

Memorandum

Aan
KNSA
Koninklijke Nederlandse Schietsport Associatie
T.a.v. [REDACTED]
Postbus 303
3830AJ Leusden

Van
[REDACTED]

Kopie aan
Archief TNO Defensie

Onderwerp
Dracht loodhoudende (No. 7) en stalen (No. 6) hagelmunitie

Technical Sciences
Lange Kleiweg 137
2288 GJ Rijswijk
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl

T +31 88 866 80 00
F +31 88 866 69 49
infodesk@tno.nl

Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

Doorkiesnummer
+31 88 866 13 92

Introductie

De KNSA (hierna te noemen: de klant) wil een nieuwe locatie gaan inrichten als schietterrein. Dit terrein moet geschikt worden gemaakt voor het schieten met loodhoudende hagel. Dit terrein zal worden voorzien van een bodembedekking die ervoor zorgt dat de loodhagel niet in het milieu terecht komt. Tevens overweegt de klant het plaatsen van schermen aan het eind van het schietterrein om kogeltjes op te vangen. De klant heeft TNO gevraagd de dracht en gedetailleerde vluchtbaan te bepalen van loodhoudende hagel (No. 7) voor specifieke schietcondities, die hieronder worden vermeld. Ter vergelijking heeft de klant tevens gevraagd om deze resultaten te bepalen voor stalen hagel (No. 6). Dit memorandum beschrijft het onderzoek dat door TNO is uitgevoerd en vat de resultaten samen.

Dit onderzoek gaat uit van de volgende gegevens:

- dichtheid loden hagelmunitie: 11.3 kg/m^3
- dichtheid stalen hagelmunitie: 7.90 kg/m^3
- mondingsnelheid van de munitie: 400 m/s
- diameter loden hagelmunitie: 2.5 mm (no. 7)
- diameter stalen hagelmunitie: 2.7 mm (no. 6)
- initiële hoogte: 1.6 m
- Windsnelheden: 6, 7 en 8 Bft meewind en tegenwind
- Hagel verlaat de loop rechtlijnig (spreiding wordt niet geanalyseerd)

De vertaling van windkracht naar windsnelheid is gedaan op basis van openbare KNMI gegevens (KNMI, 2011). Hierin is de windkracht gegeven als snelheidsinterval. De hagelkorrelbanen zijn bepaald voor de gemiddelde snelheid in elk interval. Dat is 12.3 m/s voor 6 Bft, 15.5 m/s voor 7 Bft en 19.0 m/s en 8 Bft. Daarnaast zijn tevens banen bepaald voor de minimale snelheid bij 6 Bft (10.8 m/s) en de maximale snelheid bij 8 Bft (20.7 m/s), om de uitersten af te bakenen van het interval 6 Bft tot 8 Bft. Verder is nog een referentieberekening gedaan bij windstilte (0 m/s).

Invloed van luchtweerstand

Voor het bepalen van de vluchtbaan is een schatting noodzakelijk van de weerstandscoefficiënt (cd) van de kogel. De cd geeft weer hoeveel de hagelkorrel vertraagt onder invloed van zijn beweging door de lucht. Een hogere cd zorgt voor een kleinere dracht. Voor de cd zijn verschillende literatuurbronnen die uiteenlopende waarden geven. Dat geeft onzekerheid op de uitkomsten van dit onderzoek. In dit onderzoek worden cd waarden gebruikt die zijn gebaseerd op literatuurgegevens, gecorrigeerd aan de hand van een klein aantal praktijkmetingen (Bouquet F. , juni 2013) (Bouquet F. , april 2013) (zie Appendix A). Deze praktijkmetingen vergroten het vertrouwen in de cd waarden voor de korrels, alhoewel ze geen statistisch significant beeld geven. Er blijft daardoor onzekerheid bestaan in de uitkomsten van dit onderzoek¹. Indien een foutenmarge van plus of minus 10% wordt aangenomen op de cd geeft dit een afwijking van plus of minus 10% op de dracht en plus of minus 7% op de maximale hoogte van de hagel. In de samenvatting in Figuur 1 worden de resultaten met foutenmarges weergegeven. Figuur 2 tot en met Figuur 8 geven de resultaten weer zonder de foutenmarge.

Samenvatting resultaten

Tabel 1 en Figuur 1 vatten de resultaten van het onderzoek samen. Deze tonen de maximale dracht van de loden en stalen hagelkorrels als functie van de windkracht en -richting. Hierbij geeft 8Bft_max de maximale windsnelheid aan in het interval horende bij 8 Bft. Deze windsnelheid is onveranderlijk gedurende de vlucht van de hagel. De windkracht 6 Bft_min wil zeggen dat de – tijdens de vlucht constante – windsnelheid de laagste is in het interval behorende bij 6 Bft. Daarmee wordt een interval weergegeven van maximale en minimale windsnelheid die wordt gevonden in het interval 6 Bft tot en met 8 Bft.

Tabel 1 Samenvatting van de resultaten voor dracht en hoogte van loden en stalen hagelkorrels. Deze resultaten zijn zonder onzekerheidsmarge. Bij deze resultaten is aangenomen dat de elevatie van het schot nooit groter is dan 15 graden.

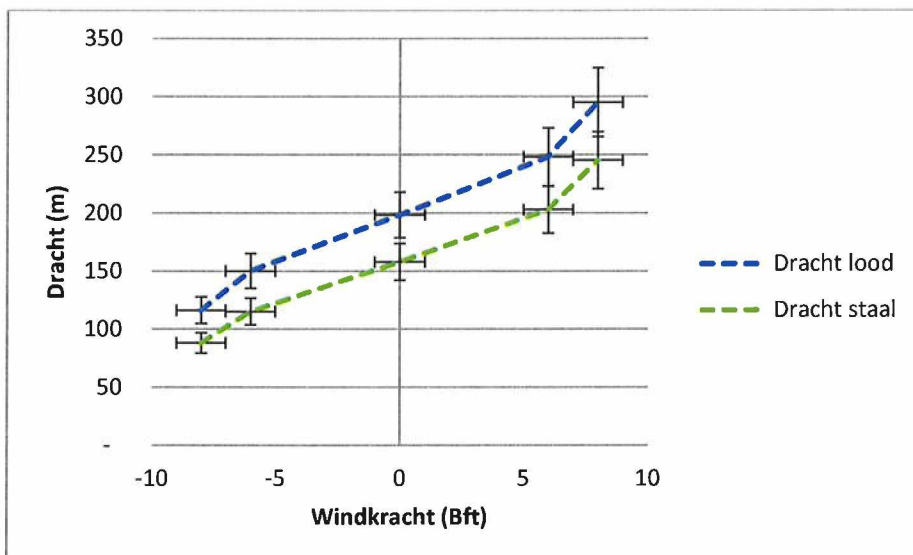
Windsituatie	Lood (m)	Staal (m)
8 Bft_max tegenwind	116	88
6 Bft_min tegenwind	150	115
windstil	198	158
6 Bft_min rugwind	248	203
8 Bft_max rugwind	295	245

¹ Een daadwerkelijke schatting van de cd zou kunnen worden verkregen door het uitvoeren van een statistisch significante hoeveelheid praktijkproeven.

Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

Blad
2/9



Figuur 1 Maximale dracht als functie van windkracht (negatieve waarden van windkracht zijn tegenwind) wanneer wordt geschoten met een elevatie niet groter dan 15 graden. De kruisjes in de figuur geven de onzekerheidsmarge weer op de resultaten.

Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

Blad
3/9

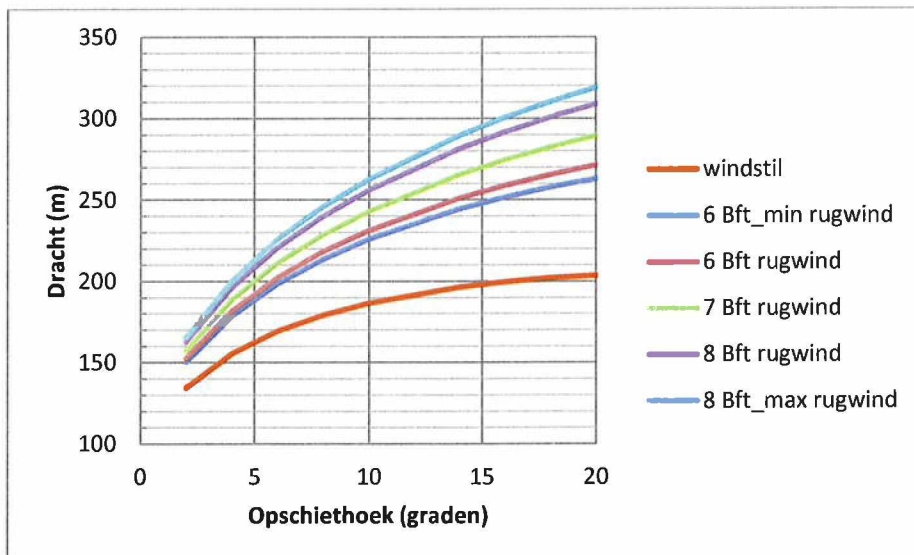
Detailresultaten voor loden hagelkorrel (No. 7)

Figuur 2 en Figuur 3 tonen de maximale dracht als functie van de opschiethoek bij meewind en tegenwind, respectievelijk, voor loden hagelkorrels van 2.5 mm diameter, die met een snelheid van 400 m/s de loop van het geweer verlaten. Figuur 4 toont de vluchtbanen van de loden hagelkorrels bij de optimale opschiethoek, met een maximale opschiethoek van 15 graden. Deze maximale opschiethoek is gehanteerd op verzoek van de klant, omdat voor vrijwel alle disciplines, de elevatie onder deze waarde blijft (Duisterhof, 2013). De optimale opschiethoek is voor elke windsnelheid verschillend. Figuur 8 laat zien dat deze opschiethoek in de tegenwindsituaties lager kan zijn dan 15 graden. Bij windkracht 8 tegenwind is de maximale dracht 116 m. Bij windkracht 6 tegenwind is de maximale dracht 150 m. Bij windstilte bedraagt de maximale dracht 198 m. Bij 6 Bft rugwind is de dracht 248 m. Deze loopt op tot 295 m bij 8 Bft rugwind. Indien bij grotere elevaties wordt geschoten (zoals weergegeven in Figuur 8) kan de dracht oplopen tot 365 m. Ter verduidelijking van toont Tabel 2 de afstand tot het nulpunt van de loden hagelkorrel bij het bereiken van 5, 10, 15 en 20 m hoogte. Deze afstanden worden gebruikt voor het bepalen van de hoogte van eventueel te plaatsen schermen die de kogeltjes opvangen.

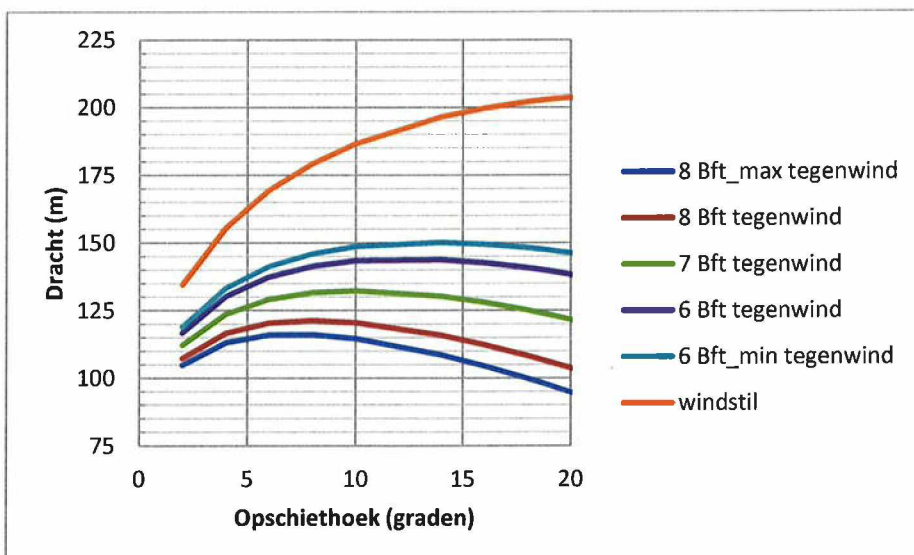
Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

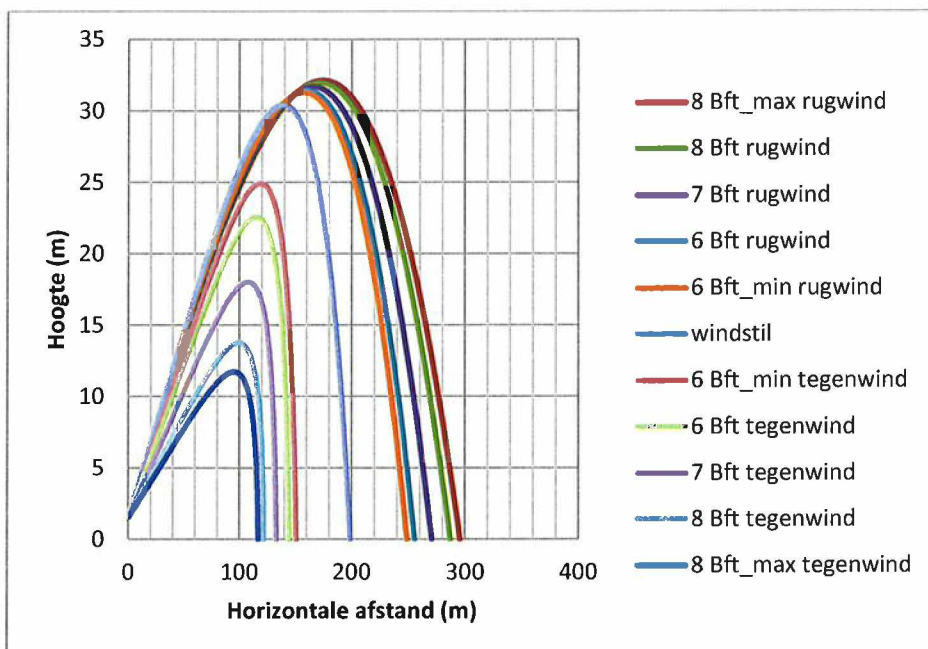
Blad
4/9



Figuur 2 Maximale dracht als functie van opschiethoek voor loden hagelkorrel voor verschillende windsnelheden (in schootsrichting)



Figuur 3 Maximale dracht als functie van opschiethoek voor loden hagelkorrel voor verschillende windsnelheden (tegen schootsrichting in). Negatieve dracht betekent dat de tegenwind de hagelkorrel achter de schutter doet belanden.



Figuur 4 Hoogte als functie van de afgelegde afstand voor loden hagelkorrel voor verschillende windsnelheden bij de optimale opschiethoek (met een maximale opschiethoek van 15°. Voor elke windsnelheid geldt een andere optimale opschiethoek, maar deze is gelimiteerd door de KNSA (zie Figuur 8).

Tabel 2 Afstand tot het nulpunt van de loden hagelkorrel wanneer deze een hoogte bereikt van 5, 10 15 en 20 m in de dalende vlucht.

H (m)	5	10	15	20
8 Bft_max tegenwind	115	108	n/a	n/a
8 Bft tegenwind	120	116	n/a	n/a
7 Bft tegenwind	131	129	123	n/a
6 Bft tegenwind	143	141	137	130
6 Bft_min tegenwind	149	147	144	138
windstil	194	190	185	178
6 Bft_min rugwind	241	234	226	215
6 Bft rugwind	247	240	232	220
7 Bft rugwind	263	252	244	231
8 Bft rugwind	276	267	257	245
8 Bft_max rugwind	285	275	264	251

Detailresultaten voor stalen hagelkorrel (No. 6)

Figuur 5 en Figuur 6 tonen de maximale dracht als functie van de opschiethoek bij meewind en tegenwind, respectievelijk, voor stalen hagelkorrels van 2.7 mm

Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

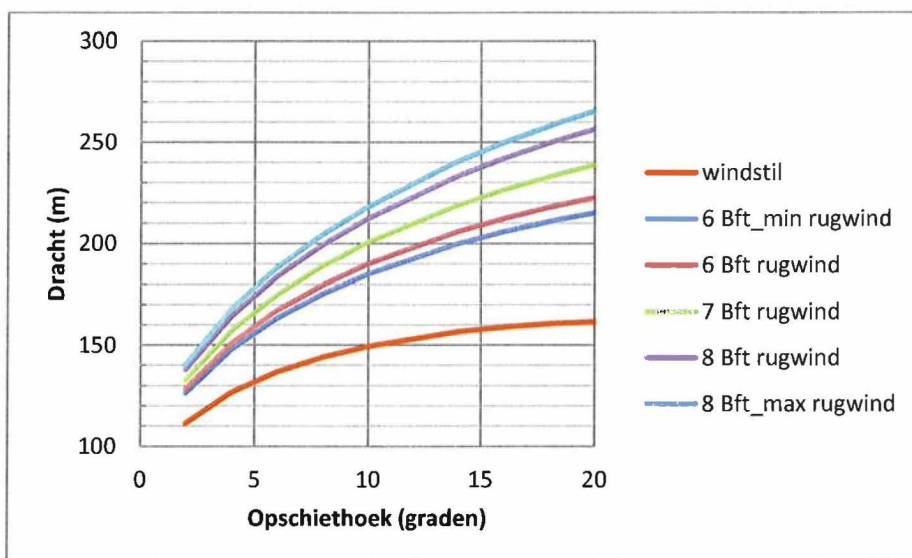
Blad
5/9

diameter, die met een snelheid van 400 m/s de loop van het geweer verlaten. Figuur 7 toont de vluchtbanen van de stalen hagelkorrels bij de optimale opschiethoek, met een maximale opschiethoek van 15 graden. Bij windkracht 8 tegenwind is de maximale dracht 88 m. Bij windkracht 6 tegenwind is de maximale dracht 115 m. Bij windstilte bedraagt de maximale dracht 158 m. Bij 6 Bft rugwind is de dracht 203 m. Deze loopt op tot 245 m bij 8 Bft rugwind. Indien bij grotere elevaties wordt geschoten (zoals weergegeven in Figuur 8) kan de dracht oplopen tot 309 m. Tabel 3 toont de afstand tot het nulpunt van de stalen hagelkorrel bij het bereiken van 5, 10, 15 en 20 m hoogte. Zoals hierboven vermeld is worden deze afstanden gebruikt voor het bepalen van de hoogte van eventueel te plaatsen schermen die de kogeltjes opvangen.

Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

Blad
6/9

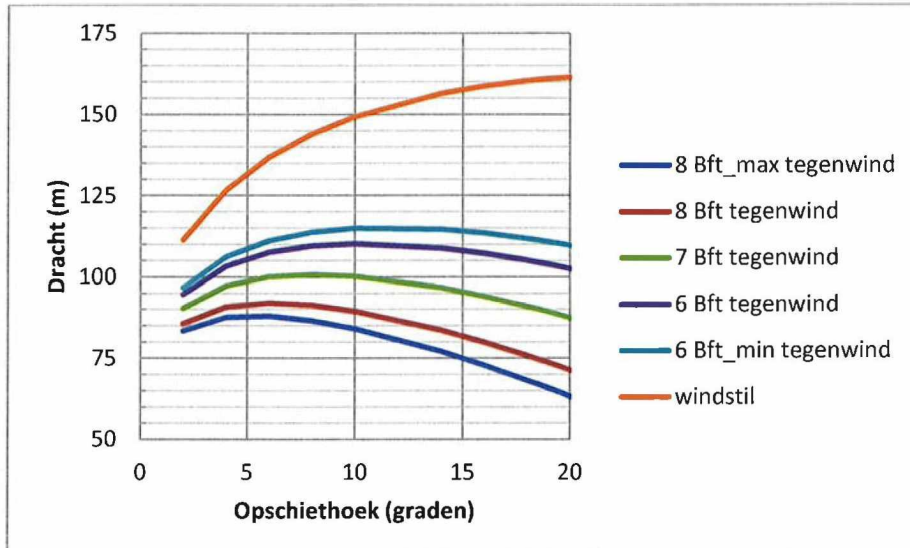


Figuur 5 Maximale dracht als functie van opschiethoek voor stalen hagelkorrel voor verschillende windsnelheden (in schietsrichting)

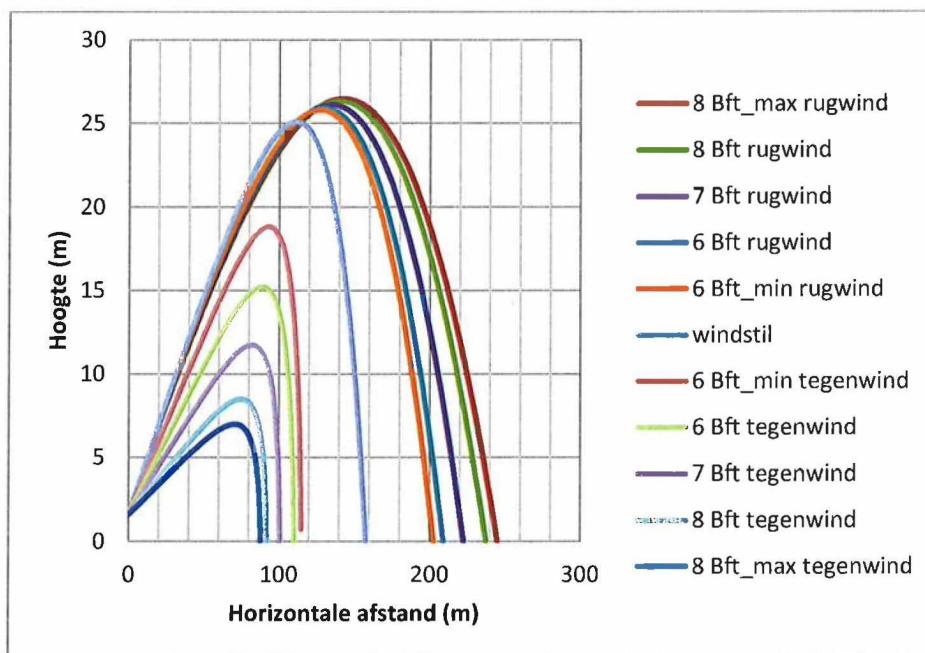
Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

Blad
7/9



Figuur 6 Maximale dracht als functie van opschiethoek voor stalen hagelkorrel voor verschillende windsnelheden (tegen schietsrichting in). Negatieve dracht betekent dat de tegenwind de hagelkorrel achter de schutter doet belanden.



Figuur 7 Hoogte als functie van de afgelegde afstand voor stalen hagelkorrel voor verschillende windsnelheden bij de optimale opschiethoek. Voor elke windsnelheid geldt een andere optimale opschiethoek (zie Figuur 8).

Tabel 3 Afstand tot het nulpunt van de stalen hagelkorrel wanneer deze een hoogte bereikt van 5, 10 15 en 20 m in de dalende vlucht.

H (m)	5	10	15	20
8 Bft_max tegenwind	84	n/a	n/a	n/a
8 Bft tegenwind	90	n/a	n/a	n/a
7 Bft tegenwind	99	94	n/a	n/a
6 Bft tegenwind	109	106	93	n/a
6 Bft_min tegenwind	114	112	108	n/a
windstil	154	150	144	136
6 Bft_min rugwind	195	188	178	165
6 Bft rugwind	201	193	184	170
7 Bft rugwind	213	205	195	180
8 Bft rugwind	227	218	205	190
8 Bft_max rugwind	235	225	212	196

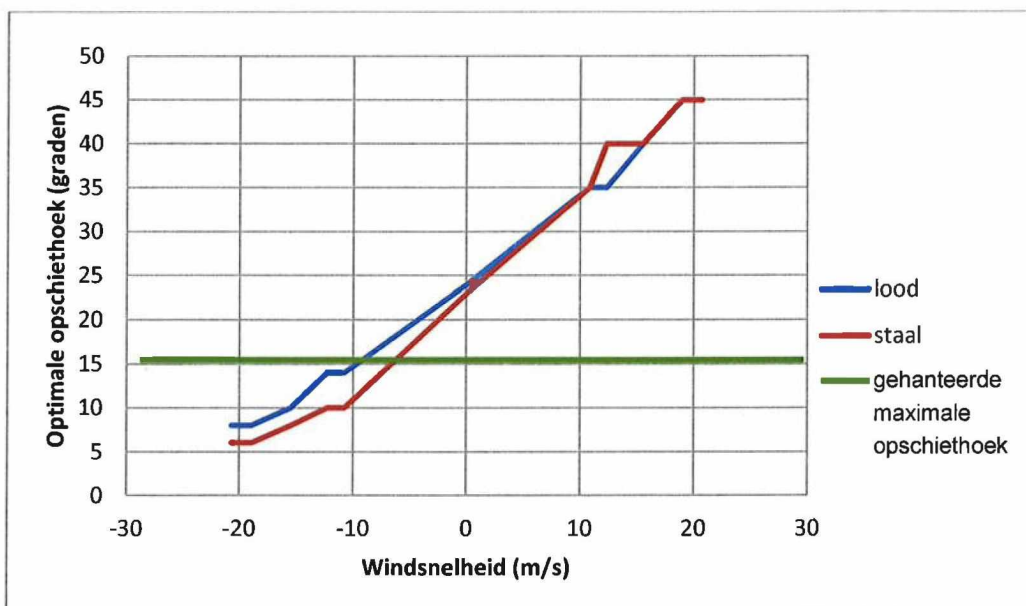
Datum
13 december 2013

Onze referentie
5.1.2.e

Blad
8/9

Optimale opschiethoek als functie van windsnelheid

Figuur 8 toont de optimale opschiethoek als functie van de windsnelheid. Deze figuur laat zien dat bij tegenwind horizontaler moet worden geschoten voor maximale dracht dan bij wind mee. Bij echter alle disciplines wordt volgens de klant echter niet geschoten met een elevatie van meer dan 15 graden (Duisterhof, 2013).



Figuur 8 Optimale opschiethoek als functie van de windsnelheid (positieve waarden zijn rugwind)

Conclusie

Voor de KNSA is de maximale dracht bepaald voor 2.5 mm loodhoudende hagelkorrels en voor 2.7 mm stalen hagelkorrels, voor een mondingssnelheid van 400 m/s voor verschillende opschiethoeken en bij verschillende windsnelheden. Tevens zijn grafieken getoond die de banen beschrijven met een maximale dracht (waarbij de opschiethoek is gemaximeerd op 15 graden). Tabellen zijn toegevoegd die de dracht weergeven die de hagel heeft op het moment dat deze zich bevindt op hoogtes van 20, 15, 10 en 5 m in de dalende vlucht. De resultaten zijn onderhevig aan onzekerheidsintervallen, zoals vermeld in de tekst.

Datum

13 december 2013

Onze referentie

5.1.2.e

Blad

9/9

Referenties

Bouquet, F. (april 2013). *Resultaten project 'dracht loodhoudende versus stalen hagelmunitie'*. Rijswijk: TNO, 13 WS/013 (2).

Bouquet, F. (juni 2013). *Getuigenis schietproef stalen hagelmunitie dd. 31 mei 2013*. Rijswijk: TNO, 13 WS/080, versie 3.

Duisterhof, S. (2013, November 22). Betreft: Dracht loodhoudende en stalen hagelmunitie. Leusden: Koninklijke Nederlandse Schietsport Associatie, Referte A 09.98/A 01.25 SD/ms.

KNMI. (2011). *Windschaal van Beaufort (compleet)*. Retrieved 2013, from KNMI: <http://www.knmi.nl/cms/content/28976/>

Appendix A

De weerstandscoefficiënt is bepaald met de volgende vergelijkingen:

$$cd_0 = \frac{24}{Re} + \frac{\frac{2.6}{5} Re}{1 + \left(\frac{Re}{5}\right)^{1.52}} + \frac{0.411 \left(\frac{Re}{263 \cdot 10^3}\right)^{-7.94}}{1 + \left(\frac{Re}{263 \cdot 10^3}\right)^{-8}} + \frac{Re^{0.8}}{461 \cdot 10^3}$$

$$cd_1 = cd_0 \frac{(1 - 0.445M + 4.84M^2 - 9.73M^3 + 6.93M^4)}{(1 + 1.2Mcd_0)^{\frac{1}{2}}}$$

$$cd = cd_1 cf$$

Waarbij *cf* een correctiefactor is (gelijk aan 1.14), verkregen uit meetgegevens uit eerder onderzoek (Bouquet F. , juni 2013).