



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Lokale Detectie-Efficiëntie van de Gammadetectoren

NMR-meetposten

RIVM briefrapport 610142001/2012
P. N. den Outer



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Lokale Detectie-Efficiëntie van de Gammadetectoren

NMR-meetposten

RIVM briefrapport 610142001/2012
P. N. den Outer

Colofon

© RIVM 2013

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

P.N. den Outer, Centrum Veiligheid, RIVM

Contact:
Peter den Outer
Centrum Veiligheid
peter.den.outer@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in het kader van de CBRNe-responsorganisatie:
Beheer Nationaal Meetnet Radioactiviteit.

Rapport in het kort

Lokale Detectie-Efficiëntie van de Gammadetectoren NMR-meetposten

Het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) is een waarschuwingsmeetnet voor stralingsongevallen en bestaat uit 167 meetlocaties. Op de meetlocaties staan gammadetectoren die het stralingsniveau van een passerende wolk met radionucliden kunnen bepalen. Het NMR geeft inzicht in de omvang en het verloop van een radioactieve besmetting tijdens een stralingsongeval.

In de praktijk staan de gammadetectoren niet op een ideaal groot en leeg grasveld maar staan er objecten zoals bomen en gebouwen in de buurt. Deze objecten beïnvloeden de mate van de radioactieve besmetting of schermen de straling af die afkomstig is van de achterliggende gebieden. Het RIVM heeft een methode ontwikkeld om het totale effect van deze objecten in verhouding tot de ideale situatie te kunnen bepalen, de zogeheten lokale detectie-efficiëntie.

Vóór deze studie was niet duidelijk welke objecten relevant zijn en tot welke afstand dat aan de orde is. Op een ideaal grasveld wordt de besmetting tot een afstand van ongeveer 500 meter in een keer gemeten. Uit deze studie blijkt dat het voldoende is de omgeving van elke meetlocatie binnen een straal van slechts 8 meter nauwkeurig in kaart te brengen. Voor dit doel worden foto's van de omgeving gemaakt tijdens het reguliere onderhoud van de meetlocaties. Voor afstanden groter dan 8 meter volstaat een algemene methode die gebruikmaakt van het Geografisch Informatie Systeem (GIS) van het RIVM. Met de algemene methode is al voor elke meetlocatie de lokale detectie-efficiëntie bepaald; in een later stadium moet de informatie over de eerste 8 meter nog daarin worden verwerkt.

Trefwoorden:

gammastraling, meetnet, niet-uniforme depositie

Abstract

The National Monitoring network of Radiation (NMR) is an early warning system for nuclear accidents and comprises 167 measuring locations. Gamma detectors at each measuring location are able to determine the level of radioactivity of a passing cloud containing radionuclides. The network gives insight into the extent and development of the radioactive contamination during a nuclear accident.

Generally, the surroundings of gamma detectors are not ideal, i.e. on a relatively large and empty grass field without objects such as trees and nearby buildings. Such objects influence the radioactive contamination or shield from radiation emanating from places located further away. RIVM has developed a method that assesses the total influence of these objects relative to the ideal situation, the so-called local detection efficiency (LDE).

Little information concerning the importance of the various objects and the distances to which it applies was available at the start of the project. In an ideal situation, an area up to 500 meters is measured at once. This project shows that it is sufficient to accurately map the direct surrounding of a detector only up to 8 meters. For this purpose, photographs of the surroundings are made during scheduled maintenance of the network. For distances beyond 8 meters, a more generic approach suffices that uses the Geographical Information System (GIS) of RIVM. The local detection efficiency for each detector has already been determined by applying this generic approach; at a later stage information on the local surroundings, up to 8 meters, should still be incorporated in the results

Key words:

gamma radiation, monitoring network, non-uniform deposition

Inhoud

Samenvatting—6

1 Inleiding—7

2 NMR-meetposten—9

2.1 Voorbeelden locaties van NMR-meetposten—10

2.2 Hoekgevoeligheid—11

3 Stralingstransfer—13

3.1 Aanpak—13

3.2 Vrije veld beschrijving $H^*(10)$ als gevolg van een egale besmetting—16

3.3 Werkpaard—18

4 Objecten en obstakels—19

4.1 Soorten—19

4.2 Geometrische begrenzing—20

4.2.1 Polygoon—21

4.2.2 GIS—22

4.2.3 Boom—23

4.3 Voorbeeld—24

5 Analyses—27

5.1 Polygoon—27

5.2 GIS—32

5.3 Verificatie GIS resultaten—37

6 Conclusies—42

7 Literatuur—44

8 Appendix—45

8.1 Binnen of buiten een polygoon—45

8.2 Fotoprotocol—45

8.3 Voorbeelden polygoon bestanden—47

8.4 Ontwikkelde Programmatuur—47

Samenvatting

De directe omgeving van gamma meetposten van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) zouden binnen een straal van 20 m vrij moeten zijn van gebouwen, begroeiing of obstakels, omdat deze de metingen beïnvloeden. In de praktijk wordt in veel gevallen niet of niet meer voldaan aan deze eis. Het verplaatsen van meetposten naar een ideale locatie is duur, en vaak niet haalbaar gezien de benodigde faciliteiten. Daarom is er geïnvesteerd in de ontwikkeling van een methodiek die de radiologische invloed van de lokale omgeving op de meetposten in kaart brengt. Met de methodiek kan ook de kwaliteit van het gehele meetnet en betrouwbaarheidsindicatoren voor elke meetpost worden bepaald.

Het uiteindelijke doel is om deze resultaten te gebruiken binnen de responseorganisatie van het centrum Veligheid. Elke meetpost krijgt dan een factor mee die de effectieve detectie efficiëntie aangeeft en een betrouwbaarheidsindicator. Beide kunnen dan gevisualiseerd worden in 'Decision Support System' zoals JRODOS. Met deze (meta) gegevens kunnen de metingen zelf en eventuele discrepanties tussen metingen en verspreidingsmodellering beter begrepen worden.

Bij de aanvang van dit project was er nog weinig concrete informatie beschikbaar over de meetposten. Het resultaat van dit project begint daarom al bij de realisering van de gegevensbestanden. Zo zijn de locaties van de meetposten in overeenstemming gebracht met de locaties op de vector TOP-10 kaarten van het RIVM GIS. Er is een fotobestand aangelegd waarbij elke meetpost met dezelfde camera is gefotografeerd, en uit alle richtingen. Gedurende het project is dit uitgewerkt naar een standaard fotoprotocol waarbij de detector centraal op de foto staat. Een GIS berekening heeft voor alle meetposten een parameterisatie van de directe omgeving opgeleverd waarmee een eerste schatting is gemaakt van de lokale detectie efficiëntie (LDE) voor elke meetpost.

Dit rapport gaat over de methodiek en de eerste resultaten. De methodiek is ontwikkeld op het RIVM. Het uitgangspunt waren de resultaten van eerdere studies van derden. Op een aantal punten zijn andere oplossingen gezocht en toegepast.

De eerste resultaten leiden tot een ordening van de locaties. Voor elke locatie moet tot 8m de omgeving nauwkeurig in kaart gebracht worden; voor grotere afstanden kan dat generiek. Het verdient aanbeveling vier LDE's te definiëren omdat de radiologische invloed van de omgeving gedomineerd wordt door bomen. De aanwezigheid van loof en of het natte of droge depositie betreft is daar van belang. De aanwezigheid van bomen op korte afstand, kleiner dan 3m, reduceert een meetpost tot een stralingsmelder.

1 Inleiding

Bij de plaatsing van gamma meetposten in het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) wordt gebruik gemaakt van een voorschrift van de Nuclear Research and consultancy Group (NRG). Daarin wordt gesteld dat er zich binnen een straal van 20 m geen gebouwen, begroeiing of obstakels mogen bevinden die de meting kunnen verstoren. De NEN 5648 bepaling "Radioactiviteitsmetingen – Bepaling van het over de tijd gemiddelde omgevingsdosisequivalenttempo met momentaan aanwijzende apparatuur" stelt dat: "voor een vrije veldmeting moet de meetlocatie zo gekozen worden dat de afstand tot bebouwing, beplanting en dergelijke tenminste tweemaal de hoogte van obstakels is, met een minimum van 20 m." De voorgeschreven afstand moet ook in acht genomen worden tot wegen, kanalen en dergelijk. Daarnaast is voorgeschreven dat het hart van het gamma/röntgen gevoelige deel zich 1 m boven de grond bevindt.

Wanneer niet aan deze voorwaarde voldaan is kan een meetpost zowel een hogere of een lagere waarde aangeven dan de globaal geldende waarde. Hoger wanneer er bijvoorbeeld een boom dichtbij staat, en lager als gevolg van afscherming door een gebouw.

Het NMR bevat 167 locaties verspreid over heel Nederland. Bij de realisering daarvan, het kiezen van de exacte locaties, is het in veel gevallen niet mogelijk gebleken om aan deze eisen te voldoen. Bovendien is de kans groot dat in de loop van de tijd de omgeving rondom de meetposten gewijzigd is; gebouwen zijn bijgeplaatst en/of bomen en struiken zijn gegroeid of juist weggehaald. Het vinden van nieuwe (meer of weer) geschikte locaties blijft moeilijk te verwezenlijken, en is in de meeste gevallen niet haalbaar. Bovendien is verplaatsen van meetposten kostbaar.

Bij aanvang van dit project was er nog weinig overzicht in de gerealiseerde situaties van alle meetposten, en ontbrak het ook aan inzicht hoe belangrijk een vrij grasveld van 20m rondom een detector nou werkelijk is, en wat het effect zou kunnen zijn van afwijkingen daarop. Een maat en gegevens om de omgeving rond een meetpost te classificeren ontbrak en als gevolg daarmee ook het overzicht van de 'kwaliteit' van het gehele NMR.

Het grote aantal van 167 locaties verspreid over heel Nederland maakt het niet eenvoudig de omgeving en veranderingen daarin te documenteren en bij te houden. Daarom zijn de doelen en onderzoeksvragen van dit project als volgt geformuleerd:

- hoe de 'directe' omgeving van alle 167 meetposten 'eenvoudig' in kaart te brengen;
- bepalen van de invloed van de 'directe' omgeving op het meetsignaal van een NMR detector, en hoe groot dit directe gebied is;
- het ontwikkelen van een methodiek om correctiefactoren te bepalen die het effect van de directe omgeving in rekening brengt;
- methodiek toepasbaar te maken en toe te passen op alle NMR-posten;
- ordening aanbrengen in de meetposten met betrekking tot hun onderlinge betrouwbaarheid, c.q. in welke mate een meetpost een representatief resultaat geeft voor de omgeving.

Een groot deel van dit project is besteed aan het verkrijgen van informatie over de lokale omgeving van de meetposten, en welke gegevensbronnen daar geschikt voor zijn. Dit heeft onder andere geresulteerd in een consistente plaatsaanduiding van de meetposten en een complete set foto's van alle 150 meetposten, waarvan een deel al volgens een vast protocol is genomen. Het foto protocol is tijdens dit project ontwikkeld. De fotosets en het vastgestelde fotoprotocol zijn een van de eerste resultaten van dit project. De foto's worden tijdens het reguliere onderhoud gemaakt door NRG dat dit onderhoud uitvoert.

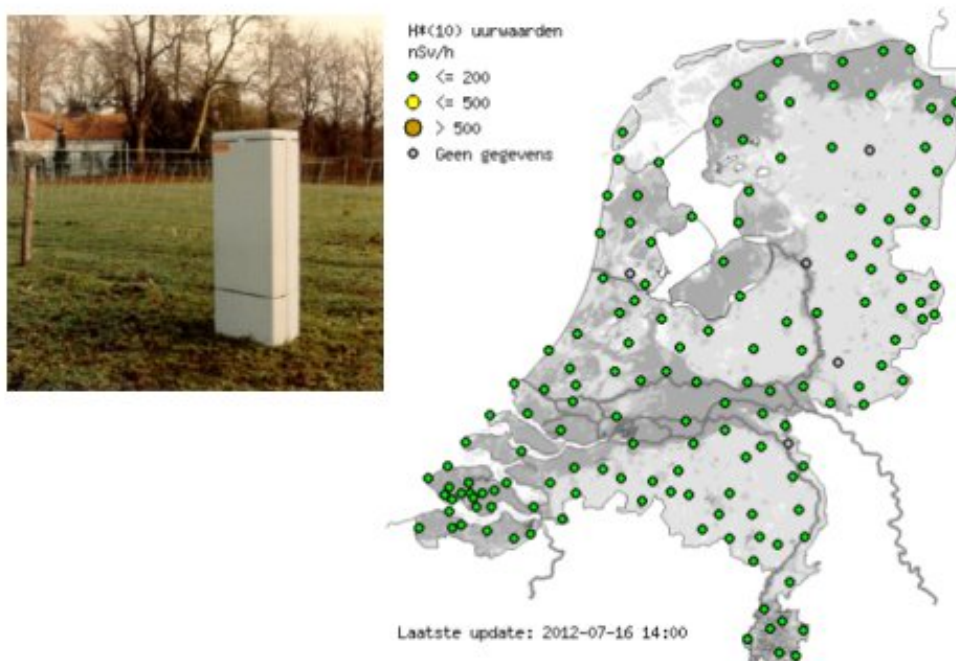
De methodiek is ontwikkeld door het RIVM en beschrijft wat daadwerkelijk gemeten wordt na passage van een wolk met radionucliden. De ideale meetopstelling, een vlak grasveld, geldt daarbij als referentie van waaruit de werkelijke situatie met de te verwachten effecten op het meetsignaal worden beschreven. De methodiek levert hiermee correctiefactoren voor de meetsignalen zodat ze vergeleken kunnen worden met resultaten van verspreidingsmodellering. De methodiek is dus niet bedoeld om de verspreidingsmodellering zodanig aan te passen dat de lokale besmetting wordt beschreven.

Er is veel gebruik gemaakt van de studies van het Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) Duitsland, M. Zähringer and J. Sempau [1997] en [1998]. Op een aantal punten zijn andere oplossingen gezocht en toegepast, ook ingegeven door de beschikbare meta data. Een belangrijk verschil betreft de stralingstransfer van de gammastraling door de lucht. Waar het BfS nauwkeurig de transfer modelleert met behulp van Monte Carlo simulaties heeft het RIVM gekozen voor een empirische beschrijving die gangbaar is binnen de stralingshygiëne en daarop aanpassingen aangebracht.

Dit rapport legt deze methodiek vast en geeft de eerste resultaten. Het uiteindelijke doel is om elke meetpost van een factor te voorzien die de effectieve of lokale detectie efficiëntie (LDE) aangeeft en een factor die de betrouwbaarheid uitdrukt. Beide factoren zouden dan gevisualiseerd kunnen worden in bijvoorbeeld JRODOS. Met deze (meta) gegevens zullen meetresultaten en discrepanties met verspreidingsmodellering beter geïnterpreteerd worden.

2 NMR-meetposten

Het NMR bestaat uit ongeveer 167 Bitt-monitoren verspreid over Nederland en 14 Alpha-Beta monitoren, zie Fig. 1. Het is bedoeld als waarschuwings- en lokaliseringssysteem voor stralingsongevallen in binnen- en buitenland. Het netwerk moet inzicht geven in het verloop en de omvang van een overtrekkende radioactieve wolk of de besmetting na passage van een dergelijke wolk. De gammaposten meten het tempo van het omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$, en zenden elke 10 minuten de data naar het RIVM. De jaargemiddelden variëren tussen 55 en 100 nSv/h.



Figuur 1. Een Vinckier kast en de locaties van de NMR-posten. Kleur en grootte van de bolletjes geven de laatst gemeten uurwaarde (het actuele stralingsniveau) aan volgens de bij de kaart gegeven legenda. De bodemsoort bepaalt de jaargemiddelde waarde van $H^(10)$, de grijze achtergrond in de kaart.*

Met het NMR worden standaard de volgende vier stralingsgrootheden bepaald:

- het omgevingsdosisequivalenttempo, met als eenheid nSv/h;
- de concentratie van radioactieve stoffen die door radioactief verval alfa-deeltjes kunnen uitzenden. Deze totaal-alfa concentratie in lucht(stof) wordt uitgedrukt in Bq/m³;
- de concentratie van radioactieve stoffen die door radioactief verval beta-deeltjes kunnen uitzenden. Deze totaal-beta concentratie in lucht(stof) wordt uitgedrukt in Bq/m³;
- de concentratie in lucht(stof) van specifieke radionucliden die gamma-straling uitzenden. Deze 'nuclidenspecifieke metingen' worden uitgedrukt in Bq/m³.

Voor de bepaling van het omgevingsdosisequivalenttempo wordt gebruik gemaakt van proportionele telbuizen van het type Bitt RS03. Op de zelfstandige meetlocaties staan de Bitt-monitoren in een zogenaamde Vinckier-kast, zie foto bij Fig. 1. Het stralingsgevoelige deel van de detector bevindt zich 1 m boven de grond. De sondes zijn via een verbindingskabel van enkele tientallen meters aangesloten op een (Bitt DG14) datalogger. Er zijn veertien locaties waar naast het gamma niveau ook het totaal alfa en totaal beta wordt gemeten. Deze locaties vallen samen met die van het Meetnet Luchtkwaliteit en hier zijn de Bitt-monitoren op het dak van een portocabin gemonteerd.

Bij een waarde boven de 200 nSv/h wordt het RIVM automatisch gealarmeerd, het RIVM stelt dan een nader onderzoek in naar de oorzaak van de overschrijding. In de regel zijn gemeten verhogingen gelukkig toe te schrijven aan andere oorzaken dan een stralingsongeval. Zo heeft bijvoorbeeld een zware regenval na een lange droge periode kortstondige verhogingen van het stralingsniveau tot gevolg. Bij metingen boven de 2000 nSv/h wordt naast het RIVM ook direct de regionale brandweer gealarmeerd.

2.1 Voorbeelden locaties van NMR-meetposten

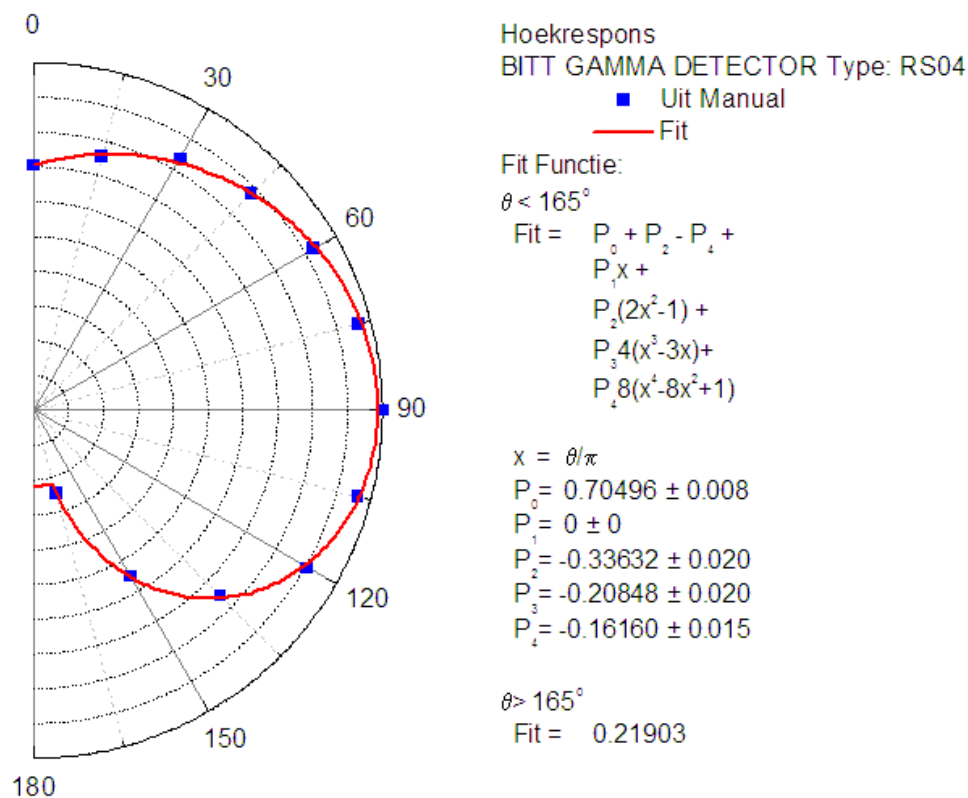


Figuur 2 Een zestal locaties uit het NMR.

Uit de voorbeelden, Fig. 2, blijkt dat er zeker locaties zijn waar de invloed van de lokale omgeving op het gedetecteerde signaal groot verondersteld mag worden en naar verwachting zowel een verhogend of een verlagend effect zou kunnen hebben op het meetsignaal (afscherming) en de besmetting zelf (verhoogde invang, of juist meer afspoeling). Deze locaties zouden dan aangemerkt moeten worden als 'correctie noodzakelijk' of minder betrouwbaar. De verdeling over de mate waarin de omgeving van invloed is, of met andere woorden, de kwaliteit van het meetnet, is een van de onderwerpen die we in dit rapport zullen behandelen.

2.2 Hoekgevoeligheid

In het ideale geval is de detector ongevoelig voor de richting waaruit de straling afkomstig is. In de praktijk is de hoekrespons alleen rotatie symmetrisch langs de verticale-as. In het verticale vlak is er wel degelijk een afhankelijkheid van de richting van de straling. In Fig. 3 is de hoekrespons uit de handleiding weergegeven, door de punten is een 4^{de}-graads polynoom getekend. De Bitt monitor heeft overduidelijk een veel kleinere response voor aanstraling van onder en van boven dan vanaf de zijkant. Uit Fig. 3 lezen we af dat besmetting op 1 meter afstand van de detector met 75% efficiëntie wordt gedetecteerd. Echter, het effect op de detectie efficiëntie van een besmet grondoppervlak is veel minder dramatisch dan dit figuur suggereert. De totale bijdrage tot 1 m wordt met 60% efficiëntie gedetecteerd, voor locaties verder weg is er al snel nauwelijks meer verschil tussen de werkelijke en de ideale respons. Het totale effect van een de hoekafhankelijkheid betekent ongeveer 5% onderschatting van het werkelijke stralingsniveau afkomstig van een egale besmetting. In Tabel 1 geven we nog de relatieve bijdrage van de grond opgedeeld in zes ringen gecentreerd rond de detector aan het totale meetsignaal. Vanaf 2 meter is deze relatieve bijdrage gelijk voor beide hoekresponsen. We zullen daarom de effecten van de hoekgevoeligheid van de detectie verder buiten beschouwing laten, hoewel dit in principe wel mogelijk is. De berekeningen gelden voor een egale besmetting op een plat vlak. In hoofdstuk 3 zullen we het principe achter deze berekening uitleggen.



Figuur 3 De hoekrespons van de Bitt-monitor volgens de fabrikant met de geconstrueerde 4^{de}- graadspolynoom.

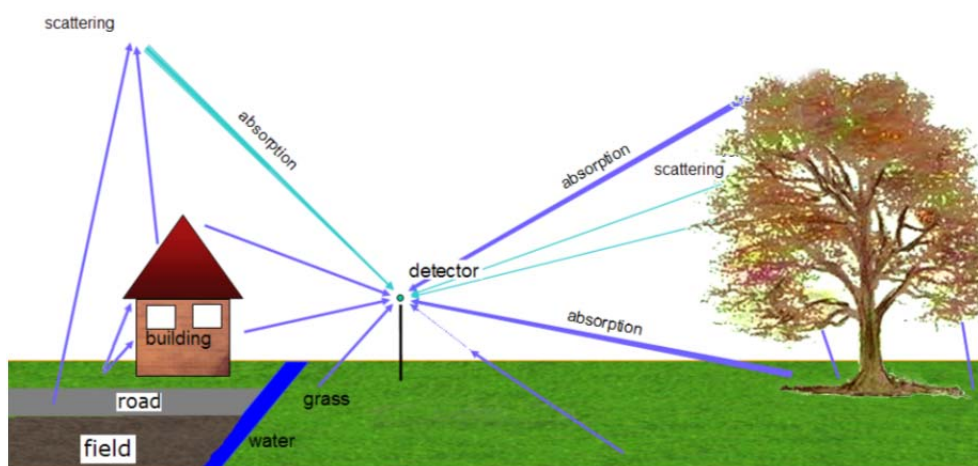
Tabel 1 Relatieve bijdrage (%) aan het totale meetsignaal gemeten met een Ideale hoekrespons (I) en met de hoekrespons uit Fig. 2, volgens de fabrikant (F). De totale detectie efficiëntie (F t.o.v. I) is 94% bij 800 keV, 94% bij 600 keV, en 96% bij 100 keV.

Straal (m)	theta	800keV		600keV		100keV	
		I	F	I	F	I	F
0 - 1	180 - 135	6.2	3.6	6.0	3.5	4.4	2.5
1 - 2	135 - 116.6	8.2	7.4	8.0	7.3	6	5.4
2 - 3	116.6 - 108.4	6.2	6.2	6.1	6.1	4.8	4.7
3 - 7	108.4 - 98.3	14.5	14.9	14.3	14.7	12.1	12.3
7 - 20	93.3 - 92.9	19	19.8	19.0	19.8	19.5	20.1
20 - 100	92.9 - 90.6	29.3	30.6	30.1	31.5	39.3	40.7

3 Stralingstransfer

3.1 Aanpak

Praktijk



Figuur 4 In de praktijk zal het meetsignaal van een meetpost beïnvloed worden door objecten en obstakels. Deze kunnen de straling afschermen en of de radionuclide beter of juist slechter invangen en vasthouden dan gras.

In de praktijk zal het meetsignaal van een meetpost beïnvloed worden door objecten en obstakels zoals geïllustreerd in Fig. 4. Deze objecten en obstakels kunnen de straling afschermen en of de radionuclide uit de passerende wolk met radioactieve nuclide beter of juist slechter invangen en vasthouden dan gras. Bij de modellering voor het omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ op de plaats van de detector krijgen we te maken met twee complicerende aspecten:

1. als gevolg van de aanwezigheid van bijvoorbeeld gebouwen en wegen zal de verspreiding van de radionucliden niet uniform zijn;
2. zowel een directe als een (Compton) verstrooide component dragen bij aan $H^*(10)$.

Onder punt 1 vallen ook effecten zo als regen- of depositieschaduw, turbulentie en "streetcanyoning". Ze hebben te maken met de verspreiding van de passerende wolk met nucliden zelf. Uiteindelijk zal dit leiden tot een grotere niet-uniforme besmetting bovenop de variatie die ontstaat als gevolg van verschillen in de efficiëntie waarmee de radionucliden worden ingevangen door de aanwezige objecten zoals bomen en gebouwen. Het resultaat is dus nog steeds een niet uniforme verdeling van een besmet gebied waarvan het stralingsniveau ter plaatse van de detector berekend moet worden. Het is dus een toevoeging die in een later stadium kan worden uitgevoerd. In dit rapport zullen we daarom alleen de stralingstransfer beschouwen, en de invloed van de obstakels op de verspreiding van de wolk met nucliden door de lucht niet meenemen.

Met betrekking tot de stralingstransfer van bron naar detector geldt dat de bijdrage van de directe straling eenvoudig te berekenen is voor gegeven

extinctie coëfficiënten of vrije weglengtes van deze obstakels. De bijdrage van de verstrooide straling aan $H^*(10)$ is lastiger te modeleren. Compton verstrooiing is energie afhankelijk, de fasefunctie is voorwaarts en energie afhankelijk, en de verstrooide straling heeft een andere energie bij verschillende strooihoeken. Dit geeft aanleiding tot een energieverbreiding van de verstrooide straling. Voor een volledige berekening zouden we de puntspreidingsfunctie voor de straling in lucht moeten kennen en in rekening moeten brengen dat besmetting die zich in de schaduw van een gebouw bevindt, t.o.v. van de detector, toch bijdraagt aan het stralingsniveau op de plaats van de detector.

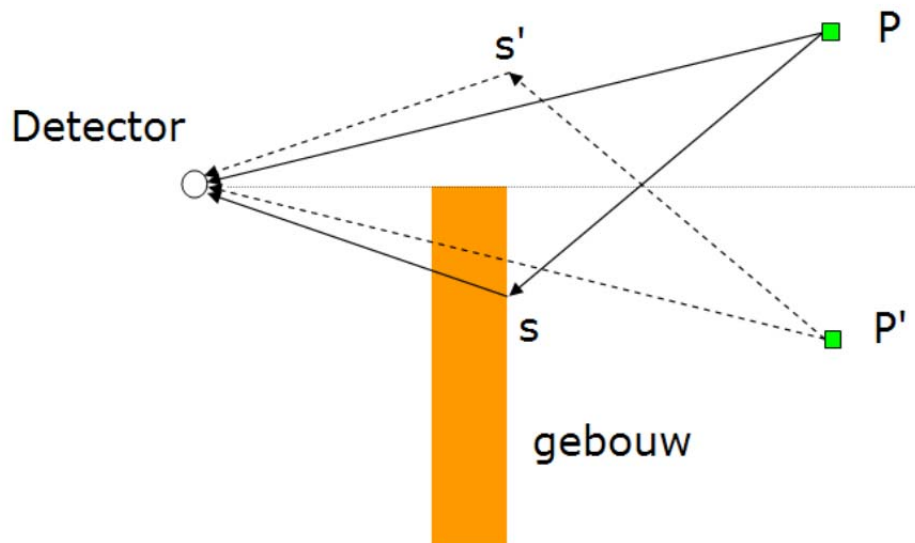
Echter verstrooide straling is vooral belangrijk vanuit een stralingshygiënisch oogpunt: men moet bedacht zijn op andere richtingen dan de directe richting van waaruit de stralingsbelasting komt. Het afschermen van de directe straling heeft op een gegeven moment geen zin meer omdat het grootste deel van de stralingsbelasting van de verstrooide straling afkomstig is, en dus uit andere richtingen. Zo geldt dat de stralingsbelasting tijdens het dragen van een loodschort gedomineerd wordt door de gaten voor de armen. Er zal altijd directe aanstraling van de detector zijn voor de situatie die wij beschrijven. Daardoor is de relatieve bijdrage van de verstrooide straling via de lucht aan het meetsignaal beperkt en kunnen we die op een eenvoudige manier (af)schatten. Om dezelfde reden kunnen we de verstrooide straling die ontstaat in de obstakels buiten beschouwen laten.

We zullen de bijdrage van verstrooide straling via de lucht daarom schatten met een vrije veld benadering. Deze vrije veld benadering is de empirische beschrijving van het kerma op de plaats van de detector als gevolg van een egaal besmet, vlak grasveld. Het bevat dus al alle effecten en bijdragen van de verstrooiingsprocessen. Omdat de directe aanstraling eenvoudig te modeleren is, kan hieruit de bijdrage van de verstrooide straling worden gedestilleerd.

Een zogenaamde 'eerste orde' schatting houdt nu in dat:

1. besmetting vanuit locaties naast de 'schaduw' bijdraagt als of het een vrij veld betreft;
2. besmetting vanuit locaties in de 'schaduw' geven in het geheel geen bijdrage.

Met betrekking tot de verstrooide straling maak je voor beide situaties een fout. Door verstrooiing is er wel degelijk een bijdrage vanuit de schaduwgebieden, en verstrooiingspaden worden afgesneden voor straling ook vanuit gebieden buiten de schaduw. Voor een gebouw op een grasveld zijn ze van dezelfde grootte en heffen elkaar min of meer op, voor een 'half-oneindig gebouw' zijn beide termen zelfs even groot, zie Fig. 5.



Figuur 5. Boven aanzicht 'half oneindig gebouw', de besmetting van de omgeving wordt egaal verondersteld. Bijdrage aan het detectorsignaal vanuit P via S wordt in werkelijkheid geblokkeerd en de bijdrage vanuit P' via s' wordt niet geblokkeerd. Bij de gebruikte benadering wordt de bijdrage PsD wel meegenomen en P's'D niet. Uit de symmetrie volgt dat beide bijdragen even groot zijn.

Door de volgende drie cumulatieve termen apart uit te rekenen kunnen we enigszins in de gaten houden hoe groot de fout is die we maken door op deze manier de verstrooide bijdrage te berekenen

1. eerste orde schatting;
2. eerste orde schatting plus verstrooide stralingsterm uit de schaduw gebieden;
3. bijdrage volgens 2 plus verstrooide stralingsterm ter plaatse van de obstakels, c.q. daken van gebouwen.

De spreiding in deze drie waarden zullen we gebruiken om de onzekerheid van dit aspect in de modellering te duiden.

Samenvattend: alle berekeningen worden uitgevoerd relatief ten opzichten van de ideale situatie: een 'oneindig groot' egaal besmet grasoppervlak. De verkregen verhouding wordt gedefinieerd als de lokale detectie efficiëntie (LDE) van de detector. De volgende beperkingen of vereenvoudigingen gelden:

- de verspreiding van de wolk is op geen enkele manier beïnvloed door de aanwezige obstakels/objecten;
- het grondoppervlak is vlak en niet ruw; er vindt geen energierelaxatie plaats op het besmette oppervlak;
- objecten/obstakels kunnen meer of minder efficiënt radionucliden invangen en dus naar verhouding meer of minder besmet zijn;
- de bijdrage aan $H^*(10)$ wordt via een vrije veld benadering uitgerekend conform gebruikelijk binnen de stralingshygiëne;
- obstakels schermen de directe straling volledig af, de verstrooide straling die in het obstakel ontstaat wordt verwaarloosd;
- de invloed van de detectorkast wordt niet beschouwd.

3.2 Vrije veld beschrijving $H^*(10)$ als gevolg van een egale besmetting

Het omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ in de buitenlucht als gevolg van een besmetting van een nuclide met een concentratie $C(t)$ op de grond kan uitgedrukt worden met het Kerma K en de conversiefactor Γ voor de verhouding omgevingsdosisequivalent en Kerma [Blaauboer en Smetsers 1996]:

$$H^*(10)(t) = C(t) \sum_E K \Gamma_{H^*(10)/K} \quad (3.1)$$

Er wordt gesommeerd over alle mogelijk fotonenergieën van de uitgezonden gamma's behorend bij het beschouwde nuclide. Het kerma in lucht op hoogte h van de detector kan uitgedrukt worden als

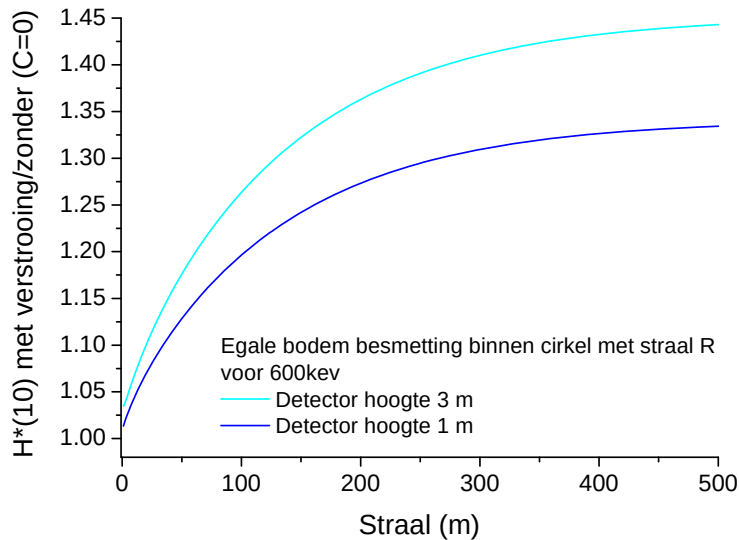
$$K(h, E) = \kappa E N \int_{\sigma} d\sigma \phi(r, E) \quad (3.2)$$

met $\kappa = 5.05 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{Gy} \cdot \text{s} \cdot \text{a}^{-1} \cdot (\text{keV})^{-1}$ het product van twee conversie factoren $1.6 \times 10^{-13} \cdot \text{g} \cdot \text{Gy} \cdot (\text{keV})^{-1}$ en $3.5 \times 10^7 \text{ s} \cdot \text{a}^{-1}$, en N het aantal gamma's per seconde met energie E [keV], en ϕ gedefinieerd als de fotonspecifieke geabsorbeerde fractie van de energie E per gram lucht op een afstand r van een isotroop stralende puntbron. De integratie is over het besmette oppervlak σ . De specifieke geabsorbeerde fractie in lucht kan empirisch bepaald worden, en uitgedrukt worden als [Trubey, 1968]

$$\begin{aligned} \phi(r, E) &= \frac{1}{4\pi r^2} \left(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right)_a \left(1 + C \mu_a r e^{D\mu_a r} \right) e^{-\mu_a r} \\ &= \frac{1}{4\pi r^2} \left(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right)_a e^{-\mu_a r} + \frac{1}{4\pi r^2} \left(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right)_a C \mu_a r e^{D\mu_a r} e^{-\mu_a r} \\ &= \phi_d(r, E) + \phi_s(r, E) \end{aligned} \quad (3.3)$$

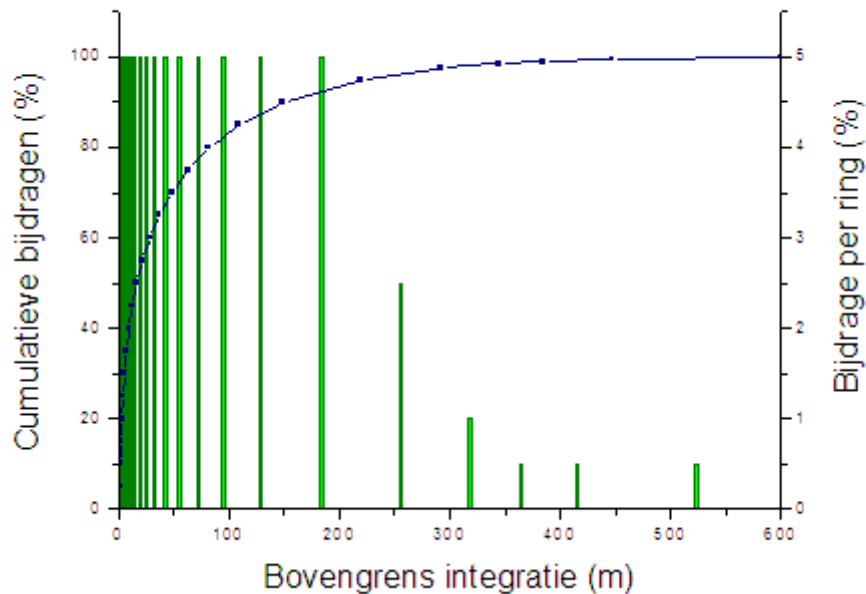
C en D zijn fitparameters afhankelijk van de primaire fotonenergie E , en geldig tot ongeveer 20 vrije weglengtes. Voor een fotonenergie van 600 keV is de vrijeweglengte ongeveer 100m. Met de uitdrukking van Vgl. (3) zijn alle secundaire verstrooiings- en energieverbreidings-processen d.w.z. "Build-Up" in rekening gebracht. Door de coëfficiënt C op nul te zetten kunnen we de directe bijdrage onderscheiden van de totale bijdrage en daarmee apart de verstrooide bijdrage berekenen. Vgl. (3) geldt voor een egaal besmet oppervlak, effecten van het wegzakken van de depositie in de bodem zullen we niet meenemen.

In Fig. 6 hebben we voor een fotonenergie van 600 keV de relatieve bijdrage van de verstrooide straling berekend voor de situatie van een egaal besmette schijf met straal r rondom een detector op hoogte 1 meter en voor een hoogte van 3 meter. Duidelijk is te zien dat de relatieve bijdrage van de verstrooide straling toeneemt omdat de kans op verstrooiing toeneemt met toenemende afstand. In absolute zin neemt de totale dosis af met toenemende afstand.



Figuur 6. Verhouding van de $H^(10)$ met en zonder bijdrage van de verstrooide straling als functie van de straal van een schijfvormige besmetting (600kev fotonenergie)*

In Fig. 7 geven we het $H^*(10)$ op 1 meter hoogte als functie van de straal van een schijfvormige egale besmetting relatief t.o.v. een egale besmetting op een oneindig vlak. De keuze van de opeenvolgende stralen is zodanig dat het totaal altijd met 5% toeneemt (voor de laatste 5 geldt: toename van 2.5, 1.0, 0.5, 0.5 en 0.5%). Bij een straal van 100 m is de cumulatieve bijdrage ongeveer 85%, na integratie tot 500 m wordt nog steeds 0.4% 'gemist'. Omdat ruwheid van het grondoppervlak niet beschreven wordt door vgl. (3), wordt de bijdrage van grote afstanden overschat. In de praktijk zou dit weer gecompenseerd kunnen worden door hoogte verschillen (wanneer bijvoorbeeld de detector in een 'kom' staat). Echter, de grootste invloed op de LDE komt natuurlijk van de objecten die dichtbij staan, de beschrijving daarvan zal veel grotere onzekerheden bevatten en het heeft dus weinig zin om LDE te relateren aan een grasveld met een straal van 500 m. We zullen 100 m aanhouden als maximale afstand. Het blijkt ook dat we geen of nauwelijks verschillen vinden in de berekende relatieve effecten van objecten wanneer we 100 of 500 m aanhouden.



Figuur 7. $H^*(10)$ op 1 m hoogte als functie van de straal van een schijfvormige besmetting t.o.v. $H^*(10)$ voor een oneindig vlak. De zwarte punten geven de cumulatieve bijdrage van de ringen aan, bijvoorbeeld totaal 85% bij integratie tot 100 m. De bijdrage per ring is aangegeven in groen.

3.3 Werkpaard

Het uiteindelijke gemodelleerde effect van de omgeving op het meetsignaal (de detector staat in de oorsprong) is in feite een ruimtelijke integratie over het gehele besmette gebied met een plaats afhankelijke weegfactor $W(\vec{r})$:

$$Effect = \int d\vec{r} W(\vec{r}) (\phi_d(r, E) + \phi_s(r, E)). \quad (3.4)$$

$W(\vec{r})$ is bijvoorbeeld klein (0 voor directe straling) voor locaties achter gebouwen en veel groter dan 1 voor bomen. We zullen altijd normaliseren op het effect zonder objecten en obstakels dus delen door het resultaat van Vgl. (3.4) met $W(\vec{r}) = 1$, zodat voorfactoren wegvallen. De kern van de gehele analyse, het werkpaard, komt er dus op neer $W(\vec{r})$ handig te beschrijven gegeven de aanwezige objecten en obstakels zodat Vgl. (3.4) snel numeriek geïntegreerd kan worden.

4 Objecten en obstakels

4.1 Soorten

Elk object of obstakel wordt beschreven door een invangfactor f , die het verschil aangeeft ten opzichten van die van gras, de geometrische grenzen, en of het obstakel nog afscherming veroorzaakt. Uit de literatuur blijkt dat er grote verschillen bestaan in invangefficiëntie voor natte en droge depositie. Daarom zal elk object een invangfactor voor droge en een voor natte depositie meekrijgen. De totale besmetting van een object of obstakel is het (effectieve) grondoppervlak daarvan maal de invangfactor f . Optioneel komt daar nog de effecten van een ruimtelijke herverdeling van de activiteit bij, en een schaduwwerking voor het gebied er achter.

De objecten en obstakels die we zullen onderscheiden, zijn:

1. wegen/straten;
2. water;
3. gebouwen;
4. bomen;
5. bos;
6. struiken;
7. akkers.

De gebruikte invangfactoren zijn overgenomen van Zähringer en Pfister [1998], en staan in Tabel 2. Ze zijn genormaliseerd naar die van gras. De weegfactor $W(\vec{r})$ uit Vgl. (3.4) wordt gelijk aan de invangfactor op de plaats van het object of obstakel. De parameterisatie van de geometrische grenzen van de objecten en obstakels wordt in volgende paragraaf besproken. De invloed van bomen wordt op een geheel andere manier berekend, en daarom worden bomen ook anders geparameteriseerd.

Wegen/straten

Wegen en straten hebben een kleinere invangfactor dan gras, en schermen niet af. Onder 'wegen' wordt elke verharding verstaan, dus ook parkeerplaatsen, stoepen en fiets- en wandelpaden. Voor natte en droge depositie geldt een andere invangfactor.

Water

Wateroppervlak wordt verondersteld niet besmet te raken voor wat betreft depositie. Dit geldt zowel voor natte als droge depositie. Over de besmetting van het volume water doen we geen uitspraak. Het effect van oppervlakte water wordt dus vertaald naar een oppervlak met besmetting nul. Effecten van eventuele (schuine) oevers worden niet meegenomen.

Gebouwen

Het voornaamste effect van gebouwen is afscherming van het gebied dat er achter ligt (t.o.v. de detector). De afscherming van de directe straling is volledig, de build-up in het gebouw wordt niet meegenomen. Daken geven alleen een bijdrage via de verstrooide straling. De besmetting van muren is laag omdat muren slecht depositie invangen en de besmetting makkelijk afspoelt. Toch willen we de mogelijkheid hebben om een besmette voorgevel te parameteriseren en als extra bijdrage te laten tellen, omdat detectoren ook dichtbij hoge gebouwen staan.

Bomen

Bomen vertegenwoordigen als gevolg van hun bladeren een zeer groot oppervlak waarop droge depositie kan hechten. Zärhinger en Pfister (1998) rapporteren een invangfactor 2 tot 20, met 7 als gangbare waarde t.o.v. het gras veldje onder de boomkruin. Het gras onder de boom raakt niet besmet, bij een boom zonder loof wordt een invangfactor 1 aangehouden. Voor natte depositie geldt altijd een invangfactor 0.1 als gevolg van afspoeling, het gras onder de boom krijgt dan een factor 1 mee. Een gemiddelde dichtheid van een boomkruin is van de orde 5 kg/m^3 , en daarmee is de extinctie vrije weglengte nog steeds 20 m tot 70 m voor 600keV straling. De afscherming door een boom kunnen we dus verwaarlozen.

Bos, struiken en akkers

Het doorrekenen van veel bomen of struiken kost relatief veel tijd, terwijl details juist onbelangrijk worden wanneer er veel bomen of struiken bij elkaar staan: 'veel' bomen worden een bos. Daarom wordt ook in de mogelijkheid voorzien om gebieden net zo als wegen aan te aangemerkt als bos of struiken met een verhoogde invangfactor c.q. verhoogde besmetting t.o.v. gras. De keuze om iets een struik of bos te noemen is nu nog arbitrair. In een later stadium zou een bos een effectieve hoogte mee kunnen krijgen of een groot volume kunnen zijn waarbinnen geïntegreerd moet worden. Struiken blijven dan een oppervlak met een verhoogde besmetting. Evenzo kan een gebied als akker worden aangemerkt met een verhoogde invang.

Tabel 2. Invangfactoren genormaliseerd naar gras, en de manier van parameterisatie van de obstakels en objecten

Bodem gebruik	Depositie		Effect proportioneel met
	f, Droog	f, Nat	
Gras	1	1	oppervlak
Akker	1 - 7	1	oppervlak
Bos	2 - 20	1.1	
Struiken	2 - 20	1.1	
Water	0	0	
Wegen/verhard	0.2 - 0.3	0.4 - 0.8	
Gebouwen			schaduw
- Daken	0.4 - 1.7	0.4 - 0.6	oppervlak
- Gevels	0.02 - 0.1	0.01 - 0.03	opp. voorgevel
Boom*	2 - 20	0.1	$\pi r_{\perp}^2$

Bron: Zärhinger and G. Pfister 1998.

* $\pi r_{\perp}^2$ is de verticale projectie van de boomkruin op de grond.

4.2 Geometrische begrenzing

We hebben de volgende informatie over de directe omgeving van de NMR-meetposten tot onze beschikking:

- gemeten latitude longitude van de meetposten met GPS;
- foto's ter plaatse, voor een klein deel opgenomen volgens een gestandaardiseerd protocol;
- GIS: Top-10 vectorkaarten van het bodemgebruik en het gebouwbestand;
- Google Earth en 'streetview' foto's, NRG heeft een stuurbestand aangemaakt zodat alle locaties van het NMR eenvoudig gevonden worden.

De foto's ter plaatse geven een goed beeld van de omgeving. Ze zijn cruciaal voor de identificatie van objecten en obstakels, met name of er bomen en struiken dichtbij staan. De foto's zijn in de loop van de tijd door NRG tijdens het reguliere onderhoud gemaakt. Voor alle locaties zijn minstens vier foto's beschikbaar, min of meer op dezelfde afstand tot de detector genomen. Hiervoor werd elke keer dezelfde camera met een groothoeklens gebruikt. Om de foto's beter te kunnen gebruiken, c.q. het opmeten van objecten, is een voorschrift/fotoprotocol gemaakt, zie appendix. Het is de bedoeling dat tijdens het reguliere onderhoud het fotobestand op deze manier wordt aangevuld.

Luchtfoto's geven een goede indruk van de globale omgeving en kunnen bovendien gebruikt worden om de afstanden tot en de afmetingen van objecten en obstakels op te meten. Alle getoonde luchtfoto's zijn uitsneden verkregen met behulp van Google Earth.

De meest nauwkeurig manier om grenzen van objecten en obstakel te beschrijven is met de polygoonmethode. Echter het is ook de meest tijdrovende, en ondoenlijk om dit voor alle 150 meetposten zo uit te voeren. Er is daarom ook gezocht naar een methode die in een keer het gehele NMR kan doorrekenen. Hiervoor zullen we gebruikmaken van een Grafische Informatie Systeem. De invloed van bomen wordt op een andere manier berekend, en daarom worden bomen anders geparameteriseerd, zie Par. 4.2.3.

4.2.1 *Polygoon*

De polygoon methode legt de begrenzing van objecten en obstakels vast door een set punten waarbij de rechte verbindingen tussen opeenvolgende punten min of meer samen valt met de fysieke grenzen daarvan. De coördinaten van de (hoek)punten vormen zo een polygoon dat het object of obstakel overdekt. Dus een set van 4 punten, waarbij het eerste punt hetzelfde punt is als het laatste, definieert een driehoek. Een polygoon dat een gebouw beschrijft kan nog voor elk punt een hoogte meekrijgen.

De gebruikte coördinaten behoren tot een willekeurig gekozen horizontaal orthogonaal assenstelsel, dus niet noodzakelijkerwijs dezelfde oriëntatie als de rijksdriehoekskoördinaten of een as langs de Noord-Zuid lijn. De z-as is gereserveerd voor de verticale component van de obstakels. Nergens wordt rekening gehouden met eventuele hoogte verschillen van het grondoppervlak.

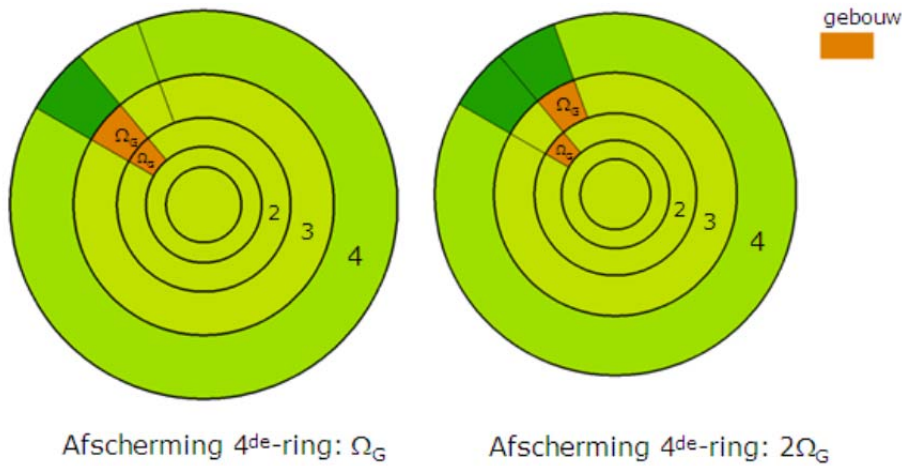
Het voordeel van een polygoon is dat er een eenvoudig algoritme bestaat om te bepalen of een punt zich binnen of buiten het polygoon bevindt, en met een toevoeging kunnen we ook weer de (hoek)punten uit dit polygoon identificeren die de voorgevel van een gebouw opspannen, zie appendix.

Het opmeten van luchtfoto's kan door met de computermuis hoekpunten aan te klikken, hiervoor is een enigszins verouderd programma gebruikt dat alleen op bitmaps werkt [Sørensen, 1995] maar wel geijkt kan worden en dus direct de afstanden in meters relatief ten opzichte van de detector levert. Google Earth biedt een soort gelijke mogelijkheid, echter een conversieslag is daar nodig om deze uitvoer (een regel in een xml-bestand met alle latitudes en longitudes van de hoekpunten) over te zetten naar meters t.o.v. de detector in de oorsprong. Hiervoor is een klein conversieprogramma geschreven.

4.2.2

GIS

Voor de Grafische Informatie Systeem (GIS) beschrijving maken we gebruik van de TOP-10 vectorkaarten en het woningbestand waar het RIVM over beschikt. TOP-10 is de meest gedetailleerde variant die het bodemgebruik van heel Nederland onderverdeelt in allerlei categorieën. Binnen GIS kan eenvoudig het aantal vierkante meters per categorie bodemgebruik rond elke detector worden bepaald. Door dit voor een aantal afstanden tot de detector te doen kan informatie als functie van de afstand tot de detector worden verkregen, zie Tab. 3. Een nadeel van deze manier is dat informatie over de oriëntatie van gebouwen verloren gaat: ze kunnen achter elkaar of naast elkaar staan wat nogal uit kan maken voor de afscherming, zie Fig. 8.



Figuur 8 Afscherming van de 4^{de} ring door twee gebouwen. In het linker plaatje is dat de helft van die in het rechter plaatje. De GIS benadering maakt geen onderscheidt tussen beide situaties.

Omdat a priori informatie ontbreekt, is de totale afschermingen van de bijdrage uit ring R_i een functie van de gebouwfractie van alle ringen met een kleinere straal. We zullen het gemiddelde van drie manieren van combineren gebruiken:

$$\Omega_{G_i} = \sum_{j=1}^{i-1} \Omega_{G_j} \quad 4.1$$

$$= \text{Max}(\Omega_{G_1}, \dots, \Omega_{G_{i-1}}) \quad 4.2$$

$$= 1 - \prod_{j=1}^{i-1} (1 - \Omega_{G_j}) \quad 4.3$$

De eerste functie impliceert dat alle gebouwen naast elkaar staan of nooit in elkaars verlengde, de afscherming per ring telt dan op. De situatie dat $\Omega_G > 1$ is, moet hier afgevangen worden. De tweede functie beschrijft de situatie dat de gebouwen juist achter elkaar staan en dan telt alleen het grootste gebouw. Bij de derde functie wordt elke fractie opgevat als een soort effectieve afscherming per ring die bij elke overgang naar een kleinere ring geldt.

Vooruitlopend op de resultaten blijkt dat de onzekerheid niet dramatisch toeneemt wanneer op deze manier - met het gemiddelde van de drie functies - de LDE berekend wordt. We vinden voor alle locaties gemiddeld een extra onzekerheid van 4% voor droge depositie. Voor een zevental locaties is dit

groter dan 20% met een uitschieter tot 65%. Voor natte depositie is de extra onzekerheid gemiddeld 3% en zijn er slechts vier locaties waarbij de onzekerheid groter is dan 10% (max. 15%). Dit is natuurlijk ook een weerspiegeling van de situatie die nagestreefd wordt: geen gebouwen in de buurt van de detector.

Voor het gehele NMR is het bodemgebruik in m^2 per categorie binnen een 10-tal afstanden tot de detector berekend. Voor elke afstand is er een tabel aangemaakt. De tabellen worden gecombineerd tot ringbestanden - voor elke locatie een - die per ring rond de detector de fractie per categorie aangeeft. Een voorbeeld van een ring-bestand is gegeven in Fig. 10 (rechts onder). De resultaten van deze berekeningen zullen we de ruwe GIS resultaten noemen.

De keuze van de stralen van de ringen is mede ingegeven door de relatieve bijdragen van de ringen die daarmee ongeveer even groot is en voor de onderbouwing van een pragmatische keuze die we zullen moeten maken voor de maximale straal waarbinnen de omgeving handmatig moet worden bepaald. Het zal blijken dat niet alle informatie die we nodig hebben aanwezig is in het GIS en we dus toch moeten terugvallen op de polygoon methode. Het idee is een optimale combinatie te maken waarbij de resultaten berekend met het GIS aangevuld worden met de polygoon methode tot een nader te bepalen maximale afstand tot de detector. Daarbuiten telt alleen het GIS resultaat.

Tabel 3. Gebruikte ringen waarbinnen de fractie per bodemgebruik zijn bepaald, de procentuele bijdrage geldt t.o.v. bijdrage opp. $100^2 \pi (m^2)$ bij 600keV.

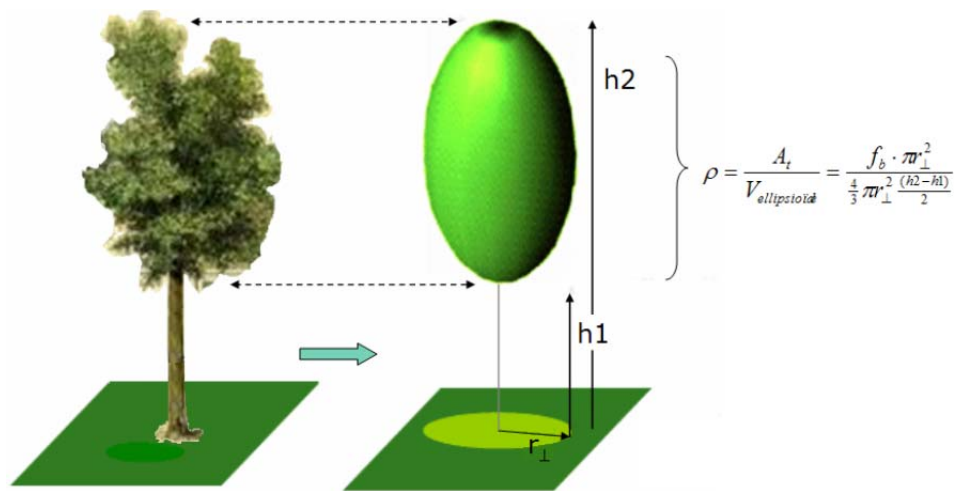
R_i	$R_{min} - R_{max} (m)$	Oppervlak (πm^2)	Bijdrage (%)
0	0- 3	9	24.1
1	3- 5	16	10.3
2	5- 7	24	6.9
3	7- 10	51	7.8
4	10- 13	69	5.6
5	13- 20	231	9.3
6	20- 30	500	9.1
8	30- 45	1125	9.2
9	45- 67	2464	9.2
10	67- 100	5511	8.5

4.2.3

Boom

Een boom wordt als volgt geparameteriseerd: de boomkruin wordt voorgesteld als een ellipsoïde met een doorsnede van $\pi_{\perp}^2$, de verticale projectie van de kruin op de grond en verticaal begrensd door h_1 en h_2 , de stam wordt weggelaten, zie Fig. 9. De totale activiteit van de boom is dan $f_b \pi_{\perp}^2$ en wordt egaal verdeeld in de ellipsoïde. De besmetting op de grond, gecentreerd rond de boomstam met oppervlak $\pi_{\perp}^2$, wordt op nul gezet bij droge en op 1 bij natte depositie. Tijdens de numerieke integratie van Vgl. (4) wordt apart het effect van elke boom berekend door punt voor punt binnen de bijbehorende ellipsoïde te integreren.

De foto's ter plaatse en luchtfoto's worden gebruikt om de locatie t.o.v. de detector en de grootte van de boomkruin op te meten. De schaduw van een boomkruin op een luchtfoto kan helpen om $r_{\perp}$ te schatten.



Figuur 9. Voor parameterisatie van een boom is alleen de boomkruin bepalend. De totale activiteit is de invangfactor f_b maal het geprojecteerde grondoppervlak $\pi_{\perp}^2$, deze wordt egaal verdeeld binnen het volume van de ellipsoïde.

4.3

Voorbeeld

Fig. 10 geeft voor de locatie bij Apeldoorn een uitgewerkt voorbeeld. We beginnen met de luchtfoto van Apeldoorn en geven als laatste de identificatie van het bodemgebruik volgens GIS, een zogenaamd ringbestand. De detector bevindt zich in het midden van elk subfiguur, de oriëntatie is zodanig dat het Noorden ongeveer bovenaan is. Bovenste rij: de luchtfoto wordt vertaald naar objecten en obstakels. De lijnen van en naar een gesloten contour zijn alleen programmeer-technisch van belang, ze hebben oppervlak=0 en dus geen invloed. De bomen worden aangegeven met groene stippen met een nummer. Door in te zoomen op de luchtfoto en foto's ter plaatse en streetview te bekijken, kan de kruindiameter en onder- en bovengrens van een boom geschat worden, dit levert een bomenbestand zoals gegeven in de appendix. De middelste rij van Fig. 10 geeft links het integratierooster en rechts de geïdentificeerde polygoonpunten die de voorgevel opspannen. Duidelijk is te zien dat de gekozen dichtheid aan punten afneemt met toenemende afstand. De kleur van elk punt correspondeert met een bepaald integratie gewicht, zie het onderschrift van het figuur. De onderste rij geeft het grafische resultaat van het geïdentificeerde bodemgebruik binnen een straal van 100 m via GIS, en de daarmee geconstrueerde tabel rechts. Voor de constructie van de tabel zijn eerst nog twee belangrijke stappen genomen.

Als eerste stap hebben we de exacte locaties van alle detectoren bepaald ten opzichte van de TOP-10 vectorkaart. De ter plaatse gemeten locaties van de detectoren in graden latitude longitude en de daarmee corresponderende locatie op de TOP-10 kaart blijken niet exact overeen te komen met de locaties op de kaart die afleidbaar is uit begrenzingen van gebouwen en grondgebruik. Juist de eerste paar meters zijn cruciaal, bijvoorbeeld of een muur op 0.5 meter of 2.5 meter staat maakt nog al wat uit voor de feitelijke afscherming. De gemeten latitude en longitude zijn daarom zodanig aangepast dat dit wel het geval is.

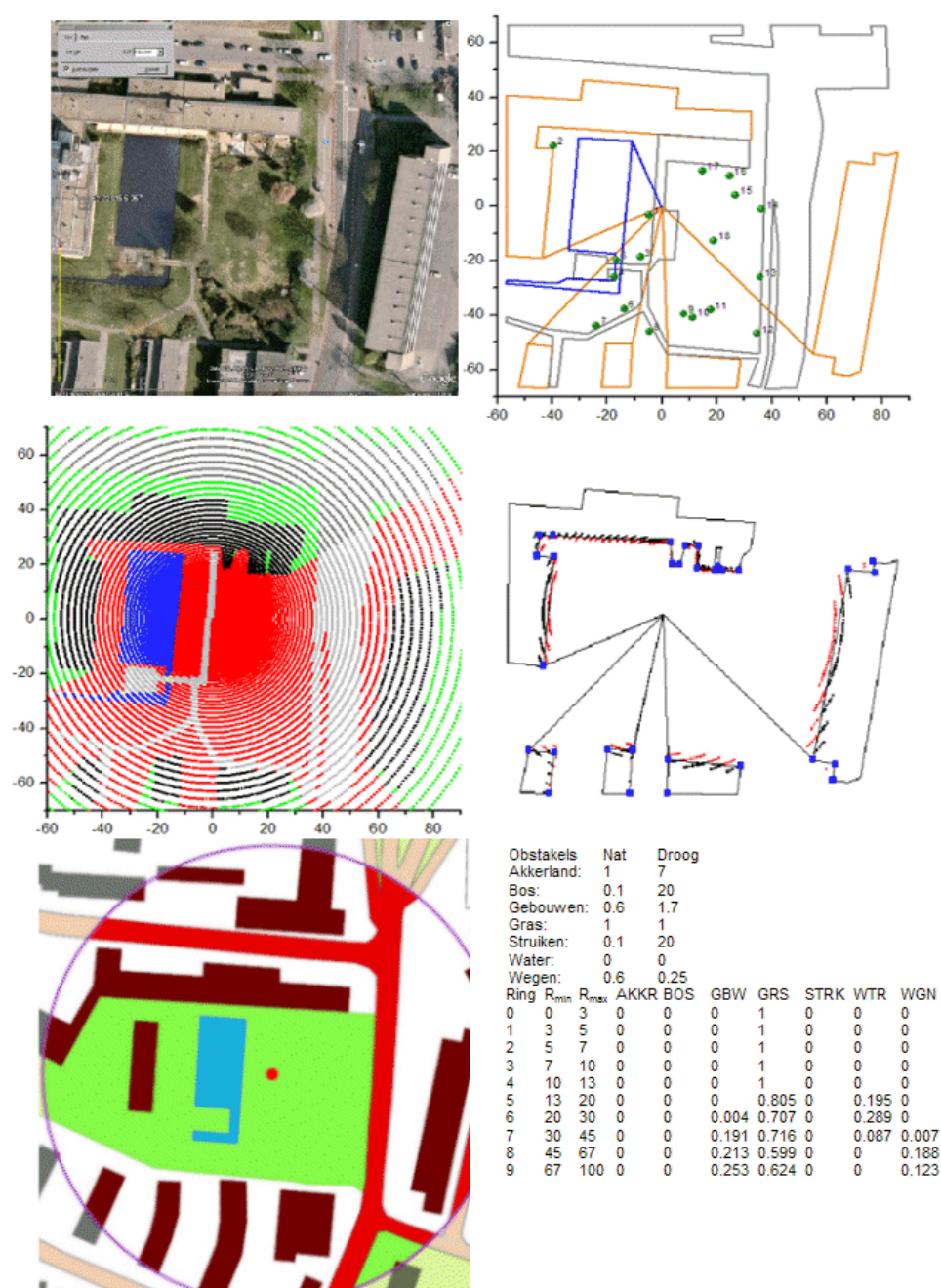
Als tweede stap is de uitvoer van GIS die veel meer categorieën levert dan binnen onze analyse onderscheidbaar weer samengevoegd, ook wordt een aanzienlijk deel gecategoriseerd als 'overig'. Op dit moment wordt aan de categorie 'overig' een invangfactor van 1 toegekend. Een extra bijkomstigheid is dat het woningbestand als extra laag over de TOP-10 kaart zit en er geen

onderdeel van is. Gebouwen worden daardoor apart geteld, en het totale oppervlak van alle elementen wordt daarmee groter dan de cirkel waarbinnen ze liggen. Het grondoppervlak van de gebouwen moet daarom in mindering gebracht worden bij het oppervlak van de andere elementen. We hebben hiervoor de volgende rangorde gebruikt:

1. categorie 'overig';
2. categorie 'gras';
3. categorie 'akker';
4. categorie 'bos';
5. schaling.

Dus het grondoppervlak van een gebouw wordt eerst in mindering gebracht bij de categorie 1 'overig', is dit niet voldoende dan wordt element 2 verminderd etc. Blijkt dit nog steeds niet genoeg dan wordt het totale oppervlak van de 7 elementen zodanig geschaald dat het resulterend oppervlak voor de gebouwen vrijkomt.

De verschillende subfiguren van Fig. 10 hebben verschillende stadia m.b.t. het voortschrijdend inzicht in de interpretaties van de objecten en obstakels. De finale interpretatie ligt ten grondslag aan het subfiguur rechtsboven. De twee op de middelste rij zijn eerdere versies en wijken op een aantal punten daarvan af. Zo viel uit de foto's ter plaatse, (opgenomen in de Appendix) niet op te maken of het gebouw kijkend naar het oosten een aaneengesloten gebouw betreft of dat het uit losse onderdelen bestaat. Ook zijn er gebieden ten zuiden van het meest noordelijke gebouw geïnterpreteerd als uitbouw i.p.v. verharde weg. Het stukje verharde weg/parkeerplaatsje direct ten zuidoosten van de detector is niet zichtbaar op de luchtfoto en ook niet op de foto's volgens het protocol omdat er toen toevallig sneeuw lag. Op een andere set foto's is dit wel meteen duidelijk te zien. Het voetpad en de parkeerplaats ontbreken in het TOP-10 bestand.



Figuur 10. Locatie Apeldoorn. LB: luchtfoto Google Earth. RB: opgemeten polygonen; gebouwen: oranje, wegen: grijs, water: blauw, bomen: groen (genummerd), getallen langs de assen zijn in meters. LM: integratie rooster met weegfactoren, directe aanstraling: rood, schaduw: groen. idem voor de straten licht en donker grijs. RM: hoekpunten van de voorgevels: blauw, integratiepunten net voor gebouw: rood, net in gebouw. LO: GIS-kaart met 100m cirkel rond meetpost. groen: gras, rood: wegen, bruin: gebouwen, blauw water. RO: Ring-bestand met fracties bodemgebruik volgens GIS. AKKR: akker, GBW: gebouw, GRS: gras. STRK: struiken, WTR: water, WGN: wegen.

5 Analyses

5.1 Polygoon

Een drietal locaties Apeldoorn, Maassluis en Amersfoort zijn gebruikt als test locaties. De locaties Apeldoorn en Amersfoort zijn van een type dat veel voorkomt: detector op een grasveld met nabij gelegen bomen, gebouwen en wegen. De meetpost Maassluis is een meer extremere locatie, tussen hoge flats en op een parkeerplaats. Voor deze locatie is het veel handiger om juist de grasvelden aan te merken als afwijkende gebieden ten opzichte van de verharde weg.

Apeldoorn



Amersfoort



Maassluis

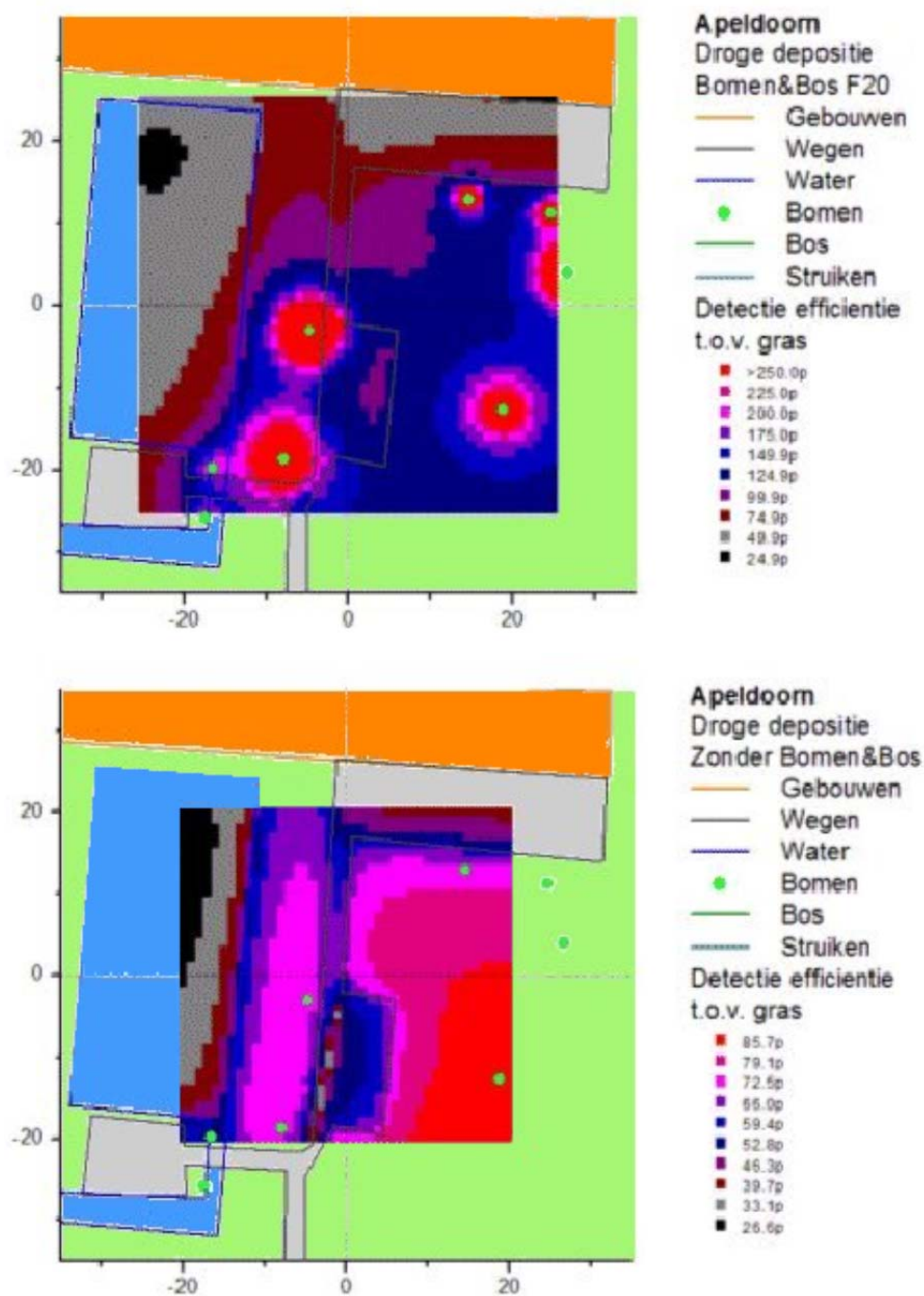


Naast een schatting van de LDE voor de opgemeten situatie is het een interessante vraag hoe sterk de LDE varieert als gevolg van kleine veranderingen in de omgeving. Dit kan door de LDE opnieuw uit te rekenen voor een verschoven positie. Op deze manier verkrijgen we inzicht in wat uiteindelijk de grootste invloed heeft, en wat de nauwkeurigheid moet zijn waarmee obstakels moeten worden opgemeten. Enkele voorbeelden van zo een berekening staan in de figuren 11, 12, en 13.

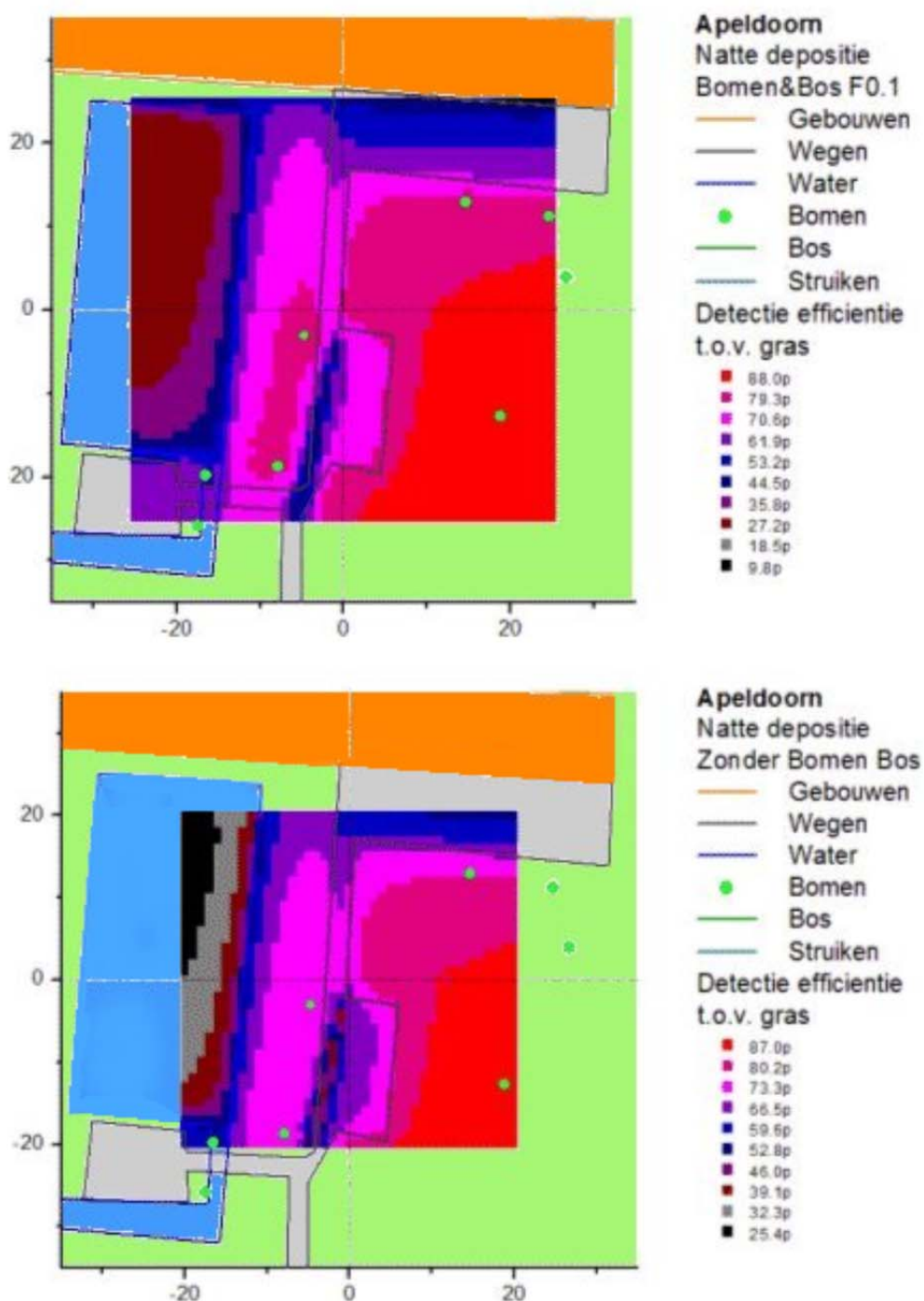
Omdat de invangfactor van bomen slecht bekend is -voor droge depositie 2 tot 20 met 7 als gangbare waarde en 1.1 voor natte- zullen bomen het meeste bijdragen aan de onzekerheid in de vastgestelde LDE en daarmee het gemeten stralingsniveau. Omdat informatie over de aard van de depositie in een reële situatie zal ontbreken -er zijn geen neerslagmeters bij de meetposten die hun informatie automatisch doorgegeven- zijn we genoodzaakt de verschillen tussen natte en droge depositie te nemen als maat voor de onzekerheid van het gemeten stralingsniveau.

Om het effect van bomen op de LDE te bepalen en met name op de onzekerheid daarin, hebben we voor de locatie Apeldoorn het effect op de LDE doorgerekend voor verschillende invangfactoren voor bomen, en wanneer 1 voor 1 bomen worden 'verwijderd' naar volgorde van hun invloed, zie Fig. 14.

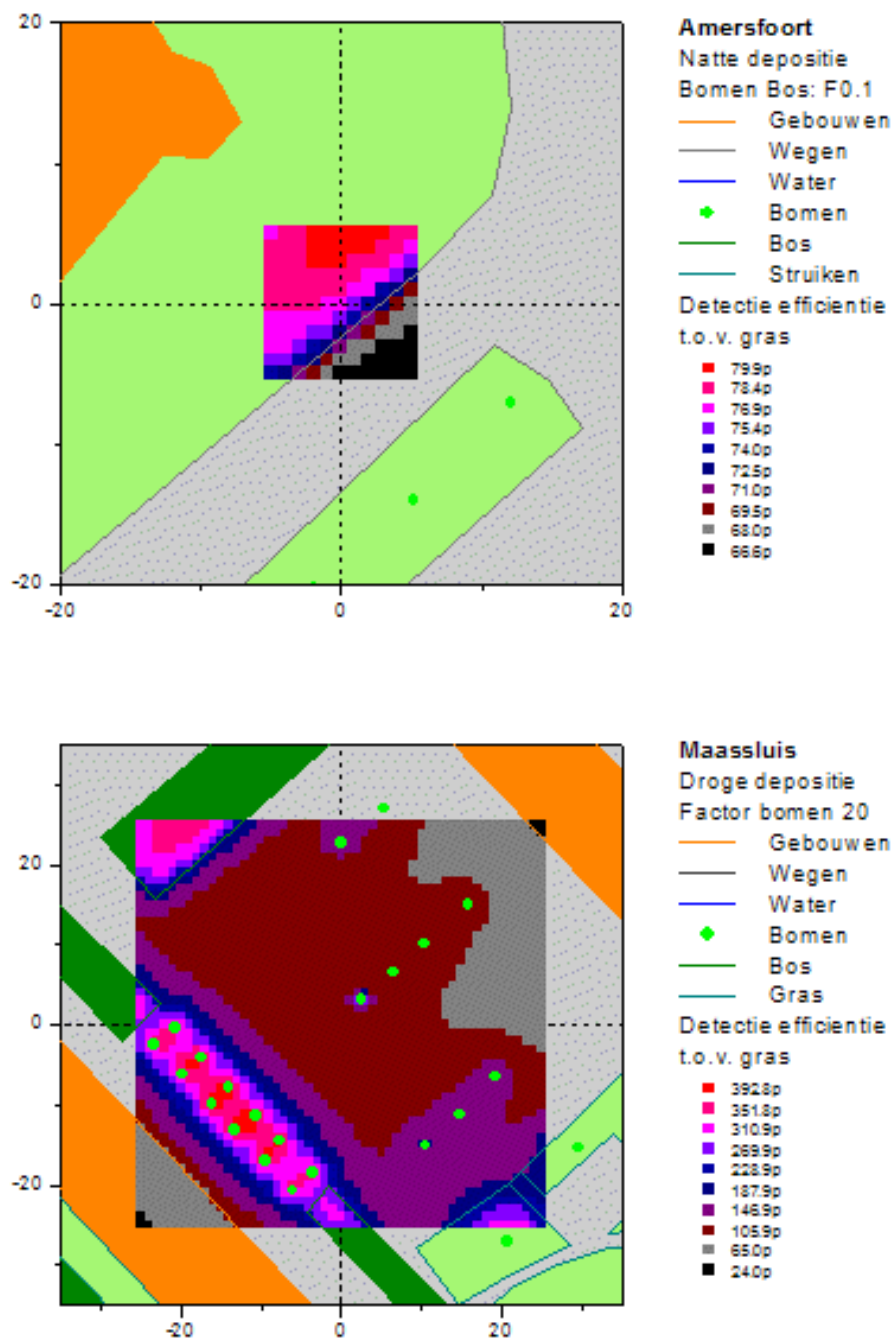
Het grootste effect heeft het weghalen van de eerste boom (nummer 1, een 'bosje' Coniferen) op een relatief korte afstand van 5.6 m. De onzekerheid in de LDE reduceert van meer dan 200% naar een werkbaar resultaat van 30%. Het weghalen van de tweede en derde boom op rij heeft ook nog duidelijk een effect, daarna is de verwachte variaties door de bomen kleiner dan 20%.



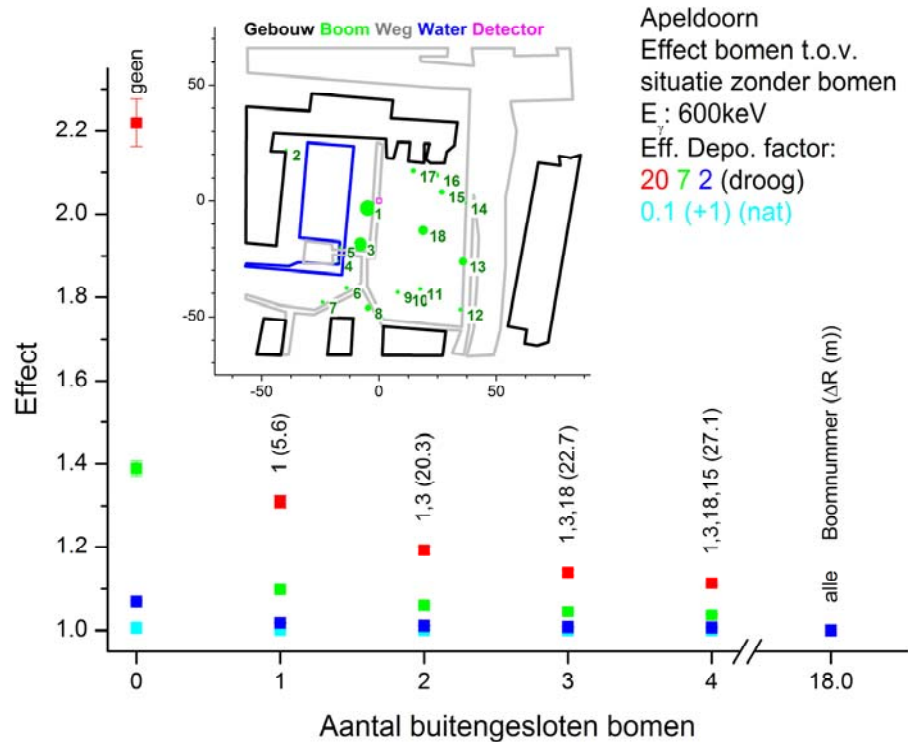
Figuur 11. LDE voor droge depositie als functie van de locatie aangegeven door de kleur in het kleinere vierkant. In de bovenste kaart inclusief bomen zijn de onder- en bovengrens, 24.9% en > 250%, voor de onderste kaart, zonder bijdrage van bomen, geldt 26.6% t/m 85.7%.



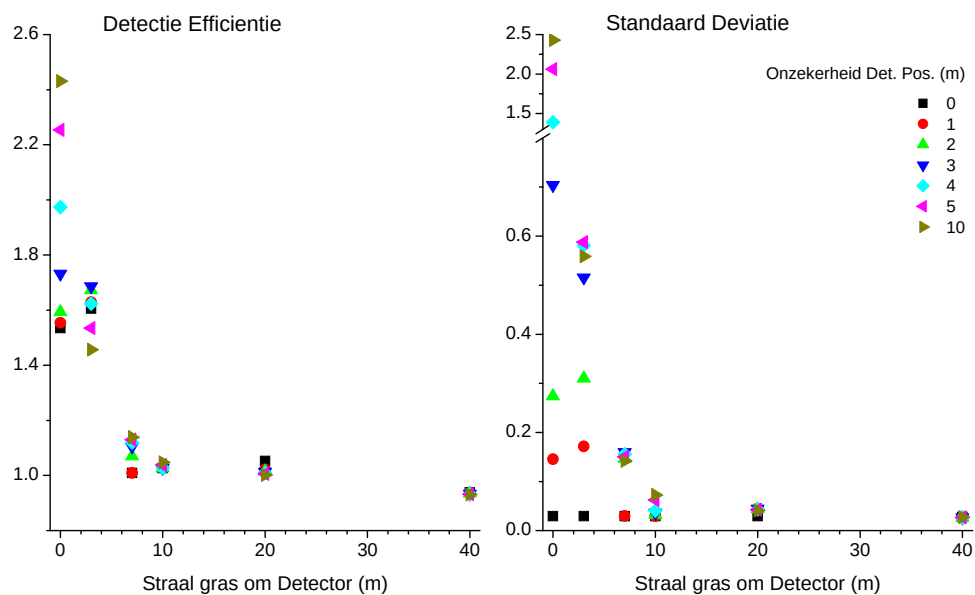
Figuur 12. LDE voor natte depositie als functie van de locatie aangegeven door de kleur. In de bovenste kaart inclusief bomen zijn de onder- en bovengrens, 9.8% en 88%, voor de onderste kaart, als of er geen bomen staan geldt 25.4% t/m 87%.



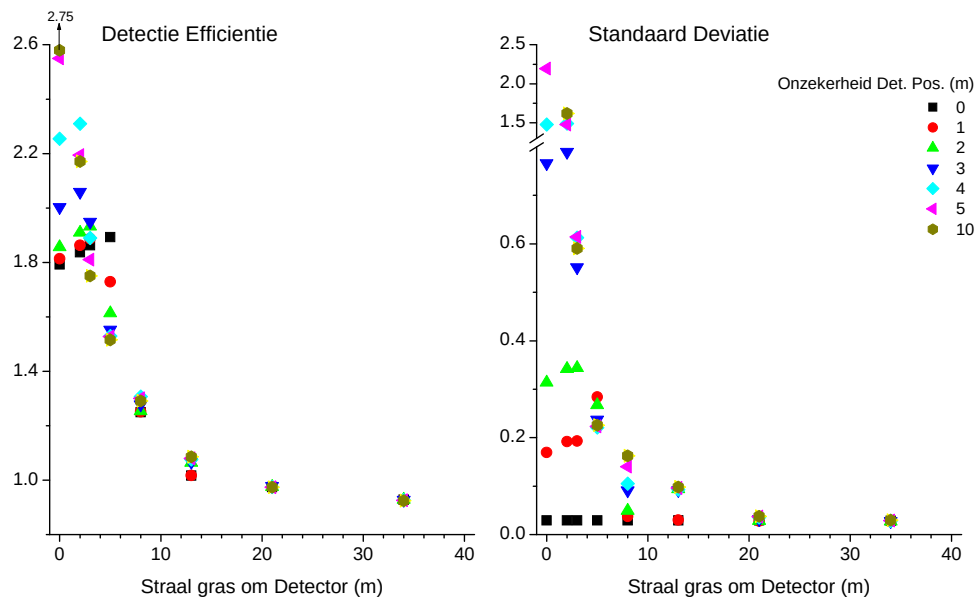
Figuur 13. Twee voorbeelden van Amersfoort en Maassluis. Variatie bij natte depositie is klein. Bij Maassluis bleek het handiger om alles als parkeerplaats te identificeren met stukken gras in plaats van andersom. In de legenda's staat 'p' voor procent.



Figuur 14. De LDE voor Apeldoorn t.o.v. de situatie zonder bomen. Het verschil tussen natte en droge depositie is ongeveer een factor 2. Het weghalen van de twee dichtstbij staande bomen zou dit verschil reduceren tot 30% en 20%.



Figuur 15. Droge depositie, met $f_b=20$. Detectie efficiëntie (LDE) als functie van een fictief grasveld rond de detector, voor verschillende gradaties van de onzekerheid van de detector positie, berekend voor de locatie Apeldoorn.



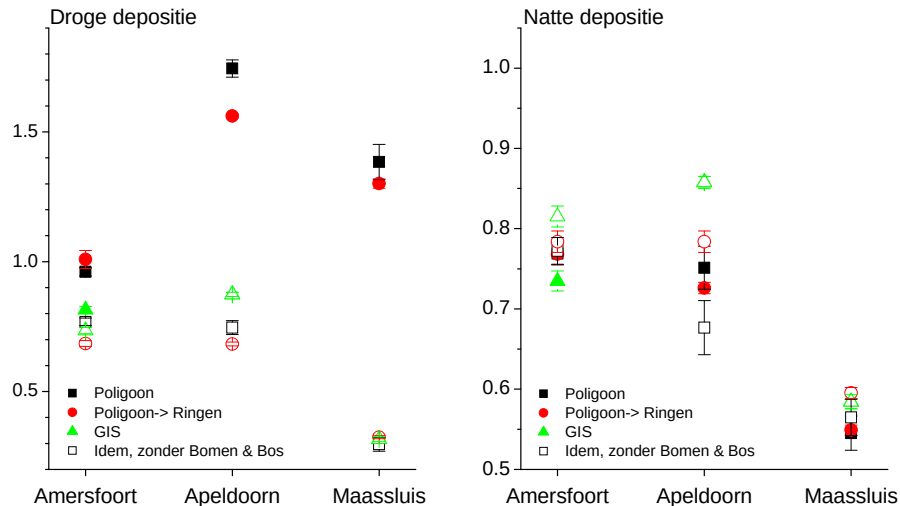
Figuur 16. Idem als Fig. 15, de locaties van de bomen zijn willekeurig verplaatst over maximaal 2m.

Het fictief aanbrengen van een cirkel gras rond de detector, in plaats van het een voor een 'weghalen' van bomen geeft meer inzicht welke objecten en obstakels de grootste invloed hebben op zowel de LDE als de onzekerheid daarop als gevolg van slecht bekende invangfactoren. De Figuren 15 en 16, geven daarvoor een voorbeeld voor de locatie Apeldoorn. De punten geven het gemiddelde van de LDE aan berekend voor alle punten binnen een straal aangegeven met 'onzekerheid detector positie'. De rechter figuren geven de bijbehorende standaard deviaties in de gemiddelden. Op deze manier krijgen we inzicht in de LDE rekening houdend met de werkelijke onzekerheden van de afstanden tot obstakels en objecten. Bij de zwarte punten in Fig. 16 links, neemt de LDE eerst toe omdat het nabij gelegen verharde pad vervangen wordt door een grasveld, echter na het vierde punt wordt de eerste boom vervangen door gras waardoor de LDE inzakt, en evenzo reduceert de standaard deviatie na deze fictieve actie.

Uit bovenstaande analyses kunnen we concluderen dat de exacte locatie, en daarmee ook de afmeting van bomen die verder weg staan dan 8m er niet meer zoveel toe doet, de gemodelleerde onzekerheid is dan kleiner dan 20%. Deze waarde (20%) als toelaatbare onzekerheid in de modelering is een arbitraire keuze.

5.2 GIS

In Fig. 17 is de berekende LDE voor de drie locaties weergegeven, we vergelijken hier de polygoon methode met de resultaten via GIS. Ook laten we het verschil zien tussen de polygoon methode en het GIS algoritme waarbij we de polygoonen eerst hebben omgerekend naar ring-bestanden. De verschillen tussen de LDE's berekend met polygoonen en omgerekende polygoonbestanden naar ring-bestanden is van de orde 5%.

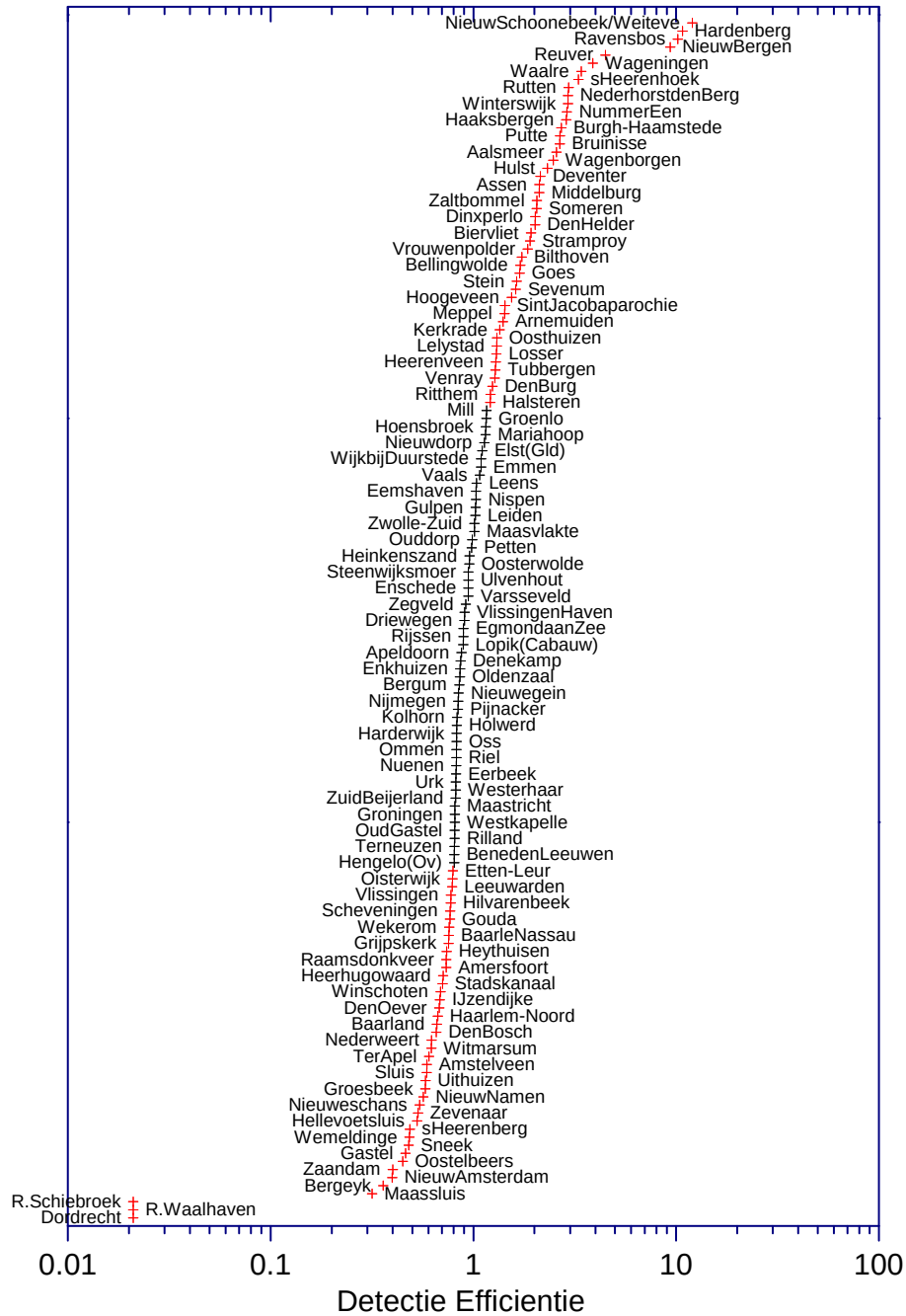


Figuur 17. De LDE volgens de polygoon methode vergeleken met die via GIS. Als tussenstap is het resultaat gegeven waarbij de polygonen omgerekend zijn naar bijdrage per ring. De berekening is herhaald (open symbolen) zonder de bijdrage van de bomen en/of bos bij de polygoon methode.

Omdat niet alle bomen en 'bos' zijn opgenomen in de TOP-10 kaarten, kunnen er grote verschillen tussen de polygoon methode en de GIS methode optreden zoals bij Apeldoorn wordt gevonden. Door bij de polygoon methode de bijdrage van de bomen en of het bos weg te laten komen de resultaten van beide methodes dicht bij elkaar te liggen. Dit laatste toont dus aan dat beide methodes tot dezelfde resultaten leiden. De aanwezigheid van bomen, en de afwezigheid van een representatie daarvan in de GIS bestanden geeft aanleiding tot de grootste verschillen.

In Figuur 18 is de LDE voor droge depositie voor alle meetposten getekend. Samenvattend zijn hiervoor de volgende handelingen verricht:

1. de representatie van de locatie van elke meetpost op de TOP-10 kaart is geverifieerd;
2. het bodemgebruik binnen 10 stralen is bepaald met behulp van het GIS;
3. de ruwe GIS resultaten zijn gecorrigeerd met betrekking tot het grondoppervlak van gebouwen en categorie 'overig';
4. de gecorrigeerde GIS-resultaten zijn omgerekend naar fractie bodemgebruik per ring voor een gereduceerde set categorieën en opgeslagen als ringbestanden;
5. de ringbestanden zijn gebruikt om de LDE te berekenen.



Figuur 18. De LDE van alle detectoren voor droge depositie. Rode punten wijken meer dan 20% af.

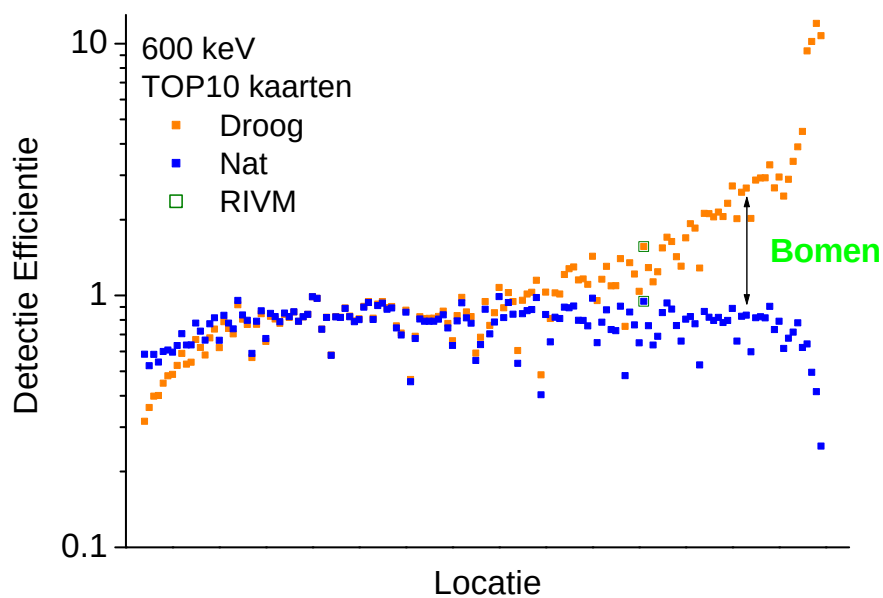
Voor 57 locaties is een LDE voor droge depositie tussen de 0.8 en 1.2 gevonden, 44 zitten er onder en 48 erboven, zie Tabel 4. Alle locaties hebben voor natte depositie een LDE kleiner dan 1. Dit heeft te maken met afscherming door gebouwen en door de aanwezigheid van verhard grondoppervlak c.q. wegen, fietspaden en stoepen, maar ook door de aanwezigheid van waterwegen.

Tabel 4. Aantal locaties met een LDE tussen de aangegeven minimale en maximale grenzen.

Droge depositie	Aantal locaties	Natte depositie	Aantal locaties
< 0.5	12	< 0.5	9
> 0.5, < 0.7	17	> 0.5, < 0.7	34
> 0.7, < 0.8	15	> 0.7, < 0.8	38
> 0.8, < 1.2	57	> 0.8, < 0.9	52
> 1.2, < 1.4	10	> 0.9, < 1.0	16
> 1.4, < 2.0	12	> 1.0	0
> 2.0	26		

In Fig. 19 staan LDE's voor droge en natte depositie geordend naar het verschil tussen deze twee. In principe geeft dit al een ordening naar de kwaliteit van de locaties. De variatie in de LDE voor natte depositie, waarvoor de invangfactor voor bomen klein is, is beperkt. Wanneer de LDE bij natte depositie (veel) kleiner is dan bij droge depositie, betreft het een locatie met relatief veel wegen en weinig bomen. De meetposten waarbij het verschil tussen de LDE's voor droge en natte depositie groot is zullen veel bomen en struiken staan. Bomen (en struiken) hebben zowel de grootste invangfactoren en onzekerheid daarin, als het grootste verschil van de invangfactoren voor droge of natte depositie, en grote onnauwkeurigheden in de afmetingen. Daarnaast zal het in de praktijk niet meteen duidelijk zijn of er droge of natte depositie heeft plaatsgevonden, de kans is natuurlijk ook groot dat beide optreden.

In Tabel 5 staan de aantallen waarbij de verhouding tussen de droge en de natte LDE's in de aangegeven intervallen ligt. Op deze manier vinden we 82 locaties waarbij het verschil tussen droge en natte depositie binnen de 20% ligt, en dus als 'betrouwbaar' kunnen aanmerken. Bij 32 locaties kan het verschil tussen droge of natte depositie meer dan een factor 2 verschil uitmaken. Bij 4 locaties wordt zelfs meer dan een factor 10 gevonden. Dit zijn Hardenberg, NieuwSchoonebeek/Weiteve, Ravensbos en NieuwBergen. Van de 7 locaties in het laagste interval (0.5 -0.8) liggen er 6 boven de 0.65. Hoe de verdeling van betrouwbare en minder betrouwbare meetlocaties over Nederland ligt moet nog bepaald worden.



Figuur 19. LDE voor droge en natte depositie, geordend naar het toenemend verschil daartussen.

Tabel 5 Verhouding tussen de LDE voor droge en natte depositie.

LDE verhouding	Aantal locaties
> 10	4
5.0 - 10	4
2.0 - 5.0	24
1.5 - 2.0	14
1.2 - 1.5	14
0.8 - 1.2	82
0.5 - 0.8	7
< 0.5	--

5.3 Verificatie GIS resultaten

In Fig. 20 gegeven we voorbeelden waarbij de LDE ongeveer 1, $>>1$ of $<<1$ is. Zo op het oog zijn deze locaties correct geclassificeerd: locaties met een LDE van ongeveer 1 zijn inderdaad open grasveldjes, bij LDE veel groter dan 1 zijn duidelijk bomen in de nabije omgeving van de detector zichtbaar, en bij LDE veel kleiner dan 1 komen meteen gebouwen en straten in beeld.

Echter, er zijn ook gemakkelijk locaties te vinden die niet correct geclassificeerd zijn. In die gevallen worden dichtbij staande bomen en struiken of verharde wandel of fietspaden gemist. Deze locatie krijgt dan onterecht een LDE gelijk aan 1 mee. Eigenlijk moeten we dus alle locaties nalopen en controleren op de classificatie en op gemiste objecten. Bomen en struiken binnen een straal van 8m zijn hier veruit de belangrijkste objecten. Bladerend door de foto's blijkt ook dat de detectoren regelmatig vlak naast verharde (wandel)paden staan of min of meer "ingebouwd" zijn in een heg, waarbij de Vinckierkast vaak nog maatgevend is voor de afmetingen van de heg. Het is daarom wenselijk te beschikken over een routine waarmee eenvoudig aanpassingen aan de ringbestanden gemaakt kunnen worden voor dit soort situaties. Op dit moment is die routine nog niet beschikbaar.

Er is gekeken naar de locaties waarbij het verschil groot is tussen twee van de drie verschillende manieren om de afscherming van gebouwen te berekenen: de maximum-methode (Vgl. 5.2) min de som-methode (vgl. 5.1). Drie locaties vallen op door een groot negatieve verschil: Dordrecht, Rotterdam-Waalhaven en Rotterdam-Schiebroek. Het blijkt dat hier de detectoren, of op een gebouw staan, of op een parkeerplaats van in dit geval de brandweerkazerne waar voornamelijk verharde weg is en de kazerne dichtbij, zie Fig. 21. In feite leverde vgl. 5.2 alleen al negatieve getallen op. Dit laatste betekent dat de huidige implementatie of interpretatie van de ruwe GIS gegevens niet correct werkt als de locatie van een detector samen valt met de locatie van een gebouw (dus op het dak staat). Bij de ontwikkeling van de methodiek was hier inderdaad ook nog geen rekening mee gehouden.

Er zijn drie locaties waar voor droge depositie het verschil tussen de maximum-methode en de som-methode groot en positief is, Grijskerk, Leens en Wemeldinge, en er zijn twee locatie waar dit voor natte depositie geldt: Wemeldinge en Gastel, zie Fig. 22. Het zijn locaties waar een groot gebouw dicht in de buurt staat, in de ring 10-13 of 13-20 m, of waar gebouwen dichtbij én achter elkaar staan. De locatie Leens kunnen we hiermee aanmerken als het praktijkvoorbeeld van Fig. 8.



Figuur 20a. Locatie met een LDE van ongeveer 1. Bij Driewegen is alleen de bovenkant van Vinckierkast zichtbaar r.o. op de foto.



Figuur 20b. Locaties met een grote LDE.



Figuur 20c. Locaties met een kleine LDE.



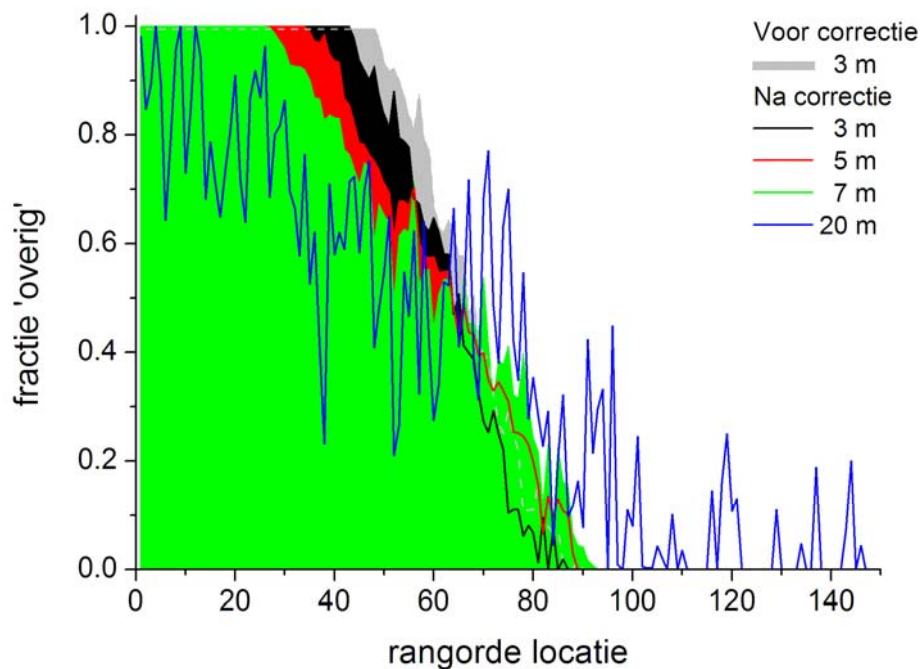
Figuur 21 Voor de locaties, Dordrecht, Rotterdam-Waalhaven en Rotterdam-Schiebroek (van boven naar onder), zijn de grootste negatieve verschillen gevonden tussen twee manieren van het in rekening brengen van de afscherming door gebouwen.



Figuur 22. Voor de locaties, Grijpskerk, Leens, Wemeldinge en Gastel (van boven naar onder), zijn de grootste positieve verschillen gevonden tussen de twee manieren van het in rekening brengen van de afscherming door gebouwen.

Een ander punt dat nog beter uitgezocht moet worden is het grondgebied dat als 'overig' blijft aangemerkt na correctie voor het grondoppervlak van de gebouwen. Dit oppervlak is nu nog geïnterpreteerd als gras, dus met een bijbehorende invangfactor 1. Om inzicht te krijgen in het aantal locaties waarbij dit voorkomt, hebben we voor elke locatie de fractie van het oppervlak dat aangemerkt is als categorie 'overig' bepaald voor een viertal stralen. De verwachting is dat deze fractie afneemt met toenemende straal. M.a.w. detectoren staan vaak op 'vergeten' locaties: waar zo op het oog geen duidelijke bestemming voor is, in de berm, op grasveldjes tussen (doorgaande) wegen. Het is te verwachten dat dit soort locatie geen duidelijke classificering hebben en daardoor in de categorie 'overig' komen.

In Fig. 23 is dit getekend. De ordening van de locaties is naar afnemende fractie 'overig', gemiddeld over de eerste drie stralen. Alleen voor de kleinste straal is de fractie 'overig' getekend voordat gecorrigeerd is voor het grondoppervlak van de gebouwen. Er zijn 43 locaties gevonden waar tot 3m alles valt onder de categorie 'overig', 34 locaties tot een straal van 5m, en tot 7m zijn dat 27 locaties. Voor nog grotere stralen komen er voor sommige locatie weer niet-geclassificeerde gebieden bij. Omdat deze op grotere afstand liggen, is de te verwachte invloed van een foutieve classificering klein. Het aantal van 43 locaties van de categorie 'overig' is best hoog te noemen op een totaal van 150. Bovendien blijkt uit een steekproef dat de keuze om de gehele categorie 'overig' als 'gras' te tellen lang niet de optimale keuze is voor alle locaties. Dus ook hier komen we tot de noodzaak om alle locaties langs te lopen en de ring-bestanden aan te passen aan het op de foto's gevonden bodemgebruik.



Figuur 23. De fractie aangemerkt als 'overig' voor vier verschillende stralen rond de detector.

6 Conclusies

Er is een methode ontwikkeld om de lokale omgeving met daarin obstakels en verschillend bodemgebruik te parameteriseren, en de invloed daarvan op de lokale detectie efficiëntie (LDE) van stralingsmeters te kunnen bepalen. Dit is toegepast op alle 167 gamma-stralingsmeetposten van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR). Er zijn 57 locaties gevonden waarbij de LDE voor droge depositie minder dan 20% afwijkt van de ideale waarde, voor natte depositie is dit aantal 68. Daarnaast zijn er 26 locaties waarbij de berekende LDE meer dan een factor 2 afwijkt. De invloed van de lokale omgeving is sterk afhankelijk van de wijze van depositie: droog of nat. Dit hangt hoofdzakelijk samen met de aanwezigheid van bomen en/of struiken, aangezien het loof de grootste verschillen heeft in de vangst van droge of natte depositie. Hierop voortbouwend verdient het dus aanbeveling om vier invangfactoren per meetpost te gaan gebruiken: natte en droge depositie gecombineerd met 'zomer' en 'winter'. Waarbij 'zomer' en 'winter' slechts slaat op de aan- of afwezigheid van bladeren aan de bomen en struiken.

Bomen binnen 3 m reduceren de meetpost tot stralingsmelder, de gemeten niveaus zijn dan te afhankelijk van de dimensie van de bomen en de invangfactor. De bomen die op grotere afstand dan 8 m staan hebben een zekere invloed maar de bijdrage aan de onzekerheid is klein, c.q. voor deze 8 meter en verder is waarschijnlijk de meer generieke GIS methode voldoende nauwkeurig. Tussen de 3 en 8m kan de schatting van de LDE aanzienlijk worden verbeterd wanneer de aanwezige bomen nauwkeurig geparameteriseerd zijn. Dit geldt ook voor eventuele (verharde) wandelpaden waarlangs de detectoren nog wel eens staan. Op basis van de foto's ter plaatse zou dan met een extra routine bomen en wegen aan de GIS-bestanden kunnen worden toegevoegd. Een andere, misschien niet altijd realiseerbare oplossing, zou het verwijderen van bomen en struiken tot 3 m rondom een meetpost kunnen zijn.

De aanwezigheid van gebouwen blijkt niet het grootste probleem. De directe afscherming en afwijkend bodemgebruik hebben eenvoudig te modelleren consequenties voor de LDE. Ook het verlies van de informatie over de oriëntatie bij het gebruikmaken van GIS blijkt niet veel invloed te hebben op het NMR als geheel. Dit komt natuurlijk ook voort uit het feit dat bij de plaatsing van de detectoren er een voorschrift was om dit niet 'vlak naast' een gebouw te doen. Echter voor een beperkt aantal locaties faalt de generieke GIS-methode. De lokale informatie moet dan weer helpen om de juiste keuze te maken om de afscherming door de gebouwen te berekenen en niet het gemiddelde te nemen wat standaard gebeurt. De locaties waar de detector op het gebouw staat was nog niet voorzien in de methodiek en moet beter opgenomen worden.

De onderlinge overeenstemming van GPS, TOP-10 GIS kaarten, en Google Earth voor plaatsaanduidingen bleek onvoldoende voor ons doel. De coördinaten van alle locaties zijn daarom aangepast aan de relatieve locatie op de TOP-10 kaarten.

Vervolg

In een vervolg studie zou het bodemgebruik dat bepaald is via de GIS methode gecontroleerd moeten worden voor de eerste 8m rond de detector en zo nodig aangepast. Het foto's bestand, eventueel aangevuld met Google streetview, geeft

voldoende informatie hiervoor. Het gaat hier ook met name om het bodemgebruik dat nu nog in de categorie 'overig' valt. Verharde paden/wegen waarlangs de meetposten staan en aanwezige bomen binnen een ring van 3 tot 8m moeten worden opgemeten. Meetlocaties met bomen binnen de 3m moeten extra aangevinkt worden. Er blijken betrekkelijk veel locaties te zijn waarbij de Vinckierkast is "ingebouwd" in een heg. Het is daarom wenselijk een routine te ontwikkelen die een standaard heg (wel of niet groenblijvend) om de detector, of een halve heg, kan toevoegen aan de ring-bestanden.

De totale afwijking van de ideale situatie zou ook een rol moeten gaan spelen bij de aanduiding van de betrouwbaarheid van een locatie. Nu is alleen het verschil tussen droge en natte depositie maatgevend voor de betrouwbaarheid van de locatie. Op deze manier wordt wel snel duidelijk of op de locatie veel of weinig bomen staan. Ook bij droog weer blijven bomen die dichtbij staan de grootste onzekerheid veroorzaken.

Met deze maat voor de betrouwbaarheid blijkt dat we 82 locaties kunnen aanduiden als betrouwbaar; het relatieve verschil tussen droge en natte depositie is daar maximaal 20%. Een 4-tal locaties komt meteen al als onbetrouwbaar naar voren omdat hier het verschil meer dan een factor 10 is. Waarschijnlijk is deze eerste analyse een bovengrens van de kwaliteit van het meetnet.

De invloed van de gebouwen op de verspreiding van de wolk is in deze studie nog geheel buiten beschouwing gelaten. In werkelijkheid zal de variatie in depositie groter zijn dan wanneer alleen het verschil van invangfactoren meegenomen wordt. Gebouwen worden dan meer bepalender voor de betrouwbaarheid. Effecten van oppervlakte ruwheid, glooiing van het landschap tot lokale heuveltjes zijn ook niet meegenomen. In de regel zullen ze een afschermende werking hebben en daarmee dus de dichterbij gelegen obstakels en objecten belangrijker maken.

Tot slot zal nagegaan moeten worden hoe de verdeling van de betrouwbare en minder betrouwbare meetposten over Nederland is. Dit zou een reden kunnen zijn om op een aantal meetlocatie meer te investeren door bijvoorbeeld bomen te kappen. of meetpost te verplaatsen.

Verantwoording

De GIS berekeningen zijn uitgevoerd op het RIVM-GIS door G. Kelfkens, DMG. De verificatie van de locaties op de TOP-10 kaarten is uitgevoerd door de beheerder van het NMR R. Tax, VLH, in nauwe samenwerking met G. Kelfkens. De foto's ter plaatse zijn hoofdzakelijk gemaakt door J. Secker van NRG, Petten, die het reguliere onderhoud verzorgt. Ook is gebruik gemaakt van de fotobestanden beschikbaar via Google Maps en bijbehorende Streetview.

7 Literatuur

R.O. Blaauboer, Soil_Rad - A computer program to calculate air kerma, ambient dose rate and effective dose rate due to photons emitted by radionuclides distributed in soil or on the soil-air surface. RIVM Report no. 610064001, 1995.

R.O. Blaauboer en R.C.G.M. Smetsers, Variations in outdoor radiation levels in the Netherlands, Proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen, 1996.

Sørensen, Getpoints.exe, Version 1.4, 1995.

D.K. Trubey A survey of empirical functions used to fit gamma-ray buildup factors. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge TN, Report ORNL-RSIC-10, 1996.

M. Zähringer and J. Sempau, Calibration factors for dose rate probes in environmental monitoring networks obtained from Monte-Carlo-simulations. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bfs-IAR-2, 1997.

M. Zähringer and G. Pfister, Representativeness and comparability of dose rate measurements: Description of site-specific uncertainties and data bias. Kerntechnik 63, 4, 1998.

8 Appendix

8.1 Binnen of buiten een polygoon

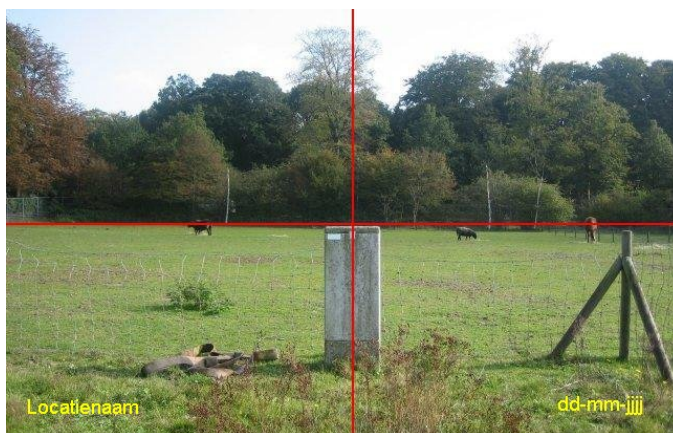
Het algoritme dat bepaalt of een testpunt zich in of buiten een polygoon bevindt telt het aantal lijnen opgespannen door twee opeenvolgende punten uit het polygoon dat gepasseerd wordt komend van ' $-\infty$ ' naar het testpunt. Is dit aantal oneven dan betekent dat dat het punt binnen het polygoon ligt, en visa versa. Met bijvoorbeeld de zoekterm "point in polygon" kan gemakkelijk dit algoritme gevonden worden, uitgewerkt in allerlei programmeertalen.

Voor een gebouw kan de besmetting van de voorgevel van belang zijn. De voorgevel is, of zijn de gevels, zichtbaar vanuit de positie van de detector. We moeten dus ook uit het polygoon voor een gebouw de punten kunnen bepalen die de voorgevel van de gebouwen opspannen. Het volgende criterium onderscheidt juist die punten van de rest van de punten uit het polygoon: voor een driehoek opgespannen door de oorsprong en twee opeenvolgende punten uit het polygoon die een voorgevel opspannen geldt exclusief de eigenschap dat alle punten in deze driehoek buiten het gebouw liggen. (N.B. de detector bevindt zich in de oorsprong.)

Elk punt uit het polygoon kan nog een z-waarde meekrijgen om de hoogte van een gebouw aan te geven. Een stap in de hoogte van een gebouw (bijvoorbeeld kantelen) kan eenvoudig aangebracht worden door hetzelfde grondpunt nog een keer op te geven, eerst met hoogte A en vervolgens met hoogte B. De hoogte van gebouwen kan alleen met behulp van de foto's ter plaatse worden geschat.

8.2 Fotoprotocol

We zijn tot het volgende protocol gekomen:
acht foto's op ongeveer 5m afstand rondom de kast, hoogte toestel gelijkvallend met de hoogte van de meterkast, kast staat in het midden van de foto, horizon in midden van de foto, m.a.w. de optische as horizontaal. De locatiennaam en datum worden zichtbaar gemaakt in elke foto.



Figuur A1. Voorschrift foto's. De rode lijnen geven de helft van afmetingen van de foto aan. De horizontale lijn moet samenvallen met de horizon. N.b. deze voorbeeld foto is gemaakt met een standaard RIVM camera zonder groothoek lens.



Figuur A2. Voorbeeld van foto's Apeldoorn gemaakt met de NRG-camera, door NRG.

8.3 Voorbeelden polygoon bestanden

Onderstaand twee voorbeelden van een polygoon bestand: voor bomen bij de locatie Apeldoorn, nummer 1066, en voor gebouwen bij de locatie Amersfoort, nummer 1046. De opbouw van de bestandsnamen met de codes 'BMN' voor bomen en 'GBW' voor gebouwen is voorgeschreven. Voor de andere obstakels gelden soortgelijke bestandscodes. Alle afstanden zijn in meters.

1066_BMN.dat - Notepad							1046_GBW.dat - Notepad						
Apeldoorn Bomen							Amersfoort Gebouwen						
Factor Natte Depositie: 0.1							Factor Natte Depositie: 0.6						
Factor Droge Depositie: 20							Factor Droge Depositie: 1.7						
Num	x	y	z	h1	h2		#	X	Y	Z			
1	-4.7	-3.1	3	0	3.0		1	0	0	0			
2	-39.6	22.1	1.0	0	6.0		2	-9.5	10.4	3			
3	-7.9	-8.7	4.0	1.8	6.0		3	-12.8	10.6	3			
4	-17.4	-25.9	1.3	2.0	4.0		4	-35.3	-17	3			
5	-16.5	-19.8	1.3	2.0	4.0		5	-46.7	-4.5	2			
6	-13.8	-37.7	2.0	1.8	6.0		6	-46.7	-4.5	2			
7	-24.0	-43.8	2.0	1.8	6.0		7	-44.1	-2.5	2			
8	-4.6	-46.1	3.0	1.8	6.0		8	-40.5	-5.7	2			
9	8.0	-39.5	1.5	0	7.0		9	-35.3	-0.4	2			
10	11.2	-40.7	1.5	0	7.0		10	-27	-6	2			
11	17.6	-38.1	1.5	0	7.0		11	-22.5	-0.2	2			
12	34.7	-46.8	2.0	2.0	7.0		12	-22.5	-0.2	5			
13	16	-17	3.5	2.0	7.0		13	-34.1	5.4	5			
14	36.4	-1.1	2.2	0	3.0		14	-32	13.8	5			
15	26.8	3.9	2.5	0	3.0		15	-31.5	17.9	5			
							16	-32.4	24.2	5			
							17	-20.1	27.3	5			
							18	-20.1	27.3	3			
							19	-21	32.8	3			

8.4 Ontwikkelde Programmatuur

Voor de analyse hebben we twee versies van het programma Lokaal Effect Op Nmr (LEON) geschreven:

LEON_v2.exe
LEON_ringv1.exe

Beide programma's zijn van juni 2011. De programma's zijn geschreven in Pascal en draaien vanaf de command-line. De GIS resultaten worden verwerkt met LEON_ringv1. De polygoon verwerking gebeurt met LEON_v2. Standaard wordt alles berekend voor 600 KeV gammastraling. Dit is eenvoudig aan te passen binnen de code maar niet voorzien als stuurparameter. Het doorrekenen van het gehele NMR kost enkel minuten. De aparte numerieke integratie van bijdrage van bomen, kost een paar seconde per boom.

De GIS berekeningen zijn uitgevoerd door G. Kelfkens. De uitvoer is voor elke maximale afstand een excelbestand waarin de oppervlakte per categorie per meetlocatie staan. Een ASCII versie van deze bestanden worden met een Pascal programma omgerekend naar ring-bestanden voor elke locatie, een voorbeeld daarvan is gegeven in Fig. 10 rechtsonder. Tijdens dit proces wordt het oppervlak van de gebouwen verdisconteerd via de volgorde zoals beschreven in par. 4.3. Het resterende oppervlak in de categorie 'overig' wordt als 'gras' geïnterpreteerd. In een verbeterde versie zou op dit punt bijvoorbeeld uit een lijst eenvoudig een andere keuze gemaakt kunnen worden. Of de categorie 'overig' zou gehandhaafd kunnen worden met een afwijkende factor.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl