

Methodiek afbakening van verdacht gebied

Een beschrijving van de 'Amsterdamse'-methode voor de afbakening van CE-verdachte gebieden



Ira Helsloot
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.

Auteurs

Prof. dr. Ira Helsloot, Crisislab en Radboud Universiteit Nijmegen

Prof. dr. Eric Cator, Radboud Universiteit Nijmegen

M.m.v. Marijn Helsloot, Crisislab

Crisislab
Dashorsterweg 1
3927 CN Renswoude
www.crisislab.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
2 Centrale statistisch-technische modelaannames	9
2.1 Inleiding: algemene beperkingen	9
2.2 Centrale definitie en aannames	10
2.3 Situatie bombardement met een afzwaaiër	11
3 Statistische methode voor inschatting van de grootte van verdacht gebied bij lijnbombardementen	13
3.1 Situatie bombardement door één vliegtuig met een missing aan de 'kop'	13
3.2 Situatie lijnbombardement met 2 of meer missings	16
4 Statistische methode voor inschatting van de grootte van verdacht gebied bij vlakgebombardementen	18
4.1 Inleiding situatie vlakgebombardement	18
4.2 Modelering situatie vlakgebombardement	19
4.3 Conditioneren op de data	20
4.4 Enkele vragen, antwoorden en aanbevelingen voor	23
Bijlage 1: Begeleidingscommissie	28
Bijlage 2: Opbrengsten van een internationale scan	29

Samenvatting

De gemeente Amsterdam vroeg 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 losjes gedefinieerd als het gebied rondom bekende inslagen waarin bij bouwwerkzaamheden bijzondere voorzorgsmaatregelen als actieve opsporing genomen moeten worden.

Het is landelijk gebruikelijk (en was dat tot voor kort ook in Amsterdam) om de 'nearest-neighbourmethode' 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 voor de gemeente Amsterdam evident een belangrijk besluit vanwege de financiële en veiligheidsconsequenties bij bouwwerkzaamheden. Met nadruk zeggen we '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.

Voor de Gemeente Amsterdam, afdeling Grond & Ontwikkeling, was de bovenstaande situatie reden om in 2016 opdracht te geven aan de Stichting Crisislab / Radboud Universiteit Nijmegen voor een verkenning naar wetenschappelijke onderbouwde methodes om de omvang van het verdacht gebied te bepalen. Op grond van het eindrapport¹ is een statistische methode door het college van B&W vastgesteld in september 2017 als te gebruiken methode in Amsterdam.

Toepassing van de methode op een viertal concrete bombardementen in de tweede helft van 2017 en begin 2018 heeft geleid tot een aantal toepassingsvragen en praktische antwoorden daarop. In dit methodologierapport wordt de resulterende methode integraal beschreven. Deze rapportage kan daarom worden gezien als een aanvulling. Voor de leesbaarheid en begrijpelijkheid is een aantal onderdelen uit de eerste rapportage ook in deze rapportage opgenomen.

¹ I. Helsloot, E. Cator en J. Vlagsma (2017). *Afbakening van verdacht gebied in Amsterdam, onderzoek naar nieuwe, onderbouwde methodes voor de afbakening van CE-verdachte gebieden*, Crisislab en Radboud Universiteit Nijmegen.

Hoofdlijn van de statistische methode

In de statistische methode wordt als kerndefinitie gebruikt dat de buitengrens van het verdacht gebied wordt bepaald door het gebied waarmee met 90% kans alle mogelijke blindgangers liggen.

Merk op dat dit de eerste formele definitie is van verdacht gebied binnen het werkterrein.

Een kernuitgangspunt is derhalve dat een onzekerheidsmarge van 10% bestuurlijk geaccepteerd wordt. 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 verdacht 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-neighbourmethode maar kan het verdacht gebied wel deels buiten het volgens de nearest-neighbourmethode 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-neighbourmethode maar dat het verdacht gebied wel deels buiten het volgens de nearest-neighbourmethode bepaalde gebied kan liggen.

1 Inleiding

In dit inleidende hoofdstuk geven we de aanleiding voor de ontwikkeling van de nieuwe statistische methode voor het vaststellen van verdacht gebied.

Blindgangers zijn explosieven die niet op het bedoelde moment zijn afgegaan.² 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 bommen spontaan of door externe oorzaken tot ontsteking komen. Er is dan kans op overlijden, letsel en schade.

In de praktijk wordt een belangrijk deel van de blindgangers in Nederland ontdekt 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 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 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.³

De gemeente Amsterdam ‘worstelde’ 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 mogelijk, in combinatie met kennis over het aantal afgeworpen bommen, om een

² Er kan onderscheid aangebracht worden tussen afwerpmunitie en niet-afwerpmunitie. In dit rapport richten we ons alleen op afwerpmunitie.

³ Zie bijvoorbeeld ook de brieffrapportage van Saricon van 7 november 2016 aan de gemeente Amsterdam met kenmerk 16S111-BR-01.

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 stellen we '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 landelijk gebruikelijk om de 'nearest-neighbourmethode' toe te passen voor bombardementen door bommenwerpers (niet zijnde jachtbommenwerpers). 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 tot op heden als voorkeursmethode opgenomen in het WSCS-OCE (zie onderstaand kader). Er loopt echter een proces tot herziening van de certificatie-eisen vanuit het ministerie van SZW waarmee de richtlijnen voor het uitvoeren van het vooronderzoek uit het WSCS-OCE verdwijnen en waarmee dus ook de verwijzing naar de nearest-neighbour-methode vervalst.

Uitgangspunten uit de WSCS-OCE

Het 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 (vereisten aan de motivatie worden niet gegeven).

Een voorbeeld is de afbakening van verdacht gebied bij een indicatie van een 'tapijtbombardement' (afwerpen door individuele bommenwerpers en afwerpen door formaties bommenwerpers). Hierbij staat de nearest-neighbourmethode als volgt beschreven: *'Op basis van een analyse van het inslagenpatroon wordt de maximale afstand tussen twee opeenvolgende inslagen binnen een inslagenpatroon 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.'*

Dit 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 en dus 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-neighbourmethode laat meteen de beperkingen ervan zien. De nearest-neighbourmethode geeft geen garantie op het 'juist' afbakenen van het verdachte gebied:

- De nearest-neighbourmethode zal enerzijds leiden tot een 'te klein' verdacht gebied in situaties van een lijnvormig bombardement waarbij bijvoorbeeld de eerste of laatste twee bommen van een serie blindgangers waren.
- De nearest-neighbourmethode 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-neighbourmethode 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 uitgevoerd door meerdere bommenwerpers.

We kunnen daarmee stellen dat de nearest-neighbourmethode 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 gebruikt wordt. Dit wordt overigens sinds enkele jaren ook onderschreven door verschillende opsporings- en adviesbureaus op het gebied van explosievenopsporing zoals Saricon, Explod en Bombs Away.⁴

Een wetenschappelijk onderbouwde statistische methode kwantificeert de kans op het aantreffen van een blindganger op basis van het inslagpatroon en het aantal afgeworpen bommen. We kijken daarom meer precies naar wat gezegd kan worden over de omvang van verdacht gebied dat statistisch wordt gedefinieerd door een bepaalde limiet aan de kans op aantreffen: het restrisico.

Er is altijd een 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.

⁴ Al in de briefrapportage van Saricon van 7 november 2016 aan de gemeente Amsterdam is duidelijk gemaakt dat er beperkingen zijn aan de nearest-neighbourmethode.

2 Centrale statistisch-technische modelaannames

In dit hoofdstuk beschrijven we centrale aannames die we gebruiken bij de statistische berekeningen.

2.1 Inleiding: algemene beperkingen

In dit rapport wordt een statistische benadering voor de bepaling van het verdacht gebied beschreven. 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-neighbourmethode geven deze statistische benaderingen geen *garantie* op het vinden van eventuele blindgangers. De inslaglocaties bij een bombardement worden uiteindelijk immers door een complex geheel van kansen bepaald zodat er altijd extreme ‘outliers’ kunnen zijn. Het voordeel van een statistische methode ten opzichte van de nearest-neighbourmethode 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. Zo is belangrijk dat de kwaliteit van het luchtfoto-onderzoek niet ter discussie staat. Wijzigingen in een bominslagpatroon kunnen namelijk leiden tot een verdacht gebied met een sterk gewijzigde vorm. Hiermee moet rekening 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.⁵

Bij de statistische methode gaan we uit van de situaties waarbij bekend is (door historisch vooronderzoek) hoeveel bommen op welke locatie gedetoneerd zijn en ook hoeveel bominslagen ‘missen’. Dit kunnen dus blindgangers of anderszins gedetoneerde bommen die geen duidelijk schadebeeld hebben veroorzaakt (bijvoorbeeld doordat ze in het water vielen). Het aantal bommen dat mist, is hierbij bepaald door het (op basis van historisch vooronderzoek) vermoedelijk aantal afgeworpen bommen te vergelijken met het aantal bekende bominslagen. We gaan in de berekening uit van een ‘worstcasescenario’, waarbij alle bommen die missen ook daadwerkelijk blindgangers zijn. In werkelijkheid zullen missende bommen regelmatig toch wel al geëxplodeerd zijn.

⁵ Dit geldt overigens ook voor de andere beschikbare methodes.

2.2 Centrale definitie en aannames

Een kerndefinitie is dat de buitengrens van het verdacht gebied wordt bepaald door het gebied waarmee met 90% kans alle *mogelijke* blindgangers liggen ('missings' c.q. vermiste bominslagen).⁶

De primaire rechtvaardiging voor het gebruik van deze definitie is dat pogingen om tot 'preciezere' 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 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.⁷

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 vaste 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 over formatiebombardementen door B-17's:

'... 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. (...) From typical altitudes (20,000 to 25,000 feet) the sticks from each plane depart widely from the theoretical rectilinear equispaced configuration, and sticks from different ships are usually intermingled in quite haphazard fashion. 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.⁸

⁶ Preciezer: het kleinste gebied waar naar verwachting 90% van de bommen ligt.

⁷ 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.

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

De aanname is dus correct voor bombardementen die op vergelijkbare wijze zijn uitgevoerd als de bombardementen beschreven in het rapport van HQ VIII Bomber Command. Op de betekenis van een mogelijk afwijking van deze aanname gaan we in paragraaf 2.3 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 'deeltansen' 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).

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. Michael Katzsch gebruikt bijvoorbeeld in zijn proefschrift een percentage tussen de 5 en 15% voor heel Duitsland en meer precies voor Hamburg 13%.⁹ 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.'*¹⁰ We houden de 10% kans aan als gemiddelde voor elke soort afgeworpen bom (ongeacht o.a. gewichtsklasse, ontsteker, productieserie) en ongeacht omstandigheden (afwerphoogte, bodemsoort).

In de hoofdstukken 3 en 4 hierna beschrijven we twee statistische methodes. De eerste methode voor lijnbombardementen is simpel uitvoerbaar, de tweede methode voor vlakgebombardementen vergt computerkracht. 'Natuurlijk' geven beide methodes hetzelfde resultaat wanneer ze op eenzelfde lijnbombardement worden toegepast.

2.3 Situatie bombardement met een afzwaaijer

Als preambule op de statistische 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.

⁹ 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.

¹⁰ Monia Mahling (2013). *Dissertation Determining high-risk zones by using spatial point process methodology*. Ludwig-Maximilians-Universität München, p. 73.

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 afzwaaiër is er dus per definitie *geen* verdacht gebied omdat de afwerplocatie van de andere bommen geen relatie heeft met de afwerplocatie van zo'n afzwaaiër (zie ook paragraaf 4.4)

3 Statistische methode voor inschatting van de grootte van verdacht gebied bij lijnbombardementen

In dit hoofdstuk beschrijven we een methode voor het bepalen van verdacht gebied bij lijnbombardementen die handmatig uit te voeren is.

3.1 Situatie bombardement door één vliegtuig met een missing aan de 'kop'

De situatie waarvoor de eerste simpele statistische methode bruikbaar is, is die van een bombardement door één vliegtuig (inclusief de eerdergenoemde technische aannames). Dit noemen we een lijnbombardement.

We gaan als eerste uit van de situatie dat de blindganger aan weerszijden 'buiten' de bekende reeks van ontplofte bommen ligt.

In de beschrijving hierna gaan we uit van $N = 8$ bommen zodat we hopelijk illustratieve plaatjes kunnen schetsen. Natuurlijk kan het aantal van 8 bommen vervangen worden door elk ander aantal, maar het aantal van 8 komt ook in de werkelijkheid regelmatig voor.

De vraag heeft twee componenten:

- 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.¹¹

De vraag naar de positie op de x-as

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.

¹¹ 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.

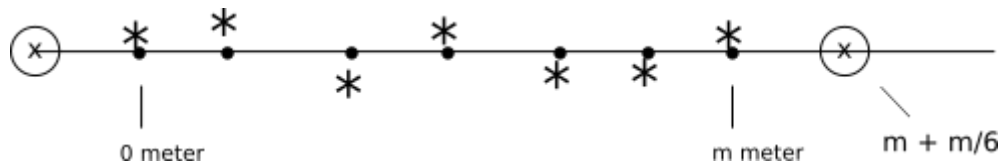
We gebruiken verder als notatie: n (in meters) de positie van de blindganger op de lijn van 8 bommen in totaal, m de afstand tussen de eerste en laatste (7e) bominslag (in meters) en k het aantal bekende bominslagen (hier dus 7).

De verwachte locatie van de blindganger is nu simpelweg

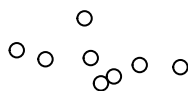
$$n = m + m/(k - 1)$$

Dit wil dus 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. 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:



De geschetste methode is echter ook op dit soort patronen toepasbaar mist de globale lijn van het bombardement maar herkenbaar is.

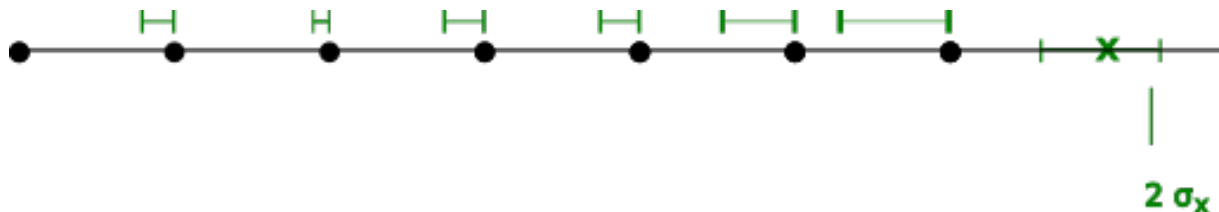
Op het moment dat er geen 'herkenbare globale lijn' meer in het patroon te herkennen is of uit het vooronderzoek naar voren komt, ontstaat wel een praktisch probleem: de onderstaande methode moet dan ineen willekeurige richting worden toegepast en dit levert dan eigenlijk een 'band' rondom de bominslagen op als verdacht gebied. Dit verdacht gebied bevat dan wel meer dan het 90% gebied zoals hierboven gedefinieerd zodat beter kan worden overgestapt op de ingewikkelder methode uit het volgende hoofdstuk.

De standaardafwijking σ_x van deze normale verdeling kunnen we herleiden uit de gevonden bomkraters door het gemiddelde te berekenen van de afwijkingen x_i van de beste verwachte locaties met de originele / werkelijke bominslagen.

De algemene formule hiervoor is (met nu dus $N = 8$ in de voorbeeldsituatie)

$$\sigma_x^2 = 1/N * (\sum_{i=1}^N x_i^2)$$

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 $k = 7$ inslagen een gebied van 5% onzekerheid en dus 10% in totaal.



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

De vraag naar de positie op de y-as

De zijwaartse afwijking (de afwijking op de y-as) is nog eenvoudiger te berekenen. Ook die afwijking is normaal verdeeld (zie inleiding).

Voor de zijwaartse afwijking geldt dan dat we de afwijkingen van de afwerpas y_i kunnen opmeten en daaruit de standaardafwijking σ_y kunnen berekenen:

$$\sigma_y^2 = 1/N * (\sum_{i=1}^N y_i^2)$$

Dan is ook nu de grens van $2\sigma_y$ de grens van ongeveer 95% betrouwbaarheid (aan een zijde en dus 10% onzekerheid in totaal voor beide zijden).

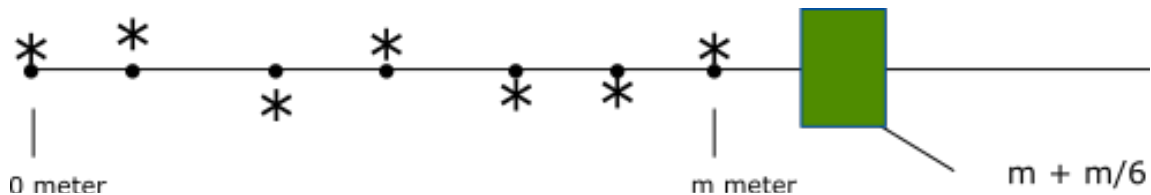


In gewone mensentaal: ongeveer tweemaal de gemiddelde afwijking aan beide kanten dwars op de afwerpas geeft de 90% betrouwbaarheidsafstand voor de ontbrekende blindganger(s) gerekend vanaf de afwerpas.

Dus 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.¹²

Het 90% zekerheidsgebied is 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 σ_x en σ_y 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 in een GIS te tekenen.

3.2 Situatie lijnbombardement met 2 of meer missings

Stel dat we 2 of meer blindgangers hebben dan is de vraag of die beide aan een 'buitenkant' van de reeks bekende bominslagen kunnen liggen. Het antwoord hierop is dat de kans op 2 blindgangers aan één van beide uiterste zijden van een bombardementsreeks a priori klein is. Het gaat dan om het trekken van twee blindgangers achter elkaar met elk een kans van 10% aan elk van beide uiteinden van de reeks, dat is dus $2 * (10\%)^2 = 2\%$.

Gezien de gehanteerde onzekerheidsgrens van 10% hoeft met deze situatie dus geen rekening te worden gehouden.

In diezelfde situatie van 2 blindgangers in een reeks kunnen we bepalen of een van de blindgangers redelijkerwijs tussen bomkrater 1 en bomkrater $N - 2 = 6$ ligt.

Hier geldt de omgekeerde redenering (uitgaande van de aanname hierboven dat we de zijwaartse afwijkingsverdelingsfunctie gelijk kunnen stellen aan de

¹² Deze methode bepaalt feitelijk het inslagpunt van de blindganger, de 'echte' verwachte locatie is de plek waar hij ondergronds tot rust is gekomen; dit zal/kan enkele meters verderop zijn.

afwijkingsverdelingsfunctie in de horizontale richting): als de afstand tussen twee burens groter is dan de gemiddelde afstand plus $4\sigma_x$ (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 dus de eerder beschreven twee onzekerheidsblokken van elk een horizontale zijde $2\sigma_x$ en een zijwaartse zijde $2\sigma_y$ rondom de verwachte locaties.

4 Statistische methode voor inschatting van de grootte van verdacht gebied bij vlaktebombardementen

In dit hoofdstuk beschrijven we een methode voor het bepalen van verdacht gebied bij vlaktebombardementen die computerkracht vergt.

4.1 Inleiding situatie vlaktebombardement

In de situatie van een vlaktebombardement, dat wil zeggen van een bombardement door meerdere vliegtuigen waarbij de inslagpatronen overlappen, hebben we een andere methode nodig dan de methode beschreven in voorgaande paragraaf, omdat er bij een vlaktebombardement geen sprake is van een herkenbare globale lijn waarop de bommen vallen.

(Ook) deze vraag was wereldwijd nog niet bevredigend beantwoord. 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.

De hieronder beschreven Bayesiaanse methode gebruikt bruut rekengeweld om te bepalen welk denkbaar afwerppatroon het beste past bij de geconstateerde bominslagen op de grond. Deze methode is pas de laatste jaren in gebruik omdat ze aanzienlijke rekenkracht vergt die tot voor kort simpelweg niet beschikbaar was.

De Bayesiaanse aanpak is om:

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

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.

Voor de beeldvorming gebruiken we de getallen uit een Amsterdams praktijkvoorbeeld. Bij het 17 juli 1943 bombardement 1943-07-17B zijn in totaal 136 bommen afgeworpen in 13 reeksen van 10 bommen en een reeks van 6 bommen. Op grond van historisch vooronderzoek is bepaald dat er 11 blindgangers 'kwijt' zijn.¹³

4.2 Modelering situatie vlakgebombardement

Om zelf een bombardement te kunnen simuleren, doen we eerst een paar aannames. Ten eerste gaan we uit van 13 vliegtuigen met elk 10 bommen en een vliegtuig van 6 bommen, en we gaan er van uit dat alle 136 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 (die alle een gelijke vliegrichting hebben!): 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 daar bijvoorbeeld of gezocht is of de bodem al eerder is beroerd. In het voorbeeld van 17 juli 1943 is dit (nog) niet toegepast maar in een aantal andere berekeningen wel.

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

¹³ Alle historische gegevens over de Amsterdamse bombardementen staan vermeld in de rapportage *Vooronderzoek Conventionele Explosieven Buiksloterham Amsterdam-Noord* d.d. 28 februari 2018 (17S040-VO-01) van Saricon.

specifieke probleem kiezen we voor een andere aanpak: we stellen dat precies 125 bommen gevonden zullen worden, en geven elke bom evenveel kans om gevonden te worden. Verder nummeren we de vindplaatsen 1 t/m 125, en wijzen elke bom toe aan ofwel een van de 125 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!

4.3 Conditioneren op de data

Ons model heeft nu een groot aantal parameters: $A_1, \dots, A_{13}$ en $v_1, \dots, v_{13}$ 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 136 bommen te linken aan de 125 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 parameterruimte, en de crux van de methode is dat de

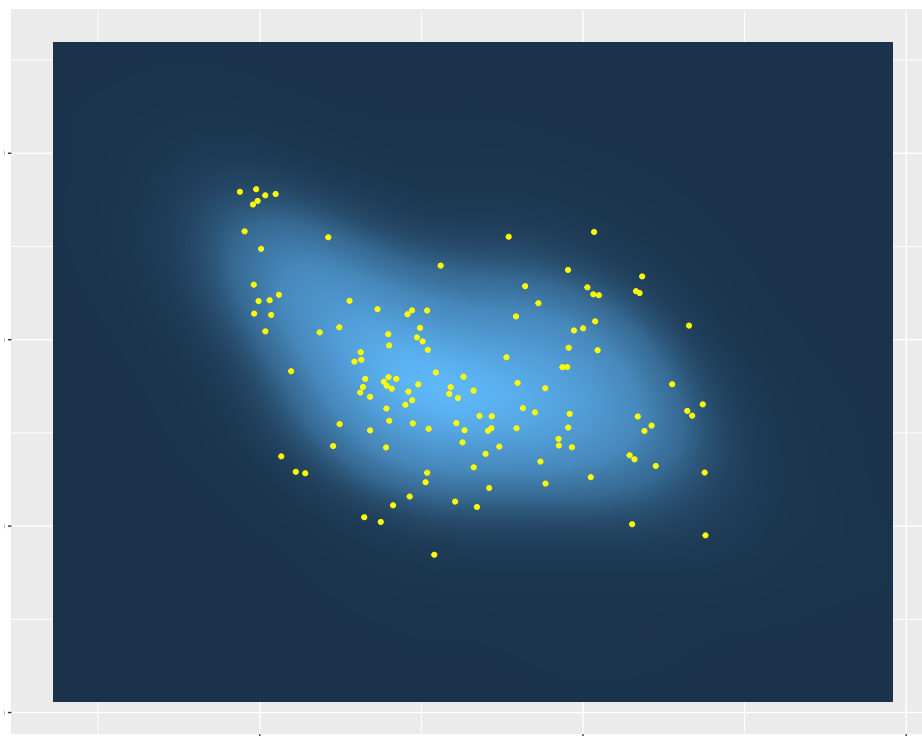
stationaire verdeling van deze Markov Chain (dit is de verdeling die ontstaat na het lang laten lopen van de chain) precies gelijk is aan de gezochte a posteriori verdeling.

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 (1943-07-17B)

We kunnen bovenstaande toepassen op de casus van het bombardement van 17 juli 1943 (1943-07-17B) Als we bovenstaande toepassen op de casus van het bombardement van 17 juli 1943 krijgen we de volgende dichtheidsplot (hoe lichter de tint, hoe groter de kans op een blindganger per vierkant meter):



Voor de spreiding van de bommen is een prior-verdeling meegegeven die met 95% kans ligt tussen de 110 en 365 meter. Dit omdat de spreiding van de bommen bij andere losse bombardementen op dezelfde datum met hetzelfde type toestel op dezelfde vlieghoogte (Land van Knook en Diemer Buitendijkschepolder) van boven kon worden afgeschat op zo'n 170 meter. Het model gaf a posteriori (dus na het fitten op de data) aan dat de spreiding ligt tussen de 190 meter en de 380 meter. Het model geeft dus voorkeur aan de grotere waarden voor de spreiding, maar het levert niet een extreem verschil op. Dit wil zeggen dat de gebruikte prior eerder conservatief is dan optimistisch.

Over de verwachte afstand tussen de bommen geldt het volgende:

- Bekend is bij dit bombardement dat de intervalometer zo stond ingesteld dat bij een snelheid van 250 mijl per uur, de bommen om de 30 voet (ca. 10 meter) zouden worden afgeworpen. Alleen de intervalometersetting en de snelheid van de vliegtuigen zijn belangrijk voor de verwachte tussenafstand, niet de hoogte.
- De spreiding van de bommen is letterlijk de standaarddeviatie van de bommen rondom hun verwachte inslag, in de vliegrichting of loodrecht daarop. Deze standaarddeviatie is met 250 meter veel groter dan de afstand tussen de verwachte inslagen van een vliegtuig, die dus ongeveer 30 voet is. In de geïsoleerde bombardementen (Land van Knook en Diemer Buitendijkschepolder) kwam zoals gezegd een spreiding uit van ongeveer 170 meter, dus niet een heel groot verschil.
- Het model heeft moeite om die tussenafstand te bepalen: door de relatief grote spreiding bepaalt eigenlijk met name de prior-informatie de verdeling van de tussenafstand.
- Daarom is gekozen om toch een prior-tussenafstand vast te stellen. Gekozen is voor een tussenafstand die met 95% kans ligt tussen de 20 meter en de 40 meter.¹⁴ Dit is dus groter dan 30 voet, en kan worden gezien als een conservatieve schatting.
- Na het runnen van het model is ook naar de posterior-verdeling gekeken van de tussenafstanden. Ook die liggen vrijwel op de dezelfde plek als de prior, alleen zijn ze verder verspreid (zowel naar een kleinere afstand als naar een grotere afstand). Ook dit is geen reden om ernstig aan de prior informatie te twijfelen.

4.4 Enkele vragen, antwoorden en aanbevelingen voor doorontwikkeling

Tijdens toepassing van de methode is een aantal vragen gerezen. Deels zijn die beantwoord door aanpassing van het berekeningsprogramma. Zo zijn er mogelijkheden toegevoegd om met vliegtuigen met verschillende aantallen bommen te werken, kunnen gebieden worden aangewezen waar geen bommen kunnen liggen (want al onderzocht) en kan een kans worden toegewezen aan een bepaalde bominslag waarover twijfel bestaat bij de historici die het vooronderzoek uitvoeren.

¹⁴ Deze 95% heeft geen relatie met de 90% die het verdacht gebied definieert. Het gaat hier om de keuze van een parameter in het model die idealiter zo precies mogelijk is maar waar praktische grenzen bestaan voor de kenbaarheid (a priori) zoals voor deze parameter.

Een vraag die ook beantwoord kon worden was die over de invloed van onzekerheden bij de bepaling van de inslaglocaties (bijvoorbeeld als gevolg van het werken met moeilijk te positioneren luchtfotomateriaal uit de Tweede Wereldoorlog): zolang die niet systematisch zijn, zijn het 'gewoon' extra kansen die in de uiteindelijke normale verdeling 'opgegeten' worden.

Er blijft echter een aantal principiële vragen over die voor een 'oplossing' een doorontwikkeling van de methode vergen. We behandelen de gerezen vragen achtereenvolgens.

De *eerste principiële vraag* hangt samen met de gekozen definitie van verdacht gebied. Die definitie (nogmaals, dit is de eerste keer dat een formele definitie gekozen is) luidt dat het gebied is waar met 90% zekerheid alle blindgangers liggen. Deze definitie betekent dat het aantal blindgangers sec geen rol speelt. Dit is contra-intuïtief om een aantal redenen:

- Bij 1 blindganger is de definitie gelijkwaardig aan te stellen dat de met 90% zekerheid de blindganger in het verdacht gebied ligt. Bij 10 blindgangers betekent de definitie dat er naar verwachting 1 bom buiten het verdacht gebied ligt.
- Als in het verdacht gebied een bepaald grondgebied wordt onderzocht en wordt vrijgeven dan zou een nieuwe toepassing van de methode als 'dank' een groter verdacht gebied opleveren. Voor de consistentie is in de toepassing van de methode daarom gekozen geen rekening te houden met gebieden waarvan bekend is dat er geen blindgangers kunnen liggen: het verdacht gebied wordt daarmee slechts één keer bepaald.

Idealiter zou de methode doorontwikkeld worden zodat het verdacht gebied gedefinieerd kan worden in termen van een kans op explosie van een blindganger bij werkzaamheden en/of het omkomen van werknemers daarbij.

De huidige methode levert in de kern al een inschatting van de kans van aanwezigheid van een blindganger per m² op. In het voorbeeld van 17 juli 1943 correspondeert de 90%-contour uit met een kans in de ordegrootte van 10⁻⁷ op blindgangers per m². Als we aannemen zoals op pagina 32 in het eerdere verkennende onderzoek¹⁵ dat in 2 - 5 % van de gevallen beroering leidt tot explosie met de dood als gevolg dan geeft dat een kans in de ordegrootte van 10⁻⁹ per m² op omkomen bij bouwwerkzaamheden als je gewoon een vierkante meter tot op de diepte waar bommen liggen met zware werktuigen 'omploegt' zonder opletten. De huidige ongevals cijfers voor de bouw

¹⁵ I. Helsloot, E. Cator en J. Vlagsma (2017). *Afbakening van verdacht gebied in Amsterdam, onderzoek naar nieuwe, onderbouwde methodes voor de afbakening van CE-verdachte gebieden*, Crisislab en Radboud Universiteit Nijmegen. De inschatting komt uit een niet openbaar rapport van een Duitse expert zodat validatie wenselijk is. De expert stelt: '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.'

leveren een risico per uur op van ongeveer 10^{-7} dus ervan uitgaande dat het een bouwer ongeveer 10 m^2 per uur kost om grond bouwrijp te maken is de 90%-contour een factor 10 'scherper' dan het normaal geaccepteerde risico. En daar zit dus nog niet de kans in verwerkt dat de werknemer een bom ziet (en dus niet doorploegt).

Dus doorontwikkeling van de methode langs deze lijn zou een bij het rijksrisicobeleid passende richting zijn die waarschijnlijk in het algemeen het verdacht gebied niet groter maakt.

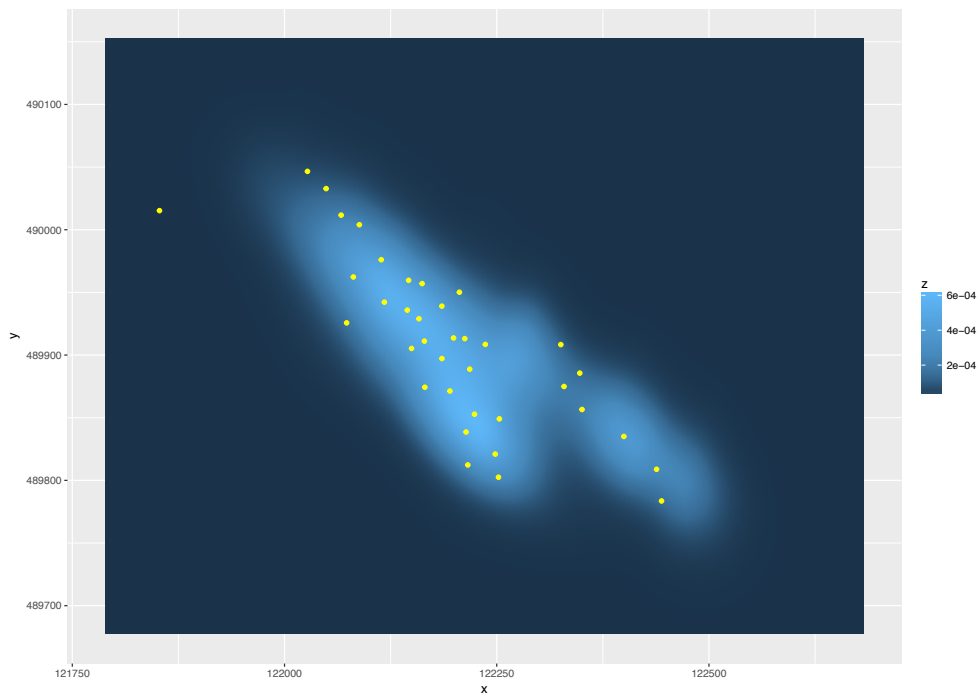
De *tweede principiële vraag* gaat over de omgang met 'outliers', dus met afzwaaiers (vooral) door haperingen in het afwerpmechanisme. Omdat we werken met de aanname dat de bommen vallen met een normale verdeling trekken enkele ver van de rest afliggende bominslagen de hele contour 'naar zich toe'. De vraag is hoe te bepalen dat een inslag een outlier is voordat er gerekend wordt.

Een suggestie zou kunnen zijn om een grens van bijvoorbeeld 4σ te hanteren als afstand tot de andere bommen: de kans dat er buiten 4σ een bom valt is minder dan 1 promille. Het model moet dan een keer gerund worden om de σ te bepalen.

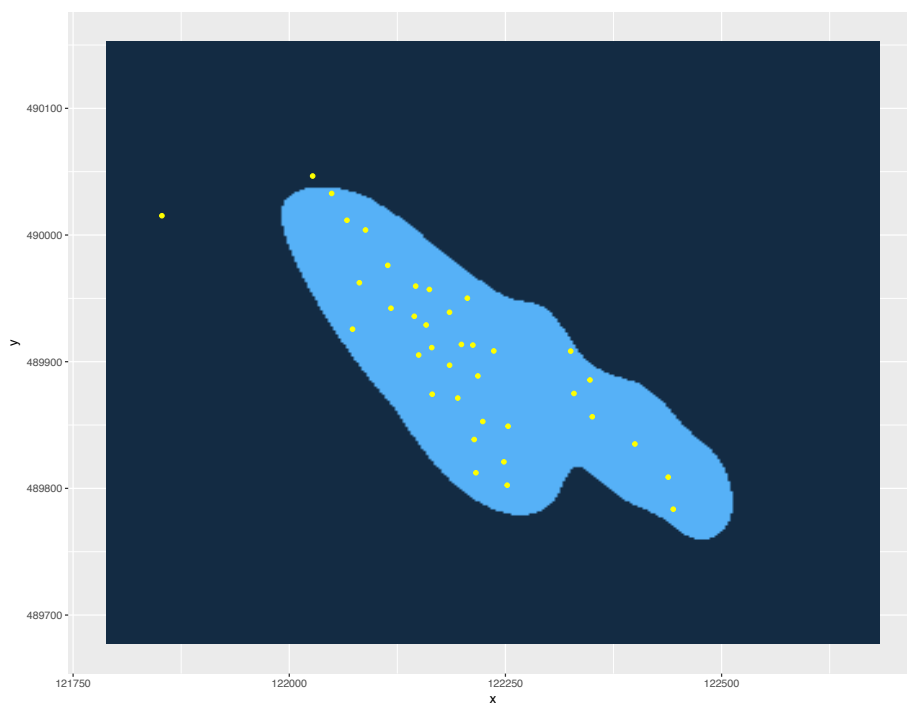
Een andere suggestie (die we in een bombardement ook gebruikt hebben) is de bom die hoort bij die outlier een grotere variantie te geven. Op deze wijze is de bom toch deel van het model, maar krijgt hij een uitzonderingspositie. De vraag is dan natuurlijk welke variantie passend is.

Een derde suggestie zou zijn om het model te runnen zonder de verdachte outlier. Vervolgens de waarschijnlijkheid van de locatie van de outlier in het resultaat te bepalen en te kijken of die buiten een bepaalde grens valt.

Hieronder is die laatste suggestie toegepast op het bombardement waar deze vraag speelde (1943-07-25B&C):



Zichtbaar is dan dat de kandidaat-outlier linksboven een zeer kleine kans heeft (hij ligt in het gebied van $3.7 \cdot 10^{-5} / \text{m}^2$ om precies te zijn). Als we dat als rechtvaardiging gebruiken om hem als outlier te classificeren en dus niet mee te nemen in het model dan levert dat een iets verschoven en kleinere 90%-contour op:



Ook hiervoor geldt dat doorontwikkeling wenselijk is om een definitieve en onderbouwde keuze te kunnen maken in relatie met de voorgaande principiële vraag.

Bijlage 1 Begeleidingscommissie

Tijdens de ontwikkelfase van de in dit rapport beschreven methode als onderdeel van een breder onderzoek (zie inleiding) is een begeleidingscommissie tweemaal bijeengekomen 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*¹⁶

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:

¹⁶ 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 Trichterdichte	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 $< 0 \text{ km}^2$) und Verdachtspunkte (≤ 200 je km^2 und $< 0 \text{ km}^2$)	- 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 Mahling¹⁷

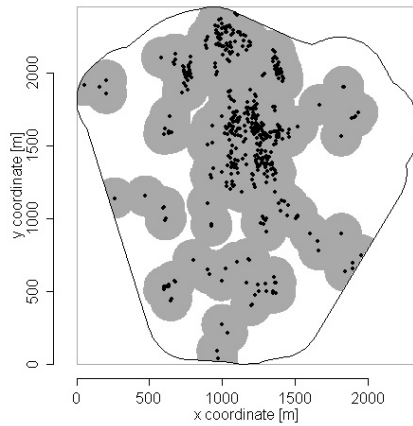
Monia Mahling heeft meer recent een statistische methode ontwikkeld voor de situatie van vlaktebombardementen. Zij start (ook) met de observatie dat de ook in Duitsland gebruikelijke nearest-neighbourmethode geen goede methode is.

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).

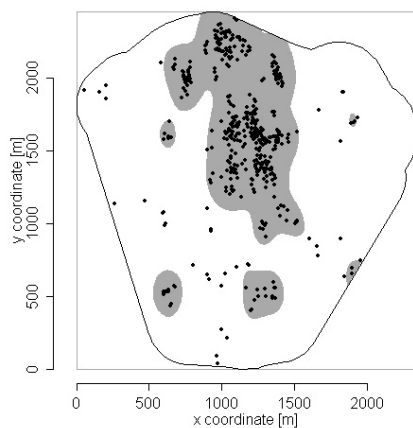
Zij verfijnt in de eerste plaats de nearest-neighbourmethode door te werken met een verdeling van alle aangetroffen nearest-neighbour afstanden en daar uit (gegeven een

¹⁷ 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.