

## 21 Radar bebouwd gebied

### *Inzicht in extreme neerslag in de stad op basis van langjarige radardatasets met veel ruimtelijk detail*

Extreme neerslag in de stad kan voor aanzienlijke wateroverlast zorgen. Om meer inzicht in het functioneren van het rioolstelsel en de bovengrondse ruimte bij hevige regen te krijgen, kan het nuttig zijn een extreme neerslaggebeurtenis en haar gevolgen te bestuderen. Hiertoe bieden twee recent opgebouwde klimatologische radardatasets nieuwe mogelijkheden. Deze reeksen over de perioden 1998-2012 (6 km<sup>2</sup> vakken) en 2009-2012 (1 km<sup>2</sup> vakken) geven landsdekkende neerslaginformatie met veel ruimtelijk detail. In dit artikel analyseren we deze gegevens om meer inzicht te krijgen in het optreden van extreme neerslag in Nederland, in het bijzonder in stedelijk gebied. Aan bod komen de gemiddelde frequentie van extreme neerslag per jaar, de meest extreme neerslaggebeurtenissen en de frequentie van extreme neerslag per gemeente. De resultaten bieden ruimte voor een andere benadering van extreme neerslag in de stad.

#### **Inhoud**

- 21.1 Belang van regenmetingen in de stad
  - 21.2 Radar, klimatologische radardatasets en extremeneerslagstatistiek
  - 21.3 Frequentie extreme neerslag ergens in Nederland en in de stad
  - 21.4 Meest extreme neerslaggebeurtenissen in stedelijk gebied
  - 21.5 Frequentie extreme neerslag per gemeente
  - 21.6 Beperkingen en toekomstige ontwikkelingen
- Literatuur

#### **Auteur**

dr. ir. Aart Overeem (Leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer van Wageningen University en Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut),  
aart.overeem@wur.nl

#### **Dankwoord**

De auteur bedankt Remko Uijlenhoet (Wageningen University) en Hidde Leijnse (KNMI) voor het becommentariëren van een concept van dit artikel.

## 21.1 Belang van regenmetingen in de stad

Extreme neerslag in de stad kan voor aanzienlijke wateroverlast zorgen. Om meer inzicht in het functioneren van het rioolstelsel en de bovengrondse ruimte bij hevige regen te krijgen, kan het nuttig zijn een extreme neerslaggebeurtenis en haar gevolgen te bestuderen. Maar daarvoor hebt u veel neerslaggegevens van goede kwaliteit nodig. Omdat landgebruik, riolering en hoeveelheid regen van plaats tot plaats sterk kunnen verschillen, is het belangrijk de regen met zo veel mogelijk ruimtelijk en temporeel detail en zo nauwkeurig mogelijk in kaart te brengen. Bovendien wordt regen in stedelijk gebied meestal snel afgevoerd en heeft een gemiddeld rioolstelsel een afvoercapaciteit van 20-30 mm per uur. Daarom is vooral behoefte aan een goede registratie van 5- tot 60-minutensommen.

Het doorgaans kleine aantal bruikbare regenmeters in of nabij de stad kan de benodigde neerslaginformatie niet leveren. In combinatie met radargegevens van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) ontstaat wel betere neerslaginformatie. De radars brengen de ruimtelijke structuur van regenval in detail in kaart, terwijl de regenmeters (bij een goede opstelling en voldoende onderhoud) lokaal nauwkeurige metingen aan de grond geven. De KNMI-radarneerslagproducten worden dan ook steeds meer gebruikt in regionaal en stedelijk waterbeheer (*Reichard et al., 2011*; NationaleRegenRadar.nl).

| 285

Om meer inzicht te krijgen in het optreden van extreme neerslag in Nederland, heeft het KNMI in samenwerking met de Leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer van Wageningen University twee klimatologische radardatasets opgebouwd en geanalyseerd. Deze gegevens over de periode 1998-2012 hebben gemiddeld een hogere kwaliteit dan de operationeel beschikbare radarinformatie van het KNMI. Ze bieden nieuwe mogelijkheden, omdat ze landsdekkende neerslaginformatie geven met veel ruimtelijke details.

Dit artikel beschrijft eerst kort hoe radarneerslaginformatie tot stand komt en welke neerslaggegevens de klimatologische radardatasets bevatten. Vervolgens krijgt u op basis van de analyse meer inzicht in het optreden van extreme neerslag in Nederland, in het bijzonder in stedelijk gebied. Aan bod komen de gemiddelde frequentie van extreme neerslag per jaar, de meest extreme neerslaggebeurtenissen en de frequentie van extreme neerslag per gemeente.

## 21.2 Radar, klimatologische radardatasets en extremeneerslagstatistiek

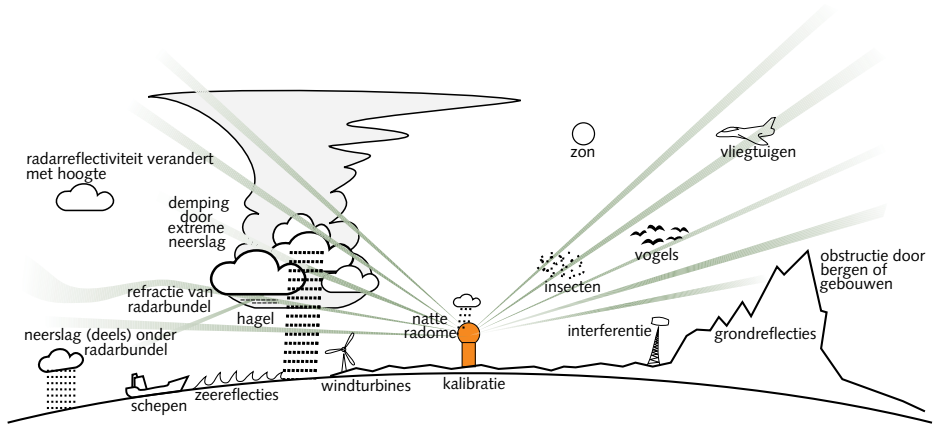
Een weerradar (ook wel buienradar of neerslagradar genoemd) zendt elektromagnetische golven uit en meet het door neerslag teruggekaatste vermogen. Uit de tijd die verstrijkt

tussen het uitzenden en ontvangen van een puls, wordt de afstand van de neerslag tot de radar berekend. Het ontvangen vermogen wordt omgerekend naar een regenintensiteit. Het KNMI beschikt over twee weerradars, een in De Bilt en een in Den Helder.

### Beperkingen radarbeelden

Het KNMI berekent elke vijf minuten voor elke 1 km<sup>2</sup> van Nederland een regenintensiteit. Maar deze kan behoorlijk afwijken van de opgetreden regenintensiteit op een punt aan het aardoppervlak. De fouten(bronnen) die hiervoor kunnen zorgen (Holleman, 2006), ziet u deels in figuur 21.1.

286 |



**Figuur 21.1** Fouten(bronnen) die neerslagschatting met weerradar negatief kunnen beïnvloeden (Bron: Markus Peura, Finnish Meteorological Institute, vertaald naar het Nederlands).;

Zo meet de radar neerslag indirect en niet aan de grond, maar meestal op enkele honderden tot duizenden meters boven het aardoppervlak. Daarnaast kunnen extreme buien het uitgezonden signaal aanzienlijk dempen, waardoor neerslag wordt onderschat. Om radarneerslagbeelden in het stedelijk waterbeheer te kunnen gebruiken, is correctie van die gegevens essentieel. In veel landen worden de radarbeelden daarom met regenmeterdata gecorrigeerd, ook in Nederland.

### Frequentie extreme neerslag

De huidige neerslagstatistieken geven doorgaans de kans op extreme neerslag op een vaste locatie en soms voor een vast gebied (Smits *et al.*, 2004; KNMI, 2013). De gemiddelde herhalingsperiode geeft aan dat een extreem, bijvoorbeeld 40 mm regen of meer op een gegeven plaats in 60 minuten, gemiddeld eens in de zoveel jaar optreedt. Dat is waardevolle informatie die wordt gebruikt voor ontwerpdoeleinden in het waterbeheer. Maar de kans op overschrijding van een gegeven hoeveelheid ergens in een gebied is veel groter dan de overschrijdingskans op een vaste locatie in dat gebied. Dit is in te

zien door te beseffen dat een bui vaak over een gebied trekt en daardoor op veel locaties regen geeft. Als we nu het aantal extremen in het hele gebied tellen, dan missen we deze bui niet. Maar als we op een vaste locatie in dat gebied tellen, dan zal de bui die locatie vaak niet hebben bereikt, waardoor de bui wordt gemist. De kans op extreme neerslag op een willekeurige locatie in een gebied, bijvoorbeeld ergens in Nederland, is dus (veel) groter dan de bekende neerslagstatistieken aangeven. De gemiddelde herhalingstijd voor het overschrijden van dezelfde neerslagsom ergens in een gebied wordt daarom (veel) korter. De bestaande neerslagstatistieken zijn hierdoor niet fout, maar geven een antwoord op een andere vraag.

#### *Twee klimatologische radardatasets*

De twee opgebouwde en geanalyseerde klimatologische radardatasets in dit artikel hebben gemiddeld een hogere kwaliteit dan de (near realtime) operationele radar-neerslagproducten van het KNMI. Gevalideerde en complete data van beide KNMI-regenmeternetwerken (hand- en automatische regenmeters) zijn gebruikt om de radar-data te corrigeren om zo goed mogelijke, landsdekkende neerslaginformatie te krijgen. De eerste radardataset bestrijkt de periode 1998-2012 en geeft 5-minutenneerslagsommen in pixels van ongeveer 6 km<sup>2</sup> (Overeem et al., 2009a; Overeem et al., 2009b). Met deze dataset is de kans op het optreden van extreme (gebieds)neerslag afgeleid (Overeem et al., 2009c; Overeem et al., 2010; Overeem en Buishand, 2012). De tweede radardataset bevat landsdekkende neerslaginformatie over de periode 2009-2012 voor pixels van ongeveer 1 km<sup>2</sup> (Overeem et al., 2011).

| 287

#### *Andere benadering extreme neerslag*

Doordat de radardatasets landsdekkende neerslaginformatie bieden en daarmee langjarige reeksen zijn opgebouwd, is het aantal extreme neerslaggebeurtenissen in heel Nederland te tellen over een lange periode. Dit biedt ruimte voor een andere benadering van extreme neerslag in de stad:

- Ten eerste treedt de extreme neerslag gemiddeld vaker op ergens in de stad dan op een vaste locatie in die stad, afhankelijk van de grootte van die stad uiteraard. Het is relevant om daar in het stedelijk waterbeheer rekening mee te houden.
- Ten tweede bieden de reeksen samen een totaaloverzicht van de opgetreden extreme gebeurtenissen in alle stedelijke gebieden in Nederland over de periode 1998-2012. In het huidige klimaat komen de grootste extremen in één stad niet vaak voor, maar treden ze wel vaker op in het totale stedelijke gebied in Nederland. Ze zouden dus ook in uw stad kunnen voorkomen. Hierop zou u kunnen anticiperen door zo kosten-efficiënt mogelijke maatregelen te nemen om schade en overlast te beperken.



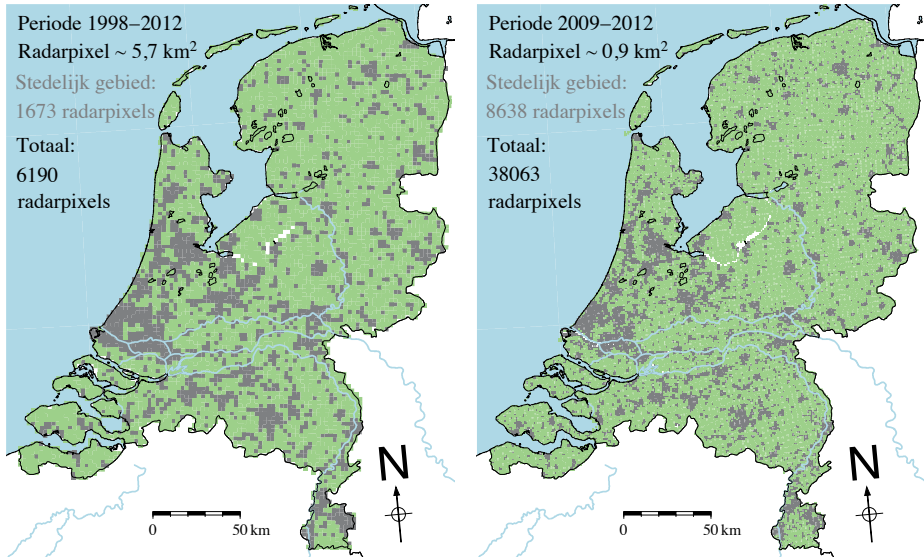
### Overschrijden drempelwaarden

Dit artikel toont hoe vaak drempelwaarden worden overschreden voor voortschrijdende 15- en 60-minutensommen voor elke 5 minuten en 24-uursommen voor elk klokuur. Dit doen we voor de twee genoemde klimatologische radardatasets. De eerste dataset bestrijkt een periode van vijftien jaar en heeft een databeschikbaarheid van ca. 85%. De tweede dataset heeft een lengte van vier jaar, maar een databeschikbaarheid van vrijwel 100%. Bovendien is de neerslag in deze tweede dataset met meer ruimtelijk detail vastgelegd. De reden dat we in de tijd overlappende 15- en 60-minutensommen van elke 5 minuten gebruiken, is dat we zo de grootste extremen vinden. Als we bijvoorbeeld maar één 60-minutensom per klokuur gebruiken, zullen we vaak een lagere waarde vinden, waardoor we de hoogste extremen niet opmerken.

288 |

### Stedelijke en niet-stedelijke gebieden

De analyses voeren we uit voor het gehele landoppervlak van Nederland en voor alle stedelijke gebieden in ons land. Een radarpixel wordt als stedelijk gebied aangemerkt als minstens 10% van het oppervlak is bebouwd (op basis van het Bestand Bodemgebruik CBS uit 2008). Dit resulteert in ongeveer 9.600 km<sup>2</sup> (27%) stedelijk gebied voor de 6 km<sup>2</sup>-radardataset (dataset 1) en ongeveer 7.900 km<sup>2</sup> (23%) voor de 1 km<sup>2</sup>-radardataset (dataset 2) op een totaal van ongeveer 35.000 km<sup>2</sup> landoppervlak. Figuur 21.2 geeft de stedelijke en niet-stedelijke gebieden aan voor beide radardatasets.



Figuur 21.2 Stedelijk (grijs) en niet-stedelijk (groen) gebied in Nederland voor beide radardatasets.

### 21.3 Frequentie extreme neerslag ergens in Nederland en in de stad

Voor de radardatasets hebben we geturfd hoe vaak drempelwaarden ergens in Nederland worden overschreden. In het kader leest u hoe we aan de gemiddelde frequentie per jaar zijn gekomen.

#### Gemiddelde frequentie per jaar

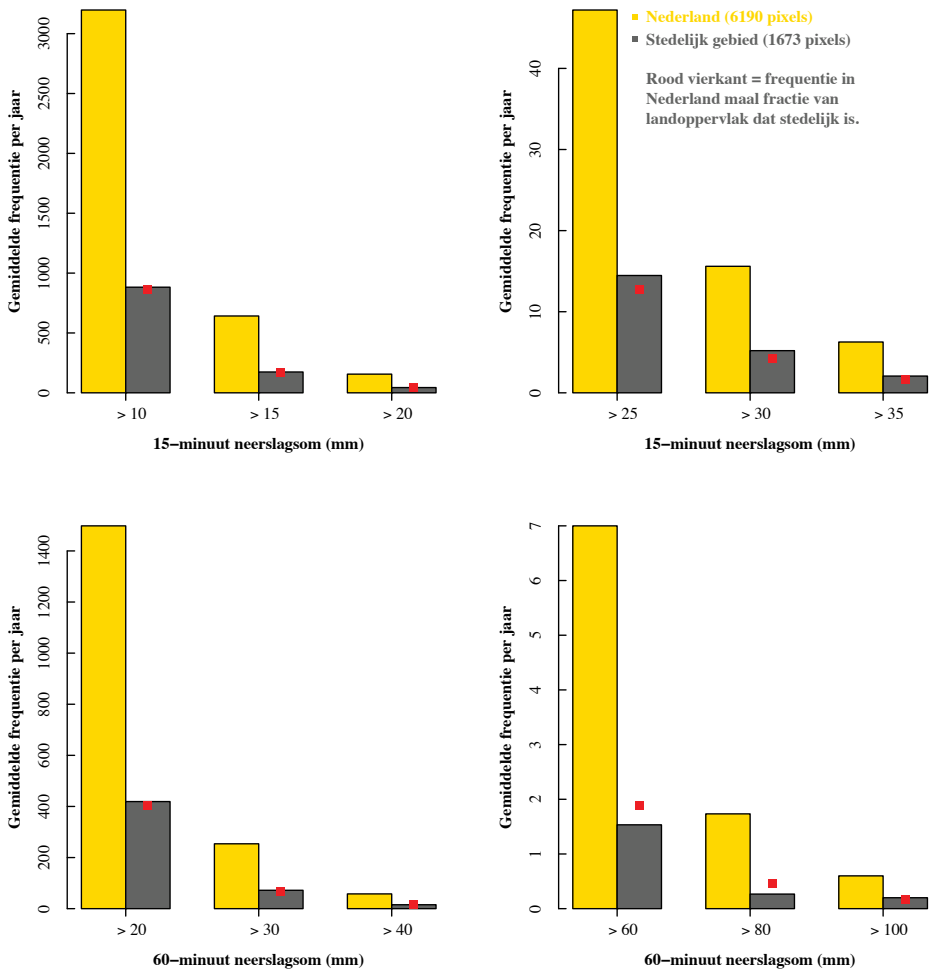
Voor een gekozen radardataset en duur rangschikken we de extremen van groot naar klein. We selecteren de grootste gebeurtenis. Vervolgens selecteren we de volgende gebeurtenis door te eisen dat deze van een andere radarpixel is of geen overlap in de tijd heeft. Stel dat de vorige gebeurtenis, een 15-minutensom, tot 14:00 uur duurde, dan mogen we de volgende gebeurtenis van hetzelfde radarpixel selecteren als deze om 14:15 uur eindigt en een volgende gebeurtenis selecteren die in een ander radarpixel is opgetreden. Deze procedure herhalen we voor alle resterende extremen. Hierbij moet steeds aan bovenstaande eisen worden voldaan ten opzichte van alle al geselecteerde extremen. Met de verkregen lijst met extremen, die elkaar dus niet in de tijd kunnen overlappen op dezelfde locatie, berekenen we vervolgens voor verschillende drempelwaarden de overschrijdingsfrequentie voor heel Nederland (stedelijk + niet-stedelijk gebied). Het totale aantal overschrijdingen delen we vervolgens door het aantal jaren. Eventuele seizoenseffecten nemen we dus niet mee. Deze analyse hebben we ook uitgevoerd voor het totale stedelijke gebied in Nederland.

| 289

Figuur 21.3 toont de gemiddelde overschrijdingsfrequentie per jaar over de periode 1998-2012 voor de 6 km<sup>2</sup>-radardataset voor 15- en 60-minutensommen. Zo wordt een 15-minutenneerslagsom van 25 mm of meer gemiddeld ongeveer veertien keer per jaar ergens in een stedelijk gebied van 6 km<sup>2</sup> gemeten. Een 60-minutensom van 40 mm of meer wordt gemiddeld ongeveer vijftien keer per jaar ergens in stedelijk gebied waargenomen. Een dergelijke hoeveelheid kan lokaal al voor wateroverlast zorgen. Ernstige wateroverlast is zeker te verwachten bij 60-minutensommen van 60 mm of meer. Deze treden gemiddeld zeven keer per jaar op in een pixel van 6 km<sup>2</sup> in Nederland, waarvan ongeveer twee keer per jaar in stedelijk gebied.

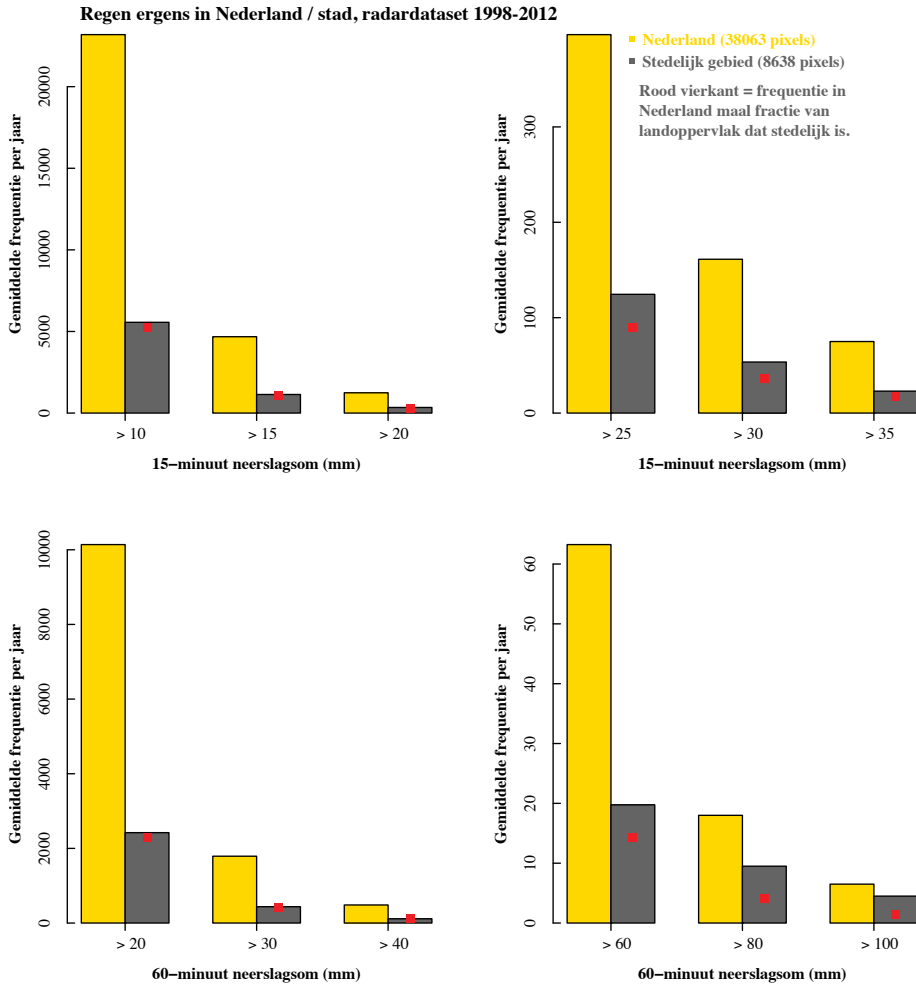
Figuur 21.4 toont de gemiddelde overschrijdingsfrequentie per jaar over de periode 2009-2012 voor de 1 km<sup>2</sup>-radardataset voor 15- en 60-minutensommen. Deze tweede dataset brengt de neerslag met veel hoger ruimtelijk detail in kaart dan dataset 1. Een 60-minutensom van 40 mm of meer wordt nu zelfs ongeveer 114 keer per jaar ergens in stedelijk gebied waargenomen. Een 60-minutensom van 60 mm of meer treedt gemiddeld ongeveer 63 keer per jaar op in een pixel van 1 km<sup>2</sup> in Nederland, waarvan ongeveer twintig keer in stedelijk gebied

Regen ergens in Nederland / stad, radardataset 1998-2012



Figuur 21.3 Gemiddelde frequentie per jaar waarmee drempelwaarden worden overschreden voor 15- en 60-minutensommen van de 6 km<sup>2</sup>-radardataset over de periode 1998-2012, op een willekeurige plek in Nederland (geel) en op een willekeurige plek in stedelijk gebied (grijs).

Op basis van deze cijfers kunnen we concluderen dat neerslaggebeurtenissen met verwachte grote wateroverlast elk jaar frequent voorkomen in stedelijk gebied in Nederland. Verder valt op dat de frequentie bij de 1 km<sup>2</sup>-radardataset veel hoger is dan bij de 6 km<sup>2</sup>-radardataset. De meest voor de hand liggende verklaringen hiervoor zijn de hogere ruimtelijke resolutie (38.063 radarpixels in plaats van 6.190) en het feit dat extremen gemiddeld hoger worden voor kleinere gebieden (*Overeem en Buishand, 2012*).



Figuur 21.4 Gemiddelde frequentie per jaar waarmee drempelwaarden worden overschreden voor 15- en 60-minutensommen van de 1 km<sup>2</sup>-radardataset over de periode 2009-2012, op een willekeurige plek in Nederland (geel) en op een willekeurige plek in stedelijk gebied (grijs).

Figuren 21.3 en 21.4 tonen een rood vierkant bij de frequentie van extreme neerslag in de stad. Deze geeft aan welke frequentie is te verwachten als we de extremen in heel Nederland naar rato van oppervlak zouden verdelen over stedelijk en niet-stedelijk gebied. Is de frequentie in de stad hoger dan het rode vierkant, dan is naar verhouding vaker neerslag in de stad gemeten dan je zou verwachten op basis van het oppervlak aan stedelijk gebied. Voor de 6 km<sup>2</sup>-radardataset is de frequentie in de stad meestal nauwelijks lager of hoger. Hetzelfde kunnen we zeggen van de lagere extremen voor

de 1 km<sup>2</sup>-radardataset (links, figuur 21.4). Daarentegen is de frequentie in de stad vaak duidelijk hoger voor de hogere extremen (rechts, figuur 21.4). De grootste buien lijken gemiddeld dus wat vaker in de stad op te treden. Dit moeten we wel enigszins relativeren, omdat het aantal waarnemingen soms wel erg laag is voor hoge drempelwaarden.

#### *Kanttekeningen*

Enige kanttekeningen bij figuren 21.3 en 21.4 zijn wel op hun plaats. De figuren geven geen inzicht in het aantal unieke neerslaggebeurtenissen. Een bui trekt doorgaans over meerdere radarpixels en kan ook langere tijd regen geven op een plek, waardoor de bui meerdere keren geteld kan worden. Aan de andere kant geven de figuren hierdoor wel meer inzicht in de hoeveelheden die zijn gevallen. Bovendien overlappen extremen van dezelfde locatie elkaar niet in de tijd. Ten slotte is de databeschikbaarheid voor de 6 km<sup>2</sup>-dataset ca. 85%, waardoor de frequentie kan worden onderschat.

292 |

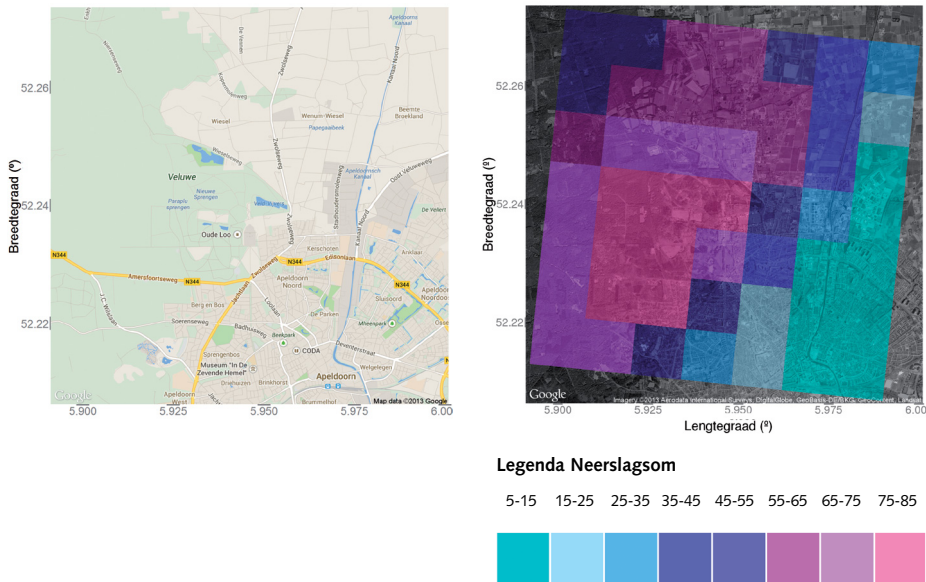
Voor de 6 km<sup>2</sup>-radardataset is een 60-minutensom van 20 mm of meer gemiddeld ongeveer 1.498 keer per jaar ergens in Nederland waargenomen. Hieruit zouden we kunnen concluderen dat de gemiddelde herhalingstijd ruim vier jaar is (het aantal radarpixels is 6.190). Maar volgens de extremeneerslagstatistiek op basis van dezelfde radardataset (maar periode 1998-2008) wordt een dergelijke hoeveelheid gemiddeld slechts een keer per tien jaar overschreden in een vast radarpixel. Dit verschil verdient enige uitleg. In feite worden appels met peren vergeleken. Bij de extremeneerslagstatistiek wordt de ruimtelijke afhankelijkheid van regen meegenomen. Deze statistieken gelden dan ook voor unieke, van elkaar onafhankelijke locaties, dus voor unieke neerslaggebeurtenissen. Maar bij de tellingen die we hier presenteren, zullen veel gebeurtenissen geclusterd in de ruimte voorkomen. Dan zijn de extreme waarden dus vaak ruimtelijk afhankelijk, waardoor de frequentie hoger wordt. Ook zullen gebeurtenissen elkaar regelmatig opvolgen in de tijd, terwijl bij het afleiden van de extremeneerslagstatistiek vaak maar één maximum per locatie wordt gebruikt, het jaarmaximum. Het laatste kan ook leiden tot enige onderschatting van de frequentie. Maar bij een herhalingstijd van slechts vijf jaar wordt dit effect al verwaarloosbaar klein. De extremeneerslagstatistiek kunnen we dus niet zomaar omrekenen naar een frequentie over heel Nederland door te vermenigvuldigen met het aantal radarpixels. En de tellingen zijn vanwege hun ruimtelijke en temporele afhankelijkheid niet zomaar om te rekenen naar een herhalingstijd per radarpixel (een vast radarpixel). De bestaande extremeneerslagstatistieken en de tellingen geven dus een antwoord op verschillende vragen en kunnen we niet zomaar naar elkaar omrekenen.

## 21.4 Meest extreme neerslaggebeurtenissen in stedelijk gebied

Wat zijn de meest extreme 15- en 60-minutensommen die in stedelijk gebied in Nederland zijn gemeten? Tabellen 21.1 tot en met 21.4 geven een top-10 van extreme gebeurtenissen over de periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>, dataset 1) en 2009-2012 (1 km<sup>2</sup>, dataset 2). Een extreme gebeurtenis is alleen aan de lijst toegevoegd als ten minste 6 uur en/of 20 km tussen deze en de al geselecteerde extremere gebeurtenis(sen) zit. Inspectie van het radarbeeld van elke geselecteerde gebeurtenis toont aan dat soms geen sprake is van extreme neerslag. Zo wordt de hoogste 15- en 60-minutensom voor de 1 km<sup>2</sup>-radardataset veroorzaakt door grondecho's in de gemeente Rotterdam. In de tabellen staat welke extremen correct zijn, oftewel, echt neerslag. Dat neemt niet weg dat de waarde nog fors kan afwijken van wat daadwerkelijk aan de grond zou zijn gemeten. Alle werkelijke neerslaggebeurtenissen in de tabellen zijn overigens waargenomen in de periode mei-september. De X-coördinaat (X) en Y-coördinaat (Y) in tabellen 21.1-21.4 geven het midden van de radarpixel aan in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting.

| 293

Voor de 1 km<sup>2</sup>-radardataset is de op één na hoogste 60-minutenneerslagsom in stedelijk gebied gemeten in Apeldoorn op 3 juli 2009. Van 15:10-16:10 uur lokale tijd werd 79 mm gemeten in het noordwesten van Apeldoorn in een pixel van 1 km<sup>2</sup> (zie figuur 21.5).



Figuur 21.5 De op één na hoogste 60-minutenneerslagsom in stedelijk gebied in Nederland in de periode 2009-2012 (1 km<sup>2</sup>), gemeten in Apeldoorn op 3 juli 2009 van 15:10-16:10 uur lokale tijd.

Tabel 21.1: Tien hoogste 15-minutenneerslagsommen in stedelijk gebied in Nederland over periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>-radardataset).

Nr.	Datum en lokale tijd van einde meting	X (km)	Y (km)	Neerslag (mm)	Gemeente	Correct*
1	22 augustus 2000, 12:50	116,475	516,529	73	Heerhugowaard	Nee
2	3 juli 2000, 18:10	137,094	401,481	58	Tilburg	Ja
3	29 mei 1998, 23:00	153,211	368,799	54	Bergeijk	Ja
4	7 juli 1999, 15:50	125,292	455,449	50	Woerden	Ja
5	28 juni 2011, 20:15	138,427	415,761	46	Heusden	Ja
6	5 juli 2001, 18:45	200,154	309,297	40	Vaals	Ja
7	7 augustus 2002, 16:00	173,352	581,349	39	Menameradiel	Ja
8	28 juli 2000, 20:00	196,767	472,767	39	Apeldoorn	Ja
9	28 juli 2006, 19:50	158,241	447,553	38	Utrechtse Heuvelrug	Ja
10	16 juli 2003, 21:15	234,990	444,952	37	Oost Gelre	Ja

Tabel 21.2: Tien hoogste 60-minutenneerslagsommen in stedelijk gebied in Nederland over periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>-radardataset).

Nr.	Datum en lokale tijd van einde meting	X (km)	Y (km)	Neerslag (mm)	Gemeente	Correct*
1	29 mei 1998, 23:25	153,211	368,799	117	Bergeijk	Ja
2	3 juli 2000, 18:35	136,872	399,102	117	Tilburg	Ja
3	28 juli 2006, 20:05	158,241	447,553	79	Utrechtse Heuvelrug	Ja
4	22 augustus 2000, 12:50	116,475	516,529	76	Heerhugowaard	Nee
5	29 juni 2005, 23:45	127,849	431,161	75	Giessenlanden	Ja
6	7 augustus 2002, 16:20	173,352	581,349	73	Menameradiel	Ja
7	3 september 1998, 17:25	97,089	462,855	70	Leiderdorp	Ja
8	5 juli 2001, 19:15	200,154	309,297	67	Vaals	Ja
9	6 september 1999, 18:50	120,440	403,028	66	Oosterhout	Ja
10	8 juni 2007, 02:20	112,788	528,945	64	Schagen	Ja

\*correct: Ja = extreme neerslag. Nee = geen extreme neerslag, maar b.v. grondecho's.

Tabel 21.3: Tien hoogste 15-minutenneerslagsommen in stedelijk gebied in Nederland over periode 2009-2012 (1 km<sup>2</sup>-radardataset).

Nr.	Datum en lokale tijd van einde meting	X (km)	Y (km)	Neerslag (mm)	Gemeente	Correct*
1	18 mei 2012, 14:50	62,456	444,153	69	Rotterdam	Nee
2	26 mei 2009, 04:20	136,729	456,619	57	Utrecht	Ja
3	28 juni 2011, 20:15	138,114	419,939	53	Zaltbommel	Ja
4	28 augustus 2010, 07:55	145,499	488,563	51	Almere	Nee
5	27 april 2012, 24:00	64,109	441,120	48	Rotterdam	Nee
6	6 juni 2011, 17:05	201,398	458,174	45	Brummen	Ja
7	5 juli 2012, 15:55	222,031	491,838	42	Raalte	Ja
8	3 juli 2009, 16:45	197,741	410,430	40	Gennep	Ja
9	10 juli 2010, 22:20	134,885	447,166	39	Nieuwegein	Ja
10	14 juli 2010, 17:40	177,315	317,528	39	Maastricht	Ja

Tabel 21.4: Tien hoogste 60-minutenneerslagsommen in stedelijk gebied in Nederland over periode 2009-2012 (1 km<sup>2</sup>-radardataset).

Nr.	Datum en lokale tijd van einde meting	X (km)	Y (km)	Neerslag (mm)	Gemeente	Correct*
1	18 mei 2012, 15:20	62,456	444,153	154	Rotterdam	Nee
2	27 april 2012, 21:05	63,155	441,205	152	Rotterdam	Nee
3	3 juli 2009, 17:00	197,833	411,382	101	Gennep	Ja
4	17 mei 2012, 19:25	61,246	441,375	89	Rotterdam	Nee
5	3 juli 2009, 16:10	193,143	472,462	79	Apeldoorn	Ja
6	5 juli 2012, 16:40	222,031	491,838	78	Raalte	Ja
7	19 mei 2012, 05:40	63,155	441,205	72	Rotterdam	Nee
8	26 mei 2009, 04:20	136,729	456,619	71	Utrecht	Ja
9	3 januari 2009, 10:45	222,498	545,916	68	Midden-Drenthe	Nee
10	3 juli 2009, 15:40	187,613	495,178	68	Elburg	Ja

\*correct: Ja = extreme neerslag. Nee = geen extreme neerslag, maar b.v. grondecho's.



## 21.5 Frequentie extreme neerslag per gemeente

Deze paragraaf visualiseert de frequentie van extreme neerslag in stedelijk gebied per gemeente. Hierbij hebben we de gemeentegrenzen van 1 januari 2013 gebruikt. Hiervoor hebben we geteld hoe vaak een drempelwaarde wordt overschreden, bijvoorbeeld in de periode 1998-2012 (zie kader).

### Telling extremen per gemeente

Eerst sorteren we per gemeente de extremen boven een bepaalde drempel op chronologische volgorde. Hieruit selecteren we het hoogste extreem. Vervolgens selecteren we het volgende extreem in de gemeente als ten minste 6 uur is verstreken sinds het eindigen van het vorige extreem. Dit herhalen we net zo lang totdat we de hele dataset hebben doorlopen. Daarna tellen we het totaal aantal geselecteerde extremen per gemeente. Deze procedure voeren we voor diverse radardatasets, perioden en drempels uit.

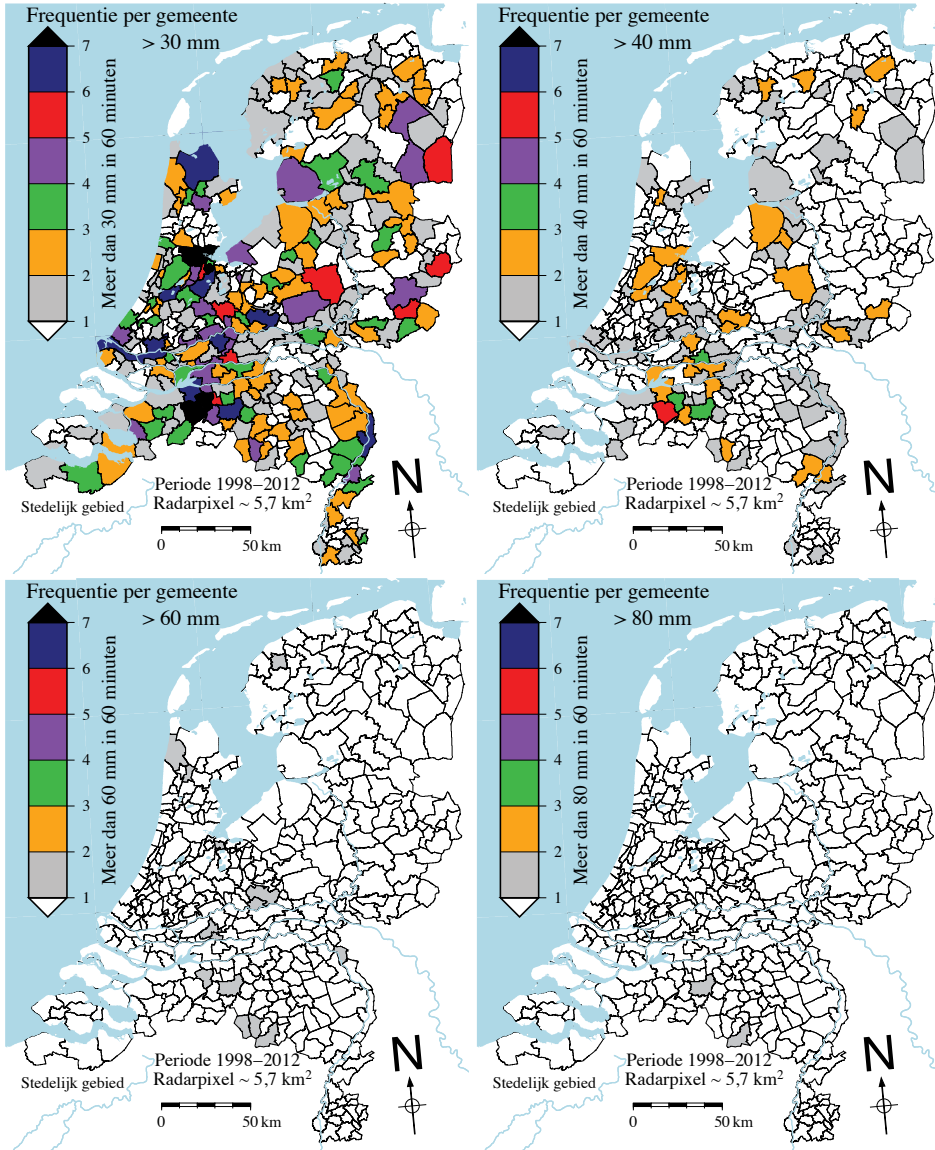
296 |

Figuur 21.6 toont kaarten van Nederland met per gemeente de frequentie van het aantal 60-minutensommen dat in de periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>) drempelwaarden van 30 mm (linksboven), 40 mm (rechtsboven), 60 mm (linksonder) en 80 mm (rechtsonder) overschrijdt. Opvallend zijn de grote verschillen tussen gemeenten. Het oppervlak aan stedelijk gebied kan behoorlijk variëren tussen gemeenten en dit vertroebelt dus de vergelijking tussen gemeenten.

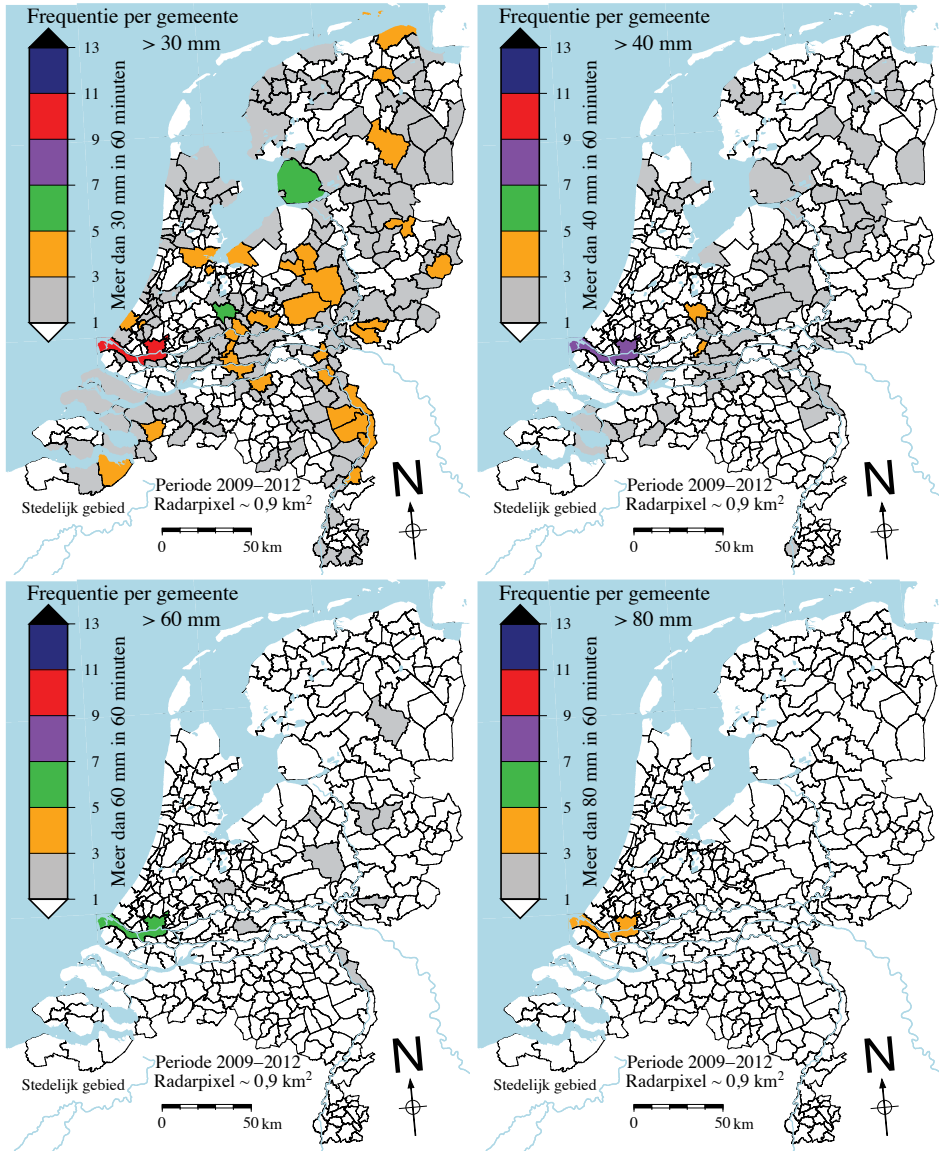
Figuur 21.7 toont soortgelijke kaarten als figuur 21.6, maar nu voor de periode 2009-2012 (1 km<sup>2</sup>). Opvallend is de hoge frequentie in de gemeente Rotterdam: tien keer meer dan 30 mm in 60 minuten. Dit is hoogstwaarschijnlijk grotendeels veroorzaakt door grondecho's in de Maasvlakte. De 1 km<sup>2</sup>-radardataset lijkt gevoeliger voor dit soort resterende fouten dan de 6 km<sup>2</sup>-radardataset.

Figuur 21.8 geeft de frequentie per gemeente van het aantal 24-uursommen dat in de periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>) drempelwaarden van 50 mm (linksboven), 60 mm (rechtsboven), 80 mm (linksonder) en 100 mm (rechtsonder) overschrijdt. Opnieuw zijn de verschillen tussen gemeenten groot. Het aantal gemeenten met een of meerdere neerslagsommen boven 100 mm is vrij klein. Vooral voor het regionale waterbeheer is het ook interessant om de frequentie voor het totale oppervlak van een gemeente te weten. Daarom is voor een drempelwaarde van 60 mm ook de frequentie per gemeente berekend voor het totale oppervlak (stedelijk + niet-stedelijk).

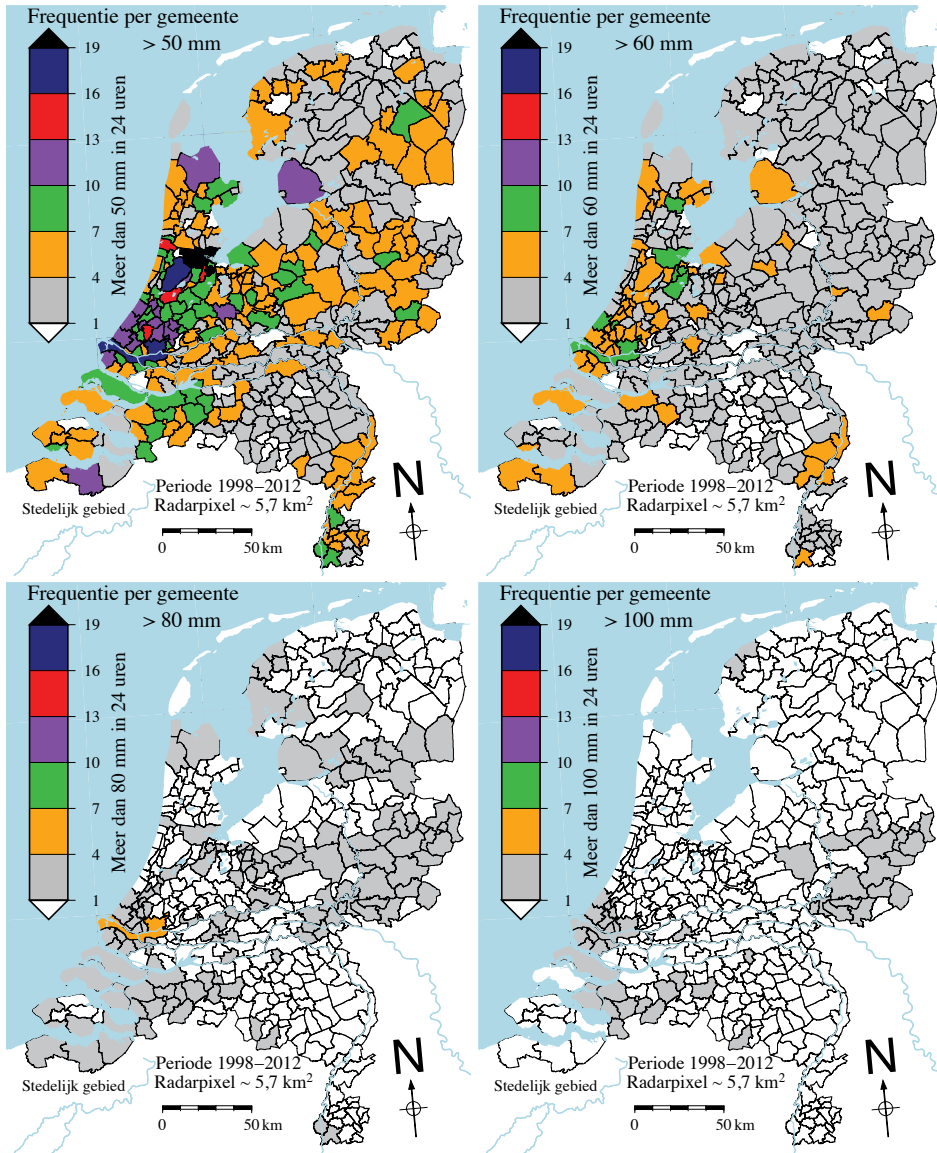
Figuur 21.9 vergelijkt de frequenties van 60-minutensommen die een drempelwaarde van 30 mm hebben overschreden van beide radardatasets. De frequentie is duidelijk



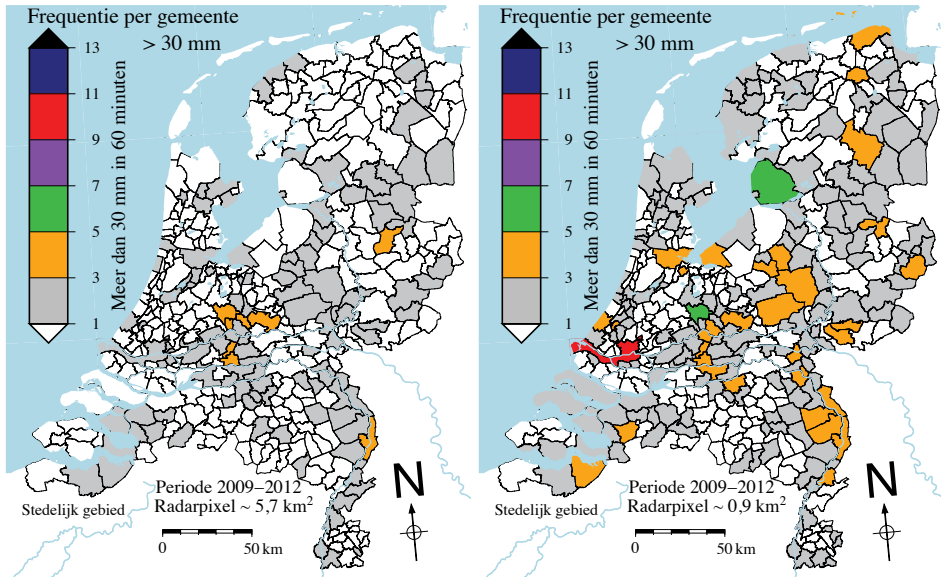
Figuur 21.6 Frequentie per gemeente van 60-minutenneerslagsommen groter dan 30 mm (linksboven), 40 mm (rechtsboven), 60 mm (linksonder) en 80 mm (rechtsonder) over de periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>).



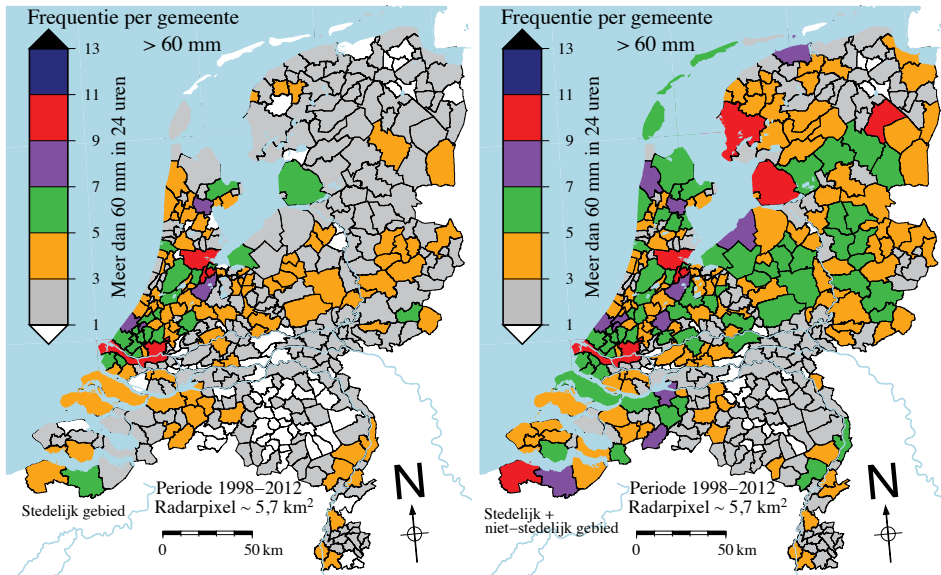
Figuur 21.7 Frequentie per gemeente van 60-minutenneerslagsommen groter dan 30 mm (linksboven), 40 mm (rechtsboven), 60 mm (linksonder) en 80 mm (rechtsonder) over de periode 2009-2012 (1 km<sup>2</sup>).



Figuur 21.8 Frequentie per gemeente van 24-uurneerslagsommen groter dan 50 mm (linksboven), 60 mm (rechtsboven), 80 mm (linksonder) en 100 mm (rechtsonder) over de periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>).



Figuur 21.9 Frequentie per gemeente van 60-minutenneerslagsommen groter dan 30 mm over de periode 2009-2012 voor de 6 km<sup>2</sup>-radardataset (links) en de 1 km<sup>2</sup>-radardataset (rechts).



Figuur 21.10 Frequentie per gemeente van 24-urneerslagsommen groter dan 60 mm over de periode 1998-2012 (6 km<sup>2</sup>). Alleen gebaseerd op waarnemingen in stedelijk gebied (links) of op waarnemingen in stedelijk en niet-stedelijk gebied (rechts).

hoger voor de 1 km<sup>2</sup>-radardataset. Waarschijnlijk ligt de oorzaak voornamelijk in het feit dat extreme neerslag die in 1 km<sup>2</sup> wordt gemeten gemiddeld hoger is dan die in 6 km<sup>2</sup> wordt gemeten (*Overeem en Buishand, 2012*).

Uit figuur 21.10 blijkt dat de frequentie in stedelijk en niet-stedelijk gebied behoorlijk toeneemt (rechts) ten opzichte van de frequentie in alleen stedelijk gebied (links).

#### *Alle gemeenten samen*

In tabel 21.5 staat hoe vaak een drempelwaarde is overschreden in het stedelijk gebied van alle gemeenten samen op basis van de 6 km<sup>2</sup>-radardataset. Hiervoor hebben we de frequenties per gemeenten, zoals getoond in de figuren 21.6 en 21.8, opgeteld voor twee verschillende perioden: 1998-2012 en 2003-2009. De periode 2003-2009 bestrijkt ongeveer 47% van de periode 1998-2012. Omdat de beschikbaarheid van radardata wat kan fluctueren van jaar tot jaar, zou een wat hoger of lager percentage misschien representatiever zijn voor de periode 2003-2009. Volgens tabel 21.5 lijkt de frequentie van 60-minuten-neerslagsommen niet substantieel af te wijken van die in de periode 1998-2012 voor drempelwaarden van 30 en 40 mm. Het aantal getallen voor de twee hogere drempelwaarden is te klein om conclusies te trekken. Bij de 24-uurneerslagsommen is het aantal extremen wat lager in de periode 2003-2009. Voor de hoogste drempelwaarde is het aantal getallen opnieuw nogal klein om daaraan een conclusie te verbinden. Wel is het opvallend dat het aantal overschrijdingen in de periode 1998-2012 veel hoger is.

**Tabel 21.5 Aantal overschrijdingen per drempelwaarde voor 60-minuten- en 24-uurneerslagsommen in het stedelijk gebied van gemeenten in Nederland voor de perioden 1998-2012 en 2003-2009 op basis van de 6 km<sup>2</sup>-radardataset.**

Duur, drempelwaarde	Periode 1998-2012	Periode 2003-2009	% in periode 2003-2009
60 minuten, 30 mm	602	279	46%
60 minuten, 40 mm	147	69	47%
60 minuten, 60 mm	15	6	40%
60 minuten, 80 mm	2	0	0%
24 uur, 50 mm	1736	747	43%
24 uur, 60 mm	789	301	38%
24 uur, 80 mm	165	41	25%
24 uur, 100 mm	51	3	6%

## 21.6 Beperkingen en toekomstige ontwikkelingen

### *Beperkingen*

De klimatologische radardatasets leveren zo goed mogelijke landsdekkende neerslag-schattingen en geven nieuwe inzichten in de frequentie van extreme neerslag in de stad. Dit neemt niet weg dat de radardatasets hun beperkingen hebben. Zonder uitputtend te willen zijn, volgt hier een overzicht:

- Voor alle resultaten geldt dat een deel van de tellingen foutief is wegens resterende fouten, met name grondecho's. Dit is gebleken bij het opstellen van de top-10 van grootste extremen, maar ook bij het tellen van de extremen per gemeente. De radar-data zijn weliswaar gecorrigeerd met regenmeterdata, maar kunnen nog diverse meetfouten bevatten, vooral bij korte duren zoals 60 minuten. Het kleine aantal regenmeters dat uursommen levert, begrenst de kwaliteit van radarbeelden.
- De neerslagwaarde in een radarpixel is vaak niet representatief voor wat er aan de grond valt. De radars meten neerslag op enkele kilometers hoogte. Tijdens de val naar het aardoppervlak verplaatst de neerslag zich ook horizontaal en kan zijn intensiteit nog veranderen. De wijze waarop de klimatologische radardataset wordt afgeleid, zorgt ook voor afwijkingen. Zo wordt van vijf radarpixels steeds de middelste waarde toegekend aan de middelste pixel om uitschieters te voorkomen. Het kan dus gebeuren dat de neerslagwaarde van een pixel aan stedelijk gebied wordt toegekend, terwijl de neerslag feitelijk in niet-stedelijk gebied de grond bereikt (of andersom). Daarnaast zorgt dit mediaanfilter er natuurlijk ook voor dat extremen minder extreem zijn.
- Het relatief kleine aantal radarbeelden in de tijd beperkt de kwaliteit van de 15- en 60-minutenneerslagsommen. Het radarbeeld dat elke 5 minuten wordt gemaakt, is een momentopname en geeft geen geïntegreerde waarde over die 5 minuten in tegenstelling tot automatische regenmeters. De 15-minutenneerslagsommen zijn dus gebaseerd op slechts drie beelden. Maar met name bij extreme hoeveelheden kan de neerslagintensiteit sterk variëren in de tijd. Daar staat tegenover dat veel regenmeters niet elke 5 minuten een waarde leveren en vaak zelfs maar één meting per dag geven.
- De radarpixels hebben een grootte van ongeveer 1 of 6 km<sup>2</sup>. Maar binnen een radarpixel is lokaal nog een veel hogere waarde te meten. Gemiddeld vlak de hoeveelheid extreme neerslag af voor toenemende gebiedsgrootte (*Overeem et al., 2010; Overeem et al., 2012*). De gevolgen van zulke extremen hangen ook af van de schaal van de hydrologische systemen.

### *Toekomstige ontwikkelingen*

Het is dus lastig om in stedelijk gebied nauwkeurig neerslag te meten. Maar ondanks de tekortkomingen levert de combinatie van radar- en regenmeterdata belangrijke



aanvullende informatie voor het stedelijk waterbeheer. Hieronder vindt u de belangrijkste ontwikkelingen die de komende vijf jaar zouden kunnen leiden tot betere realtime en mogelijk ook klimatologische neerslaginformatie in de stad:

- Fysische correcties van radardata. De Nederlandse radars maken veertien elevatiescans, waardoor een 3D-beeld van de neerslag in de atmosfeer ontstaat. Door deze volumedata beter te benutten, is de kwaliteit van de neerslagbeelden te verhogen. In feite worden de radardata dan met zichzelf gecorrigeerd (*Hazenberg et al., 2011*).
- Correctie van radarneerslagsommen met data van commerciële radiostraalverbindingen. Radiosignalen langs zulke verbindingen propageren van de zendende antenne van de ene telefoonmast naar de ontvangende antenne van een andere. Uit de verzwakking van het signaal tussen zender en ontvanger is de door regen veroorzaakte demping en vervolgens de padgemiddelde regenintensiteit te berekenen (*Leijnse et al., 2008; Overeem et al., 2011; Overeem et al., 2013a; Overeem et al., 2013b*). De kwaliteit van radarbeelden is mogelijk te verbeteren door correctie met data van meer dan 1.000 radiostraalverbindingen, een veel groter aantal dan het aantal beschikbare automatische regenmeters.
- Upgrade van de huidige C-bandradars van het KNMI naar dual-polradars in 2016. Hierdoor is beter te corrigeren voor verzwakking van het radarsignaal door extreme neerslag of een natte radarkoepel. Verder is een beter onderscheid te maken tussen regen, hagel, grondecho's en andere niet-meteorologische echo's. Hierdoor verbetert de kwaliteit van de neerslagbeelden.
- Verbetering van de verwijdering van grondecho's via wolkendetectie met infrarood-satellietbeelden. Dit past het KNMI al toe en wordt nog verder verfijnd.
- In het kader van het project RainGain installeren de TU Delft en de gemeente Rotterdam een radar die dicht bij het aardoppervlak meet. Deze radar geeft per minuut een neerslagbeeld voor de regio Rotterdam, met een ruimtelijk detail van tientallen meters.
- Het combineren van data van Nederlandse en buitenlandse radars. Hierdoor zal met name de kwaliteit van het radarbeeld dicht bij de Belgische en Duitse grens (ver van beide KNMI-radars) toenemen. Ook wordt het neerslagcomposiet dan minder gevoelig voor onderschatting door demping van het radarsignaal wegens intense regen of een natte radarkoepel. Ingenieursbureaus hebben de datacombinatie al deels gerealiseerd (HydroNET, NationaleRegenRadar.nl). In het kader van het EUMETNET-programma OPERA wordt gewerkt aan een Europees radarcomposiet.
- Correctie van radarbeelden met alle voorhanden zijnde regenmeterdata van bijvoorbeeld gemeenten, KNMI, waterschappen en weeramateurs (gebeurt al deels in HydroNET en NationaleRegenRadar.nl).

Tot slot is een beperking van de gepresenteerde frequenties van extreme neerslag dat de extremen niet zijn gemodelleerd met een kansverdeling. Om de kans op neerslag op een willekeurige locatie ergens in Nederland of een groot gebied te modelleren,



zijn veel langere radardatasets nodig. Hierdoor zou het mogelijk worden om voor lange herhalingsstijden de neerslaghoeveelheid te berekenen (via extrapolatie).

## Literatuur

Hazenberg, P., Leijnse, H., Uijlenhoet, R., 2011. Radar rainfall estimation of stratiform winter precipitation in the Belgian Ardennes, *Water Resources Research*, 47, W02507, doi:10.1029/2010WR009068.

Holleman, I., 2006. Bias adjustment of radar-based 3-hour precipitation accumulations. Technisch Rapport TR-290, KNMI, De Bilt ([http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/tr\\_3houraccu.pdf](http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/tr_3houraccu.pdf)).

KNMI, 2013. <http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/index.html>

Leijnse, H., Uijlenhoet, R., Stricker, H., 2008. Regenmeting met commerciële mobiele telefonienetwerken, *H<sub>2</sub>O*, 41, 11, 37-39.  
[http://webdocs.dow.wur.nl/internet/hwm/hidde/Leijnse\\_et\\_al\\_2008\\_H2O.pdf](http://webdocs.dow.wur.nl/internet/hwm/hidde/Leijnse_et_al_2008_H2O.pdf)

Overeem, A., Holleman, I., Buishand, A., 2009a. Derivation of a 10-year radar-based climatology of rainfall, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 1448-1463, doi:10.1175/2009JAMC1954.1.  
<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2009JAMC1954.1>

Overeem, A., Holleman, I., Buishand, T. A., 2009b. Neerslagklimatologie uit weerradar, *H<sub>2</sub>O*, 42, 8, 31-33.  
[http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/h2o\\_neerslagklimatologie\\_radar.pdf](http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/h2o_neerslagklimatologie_radar.pdf)

Overeem, A., Buishand, T. A., Holleman, I., 2009c. Extreme rainfall analysis and estimation of depth-duration-frequency curves using weather radar, *Water Resources Research*, 45, W10424, doi:10.1029/2009WR007869.

Overeem, A., Buishand, T. A., Holleman, I., Uijlenhoet, R., 2010. Extreme value modeling of areal rainfall from weather radar, *Water Resources Research*, 46, W09514, doi:10.1029/2009WR008517.

Overeem, A., Leijnse, H., Uijlenhoet, R., 2011. Measuring urban rainfall using microwave links from commercial cellular communication networks, *Water Resources Research*, 47, W12505, doi:10.1029/2010WR010350.

Overeem, A. en Buishand, T. A., 2012. Statistiek van extreme gebiedsneerslag in Nederland. Technisch Rapport TR-332, KNMI, De Bilt (<http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmi-pubTR/TR332.pdf>).

Overeem, A., Leijnse, H., Uijlenhoet, R., 2013a. Country-wide rainfall maps from cellular communication networks, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 2741-2745, doi:10.1073/pnas.1217961110.  
<http://www.pnas.org/content/110/8/2741.full>

Overeem, A., Leijnse, H., Uijlenhoet, R., 2013b. Landsdekkende regenkaarten uit het mobiele telefonienetwerk, *WT-Afvalwater*, 13, 4, 194-203.  
[http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/overeem\\_wta2013.pdf](http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/overeem_wta2013.pdf)

| 305

Reichard, H.L., Clemens, F.H.L.R., Lobbrecht, A.H., Hartemink, J.W., Mantje, W., Poortinga, I.M., Korving, J.L., 2011. Neerslaginformatie voor het bebouwd gebied. Stand van zaken en ontwikkelingen. RIONEDreeks 16, Stichting RIONED, Ede.

Smits, I., Wijngaard, J. B., Versteeg, R. P., Kok, M., 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. STOWA-publicatie 2004-26, STOWA, Utrecht.  
[http://www.stowa.nl/Upload/publicaties2/2004\\_26.pdf](http://www.stowa.nl/Upload/publicaties2/2004_26.pdf)