



Afbakening van verdacht gebied in Amsterdam

Onderzoek naar nieuwe, onderbouwde methodes voor de afbakening van CE-verdachte gebieden



Ira Helsloot
Judith Vlagsma
Eric Cator

Crisislab is de onderzoeksgroep die het onderzoek van de leeropdracht Besturen van Veiligheid van de Radboud Universiteit Nijmegen ondersteunt. De doelstelling van Crisislab is de ontwikkeling en verspreiding van kennis op het domein van crisisbeheersing en veiligheidszorg. Voor Crisislab is een kernactiviteit het verrichten van empirisch gefundeerd onderzoek op het veiligheidsdomein, omdat momenteel feiten vaak ontbreken bij beleidsvorming en discussies op het terrein van het besturen van veiligheid.

Dit onderzoek is verricht in opdracht van de Gemeente Amsterdam, afdeling Grond & Ontwikkeling. Ambtelijk opdrachtgever was mevr. Henriette van Hoek.

Prof. dr. Ira Helsloot
Prof. dr. Eric Cator
Judith Vlagsma MSc

Crisislab
Dashorsterweg 1
3927 CN Renswoude
www.crisislab.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Het onderzoek	9
2 De eerste onderzoekslijn: verkenning van statistische methoden voor inschatting van de grootte van verdacht gebied bij bombardementen	11
2.1 Inleiding: enkele aannames	11
2.2 Situatie bombardement met een afzwaai	13
2.3 Situatie lijnbombardement waarbij één uiterste bom de blindganger is	13
2.4 Situatie: vlakgebombardement	19
2.5 Een Bayesiaanse aanpak	21
3 De tweede onderzoekslijn: een proportionele inschatting van de grootte van verdacht gebied bij bombardementen	27
3.1 Inleiding: proportionaliteit	27
3.2 A priori: geen werkzaamheden is geen opsporing of ruiming	27
3.3 Risico's bij bouwen	28
3.4 De kosten beter beschouwd	29
3.5 De baten beter beschouwd	31
3.6 Berekening van het risico	32
3.7 De kosten versus de baten: advies voor de omvang van een verdacht gebied	33
Bijlage 1: Begeleidingscommissie	36
Bijlage 2: Opbrengsten van een internationale scan	37
Bijlage 3: Wet- en regelgeving	40

Samenvatting

De gemeente Amsterdam vraagt zich net als veel andere gemeenten af wat een redelijke bepalingmethode is voor de omvang van het 'verdachte gebied' rondom de inslaglocaties van vliegtuigbommen uit de Tweede Wereldoorlog. Verdacht gebied is hier gedefinieerd als het gebied rondom bekende inslagen waarin bij bouwwerkzaamheden bijzondere voorzorgsmaatregelen als actieve opsporing genomen moeten worden.

Het is op dit moment gebruikelijk om de 'nearest-neighbour methode' toe te passen. Hierbij wordt het verdacht gebied bepaald door cirkels rondom de locatie van op basis van vooronderzoek bekende gedetoneerde bommen en blindgangers van een bombardement te trekken. De straal van deze cirkels wordt bepaald door de grootste afstand tussen twee bommen die direct naast elkaar liggen. Deze methode heeft echter geen wetenschappelijke basis.

De afbakening van verdacht gebied is evident een belangrijk besluit vanwege de financiële en veiligheidsconsequenties bij bouwwerkzaamheden. Met nadruk bij bouwwerkzaamheden omdat in Amsterdam al uitgegaan wordt van toepassing van het door CrisisLab en het Platform Blindgangers opgestelde 'bestuurlijk afwegingskader risico's conventionele explosieven' dat uitgaat van het principe 'wat er ligt, ligt er goed', dat wil zeggen dat in een stabiele situatie geen aanleiding is voor opsporing en ruiming.

In dit rapport, in opdracht van de Gemeente Amsterdam, afdeling Grond & Ontwikkeling, worden twee onderzoekslijnen gevolgd om te komen tot een wetenschappelijk onderbouwde methode voor het bepalen van een verdacht gebied.

Eerste onderzoekslijn: statistische methodes

De eerste onderzoekslijn verkent statistische methodes om een verdacht gebied te bepalen.

Een kernuitgangspunt is daarbij dat een onzekerheidsmarge van niet lager dan 10% gehanteerd wordt, dat wil zeggen dat in deze onderzoekslijn de buitengrens van het verdacht gebied wordt bepaald door het gebied waarmee met 90% kans alle mogelijke blindgangers liggen. De primaire rechtvaardiging voor het gebruik van dit uitgangspunt is dat pogingen om tot 'preciezer' berekeningen te komen, zullen leiden tot schijnnaauwkeurigheid omdat de werkelijkheid zelf te veel onzekerheid bevat om 'achter de komma' te rekenen.

In de eenvoudige situatie van lijnbombardementen blijkt het statistisch verdachte gebied bepaald te kunnen worden door een eenvoudige methode die een of meerdere 'blokken' oplevert langs de as van het lijnbombardement. Daarmee is het resulterende verdacht gebied in oppervlakte kleiner dan die volgens de nearest-neighbour methode maar kan wel deels buiten het volgens de nearest-neighbour methode bepaalde gebied liggen.

Voor meer complexe situaties is een Bayesiaanse methode ontwikkeld waarmee met brute rekenkracht van computers het verdacht gebied bepaald kan worden. Ook hier geldt dat in het algemeen het resulterende verdacht gebied in oppervlakte kleiner is dan die volgens de nearest-neighbour methode maar dat het verdacht gebied wel deels buiten het volgens de nearest-neighbour methode bepaalde gebied kan liggen.

De aanbeveling aan de gemeente Amsterdam is om

- Een onzekerheidsmarge van 10% vast te stellen als uitgangspunt voor de statistische berekening van verdacht gebied.
- De ontwikkelde methoden te gebruiken om een verdacht gebied te bepalen in plaats van de niet-onderbouwde nearest-neighbour methode die zelfs geen veilige bovenschatting geeft van het verdacht gebied.

Tweede onderzoekslijn: proportionaliteit

De tweede onderzoekslijn verkent het gebruik van het proportionaliteitsprincipe om de omvang van verdacht gebied te bepalen. Meer precies worden de kosten en baten van opsporing van CE met elkaar vergeleken en moeten de baten opwegen tegen de kosten volgens de gangbare uitgangspunten hiervoor in het Nederlands risicobeleid.

Specifieke conservatieve aannames voor CE in de berekeningen zijn aan de batenzijde dat de kans dat CE detoneert bij *beroering* tussen de 2% en 5% ligt (de kans op detonatie door trillingen is veel geringer) en dat een explosie van CE tot drie doden en 20 miljoen schade leidt. Aan de kostenzijde wordt met de optimistische aannames gewerkt dat slechts met de kosten voor opsporing gerekend wordt (en dus niet met ruimingskosten) en dat deze opsporingskosten € 30 per vierkante meter bedragen.

De maximaal proportioneel te onderzoeken oppervlakte varieert dan van zo'n 1,3 tot 3,3 ha. Een bestuurlijk groter aangewezen verdacht gebied leidt tot disproportionaliteit: de gemeente Amsterdam kan dan met zekerheid meer mensenlevens redden door een afgewogen keuze voor ander wel proportioneel veiligheidsbeleid. Heel praktisch betekent dit dat er een gebied van ongeveer 100 bij 100 meter rondom een verdachte locatie 'mag' worden afgezocht.

De aanbeveling aan de gemeente Amsterdam die uit deze onderzoekslijn volgt, is om de kosten en baten van opsporingsbeleid in kaart te brengen en een proportionele verhouding daarin te handhaven.

Deze tweede onderzoekslijn geeft daarmee een extra rechtvaardiging voor het hanteren van de 10% onzekerheidsmarge in de eerste onderzoekslijn: het verdacht gebied mag niet te groot zijn anders zijn maatregelen niet proportioneel.

1 Inleiding

In dit inleidende hoofdstuk geven we de aanleiding voor het onderzoek en een beschrijving van de twee onderzoeksmethoden.

1.1 Aanleiding

Blindgangers zijn explosieven die niet op het bedoelde moment zijn afgegaan.¹ Te denken valt aan een vliegtuigbom die niet is gedetoneerd en zich nog in de bodem bevindt. De problematiek van blindgangers speelt in Amsterdam in het bijzonder omdat de hoofdstad een voornaam doelwit was van de geallieerden in de oorlogsjaren. Dat heeft ertoe geleid dat er heel wat explosief oorlogstuig op Amsterdam en omgeving is beland. Een deel van die bommen is niet gedetoneerd. De kans bestaat dat deze munitie spontaan of door externe oorzaken tot ontsteking komt. Er is dan kans op overlijden, letsel en schade.

In de praktijk wordt een belangrijk deel van de blindgangers in Nederland ontdekt door passanten of tijdens bouwwerkzaamheden. Een ander deel van de blindgangers wordt opgespoord door gericht onderzoek in gebieden die ‘verdacht’ zijn op de aanwezigheid van blindgangers. Dit onderzoek is kostbaar. Omdat er veel onzekerheid en onduidelijkheid is over het wel of niet aanwezig zijn van blindgangers, is het voor het openbaar bestuur vaak lastig om beleidskeuzes te maken rondom blindgangers.

Wanneer er aanwijzingen zijn dat er mogelijk blindgangers liggen in een bepaald gebied, moet een inschatting op basis van historisch vooronderzoek leiden tot het bestuurlijk aanwijzen van ‘verdacht gebied’. Dat is een gebied waarin vanwege de verhoogde kans op nog aanwezige blindgangers extra maatregelen bij bouwwerkzaamheden moeten worden genomen. Deze definitie van verdacht gebied is echter problematisch, omdat het onduidelijk is wanneer er precies een verhoogde kans op blindgangers in een gebied is, en hoeveel deze kans dan verhoogd moet zijn om het gebied tot ‘verdacht gebied’ te benoemen. Het bepalen van een verdacht gebied is dus niet eenvoudig, omdat er op dit moment er nog geen accurate definitie voor ‘verdacht gebied’ bestaat, en omdat er nog geen wetenschappelijke gefundeerde methode is voor de bepaling van wat nu precies het verdachte gebied is.²

De gemeente Amsterdam ‘worstelt’ dan ook met de vraag wat een redelijke bepalingsmethode is voor de omvang van het verdachte gebied rondom de inslaglocaties van vliegtuigbommen uit de Tweede Wereldoorlog. De gemeente Amsterdam heeft een zogenaamde bommenkaart laten maken van alle bekende locaties van gedetoneerde vliegtuigbommen en van blindgangers. Die kaart maakt het

¹ Er kan onderscheid aangebracht worden tussen afwerpmunitie en niet-afwerpmunitie. In dit rapport richten we ons alleen op afwerpmunitie.

² Zie bijvoorbeeld ook de briefrapportage van Saricon van 7 november 2016 aan de gemeente Amsterdam.

mogelijk, in combinatie met kennis over het aantal afgeworpen bommen, om een inschatting te maken van het aantal blindgangers dat mogelijk nog in de nabijheid van de bekende locaties ligt. Het gaat hier met nadruk om een inschatting, onder andere omdat soms meerdere bommeninslagen in elkaars directe nabijheid als één inslag worden geteld of omdat een bom onopgemerkt in een watergang kan zijn gedetoneerd. Kennis over het maximaal aantal blindgangers geeft echter nog geen kennis over het gebied waar deze mogelijk liggen.

De afbakening van verdacht gebied is evident een belangrijk besluit vanwege de financiële en veiligheidsconsequenties bij bouwwerkzaamheden. Met nadruk bij bouwwerkzaamheden omdat in Amsterdam al uitgegaan wordt van toepassing van het door Crisislab en het Platform Blindgangers opgestelde 'bestuurlijk afwegingskader risico's conventionele explosieven' dat uitgaat van het principe 'wat er ligt, ligt er goed', dat wil zeggen dat in een stabiele situatie geen aanleiding is voor opsporing en ruiming.

Het is op dit moment gebruikelijk om de 'nearest-neighbour methode' toe te passen. Hierbij wordt het verdacht gebied bepaald door cirkels rondom de locatie van op basis van vooronderzoek bekende gedetoneerde bommen en blindgangers van een bombardement te trekken. De straal van deze cirkels wordt bepaald door de grootste afstand tussen twee bommen die direct naast elkaar liggen. Deze methode heeft echter geen wetenschappelijke basis. Deze methode is als voorkeursmethode opgenomen in de WSCS-OCE (zie onderstaand kader).

Uitgangspunten uit de WSCS-OCE

De WSCS-OCE (in bijlage XII van de Arbeidsomstandighedenregeling) benoemt uitgangspunten voor de CE-branche voor de vaststelling van verdacht gebied en de afbakening in vooronderzoek. 'Uitgangspunt' wil zeggen dat de CE-gecertificeerde bedrijven hier alleen gemotiveerd van af mogen wijken.

Een voorbeeld is de afbakening van verdacht gebied bij een indicatie van een tapijtbombardement. Hierbij staat de nearest-neighbour methode als volgt beschreven: *'Op basis van een analyse van het inslagenpatroon wordt de maximale afstand tussen twee opeenvolgende inslagen binnen een inslagpatroon bepaald. Het verdachte gebied wordt afgebakend door deze afstand te projecteren op de buitenste inslagen van het inslagenpatroon. Dat is exclusief de eventuele horizontale verplaatsing van de buitenste blindganger binnen het inslagenpatroon.'*

Het voorliggende onderzoek geeft een wetenschappelijke motivatie voor CE-bedrijven om van het WSCS-OCE af te wijken. Daarmee kan het openbaar bestuur als opdrachtgever verlangen dat de methode uit dit onderzoek gebruikt wordt door een in te huren CE-bedrijf. Geen misverstand, sowieso bindt het WSCS-OCE alleen de CE-gecertificeerde bedrijven niet het openbaar bestuur. Te allen tijde kan het bevoegd gezag in het kader van openbare orde en veiligheid anders besluiten.

Een eerste beschouwing van de nearest-neighbour methode laat meteen de beperkingen ervan zien.³ De nearest-neighbour methode geeft geen garantie op het juist afbakenen van het verdachte gebied:

- Zo zal deze methode leiden tot een ‘te klein’ verdacht gebied in situaties waarbij bijvoorbeeld de eerste of laatste twee bommen van een serie blindgangers waren.
- De nearest-neighbour methode zal anderzijds regelmatig leiden tot een ‘te groot’ verdacht gebied in situaties waarbij een blindganger juist tussen twee bekende bomlocaties ligt.
- In het bijzonder geldt bij ‘tapijtbombardementen’, waar geen afzonderlijke lijnclusters ontdekt kunnen worden, dat de nearest-neighbour methode eigenlijk überhaupt niet mag worden toegepast: er is dan immers geen enkele relatie tussen de inslagen van bommen die uit verschillende vliegtuigen komen. Toch is deze methode de basis voor de inschatting in de brancherichtlijn WSCS-OCE, ook voor tapijtbombardementen.

We kunnen daarmee stellen dat er op dit moment geen degelijk onderbouwde methode is voor de afbakening van verdacht gebied. Het is daarom nodig dat er een andere, beter onderbouwde en meer accurate methode ontwikkeld wordt. Overigens wordt dit (recent) ook onderschreven door verschillende opsporings- en adviesbureaus op het gebied van explosievenopsporing zoals Saricon, Explod en Bombs Away.

De directe aanleiding voor de opdracht van de gemeente Amsterdam, afdeling Grond & Ontwikkeling aan Crisislab is het bombardement op Amsterdam-Noord van 17 juli 1943. Afbakening van het verdachte gebied leidde bij eerder onderzoek door twee verschillende bureaus tot significante verschillen in de afbakening met gebruik van grotendeels dezelfde gegevens. De opzet van dit onderzoek is echter breder dan dit bombardement en het resultaat is bedoeld ter ondersteuning van bestuurlijke besluitvorming over de omvang van verdacht gebied.

1.2 Het onderzoek

In dit onderzoek verkennen we op een tweetal verschillende wijzen of er een wetenschappelijk gefundeerde methode voor het afbakenen van verdacht gebied te geven is.

Methode 1. Statistische inschatting van het gebied waarin de blindgangers met een bepaalde kans aanwezig zijn

In deze methode kijken we of we de kans op het aantreffen van een blindganger kunnen kwantificeren op basis van het inslagpatroon en het aantal afgeworpen bommen. We kijken meer precies naar wat gezegd kan worden over de omvang van

³ Ook in de briefrapportage van Saricon van 7 november 2016 aan de gemeente Amsterdam wordt duidelijk gemaakt dat er beperkingen zijn aan de nearest neighbour methode.

verdacht gebied dat in deze onderzoekslijn wordt gedefinieerd door een bepaalde limiet aan de kans op aantreffen, het restrisico.

In al het veiligheidsbeleid wordt feitelijk uitgegaan van een acceptabel restrisico omdat absolute veiligheid niet bestaat. Voor bijvoorbeeld overstromingsrisico's is het geaccepteerde restrisico een individueel risico van 1 overlijden op de 100.000 jaar. Er is de afgelopen jaren weliswaar geïnvesteerd in rivierprojecten en het verbeteren van dijken, maar hierbij is expliciet de maximale investering gebaseerd op het geaccepteerde restrisico. Ook in het CE-beleid zou een dergelijke aanname expliciet kunnen worden gemaakt.

Coauteur van dit deel van het onderzoek is prof. dr. Eric Cator, hoogleraar statistiek aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

Methode 2. Aanduiding wat op grond van de ongeval statistiek en de kosten van aanwijzing een proportionele omvang zou zijn

Een geheel andere afwegingsmethode is om te kijken naar de verwachte kosten en baten van het aanwijzen van verdacht gebied (inclusief de daaruit volgende maatregelen voor veilig bouwen) met hantering van de normen voor de verhouding tussen kosten en baten zoals die door de rijksoverheid expliciet voor bijvoorbeeld de gezondheidszorg zijn vastgesteld.

Deze wijze van aanpak werkt dus eigenlijk andersom: gegeven het geaccepteerde restrisico geeft de CE-statistiek een grondslag voor het bedrag dat redelijkerwijs mag worden besteed aan CE-beleid.

2 De eerste onderzoekslijn: verkenning van statistische methoden voor inschatting van de grootte van verdacht gebied bij bombardementen

In dit hoofdstuk verkennen we verschillende methoden voor een statistische inschatting van verdacht gebied, op basis van enkele aannames over de patronen van bominslagen.

2.1 Inleiding: enkele aannames

In dit hoofdstuk worden verschillende statistische benaderingen voor de bepaling van het verdacht gebied verkend. De centrale vraag is: kan er op basis van het patroon van bekende bominslagen (inclusief bekende blindgangers) op een wetenschappelijke (statistische) wijze een grens worden gegeven aan het verdacht gebied?

Net als de nearest-neighbour methode geven deze statistische benaderingen geen *garantie* op het vinden van eventuele blindgangers. De inslaglocaties bij een bombardement worden uiteindelijk immers door een complexe geheel van kansen bepaald zodat er altijd extreme 'outliers' kunnen zijn. Het voordeel van de statistische methodes ten opzichte van de nearest-neighbour methode is dat de afbakening van het verdachte gebied a) beter onderbouwd is en b) de onzekerheid bekend is.

Op voorhand is daarmee de beperking van het gebruik van elke statistische methode voor de afbakening van een verdacht gebied dat de betrouwbaarheid afhankelijk is van de gegevens die op basis van historisch vooronderzoek verzameld zijn. Hier moet rekening mee worden gehouden bij de toepassing van de statistische methode. De statistische methode zal niet toepasbaar zijn op verdachte gebieden waar te weinig gegevens over bekend zijn.⁴

Bij het opstellen van de statistische methodes gaan we uit van verschillende fictieve situaties waarbij bekend is (door historisch vooronderzoek) op welke locaties bommen zijn neergekomen. Dat wil zeggen dat er niet alleen bekend is hoeveel bommen gedetoneerd zijn, maar ook hoeveel bominslagen 'missen'. Dit kunnen dus blindgangers of bijvoorbeeld inslagen in water zijn. Het aantal bommen dat mist, is hierbij bepaald door het (op basis van historisch vooronderzoek) verwachte aantal bommen te vergelijken met het aantal bekende bominslagen. We gaan uit van een 'worstcasescenario', waarbij alle bommen die missen ook daadwerkelijk blindgangers zijn.

Een kernuitgangspunt in deze onderzoekslijn is dat een onzekerheidsmarge van niet lager dan 10% gehanteerd wordt, dat wil zeggen dat in deze onderzoekslijn de buitengrens van het verdacht gebied wordt bepaald door het gebied waarmee met

⁴ Dit geldt overigens ook voor de andere beschikbare methodes.

90% kans alle mogelijke blindgangers liggen. De primaire rechtvaardiging voor het gebruik van dit uitgangspunt is dat pogingen om tot 'preciezer' berekeningen te komen, zullen leiden tot schijnnaauwkeurigheid omdat de werkelijkheid zelf te veel onzekerheid bevat om 'achter de komma' te rekenen.

Het gebruik van de 10% onzekerheidsmarge in risicobeleid

Het gebruik van de 10% onzekerheidsmarge is gebruikelijk in situaties waar er gebrek is aan data om tot achter de komma te kunnen rekenen. Zo betogen als Zöller en Holsneider in hun berekening van de kans op aardbevingen van een bepaald maximum in Groningen dat ook hier een onzekerheidsmarge van 10% moet worden aangehouden, omdat het wegens gebrek aan voldoende gegevens niet mogelijk is om een meer nauwkeurige uitspraak te doen over dit risico.⁵

Uiteindelijk is de keuze van de te gebruiken onzekerheidsmarge een bestuurlijke keuze.

De volgende aannames zijn technisch.

De eerste technische aanname is dat de bommen met een in principe vast regelmaat worden uitgeworpen, dat wil zeggen met een intervalometer. De ratio voor en de beperking van deze aanname staan al beschreven in het rapport *Analysis of VIII bomber command operations from the point of view of bombing accuracy* uit 1943:

"... all the bombs carried by the entire formation leave their shackles within a few seconds of each other, although early or late drops, hung bombs, etc., occur not infrequently.

The usual practice is for all ships in the formation to carry the same bomb load. (...) A ship's load will be dropped in train, by intervalometer or manually, producing a "stick" of bursts along track. (...) The resulting aggregate of bomb bursts on the ground takes the form of a very irregular cluster or "blob", in which practically no order or system is discernible."⁶

Dus in het algemeen is deze aanname correct. Op de betekenis van een mogelijk afwijking van deze aanname gaan we in paragraaf 2.2 specifiek in.

Een volgende aanname (cf. de hoofdstelling van de statistiek) is dat de onzekerheid van de inslaglocatie van een bom gegeven wordt door een normale verdeling. De kansverdeling is immers samengesteld uit vele 'deeltkansen' zoals haperingen in de afwerptechniek van vliegtuigen en windvlagen tijdens de val van de bom naar beneden. Iets preciezer we gaan uit van een niet-gecorrleerde normale onzekerheid langs de x-afwerpas en een normale onzekerheid dwars daarop (op de y-as).

⁵ G. Zöller and M. Holschneider (2016), "The Maximum Possible and the Maximum Expected Earthquake Magnitude for Production-Induced Earthquakes at the Gas Field in Groningen, The Netherlands", in *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 106, No. 6.

⁶ Headquarters VIII Bomber Command (1943). *Analysis of VIII bomber command operations from the point of view of bombing accuracy*. p. 8.

Verder gebruiken we dat de kans dat een bom niet detoneert na het afwerpen, en dus een blindganger wordt, 10% is ($P_{\text{blg}} = 10\%$). Dit is een gangbaar uitgangspunt. Bijvoorbeeld Michael Katzsch gebruikt in zijn proefschrift een percentage tussen de 5 en 15% voor heel Duitsland en meer precies voor Hamburg 13%.⁷ Monia Mahling stelt in haar proefschrift dat *'According to OFD Niedersachsen, a probability of non-explosion between 0.10 and 0.15 can be regarded as a well-established value.'*⁸ We houden de 10% kans aan als gemiddelde voor elke soort afgeworpen bom (ongeacht o.a. gewichtsklasse, ontsteker, productieserie) en ongeacht omstandigheden (afwerphoogte, bodemsoort).

2.2 Situatie bombardement met een afzwaaiier

Als preambule op de statische methodes die we hierna bespreken gaan we kort in op een bijzonder situatie: afzwaaiers.

Zoals hierboven gesteld is een kernaanname dat de bommen met een zekere regelmaat worden afgeworpen. Als dit niet het geval is, is er simpelweg geen enkele voorspellende (statistische) methode mogelijk. In deze situatie is er immers geen relatie tussen de afwerplocaties van de verschillende bommen, met andere woorden de kans om een andere bom van deze bomvlucht aan te treffen is onafhankelijk van de afstand tot andere bommen van deze bomvlucht.

In de praktijk (zie ook het Amerikaanse citaat hierboven) zullen er incidenteel afzwaaiers voorkomen, dat wil zeggen 'hangende' of handmatig afgeworpen bommen. Rondom de locatie van zo'n afzwaaiier is er dus per definitie *geen* verdacht gebied omdat de afwerplocatie van de andere bommen geen relatie heeft met de afwerplocatie van zo'n afzwaaiier.

2.3 Situatie lijnbombardement waarbij één uiterste bom de blindganger is

De fictieve situatie waarvoor we de eerste statistische methode ontwerpen, is als volgt: er zijn acht bommen achter elkaar afgeworpen en de laatste of eerste bom is een blindganger. De vraag hierbij is dus waar die blindganger redelijkerwijs kan liggen.

In de beschrijving gaan we uit van acht bommen zodat we hopelijk illustratieve plaatjes kunnen schetsen. Natuurlijk kan het aantal van acht bommen vervangen worden door elk ander aantal maar het aantal van acht komt ook in de werkelijkheid regelmatig voor.

De vraag heeft twee componenten:

⁷ Michael Katzsch (2009). *Methodik zur systematischen Bewertung von Gefahren aufgrund von Bombenblindgängern aus dem Zweiten Weltkrieg am Beispiel der Stadt Oranienburg*. Proefschrift, Brandenburgischen Technischen Universität Cottbu, p. 2.

⁸ Monia Mahling (2013). *Dissertation Determining high-risk zones by using spatial point process methodology*. Ludwig-Maximilians-Universität München, p. 73.

- een 'x'-component, d.w.z. hoever ligt hij redelijkerwijs na de laatste wel gedetoneerde bom op de as van het lijnbombardement
- een 'y' (zijwaartse) component, d.w.z. hoever ligt hij redelijkerwijs uit de as van het lijnbombardement. Hier wordt dus niet de indringingsdiepte bedoeld.

Voor beide componenten geldt dat er een verwachte positie is met een onzekerheidsmarge er omheen. Als onzekerheidsmarge gebruiken we (zoals al eerder aangegeven) in het hele rapport het gebied waar binnen een kans van 90% is dat de blindganger aanwezig is, dat wil zeggen dat er 10% kans is dat de blindganger buiten het aangewezen gebied ligt.⁹

De vraag naar de positie op de x-as

Voor de horizontale vraag verkennen we twee methodes, die 'gelukkig' alle twee hetzelfde opleveren:

Methode 1: Als we uitgaan van een uniforme discrete verdeling van de bommen over de as van het lijnbombardement (afwerplijn, met eerste bom op 0 meter) en we willen weten waar de laatste ontbrekende ligt, dan geeft de zogenaamde *German Tank problem* methodiek de volgende oplossing voor de verwachte waarde n van de locatie van de laatste bom (de blindganger):

$$n = m + m/(k - 1)$$

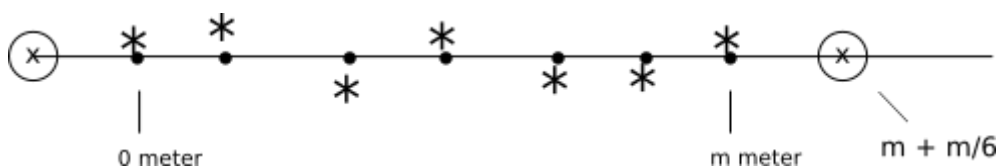
Hierbij is n (in meters) de positie van de blindganger op de lijn van acht bommen in totaal, m de afstand tussen de eerste en laatste (zevende) bominslag (in meters) en k het aantal bekende bominslagen (hier dus zeven). De x-as wordt bepaald door een lijn zo door de inslag-punten te trekken dat de afstand van elke inslag tot de lijn gemiddeld zo klein mogelijk is.

Dit wil in wiskundig spraakgebruik zeggen dat de blindganger *naar verwachting* de gemiddelde afstand tussen de opeenvolgende burens van het lijnbombardement verder ligt. 'Naar verwachting' betekent hier dat, huiselijk geformuleerd, het gemiddelde van alle mogelijke posities van de blindganger daar ligt. De kans op aantreffen van de blindganger is weer anders geformuleerd het grootst nabij de verwachte locatie maar in de praktijk zal geen blindganger daar precies liggen.

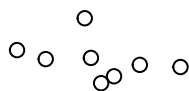
Het verdachte gebied op de x-as wordt in deze casus dus afgebakend door de gemiddelde afstand tussen de bominslagen toe te voegen aan de uiterste bominslagen.

⁹ De kansverdeling kan worden gezien als een normaalverdeling, waarbij de 10% onzekerheidsmarge betekent dat het 90%-gebied in de normaalverdeling wordt afgebakend door 5% aan twee kanten. De lijn van de normaalverdeling is op deze punten al zo ver afgevlakt dat de kans op een bom net buiten het 90%-gebied statistisch gezien ongeveer net zo groot is als de kans op een bom op een kilometer afstand van het gebied.

Zie ook onderstaande afbeelding. Het zal duidelijk zijn dat de 'missende bom' aan beide zijden van de reeks bominslagen kan liggen.



Het plaatje hierboven is voor de duidelijkheid 'mooier' geschetst dan het patroon dat vaak in de werkelijkheid wordt aangetroffen. Onderstaande schets geeft een praktijkvoorbeeld van een afwerppatroon van acht bominslagen waar we later op terug komen:



De geschetste methode is echter ook op dit soort patronen toepasbaar.

The German Tank Problem

Tijdens de Tweede Wereldoorlog gebruikten de geallieerden een statistische methode om een schatting te maken van het aantal tanks dat maandelijks werd geproduceerd in Duitsland. Deze methode was gebaseerd op de serienummers van tanks die in handen van de geallieerden waren gevallen. De gebruikte formule luidt als volgt:

$$N = m + m/(k - 1)$$

Hierbij is N het geschatte totaal aantal Duitse tanks dat geproduceerd werd, m het hoogste aangetroffen serienummer en k het aantal tanks in handen van de geallieerden, waarvan het serienummer bekend was.

Na de Tweede Wereldoorlog bleek uit de productiegegevens van de Duitse fabrieken dat het werkelijke aantal geproduceerde tanks vele malen dichterbij het statistisch geschatte aantal lag dan bij het geschatte aantal op basis van spionage en het ontcijferen van versleutelde boodschappen.

De onzekerheidsmarge horende bij de 10%-marge uitgaande van een uniforme verdeling is dan $(1/0,1)^{1/7} = 1,3 \cdot m$, waarbij m nog steeds de afstand tussen de eerste en laatste bominslag (in meters) is. Dat is dus nogal lang, en dat hangt samen met het feit dat de verdeling niet echt continu is.

Interval berekening als een check op de uitkomsten van de eerste methode

Wanneer de berekening gemaakt wordt door uit te gaan van een interval berekening (continue uniform) dan wijzigt er niet iets essentieels in de bovenstaande uitkomsten. De

berekeningen zijn echter wel iets ingewikkelder zoals uit de onderstaande (Engelse) tekst blijkt.

Instead of, or in addition to, *point* estimation, *interval* estimation can be carried out, such as confidence intervals. These are easily computed, based on the observation that the probability that k samples will fall in an interval covering p of the range ($0 \leq p \leq 1$) is p^k (assuming in this section that draws are *with* replacement, to simplify computations; if draws are without replacement, this overstates the likelihood, and intervals will be overly conservative).

Thus the sampling distribution of the quantile of the sample maximum is the graph $x^{1/k}$ from 0 to 1: the p -th to q -th quantile of the sample maximum m are the interval $[p^{1/k}N, q^{1/k}N]$. Inverting this yields the corresponding confidence interval for the population maximum of $[m/q^{1/k}, m/p^{1/k}]$.

For example, taking the symmetric 95% interval $p = 2.5\%$ and $q = 97.5\%$ for $k = 5$ yields $0.025^{1/5} \approx 0.48$, $0.975^{1/5} \approx 0.995$, so the confidence interval is approximately $[1.005m, 2.08m]$. The lower bound is very close to m , thus more informative is the asymmetric confidence interval from $p = 5\%$ to 100% ; for $k = 5$ this yields $0.05^{1/5} \approx 0.55$ and the interval $[m, 1.82m]$.

More generally, the (downward biased) 95% confidence interval is $[m, m/0.05^{1/k}] = [m, m \cdot 20^{1/k}]$. For a range of k values, with the UMVU point estimator (plus 1 for legibility) for reference, this yields:

k	point estimate	confidence interval
1	$2m$	$[m, 20m]$
2	$1.5m$	$[m, 4.5m]$
5	$1.2m$	$[m, 1.82m]$
10	$1.1m$	$[m, 1.35m]$
20	$1.05m$	$[m, 1.16m]$

Immediate observations are:

- For small sample sizes, the confidence interval is very wide, reflecting great uncertainty in the estimate.
- The range shrinks rapidly, reflecting the exponentially decaying likelihood that all samples will be significantly below the maximum.
- The confidence interval exhibits positive skew, as N can never be below the sample maximum, but can potentially be arbitrarily high above it.

De cruciale vraag voor toepassing van deze methode is of de verdeling wel uniform is. Dat wil zeggen: mogen we ervan uitgaan dat de bommen een gelijke kans hebben neer te komen op elke plaats van de afwerplijn?

Het formele antwoord op deze vraag is natuurlijk nee, de bommen hebben niet een gelijke kans om neer te komen op elke plaats van de afwerplijn. De bommen komen immers met een zekere regelmaat uit het vliegtuig vallen. Hierdoor is de kans om neer te komen op de lijn niet overal even groot.

Als benadering is deze aanpak echter toch gebruikelijk, immers in de praktijk hebben meerdere factoren invloed op de plaats waar de bommen neerkomen, bijvoorbeeld wind, plotselinge koerswijzigingen van het vliegtuig en de manier van afwerpen van de bommenlast. Deze factoren zijn in veel gevallen moeilijk tot niet te achterhalen. Het effect ervan is dat de bominslagen willekeurig verdeeld over de x-as lijken.

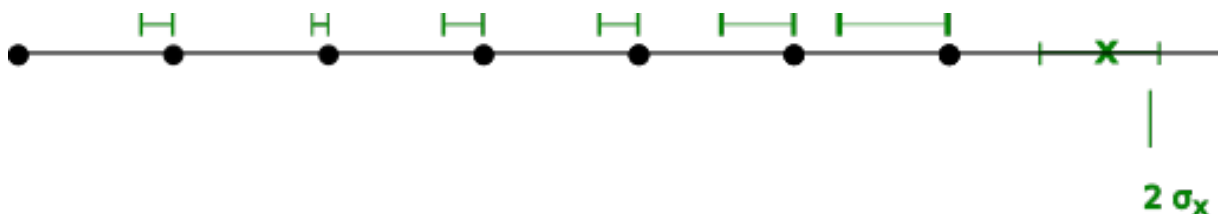
In dit voorbeeld is uitgegaan van een duidelijk patroon van zeven bekende inslagen en een missende bom aan begin of einde van de reeks. In de praktijk is niet elke situatie geschikt om deze methode op toe te passen. Zo konden de bommen gelijktijdig, als salvo worden afgeworpen. Hieronder, in paragraaf 2.3 gaan we nader in op deze situatie.

In vergelijking met de nearest-neighbour methode wordt hier niet een marge van de grootste afstand tussen twee naastgelegen bommen gebruikt, maar voor het 90%-gebied 1,3 maal de gemiddelde afstand tussen alle opeenvolgende bommen van het bombardement. De verhouding tussen deze twee marges hangt af van de precieze situatie.

Methode 2: We gaan iets simpeler te werk als we a priori aannemen dat het inslagpatroon normaal verdeeld is rondom 8 regelmatig verdeelde verwachte inslagpunten.

We kunnen dan uit de 7 bekende bomkraters de verwachte locaties halen door $m/7$ en de verwachte locatie van de achtste blindganger is dan $m + m/7$.

De variantie σ_x van deze normale verdeling kunnen we herleiden uit de gevonden bomkraters door het gemiddelde te berekenen van de afwijkingen van de beste verwachte locaties met de originele / werkelijke bominslagen. Voor een normale verdeling geldt dat 2σ correspondeert met het 95,4 % gebied. In deze situatie geeft dat aan beide zijden van de reeks van 7 inslagen een gebied van 5% onzekerheid en dus 10% in totaal.



Het horizontale 90% gebied is daarmee $n = m + m/(7-1)$ plus/min $2 \sigma_x$.

De vraag naar de positie op de y-as

De zijwaartse afwijking is eenvoudiger te berekenen: die afwijking is immers normaal verdeeld (zie inleiding).

Voor de zijwaartse afwijking geldt dus dat we het gemiddelde van de afwijkingen van de afwerpas (dat is de best fittende lijn door de afwerppunten) kunnen opmeten en dat gelijkstellen aan de standaardafwijking (σ_y). Dan is de grens van $2\sigma_y$ de grens van ongeveer 95% betrouwbaarheid (aan een zijde en dus 10% onzekerheid in totaal voor beide zijden).

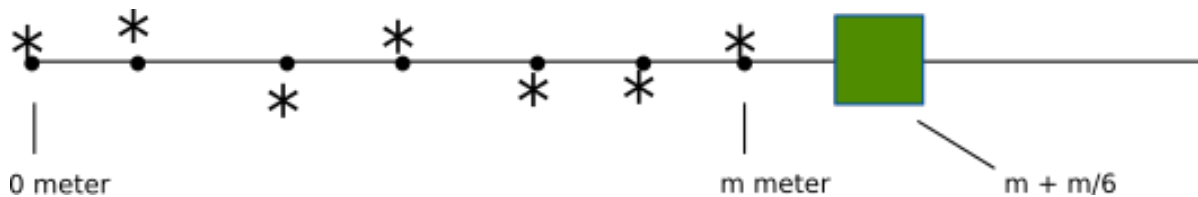


In gewone mensentaal: tweemaal de gemiddelde afwijking aan beide kanten dwars op de afwerpas geeft de 90% betrouwbaarheidsafstand voor de ontbrekende blindganger(s) gerekend vanaf de afwerpas.

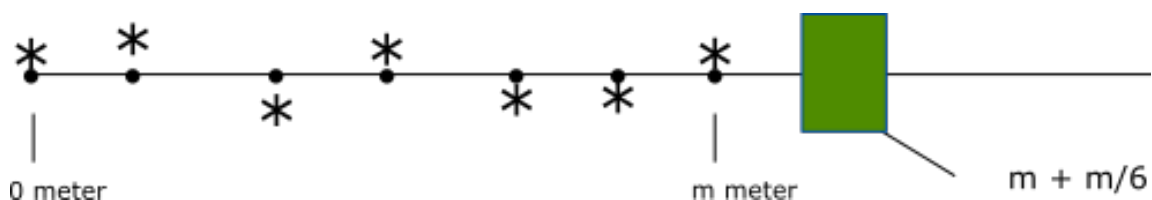
Dus methode 1 en 2 samenvattend

Zoals gezegd is de verwachte locatie van de blindganger een intuïtief ook begrijpelijke, namelijk het gemiddelde van de afstanden tussen de burens van het lijnbombardement.

Voor methode 1 geldt dat als we de zijwaartse afwijkingsverdelingsfunctie gelijk kunnen stellen aan de afwijkingsverdelingsfunctie in de horizontale richting dan geeft dat een vierkant met als lengte van de zijden viermaal de gemiddelde zijwaartse afwijking rondom de verwachte horizontale locatie als gebied waarbinnen de blindganger zich met 90% zekerheid zal bevinden.



Methode 2 geeft als 90% zekerheidsgebied een rechthoek met horizontale zijde $2\sigma_x$ en zijwaartse zijde $2\sigma_y$.



N.B. In het voorbeeld hierboven is de y-onzekerheid hoger dan de x-onzekerheid. Dit zal waarschijnlijk in de praktijk niet altijd het geval zijn.

N.B.B. De keuze van de afwerplijn maakt evident uit. De echte afwerplijn is onbekend maar de verwachte locatie ervan is de lijn die de sigma minimaliseert. Deze minimalisatie kan op het oog worden gedaan of heel exact via lineair programmeren worden bepaald. Gezien de onvermijdelijke onzekerheden in de uitkomsten zouden wij ervoor pleiten om de lijn op het oog te bepalen.

Situatie: lijnbombardement met twee missing aan de 'kop'

De kans op twee blindgangers aan één van beide uiterste zijden van de bombardementsreeks is a priori klein: $2 * (10\%)^2 = 2\%$.

Maar **gegeven** twee blindgangers in een reeks kunnen we eerst bepalen of een van de blindgangers redelijkerwijs tussen bomkrater 1 en bomkrater 6 ligt.

Hier geldt de omgekeerde redenering (uitgaande van de aanname hierboven dat we de zijwaartse afwijkingsverdelingsfunctie gelijk kunnen stellen aan de afwijkingsverdelingsfunctie in de horizontale richting): als de afstand tussen twee burens groter is dan de gemiddelde afstand plus 4 sigma (want onzekerheidsmarge aan beide zijden) dan is de kans daarop kleiner dan 5% en dus is het redelijk om te veronderstellen dat de blindganger tussen die twee burens moet liggen. In dit geval bevinden we ons dus in de situatie van een blindganger aan de uiteinden van de reeks en dus met het inmiddels bekende onzekerheidsblok van horizontale zijde $2\sigma_x$ en zijwaartse zijde $2\sigma_y$ aan beide zijden van de reeks.

Wanneer dit niet aan de hand is, dan zullen *beide* blindgangers naar verwachting aan een van beide uiteinden liggen en moet er gerekend worden met tweemaal de gemiddelde afstand tussen de burens als locatie voor de laatste blindganger. We hebben dan aan beide zijden van de reeks twee onzekerheidsblokken van elk een horizontale zijde $2\sigma_x$ en een zijwaartse zijde $2\sigma_y$ rondom de verwachte locaties.

2.4 Situatie: vlakgebombardement

In de situatie van een vlakgebombardement hebben we een andere methode nodig dan de methode beschreven in voorgaande paragraaf, omdat er bij een vlakgebombardement geen sprake is van een herkenbare globale lijn waarop de bommen vallen.

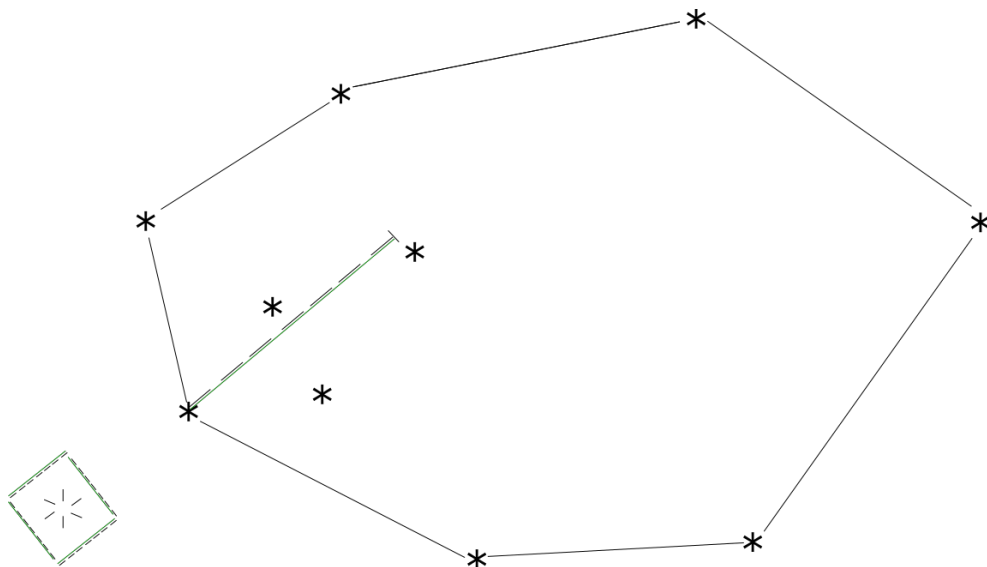
(Ook) deze vraag is wereldwijd nog niet bevredigend beantwoord. In het kader van dit onderzoek is met verschillende statistici (die elk expert zijn op de toepassing van bepaalde statistische methodes) gesproken. De wereldberoemde statisticus Bo Ranneby noemde het '*a complicated problem*'. Ook gesprekken met Nederlandse

statistici zoals Peter van der Heijden van de Universiteit van Utrecht leidden niet tot een zicht op een oplossing.

Op de beperkingen van twee recente Duitse proefschriften over dit thema gaan we in bijlage 2 in, maar het centrale commentaar is dat deze methodes in essentie uitgaan van het (juiste) feit dat de kans op een blindganger het grootst is in de nabijheid van andere bommen. Dit levert een methode op die blindgangers het dichtst bij de meeste andere bominslagen positioneert. Juist op de punten waar het ertoe doet, namelijk aan de randen waar de inslagen 'dun' verdeeld zijn, is deze methode het onnauwkeurigst, omdat zij geen rekening houdt met de extra informatie die daar uit het inslagpatroon te halen is.

In situaties waar aan de rand van het vlakgebombardement 'goede' informatie is over het inslagpatroon, d.w.z. in de situatie dat de individuele bominslagen nog traceerbaar zijn (zoals bijvoorbeeld in Amsterdam Noord), kunnen we de voorgaande methode op de volgende, simpelere wijze toepassen:

- Neem het omhullende vlak gespannen door de meest buiten liggende bominslagen/blindgangers.
- Elk van de buiten liggende hoekpunten is in dit voorbeeld onderdeel van een reeks van 8 bommen (uitgaande van een bombardement uitgevoerd door bommenwerpers die elk 8 bommen afwierpen, net als in de voorbeeldsituatie lijnbombardement).
- De kans dat een van de buitenpunten de derde is van een bomreeks waarbij de twee eerste (of de twee laatste) bommen blindgangers zijn (en dus buiten het omhulde gebied liggen) is 1% dus we laten deze situatie buiten beschouwing.
- De kans dat een van de buitenpunten de tweede is van een bomreeks waarbij de eerste (of de laatste) een blindganger is (en dus buiten het omhulde gebied ligt) is 10%.
- De vraag is nu hoe we uit het bommenpatroon de meest waarschijnlijke reeks van 7 bominslagen kunnen bepalen om de voorgaande methode toepassen vanuit elk hoekpunt toe te passen.
- Een mogelijkheid is om het lijnstuk te bepalen door een lijn te trekken door 7 inslagpunten met de kleinste gemiddelde x- en y-afwijking. Op dit lijnstuk kunnen we dan de voorgaande methode toepassen.



In bovenstaande figuur is een voorbeeld te zien voor de denkbeeldige situatie van een bommenreeks van 4 bommen, waarbij de vijfde mist met dus een lijnstuk 'door' de 3 inslagen vanaf het hoekpunt.

De conclusie voor een vlaktebombardement is dus dat het theoretisch mogelijk is om bij een nauwkeurig te bepalen inslagenpatroon van één bommenwerper met dezelfde methode te werken als bij een lijnbombardement om te bepalen in welk gebied de kans op een blindganger binnen de onzekerheidsmarge ligt.

2.5 Een Bayesiaanse aanpak

Uiteindelijk hebben we gekozen voor een verkenning van een andere invalshoek voor vlaktebombardementen: bruut rekengeweld. Met behulp van een zogenaamde Bayesiaanse methode wordt gekeken welk denkbaar afwerppatroon het beste past bij de geconstateerde bominslagen op de grond. Deze methode vergt aanzienlijke rekentijd: op het patroon dat hieronder wordt besproken en dat is gebaseerd op het 17 juli bombardement, staan de universitaire computers een weekend te draaien.

Bij het 17 juli 1943 bombardement zijn in totaal 156 bommen afgeworpen in 15 reeksen van 10 bommen en een reeks van 6 bommen. Daarvan zijn 140 inslagen op diverse wijzen bepaald¹⁰ en dus nog 16 blindgangers 'kwijt'.

De Bayesiaanse aanpak is om:

- een algemeen model te maken
- dat model te 'kalibreren' aan de gevonden inslagen en blindgangers
- en dan het gekalibreerde model te gebruiken om een indicatie te geven over waar de niet gevonden blindgangers zouden kunnen liggen.

¹⁰ Voor vijf bominslagen is door BombsAway niet een punt, maar een gebiedje aangegeven, vanwege een bepaalde onzekerheid over de precieze locatie van de inslag. Voor de berekeningen hebben we het middelpunt van dit gebiedje gebruikt.

We beginnen daarom deze paragraaf met het beschrijven van een model om zelf een bombardement mee te kunnen simuleren, daarna beschrijven we hoe we dat model op de gevonden data conditioneren, en daarna hoe we dit conditionele model gebruiken om te voorspellen waar nog blindgangers zouden kunnen liggen.

Model

Om zelf een bombardement te kunnen simuleren, maken we eerst een paar aannames. Ten eerste gaan we uit van 15 vliegtuigen met elk 10 bommen en een vliegtuig van 6 bommen, en we gaan er van uit dat alle 156 bommen in een bepaald gebied zullen vallen (dit gebied is zo'n 20% groter dan het gebied waar de bommen feitelijk zijn gevonden). Een vliegtuig i kan in principe beginnen met zijn bommen los te laten boven elk willekeurig punt A_i van het beschouwde gebied (let op, A_i is dus een twee dimensionale vector). Dan zullen de bommen in verwachting neerkomen langs een rechte lijn, met regelmatige tussenpozen, afhankelijk van de snelheid van het vliegtuig. We modelleren dit door te stellen dat de verwachte inslag-positie van bom j (j element van $\{1, \dots, 10\}$) uit vliegtuig i gegeven wordt door

$$A_i + (j - 1) v_i$$

Die snelheid v_i is niet geheel willekeurig: we begrenzen de grootte van de snelheid van boven en van beneden, gebaseerd op de gegevens die ons ter beschikking staan. Verder gebruiken we een voorkeursrichting voor de vliegtuigen: min of meer van Noord-Oost naar Zuid-West. Dit houdt in dat we de richting trekken uit een soort normale verdeling met de voorkeursrichting als verwachting.

Het model kan ook rekening houden met gebieden waarvan a priori duidelijk is dat er geen blindgangers liggen omdat dat daar bijvoorbeeld of gezocht is of de bodem al eerder is beroerd. In het voorbeeld van 17 juli 1943 is dit (nog) niet toegepast.

We moeten ook aangeven hoe de inslag X_{ij} van bom j uit vliegtuig i kan afwijken van haar verwachtingsvector. Dit doen we door bij de verwachting een onafhankelijke tweedimensionale normaal verdeelde stochast op te tellen, met verwachting 0 en twee spreidingsrichtingen, een variantie in de richting van v_i en een loodrecht op v_i .

Nu zijn we bijna in staat om een heel bombardement te simuleren. Het enige dat we nog moeten bepalen is welke bom ontploft (of: wordt gevonden), en welke bom vermist blijft. We kunnen dit doen door elke bom bijvoorbeeld 10% kans te geven om niet gevonden te worden, onafhankelijk van alle andere bommen. Echter, voor ons specifieke probleem kiezen we voor een andere aanpak: we stellen dat precies 140 bommen gevonden zullen worden, en geven elke bom evenveel kans om gevonden te worden. Verder nummeren we de vindplaatsen 1 t/m 140, en wijzen elke bom toe aan ofwel een van de 140 vindplaatsen, ofwel aan "vermist"; deze informatie stoppen we in

de vector M . De volgorde van de nummering is onbelangrijk, het gaat erom om alles zo specifiek mogelijk te maken, zodat de conditionering op de data zo eenvoudig mogelijk wordt. We weten nu dus van elke bom of hij ontploft, en zo ja, waar. Ons model is volledig!

Conditioneren op de data

Ons model heeft nu een groot aantal parameters: $A_1, \dots, A_{16}$ en $v_1, \dots, v_{16}$ voor de verwachte locatie van de bommen, σ_1 en σ_2 voor de spreiding in de richting van en loodrecht op de snelheid, en de vector M , die alle bommen toewijst aan ofwel een inslag-nummer, ofwel aan "vermist". Nu moeten we het model conditioneren op de data. Dit betekent dat we gaan kijken welke waarden van de parameters goed passen bij de geobserveerde data. Dit doen met behulp van de Bayesiaanse methode: bij het opzetten van ons gesimuleerde bombardement hebben we zogeheten a priori verdelingen gekozen voor onze parameters. Nu conditioneren we deze verdelingen op de data met behulp van de regel van Bayes. De geconditioneerde verdeling van de parameters heet de a posteriori verdeling. Deze a posteriori verdeling vindt een balans tussen a priori mogelijke parameter waarden, en de waarschijnlijkheid dat deze waarden horen bij de geobserveerde data. Zo wordt het a posteriori heel onwaarschijnlijk dat een bom die in verwachting in het oosten valt, wordt gelinkt aan een inslag in het westen.

Het berekenen van de a posteriori verdeling is niet eenvoudig, met name door de parameter M : er zijn astronomisch veel mogelijkheden om de 156 bommen te linken aan de 140 bekende inslagen, en die kunnen we onmogelijk allemaal nagaan. Uiteraard is het wel zo dat heel veel van de mogelijke waarden voor M zeer onwaarschijnlijk zijn: de verwachte locatie van een bom moet wel redelijk dichtbij zijn aangewezen bom liggen. Echter, om dit uit te rekenen hebben we een speciale methode nodig, namelijk de Markov Chain Monte Carlo methode, of MCMC. Wij hebben een specifieke vorm van MCMC gebruikt, namelijk het Metropolis-Hastings algoritme.

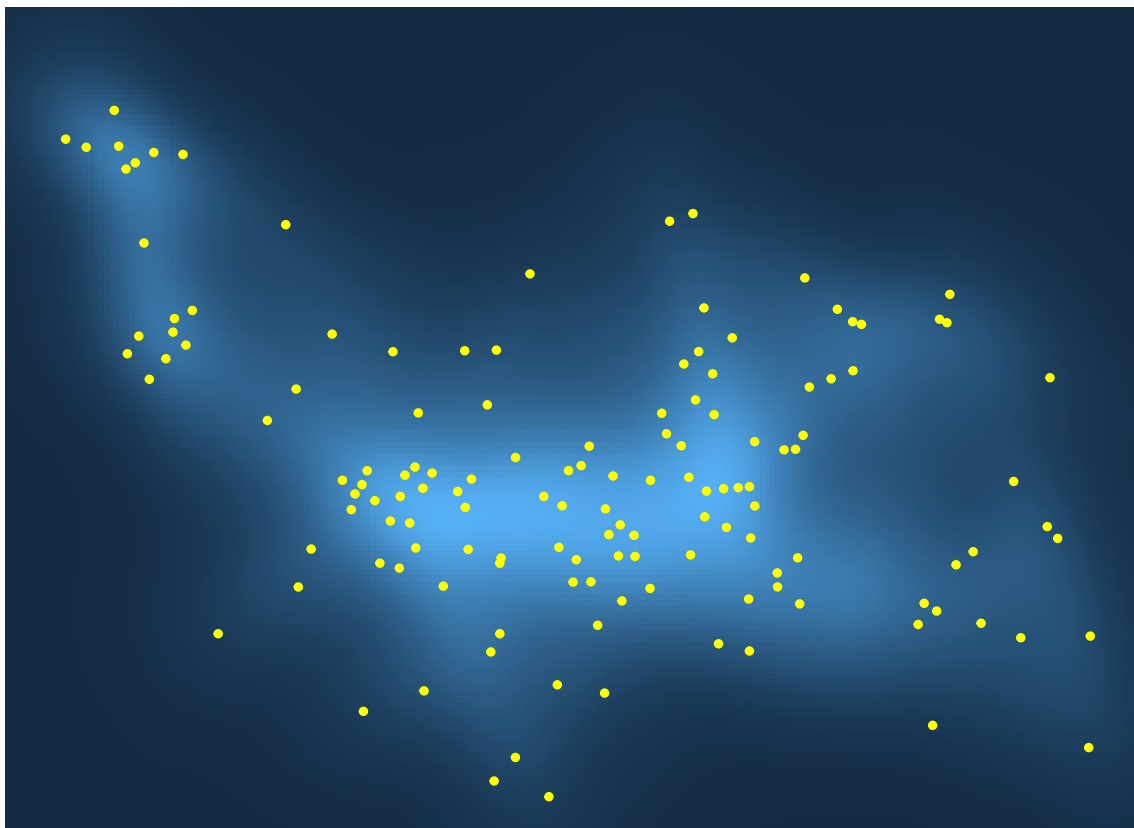
Bij Metropolis-Hastings beginnen we met een keuze voor de parameters die enigszins passen bij de data; dit is betrekkelijk eenvoudig om te doen. Dan gaan we in elke stap van het algoritme een nieuwe parameterwaarde voorstellen met een bepaalde kans (dit heet de *proposal distribution*, en deze zal in het algemeen afhangen van de huidige waarde van de parameters). Het algoritme accepteert deze nieuwe waarde dan met een kans die afhangt van de verhouding tussen de waarschijnlijkheid van de data onder de nieuwe parameter en die van de oude parameter. Dit definieert een zogeheten Markov Chain op de parameter ruimte, en de crux van de methode is dat de stationaire verdeling van deze Markov Chain (dit is de verdeling die ontstaat na het lang laten lopen van de chain) precies gelijk is aan de gezochte a posteriori verdeling!

Indicatie voor verwacht gebied

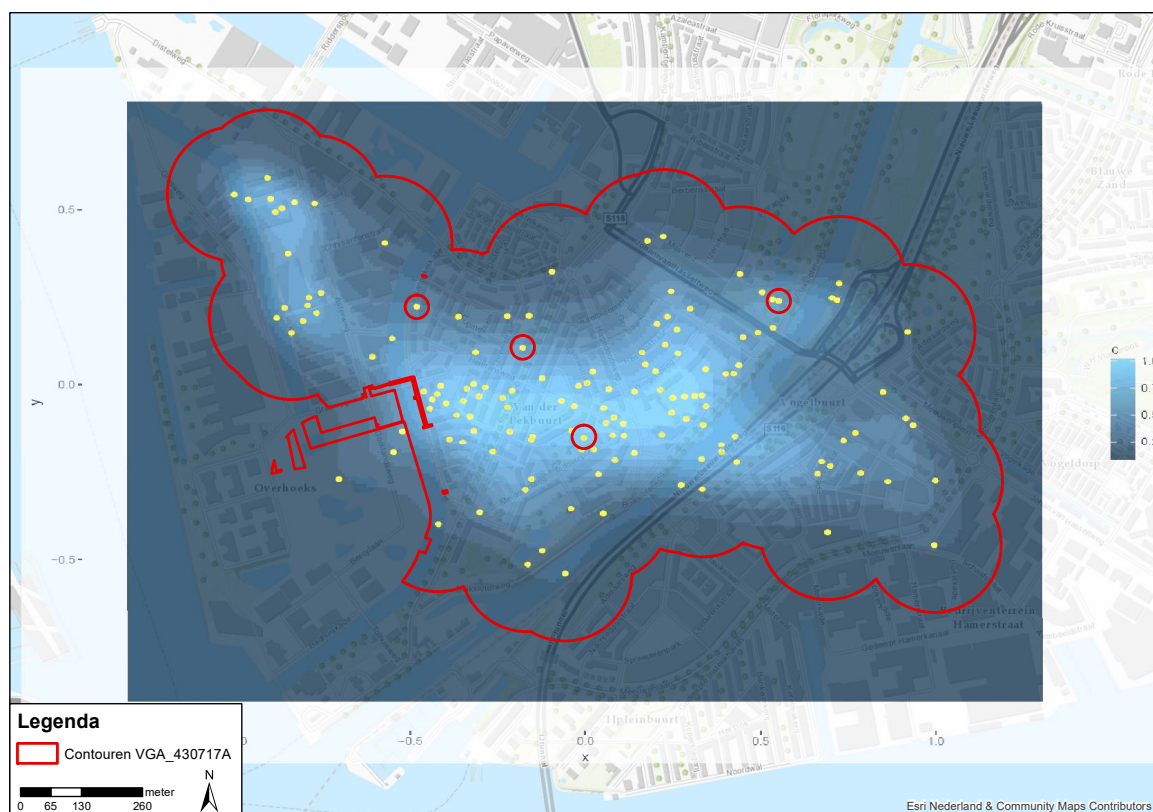
Na het kiezen van de *proposal density* op basis van de beschikbare historische informatie en het lang laten lopen van het Metropolis-Hastings algoritme, krijgen we uiteindelijk een rij van mogelijke (a posteriori) parameters. Sommige van die parameters zullen dicht bij elkaar liggen (dit is dan een waarschijnlijk stuk van de parameter ruimte), en sommige zullen meer geïsoleerd liggen. Als we nu willen weten wat bijvoorbeeld het verwachte aantal vermiste bommen is in een bepaald gebied, dan gaan we simpelweg alle parameters langs in onze rij, bepalen voor elke parameterwaarde wat het verwachte aantal bommen in het gebied is, en middelen dit dan over de gehele rij. Merk op dat als we de parameterwaarde kennen, dan weten we precies welke bommen vermist zijn, en we weten de verdeling van de locatie van die bommen, dus het bepalen van het verwachte aantal bommen is dan eenvoudig.

Toepassing op de casus 17 juli 1943

We kunnen bovenstaande toepassen op de casus van het bombardement van 17 juli 1943. Dit geeft de volgende kaart, waarop de dichtheid van de kans op aantreffen van een bom is aangegeven in vijf tinten blauw. Deze tinten corresponderen met de intervallen 0,000 – 0,005 – 0,010 – 0,015 – 0,020 per rastereenheid. Op deze manier geven de tinten weer hoe groot de kans op het aantreffen van een blindganger is, waarbij geldt dat een lichtere kleur een hogere kans aangeeft.

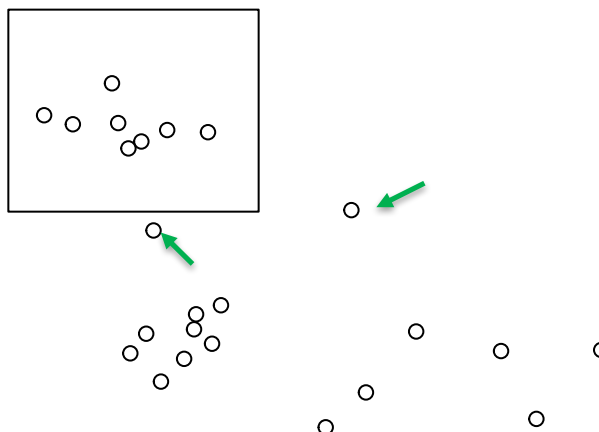


Wanneer we dit vertalen naar een Barbapapa – kansplot waarin we de contouren van 90% - 80% - 70% - 60% opnemen, dan zien we het volgende (de rode lijn geeft de uitkomsten van de niet onderbouwde nearest-neighbour methode weer, zoals gebruikt wordt in de huidige bommenkaart):



De resultaten zijn soms opvallend contra-intuïtief: zo leek de situatie linksboven in de afbeelding hierboven (die het plaatje hieronder is vergroot) in de ogen van experts van opsporingsadviesbureaus op een 'kruising' van twee lijnbombardementen met dus een aantal missende blindgangers in het rechthoekige gebiedje van onderstaand plaatje.

Toepassing van de statistische rekenmethode geeft echter aan dat het een even grote kans is dat het hier om een cluster bommen van een bommenwerper gaat (de twee missende van de reeks van 10 afgeworpen bommen zijn dan de inslagen aangegeven met de groenen pijlen net buiten de rechthoek) waardoor er geen enkele blindganger mist in de rechthoek:



De verdeling van het aantal blindgangers in het gebied omkaderd in bovenstaande afbeelding wordt meer precies volgens de berekening gegeven door onderstaande tabel. Hieruit blijkt dus dat de kans dat er geen blindgangers in het aangegeven gebied liggen, 49% is.

Mogelijk aantal blindgangers in gebied	0	1	2	3
Kans op dit aantal blindgangers	0.49	0.35	0.13	0.03

3 De tweede onderzoekslijn: een proportionele inschatting van de grootte van verdacht gebied bij bombardementen

In dit hoofdstuk verkennen we verschillende methoden voor een proportionele bepaling van het onderzoeksgebied.

3.1 Inleiding: proportionaliteit

Om te komen tot een proportioneel veiligheidsbeleid, in dit geval tot een proportionele inschatting van wat het opsporingsgebied is of redelijkerwijs zou moeten zijn, is het van belang te beseffen dat elke euro maar één keer uitgegeven kan worden. Voor een zo efficiënt mogelijke aanpak zou elke euro daar moeten worden geïnvesteerd, waar deze de grootste opbrengst genereert in termen van veiligheid. Een efficiënte aanpak is van des te groter belang vanwege het feit dat de Rijksoverheid op dit moment een substantieel deel van de kosten van werkzaamheden rondom opsporing van CE via een subsidie betaalt.

Deze tweede lijn van het onderzoek richt zich dan ook op de verwachte kosten en baten van het aanwijzen van opsporingsgebied. Deze wijze van aanpak werkt anders dan de statistische methode: gegeven het risico geeft de ongevallenstatistiek een grondslag voor het bedrag dat redelijkerwijs mag worden besteed aan preventiebeleid en daarmee voor de omvang van het ‘verdachte gebied’ in de zin van het gebied waarin actief wordt opgespoord.¹¹

3.2 A priori: geen werkzaamheden is geen opsporing of ruiming

Door de oogharen kijkend zou je kunnen zeggen dat, in vergelijking met andere risico's in Nederland zoals deelname aan het verkeer (waar jaarlijks vele honderden doden vallen), de risico's van blindgangers statistisch ‘klein’ zijn. Er vallen vele honderden verkeersdoden, maar we kennen geen (recente) Nederlandse voorbeelden waarbij slachtoffers gevallen zijn als gevolg van een ongecontroleerde detonatie van conventionele explosieven bij werkzaamheden of spontaan. Het is daarom zonder verdere berekening proportioneel om meer te investeren in verkeersveiligheid dan in het voorkomen van slachtoffers bij detonatie van CE. Er is overigens wel een beperkt aantal voorbeelden van slachtoffers bij detonaties na bewuste beroering van CE, bijvoorbeeld wanneer CE wordt opgevist of wanneer er met een maaimachine overheen gereden wordt.

¹¹ Bij deze methode moet opgemerkt worden dat het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid stelt dat voor arbeidsomstandigheden geldt dat alle risico's voor werknemers altijd moeten worden voorkomen, dus ook het risico van blindgangers. Zowel de (kleine) kans dat het risico optreedt als de (hoge) kosten om het risico voor de werknemer weg te nemen zijn daarbij volgens het ministerie van ondergeschikt belang. In de praktijk is er natuurlijk voor elk arbeidsrisico een grens aan de investeringen maar dat spreekt het ministerie niet hardop uit.

Voor locaties waar niet gewerkt wordt, betekent dit meteen dat er geen proportionele reden is om blindgangers te willen opsporen (en dus de grootte van het verdacht gebied op 0 vierkante meter te stellen).¹² Dit principe is opgenomen in het afwegingskader dat het Platform Blindgangers en Crisislab hebben opgesteld en dat door Amsterdam als beleid is vastgesteld. Vanaf nu richten we ons derhalve op de risico's en het berekenen van een proportioneel zoekgebied op plekken waar bouwactiviteiten ontplooid worden.

3.3 Risico's bij bouwen

Voor locaties waar gebouwd gaat worden, kan de bovenstaande redenering niet zomaar worden gevolgd, omdat de mogelijk aanwezige CE in geval van bouwen beroerd kan worden. Ook hebben explosieven in de bodem een (theoretische) grotere kans om te detoneren wanneer de grond gaat trillen bij bouwwerkzaamheden, bijvoorbeeld door heien.

De afwezigheid van ongevallen in Nederland is niet meteen het bewijs van de disproportionaliteit van het nemen van maatregelen. De huidige richtlijnen in het WSCS-OCE gaan immers uit van het actief opsporen van CE in het 'verdachte gebied' rondom de locaties van bominslagen, en als dat niet mogelijk is het nemen van maatregelen om veilig werken mogelijk te maken. Het kan dus aan het succes van het beleid liggen dat er geen ongelukken zijn gebeurd.

Wel is het nuttig te kijken naar de proportionaliteit van het huidige beleid. Een uiterste consequentie daarvan kan overigens zijn om überhaupt geen aandacht (meer) te besteden aan het risico van blindgangers. Dit zou betekenen dat er ook bij bouwwerkzaamheden niet (meer) actief wordt gezocht naar bommen in de grond. Het risico dat er op enig moment iets misgaat bij bouwwerkzaamheden, wordt dan simpelweg aanvaard. In de afgelopen decennia zijn er immers geen slachtoffers gevallen in Nederland door ongecontroleerde explosies van blindgangers gerelateerd aan bouwwerkzaamheden, terwijl in de bouw jaarlijks alleen al tientallen mensen omkomen bij 'gewone' bouwongevallen. Het zou daarom wellicht meer proportioneel zijn om te investeren in het voorkomen van 'gewone' bouwongevallen dan in het preventief opsporen van CE.

De leidende vraag voor deze verkenning is tamelijk specifiek:

Hoe kan, gelet op de opdracht om bij geplande bouwwerkzaamheden een preventief onderzoek te doen, de grootte van het gebied waarbinnen opsporing plaats moet vinden (en/of maatregelen genomen moeten worden om veilig te werken) proportioneel worden bepaald?

¹² Natuurlijk kan de gemeente besluiten om de CE toch te laten opsporen en opruimen, ondanks het minieme risico.

Daartoe verkennen we nu een berekeningswijze voor deze bepaling van een proportionele omvang van het verdacht gebied.

We gaan in op de kosten en baten van het beleid en komen daarna met een voorstel om deze kosten en baten met elkaar in evenwicht te laten zijn.

Vooraf zij opgemerkt dat we bij alle berekeningen een grote zekerheidsmarge inbouwen. Telkens wanneer wij een zekerheidsmarge inbouwen, wordt dat overigens uitdrukkelijk benoemd vanwege transparantie.

3.4 De kosten beter beschouwd

Er zijn verschillende kosten verbonden aan de fasen van het onderzoek naar blindgangers. Zo zijn er kosten voor de risico-inventarisatie (bijv. een vooronderzoek) en kosten voor beheersmaatregelen (bijv. opsporing). Wanneer er daadwerkelijk een blindganger is aangetroffen en gekozen wordt voor ruiming, komen daar ruimkosten bij, waaronder ook de preventieve evacuatie van een (gedeelte van een) buurt gerekend moet worden. Voor preventieve evacuatie wordt gekozen op basis van advies van de EOD in samenspraak met de gemeente.

De opdrachtgever heeft in zekere mate keuzevrijheid als het gaat om de kosten die gemaakt worden voor een historisch vooronderzoek. De WSCS-OCE geeft wel richtlijnen voor een minimale onderzoeksinspanning, maar de opdrachtgever kan er voor kiezen om meer tijd of budget te investeren in het vooronderzoek.

De kosten voor het opsporen en ruimen van CE bestaan uit verschillende onderdelen. Doorgaans springen vooral de kosten gemaakt door de opsporingsbedrijven in het oog. Met name dieptedetector kan bijvoorbeeld een grote kostenpost opleveren. Ook de personele en materiële kosten van de inzet van de explosievenopruimingsdienst van defensie (EOD) voor de ontmanteling alsmede de inzet van gemeente- en politiepersoneel en materieel voor o.a. de fysieke ontruiming en afzetting van een gebied moeten meegeteld worden. Kosten voor adviesbureaus die advies uitbrengen over nut, noodzaak en financiële aspecten van opsporing en ruiming komen daar bij. Dit zijn allemaal directe kosten verbonden aan het opsporings- en ruimingsbeleid inzake conventionele explosieven. Het is belangrijk om hierbij op te merken dat een onderzoeksinspanning nooit leidt tot een 100% zekerheid wat betreft de aanwezigheid van blindgangers, vanwege onnauwkeurigheid in de onderzoeksmethoden. Dit betekent dat hoge uitgaven aan onderzoeksinspanningen niet leiden tot gegarandeerd resultaat.

Deze activiteiten kunnen ook indirecte kosten met zich meebrengen. Zo brengt de ontruiming en afzetting van een gebied vaak vele indirecte kosten met zich mee. Veelal gaat het om economische kosten als gevolg van bijvoorbeeld vertragingen door het

afsluiten van (belangrijke) verkeersaders. Ook leidt de evacuatie van ondernemingen tot inkomstenderving die hoog op kan lopen.

Een ander type indirecte kosten van onderzoek naar blindgangers kan (theoretisch) zijn dat de WOZ-waarde en de verkoopwaarde van woningen in de buurt van de blindgangers daalt doordat bekend is dat er een risico in een gebied is.

Het aanwijzen van een gebied als verdacht brengt dus kosten voor (historisch) vooronderzoek en eventueel (diepte)detectie met zich mee. We gaan hier specifiek in op de kosten die samenhangen met het onderzoek naar de aanwezigheid van explosieven. De gemiddelde kosten voor preventief onderzoek kunnen worden omgeslagen per vierkante meter. Volgens inschatting van de gemeente Rotterdam bedragen deze kosten ongeveer €30,00 per vierkante meter.

Indicatie kosten: detectie, vooronderzoek en PRA

Voor de beeldvorming volgt hieronder een indicatie van de gemiddelde detectiekosten in Rotterdam. Deze kosten zijn ook vertaald naar de DALY¹³ die zij moeten opbrengen, om inzicht in de vermoedelijke proportionaliteit te geven.

De gemeente Rotterdam schat dat de detectiekosten binnen Rotterdam gemiddeld 30 euro per m² bedragen (zie onderstaande tabel). Dit bedrag is berekend door kosten van een werkploeg per dag te delen door het aantal vierkante meters dat ze kunnen onderzoeken. Dit geeft wel een vertekend beeld, omdat detectiekosten op het water gemiddeld hoger liggen dan detectiekosten op het land. Oppervlakedetectie is daarnaast ook goedkoper dan dieptedetectie. Hierdoor zullen de kosten voor detectie binnen specifieke projecten afwijken van de door de gemeente Rotterdam geraamde gemiddelde kosten.

	Oppervlakte	Detectiekosten
Rotterdam (totaal)	319,4 km ² (1/3de water)	-
Rotterdam (verdacht gebied)	12,8 km ²	€ 384.000.000
Gemiddelde kosten	1 m ²	€ 30
	1 ha	€ 300.000

Uiteraard is het goed mogelijk en zelfs waarschijnlijk dat de kosten in Rotterdam afwijken van die in Amsterdam. Evenwel, we achten het niet aannemelijk dat die kosten afwijken in een dergelijke mate dat dit de validiteit van de berekeningen schaadt. Daarnaast is het nogmaals goed op te merken dat het hier gaat om gemiddelde kosten. Geen geval is met een ander geval één-op-één vergelijkbaar. Gemiddelden zijn echter uitstekend om beleidskeuzen op te baseren, zeker in gemeenten met vergelijkbare CE-problematiek.

¹³ DALY staat voor Disability Adjusted Life Year en is een rekenmethode waarbij een waarde wordt toegekend aan een gewonnen gezond mensenlevensjaar. Deze methode wordt internationaal gebruikt.

3.5 De baten beter beschouwd

De baten die tegenover de in de vorige paragraaf beschreven kosten staan van het preventieve OCE-beleid, zijn in geldwaarde uit te drukken verloren levensjaren en in geldwaarde uit te drukken materiële schade van een tijdens de bouw ongecontroleerd afgegaan CE. Baten zijn verder ook vermeden extra kosten, bijvoorbeeld wanneer een explosief dat niet is opgespoord bij aantreffen tijdens werkzaamheden leidt tot het stilleggen van de bouw en zodoende hoge kosten met zich meebrengt.

In een eerder onderzoek van Crisislab en Expload is als aanname gehanteerd dat de totale, in geldwaarde uit te drukken verwachting van overlijden, letsel en schade, door de ongecontroleerde explosie van een conventioneel explosief, ongeveer 20 miljoen euro bedraagt. We hanteren dan de volgende cijfers:

- Uitgaande van het scenario dat de bom ongecontroleerd tot uitwerking komt tijdens de bouwwerkzaamheden en er geen beschermende beheersmaatregelen zijn genomen, heeft verzekeringsmaatschappij CLARC in een Rotterdamse casus de mogelijke schade berekend. Zij kwam uit op een materiële schade van 9 miljoen euro (Maximal Possible Loss, MPL). Een schadebedrag dat 'slechts' de mogelijke directe schade aan omliggende gebouwen, groenvoorzieningen, verhardingen, kabels en leidingen bevat. Fysiek letsel aan of overlijden van personen / dieren is niet meegenomen noch is de eventuele gevolgschade door het stilvallen van bedrijfsprocessen, tijdelijke huisvesting elders, en kosten voor het opruimen van scherven beschouwd.
- Casuïstiek uit Nederland, België en Duitsland toont aan dat bij explosies van afwerpmunitie bij werkzaamheden (ook in bewoond gebied) rekening moet worden gehouden met maximaal 3 doden en 17 gewonden. Dit correspondeert met $(3 \times 40 + 17 \times 1 =)$ 137 DALY. Om dit verlies in levensjaren te voorkomen mag $(137 \times 80.000 =)$ €10.960.000,- geïnvesteerd worden.
- Zonder de (indirecte) materiële gevolgschade mee te nemen, beslaat de schade dus grofweg $(11 \text{ miljoen} + 9 \text{ miljoen})$ 20 miljoen euro.¹⁴

De baten van een vermeden, ongecontroleerde explosie van een blindganger stellen we op twintig miljoen euro.

Bezien vanuit proportionaliteit, betekent dit dat er voor iedere vergelijkbare casus maximaal 20 miljoen euro geïnvesteerd mag worden om de schade die kan ontstaan te voorkomen, als daarmee alle schade voorkomen kan worden.¹⁵ Daarmee kan actie om 'iets' aan het risico van de bom te doen als proportioneel worden gezien, zolang het totaal van alle kosten gemoeid met de ruiming (incl. inkomstenderving etc.) minder dan 20 miljoen bedraagt. Dit is een conservatieve schatting, omdat er sinds de Tweede

¹⁴ Dit overzicht is opgenomen in een onderzoek in opdracht van de haven en de gemeente Rotterdam: Crisislab & Expload (2016), *Proportionaliteit bij de omgang met conventionele explosieven*. Het onderzoek is te vinden op crisislab.nl.

¹⁵ Voor een correcte berekening van het bedrag dat geïnvesteerd mag worden per casus moet de rente-op-rente worden meegerekend. Bij een rentevoet van 4% mag nu € 13,5 miljoen geïnvesteerd worden om over 10 jaar een schade van € 20 miljoen te voorkomen.

Wereldoorlog geen casus bekend zijn in Nederland waarbij schade ontstond nadat een blindganger beroerd werd en uitwerkte.

3.6 Berekening van het risico

Om een betrouwbare berekening te kunnen maken waarin we kosten en baten tegen elkaar afzetten, zullen we iets moeten zeggen over de kans dat een blindganger ongecontroleerd tot explosie komt bij de afwezigheid van beleid. Immers, anders is het niet mogelijk de verwachtingswaarde van de baten te bepalen.

Er lijkt echter nergens in de wetenschappelijke literatuur een goede berekening van de kans dat werkzaamheden tot explosie van een blindganger leiden. Bevraging van Duitse autoriteiten leidde tot een memo van de Duitse expert Winkelmann die stelt dat: *'The interaction of heavy construction equipment with bombs is the prime reason for accidents. My guess would be that an accident with a bomb happens in about 2 - 5 % of the cases when a bomb is moved by an excavator, or hit with an auger.'*¹⁶

Wanneer de bom wordt beroerd (voor de berekening gaan we daar van uit), maakt het evident verschil of wordt gerekend met 2%, of met 5% kans op uitwerking na de beroering (de kans op detonatie door trillingen is veel geringer daarom houden we daar geen rekening mee). Naarmate de kans immers kleiner wordt, wordt gelet op het vereiste van proportionaliteit het zoekgebied ook kleiner. Hier werken we zowel de kans van 2% uit, als de kans van 5%. Om echter eerst e.e.a. in perspectief te plaatsen, zoomen we hier kort in op de ongevallenstatistiek en kijken we naar de cijfers inzake ongevallen en gevolgen daarvan in Nederland en buurlanden.

Duitsland versus Nederland (en België)

Er is momenteel geen database waaruit het aantal ongecontroleerde explosies in Nederland, en de gevolgen daarvan, kunnen worden afgeleid.¹⁷ Expload heeft desalniettemin op basis van een studie van krantenartikelen¹⁸ een indicatief overzicht gecreëerd van bekende ongecontroleerde uitwerkingen van CE in Nederland.¹⁹ Per incident zijn de oorzaak, het soort CE en de gevolgen geïnventariseerd. Wij spreken de verwachting uit dat, zeker waar het dit millennium betreft, de lijst een goede indicatie geeft van het aantal ongecontroleerde uitwerkingen, met name waar het ernstige incidenten betreft en 'spontane' uitwerkingen.²⁰

¹⁶ K. Winkelmann, Answers to Crisislab questions on UXO removal in Germany, January 2017. Deze uitspraak is gedaan op basis van gegevens van Winkelmann die niet openbaar zijn.

¹⁷ Vaak vermelden de ruimrapporten (*Meldingen Opdracht Ruimrapportage Afdoening*) van de Nederlandse Explosievenopruimingsdienst (EOD) deze gegevens echter wel zodat deze een belangrijke bron voor een toekomstige database zouden kunnen vormen.

¹⁸ Via een algemeen media en internetonderzoek (open bronnen), met als basis een cumulatie van het in LexisNexis beschikbare materiaal. LexisNexis is een archief met krantenartikelen vanaf 1980 van nationale en internationale kranten, inclusief een brede selectie aan Nederlandse (dag)bladen en lokale bladen.

¹⁹ Dit overzicht is opgenomen in Crisislab & Expload (2016), *Proportionaliteit bij de omgang met conventionele explosieven*.

²⁰ Zo ook is het zeer wel mogelijk dat het meenemen van casuïstiek van vlak na de WOII tot een vertekend beeld leidt ten aanzien van huidige kans, omdat het aannemelijk is dat in periode meer CE zijn gevonden c.q. tot uitwerking zijn gekomen, al dan niet spontaan, dan tegenwoordig.

Het overzicht biedt echter geen volledig inzicht in alle ongecontroleerde uitwerkingen van CE uit de WOII, alleen al daar 'slechts' incidenten uit de laatste pakweg 35 jaar op zijn genomen, mede vanwege de (online) beschikbaarheid van krantenartikelen.

Een vergelijkbaar overzicht is gecreëerd met betrekking tot Duitsland en België, alhoewel voor enigszins andere tijdsperiodes: respectievelijk vanaf 1979 en 1945. De Belgische casuïstiek is in contrast geaggregeerd op basis van een naslagwerk over slachtoffers van ontploffingen in de Belgische frontstreek.²¹ Per definitie betekent dit dat uitwerkingen zonder slachtoffers niet meegenomen zijn. Het gevolg is dat de Belgische casuïstiek een enigszins vertekend beeld biedt, dat geen inzicht geeft in de verhouding van uitwerkingen met en zonder (dodelijke) slachtoffers.

Volgens het onderzoek van Explod vonden er in Nederland acht incidenten plaats waarbij een CE ongecontroleerd tot uitwerking is gekomen. Geen daarvan was bij bouwwerkzaamheden. Bij drie incidenten vielen daarbij slachtoffers: in totaal vier doden en één gewonde.

Volgens onderzoek door BombsAway gaat het in Amsterdam nog om 42 verdachte gebieden op afwerpmunitie waarvan de archiefgegevens in combinatie met luchtfoto's (en wat hier op zichtbaar is) te summier zijn om een exact aantal blindgangers vast te stellen.²² Laten we aannemen dat in alle 42 casussen inderdaad sprake is van één blindganger. We nemen ook aan dat al deze blindgangers zich ook nog eens op plekken bevinden waar binnen nu en tien jaar gebouwd gaat worden, en dat de blindganger daadwerkelijk wordt beroerd.

In dit geval bestaat er, gedurende die tien jaar, elk jaar 4,2 keer een kans van 2% tot 5% op een verlies van drie levens wanneer er een bom wordt beroerd. Dat betekent een verwacht jaarlijks verlies van 0,252 tot 0,63 mensenlevens.

3.7 De kosten versus de baten: advies voor de omvang van een verdacht gebied

Onder de aanname dat een kans van 2% tot 5% geldig kan worden toegepast op de Nederlandse situatie²³, kunnen we deze kans op ongecontroleerde explosie(s) van (een) blindganger(s) gebruiken voor het berekenen van een redelijk gebied voor preventief onderzoek waarbij we kosten en baten tegen elkaar afzetten.

Ter herinnering: het beleid is niet proportioneel als de kosten hoger zijn dan de baten anders zouden elders meer mensenlevens gered kunnen worden met hetzelfde geld. Concreet mag dus geen gebied worden afgezocht dat groter is dan redelijkerwijs nodig.

²¹ J. Desreumaux, (2011). *Land van Schroot en Knoen. Slachtoffers van Ontploffingen in de Frontstreek. 1918-heden*. Leuven: Davidsfonds Uitgeverij.

²² BombsAway (30 september 2016), *Rapportage CE-bodembelastingkaart gemeente Amsterdam*.

²³ Een belangrijke stap om deze aanname wijd geaccepteerd te maken, zou zijn het beschikbaar maken van het onderzoek door Winkelmann en validatie daarvan in de Nederlandse situatie.

Om nu te bepalen wat een **redelijk zoekgebied per blindganger** is, berekenen we $(P \cdot E)/K$. Daarbij zijn P , E en K :

- $P(\text{ongeconroleerde explosie van een blindganger}) = 2\% \text{ tot } 5\%$
- $E(\text{in geldwaarde uitgedrukte schade van een ongeconroleerde explosie}) = € 20.000.000,-$
- $K(\text{detectiekosten per vierkante meter}) = € 30,-$

In deze berekening wordt onder $E(\text{in geldwaarde uitgedrukte schade van een ongeconroleerde explosie})$ niet alleen verstaan het verlies van gezonde levensjaren door overlijden en letsel, maar ook de materiële schade. Het geadviseerde zoekgebied is dus groter dan wanneer uitsluitend gelet zou zijn op mogelijke doden en gewonden door een ongeconroleerde explosie.

De kosten K omvatten alleen de gemiddelde opsporingskosten (vooronderzoek en detectiekosten) per vierkante meter. In dit rekenvoorbeeld rekenen we echter alleen met de detectiekosten waarvan we een schatting uit de Rotterdamse praktijk gebruiken. Uiteraard brengt een eventuele ruiming ook kosten met zich mee. Omdat binnen alle redelijkheid geen gemiddelde kan worden bepaald voor deze ruimingskosten, nemen we deze kosten niet mee in de berekening. Daar komt bij dat, wanneer we de ruimingskosten zouden meetellen, we aan de batenkant ook de vermeden kosten vanwege bijvoorbeeld het stilleggen van bouwwerkzaamheden moeten meetellen. Ook voor die kostenpost geldt dat met geen mogelijkheid vooraf valt te zeggen hoe hoog die post zou uitvallen. Bovendien komen die kosten niet uitsluitend voor de overheid. Dat zou een ongelijkheid in de rekensom opleveren, daar (het grootste deel van) de kosten voor preventief onderzoek wel voor rekening van de overheid komen.

De facto zou deze berekeningswijze betekenen dat per blindganger in alle redelijkheid geen gebied onderzocht mag worden groter dan $(0,02 \cdot 20.000.000) / 30 \approx \mathbf{13.333 \text{ m}^2}$ of $(0,05 \cdot 20.000.000) / 30 \approx \mathbf{33.333 \text{ m}^2}$.

Afhankelijk van de beleidsmatig vast te stellen kans (2% tot 5%) bedraagt, per blindganger, gelet op de proportionaliteit, de te onderzoeken oppervlakte zo'n 1,3 tot 3,3 ha. Heel praktisch betekent dit dat er een gebied van ongeveer 100 bij 100 meter rondom een verdachte locatie kan worden afgezocht.

Let wel, de bovenstaande berekeningen zijn conservatief. Er wordt immers uitgegaan van strenge aannames zoals dat elke blindganger ook daadwerkelijk beroerd wordt door zwaar graaf- of heimateriaal. Anderzijds zijn de kosten beperkt tot opsporingskosten. Stel voor dat de kans op daadwerkelijk beroeren van een blindganger op 10% wordt gesteld en dat wordt uitgegaan dat de kosten voor ruiming 10 maal hoger worden gesteld dan voor opsporing dan zou er nog maar een gebied van 10 bij 10 meter kunnen worden onderzocht, met andere woorden dan wordt er

redelijkerwijs alleen nog maar gezocht op de locatie waar vooronderzoek een blindganger aanwijst.

Bijlage 1 Begeleidingscommissie

Dit onderzoek is begeleid door een begeleidingscommissie die tweemaal bijeengekomen is om feedback en input te geven. Daarnaast heeft de begeleidingscommissie informatie aangeleverd en schriftelijk commentaar geleverd.

De begeleidingscommissie bestond uit de volgende personen:

Thierry van den Berg	Bombs Away
John Blokvoort	Expload
Marleen Cervelli	Gemeente Amsterdam
Bart van Empel	Ministerie van Defensie, EODD
Jos van der Heijden	Gemeente Velsen en Platform Blindgangers
Henriette van Hoek	Gemeente Amsterdam (voorzitter)
Erwin Monsees	EODD
Lennart van Oudheusden	Saricon
Robin Siebel	Gemeente Amsterdam
Simone Wiers	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid

De onderzoekers zijn de leden van de begeleidingscommissie dankbaar voor hun waardevolle adviezen. De onderzoekers dragen natuurlijk de volle verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke tekst en de tekst is niet een weergave van de standpunten van de betreffende organisaties.

Verder speciale dank aan Maikel Nouws van BombsAway voor het geduldig beantwoorden van al onze vragen.

Bijlage 2 Opbrengsten van een internationale scan

In de internationale literatuur hebben we gezocht naar gangbare methodes om te komen tot een aanduiding van verdacht gebied.

De korte beschrijving van de opbrengst is: die zijn er niet, anders dan voor vlaktebombardementen en de daarvoor ontwikkelde Duitse methodes geven geen goed zicht op wat er aan de rand van het gebombardeerde gebied 'gebeurt'. De problematiek in Duitsland is dan ook een andere: zo liggen er naar verwachting in Hamburg nog 3000 en in Berlijn 1000 blindgangers (Katzsch 2009, p. 54).

*Katzsch*²⁴

Relevant is in de eerste plaats een tamelijk recent Duits proefschrift waarin een prioriteringsmethode wordt gegeven voor het opsporen van blindgangers in de platgebombardeerde Duitse binnensteden:

“Auf der Grundlage einer umfassenden Recherche von Daten über die Gefahren und Schutzgüter kann die gesamte Fläche von Oranienburg hinsichtlich der Gefahren und Schutzgüter klassifiziert werden. Mittels eines mathematisch beschriebenen Bewertungsalgorithmus, der mit der entwickelten Gefahren-Wirkungs-Matrix realisiert wird, ist die Differenzierung des Untersuchungsgebietes hinsichtlich der Gefährdung durch Bombenblindgänger möglich [...] Sie ermöglicht die Vergleichbarkeit von Gefährdungssituationen und damit die objektive Priorisierung von Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren durch Bombenblindgänger.” (p. III)

Zijn methode is tamelijk grof en geeft uiteindelijk 'slechts' een prioritering aan waar als eerste onderzoek zou moeten worden gedaan. Zichtbaar is dat de Amsterdamse situatie in de een na lichtste gevaarscategorie valt:

²⁴ M. Katzsch (2009). *Methodik zur systematischen Bewertung von Gefahren aufgrund von Bombenblindgängern aus dem Zweiten Weltkrieg am Beispiel der Stadt Oranienburg*. Proefschrift, Brandenburgischen Technischen Universität Cottbu.

KW	Gefahrenklassen und ihre Merkmale	Schutzgutklassen und ihre Merkmale
5	sehr hoher Verdacht auf LZZ <u>und</u> hohe Dichte Trichter (> 750 Stück je km^2) und Verdachtspunkte (> 300 Stück je km^2) sowie Verdachtsflächen	öffentliche Einrichtungen, Verkehrsknotenpunkte und -flächen, öffentliche Einrichtungen, Objekte der Versorgungsinfrastruktur, Objekte mit zusätzlichen Risiken
4	Sehr hoher Verdacht auf LZZ <u>und</u> hohe Dichte Trichter (≤ 750 und > 300 Stück je km^2) und Verdachtspunkte (≤ 300 und > 200 Stück je km^2)	Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude
3	Restfläche hoher Verdacht auf LZZ und Verdacht auf LZZ, unabhängig von Trichterichte	Einfamilienhäuser, Gewerbeflächen
2	Restfläche hohe Dichte Trichter (> 300 je km^2) und Verdachtspunkte (> 200 je km^2) sowie Verdachtsflächen	- nicht vergeben -
1	geringe Dichte Trichter (≤ 300 je km^2 und < 0 km^2) und Verdachtspunkte (≤ 200 je km^2 und < 0 km^2)	- nicht vergeben -
0	kein Verdacht	Frei-/Brach- und Wasserflächen, Landwirtschaft, Forstwirtschaft

Toepassing van Katz's methode in Amsterdam levert daarom ook niets relevants op.

*Monia Mahling*²⁵

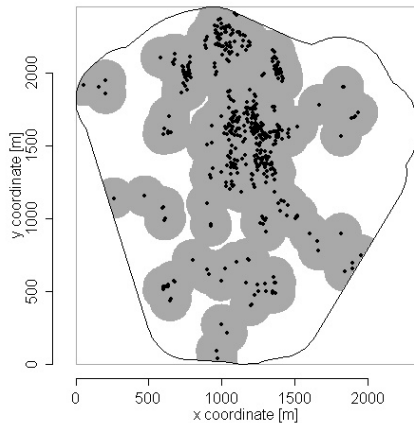
Monia Mahling heeft meer recent een statistische methode ontwikkeld voor de situatie van vlakgebombardementen. Zij start (ook) met de observatie dat de ook in Duitsland gebruikelijke nearest-neighbour methode geen goede methode is.

An important aspect for the comparison of the construction methods is the way in which the probability of non-explosion q is taken into account: In the traditional method, q does not influence the shape of the high-risk zone at all. [...] So the high-risk zones constructed with the traditional method are even smaller for a higher probability of non-explosion. [...] So the use of the traditional method cannot be recommended. (p. 82).

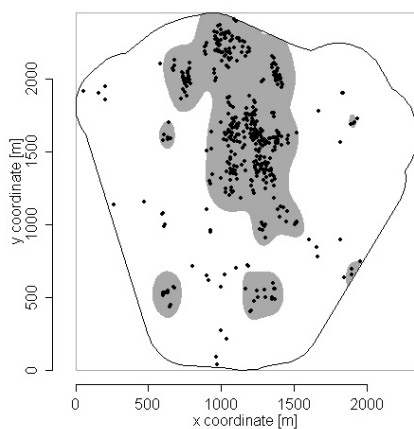
Zij verfijnt in de eerste plaats de nearest-neighbour methode door te werken met een verdeling van alle aangetroffen nearest-neighbour afstanden en daar uit (gegeven een

²⁵ Monia Mahling (2013). *Dissertation Determining high-risk zones by using spatial point process methodology*. Ludwig-Maximilians-Universität München.

geaccepteerde onzekerheid p en een bekende faalkans) een te hanteren straal rondom alle bominslagen te construeren. De plaatjes die je op deze wijze krijgt lijken dus op de traditionele nearest-neighbour plaatjes maar dan met een andere straal.



Daarnaast werkt zij een intensity-based methode uit: deze is gebaseerd op de kans dat een blindganger dicht bij een andere bom ligt. Ook nu kun je als gebruiker zelf de kans invoeren op een geaccepteerde onzekerheid). Zichtbaar is in deze methode dat randinformatie er niet meer toe doet:



Ook deze methode is daarmee niet bruikbaar voor de Amsterdamse situatie.

Bijlage 3 Wet- en regelgeving CE

In deze bijlage geven we een kort overzicht van de wet- en regelgeving voor CE in Nederland.

De consequenties van generieke wet- en regelgeving voor de omgang met CE

In Nederland kennen we geen wet- en regelgeving of landelijk beleid dat richting geeft aan de omgang met CE risico's, tenminste waar het gaat om publieke risico's (dus anders dan het arbeidsomstandighedenrisico). Er is dus geen sprake van landelijke risiconormen over welke CE risico's al dan niet aanvaardbaar zijn. Dit betekent dat het lokaal bevoegd gezag een eigen afweging moet maken op grond van haar verantwoordelijkheid voor de openbare veiligheid over de acceptatie van CE risico's. Omgekeerd betekent dit voor alle duidelijkheid dat 'de gemeente' niet *per definitie* actie moet ondernemen ten aanzien van de CE die zich nog in de (water)bodem bevinden.

De publieke verantwoordelijkheid voor openbare veiligheid

De gemeentelijke overheid heeft de algemene verantwoordelijkheid voor het toezien op de openbare veiligheid op haar grondgebied. Meer precies heeft de gemeente de taak om voor allerlei in diverse wetgeving beschreven activiteiten een afweging te maken of de activiteit en de daarmee verbonden risico's acceptabel zijn. Hiervoor heeft de gemeente vergunningverlenende en toezichthoudende bevoegdheden. Daarnaast heeft de gemeente, i.c. de burgemeester, de bevoegdheid om bij acute bedreigingen van de openbare veiligheid de maatregelen te nemen die hij/zij nodig acht (175 Gemeentewet).

Dit betekent echter niet dat de overheid preventief moet optreden tegen alle mogelijk risico's die de samenleving bedreigen of dat zij de bevoegdheid heeft om anderen dat te laten doen. De instrumenten die de overheid, i.c. de burgemeester, in handen heeft om de openbare veiligheid te garanderen, kunnen alleen bij klaarblijkelijk gevaar ingezet worden, dus niet bij vermoedens zonder onderbouwing. Het afdwingen van nader onderzoek of zelfs het ruimen van explosieven in specifieke gebieden kan dus niet op voorhand, maar alleen als er een concrete aanleiding is. De 'in het vak' bekende uitspraak van de rechtbank 's-Gravenhage van 18 februari 2008 (200802650/1) over het gebruik van deze bevoegdheid rondom CE liet dat ook zien: er was een deskundig advies nodig dat het mogelijke gevaar voor de openbare veiligheid onderbouwde zodat de burgemeester zijn bevoegdheid kon inzetten.

Dezelfde uitspraak toont bovendien dat het gebruik van deze bevoegdheid natuurlijk aan beroep onderhevig is, en dat eventuele schade bij een onjuist gebruik van de bevoegdheid op de gemeente verhaald kan worden. Meer in het algemeen kan diegene die schade leidt door gebruik van deze bevoegdheid om vergoeding hiervan verzoeken. In onderliggende zaak oordeelde de rechtbank echter dat de burgemeester terecht deze bevoegdheid gebruikte om bouwwerkzaamheden stil te leggen nadat hij door experts gewaarschuwd was dat er een acuut gevaar voor de openbare veiligheid was vanwege de mogelijke aanwezigheid van CE. Ook hier stelde de rechtbank dat 'dit onverlet laat dat [appellante] om

vergoeding van de door hem door het uitstel van deze werkzaamheden geleden schade kan verzoeken’.

Andersom betekent dit dat de gemeente niet zonder meer in staat is derden - organisaties of particulieren - te dwingen (nader) onderzoek naar CE te verrichten of explosieven te laten ruimen. Dit kan alleen als er sprake is van klaarblijkelijk gevaar, dat wil zeggen een concrete aanleiding, en niet bij vermoedens. Wat ‘concreet’ is, is per geval verschillend maar de Algemene wet bestuursrecht suggereert dat deskundig advies altijd noodzakelijk is.

De uitzondering hierop zijn de situaties waar de gemeente opereert als *werkgever* (lees: niet *opdrachtgever*).

Een bijzondere verplichting voor opdrachtgevers?

Het Arbeidsomstandighedenbesluit verplicht de opdrachtgever om in de ontwerpfase van een project mogelijke risico’s in de uitvoeringsfase te laten inventariseren. De nota van toelichting waarin deze verantwoordelijkheid werd toegevoegd aan het Arbeidsomstandighedenbesluit laat zien dat dit bedoeld is, conform het gestelde in de Europese richtlijn 92/75/EEG die aan de basis stond van de verhoogde verantwoordelijkheid voor de opdrachtgever, voor reguliere bouwrisico’s die exceptioneel veel ongevallen veroorzaken. In de zomer van 2016 heeft een schriftelijke discussie met het ministerie van SZW n.a.v. een consultatieversie van een wijziging van het Arbobesluit waarin CE risico’s expliciet onder deze verhoogde verantwoordelijkheidstoedeling van het besluit leken te worden gebracht duidelijk gemaakt dat het CE risico hier inderdaad niet onder valt. Het ministerie heeft echter in de Nota van Toelichting bij de wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit ‘stiekem’ toch nog opgenomen dat: ‘Een vijfde aandachtspunt gaat over de verantwoordelijkheid van opdrachtgevers voor risico’s bij werkzaamheden in of op de grond. In het algemeen gaat dit over risico’s zoals verontreinigde grond, de aanwezigheid van kabels, leidingen of conventionele explosieven in de grond of de draagkracht van de grond. Als deze risico’s spelen dienen deze te worden geïnventariseerd en geëvalueerd, opdat zo nodig maatregelen kunnen worden getroffen. Wat betreft conventionele explosieven wordt momenteel gewerkt aan een wijziging van de certificatieverplichting voor het opsporen van conventionele explosieven in artikel 4.10 in het Arbobesluit. Bovendien werkt de Vereniging van Nederlandse Gemeenten aan een normenkader met uitgangspunten voor een redelijk en proportioneel beleid voor het opsporen van conventionele explosieven, in reactie op het advies van de Raad voor de financiële verhoudingen aan de Minister van BZK inzake herziening bommenregeling gemeentefonds. Mogelijk kan dit op een later moment leiden tot verdere aanpassing van de regelgeving.’ In de lezing van Crisislab is hiermee tenminste de proportionele omgang met het CE risico conform het door de VNG vastgestelde afwegingskader geaccordeerd.

Werkgevers hebben een algemene plicht om een risico-inventarisatie uit te voeren en proportionele beheersmaatregelen te nemen voor geïdentificeerde risico’s. Waar CE een (potentieel) risico vormen voor werknemers bij de uitvoer van hun (bodemroerende) werkzaamheden geldt er derhalve vanuit de Arbowetgeving een wettelijke verplichting voor werkgevers hun werknemers *voldoende* veilige werkomstandigheden te bieden. In de volgende subparagraaf wordt verder ingegaan

op enkele aanvullende verplichtingen op Arbogebied voor die bedrijven die formele OCE activiteiten uitvoeren.

Arboveiligheid

In principe biedt de Arbowet met bijvoorbeeld de *risico-inventarisatie en -evaluatie* (RI&E) voldoende mogelijkheden tot probabilistisch beleid. In de praktijk echter krijgen effecten vaak een centrale plaats. Zo biedt de Inspectie SZW de bedrijven waar zij toezicht op houdt vaak weinig ruimte tot een probabilistische benadering en kosten-batenafwegingen, en waar de RI&E door branchebedrijven wordt ingevuld is er sprake van woekerende professionalisering van onderop.

Er bestaat (natuurlijk) generieke wet- en regelgeving die ziet op de verantwoordelijkheden voor organisaties alsook particulieren bij al hun handelen. Zo is het niet (zonder meer) toegestaan schade toe te brengen aan goederen van anderen, en kan de veroorzaker hiervoor (ten minste) aansprakelijk worden gesteld. Dit geldt dus ook ten aanzien van de eventuele uitwerking van CE in particuliere grond als gevolg van werkzaamheden van de particulier. Verder is het op basis van de Wet wapens en munitie niet toegestaan explosieven te bezitten, tenzij de betreffende partij daarvoor een vrijstelling heeft. CE mogen dus niet door particulieren bewaard worden. Met dergelijke wet- en regelgeving is niet gegarandeerd dat een organisatie of individu kennis heeft van de CE risico's op zijn grondgebied. Toch betekent dit wel dat zij de primair verantwoordelijke zijn voor een verantwoorde handelswijze ten aanzien van eigen activiteiten en risico's op hun grondgebied, ten minste ten aanzien van de samenleving/ derden.

Specifiek OCE beleid en wet- en regelgeving vanuit Arbo-perspectief

Het Arbobesluit (en de Arboregeling) bevat beperkingen ten aanzien van wie OCE activiteiten mogen uitvoeren en hoe zulke activiteiten uitgevoerd moeten worden. Daadwerkelijke ruimingswerkzaamheden mogen slechts door de Explosieven Opruimingsdienst van Defensie (EOD) uitgevoerd worden. Bedrijven die werkzaamheden samenhangende met het opsporen van Conventionele Explosieven (OCE activiteiten) verrichten, moeten beschikken over een certificaat volgens het Werkveldspecifiek certificatieschema OCE (WSCS-OCE). Ook expliciteert het WSCS-OCE richtlijnen ten aanzien van de opsporen van conventionele explosieven (OCE)²⁶ en het doen van onderzoek naar de mogelijke aanwezigheid van CE. Hoewel het WSCS-OCE wel richtlijnen voor de inventarisatie en de beoordeling van het bronnenmateriaal bevat, geldt er verder geen certificatieplicht voor het uitvoeren van een vooronderzoek.

²⁶ OCE omvat het geheel van organisatie en uitvoering van detecteren, lokaliseren, interpreteren, laagsgewijs ontgraven, identificeren van de vermoede explosieven, tijdelijk veiligstellen van de situatie, de overdracht aan de EOD en het proces-verbaal van oplevering. Dit alles binnen het opsporingsgebied.

Het WSCS-OCE bindt daarmee de commerciële opspoorder van CE, maar natuurlijk niet de overheid die een geheel eigen afweging mag maken op basis van haar zorg voor de publieke veiligheid.