

ONGERUBRICEERD

Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61

TNO-rapport**TNO 2017 R11677****Toetsing van mogelijke schade aan gebouwen
op Texel door explosies bij oefeningen op de
Vliehors**

Datum februari 2018

Auteur(s)



Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 13 (incl. bijlagen)

Projectnaam Actualisatie Vliehors

Projectnummer 060.21674

Alle rechten voorbehouden.

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.

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

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2018 TNO

ONGERUBRICEERD

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Gebruikte begrippen	4
3	Beoordelingsmethode.....	5
3.1	Ontwikkeling van het TNO rekenmodel.....	6
3.2	Bepaling toetsingswaarde	6
4	Berekening van de kans dat de toetsingswaarde overschreden wordt.....	8
4.1	Verdeling van geluidniveaus.....	8
5	Prognose van optredende geluidniveaus	10
6	Conclusies.....	11
7	Referenties	12
8	Ondertekening	13

1 Inleiding

Op de Vliehors traint o.a. het Commando Luchtstrijdkrachten met het werpen van bommen vanaf vliegtuigen. Naast oefeningen met inerte munitie, gevuld met zand, wordt ook geoefend met bommen die een lading bevatten en exploderen. Hierdoor kunnen woningen op bijvoorbeeld Texel in trilling worden gebracht. In sommige gevallen zijn er klachten dat door deze trillingen gebouwschade ontstaat.

In opdracht van het Commando Luchtstrijdkrachten (CLSK) heeft TNO een methode ontwikkeld om de kans op het ontstaan van schade aan woningen als gevolg van deze bomexplosies te kunnen bepalen. De methode combineert geluidmetingen met een rekenmodel om gebouwtrillingen te kunnen bepalen. Een toetsingswaarde is gedefinieerd op basis waarvan bepaald kan worden of schade aan woningen kan ontstaan. Wanneer de uitkomst van een geluidmeting beneden de toetsingswaarde ligt, is de kans op het ontstaan van schade kleiner dan 1%.

Met behulp van geavanceerde modellen zijn berekeningen uitgevoerd om in te schatten hoe groot de kans is op een overschrijding van de toetsingswaarde.

De methode en berekeningen worden in dit rapport beschreven. In hoofdstuk 2 worden enkele begrippen en afkortingen die in dit rapport worden gebruikt verder toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt de beoordelingsmethode beschreven en in hoofdstuk 4 de uitkomsten van de uitgevoerde berekeningen. In hoofdstuk 5 wordt een doorkijk gegeven naar mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Het rapport wordt in hoofdstuk 6 afgesloten met conclusies.

2 Gebruikte begrippen

In deze rapportage zijn enkele begrippen en afkortingen gebruikt die hieronder worden toegelicht.

CLSK (Commando Luchtstrijdkrachten)

Het operationele deel van de luchtmacht is opgegaan in het Commando Luchtstrijdkrachten (CLSK) en met het Commando Zeestrijdkrachten (CZSK) en het Commando Landstrijdkrachten (CLAS) als deel van de Nederlandse krijgsmacht direct onder de Commandant der Strijdkrachten geplaatst (Wikipedia).

TNO

TNO is in 1932 bij wet opgericht organisatie om kennis toepasbaar te maken voor bedrijven en overheden. Als publiekrechtelijke organisatie heeft TNO een onafhankelijke positie. Zie www.tno.nl voor verdere informatie.

SBR-A richtlijn

SBR staat voor Stichting Bouw Research. Een belangrijk en voor veel situaties te gebruiken hulpmiddel voor het beoordelen van trillingen in gebouwen is de SBR-richtlijn "Meet- en beoordelingsrichtlijnen voor trillingen". Deze richtlijn bestaat uit drie delen:

- Deel A, Schade aan gebouwen
- Deel B, Hinder voor personen in gebouwen
- Deel C, Storing aan apparatuur

Deze richtlijn sluit grotendeels aan bij internationale richtlijnen (Duitse norm DIN 4150, ISO 2631/2). Er wordt in deze richtlijn veel aandacht besteed aan het meten van trillingen. Over het algemeen wordt dan ook verwezen naar deze richtlijn wanneer een trillingsonderzoek is voorgeschreven en uitgevoerd. Naast aandacht voor de meting van trilling bevat de richtlijn ook een beoordelingssystematiek. Zie verder www.infomil.nl voor verdere informatie.

Geluidexpositieniveau, SEL

Het geluidexpositieniveau is een maat voor de akoestische energie van een geluidsgolf. Het wordt soms afgekort als SEL wat staat voor Sound Exposure Level. In standaarden wordt het afgekort als L_E .

SEL_{1-100Hz}

Het geluidexpositieniveau voor het frequentiegebied van 1 tot 100 Hertz.

Deze grootheid wordt gebruikt als toetsingswaarde in de methode die in dit rapport beschreven wordt. Als het geluidniveau voor de gevel van een woning kleiner is dan deze toetsingswaarde dan is de kans op het ontstaan van schade kleiner dan 1%.

3 Beoordelingsmethode

In de SBR-A richtlijn wordt een methode beschreven waarmee met trillingsmetingen bepaald kan worden of er door deze trillingen mogelijk schade aan een gebouw kan ontstaan. De richtlijn geeft grenswaarden voor deze trillingen waar beneden de kans op het ontstaan van schade kleiner is dan 1%. Bij schade bij deze grenswaarden moet men dan denken aan scheurvorming in afwerklagen.

Het uitvoeren van deze trillingsmetingen is complex en arbeidsintensief en niet goed toepasbaar als men voor een groot gebied met vele woningen inzicht wil krijgen in het ontstaan van schade. Het is uitgesloten dat trillingen door de grond van Vliehors naar Texel aanleiding zouden geven tot significante trillingsniveaus. Als er al trillingen optreden door explosies op de Vliehors, dan kunnen deze alleen veroorzaakt worden door luchtgeluid. Aangezien geluidmetingen eenvoudiger zijn uit te voeren dan trillingsmetingen, ligt het voor de hand om de kans op het ontstaan van schade te toetsen aan de hand van het geluidniveau. Een alternatieve methode is daarom ontwikkeld waarbij op basis van het geluidniveau van bomexplosies op korte afstand van de gevel de kans op het ontstaan van schade aan woningen eenvoudig beoordeeld kan worden.

Om deze methode vorm te kunnen geven is een model ontwikkeld dat een relatie legt tussen het invallende geluid van een explosie en trillingen van gevels van woningen. Met dit model is voor een groot aantal type gevels berekend bij welke geluidniveaus schade kan ontstaan. Voor de uiteindelijke beoordelingsmethode is vervolgens voor een conservatieve methode gekozen waarbij de meest schadegevoelige gevel als uitgangspunt genomen is van de gevels die op Texel voorkomen. Als een woning volgens deze methode getoetst wordt, dan wordt dus op basis van het geluidniveau de mogelijke kans op het ontstaan van schade beoordeeld als had deze woning de meest schadegevoelige gevel.

Voor de ontwikkeling van deze beoordelingsmethode zijn de volgende stappen uitgevoerd:

- Bepalen welke type gebouwen op Texel voorkomen en waar het TNO-model geschikt voor moet zijn.
- Ontwikkeling van het rekenmodel dat een relatie legt tussen het invallende geluid van een explosie en trillingen van gevels van woningen.
- Bepaling toetsingswaarde voor het geluidniveau waarbij de kans kleiner is dan 1% dat voor de meest schadegevoelige gevel die op Texel voorkomt schade ontstaat.

In de volgende paragrafen worden deze stappen beschreven en worden de gemaakte stappen en keuzes toegelicht.

3.1 Ontwikkeling van het TNO rekenmodel

De SBR-A richtlijn onderscheidt drie categorieën van bouwwerken:

- 1) Gewapend beton of houten draagconstructie;
- 2) Draagconstructie uit metselwerk;
- 3) Monumentale gebouwen.

In het onderzoek is met name gebouwcategorie 2 gebruikt, aangezien het overgrote deel van de woningen op Texel in deze categorie vallen. Enkele gebouwen vallen in categorie 3 waarvoor aparte berekeningen zijn gemaakt. Categorie 1 woningen zijn buiten beschouwing gelaten. Als er al woningen op Texel voorkomen die binnen categorie 1 vallen dan zal dat geen invloed hebben op de beoordelingsmethode aangezien deze huizen een steviger constructie hebben en de kans op schade hierbij geringer is dan bij de overige categorieën.

Voor het TNO-model, dat een relatie legt tussen het geluidniveau voor de gevel en het trillingsniveau van de gevel, is met name de hoogte en breedte van de gevel van belang. Zo zal een kleine compacte gevel hogere geluidniveaus aankunnen dan grotere gevels. Er is geïnventariseerd welke afmetingen van gevels op Texel voorkomen. Hierbij bleek dat de gevelhoogte varieerde van 3 tot 10 meter en de breedte van 4 tot 16 meter. Er bleken daarnaast op Texel geen gevels voor te komen met een oppervlak groter dan 120 m².

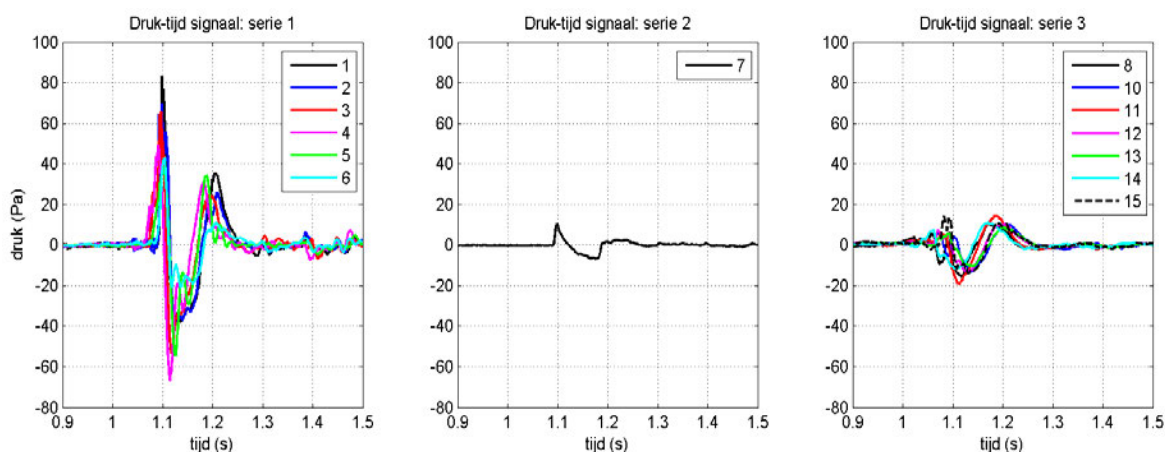
Naast de grootte van de gevel is ook de massa van de gevel van belang. Hierbij is van een halfsteensmuur uitgegaan hetgeen ook een conservatieve aanname is. In het rapport: "Voorspellen van geveltrillingen en schade aan gebouwen ten gevolge van laagfrequente geluidsgolven bij explosies" [2] zijn de details van het model verder beschreven.

3.2 Bepaling toetsingswaarde

Met behulp van het TNO-model is van vele gevels met verschillende afmetingen bepaald bij welke geluidniveaus de grenswaarde voor trillingen uit de SBR-A richtlijn [1] bereikt wordt. Voor de berekeningen is er conservatief van uitgegaan dat de geluidgolf loodrecht op de gevel invalt.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor het frequentiegebied van 1 tot 100 Hz aangezien de SBR-A richtlijn aangeeft dat voor schade als gevolg van geveltrillingen alleen dit frequentiegebied van belang is. Het geluidniveau waarbij de grenswaarde wordt bereikt wordt hierbij uitgedrukt als geluidexpositieniveau. Dit is een technische term waarmee aangegeven wordt dat de totale akoestische energie voor dit frequentiegebied in rekening wordt gebracht. We duiden dit in dit rapport verder aan als het SEL_{1-100Hz} niveau, waarbij SEL staat voor Sound Exposure Level.

Voor de berekening van het trillingsniveau van de gevel is ook de golfvorm van het geluid van de explosie van belang. In Figuur 1 zijn voorbeelden gegeven van het gemeten verloop van de geluiddruk in De Cocksdorp van explosies van de zwaarste categorie bommen die op de Vliehors toegepast worden [3]. De metingen die hier zijn weergegeven vonden plaats op drie opeenvolgende dagen (serie 1 t/m 3). Voor de eerste serie was de wind tussen de Vliehors en Texel naar De Cocksdorp gericht (we noemen dit verder een meewind situatie). Voor serie 2 en 3 was dat niet het geval, met duidelijk lagere geluiddrukken als gevolg. (De invloed van de windrichting op de hoogte van het geluidniveau wordt in het volgende hoofdstuk verder toegelicht)



Figuur 1 De druksignalen in tijd van de 15 geluidsmetingen gemeten in De Cocksdorp [3], verdeeld over drie opeenvolgende meetdagen (serie 1, serie 2 en serie 3).

Met de golfvorm van de metingen die onder meewind zijn uitgevoerd, zijn voor de verschillende typen gevels en gebouwcategorieën met het model de geluidniveaus bepaald waarbij de grenswaarde voor trillingen wordt bereikt. Bij deze grenswaarde is er, conform de methodiek van SBR-A richtlijn, 1% kans dat schade ontstaat. Voor de meest schadegevoelige gevel is dit geluidniveau 110 dB SEL_{1-100Hz}. Voor minder schadegevoelige gevels ligt het geluidniveau waarbij de grenswaarde voor trillingen bereikt wordt op een hoger niveau.

Deze 110 dB SEL_{1-100Hz} wordt voor de nieuwe methode als toetsingswaarde gehanteerd. Dit is een conservatieve benadering, want elke woning wordt dan getoetst als had deze woning de meest schadegevoelige gevel. De grenswaarde voor trillingen zal bij deze toetsingswaarde voor de meeste gevels niet overschreden worden en de kans op het ontstaan van schade zal dan lager zijn dan de 1% waar de SBR-A richtlijn van uitgaat.

4 Berekening van de kans dat de toetsingswaarde overschreden wordt

Berekeningen zijn uitgevoerd om inzicht te krijgen hoe de nieuwe toetsingswaarde van $SEL_{1-100Hz} = 110$ dB in verhouding staat met de $SEL_{1-100Hz}$ niveaus die op De Cocksdorp te verwachten zijn als gevolg van bomexplosies op de Vliehors. Hiervoor is gebruik gemaakt van geavanceerde modellen waarmee op basis van de weerssituatie de geluidniveaus op de Cocksdorp uitgerekend kunnen worden.

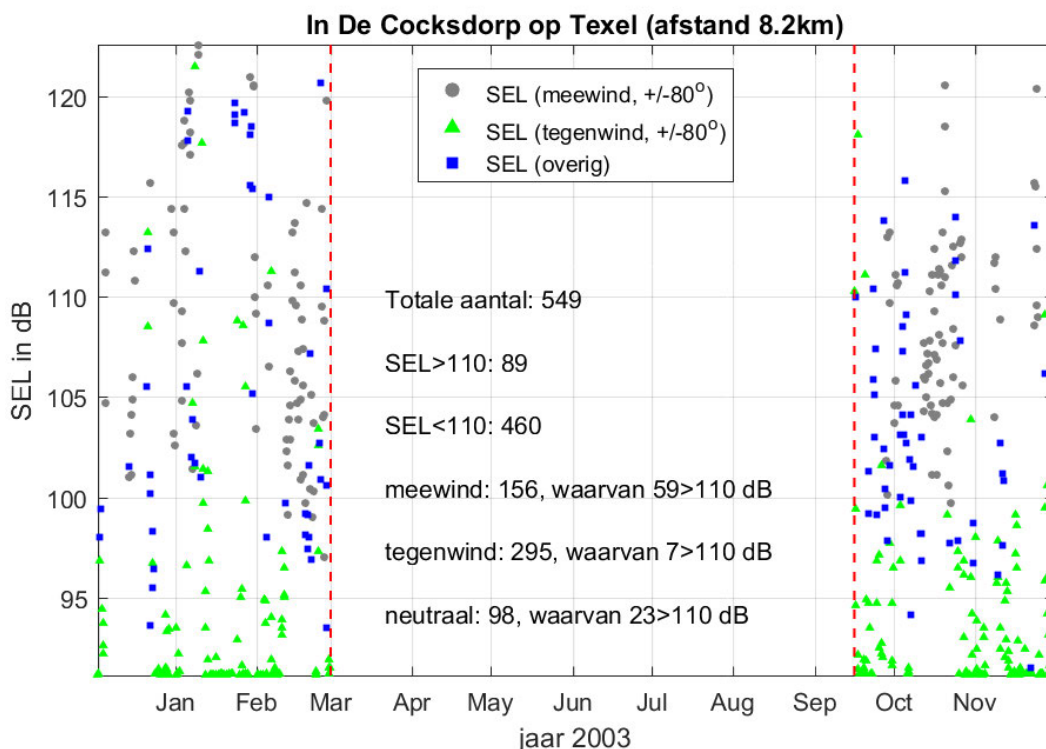
In figuur 1 zijn voorbeelden gegeven van golfvormen die bij verschillende windrichtingen zijn bepaald. Hierbij bleek dat onder meewindcondities hogere geluidniveaus gemeten worden. Echter niet alleen de windrichting is bepalend of er hogere of lagere geluidniveaus worden gemeten. Door verschillen in windsnelheid en temperatuur als functie van de hoogte wordt het geluid afgebogen. Zo wordt het geluid naar beneden afgebogen als de windsnelheid of temperatuur toeneemt met de hoogte. De geluidniveaus zullen in dit soort gevallen hoger zijn dan voor situaties waarbij de temperatuur of de windsnelheid (bij tegenwindsituaties) afneemt met de hoogte. Wat het nog complexer maakt, is dat de windsnelheid en temperatuur ook van plaats tot plaats kan verschillen. Zo kan, als gevolg van zeewind, de windrichting op Vlieland tegengesteld gericht zijn aan die op Texel.

Door TNO zijn modellen ontwikkeld waarmee deze invloed van het weer op de geluidoverdracht berekend kan worden. Voor de berekening wordt meteorologische data gebruikt van het KNMI. Deze gegevens zijn echter beschikbaar voor een beperkt aantal posities die een onderlinge horizontale afstand hebben van 11 km. Voor de berekening van de invloed van het weer op de geluidniveaus is echter een hogere resolutie nodig. Een meteorologisch model wordt daarom gebruikt om, uitgaande van de KNMI gegevens, op meer posities de weerssituatie te bepalen. De berekeningsresultaten van het meteorologisch model voor posities op een onderlinge afstand van minimaal 250 m worden vervolgens gebruikt in een model waarmee de geluidniveaus berekend kunnen worden. Naast de invloed van het weer wordt in dit geluidmodel ook de invloed van de bodem op de geluidvoortplanting meegenomen.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van meteorologische data van het KNMI voor 2003. In een eerder onderzoek [3] is aangetoond dat deze meteorologische data een goed representatief beeld geeft van de jaarlijks optredende meteorologische situaties voor dat gebied.

4.1 Verdeling van geluidniveaus

Op basis van gegevens van het KNMI voor 2003 en op basis van de zwaarste bommen die op Vliehors worden toegepast zijn 549 $SEL_{1-100Hz}$ niveaus berekend voor De Cocksdorp. Per dag zijn op vier verschillende tijdstippen, dus voor vier verschillende meteorologische situaties, deze geluidniveaus bepaald. De dagen in de zomerperiode zijn buiten beschouwing gelaten, aangezien er tussen 1 maart en 15 september op de Vliehors niet wordt geoefend met het werpen van bommen. Deze 549 berekende $SEL_{1-100Hz}$ geluidniveaus voor De Cocksdorp zijn getoond in Figuur 2, als functie van de datum. De berekende $SEL_{1-100Hz}$ niveaus variëren tussen 91 en 123 dB.



Figuur 2 Berekende $SEL_{1-100Hz}$ niveaus in De Cocksdorp op basis van meteodata van het jaar 2003, voor meewind, tegenwind en neutrale situaties.

De 549 niveaus zijn berekend voor alle weersomstandigheden (en dus ook voor weersomstandigheden waarbij op de Vliehors er niet kan geoefend kan worden). Van deze 549 niveaus zijn er 89 die een hogere waarde hebben dan 110 dB, de toetsingswaarde van de beoordelingsmethode. In 16% van de gevallen worden er in De Cocksdorp dus hogere niveaus berekend.

In Figuur 2 is onderscheid gemaakt tussen situaties waarbij de windrichting tussen de Vliehors en Texel als meewind, tegenwind of als een neutrale situaties kan worden getypeerd. Voor situaties waarbij de windrichting tussen Vliehors en Texel van plaats tot plaats anders was is van de overwegende windrichting uitgegaan. Uit de gekozen onderverdeling blijkt dat bij meewind situaties de niveaus over het algemeen hoger zijn. Van de 156 meewind situaties zijn er 59 boven de 110 dB (=38%). Van de 295 tegenwind situaties zijn er daarentegen slechts 7 boven de 110 dB (=2%). Uit het feit dat er bijna 2 keer zoveel tegenwindsituaties zijn berekend dan meewindsituaties blijkt dat in dit gebied tegenwindsituaties overheersen (overwegend ZW-wind).

Op basis van de resultaten in Figuur 2 kan worden geconcludeerd dat, als oefeningen alleen bij tegenwindsituaties worden uitgevoerd, er in 2% van de tijd hogere waarden dan de toetsingswaarde van 110 dB $SEL_{1-100Hz}$ kunnen voorkomen.

5 Prognose van optredende geluidniveaus

De berekeningsresultaten die in het vorige hoofdstuk zijn besproken tonen ook aan dat, op basis van de windrichting alleen, niet is in te schatten of de toetsingswaarde van 110 dB SEL_{1-100Hz} in De Cocksdorp wordt overschreden. De kans dat hoge niveaus optreden is weliswaar bij tegenwind een stuk lager dan bij meewind maar ook bij tegenwind kunnen soms hoge geluidniveaus ontstaan.

Met geluidmetingen kan alleen achteraf getoetst worden of de toetsingswaarde is overschreden. Door gebruik te maken van de geavanceerde modellen die in het vorig hoofdstuk zijn besproken kan op basis van de weersverwachting een prognose gemaakt worden of de toetsingswaarde bij komende oefeningen mogelijk wordt overschreden. In een vroegtijdig stadium kan dan voor verschillende tijdstippen ingeschat worden of er mogelijk schade kan optreden. Bij de planning van de oefeningen zou dan die periode gekozen kunnen worden waarbij er de kleinst mogelijk kans is dat er schade kan optreden. Als dit in de planning wordt betrokken zou dit de kans op schade aan huizen verder kunnen verkleinen.

6 Conclusies

Samenvattend kunnen de belangrijkste conclusies uit dit rapport als volgt worden geformuleerd:

- Als gevolg van oefeningen met bomexplosies op de Vliehors kunnen gevels van woningen in trilling worden gebracht. Met behulp van een hiervoor ontwikkeld model is het mogelijk om de trillingsniveaus in te schatten op basis van het geluidniveau op korte afstand van de gevel. Het geluidniveau wordt hierbij uitgedrukt als het geluidexpositieniveau voor frequenties van 1 tot 100 Hz ($SEL_{1-100Hz}$).
- De SBR-A richtlijn hanteert een grenswaarde voor trillingsniveaus waarbij de kans op schade aan woningen kleiner is dan 1%. Vertaald naar geluid komt dit overeen met een toetsingswaarde voor $SEL_{1-100Hz}$ van 110 dB. Hierbij is uitgegaan van verschillende conservatieve uitgangspunten:
 - o Toetsing voor de zwaarste categorie bommen;
 - o Toetsing op basis van de meest schadegevoelige gevel;
 - o Ervan uitgaande dat de gevel zo gesitueerd is dat het geluid van de bomexplosie loodrecht invalt op de gevel.
 - o Uitgaande van een halfsteens gevelAls de toetsingswaarde wordt overschreden zal door deze conservatieve aannames de kans op het ontstaan van schade meestal lager zijn dan 1%.
- Op basis van rekenresultaten met meteogegevens voor het jaar 2003, dat als een representatief jaar kan worden aangemerkt, kan worden geconcludeerd dat de toetsingswaarde van $SEL_{1-100Hz} = 110$ dB in De Cocksdorp in 2% van de tijd wordt overschreden, wanneer oefeningen met bomexplosies alleen bij tegenwind situatie plaatsvinden.
- De kans op schade kan verder wordt verkleind als de planning van de oefeningen mede wordt gebaseerd op basis van een prognoses van de toetsingswaarde voor de verschillende tijdstippen waarop de oefeningen kunnen plaatsvinden.

7 Referenties

- [1] SBR, 2010, Trillingen: meet- en beoordelingsrichtlijnen, deel A, Schade aan gebouwen.
- [2] Jansen, H.W., Galanti, F., 2010, Voorspellen van geveltrillingen en schade aan gebouwen ten gevolge van laagfrequente geluidsgolven bij explosies, MON-RPT-2010-03086, Delft.
- [3] Van Vliet, W.J.A., 2000, Geluids- en trillingsniveaus op Texel en bij Harlingen tgv de explosie van 500 lbs bommen op de Vliehors, 10 – 12 feb. 1999, HAG-RPT-990104, Delft.
- [4] Van der Eerden, F.J.M., Kaptein, D., 2008, Geluidcontouren rond Vlieland door schiet- en explosiegeluid op de Vliehors Range, MON-RPT-033-DTS-2008-02225, Delft.

8 Ondertekening

Den Haag, Januari 2018




Afdelingshoofd

TNO




Auteur