesteld, wat resulteert in een lagere geluidsemissie. In dat geval bestaan er dus meerdere relaties tussen het geluidsvermogen en de windsnelheid op ashoogte. De geluidsemissieterm wordt dan berekend door energetische sommatie over alle voorkomende bedrijfsmodi, waarbij U_j naar rato over de bedrijfsmodi wordt verdeeld.

Een andere wijze van beperken van de geluidemissie is het tijdelijk stop zetten van de turbine, bijvoorbeeld bij harde wind tijdens de geluidgevoelige nachtelijke periode. In die situatie wordt U_j gebaseerd op de gemaximeerde tijdsduur waarbij de turbine bij die windsnelheid in bedrijf is.

3.5 De geometrische uitbreidingsterm D_{geo}

In de overdrachtsberekening wordt uitgegaan van uitbreiding over een hele bol volgens:

3.5) $D_{geo} = 10 \lg(4\pi r_i^2) = 20 \lg r_i + 11$, met

r_i afstand tussen het broncentrum en het immissiepunt

3.6 De luchtdemping D_{lucht}

De luchtabsorptie wordt bepaald uit:

3.6) $D_{lucht} = a_{lu}(f)\, r_i$

De waarden voor de luchtabsorptiecoëfficiënt a_{lu} zijn vermeld in tabel 3.1.

tabel 3.1 *De luchtabsorptiecoëfficiënt in dB/m in octaafbandwaarden (ISO 9613-1: 1993, bij een temperatuur van 10℃ en een relatieve vochtigheid van 80%)*

middenfrequentie octaafbanden [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
a_{lu} [dB/m]	2.10^{-5}	7.10^{-5}	$2{,}5.10^{-4}$	$7{,}6.10^{-4}$	$1{,}6.10^{-3}$	$2{,}9.10^{-3}$	$6{,}2.10^{-3}$	$1{,}9.10^{-2}$	$6{,}7.10^{-2}$

3.7 De term D_{refl}

Indien er geen reflecterende objecten zijn geldt: $D_{refl} = 0$ dB.

Indien er wel reflecterende objecten zijn, worden hieraan de volgende eisen gesteld om in de berekening als reflecterend object te worden aangemerkt:

- het reflecterend object heeft dwars op het geluidspad afmetingen die groter zijn dan de betreffende golflengte van het geluid;
- het object wordt vanuit de bron en/of vanuit het immissiepunt gezien onder een hoek van tenminste 5° in het horizontale vlak;
- de hoogte van het object moet groter zijn dan:

3.7) $h_b + r_{br}/16$ of $h_o + r_{or}/16$, met

r_{br} afstand van de bron tot het reflecterend object
r_{or} afstand van het immissiepunt tot het reflecterend object
h_o ontvangerhoogte
h_b bronhoogte

- het object heeft een min of meer vlakke en geluidsreflecterende wand. Bomenrijen en open procesinstallaties worden zo buitengesloten;
- het geluid kan via een reflectie (zoals bij een optische spiegeling) het immissiepunt bereiken (zie figuren 3.1 en 3.2).

Bronsterkte van de spiegelbron

De reflectie wordt in rekening gebracht door een spiegelbron te veronderstellen. Als de overdrachtsomstandigheden voor bron en spiegelbron weinig verschillen, dan wordt geen aparte spiegelbron in rekening gebracht, en is:

3.8) $D_{refl} = 10 \lg (1 + \rho)$

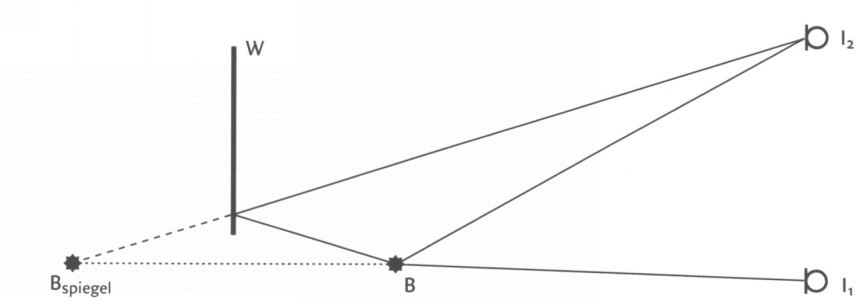
Enkele waarden voor ρ, de reflectiecoëfficiënt voor de geluidsenergie, worden gegeven in tabel 3.2.

Blijkt dat de geluidsbijdrage via de reflectie sterk verschilt van de bijdrage via de directe weg, bijvoorbeeld door aanwezigheid van een afscherming (figuur 3.3), dan wordt deze spiegelbron als een aparte bron berekend en is D_{refl} = 0 dB. Voor de bronsterkte van de spiegelbron geldt:

3.9) $(L_{W,i,m})_{spiegel} = L_{W,i.m} + 10 \lg \rho$

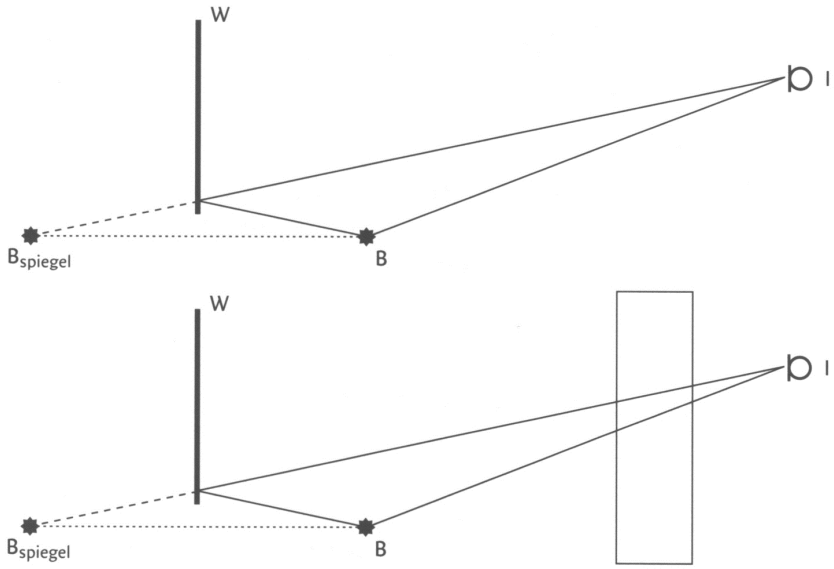
Opmerkingen

- reflecties tegen de bodem worden door toepassing van D_{bodem} in rekening gebracht;
- spiegelbronnen mogen worden verwaarloosd als hun bijdrage meer dan 7 dB onder het geluidsimmissieniveau van de bron ligt.



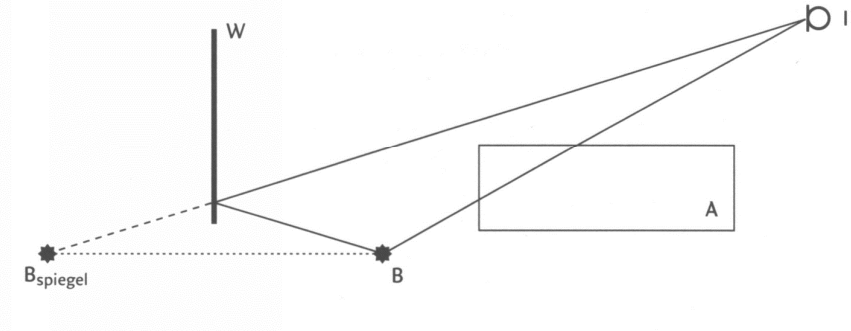
Het pad van het gereflecteerde geluid wordt gelijk aan dat van een gereflecteerde lichtstraal gedacht. De bron B wordt gespiegeld in het vlak van de reflecterende wand W.
Naar I_1 zijn geen reflecties mogelijk: D_{refl} = 0 dB
Naar I_2 zijn wel reflecties mogelijk: D_{refl} = -2 dB

figuur 3.1 Toelichting op optische spiegeling



In beide gevallen zijn het directe geluidspad en het pad langs de reflecterende straal van gelijke grootteorde en zijn de overdrachtsomstandigheden niet sterk verschillend. Er kan met één bron gerekend worden, waarbij D_{refl} = -2 dB.

figuur 3.2 Geen spiegelbron, D_{refl} = -2 dB



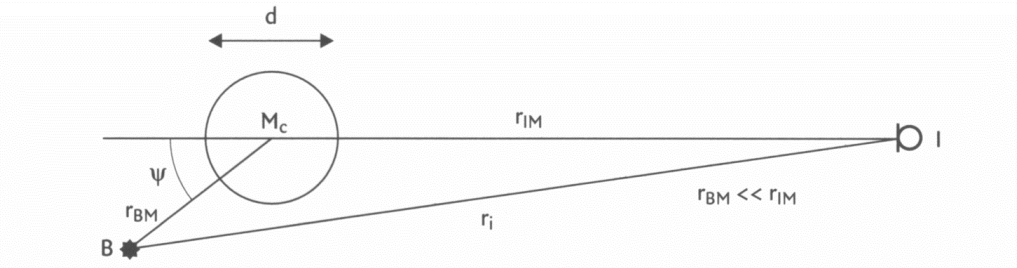
De directe straal wordt afgeschermd door gebouw A en de gereflecteerde straal gaat langs het gebouw. De overdrachtseffecten langs de directe weg en langs de gereflecteerde weg verschillen sterk. Nu moet spiegelbron $B_{spiegel}$ apart in rekening worden gebracht.

figuur 3.3 Wel spiegelbron in rekening brengen en D_{refl} = 0 dB

tabel 3.2 Waarden voor de reflectiecoëfficiënt ρ

Aard van het object	Reflectiecoëfficiënt ρ
vlakke harde wanden	1
wanden van gebouwen met ramen en kleine uitbouwen	0,8
fabriekswanden voor 50% bedekt met openingen, installaties en pijpen	0,4
cilinders met harde wanden (tanks, silo's)	$\frac{d \sin(\Psi / 2)}{2 r_{bm}}$
open installaties	0

d = diameter cilinder
r_{bm} = afstand bron tot het midden van de cilinder m
Ψ = supplement van de hoek tussen de lijnen B-m en l-m



3.8 De schermwerking D_{scherm}

3.8.1 Eisen aan afschermende objecten

Een object wordt als scherm in rekening gebracht als:
- de massa per eenheid van oppervlakte tenminste 10 kg/m^2 bedraagt;
- het object geen grote kieren of openingen heeft; procesinstallaties, bomen e.d. worden dus niet als scherm in rekening gebracht;
- de horizontale afmeting dwars op de lijn van bron naar immissiepunt groter is dan de golflengte van het geluid. Ofwel (zie figuur 3.4 en 3.6): $s_l + s_r > \lambda$

Bij schermen van geringe hoogten wordt een correctiefactor H_f toegepast volgens formule 3.15.

3.8.2 Schematiseren van objecten tot scherm

Elk object wordt geschematiseerd door een vlak dun scherm met rechte verticale randen links LL' en rechts RR'. De bovenrand LR van het scherm hoeft niet horizontaal te zijn.

Als gebouwen afschermen en de afmetingen van het gebouw in de richting van bron naar immissiepunt niet verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de afstand tussen bron en immissiepunt, kan het gebouw worden gerepresenteerd door een prisma met een viertal rechte lijnstukken die verticaal op een rechthoekig grondvlak staan. De lijnstukken mogen ongelijk van lengte zijn. Elk zijvlak kan als scherm dienst doen.

3.8.3 Berekening D_{scherm}

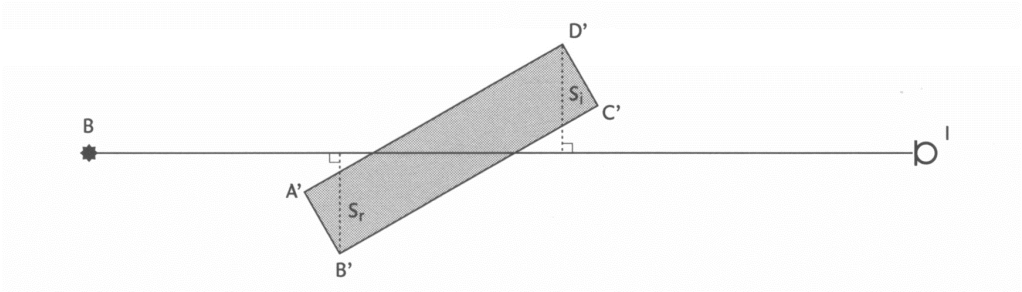
Door de lijn bron-immissiepunt BI wordt een verticaal vlak V geplaatst. Indien één of meer schermen wordt doorsneden door lijn BF, worden op elk scherm drie punten bepaald (zie figuur 3.5), te weten:

K het snijpunt van de lijn BI met het scherm;
T de top van het scherm in vlak V (snijpunt V met lijn LR);
Q het snijpunt van het (verlengde) schermvlak met een gekromde geluidsstraal, die de geluidsoverdracht beschrijft als het scherm er niet zou zijn (kromtestraal = 8*r*).

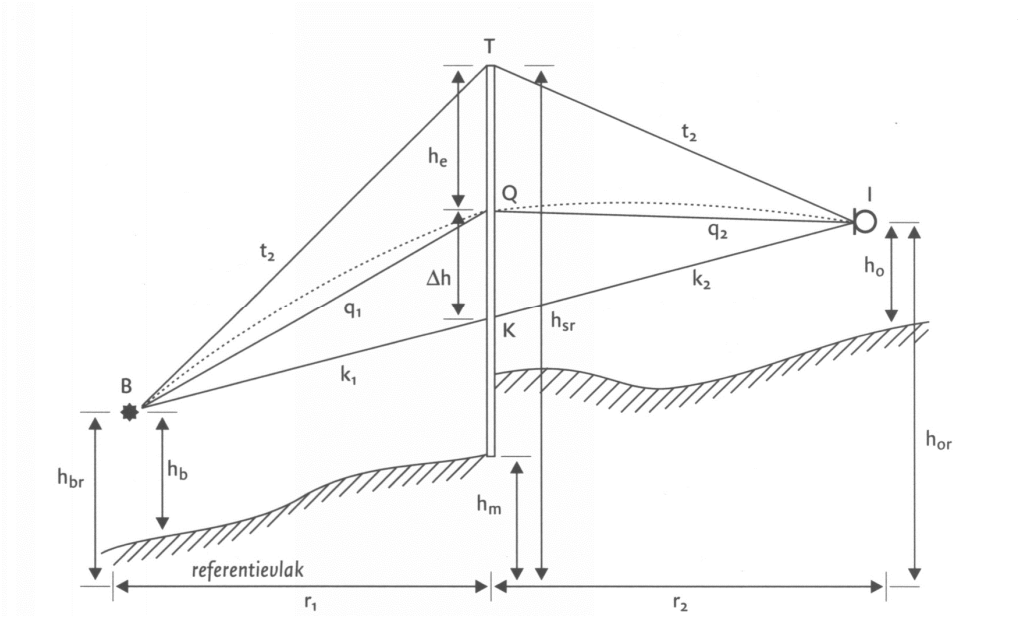
Het punt Q ligt altijd boven K en wel op een afstand Δh, die volgens onderstaande formule wordt berekend uit de horizontale afstand bron-scherm r_1 en de horizontale afstand immissiepunt-scherm r_2 volgens:

3.10) $$\Delta h = \frac{r_1 r_2}{16(r_1 + r_2)}$$

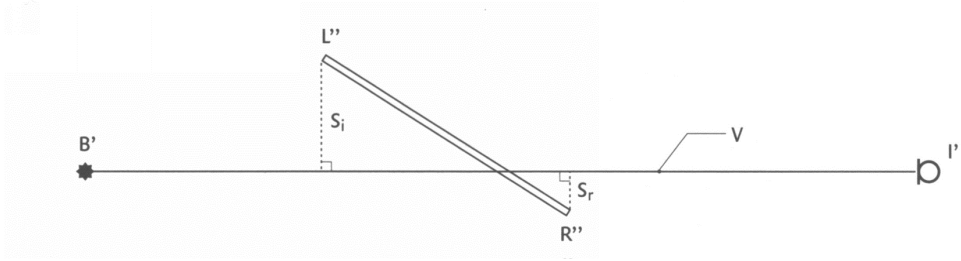
De afstand tussen Q en T is de effectieve schermhoogte h_e. Als Q boven T ligt is h_e negatief.



figuur 3.4 Toelichting bij de bepaling van s_l en s bij een gebouw



figuur 3.5 Toelichting op de geometrische parameters bij de berekening van D_{scherm}



figuur 3.6 Toelichting op de berekening van D_{scherm}

Er worden drie situaties onderscheiden, die vervolgens behandeld worden:
a. V snijdt geen enkel scherm;
b. V snijdt één scherm;
c. V snijdt meer dan een scherm.

a. V snijdt geen scherm

In het geval dat vlak V geen enkel afschermend object snijdt, kunnen slechts grote, hoge objecten in de omgeving van de lijn van bron naar immissiepunt het geluidsveld van een puntbron beïnvloeden. Bij de berekening worden deze diffracties buiten beschouwing gelaten.

3.11) $D_{scherm} = 0$ dB

Opmerking: in speciale gevallen kan het bronvermogen worden opgesplitst in kleinere deelbronnen. Zo wordt het effect van de discontinuïteit wel/geen afscherming sterk afgezwakt.

b. V snijdt één scherm

Uit de plaats van de punten K, Q en T enerzijds en de punten B en I anderzijds kunnen de lengten van de rechte verbindingslijnen k_1 = BK, k_2 = KI, q_1 = BQ, q_2 = QI, t_1 = BT en t_2 = TI worden berekend (zie figuur 3.5).

Hieruit is de verticale omweg ε_v te bepalen volgens:

3.12) Als T boven K ligt: $\varepsilon_v = t_1 + t_2 - q_1 - q_2$

Als T onder K ligt: $\varepsilon_v = 2(k_1 + k_2) - t_1 - t_2 - q_1 - q_2$

De horizontale omwegen worden berekend door de situatie op het horizontale referentievlak te projecteren. De projecties van B en I zijn B' en I' en de rechten LL' en RR' snijden het referentievlak in L' en R' (zie figuur 3.6).

3.13) De rechter omweg: ε_r = B'R'' + R''I' - $r_1 - r_2$

De linker omweg: ε_l = B'L'' + L''I' - $r_1 - r_2$

Van elk van de omwegen wordt een Fresnelgetal N bepaald:

3.14) $N_v(f) = 0{,}0059\ \varepsilon_v f$

$N_r(f) = 0{,}0059\ \varepsilon_r f$

$N_l(f) = 0{,}0059\ \varepsilon_l f$

Voor de frequentie *f* wordt bij berekening in octaafbanden de middenfrequentie van de laagste tertsband in de octaafband ingevuld (deze is gelijk aan $f_{oct}/2^{1/2}$) en bij berekening in tertsbanden de middenfrequentie van de betreffende tertsband. Uit het Fresnelgetal wordt de afscherming per schermrand berekend, uitgaande van de veronderstelling dat elke rand oneindig lang is. De bijdragen van de verschillende overdrachtswegen worden gesommeerd. D_{scherm} wordt gecorrigeerd indien de hoogte van het scherm boven het laagste van de twee aan het scherm grenzende maaivelden (h_{sr}-h_{ma}) klein is. Voor obstakels die sterk afwijken van een ideaal dun scherm wordt een term ΔD in rekening gebracht in formule 3.15.

Indien $N_v \leq -0{,}1$

$D_{scherm} = 0$ dB

Indien $N_v > -0{,}1$

3.15) $$D_{scherm} = 10H_f\left[\lg\left(\frac{1}{20N_v+3}+\frac{1}{20N_r+3}+\frac{1}{20N_l+3}\right)^{-1}\right]-\Delta D$$, waarbij:

H_f	$(h_{sr} - h_{ma})\, f /250$	als $(h_{sr}-h_{ma})\, f / 250 < 1$
H_f	1	als $(h_{sr}-h_{ma})\, f / 250 \geq 1$
ΔD	zie tabel 3.3	

tabel 3.3 De waarden voor ΔD van obstakels die van de ideale schermvorm afwijken

ΔD [dB]	Betreft
0	– alle gebouwen; – dunne wanden met een helling kleiner dan 20° met de verticaal; – grondlichamen waarbij de hellingen van de taluds aan beide zijden opgeteld niet meer dan 70° bedragen;
0	– grondlichamen uit de groep $\Delta D = 2$ als boven op het grondlichaam een obstakel uit bovenstaande categorie staat dat tenminste even hoog is als het grondlichaam
2	– grondlichamen waarbij de hellingen van de taluds aan beide zijden opgeteld tussen 70° en 165° liggen; – grondlichamen met daarop een obstakel uit de eerste groep $\Delta D = 0$ dat minder hoog is dan het grondlichaam
Als $D_{scherm} \leq 0$ dB dan wordt $D_{scherm} = 0$ dB Als $D_{scherm} \geq 20$ dB dan wordt $D_{scherm} = 20$ dB	

Opmerking: indien het scherm veel breder is dan hoog gaat de formule 3.15 over in de formule van het oneindig lange scherm ($\Delta D = 0$ verondersteld).

3.16) $D_{scherm} = 10H_f \lg (20N_v + 3)$

c. Vlak V snijdt twee of meer schermen

We onderscheiden hier twee situaties namelijk:

c.1 de algemene situatie;
c.2 het bijzondere geval waarbij zowel dichtbij de bron als dichtbij het immissiepunt een scherm staat en waarbij de onderlinge afstand tussen de schermen groot is.

c.1 Algemene situatie

We onderscheiden:

- Voor geen of slechts één van de schermen geldt $h_e \geq 0$.
  In deze gevallen wordt alleen het scherm met de grootste verticale omweg berekend volgens de procedure van het enkele scherm. (Dit betekent, in het geval dat he kleiner dan nul is, dat met het scherm dat in absolute waarde gerekend de kleinste omweg bezit verder wordt gerekend).

- Meer schermen met $h_e \geq 0$.
  Voor de berekening van D_{scherm} wordt een goede benadering gevonden door de D_{scherm} van het meest afschermende object te bepalen met de procedure van het enkele scherm. Gebouwen e.d. worden in deze berekening vereenvoudigd tot een enkel scherm waarbij de zijpaden worden berekend langs de verticale hoeklijnen met de grootste horizontale omweg.

Als de onderlinge afstand r_{12} (zie figuur 3.7) tussen de schermen voldoet aan:

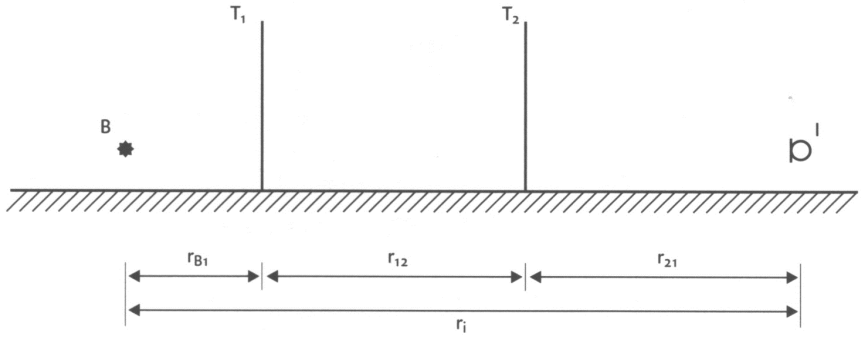
$r_{12} / r_i > 0{,}2$

kan de volgende rekenprocedure worden gebruikt, die in figuur 3.8 schematisch wordt aangegeven:

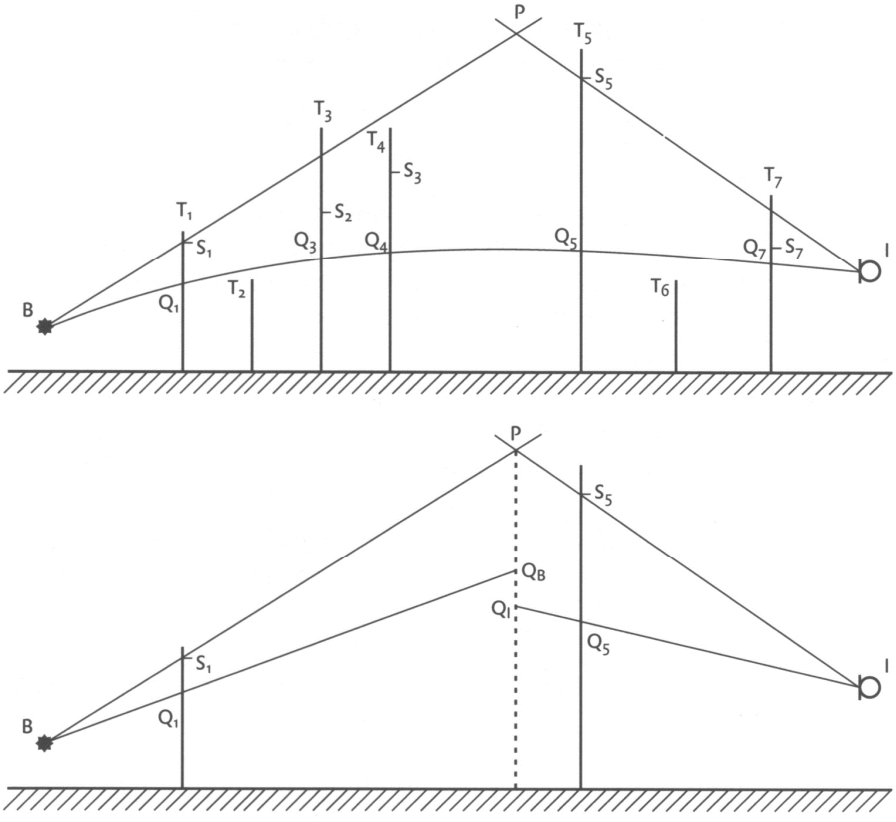
1. Alle schermen met $h_e < 0$ worden verwijderd.
2. Van de overgebleven schermen wordt het punt S_i (berekend bij scherm i) bepaald. S_i ligt op een afstand s onder de top van het scherm.

3.17)
$$s = h_e \left\{ 1 - \frac{1}{1 + h_e / s_l + h_e / s_r} \right\}$$

s_l en s_r zijn hierin de afstand van de linker-en rechterzijkant tot V. Bij gebouwen zijn dit de afstanden van de verst verwijderde verticale hoeklijnen van het gebouw ter linker- en rechterzijde van V.



figuur 3.7 De geometrie bij meerdere schermen tussen bron en immissiepunt



figuur 3.8 Toelichting op de berekening van D_{scherm} bij meerdere schermen

3. De verbindingslijnen tussen bron B en S_i en tussen het immissiepunt I en S_i worden bepaald. Vervolgens wordt de lijn BS_j geselecteerd, die vanuit de bron gezien de grootste elevatie heeft. Tevens wordt de lijn IS_k geselecteerd, die vanuit het immissiepunt gezien de grootste elevatie heeft.
4. Indien de lijnen BS_j en IS_k hetzelfde scherm betreffen, wordt D_{scherm} berekend door voor dit scherm de procedure van het enkele scherm te volgen. In de overige gevallen wordt het snijpunt P van de lijnen BS_j en IS_k bepaald. Door dit snijpunt wordt een verticale lijn, p, gedacht. Op p worden twee punten bepaald te weten:
   -Q_B, snijpunt p met de lijn BQ_j;
   -Q_I, snijpunt p met de lijn IQ_k.

Bepaal de hypothetische omweg ε_h

3.18) $\varepsilon_h = BP + PI + - BQ_B - IQ_I$

5. Vervolgens wordt D_{scherm} berekend door

3.19) $D_{scherm} = 10lg\ (0{,}118\ \varepsilon_h\ f + 3)$, met

f de middenfrequentie van de laagste tertsband in een octaafband bij berekening in octaafbanden of de middenfrequentie van de tertsband bij berekening in tertsbanden.

De waarde van D_{scherm} wordt in deze situatie als volgt begrensd:
$4{,}8 \leq D_{scherm} \leq 20$ dB

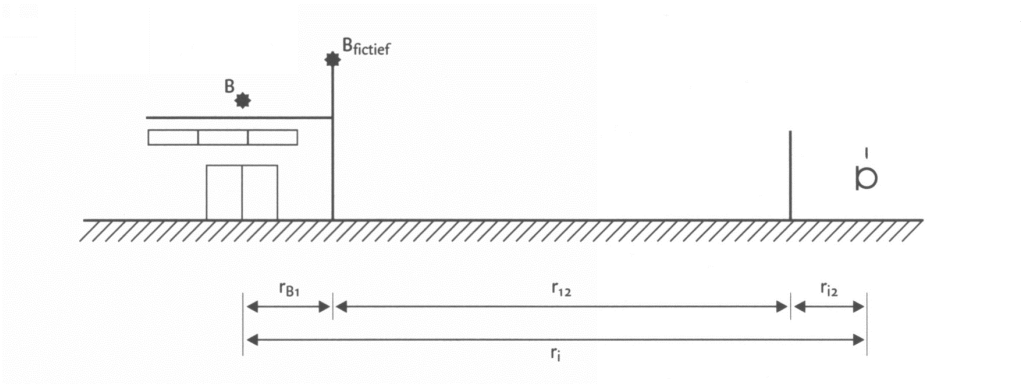
c.2 Bijzondere situatie

Een bijzondere rekenprocedure kan worden gevolgd als een scherm zich relatief dicht bij de bron bevindt (scherm 1) en een ander dicht bij het immissiepunt (scherm 2). Voorwaarde is dat (zie figuur 3.9)

$r_{B1} < 0{,}2\ r$
$r_{I2} < 0{,}2\ r$

D_{scherm} is nu de som van twee termen.

$D_{scherm} = D_1 + D_2$
$0 \leq D_{scherm} \leq 40$ dB



figuur 3.9 Toelichting op de geometrie bij een bijzondere situatie

D_1 wordt bepaald volgens de procedure van het enkele scherm voor scherm 1. Indien voor scherm 1 geldt $h_e \geq 0$, dan wordt voor de berekening van D_2 een fictieve bron aangenomen op de top van scherm 1. Is $h_e < 0$, dan wordt geen fictieve bron aangenomen maar wordt met de werkelijke plaats van de bron gerekend. D_2 wordt berekend volgens de procedure van het enkele scherm. Aanbevolen wordt, als de afscherming nabij het immissiepunt groter is dan die bij de bron, de procedure om te draaien en eerst de afscherming nabij het immissiepunt te berekenen en vervolgens met een (fictief) immissiepunt de afscherming bij de bron. Als meer schermen bij bron en/of immissiepunt aan bovenstaande voorwaarde voldoen, worden de schermen met de hoogste waarde voor ($D_1 + D_2$) gebruikt in de berekening.

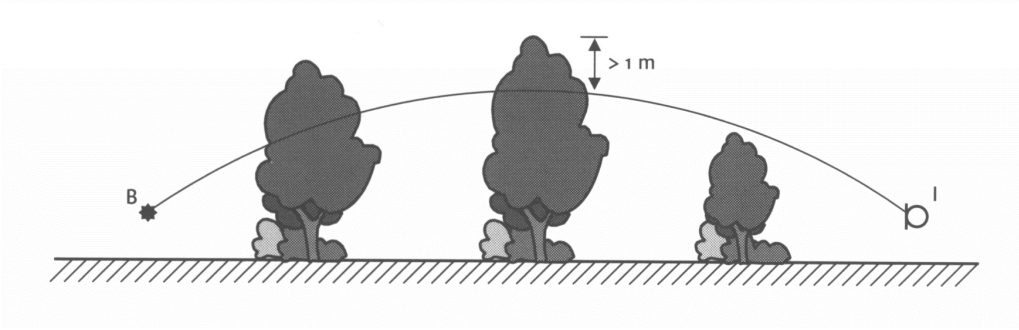
3.9 De term D_{veg}

Indien zich in het gekromde geluidspad (zie formule 3.10) van geluidsbron naar immissiepunt dichte vegetatie bevindt, bestaande uit een combinatie van bomen, struiken of heesters, zodanig dat het zicht volledig verdwenen is, mag daarvoor een geluidsreductie worden gehanteerd. Deze geluidsreductie in de overdracht is frequentie-afhankelijk en is opgenomen in tabel 3.4. Als extra eis voor het toepassen van deze reductie geldt dat de hoogte van de vegetatie tenminste 1 m hoger dient te zijn dan de hoogte van het gekromde geluidspad ter plaatse van de afscherming (zie figuur 3.10).

In de praktijk zal slechts in uitzonderingsgevallen aan de eisen van ondoorzichtbaarheid worden voldaan. Indien verschillende afzonderlijke vegetaties, die voldoen aan deze specificaties, de gekromde straal doorsnijden (regelbeplanting) mag de reductie voor iedere groep afzonderlijk worden toegepast. De reductie geldt zowel voor de zomer als de winter, mits aan de eisen van ondoorzichtbaarheid wordt voldaan. Voor veel beplantingen zal dit in de winter niet het geval zijn. De volgens tabel 3.4 te berekenen reductie mag dan slechts voor de helft in rekening worden gebracht. Voorts mag in geen geval met meer dan 4 beplantingsstroken worden gerekend.

tabel 3.4 *Geluidsreductie die in rekening kan worden gebracht voor één strook dichte vegetatie, welke meer dan 1 m boven het gekromde geluidspad van bron naar immissiepunt uitsteekt*

Middenfrequentie octaafbanden [Hz]	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
D_{veg} [dB]	0	0	0	1	1	1	1	2	3



figuur 3.10 *Het gekromde geluidspad gaat door twee `regels' vegetatie*

3.10 De term $D_{terrein}$

Op industrieterreinen kan, door geluidsverstrooiing als gevolg van de aanwezigheid van installaties en objecten op het terrein, een extra verzwakking optreden. Deze wordt samengevat onder de term $D_{terrein}$. Als $D_{terrein}$ in rekening wordt gebracht mag geen schermwerking van schermen op het bedrijfsterrein worden toegepast. Dterrein is zeer specifiek voor het type terrein, de dichtheid van obstakels en de hoogte daarvan. Het verdient daarom aanbeveling Dterrein door metingen vast te stellen, waarbij de meethoogte overeen moet komen met de geluidsstraal die naar de (verder gelegen) relevante immissiepunten gaat. Voor bedrijven met open procesinstallaties kan voor planningsdoeleinden met drie typen diffuse afschermende objecten worden gerekend. Hiervoor wordt het volgende indicatieve model gehanteerd.

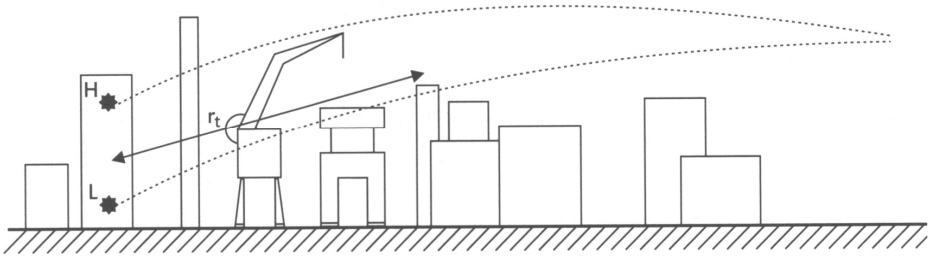
3.20) $D_{terrein} = t\,(f)\,r_t$

$D_{terrein} \leq D_{max}$, met

$t(f)$ frequentie-afhankelijke factor voor de geluidsverzwakking door industrieterreinen, de indicatieve waarden van $t(f)$ staan in tabel 3.5.

r_t het deel van de gekromde geluidsstraal, dat door de `open' installaties gaat (zie ook figuur 3.11). Als de geluidsstraal zich voornamelijk boven de installaties bevindt kan dit deel niet tot r_t worden gerekend.

D_{max} maximale type-afhankelijke dempingswaarden (zie tabel 3.5).



figuur 3.11 Toelichting r_t

tabel 3.5 Geluidsverzwakking t(f) in dB/m door verstrooiing door, reflectie tegen, en afscherming door open procesinstallaties (deze tabel is indicatief)

Middenfrequentie octaafbanden [Hz]	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	D_{max} [dB]
type A	0	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,1	0,1	0,1	10
type B	0	0	0,04	0,06	0,11	0,17	0,2	0,2	0,2	20
tankenparken	0	0	0,002	0,005	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	10

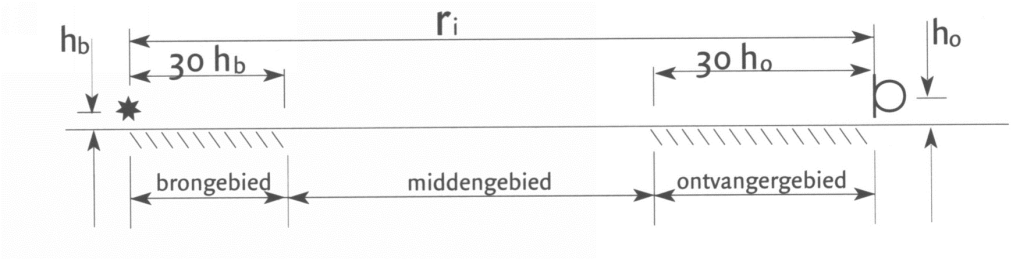
Bovengenoemde typen installaties kunnen gedefinieerd worden als:

- Type A: open procesinstallaties die per 30 m afstand door de installaties een bedekkingsgraad hebben van circa 20%;
- Type B: open procesinstallaties die per 30 m afstand door de installaties een bedekkingsgraad van meer dan 20% hebben.
- Tanken-parken: open procesinstallaties waar vele (opslag)tanks staan opgesteld.

De waarden uit de tabel dienen met de nodige voorzichtigheid te worden toegepast en gelden uitsluitend ter indicatie. Indien het toepassen van andere waarden (bijvoorbeeld verkregen uit metingen of anderszins) leidt tot betrouwbaarder resultaten, hebben deze de voorkeur.

3.11 De bodemdemping D_{bodem}

In de term D_{bodem} zijn de effecten van absorptie door, reflectie tegen en verstrooiing aan de bodem verdisconteerd. D_{bodem} wordt per octaafband bepaald.



figuur 3.12 Onderverdeling van bodemgebieden

3.11.1 Geometrie

In het model wordt een drietal gebieden onderscheiden (zie figuur 3.12).

a. Brongebied

Het gebied dat vanaf de bron in de richting van het immissiepunt een lengte heeft van r_b.

3.21) $r_b = 30\ h_b$ als $r_i \geq h_b$

$r_b = r_i$ als $r_i < 30\ h_b$

b. Ontvangergebied

Het gebied dat vanaf het immissiepunt in de richting van de bron een lengte heeft van r_o.

3.22) $r_o = 30\ h_o$ als $r_i \geq h_o$

$r_o = r_i$ als $r_i < 30\ h_o$

c. Middengebied

Dit is het gebied tussen bron- en ontvangergebied. Overlappen het bron- en ontvangergebied elkaar dan wordt geen middengebied verondersteld.

3.11.2 Aard van de bodem

De volgende bodemtypen worden onderscheiden met behulp van de bodemfactor *B*.

a. Harde bodems: $B = 0$

Dit zijn alle bodems die bestaan uit asfalt, bestrating, water, beton en alle bodems waarop veel reflecterende en geluidsverstrooiende objecten staan zoals open procesinstallaties e.d. Vele industrieterreinen zijn als hard aan te merken.

b. Absorberende bodems: $B = 1$

Absorberende bodems zijn alle bodems waarop vegetatie voor kan komen met weinig of geen geluidsverstrooiende objecten. Voorbeelden zijn grasland, akkerland met en zonder gewas, bossen, heide, tuinen.

c. Gedeeltelijk absorberende bodems: $B = n/100$

Als een gebied voor n% uit absorberende bodem bestaat, dan is de bodemfactor

3.23) $B = n/100$

3.11.3 *Berekening van D_{bodem}*

De term D_{bodem} is uit een drietal deeltermen opgebouwd die het effect van de bodem in het bron-, en immissiegebied en eventueel het midden gebied aangeven.

3.24) $D_{bodem}=D_{b,br} + D_{b,ont} + D_{b,mid}$

De berekening van $D_{b,br}$ en $D_{b,ont}$ is volledig analoog. De berekening van het effect van het middengebied gaat op een andere wijze.

tabel 3.6 De bodemverzwakking in het bron- en immissiegebied

Middenfrequentie octaafband [Hz]	$D_{b,br}$ of $D_{b,ont}$ [dB]
31,5	-3
63	-3
125	$-1 + B_b\,(a(h) + 1)$
250	$-1 + B_b\,(b(h) + 1)$
500	$-1 + B_b\,(c(h) + 1)$
1000	$-1 + B_b\,(d(h) + 1)$
2000	$-1 + B_b$
4000	$-1 + B_b$
8000	$-1 + B_b$
met	$a(h) = 3{,}0e^{-0{,}12(h-5)^2}(1-e^{-r_i/50}) + 5{,}7e^{-0{,}09h^2}(1-e^{-2{,}8.10^{-6}r_i^2})$
	$b(h) = 8{,}6e^{-0{,}09h^2}(1-e^{-r_i/50})$
	$c(h) = 14{,}0e^{-0{,}46h^2}(1-e^{-r_i/50})$
	$d(h) = 5{,}0e^{-0{,}90h^2}(1-e^{-r_i/50})$

Opmerking: voor $h = h_o = 5$ m geldt:

3.25) $a(5) = 3{,}0(1-e^{-r_i/50}) + 0{,}6(1-e^{-2{,}8.10^{-6}r_i^2})$

$b(5) = 0{,}9(1-e^{-r_i/50})$

$c(5) = 0{,}0$

$d(5) = 0{,}0$

De term $D_{b,br}$

$D_{b,br}$ wordt berekend uit de afstand r_i tussen bron en immissiepunt, de bodemfactor B_b van het brongebied en de (gecorrigeerde) bronhoogte h. De bodemfactor B_b blijft betrokken op de echte bronhoogte h_b.

De hoogte h is gelijk aan de bronhoogte tenzij er afscherming optreedt met een positieve verticale omweg ($D_{scherm} \geq 4{,}8$) en bovendien de bronhoogte minder dan 5 m bedraagt. In dat geval geldt:

3.26) $h = h_b$ als $h_b \geq 5$ m of $h_e \leq 0$

$h = h_b + (r_i - r_{bs})h_e/r_i$ als $h_b < 5$ m en $h_e > 0$

De term $D_{b,ont}$

De berekening van $D_{b,ont}$ is analoog aan $D_{b,br}$ (zie tabel 3.6).

De term $D_{b,mid}$

De verzwakking ten gevolge van het middengebied wordt bepaald uit de bodemfactor van het middengebied B_m en de factor m (zie tabel 3.7).

De bodemverzwakking in het middengebied

tabel 3.7

Middenfrequentie octaafband [Hz]			$D_{b,mid}$ [dB]
31,5 en 63			-3 *m*
125 en hoger			+3 *m* (B_m - 1)
met:	$m = 0$	als $r_i \leq 30\ (h_b + h_o)$	
	$m = 1 - 30\ (h_b + h_o)/r_i$	als $r_i > 30\ (h_b + h_o)$	

3.12 Dempingsterm voor woongebieden D_{huis}

Voor het bepalen van een gemiddelde dempingsterm voor woongebieden kan gebruik worden gemaakt van de ICG rapporten GF-HR-01-03 (1989) en GF-HR-01-05 (1989).. Met die methode kan voor een specifieke stedenbouwkundige situatie de term D_{huis} worden berekend, zijnde een gemiddelde waarde voor het betreffende gebied.

3.13 De meteocorrectieterm C_{meteo}

De meteocorrectie voor windturbines wordt als volgt vastgesteld:

3.27) $C_{meteo} = 0$ voor $r \leq 10(h_b+h_o)$

$$C_{meteo} = 5\left[1-10\left(\frac{h_b+h_0}{r}\right)\right]\left[1-\frac{1}{2}\cos(\beta-45°)\right]$$ voor $r > 10(h_b+h_o)$, met

β hoek tussen het noorden en de verbindingslijn tussen bron en ontvanger (in graden)
h_b bronhoogte met $h_b = H$
h_o ontvangerhoogte
r horizontale afstand tussen bron en ontvanger

4 CUMULATIE MET ANDERE BRONNEN

Deze rekenmethode wordt toegepast als er sprake is van blootstelling aan meer dan één geluidsbron. Onderstaande is grotendeels overgenomen van het vergelijkbare voorschrift (Rekenvoorschrift wet geluidhinder), met de toevoeging van de omrekeningsformule voor windturbines, en enige aanpassing ten gevolge van de toepassing buiten Wgh kader (zoals bv. MER of WRO).
De methode berekent de gecumuleerde geluidsbelasting rekening houdend met de verschillen in dosis-effectrelaties van de verschillende geluidsbronnen. Ten behoeve van deze rekenmethode dient de geluidsbelasting bekend te zijn van ieder van de bronnen, berekend volgens het voorschrift dat voor die bronsoort geldt. De verschillende geluidsbronnen worden hieronder aangeduid als L_{RL}, L_{LL}, L_{WT} ,L_{IL}, L_{VL} waarbij de indices respectievelijk staan voor spoorwegverkeer, luchtvaart, windturbine, industrie en (weg)verkeer. De ingevolge artikel 110g van de wet bij wegverkeerslawaai toe te passen aftrek wordt bij deze rekenmethode niet toegepast. Al deze grootheden moeten zijn uitgedrukt in L_{den}, met uitzondering van industrielawaai waarbij de geluidsbelasting volgens de geldende wettelijke definitie wordt bepaald.
L^*_{RL} is de geluidsbelasting vanwege wegverkeer die evenveel hinder veroorzaakt als een geluidsbelasting L_{RL} vanwege spoorwegverkeer. L^*_{RL} wordt als volgt berekend:
$L^*_{RL} = 0{,}95\ L_{RL} - 1{,}40$
Bovenstaande geldt mutatis mutandis voor de bronnen luchtvaart (index LL), industrie (index IL) windturbines (index WT) en wegverkeer (index VL). De rekenregels hiervoor zijn:
$L^*_{LL} = 0{,}98\ L_{LL} + 7{,}03$
$L^*_{IL} = 1{,}00\ L_{IL} + 1{,}00$
$L^*_{VL} = 1{,}00\ L_{VL} + 0{,}00$
$L^*_{WT} = 1{,}65\ Lwt - 20{,}05$

Als alle betrokken bronnen op deze wijze zijn omgerekend in L*-waarden, dan kan de gecumuleerde waarde worden berekend door middel van de zogenoemde energetische sommatie. De rekenregel hiervoor is:

$$L_{CUM} = 10\lg\left(\sum_{n=1}^{N} 10^{L_n^*/10}\right)$$

waarbij gesommeerd wordt over alle N betrokken bronnen en de index n kan staan voor RL, LL, IL, WT en VL.

5 DEFINITIES

5.1 Symbolen

symbool	eenheid	omschrijving
ΔL	dB	correctiefactor voor de richtwerking van windturbines
a_{lu}	dB/m	luchtabsorptiecoëfficiënt
B	-	bodemfacor
B_b	-	bodemfactor van het brongebied
B_m	-	bodemfactor van het middengebied
B_o	-	bodemfactor van het ontvangergebied
C_{meteo}	dB	meteocorrectieterm
D	m	rotordiameter

symbool	eenheid	omschrijving
d	m	diameter cilinder
$D_{b,br}$	dB	bodemverzwakking in het brongebied
$D_{b,mid}$	dB	bodemverzwakking in het middengebied
$D_{b,ont}$	dB	bodemverzwakking in het ontvangergebied
D_{bodem}	dB	demping ten gevolge van de bodem
D_{geo}	dB	afname van het geluidsniveau door geometrische uitbreiding
D_{lucht}	dB	afname van het geluidsniveau door absorptie in lucht
D_{max}	dB	maximale type-afhankelijke dempingswaarden
D_{refl}	dB	afname door reflectie tegen obstakels (deze term is negatief)
D_{scherm}	dB	afname ten gevolge van afscherming door obstakels
$D_{terrein}$	dB	afname door demping t.g.v. installaties op het industrieterrein
D_{veg}	dB	afname vanwege geluidsverstrooiing aan en absorptie door vegetatie
f	Hz	frequentie
H	m	verticale afstand tussen het maaiveld en het middelpunt van de rotor
h_b	m	bronhoogte = H
h_e	m	effectieve schermhoogte
h_m	m	hoogte van meetpunt ten opzichte van plaatselijk maaiveld
h_{ma}	m	hoogte maaiveld ten opzichte van referentievlak
h_o	m	beoordelingshoogte ten opzichte van plaatselijk maaiveld
h_{sr}	m	hoogte van het scherm ten opzichte van referentievlak
i	-	1,2…9 (31,5, 63…8000 Hz)
j	-	integer windsnelheden op ashoogte, gelegen tussen v_{ci} en v_{co}
$L_{Aeq,k}$	dB(A)	gemeten equivalente geluidsniveau op meetpunt met index k
L_{eq}	dB(A)	geluidsniveau ten gevolge van de turbine
L_{CUM}	dB(A)	gecumuleerd hinderequivalent geluidsniveau
L_{eq}*	dB(A)	geluidsniveau ten gevolge van de windturbine inclusief stoorgeluid
L_{stoor}	dB(A)	stoorgeluid bij uitgeschakelde turbine (achtergrondgeluid)
L_E	dB(A)	jaargemiddeld geluidsvermogen in octaafband *i* per beoordelingsperiode
$L_{W,i,j}$	dB(A)	bronsterkte per octaafband i en per windsnelheidsklasse j
L^*_{xx}	dB(A)	Hinderequivalente geluidsbelasting, xx=LL (luchtvaart), RL (railverkeer), VL (wegverkeer), IL (industrie), WT (windturbine)
N	-	Fresnelgetal
p	p	luchtdruk
p_{ref}	kPa	referentie luchtdruk; veelal p_{ref} = 101,3 kPa
R_0	m	horizontale afstand tussen P_k en de verticale hartlijn van de mast
R_1	m	kortste afstand tussen meetpunt P1 en het middelpunt van de rotor
r_{bm}	m	afstand bron tot het midden van de cilinder m

symbool	eenheid	omschrijving
r_{br}	m	afstand van de bron tot het reflecterend object
r_i	m	afstand tussen het broncentrum en het immissiepunt
R_k	m	afstand van meetpunt met index k tot het middelpunt van de rotor
r_{or}	m	afstand van het immissiepunt tot het reflecterend object
r_t	m	deel van de gekromde geluidsstraal, dat door de `open' installaties gaat
T	T	luchttemperatuur
$t(f)$	dB/m	factor voor de geluidsverzwakking door industrieterreinen
T_{ref}	K	referentie luchttemperatuur; veelal T_{ref} = 288 K
U_j	%	frequentie van voorkomen van windsnelheid *j* op ashoogte per periode
V_A	m/s	windsnelheid op 5-10 meter hoogte boven het maaiveld
V_{ci}	m/s	laagste windsnelheid waarbij de turbine in bedrijf is
V_{ci}	m/s	laagste windsnelheid waarbij de turbine in bedrijf is
V_{co}	m/s	hoogste windsnelheid waarbij de turbine in bedrijf is
V_D	m/s	windsnelheid, afgeleid van de power curve
V_H	m/s	gecorrigeerde windsnelheid op ashoogte
V_{rated}	m/s	windsnelheid, waarbij de turbine juist het nominale vermogen levert
α_k	°	hoek tussen windrichting/rotoras en de lijn tusse n bron en ontvanger
β	°	hoek tussen het noorden en de verbindingslijn tus sen bron en ontvanger
ΔD	dB	tophoekcorrectie
ε_h	m	horizontale omweg om scherm
ε_v	m	verticale omweg om scherm
ρ	-	reflectiecoëfficiënt
Ψ	°	supplement van de hoek tussen de lijnen B-m en l- m

5.2 Begrippen

Begrip	Omschrijving
Avondperiode	De beoordelingsperiode van 19.00 tot 23.00 uur
Beoordelingshoogte	De hoogte van het beoordelingspunt boven het maaiveld
Beoordelingspunt	Het punt waar de geluidsbelasting wordt berekend en getoetst aan (eventuele) grenswaarden
Dagperiode	De beoordelingsperiode van 07.00 tot 19.00 uur
Equivalent geluidsniveau	$L_{Aeq} = 10\lg\left\{\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2}\frac{{p_A}^2}{{p_0}^2}dt\right\}$, , met p_A A-gewogen momentane geluidsdruk p_0 referentiegeluidsdruk van 20 µPa
Invallend geluidsniveau	Het geluidsniveau dat op een gevel invalt zonder dat hierbij de eigen gevelreflectie betrokken wordt
Monopool	Rondom gelijk uitstralende puntbron
Nachtperiode	De beoordelingsperiode van 23.00 tot 07.00 uur
Referentierichting	Richting die samenvalt met de rotoras (benedenwinds)
Richtingsindex	Het in een bepaalde richting uitgestraalde geluidsvermogen, verminderd met het geluidsvermogen dat in referentierichting wordt uitgestraald
Stoorgeluid	Het op een emissiemeetpunt optredende geluid, veroorzaakt door andere geluidsbronnen dan de windturbine
Vermogenscurve	Het verband tussen het elektrisch vermogen en de windsnelheid op ashoogte bij standaard atmosferisch omstandigheden