



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

Klimaatverandering in het stedelijk gebied

Groen en waterberging in relatie tot de bodem

RIVM rapport 607050008/2011

E.M. Dirven-van Breemen | A. Hollander |

J.W. Claessens



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

Klimaatverandering in het stedelijk gebied

Groen en waterberging in relatie tot de bodem

RIVM Rapport 607050008/2011

Colofon

© RIVM 2011

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'.

E.M. Dirven-van Breemen, RIVM
A. Hollander, Radboud Universiteit Nijmegen
J.W. Claessens, RIVM

Contact:
Liesbet Dirven-van Breemen
Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling
Liesbet.Dirven@RIVM.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ministerie van Infrastructuur en Milieu in het kader van RIVM-project M/607050

Rapport in het kort

Klimaatverandering in het stedelijk gebied

Groen en waterberging in relatie tot de bodem

Klimaatverandering kan in stedelijk gebied tot onder andere extreme hitte en overmatige neerslag leiden. Meer groen draagt in perioden van extreme hitte bij aan minder hitteoverlast in steden. Voldoende waterbergend vermogen van de bodem zorgt bij extreme hoeveelheden neerslag voor minder wateroverlast. Het is dan ook raadzaam voor gemeenten om maatregelen te nemen waarmee de stad klimaatbestendig wordt gemaakt. Ook burgers kunnen hieraan bijdragen. Beide partijen geldt dat nu investeren in klimaatbestendigheid, in de toekomst rendeert. Dat blijkt uit onderzoek van het RIVM, uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM).

Gemeenten zouden met maatregelen zoals meer openbaar groen en waterbergend vermogen kunnen aanhaken bij beleidsterreinen als infrastructuur, volksgezondheid, veiligheid en duurzaamheid. Een voorbeeld van meer openbaar groen is een groene infrastructuur, zoals parken en plantsoenen. Een bijkomstigheid van openbaar groen is de onafgedekte bodem, bijvoorbeeld niet bedekt door wegen, gebouwen, enzovoort. Hierdoor wordt de capaciteit van de bodem om water te infiltreren vergroot. Voor een optimale waterberging kan de gemeente bijvoorbeeld wadi's aanleggen die ervoor zorgen dat het riool minder wordt belast bij overmatige neerslag. Een wadi is een veelal begroeide verlaging van het maaiveld. Bij hevige regenval komt de wadi onder water te staan doordat hemelwater via de daken van omliggende gebouwen naar de wadi wordt afgevoerd.

Particulieren kunnen 'groene daken' aanleggen, of (gevel)tuintjes waarvan de bodem niet bedekt is. Subsidies voor particuliere initiatieven op dit gebied zijn hiervoor een extra stimulans.

Trefwoorden:

klimaatverandering, stedelijk gebied, waterberging, bodem, klimaatadaptatie, openbaar groen, tuin, groene daken, park, hitte-eilandeffect.

Abstract

Climate change in urban areas

Public green and water storage in relation to soil

One of the possible effects of climate change in urban areas is an increased frequency of periods of extreme heat and extreme rainfall events. Public green areas provide shadow and therefore have a cooling effect during periods of extreme heat. Sufficient water storage capacity of the soil may reduce the overburdening of the public water system during extreme rainfall events. Governments do well by taking measures for climate-proofing of their towns. Also citizens may contribute to these climate issues. Governments and citizens should realize that investing in climate-proofing of their towns at this moment will pay off in the future. These are the outcomes of an inventory carried out by the National Institute for Public Health and the Environment, RIVM, ordered by the ministry of Infrastructure and the Environment (IandM).

With measures for public green areas and water storage capacity local governments should link with other policy areas like infrastructure, public health, safety and sustainability. An example of more public green is a green infrastructure like parks and public gardens. An other advantage of public green is the unsealed soil; that is the soil not covered by roads, buildings, etc. The presence of unsealed soil increases the possibility for water infiltration. For favorable water storage local governments may construct wadis that prevent public water systems for being overburdened by extreme rainfall events. A wadi is a lowering of the surface level mostly covered with plants. During heavy rainfall the wadi is flooded, due to rainwater from the roofs of the surrounding buildings which drains away to the wadi.

Citizens may construct green roofs or city gardens with unsealed soil. To promote this, subsidies for private initiatives are an additional boost.

Keywords:

climate change, urban areas, soil, water storage, climate adaptation, public green, garden, green roof, park, heat-island effect

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—21

2 Bestaand onderzoek/beleid rond klimaatverandering en -bestendigheid—23

- 2.1 Het klimaatvraagstuk op globaal, Europees en nationaal niveau—23
- 2.2 Routeplanner voor klimaatadaptatie—23
- 2.3 Overige studies—24
- 2.4 Bestaand bodembeleid in Nederland—25

3 Bijdragen van openbaar en particulier groen aan klimaatbestendigheid van de stad—27

- 3.1 Groene daken en muurbplanting—28
- 3.2 Park—29
- 3.3 Moestuin en volkstuin—30
- 3.4 Stadstuin—31
- 3.5 Groene infrastructuur—32

4 Maatregelen met betrekking tot het waterbergend vermogen van de bodem—35

- 4.1 Overzicht van mogelijkheden—35
- 4.2 Uitwerking van maatregelen: intrinsieke bodem (bodemmatrix)—38
 - 4.2.1 Waterbuffers—38
 - 4.2.2 Profilering maaiveld—40
 - 4.2.3 Ondergrondse waterberging/infiltratiesysteem—40
 - 4.2.4 Flexibel peilbeheer—41
- 4.3 Uitwerking van maatregelen: relatie bodem/grondwater - oppervlaktewater—42
 - 4.3.1 Inrichting van het oppervlaktewatersysteem in steden—42
- 4.4 Uitwerking van technische maatregelen—43
 - 4.4.1 Aanpassing van het ontwerp van straten—43
- 4.5 Uitwerking van overige maatregelen—46

5 Praktijkvoorbeelden van een aantal gemeenten—49

- 5.1 Voorbeelden van gemeenten binnen Nederland—49
 - 5.1.1 Tiel/Arnhem/Nijmegen: Future Cities-project—49
 - 5.1.2 Rotterdam: Rotterdam Climate Initiative—49
 - 5.1.3 Schijndel: Schijndel leeft met water—50
 - 5.1.4 Tilburg: Groene daken—50
 - 5.1.5 Amsterdam: Proeftuin Amsterdam—50

6 Aanbevelingen—51

- 6.1 De rol van de overheid voor lokale overheden—51
- 6.2 De rol van de overheid richting de burger—52
- 6.3 Aanbevelingen voor verder onderzoek—52

7 Conclusie—55

Literatuur—57

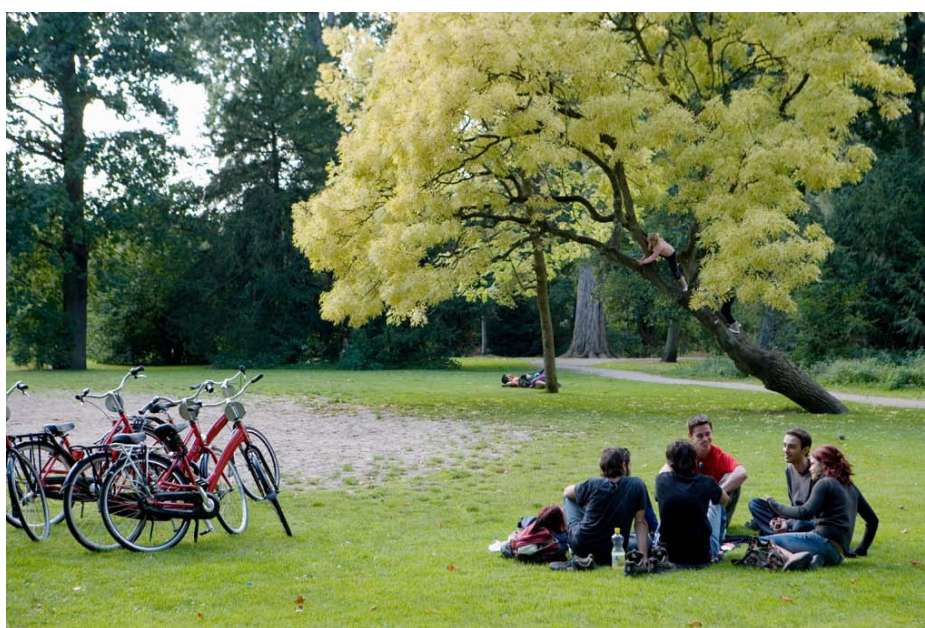
Websites—61

Bijlage Factsheet waterberging en -opslag in de bodem—63

Samenvatting

Opzet van de studie

De verwachting is dat klimaatverandering de komende decennia zal leiden tot grotere perioden van hitte en droogte in Nederland, maar ook tot het optreden van intensievere regenbuien en het ontstaan van overstromingsrisico's. Met andere woorden, de weersomstandigheden zullen naar verwachting extremer worden dan nu. Zeker in stedelijke gebieden kan dit negatieve effecten veroorzaken voor de leefomstandigheden en de gezondheid van mensen.



*Foto 1 Een park geeft verkoeling, kan water bergen en brengt mensen samen.
Foto: W. ter Brake*

In diverse onderzoeks-, beleids- en ruimtelijkeordeningsprojecten wordt al gekeken naar de mogelijkheden stedelijke gebieden klimaatbestendig te maken en leefbaar te houden in de toekomst. De rol die de bodem daarbij kan spelen is vaak nog onderbelicht, en een overzicht van de mogelijkheden voor klimaatadaptatie vanuit het oogpunt van de bodem is nog nauwelijks voorhanden. Dit terwijl het met name in stedelijke gebieden, waar de bodem voor een groot deel bedekt is met bebouwing en asfalt, zaak is om goed naar de bodem te kijken. Juist in die gebieden kunnen de extreme weersomstandigheden voor (meer) wateroverlast gaan zorgen, omdat het water weinig mogelijkheden heeft te infiltreren in de bodem en dus versneld afgevoerd wordt naar de riolering en het oppervlaktewater. Het verstandig opvangen, bergen en afvoeren van water kan toekomstige wateroverlastproblemen beheersen en zoveel mogelijk voorkomen. Daarnaast biedt (openbaar) groen bij klimaatadaptatie van stedelijke gebieden mogelijkheden de bodem te benutten. Groen speelt een belangrijke rol in tijden van extreme droogte en hitte. Parken zorgen voor afkoeling waardoor het zogenaamde hitte-eilandeffect in de stad wordt verkleind (Foto 1). Door de openbare ruimte en particuliere tuinen in te richten met klimaatbestendig groen wordt deze ruimte optimaal gebruikt voor de klimaatadaptatie van steden (het voorkomen van wateroverlast en het terugdringen van het hitte-eilandeffect). Deze twee bodemgerelateerde thema's, openbaar groen en waterberging, komen in dit rapport aan de orde.

In het rapport wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden voor het optimaal benutten van de bodem bij het nemen van klimaatadaptatiemaatregelen in het stedelijke gebied. Het rapport is opgebouwd aan de hand van de 'bodemthema's', zoals die zijn opgesteld door de Nederlandse overheid. Mogelijke klimaatadaptatiemaatregelen in steden zijn aan deze thema's gerelateerd. Daarnaast kan het realiseren van (openbaar) klimaatbestendig groen en waterberging in de bodem meer doelen dienen, zoals het bevorderen van de volksgezondheid, leefbaarheid, veiligheid en economie van de stad en zijn bewoners. Ook wordt een aantal praktijkvoorbeelden gegeven van gemeentes die al klimaatbestendige maatregelen genomen hebben met, waar mogelijk, hun ervaringen. Bij de literatuurverwijzingen zijn websites opgenomen waar meer informatie over de onderwerpen uit dit rapport te vinden is.

Maatregelen met betrekking tot (openbaar) groen

Er kunnen binnen steden verschillende typen (openbaar) groen onderscheiden worden. Voor elk van die typen groen is in Tabel 1 aangegeven wat de bijdrage ervan kan zijn aan het klimaatbestendig maken van steden. Bovendien zijn de positieve neveneffecten van deze groentypen voor de stad en haar bewoners aangegeven. In het algemeen dragen de verschillende vormen van (openbaar) groen voornamelijk bij aan de klimaatbestendigheid van steden, doordat ze het waterbergend vermogen vergroten, CO₂-uitstoot verminderen en voor verkoeling zorgen in tijden van extreme hitte (reduceren van het hitte-eilandeffect).

De voorgestelde maatregelen rondom (openbaar) groen vertonen ook relaties met andere bodemthema's. De bodemthema's (zie Tabel 1) die een rol spelen in dit verband zijn waterberging en -opslag, afdekking/verdichting, biodiversiteit, bodemvruchtbaarheid en verdroging. Daarnaast hebben de verschillende typen groen nog andere positieve effecten op steden: ze verbeteren de luchtkwaliteit, zorgen voor een betere leefbaarheid van de stad en ze bevorderen de gezondheid van de inwoners (reductie van stress, meer recreatie- en sportmogelijkheden). Ook kunnen ze een rol spelen in de integratie tussen bewoners en zo de sociale samenhang vergroten. Een economisch effect kan optreden door verhoging van de huizenprijzen in groene stedelijke omgevingen.

Tabel 1 De mogelijke maatregelen ter verhoging van de klimaatbestendigheid in steden door (openbaar) groen en de kwalitatieve bijdragen voor de stad en haar bewoners hierop en de relaties met bodemthema's.

Type groen	Bodemthema	Effect op klimaatbestendig maken stad	Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner
Groene daken en muurbepanting	Waterberging en -opslag, Afdekking, Biodiversiteit	Vergroot waterbergend vermogen, geeft verkoeling, vermindert CO ₂ -uitstoot, isoleert gebouwen (temperatuur en geluid), reduceert energiegebruik.	Milieu en de volksgezondheid: verbetert luchtkwaliteit. Natuur: verhoogt biodiversiteit. Economie: duurzaamheid van het dak.
Park, moestuin en volkstuin, groene infrastructuur	Waterberging en -opslag, Afdekking, Biodiversiteit, Verdroging, Bodemvruchtbaarheid	Vergroot waterbergend vermogen, geeft verkoeling, vermindert CO ₂ -uitstoot, zorgt voor behoud van ecosysteemdiensten (bodemvruchtbaarheid en waterberging)	Milieu en de volksgezondheid: verbetert luchtkwaliteit, zorgt voor gezondere leefomgeving, bevordert sociale samenhang wijk (interculturalisatie, ontmoetingsplaats voor oudere mensen en mindervaliden) bevordert actief zijn, reduceert stress en voorkomt ziekte Natuur: verhoogt biodiversiteit Economie: impuls opbouw achterstandswijk, verhoging OZB, goedkoop beheer groen
Stadstuin	Waterberging en -opslag, Afdekking, Biodiversiteit, Bodemvruchtbaarheid,	Vergroot waterbergend vermogen, geeft verkoeling, vermindert CO ₂ -uitstoot, zorgt voor behoud van ecosysteemdiensten (bodemvruchtbaarheid en waterberging)	Milieu en de volksgezondheid: verbetert luchtkwaliteit, zorgt voor gezondere leefomgeving, bevordert actief zijn, reduceert stress en voorkomt ziekte Natuur: verhoogt biodiversiteit.

Voorbeelden van mogelijke maatregelen en actuele ontwikkelingen bij gemeenten

Groene daken

Groene daken is een verzamelnaam voor platte- en hellende daken met begroeiing. Die begroeiing kan bestaan uit vetplantjes (Sedum), kruiden, mos en/of gras, maar ook uit struiken en bomen. Groene daken worden voor het klimaatbestendig maken van de stad gebruikt voor waterberging (Foto 2). De capaciteit van waterberging in de stad moet vaak vergroot worden om tijdens periodes van extreme regenval het hemelwater op te vangen. In dicht stedelijk gebied is het fysiek en economisch gezien vaak moeilijk om open water aan te leggen, zoals grachten, beken, waterpartijen, fontein en vijvers. Groene daken bieden daarom een oplossing.

In verschillende gemeenten wordt al actief gewerkt aan de aanleg van groene daken. Met subsidies en voorlichting worden ook particulieren gestimuleerd. Voorbeelden hiervan zijn de gemeente Tilburg en de gemeente Rotterdam. Het stadskantoor van de gemeente Tilburg was het eerste gemeentekantoor met een groen dak. Bij de planvorming voor nieuwe gemeentelijke gebouwen heeft het college in 2008 besloten om voortaan standaard te onderzoeken of een groen dak mogelijk is.

In het eigen groen-, water- en milieubeleid neemt de gemeente Tilburg de aanleg van groene daken op en stimuleert de gemeente de aanleg van groene daken in de stad. Verder onderzoekt de gemeente in overleg met andere overheden (waterschappen, provincie en rijk) of een tijdelijke subsidieregeling mogelijk is. Ook de gemeente Rotterdam stimuleert de aanleg van groene daken binnen het Rotterdam Climate Initiative (RCI). Zo is er een aantrekkelijke subsidie voor huiseigenaren en heeft de stad inmiddels zo'n 40.000 m² aan groene daken gerealiseerd op diverse gemeentelijke gebouwen. Er is een groen dakterras op het Groothandelsgebouw aangelegd, waar iedere eerste zondag van de maand een informatief en inspirerend programma wordt aangeboden en persoonlijk advies gegeven wordt over groene daken.



Foto 2 Groene daken zorgen voor waterberging en geven meerwaarde aan de leefomgeving. Foto 2: Augustenborg Botanische daktuin, Zweden

Parken

Stadsparken hebben een belangrijke functie in het terugdringen van het hitte-eilandeffect. Ze zijn niet alleen zelf koeler maar koelen ook zowel overdag als 's nachts de omgeving. De schaduw die bomen geven zorgt ervoor dat het zonlicht de stenen delen niet bereikt en verwarmt. De energieomzetting van bomen zorgt voor een hogere luchtvochtigheid, waardoor het effect van de straling van de zon vermindert en de temperatuur daalt. Stadsparken verhogen bovendien het waterbergende vermogen van het stedelijk gebied doordat water de bodem kan indringen en vastgehouden kan worden.

Daarnaast vinden mensen parken een prettige omgeving om te verblijven. Parken kunnen worden gebruikt om klimaatvraagstukken te koppelen aan andere maatschappelijke problemen, zoals gezondheidsproblemen door normoverschrijding van de luchtkwaliteit. Meer groen kan bijvoorbeeld de fijnstofconcentratie in de lucht verlagen. Groen in parken zorgt voor zuurstof. Bovendien brengen parken, pleinen en binnentuinen mensen samen en moedigen ze mensen aan om actief te zijn. Groen voorkomt dat mensen ziek worden. Een groene omgeving heeft een indirecte positieve invloed op bepaalde gezondheidsindicatoren en psychische kenmerken.

Groen verhoogt de waarde van huizen met 4 tot 8% door de mooie groene leefomgeving. Achterstandswijken hebben vaak verwaarloosde openbare ruimtes. Het opknappen van een park in een achterstandswijk kan een impuls geven aan de opbouw van de levensgemeenschap. Het bevordert ook de integratie van bewoners door het gebruik van groene ruimtes voor sociale evenementen mogelijk te maken.

Moestuinen en volkstuinten

Een volkstuint is een stukje grond waarop men siergewassen en/of groente mag telen en waarop men veelal ook nog een huisje of schuurtje mag plaatsen. In een volkstuint is bijna geen afdichting of waterdoorlatende verharding van het oppervlak, zodat hemelwater direct in de grond kan doordringen. Het groen beïnvloedt de temperatuur in de stad 's nachts door uitwaseming. Groen verplaatst daarbij koel water uit de grond naar de lucht, waardoor de temperatuur in de stad daalt. Ook zorgt een volkstuint voor natuur- en recreatiebeleving en levert het een bijdrage aan milieuvriendelijke mobiliteit doordat recreëren dicht bij huis bijdraagt aan de kwaliteit van de leefomgeving en duurzaamheid.

Moes- en volkstuinten kunnen gebruikt worden om klimaatvraagstukken te koppelen aan andere problemen die in de maatschappij leven, zoals het bestrijden van overgewicht. Het werken in de tuin levert een bijdrage aan de volksgezondheid. Verder kan het dienen als inburgeringsinstrument: allochtonen zijn vaak gewend om een groentetuint te hebben en zijn ook gebruikers van volkstuintcomplexen. Op de volkstuint vindt integratie plaats tussen bewoners. Een volkstuint zorgt voor actieve recreatie voor een kwetsbare, groeiende doelgroep van ouderen. Het is een ontmoetingsplaats voor oudere mensen die thuis vaak geïsoleerd leven. Ten slotte bieden volkstuinten natuureducatieve potentie voor jong en oud.



*Foto 3 In een volkstuin kan hemelwater direct de grond in. Volkstuinen leveren een actieve recreatie voor een groeiende doelgroep van ouderen.
Foto: Volkstuinvereniging 'De Vier Jaargetijden', Wijchen.*

Maatregelen met betrekking tot het waterbergend vermogen van de bodem

De bodem speelt een cruciale rol in de waterberging. Een belangrijke factor voor klimaatadaptatie in het stedelijk gebied is daarom het vergroten van de capaciteit van de bodem, om het water te absorberen en het water (tijdelijk) te bergen, en zo piekafvoeren naar het oppervlaktewater te doen verminderen.

In Tabel 2 wordt een korte beschrijving gegeven van mogelijke maatregelen die in stedelijke gebieden kunnen worden genomen ter voorkoming van wateroverlast, waarbij de bodem een rol speelt. Ook is hierin een aantal meer technische maatregelen opgenomen, die zijdelings verband houden met de bodem, maar niet volledig uitgaan van de intrinsieke mogelijkheden van de bodem als waterberging. Naast de bodem wordt ook het stedelijk oppervlaktewater meegenomen, omdat dit een sterke link heeft met zowel de bodem, het bodemgebruik als ook het grondwater.

Mogelijk te nemen maatregelen zijn de aanleg van natuurlijke of kunstmatige waterbuffers of wadi's (bovengronds) en ondergrondse waterberging- en infiltratiesystemen. Ook kunnen door profilering van het maaiveld en het laten meestromen van hemelwater in het straatprofiel piekafvoeren en de druk op het riool verminderd worden. Gemengde rioolstelsels of 'smartdrains' hebben ditzelfde effect. Er kan in steden gekozen worden voor waterpasserende verharding (met gaten of brede voegen) of waterdoorlatende verharding (met een hoge infiltratiecapaciteit). Daarnaast kan men denken aan de aanleg van 'waterpleinen', die als waterbuffer fungeren bij hevige regenval. Ook de inrichting van het stedelijk oppervlaktewatersysteem helpt bij het vergroten van het waterbergend en -afvoerend vermogen. De voorgestelde maatregelen rondom het waterbergend vermogen van de bodem vertonen relaties met andere bodemthema's. De bodemthema's die in dit verband een rol spelen zijn: chemische bodemkwaliteit, biodiversiteit, ondergronds ruimtegebruik, bodemdaling en verdroging/vernatting.

Naast de effecten van deze maatregelen voor het waterbergend en infiltrerend vermogen van de bodem, zijn er ook positieve neveneffecten: vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke. De waterbuffers kunnen een recreatieve nevenfunctie vervullen en dragen er aan bij de stad een 'groene' uitstraling te geven. Een aantal van de genoemde maatregelen is heel 'zichtbaar' en 'dichtbij' voor de stadsbewoners. Burgers zullen zich hierdoor bewuster worden van de heersende klimaat- en waterproblematiek in hun woonomgeving. In Tabel 2 worden de mogelijke maatregelen samengevat.

Tabel 2 Overzicht van mogelijke maatregelen ter vergroting van het absorberend en waterbergend vermogen van de bodem en ter voorkoming van wateroverlast in stedelijke gebieden vanuit het oogpunt van de bodem

Maatregel	Omschrijving	Toepassing (voorbeelden)	Aandachtspunten (voor-/nadelen)
Maatregelen die betrekking hebben op de intrinsieke bodem (bodemmatrix)			
Aanleg van wadi's	Een wadi is een veelal begroeide verlaging van het maaiveld die bij hevige regenval onder water komt te staan, doordat hemelwater via het dak naar de wadi wordt afgevoerd. Eventueel voorzien van ondergelegen infiltratievoorziening.	Helden, Houten	Een wadi fungeert ook als zuiveringsfilter voor het regenwater. Wadi's worden door bewoners gewaardeerd als wijkdecoratie. Wadi's leiden echter tot verontreiniging van de bodem met zware metalen (Verschoor en Brand, 2008).
Profilering maaiveld	Wanneer het straatprofiel anders ingericht wordt, wordt het mogelijk extra berging aan te leggen. Bepaalde delen, bijv. bermen, kunnen bij regen onderlopen zonder overlast te veroorzaken.		
Natuurlijke waterbuffer	Een natuurlijke plas, vliet o.i.d. dient als waterbuffer door piekafvoeren van regen- of rivierwater op te vangen.	Zuid-Hollands plassen gebied, Friese Meren	Bij het creëren van 'nieuw' groen kan een dubbelfunctie als recreatie/waterbuffer worden overwogen.
Kunstmatige waterbuffer	Kunstmatige voorziening voor het tijdelijk opslaan van water aan het bodemoppervlak.		Dubbelfunctie recreatie/waterbuffer mogelijk.

Infiltratiesysteem/ Ondergrondse waterberging	Een ondergrondse infiltratievoorziening bestaande uit een berging waar het water via een buis of sleuf terecht komt. Vanuit hier kan het wegzijgen naar de ondergrond.	Eindhoven (nieuwbouwwijk Meerhoven)	Op dit moment weinig tot geen geschikte methoden beschikbaar voor reiniging.
Flexibel peilbeheer	Grondwaterstanden worden niet op een vast peil gehouden, natuurlijke fluctuatie wordt toegestaan.	Polder Botshol, Loosdrecht, Naarden	Nadelen: o.m. voor de landbouw

Maatregelen die betrekking hebben op de relatie bodem/grondwater - oppervlaktewater

Circulatie van het open watersysteem.	Betere doorstroming		Waterkwaliteit en menging in het oog houden.
Overdimensioneren van de buffer- en opslagcapaciteit.	Rekening houden met verwachte verhoogde neerslag en piekafvoeren.	Waterschappen: GGOR (gewenst grond- en oppervlaktewater regime). Capaciteit van het watersysteem wordt aangepast aan toekomstige klimatologische omstandigheden.	
Stilstaand water koppelen aan watersysteem.	Piekneerslag beter kunnen afvoeren door betere doorstroming.		Waterkwaliteit en menging in het oog houden.

Technische maatregelen die verband houden met de ondergrond, maar niet direct met de bodemmatrix

Meestromen hemelwater in straatprofiel.	Straatprofielen en oeverzones zo inrichten dat meestromen met (rivier)water mogelijk wordt.	Goten, greppels. Ontgroning tussen tegels, klinkers, openbaar groen e.d. Dresden: verwijderen van obstakels die doorstromen bemoedigen. Goes (wijk Ouverture).	Opdrijfverschijnselen van kabels en leidingen. Door water zichtbaar te maken in het straatbeeld wordt de burger bewust gemaakt van het watersysteem en de zorg daarvoor.
Waterpleinen	Een waterbassin waarin regenwater wordt verzameld. Op een later tijdstip kan het water alsnog afgegeven worden aan het grondwater of afgevoerd worden naar het riool.	Rotterdam, uitwerking door DE URBANISTEN en studio Marco Vermeulen.	In periodes dat het plein niet onder water staat, kan het voor andere doeleinden gebruikt worden, bijv. recreatie (speelveld).

Waterdoorlatende verharding	Verharding uit poreus materiaal	Gemeente Cranendonck (Gastel)	Gevaar van dichtslibben is reëel. Speciale zuigmachines kunnen hiervoor oplossing bieden.
Waterpasserende verharding	Verharding met vergrote voegen waardoor het water infiltreert.		Het laten infiltreren van stedelijk regenwater leidt tot verontreiniging van het grondwater en kan tot problemen leiden voor de drinkwatervoorziening.
Gescheiden stelsel	Systeem dat bestaat uit twee aparte buizenstelsels voor de gescheiden inzameling en afvoer van afvalwater en regenwater.	Houten, Utrecht (Leidse Rijn), Alkmaar	
<i>Smartdrain</i>	Voorziening waarin het eerste (mogelijk verontreinigde) regenwater gescheiden wordt afgevoerd van het overige regenwater.		Concept kan eenvoudig geïntegreerd worden in renovatie-werkzaamheden zoals wegreconstructies.
Overige maatregelen			
Meer 'onafgedekte bodem' in tuinen en plantsoenen	Vergroten van de infiltratiecapaciteit van de bodem door minder verharding op plaatsen waar dat niet nodig is.		
Locatiekeuze verstedelijking	Bouwen op locaties waar de bodemgesteldheid en grondwaterstand geschikt zijn.		

Voorbeelden van mogelijke maatregelen en actuele ontwikkelingen bij gemeenten

Wadi's

Een speciaal type van een kunstmatige waterbuffer is de wadi. Dit is een vrij ondiepe verlaging van het maaiveld, zonder steile wanden of oevers, die bij hoge waterstanden of zware regenbuien onder water komt te staan. Een wadi is veelal begroeid met (moerasachtige) vegetatie en kan ook uitgebreid worden met een ondergrondse infiltratievoorziening. Wadi's (Foto 4) worden door buurtbewoners vaak hoog gewaardeerd als 'wijkdecoratie'. Daarnaast, omdat wadi's vaak gelegen zijn in woonwijken, kan informatieverstrekking over wadi's in wijken helpen bij het burgerbewustzijn rond de waterbergingsproblematiek in steden. Onder andere in de gemeente Houten en de gemeente Helden heeft men al wadi's aangelegd in nieuwbouwwijken.



Foto 4 Voorbeeld van een wadi in een nieuwbouwwijk in Helden. Foto: gemeente Helden.

Infiltratiekratten

Door de relatief grote hoeveelheid verhard oppervlak in stedelijke gebieden kunnen riolerings- en zuiveringssystemen lokaal gemakkelijk overbelast raken. Daarnaast vermindert de natuurlijke infiltratie van water, wat kan leiden tot een verlaging van het grondwaterpeil. Ter voorkoming van deze problemen kan de aanleg van een drainage- en infiltratiesysteem uitkomst bieden. Hierdoor wordt neerslag wat op het verharde oppervlak valt kunstmatig opgeslagen en geïnfiltrerd in de bodem. Een voorbeeld van ondergrondse waterberging zijn infiltratiekratten. Overtollig regenwater kan hier gemakkelijk instromen en geborgen worden zolang de bodem verzadigd is met water. Wanneer de waterverzadiging van de bodem weer afneemt, kan het water uit de kratten langzaam infiltreren in de bodem. Veel van deze systemen zijn zo uitgevoerd dat zij ook onder verhard oppervlak (bijvoorbeeld parkeerterreinen) toegepast kunnen worden. De gemeente Gouda (Foto 5) werkt aan de plaatsing van infiltratiekratten onder het wegdek van straten. Zij dienen zo als waterberging, maar tegelijkertijd als fundering voor de wegen op slappe grond.



Foto 5 Aanleg van infiltratiekratten onder de Emmastraat in Gouda. Infiltratiekratten houden tijdelijk water vast na een extreme regenbui. Water kan later infiltreren in de bodem.

Waterpleinen

Een andere oplossing voor het opvangen van piekafvoeren en het voorkomen van wateroverlast in steden is het waterplein. Een waterplein is een verdiept aangelegd plein waar regenwater vanuit de omgeving naartoe kan stromen en tijdelijk wordt vast gehouden. Hierdoor wordt het stedelijk watersysteem ontlast en neemt de wateroverlast in de buurt af. In droge tijden staat er geen water op het plein en doet het plein dienst als speel- en sportplaats. Ook bij kleine en middelgrote regenbuien stroomt er geen water naar het plein toe. Regenwater wordt – met eventueel vuil dat op straat ligt – weggepompt en afgevoerd naar het riool. Zodra de buien zwaarder worden, kan de kleine pomp het water niet meer verwerken. Het water, dat intussen schoner is (het vuil is immers al met de eerste bui weggevoerd), stroomt via een overstort door een zuiveringsfilter naar het plein. Als de regen voorbij is en de singels weer op het oude waterniveau zijn, kan het waterplein worden geleegd. Via een buis die aansluit op het diepste punt van het plein kan het water langzaam naar een singel stromen. Een eerste waterplein is ontwikkeld aan de Westersingel in Rotterdam (Foto 6). Na evaluatie van de eerste praktijkervaringen worden mogelijk meer waterpleinen in Rotterdamse wijken aangelegd.



Foto 6 Beeldenterras Westersingel. Dit waterplein in Rotterdam loopt alleen bij extreme buien onder water

Aanbevelingen voor het beleid

Het is raadzaam dat de overheid het belang van de bodem voor de klimaatbestendigheid van steden inzichtelijk maakt voor gemeenten door op dit thema aan te haken bij andere beleidsterreinen zoals infrastructuur, volksgezondheid, veiligheid, kwaliteit en leefbaarheid van de openbare ruimte en gebouwde omgeving, natuureducatie en duurzaamheid. Daarnaast kan de overheid gemeenten duidelijk maken dat nú investeren in klimaatbestendigheid in de toekomst gaat renderen. De overheid kan ook de burgers wijzen op dingen die zij zelf, als individu, kunnen bijdragen aan de klimaatbestendigheid van hun stad. Subsidies voor het nemen van maatregelen door gemeenten en particulieren zullen een extra stimulans vormen.

Aanbeveling voor verder onderzoek

Aanbevolen wordt om in samenwerking met gemeenten en/of waterschappen een aantal locaties/steden binnen Nederland te selecteren als casestudie en voor die gebieden een gedetailleerde kosten-batenanalyse uit te voeren van mogelijk te nemen klimaatadaptatiemaatregelen. Daarbij moeten de directe én indirecte kosten en opbrengsten worden meegenomen.

1 Inleiding

De verwachting is dat klimaatverandering de komende decennia zal leiden tot grotere perioden van droogte in Nederland, maar ook tot het optreden van intensievere regenbuien en het ontstaan van overstromingsrisico's (website KNMI). Met andere woorden, de weersomstandigheden zullen naar verwachting extremer worden dan nu. Zeker in stedelijke gebieden kan dit negatieve effecten veroorzaken voor de leefomstandigheden en de gezondheid van mensen.

In diverse onderzoeken en ruimtelijke ordeningsprojecten is en wordt al gekeken naar de mogelijkheden om stedelijke gebieden klimaatbestendig te maken en leefbaar te houden in de toekomst. De rol die de bodem daarbij kan spelen, is vaak onderbelicht gebleven. Een overzicht van de mogelijkheden voor klimaatadaptatie vanuit het oogpunt van de bodem is nog nauwelijks voorhanden. Dit terwijl het vooral in stedelijke gebieden, waar de bodem voor een groot deel bedekt is met bebouwing en asfalt, zaak is om goed naar de bodem te kijken. Juist in die gebieden kunnen de extreme weersomstandigheden voor (meer) wateroverlast gaan zorgen, omdat het water weinig mogelijkheden heeft te infiltreren in de bodem en dus versneld afgevoerd wordt naar de riolering en het oppervlaktewater. Door middel van het verstandig opvangen, bergen en afvoeren van water kunnen toekomstige wateroverlastproblemen beheerst en zoveel mogelijk voorkomen worden. Daarnaast zijn er mogelijkheden om de bodem te benutten bij klimaatadaptatie van stedelijke gebieden in het licht van (openbaar) groen. Door de openbare ruimte en particuliere tuinen in te richten met klimaatbestendig groen wordt deze ruimte optimaal gebruikt voor de klimaatadaptatie van steden. Openbaar groen speelt een belangrijke rol in tijden van extreme droogte en hitte. Parken zorgen voor afkoeling waardoor het zogenoemde hitte-eilandeffect in de stad wordt verkleind. Het groen beïnvloedt de temperatuur in de stad 's nachts door uitwaseming. Groen verplaatst daarbij koel water uit de grond naar de lucht, waardoor de temperatuur in de stad daalt.

Deze twee bodemgerelateerde thema's, waterberging en groen, zullen in dit rapport aan de orde komen. Daarnaast kan het realiseren van klimaatbestendig groen en waterberging in de bodem meer doelen dienen, zoals het bevorderen van de volksgezondheid, leefbaarheid, veiligheid en economie van de stad en zijn bewoners (zie website cijfersenfeiten).

In de ruimtelijke ordeningsprogramma's van stedelijke gebieden kan nu al gekeken worden naar de mogelijke effecten van klimaatverandering op de waterhuishouding en de leefbaarheid (groenvoorziening) van steden, en daar kan bij (her)inrichtingsprojecten rekening mee gehouden worden. Het doel van dit rapport is om een helder overzicht te geven van de mogelijkheden voor het optimaal benutten van de bodem bij het nemen van klimaatadaptatiemaatregelen in het stedelijk gebied. De focus ligt daarbij op de bodem als drager van (openbaar) groen en op het waterbergend vermogen van de bodem. Daartoe zal eerst een overzicht gegeven worden van de recente ontwikkelingen in het onderzoek en in het bodem- en groenbeleid/ruimtelijk beleid van steden in Nederland. Ook zal een aantal praktijkvoorbeelden gegeven worden van gemeentes die al klimaatbestendige maatregelen genomen hebben met, waar mogelijk, hun ervaringen.

Dit rapport is opgebouwd aan de hand van de 'bodemthema's', zoals die opgesteld zijn door de Nederlandse overheid (zie hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 en 4 zal een overzicht van de relevante bodemthema's gegeven worden, en mogelijke klimaatadaptatiemaatregelen in steden zullen aan deze thema's gerelateerd worden met betrekking tot groen in de stad (hoofdstuk 3) en het waterbergende vermogen (hoofdstuk 4). Maar dit rapport kijkt breder: ook de relatie met bijvoorbeeld de volksgezondheid, het burgerwelzijn en -bewustzijn zal worden gelegd. In hoofdstuk 5 wordt vervolgens een aantal praktijkvoorbeelden gegeven. Tot slot worden in hoofdstukken 6 en 7 de conclusies gegeven en aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

2 Bestaand onderzoek/beleid rond klimaatverandering en -bestendigheid

2.1 Het klimaatvraagstuk op globaal, Europees en nationaal niveau

De laatste decennia is er veel onderzoek gedaan om de mogelijke gevolgen van klimaatverandering in kaart te brengen, van mondiaal tot lokaal niveau. In het rapport van Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) worden de gevolgen van klimaatverandering voor de wereld en Europa behandeld, maar die worden niet specifiek uitgewerkt voor Nederland (Van Dorland et al., 2008). In april 2009 heeft de Europese Commissie een witboek uitgebracht over de gevolgen van klimaatverandering en over klimaatadaptatie in Europa, en daarbij vooral gewezen op de verantwoordelijkheid van de lidstaten om in het eigen land afdoende maatregelen te nemen om de gevolgen van een veranderend klimaat te kunnen opvangen.

In Nederland is de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar de potentiële effecten van klimaatverandering alsook naar de mogelijke maatregelen om sectoren (bijvoorbeeld landbouw), gebieden (met name West-Nederland) en het watersysteem klimaatbestendiger te maken. In 2005 is door de ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (LNV), Economische Zaken (EZ) en Verkeer en Waterstaat (VenW) het Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK) geïnitieerd. ARK heeft eerst de ruimtelijke consequenties van klimaatverandering geïnventariseerd. Samenwerkende onderzoeksinstituten in Nederland hebben vervolgens de zogenoemde 'Routeplanner' (website ARK; Van Ierland, et al., 2006) ontwikkeld voor de wetenschappelijke onderbouwing van die inventarisatie en de mogelijke klimaatadaptaties in Nederland. Daarnaast zijn en worden diverse praktijkprojecten uitgevoerd rond het klimaatbestendig inrichten van Nederland binnen nationale onderzoeksprogramma's als Klimaat voor Ruimte, Leven met Water en Habiforum (Van Dorland en Jansen, 2007). Momenteel loopt het programma Kennis voor Klimaat en wordt er gewerkt aan een programma Klimaat en Gezondheid.

De huidige wet- en regelgeving biedt voldoende mogelijkheden om adaptatiedoelen in ruimtelijke plannen op te nemen. Het nieuwe Deltaprogramma (ministerie IenM en EL&I) dat betrekking heeft op het klimaatbestendig maken van Nederland, is hier een goed voorbeeld van. De doelen van het Deltaprogramma zijn om Nederland ook voor de volgende generaties te beschermen tegen wateroverlast en te zorgen voor voldoende zoet water. In het Deltaprogramma, dat vooruitblijkt tot 2100, worden maatregelen uitgewerkt. De aanpak in dit programma kan worden getypeerd als een integrale gebiedsgerichte benadering met veel aandacht voor de invloed van potentiële waterproblemen (zeespiegelstijging, zoute kwel, verdroging, zoetwatervoorziening) op de ruimtelijke ordening. Nederland is hierbij verdeeld in een aantal deelgebieden. Wetgeving en financiering worden aangepast om de slagvaardigheid binnen het Deltaprogramma te vergroten.

2.2 Routeplanner voor klimaatadaptatie

Uit het Routeplanneronderzoek blijkt dat er in Nederland voornamelijk aanpassingen nodig zijn tegen overstromingen van rivieren en de zee. Ook moeten we rekening houden met meer extreme neerslag en een grotere

waterafvoer in de rivieren in de winterperiode. De zeespiegelstijging leidt tot toenemende verzilting van landbouw- en natuurgebieden in de kuststreek. Daarnaast moeten er maatregelen worden genomen om het hoofd te kunnen bieden aan de gevolgen van extreem droge en hete zomers. Warme zomers en hittegolven zullen aanpassingen vergen in de gebouwde omgeving en in de stedelijke gebieden. De zoetwatervoorziening voor landbouw en glastuinbouw, maar ook voor industrie die gebruikmaakt van oppervlaktewater als koelwater, kan in de toekomst problemen geven. Dit probleem geldt ook voor de scheepvaart die vanwege steeds vaker voorkomende lage waterstanden in de zomer met minder vervoerscapaciteit te maken krijgt.

Verder heeft klimaatverandering grote, en nog deels onbekende, gevolgen voor de natuur en landbouw in het algemeen. Zo lijkt het komen en verdwijnen van plant- en dieren soorten zich te versnellen en voltrekt het zich op een weinig voorspelbare wijze (IPCC, 2007).

In totaal zijn er in de Routeplanner 96 adaptatieopties beschreven die zijn verdeeld over de categorieën waterbeheer, natuur en ecosystemen, landgebruik, transport en infrastructuur, energie en gezondheid. De Routeplannerstudie (Van Van Drunen, 2007; Van Ierland, et al., 2006) concludeert dat er relatief weinig bekend is over de kosten en baten van mogelijke klimaatadaptatieopties in Nederland. Waar mogelijk heeft men in de studie een raming gemaakt van de kosten en baten van de diverse adaptatieopties voor een planperiode van 50 jaar.

2.3 Overige studies

In een studie over de randstad in 2040 (Van der Wouden et al., 2008) wordt gesteld dat de invloed van klimaatverandering op de waterhuishouding een belangrijk sturend principe moet worden bij woningbouw en verstedelijking. In deze studie wordt voorgesteld om het Groene Hart te beschouwen als een deel van een grotere, aaneengesloten Groenblauwe Delta, aansluitend bij het IJsselmeer, de Noordzee en de Zeeuwse wateren. Het is dan niet langer een open gebied temidden van een ring van steden, maar een onderdeel van een groter netwerk van water, natuur en steden. De Groenblauwe Delta zal hierdoor een plek worden voor het opvangen en vasthouden van water. De overheid hoopt hiermee een grotere diversiteit en toenemende ruimtelijke kwaliteit te waarborgen, met tevens ruimte voor recreatie, natuurbeleving, landbouw, zorgfuncties en woningbouw (Van Dorland, et al., 2010). Een dergelijke ontwikkeling zou de oxidatie van veen en daarmee de nationale uitstoot van CO₂ aanzienlijk kunnen verminderen.

Ook in de recentere studie *Wegen naar een klimaatbestendig Nederland* (Noorman en Ronden, 2009) worden de speerpunten voor een klimaatbestendige ruimtelijke strategie benoemd. In die studie gaat het om de langetermijnveiligheid tegen overstromingen, de waarborging van de zoetwatervoorziening gekoppeld aan het gebruik voor landbouw en natuur, en om de integratie van klimaatopgaven in het stedelijk gebied. Ook de nota *Waterrobuust Bouwen* (Van de Ven et al., 2008) biedt een strategie en een overzicht van maatregelen om het stedelijk gebied waterrobuust in te richten en daarbij de juiste maatregelen te kiezen. Deze maatregelen moeten aansluiten bij de lokale condities, toekomstige ontwikkelingen en de eisen van alle betrokkenen. De strategie gaat in op een gebiedsanalyse aan de hand van de lagenbenadering uit de *Nota Ruimte* (ondergrond, netwerklaag, occupatielaag),

op een analyse van de kwetsbaarheid, en vervolgens op een strategische keuze van maatregelen (Van Dorland et al., 2010).

Op lokaal niveau wordt door een aantal gemeentes al gewerkt aan de klimaatbestendigheid van de gemeente. Zo wordt bijvoorbeeld in Groningen en Rotterdam het traditionele klimaat- en energiebeleid al steeds meer in samenhang gezien met klimaatadaptatiemogelijkheden (Van Dorland et al., 2008).

Deze rapportage beperkt zich tot de bespreking van klimaatadaptatieopties die mogelijk zijn vanuit het perspectief van de bodem in het stedelijk gebied, waarbij de bodem kan worden benut voor waterberging en waterbeheer, en als drager van (openbaar) groen.

In de Routeplanner worden deze factoren ook aangestipt en wordt een kostenraming gemaakt, voor een planperiode van 50 jaar, die mogelijke maatregelen met zich mee zullen brengen. De kosten die voor wateropslag en -retentie in stedelijke gebieden in dit plan zijn opgenomen worden geschat op 3.300 miljoen euro. De baten per m² voor het voorkomen van hitte-eilanden (het verzorgen voor koelcapaciteit in steden, wat gepaard gaat met de inrichting van de openbare groene ruimte in steden) zijn hoger dan de lasten (Van Dorland et al., 2007).

2.4 Bestaand bodembeleid in Nederland

De overheid werkt aan beleid voor duurzaam gebruik van de bodem. Dit betekent dat de bodem zo wordt gebruikt dat voor de volgende generaties de mogelijkheid om in hun behoeften te voorzien niet in gevaar wordt gebracht. Ook zij moeten de bodem kunnen gebruiken voor landbouw, natuur, drinkwater en woningbouw.

Een gemeente kan in een Nota Bodembeheer aangeven welke bodemkwaliteit in een gebied wordt nagestreefd. Ze legt daarbij haar '(Bodem)Ambitie' vast. De overheid kan er bijvoorbeeld voor kiezen om de huidige kwaliteit niet te laten verslechteren. Ze kan echter ook een kwaliteitsverbetering nastreven.

Bij het opstellen van BodemAmbities van een gemeente wordt rekening gehouden met de toekomstige (ruimtelijke) ontwikkelingen in het gebied. Daarmee wordt de relatie tussen bodemgebruik en bodemkwaliteit concreet gemaakt. Het begrip BodemAmbities gaat uit van thema's die aan bodem zijn gerelateerd. Bodemthema's spelen een rol in processen als ruimtelijke inrichting, het opstellen van omgevingsplannen en het maken van water-, natuur- en/of milieunota's. Er bestaan 26 bodemthema's zoals chemische bodemkwaliteit, afdekking, biodiversiteit, verdroging en ondergronds ruimtegebruik.

Tekstbox 1: Thema's van BodemAmbities

De bodemthema's die van belang zijn in een bepaald gebied worden BodemAmbities genoemd. BodemAmbities kunnen structureel gekozen worden met behulp van de routeplanner. De Routeplanner BodemAmbities (website: bodemambities) adviseert lokale overheden om het lokale bodembeleid niet te beperken tot de chemische bodemkwaliteit, maar ook aandacht te besteden aan de fysische en ecologische bodemkwaliteit. Het uitgangspunt is hierbij de functie die aan een gebied wordt toegekend. Afhankelijk van de functie van de ruimte kunnen BodemAmbities geselecteerd worden. Het afwegen van bodemthema's die in een gebied spelen, zoals draagkracht of biodiversiteit, is noodzakelijk om tot een duurzaam gebruik en een duurzame ruimtelijke inrichting van de bodem te komen.

Binnen een aantal van de hierboven genoemde bodemthema's biedt de bodem kansen om de effecten van klimaatverandering op te vangen. In een recent onderzoek (Claessens en Dirven, 2010) is geïnventariseerd welke bodemthema's bij kunnen dragen aan het klimaatbestendig maken van de stad. Waterberging en -opslag, bijvoorbeeld, zijn mogelijkheden om water op te slaan in de bodem. Lokale bodemverontreiniging is een thema waaronder aangegeven wordt dat het combineren van sanering met ondergronds ruimtegebruik, zoals waterberging, kostenbesparend werkt. Een ander voorbeeld is het thema 'verdichting'; door de bodem luchtig te houden geef je het bodemleven meer kans. Hierdoor kan meer organisch stof in de bodem opgenomen worden waardoor het watervasthoudend vermogen van de bodem wordt verhoogd.

3 Bijdragen van openbaar en particulier groen aan klimaatbestendigheid van de stad

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van verschillende typen groen, zoals groene daken, parken, stadstuinen en volkstuinen die kunnen bijdragen aan het klimaatbestendig maken van de stad (vergroten van het waterbergend vermogen en verkleinen van het hitte-eilandeffect). Eerst worden de bodemthema's beschreven die een relatie hebben met openbaar en particulier groen en het effect daarvan op de klimaatbestendigheid van de stad. Deze thema's worden daarna per type groen uitgewerkt. Ook wordt per type groen een opsomming gemaakt van andere klimaatvoordelen en neveneffecten.

Groen in de stad heeft in het algemeen een relatie met de bodemthema's afdekking, biodiversiteit, bodemvruchtbaarheid en verdroging. In parken en tuinen is meestal geen waterdoorlatende verharding aanwezig zodat hemelwater direct door de bodem kan worden opgenomen. Een niet afgedekte bodem draagt dan ook bij aan het waterbergend vermogen van het stedelijke gebied. Ook de verdroging van het oppervlak wordt tegengehouden als de bodem bedekt is met groen. Het waterbergend vermogen van de bodem wordt onderscheiden als een van de ecosysteemdiensten van de bodem (Rutgers et al., 2007). Maar ook bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit (Rutgers et al., 2009) zijn belangrijke aspecten van de ecosysteemdiensten van de bodem.

Openbaar en particulier groen leveren een bijdrage aan de natuur in de stad en verhogen dus de biodiversiteit. Veel vogels en kleine zoogdieren gebruiken groene daken als rust-, schuil- of nestelplaats. Planten en bodem zorgen voor schaduw en verkleinen het hitte-eilandeffect. Het bodemleven zorgt bovendien voor een gezonde bodem en draagt daarmee bij aan de bodemvruchtbaarheid. Een gezonde bodem kan relatief meer water vasthouden dan een bodem van mindere kwaliteit.

De bodems in groene gebieden hebben de capaciteit om water te bergen bij extreme regenval. De bomen nemen dit water deels weer op met hun wortels en brengen het als waterdamp in de lucht via de huidmondjes (transpiratie). Circa 95% van het opgenomen water verdwijnt door transpiratie (Bade et al., 2009). Bomen en struiken onttrekken water aan de bodem en dragen zo bij aan het verlagen van het grondwaterpeil. Er komt dan weer ruimte in de bodem om water te bergen tijdens extreme buien (Pronk en Van Dijk, 2008). Gezonde wortelstelsels van bomen, gekoppeld aan voldoende omzetting van organisch materiaal in de bodem (decompositie), hebben hierdoor ook een positief effect op de capaciteit van bodems om water te bufferen. Dit zorgt voor de berging en opslag van water bij extreme buien en kan dan weer gebruikt worden in drogere tijden. Ook wordt het water dat verder de bodem inzakkt gezuiverd. Dit water is dan weer beschikbaar als drinkwater.

Natuur in de stad draagt bij aan de leefbaarheid. Groen is in staat om in stedelijke gebieden de temperatuurstijging te beperken. Hierdoor wordt het hitte-eilandeffect in het stedelijk gebied verkleind. Bomen in een stadstuin leggen bovendien CO₂ en fijn stof vast en verbeteren daarmee de lokale luchtkwaliteit. Deeltjes van fijn stof worden opgevangen door bladeren en takken van bomen en struiken en komen met de neerslag of met afvallend blad

op de bodem terecht. Het bodemleven in gezonde bodems is in staat deze organische verbindingen af te breken. Bomen zetten CO₂ om in zuurstof.

Groen in de stad heeft ook nog andere voordelen. Zo is het aantrekkelijk om je in een groene omgeving te vestigen. Huizenprijzen zijn vaak hoger wanneer meer groen in de omgeving van het huis aanwezig is. Groen verhoogt de waarde van huizen met 4 tot 8% door de mooie leefomgeving. Hierdoor worden de Onroerend Zaak Belasting (OZB)-inkomsten van de gemeente hoger. Dus door het aanleggen van een groene woonomgeving rond koophuizen kan een gedeelte van de investering in groen via OZB terugverdiend worden (Goossen, 2010). Ook voelen mensen zich meer ontspannen in een groene omgeving.

3.1 Groene daken en muurbepanting

Groene daken is een verzamelnaam voor begroeide platte en hellende daken van woningen, kantoorgebouwen of garages. Die begroeiing kan bestaan uit vetplantjes (Sedum), kruiden, mos en/of gras, maar ook uit struiken en bomen.

Relatie met de bodemthema's:

- *Waterberging en opslag:* Groene daken houden 50 tot 80% van de neerslag vast die op het dak valt (Losken, 2006). Het groene dak vertraagt de afvoer van het hemelwater naar het riool waardoor uiteindelijk minder water het riool instroomt, de piekbelasting van het riool afneemt, de kans op overstorten verkleint en de hoeveelheid water naar de afvalwaterzuiveringsinstallatie vermindert. Dit bespaart energie doordat er minder gebruik wordt gemaakt van de afvalwaterzuiveringsinstallatie. Het overstortvolume kan door groene daken met 4 tot 19% dalen (Vos, 2009). Een daktuin met 25 cm grond houdt al 80% van het regenwater vast. Bovendien zorgt verdamping (Klooster et al., 2008) van een gedeelte van het opgevangen regenwater op de groene daken voor afkoeling in de zomer tijdens extreme hitte, waardoor het in de stad minder warm wordt ten opzichte van de omgeving.
- *Biodiversiteit:* Een groen dak kan in dicht bebouwd stedelijk gebied dienen als compensatie voor groen gebied. Groene daken geven flora en fauna levensruimte zoals een nestelplaats voor vogels en een schuilplaats en rustplaats voor dieren in de stad. Een groen dak is bovendien een verbinding met omliggend groen.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner:

- Een groen dak zorgt voor isolatie van het gebouw zodat minder energie gebruikt hoeft te worden voor het verwarmen en/of de koeling van het gebouw.
- De duurzaamheid van de daken met een beplanting is hoger dan die zonder beplanting. Voor de daken zelf is een groen laagje beter. Een groen dak kan een dak dubbel zolang laten meegaan, omdat het beschermt tegen uv-straling, wind en neerslag. Geluidabsorptie vindt plaats door de isolatie van de begroeiing op het dak.
- Door groene daken kan de ruimte meervoudig gebruikt worden, bijvoorbeeld door een park aan te leggen op een parkeergarage of kantoor. De verblijfskwaliteit in de stad kan daardoor verbeteren.

Er zijn al veel gemeenten die subsidie verstrekken aan bewoners die groene daken willen realiseren. En er is een website (website groendaken-nederland en Rotterdam-groenedaken) waar alles te vinden is over de voordelen en de aanleg van en subsidies voor groene daken. Het ministerie van IenM stimuleert via investeringsaftrek ondernemers om groene daken en groene gevels aan te leggen.

3.2 Park

De temperatuur in grote groene ruimtes zoals parken en begraafplaatsen wordt gedurende warme periodes veelal minder hoog dan in dicht bebouwde (versteende) gebieden. Bomen vangen het zonlicht op en gebruiken de energie bij de fotosynthese. Deze energieomzetting van bomen zorgt voor een hogere luchtvochtigheid, waardoor het effect van de straling van de zon vermindert en de temperatuur daalt. De schaduw die bomen geven zorgt ervoor dat het zonlicht de stenen delen niet bereikt en verwarmt. Er is een sterk verband aangetoond tussen de temperatuursverlaging en de dichtheid van de beplanting (website maakruimtevoorklimaat). Grofweg kan gezegd worden dat naarmate de hoeveelheid bomen en struiken in een park toeneemt, het park koeler is. Parken hebben vaak een vijver of fontein die de omgeving kan verkoelen.

Relatie met de bodemthema's:

- *Afdekking en waterberging:* In een park is bijna geen afdekking of een waterdoorlatende verharding van het oppervlak, zodat hemelwater direct in de grond kan doordringen en kan worden opgeslagen. In een afgedichte stad (75-100% verhard) stroomt 55% van de neerslag meteen af en wordt slechts 15% in de bodem opgenomen. In de natuur stroomt maar 10% van de neerslag meteen af en wordt 50% in de bodem opgenomen (Bade et al., 2009).
- *Bodemvruchtbaarheid:* In een park kan het van de bomen gevallen blad door de bodemorganismen in de bodem worden opgenomen. Uit onderzoek blijkt dat in parken regenwormen voorkomen die elders nog niet aangetroffen zijn, het aantal wormen per m² in parken is vaak hoog. Het aantal potwormen en nematoden is vergeleken met akker- en landbouwgronden hoog (Rutgers et al., 2007) Een hoge biodiversiteit in de bodem zorgt voor het toenemen van de bodemvruchtbaarheid zodat bomen en struiken gezond kunnen blijven en verder kunnen groeien



Foto 7 Een park brengt mensen samen: Vondelpark Amsterdam. Foto: S. Dirven

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner:

- Veel mensen vinden parken en andere groene ruimtes een prettige omgeving om te verblijven (Foto 7). Er zijn inmiddels veel onderzoeken gedaan naar groen en het welbevinden van mensen. Aanleg en uitbreiding van parken en andere groene ruimtes kunnen worden gebruikt om klimaatvraagstukken te

koppelen aan andere problemen die in de maatschappij leven, zoals gezondheidsproblemen door normoverschrijding van luchtkwaliteit. Meer groen kan de fijnstofconcentratie verlagen. Het gaat dan om een juiste mix van allerlei soorten groen, en bomen nemen een bijzondere positie in (Tonneijck en Kuypers, 2006).

- Parken, pleinen en binnentuinen brengt mensen samen. Achterstandswijken hebben vaak verwaarloosde openbare ruimtes. Het opknappen van een park in een achterstandswijk kan een impuls geven aan de opbouw van de levensgemeenschap en bevordert integratie van bewoners door het gebruik van groene ruimte voor sociale evenementen.
- Een groene omgeving reduceert stress en moedigt mensen aan om actief te zijn, om te gaan wandelen of te sporten.
- Groen voorkomt dat mensen ziek worden. Mensen leven langer rondom groene ruimtes en herstellen sneller van ziektes (website degroenstad a, naturalengland).
- Wanneer de stad klimaatbestendig gemaakt wordt zal de recreatie ook meer in de stad kunnen plaatsvinden en hoeven de mensen niet naar buiten te trekken. Recreatief groen in de stad trekt veel mensen die anders naar gebieden buiten de stad zouden gaan om verkoeling te zoeken. Hierdoor ontstaan op warme zomerdagen minder problemen zoals files, verkeersonveiligheid, overvolle recreatiestranden en gebrek aan parkeerruimte. Het is een kans voor de verdere ontwikkeling van de stad. Door deze kans te benutten en verkoeling en recreatie de ruimte te geven ontstaan er economische voordelen.
- Bomen zijn goed voor de stedelijke luchtkwaliteit, dat staat inmiddels in menig gemeentelijk boombeleidsplan. Een groene omgeving bevordert de gezondheid. Hoge concentraties ozon komen 's zomers voor op dagen met veel zonneschijn. Recent Engels onderzoek heeft aangetoond dat 23 van in totaal 30 soorten veelvoorkomende stadsbomen min of meer gunstig zijn voor het verminderen van een bepaald type smog in verstedelijkt gebied (Donovan et al., 2005). Volgens de huidige kennis zijn naaldbomen (inclusief coniferen) veel efficiënter in het afvangen van fijn stof dan loofbomen. Gezonde, goed groeiende bomen zijn het meest effectief, en grote bomen hebben het meeste effect. Het is dus ook vanuit het oogpunt van luchtkwaliteit belangrijk om ervoor te zorgen dat de bomen in de stad gezond oud kunnen worden. Een eerste vereiste daarvoor is dat de groeiplaats geschikt is voor de gekozen boomsoorten en dat de beschikbare ruimte (boven- en ondergronds) ook gedurende langere tijd voldoende is om de bomen zich gezond en zonder overlast te veroorzaken te kunnen laten ontwikkelen. De uiteindelijke invulling van een ontwerp is daarom altijd maatwerk. Kennis van de eigenschappen van straatbomen en het gebruik ervan in de stad wordt onder andere verzameld in het Gebruikswaarde Onderzoek Laanbomen (website straatbomen).

3.3 Moestuin en volkstuin

Een volkstuin is een stukje grond waarop men siergewassen en/of groente mag telen en waarop men veelal ook nog een huisje mag plaatsen. Vaak worden deze tuinen gehuurd bij de gemeente. De volkstuinparken liggen in of direct naast de stad. Het betreft een grote onbebouwde oppervlakte.

Relatie met de bodemthema's:

- *Waterberging en -opslag:* In een volkstuin wordt veel aandacht besteed aan waterberging en opslag, waterdoorlatendheid van de bodem, organische stofgehalte en bodemvruchtbaarheid om eetbare gewassen te kweken. Wortelstelsels en resten van gewassen gekoppeld aan voldoende omzetting van organisch materiaal in de bodem (decompositie) hebben hierdoor ook een

positief effect op de capaciteit van de bodem om water te bufferen. Dit zorgt voor de waterberging en -opslag na extreme buien en het opgeslagen water kan gebruikt worden in drogere tijden.

- *Biodiversiteit:* Volkstuinen zijn vanwege de rust een verblijfplaats voor fauna in de stad.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner:

- Moes- en volkstuinen kunnen gebruikt worden om klimaatvraagstukken te koppelen aan andere problemen die in de maatschappij leven. Het werken in de tuin levert bijvoorbeeld een bijdrage aan de volksgezondheid bij de bestrijding van overgewicht, wat een van de grootste gezondheidsopgaven is.
- Moes- en volkstuinen kunnen dienen als instrument voor interculturalisatie en inburgering. Allochtonen zijn vaak gewend om een groentetuin te hebben en zijn ook gebruikers van volkstuincomplexen. Op de volkstuin vindt integratie plaats tussen bewoners.
- Een volkstuin biedt een kwetsbare en groeiende doelgroep van ouderen de mogelijkheid tot actieve recreatie. Het is een ontmoetingsplaats voor oudere mensen die vaak geïsoleerd leven. Volkstuinen brengen mensen samen.
- Een moes- en volkstuin biedt potentie voor natuureducatie voor jong en oud, en heeft een sociale (verenigings-)functie.
- Een groene omgeving kan gunstig zijn voor de gezondheid en het welbevinden. Tuinverenigingen springen hierop in door mindervaliden het gebruik van tuinhuisjes aan te bieden. Een voorbeeld is het logeershuis van Amstelglorie.
- Voor gemeenten zijn volkstuinen aantrekkelijk door goedkoop beheer van het (openbaar) groen. Bovendien zijn volkstuinen een aanvulling op de hoeveelheid groene ruimte in de stad.

3.4 Stadstuin

In Nederland liggen ongeveer 4,5 miljoen tuinen met een gemiddelde oppervlakte per tuin van ongeveer 125 m². Dit is een totaal oppervlak aan tuinen van ruim 560 km² (Bade, 2009), ongeveer zo groot als de provincie Utrecht. Stadstuinen zijn van toegevoegde waarde. Ze kunnen het water in de stad houden en wateroverlast voorkomen. De meerwaarde van tuinen bij de verwerking van neerslag heeft alles te maken met het oppervlak en de mate waarin het tuinoppervlak afgedicht is. De stadstuin kan ook voor verkoeling zorgen tijdens extreme hitte. Zelfs een geveltuin kan een bijdrage leveren aan het klimaatbestendig maken van de stad. Een geveltuin is een klein stukje tuin tegen de gevel van het huis. Dit stukje tuin is maximaal 45 cm (anderhalve stoeptegel) diep.

Relatie met de bodemthema's:

- *Waterberging en -opslag:* De inrichting van de tuin is van invloed op de hoeveelheid neerslag die in de stad kan worden gebruikt voor waterberging en -opslag zodat regenwater niet door het riool hoeft te worden opgevangen en afgevoerd. Een groot gedeelte van de neerslag die in onze tuinen terecht komt, verdampt of infiltreert in de bodem. Bij ontwerp en inrichting van tuinen kan met deze functie rekening worden gehouden, zoals het aanleggen van niet afgedekt oppervlak, een vijver of een infiltratiegreppel. Een vijver en een infiltratiegreppel geven ruimte aan overtollig water tijdens perioden van overmatige regenval. Een infiltratiegreppel is in principe een droge laagte waarin het hemelwater zich tijdens een regenbui verzamelt. Aanvoer kan via natuurlijke weg of via molgoten verlopen. Vervolgens kan het water via de goeddoorlatende ondergrond rechtstreeks in de bodem infiltreren (website aquaRO).
- *Afdekking:* In de eerste plaats leidt minder verharding tot een zeer aanzienlijke vermindering van de hoeveelheid afstromend water. Bij volledig bestrate (afgedekte) tuinen stroomt 85% van het water af richting riool. Bij groene tuinen is dit slechts 15% van de neerslag.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner:

- Stadstuinen dragen bij aan de natuur in de stad. Het beheer van dit groen is goedkoop wanneer het gedeelte openbaar groen aan de tuin gekoppeld wordt.

3.5**Groene infrastructuur**

Parken en plantsoenen, de verbindingen daartussen zoals bermen, groenstroken en wadi's, maar ook bomenlanen vormen samen de groene infrastructuur van de stad. Mits goed ontworpen helpt deze infrastructuur om de gevolgen van klimaatverandering op te vangen. De ruimtelijke ordening heeft invloed op de temperatuur in de stad. De inrichting van de stad (hoogbouw, dichtheid) bepaalt het klimaat van de stad (*Urban Heat Island-effect*). De inrichting van parken, bomenlanen en (hoog)bouw heeft invloed op windpatronen en is bepalend voor de koeling en ventilatie in de stad. Ook het gebruik van de kleur en het materiaal van de bestrating beïnvloedt het klimaat in de stad. Voor de bijdrage van parken aan de klimaatbestendigheid van de stad zie ook paragraaf 3.2.

Relatie met de bodemthema's:

- *Afdekking:* Het gebruik van minder afdekking en het plaatsen van bomenrijen bestrijdt in drukke straten de hitte in de stad die door het verkeer veroorzaakt wordt. Bomen zijn in staat om deze opwarming te neutraliseren, maar dan wel in combinatie met voldoende ventilatie om problemen met de luchtkwaliteit te voorkomen. De verhouding tussen bebouwing en verharding enerzijds en groene ruimte (parken, plantsoenen) afgewisseld met water (kanalen en vijvers) anderzijds bepaalt het warmteabsorberende vermogen en de energieomzetting in een stad.
- *Waterberging en -opslag:* Dit is het opvangen van overtollig oppervlaktewater en het voorkomen van overstromingen door het gebruik van wadi's en infiltratiegreppels. Waterberging is goed te combineren met de aanleg van nieuwe wegen zie paragraaf 4.2.2 en 4.2.3).
- *Biodiversiteit:* Groen kan ook een gunstig effect hebben op het veraangenamen van het stedelijke microklimaat en op de biodiversiteit. Het realiseren van habitat, corridors en meer doorlatend landschap geeft flora en fauna de kans om zich aan te passen aan klimaatverandering.

De biodiversiteit kan zich aanpassen aan veranderingen wanneer deze niet te extreem zijn. Ook kan de biodiversiteit zich vergroten wanneer er meer ruimte gecreëerd wordt in de vorm van een gezonde open bodem met gevarieerd groen.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner:

- Een buurt met goed onderhouden groen draagt bij aan de leefbaarheid en een veiliger gevoel bij de buurtbewoners. Een groene leefomgeving vermindert de criminaliteit (Kuo en Sullivan, 2001) en verhoogt de kwaliteit van leven.
- Een groene omgeving heeft een indirecte positieve invloed op bepaalde gezondheidsindicatoren en psychische kenmerken. Dit blijkt uit een onderzoek waar bewoners uit twee buurten met een verschillende hoeveelheid groen werden bestudeerd (De Wit et al., 2006). Het aantal gezondheidsklachten blijkt met 0,15% per inwoner significant te dalen voor elke 10% meer groen in de woonomgeving. In gebieden waar 90% van de omgeving rond een woning groen is, zal slechts 8,2% van de inwoners zich ongezond voelen; in gebieden waar 10% groen is, voelt 13,3% van de mensen zich ongezond. Alle leeftijdscategorieën hebben evenveel voordeel van groene ruimten in hun directe levensomgeving. Lager geschoolde bevolkingsgroepen profiteren het meest van groen in hun levensomgeving (Maas et al., 2005).
- Economisch belang: Groene infrastructuur levert een hogere levensstandaard. Groen in de stad stimuleert de economie: het levert een aantrekkelijke woonomgeving en een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor bedrijven, het verhoogt de huizenprijzen door de mooie leefomgeving en het bevordert stadstoerisme.
- Shrinking Cities zijn steden die waarde en kwaliteit verliezen door een afnemende vraag naar huizen en een wegtrekkende bevolking en bedrijvigheid. Dit leidt tot een grote stadsvlucht. In Limburg neemt in een aantal steden het bewonersaantal ook af door afname werkgelegenheid. Herinrichting van de stad, rekeninghoudend met het klimaatbestendig maken van de stedelijke omgeving, kan een leefbare, mooie en klimaatbestendige stad opleveren. Gedeeltes van bebouwing kunnen ingericht worden als park of recreatiegebied of aan de natuur teruggegeven worden. Dit levert een groenere, meer aantrekkelijke leefomgeving voor mens en natuur op.

Tabel 4 De mogelijke maatregelen ter verhoging van de klimaatbestendigheid in steden door (openbaar) groen en de kwalitatieve bijdragen voor de stad en haar bewoners hierop en de relaties met bodemthema's.

Type groen	Bodemthema	Effect op het klimaatbestendig maken van de stad	Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner
Groene daken en muurbepanting	Waterberging en -opslag, Afdekking, Biodiversiteit	Vergroot waterbergend vermogen, geeft verkoeling, vermindert CO ₂ -uitstoot, isoleert gebouwen (temperatuur en geluid), reduceert energiegebruik.	Milieu en de volksgezondheid: verbetert luchtkwaliteit. Natuur: verhoogt biodiversiteit. Economie: duurzaamheid van het dak.
Park, moestuin en volkstuin, groene infrastructuur	Waterberging en -opslag, Afdekking, Biodiversiteit, Verdroging, Bodemvruchtbaarheid	Vergroot waterbergend vermogen, geeft verkoeling, vermindert CO ₂ -uitstoot, zorgt voor behoud van ecosysteemdiensten (bodemvruchtbaarheid en waterberging).	Milieu en de volksgezondheid: verbetert luchtkwaliteit, zorgt voor gezondere leefomgeving, bevordert sociale samenhang wijk (interculturalisatie, ontmoetingsplaats voor oudere mensen en mindervaliden) bevordert actief zijn, reduceert stress en voorkomt ziekte Natuur: verhoogt biodiversiteit Economie: impuls opbouw achterstandswijk, verhoging OZB, goedkoop beheer groen
Stadstuin	Waterberging en -opslag, Afdekking, Biodiversiteit, Bodemvruchtbaarheid,	Vergroot waterbergend vermogen, geeft verkoeling, vermindert CO ₂ -uitstoot, zorgt voor behoud ecosysteemdiensten (bodemvruchtbaarheid en waterberging).	Milieu en de volksgezondheid: verbetert luchtkwaliteit, zorgt voor gezondere leefomgeving, bevordert actief zijn, reduceert stress en voorkomt ziekte Natuur: verhoogt biodiversiteit.

4 Maatregelen met betrekking tot het waterbergend vermogen van de bodem

Hoewel de natuurlijke grilligheid van de lokale neerslag een trend niet heel duidelijk maakt, is in de twintigste eeuw de gemiddelde neerslag in Nederland toegenomen met 18%. Ook de intensiteit van extreme neerslag is toegenomen. In de zomer ligt Nederland in een scherpe overgang tussen een kleine toename van de neerslag in het noorden en een sterke afname in het zuiden. De verwachting is dat ook in de toekomst deze trend zich voortzet. Dagelijkse neerslagextremen in de zomer nemen toe met 5 tot 27% in 2050 volgens IPCC. Voor de winter geldt dat de hoeveelheden in langere periodes toenemen met 4-14% in 2050. Voor 2100 wordt er rekening gehouden met een verdubbeling van genoemde percentages (Van Dorland et al, 2007).

De Nederlandse overheid zal voorbereid moeten zijn om in de stedelijke gebieden de komende decennia meer regenwater, frequentere regen en hogere piekafvoeren te verwerken. Juist in stedelijke gebieden is het belangrijk hierop te anticiperen. De bodem is daar voor een groot deel bedekt met bebouwing en asfalt en het water heeft weinig mogelijkheden om te infiltreren in de bodem en versneld afgevoerd te worden naar de riolering en het oppervlaktewater. Door middel van het verstandig opvangen, bergen en afvoeren van water kunnen toekomstige wateroverlastproblemen beheerst en zoveel mogelijk voorkomen worden.

De bodem speelt een cruciale rol in de waterberging. Een belangrijke factor voor klimaatadaptatie in het stedelijk gebied is daarom het vergroten van de capaciteit van de bodem, om het water te absorberen en het water (tijdelijk) te bergen, en zo piekafvoeren naar het oppervlaktewater te doen verminderen.

In dit hoofdstuk zal een beschrijving worden gegeven van de mogelijke maatregelen die in stedelijke gebieden kunnen worden genomen ter voorkoming van wateroverlast, waarbij de bodem een rol speelt. Ook wordt een aantal meer technische maatregelen besproken, dat zijdelings verband houdt met de bodem, maar niet volledig uitgaat van de intrinsieke mogelijkheden van de bodem om water te bergen. Naast de bodem wordt in dit rapport ook het stedelijk oppervlaktewater meegenomen, omdat dit een sterke link heeft met zowel de bodem, het bodemgebruik als ook het grondwater.

4.1 Overzicht van mogelijkheden

In Tabel 5 zijn alle maatregelen opgesomd, onderverdeeld in vier categorieën:

- maatregelen die betrekking hebben op de intrinsieke bodem (bodemmatrix);
- maatregelen die betrekking hebben op de relatie bodem/grondwater-oppervlaktewater;
- technische maatregelen die betrekking hebben op de ondergrond, maar niet direct op de bodemmatrix; en
- overige maatregelen.

In de daaropvolgende paragrafen worden de verschillende typen maatregelen nader toegelicht.

Tabel 5 Overzicht van mogelijke maatregelen ter vergroting van het absorberend en waterbergend vermogen van de bodem en ter voorkoming van wateroverlast in stedelijke gebieden vanuit het oogpunt van de bodem

Maatregel	Omschrijving	Toepassing (voorbeelden)	Aandachtspunten (voor-/nadelen)
Maatregelen die betrekking hebben op de intrinsieke bodem (bodemmatrix)			
Aanleg van wadi's	Een wadi is een veelal begroeide verlaging van het maaiveld die bij hevige regenval onder water komt te staan, doordat hemelwater via het dak naar de wadi wordt afgevoerd. Eventueel voorzien van ondergelegen infiltratievoorziening.	Helden, Houten	Wadi fungeert ook als zuiveringsfilter voor het regenwater. Wadi's worden door bewoners gewaardeerd als wijkdecoratie. Wadi's leiden echter tot verontreiniging van de bodem met zware metalen (Verschoor en Brand, 2008).
Profilering maaiveld	Wanneer het straatprofiel anders ingericht wordt, wordt het mogelijk extra berging aan te leggen. Bepaalde delen, bijv. bermen, kunnen bij regen onderlopen zonder overlast te veroorzaken.		
Natuurlijke waterbuffer	Een natuurlijke plas, vliet o.i.d. dient als waterbuffer door piekafvoeren van regen- of rivierwater op te vangen.	Zuid-Hollands plassengebied, Friese Meren	Bij het creëren van 'nieuw' groen kan een dubbelfunctie als recreatie/waterbuffer worden overwogen.
Kunstmatige waterbuffer	Kunstmatige voorziening voor het tijdelijk opslaan van water aan het bodemoppervlak.		Dubbelfunctie recreatie/ waterbuffer mogelijk.
Infiltratiesysteem / Ondergrondse waterberging	Een ondergrondse infiltratievoorziening bestaande uit een berging waar het water via een buis of sleuf terechtkomt. Vanuit hier kan het wegzijgen naar de ondergrond.	Eindhoven (nieuwbouwwijk Meerhoven)	Op dit moment weinig tot geen geschikte methoden beschikbaar voor reiniging.
Flexibel peilbeheer	Grondwaterstanden worden niet op een vast peil gehouden, natuurlijke fluctuatie wordt toegestaan.	Polder Botshol, Loosdrecht, Naarden	Nadelen: o.m. voor de landbouw

Maatregelen die betrekking hebben op de relatie bodem/grondwater - oppervlaktewater			
Circulatie van het open watersysteem.	Betere doorstroming		Waterkwaliteit en menging in oog houden.
Overdimensioneren van de buffer- en opslagcapaciteit.	Rekening houden met verwachte verhoogde neerslag en piekafvoeren.	Waterschappen: GGOR (gewenst grond- en oppervlaktewater regime). Capaciteit van het watersysteem wordt aangepast aan toekomstige klimatologische omstandigheden.	
Stilstaand water koppelen aan watersysteem.	Piekneerslag beter kunnen afvoeren door betere doorstroming.		Waterkwaliteit en menging in oog houden.
Technische maatregelen die verband houden met de ondergrond, maar niet direct met de bodemmatrix			
Meestromen hemelwater in straatprofiel.	Straatprofielen en oeverzones zo inrichten dat meestromen met (rivier)water mogelijk wordt.	Goten, greppels. Ontgroning tussen tegels, klinkers, openbaar groen ed. Dresden: verwijderen van obstakels die doorstromen bemoeilijken. Goes (wijk Ouverture).	Opdrijfverschijnselen van kabels en leidingen. Door water zichtbaar te maken in het straatbeeld wordt de burger bewust gemaakt van het watersysteem en de zorg daarvoor.
Waterpleinen	Een waterbassin waarin regenwater wordt verzameld. Op een later tijdstip kan het water alsnog afgegeven worden aan het grondwater of afgevoerd naar het riool.	Rotterdam, uitwerking door DE URBANISTEN en studio Marco Vermeulen.	In periodes dat het plein niet onder water staat, kan het voor andere doeleinden gebruikt worden, bijv. recreatie (speelveld).
Waterdoorlatende verharding	Verharding uit poreus materiaal	Gemeente Cranendonck (Gastel)	Gevaar van dichtslibben is reëel. Speciale zuigmachines kunnen hiertegen oplossing bieden.
Waterpasserende verharding	Verharding met vergrote voegen waardoor het water infiltreert.		Het laten infiltreren van stedelijk regenwater leidt tot verontreiniging van het grondwater en kan tot problemen leiden voor de drinkwatervoorziening.

Gescheiden stelsel	Systeem dat bestaat uit twee aparte buizenstelsels voor de gescheiden inzameling en afvoer van afvalwater en regenwater.	Houten, Utrecht (Leidse Rijn), Alkmaar	
<i>Smartdrain</i>	Voorziening waarin het eerste (mogelijk verontreinigde) regenwater gescheiden wordt afgevoerd van het overige regenwater.		Concept kan eenvoudig geïntegreerd worden in renovatie werkzaamheden zoals wegreconstructies.
Overige maatregelen			
Meer 'onafgedekte bodem' in tuinen en plantsoenen	Vergroten van de infiltratiecapaciteit van de bodem door minder verharding op plaatsen waar dat niet nodig is.		
Locatiekeuze verstedelijking	Bouwen op locaties waar de bodemgesteldheid en grondwaterstand geschikt zijn.		

Bron: o.a. naar *Waterrobuust Bouwen (Van de Ven et al., 2008)*.

4.2 Uitwerking van maatregelen: intrinsieke bodem (bodemmatrix)

4.2.1 Waterbuffers

Natuurlijke waterbuffer

Bij de ruimtelijke inrichting van stedelijke gebieden kan ruimte gereserveerd worden voor de aanleg van waterbuffers. Deze buffers kunnen zowel natuurlijk als kunstmatig van aard zijn. Bij een natuurlijke waterbuffer kan een natuurlijke plas, vliet of dergelijke aangewezen worden om dienst te doen als waterbuffer door piekafvoeren van regen- of rivierwater op te vangen. Regen- en rivierwater kan, indien nodig, via sloten of ondergrondse drainagesystemen naar de waterbuffer geleid worden. Op het moment dat de aanvoer van water afneemt, kan het water vervolgens verder afgevoerd worden uit de buffer naar het oppervlaktewater of infiltreren naar het grondwater.

Kunstmatige waterbuffers

Een waterbuffer kan ook kunstmatig van aard zijn. In een dergelijk geval wordt een bassin gegraven waarnaar piekafvoeren van regen- en rivierwater geleid kunnen worden om in een later stadium verder afgevoerd te worden. Het belangrijkste verschil in de werking tussen een natuurlijke en een kunstmatige waterbuffer is dat bij de aanleg van een kunstmatige waterbuffer relatief eenvoudig gekozen kan worden om een ondergronds drainage- en/of infiltratiesysteem aan te leggen onder de buffer. Positief neveneffect van zowel natuurlijke als kunstmatige waterbuffers is dat ze ook een recreatieve functie kunnen vervullen. Ter indicatie: de capaciteit van een middelgrote kunstmatige waterbuffer, die mogelijk wordt aangelegd parallel aan de snelweg A4, wordt geschat op 1500 m³.

Wadi

Een speciaal type van een kunstmatige waterbuffer is de wadi. Dit is een vrij ondiepe verlaging van het maaiveld, zonder steile wanden of oevers, die bij hoge waterstanden of zware regenbuien onder water komt te staan. Een wadi is

veelal begroeid met (moerasachtige) vegetatie en kan ook voorzien worden van een ondergrondse infiltratievoorziening. Wadi's worden door buurtbewoners vaak hoog gewaardeerd als 'wijkdecoratie'. Daarnaast, omdat wadi's vaak gelegen zijn in woonwijken, kan informatieverstrekking over wadi's in wijken helpen bij het burgerbewustzijn rond de waterbergingsproblematiek in steden. Een nadeel van wadi's kan zijn, dat het kan leiden tot verontreiniging van de bodem met zware metalen door de uitspoeling van bouwmaterialen, die niet naar het riool geleid worden, maar oppervlakkig afstromen naar een wadi (Verschoor en Brand, 2008).

Relatie met de bodemthema's:

- Chemische kwaliteit (van bodem en grondwater): vanuit een waterbuffer trekt (een deel van) het opgevangen water de bodem in en percoleert mogelijk naar het grondwater. De ligging van de waterbuffer zal dus de kwaliteit van de onder- en omgelegen bodem en het grondwater beïnvloeden. Bij de ruimtelijke planning van een waterbuffer moet daarmee rekening gehouden worden: wat is de bodem- en grondwaterkwaliteit op een bepaalde locatie en wat zal het effect van de waterbuffer zijn (met andere woorden, wat is de kwaliteit van het opgevangen water)?
- (Ondergronds) ruimtegebruik: Dit speelt een rol bij waterbuffers/wadi's waarbij ondergrondse drainage- of infiltratiesystemen aangelegd worden. Past dit binnen de visie voor ondergronds ruimtegebruik op een zekere locatie?
- Biodiversiteit: bij het kunstmatig aanleggen van een waterbuffer, met name een wadi, kan gekozen worden voor beplanting met specifieke vegetatie, die een positief effect kan hebben op de biodiversiteit.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Positief neveneffect van zowel natuurlijke als kunstmatige waterbuffers, is dat ze ook een recreatieve functie kunnen vervullen.
- Waterbuffers kunnen, bij natuurlijke inrichting, steden een 'groene' uitstraling geven en bijdragen aan de groenblauwe kwaliteit van een stad. Dit leidt op zijn beurt tot:
 - o Verhoging van de huizenprijzen door de mooie leefomgeving.
 - o Bevordering van de volksgezondheid door een groene omgeving.
- Vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke.



Foto 8 Voorbeeld van een natuurlijke waterbuffer in een nieuwbouwwijk in Almere. Foto: M. Wijnbergh

4.2.2 Profilering maaiveld

Bij (her)inrichting van het straatprofiel is het mogelijk extra berging aan te leggen. Zo kunnen groenstroken langs wegen verdiept worden aangelegd, waardoor overtollig hemelwater daarheen kan stromen en de groenstroken onderlopen zonder overlast te veroorzaken. Ook plantsoenen en tuinen kunnen deze functie vervullen.

Relatie met de bodemthema's:

- Chemische kwaliteit (van bodem en grondwater): delen van het straatprofiel die ingericht worden als mogelijke waterberging zullen te maken krijgen met infiltrerend water afkomstig van het straatoppervlak (veelal diffuus). Een deel van het opgevangen water trekt ook de bodem in en percoleert mogelijk naar het grondwater. Deze maatregel kan dus effect hebben op de chemische kwaliteit van de bodem en het grondwater.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke.
- Deze maatregel is heel 'zichtbaar' en 'dichtbij' voor stadsbewoners. Burgers zullen hierdoor bewuster worden van de heersende klimaat- en waterproblematiek.

4.2.3 Ondergrondse waterberging/infiltratiesysteem

Door de relatief grote hoeveelheid verhard oppervlak in stedelijke gebieden kunnen riolerings- en zuiveringssystemen lokaal gemakkelijk overbelast raken. Daarnaast vermindert de natuurlijke infiltratie van water, wat kan leiden tot een verlaging van het grondwaterpeil. Ter voorkoming van deze problemen kan de aanleg van een drainage- en infiltratiesysteem uitkomst bieden. Daarbij wordt neerslag op het verharde oppervlak kunstmatig geïnfilteerd in de bodem. Veel van deze systemen zijn zo uitgevoerd dat zij ook onder verhard oppervlak (bijvoorbeeld parkeerterreinen) toegepast kunnen worden.

Infiltratiekratten

Een voorbeeld van een mogelijke ondergrondse waterberging zijn infiltratiekratten. Overtollig regenwater kan hier gemakkelijk instromen en geborgen worden zolang de bodem verzadigd is met water. Wanneer de waterverzadiging van de bodem weer afneemt, kan het water uit de kratten langzaam infiltreren in de bodem. Voorwaarde voor het functioneren van infiltratiekratten is wel de aanwezigheid van een voldoende lage grondwaterstand. In het Westerpark in Amsterdam zijn infiltratiekratten aangelegd onder een korfbalveld. Ter indicatie: het waterbergend vermogen hiervan bedraagt 600 m³.

Boorgat

Een andere mogelijkheid voor een ondergronds waterbergings- en infiltratiesysteem is het boren van een boorgat. In het boorgat wordt vervolgens een filterdoek aangebracht en opgevuld met vulmateriaal (gewassen grind, lava, silex, et cetera) met een hoge waterdoorlatendheid. Door de druk die in de boorkolom wordt opgebouwd zal de infiltratiesnelheid van het water hoog zijn. Boven op het boorgat kan een put geplaatst worden ter vergroting van de buffercapaciteit. In die put is voldoende ruimte voor onderhoud en om vuil en bezinsel te verzamelen.

Een infiltratiesysteem komt pas ten volle tot zijn recht wanneer het systeem geheel boven de grondwaterstand wordt aangelegd; het gedeelte dat onder water staat, is niet als berging beschikbaar. Bovendien neemt de infiltratiecapaciteit af als het systeem onder water staat.

Relatie met de bodemthema's:

- Chemische kwaliteit (van bodem en grondwater): Vanuit een ondergrondse waterberging infiltreert het opgevangen water de bodem en percoleert mogelijk naar het grondwater. De ligging van de waterberging zal dus de kwaliteit van de onder- en omgelegen bodem en het grondwater beïnvloeden. Bij de ruimtelijke planning van een ondergrondse waterberging moet daarmee rekening gehouden worden; wat is de bodem- en grondwaterkwaliteit op een bepaalde locatie en wat zal het effect van de berging zijn? (Met andere woorden: wat is de kwaliteit van het opgevangen water?) (Boogaard en Lemmen, 2007).
- (Ondergronds) ruimtegebruik: Past de aanleg van een ondergrondse waterberging binnen de visie voor ondergronds ruimtegebruik op een bepaalde locatie?

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke.

4.2.4 Flexibel peilbeheer

Vaste grondwaterpeilen vormen een belangrijk knelpunt voor de bergingsmogelijkheden van de bodem, zowel in landelijke als in stedelijke gebieden. Het grondwatersysteem mag bij flexibel peilbeheer de natuurlijke fluctuatie (gedeeltelijk) behouden. Flexibel peilbeheer kan zo een krachtig en kosteneffectief instrument zijn om de onnatuurlijke inrichting van het grondwatersysteem op te heffen en de bergingscapaciteit van de ondergrond bij zware regenval te vergroten.

Bijkomend positief effect is dat een flexibel grondwaterpeil vaak gekoppeld is aan een flexibel oppervlaktewaterpeil, en dat een flexibel waterpeil ten goede komt aan een Kader Richtlijn Water (KRW)-maatregel waar waterbeheerders vele miljoenen aan uitgeven, namelijk de aanleg van natuurvriendelijke oevers. Deze oevers hebben een flexibel peil nodig voor optimale ontwikkeling.

Relatie met de bodemthema's:

- **Verdroging en vernatting:** Grondwaterpeilen kunnen sterk dalen bij langere periodes van droogte, wat leidt tot verdroging van de bodem. In langdurige natte periodes kan het grondwaterpeil zo hoog komen te staan, dat de draagkracht van de bodem achteruitgaat en deze niet meer gebruikt kan worden voor bijvoorbeeld recreatie. Waterschappen en gemeentes moeten daarom de grondwaterpeilen en de effecten daarvan goed in de gaten houden en indien nodig bijsturen.
- **Bodemdaling:** Gekoppeld aan het thema verdroging kan een langere periode van juist lage grondwaterstand leiden tot bodemdaling in veengebieden door oxidatie van organisch materiaal. Dit kan echter in veel gevallen nauwkeurig gereguleerd worden door de waterschappen.
- **Biodiversiteit:** Een flexibel grondwaterpeil reflecteert in de meeste situaties de natuurlijke situatie van het bodemsysteem. Flexibel peilbeheer zal daarom in de meeste gevallen een positief effect hebben op de biodiversiteit.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke.

4.3 Uitwerking van maatregelen: relatie bodem/grondwater - oppervlaktewater

4.3.1 Inrichting van het oppervlaktewatersysteem in steden

Steden kennen diverse vormen van oppervlaktewater. In veel gevallen zijn van oudsher een of meer oppervlaktewateren aanwezig: een rivier, een meer, een gracht of een beek. Daarnaast hebben steden kunstmatige oppervlaktewateren aangelegd: vijvers in parken, sloten en dergelijke. Het is goed om het gehele grond- en oppervlaktewatersysteem geïntegreerd te beschouwen en te beoordelen hoe dit systeem het best kan worden ingericht, zodat het optimaal als waterberging kan fungeren.

Circulatie van het open watersysteem / stilstaand water koppelen aan watersysteem

Een mogelijke maatregel is het verhogen van de watercirculatie in het oppervlaktewatersysteem. Dit kan door verschillende stromende wateren aan elkaar te koppelen. Ook kunnen oppervlaktewateren die nu nog geïsoleerd in woonwijken liggen, worden gekoppeld aan andere, stromende oppervlaktewatersystemen. Zo kan wateroverlast op een specifieke locatie mede opgevangen worden door omliggende oppervlaktewateren. En daarmee worden lokale piekafvoeren makkelijker verwerkt.

Overdimensioneren van de buffer- en opslagcapaciteit

Bij het maken van de planning rond de buffer- en opslagcapaciteit van het oppervlaktewatersysteem in steden kan nu al geïnticeerd worden op de toekomst. Bij de aanleg en inrichting ervan kan men rekening houden met een toename van de afvoer en verhoogde intensiteit van piekafvoeren, en het systeem daarop dimensioneren. Waterschappen werken nu al aan het

zogenoemde GGOR (gewenst grond- en oppervlaktewater regime). Hierbij wordt de capaciteit van het watersysteem aangepast aan toekomstige klimatologische omstandigheden.

Relatie met de bodemthema's:

- Verdroging en vernatting: Door koppeling van watersystemen zal ook het peilbeheer in deze systemen hierop aangepast moeten worden. De koppeling kan mogelijkheden bieden tot gewenste effecten in bepaalde delen van het gebied (vernatting), maar ongewenste effecten (verdroging) moeten voorkomen worden.
- Chemische kwaliteit (van bodem en water): koppeling van watersystemen brengt met zich mee dat verschillende typen water met verschillende kwaliteiten gemengd kunnen gaan worden. Dit is niet altijd gewenst. Het type water en de gewenste waterkwaliteit van de waterlichamen moeten goed in beschouwing worden genomen voordat er gekoppeld wordt.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Koppeling van stilstaand water aan stromend water leidt veelal tot een verbetering van de waterkwaliteit ten opzichte van het stilstaand water. Minder overlast door vervuiling en stank in het water.
- Door betere circulatie en vermindering van stilstaand water wordt de kans op sterke bacterie- en algengroei (denk aan blauwalg) in warme zomers verminderd. Dit vermindert de kans op ziekte bij bewoners.
- Vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke.



Foto 9 Door betere circulatie en vermindering van stilstaand water wordt de kans op sterke bacterie- en algengroei (zoals blauwalg) in warme zomers verminderd. Foto: E.H. Rozendal

4.4 Uitwerking van technische maatregelen

4.4.1 Aanpassing van het ontwerp van straten

Door gebruik te maken van moderne technische mogelijkheden voor de aanleg van straten en door het inrichten van de openbare ruimte met een dubbelfunctie, bijvoorbeeld recreatie en waterberging, kan het waterafvoerend en -bergend vermogen worden vergroot.

Meestromen hemelwater in straatprofiel

In Nederland wordt tegenwoordig bijna al het hemelwater dat op straat valt direct opgevangen in waterputten en ondergronds afgevoerd. Vroeger, en nu nog in veel andere landen, gebeurde dat gedeeltelijk bovengronds in goten langs de weg. Om de druk op het ondergrondse rioleringsstelsel te verlagen, kan bij de inrichting van straten gekozen worden voor de aanleg van goten langs de rijbaan, waardoor het regenwater bovengronds wordt afgevoerd. Dit water kan eventueel verderop alsnog naar het riool afgevoerd worden of vanaf het oppervlak direct worden geïnfilteerd in de bodem.

Waterdoorlatende verharding / Waterpasserende verharding

Het wegdek in steden kan vervaardigd worden van materiaal dat een goede waterdoorlatendheid heeft, een zogenaamde waterdoorlatende verharding. Een voorbeeld daarvan zijn betonstraatstenen. Voor dit type steen volstaat het de dichte betonsamenstelling van een klassieke steen te vervangen door een poreuze betonsamenstelling, zodat het vereiste infiltratievermogen bereikt wordt. Een nadeel van dit type bestrating is wel de gevoeligheid ervan voor vorst (kapotvriezen, gladheid).

Daarnaast kan het wegdek zo ontworpen worden, dat er ruimtes zijn in of tussen de straatstenen waardoorheen regenwater makkelijk kan infiltreren. Dit noemt men waterpasserende verharding. Een voorbeeld daarvan zijn betonstraatstenen met drainageopeningen. Deze betonstraatstenen zijn door hun specifieke vormgeving geschikt om water te laten infiltreren door de openingen die na het leggen ontstaan. Een ander voorbeeld is een betonstraatsteen met verbrede voegen. Deze betonstraatstenen zijn aan de zijkanten voorzien van brede nokken of afstandhouders, waardoor na het leggen brede voegen ontstaan. Langs deze voegen wordt het water naar de fundering en ondergrond afgevoerd.



Foto 10 Brede voegen tussen klinkers zorgen voor een verhoogde waterdoorlatendheid. Foto: Phovoir

Waterpleinen

Een mogelijke oplossing voor het opvangen van piekafvoeren en het voorkomen van wateroverlast in steden is het waterplein (DE URBANISTEN; Studio Marco Vermeulen). Dit concept is uitgewerkt voor Rotterdam. Een waterplein is een verdiept aangelegd plein waar regenwater vanuit de omgeving naartoe kan

stromen en tijdelijk wordt vastgehouden. Hierdoor wordt het stedelijk watersysteem ontlast en neemt de wateroverlast in de buurt af (website Rotterdam-waterplein).

In droge tijden staat er geen water op het plein en doet het plein dienst als speel- en sportplaats. Ook bij kleine en middelgrote regenbuien stroomt er geen water naar het plein toe. Regenwater wordt – met eventueel vuil dat op straat ligt – weggepompt en afgevoerd naar het riool. Zodra de buien zwaarder worden, kan de kleine pomp het water niet meer verwerken. Het water, dat intussen schoner is (het vuil is immers al met de eerste bui weggevoerd), stroomt via een overstort door een zuiveringsfilter naar het plein. Als de regen voorbij is en de singels weer op niveau zijn, kan het waterplein worden geleegd. Via een buis die aansluit op het diepste punt van het plein kan het water langzaam naar de singel stromen. In principe is hier geen pomp voor nodig, enkel een afsluiter. Als de afsluiter openstaat, stroomt het plein geleidelijk weer leeg. Verwacht wordt dat het plein 90% van de tijd leeg staat. Dan fungeert het plein als een verdiept sportveld omgeven door traptreden die als tribune kunnen dienen. Een eerste waterplein is ontwikkeld aan de Westersingel in Rotterdam. Na evaluatie van de eerste praktijkervaringen volgt de aanleg van meer waterpleinen in Rotterdamse wijken (Gemeente Rotterdam). Een vergelijkbare oplossing als het waterplein in Rotterdam is uitgedacht voor de Plaspoelpolder. Deze heeft een groenzone met een skatebaan. Er zijn plannen om de groenzone inclusief de skatebaan te verlagen en als mogelijke waterbuffer in te richten. Ter indicatie: deze maatregel zou goed zijn voor de opslag van 2400 m³ water.

Relatie met de bodemthema's:

- Chemische kwaliteit (van bodem en grondwater): delen van het straatprofiel, die ingericht worden met waterdoorlatende of waterpasserende verharding, zullen te maken krijgen met infiltrerend water afkomstig van het straatoppervlak (veelal diffuus). Een deel van het opgevangen water trekt ook de bodem in en percoleert mogelijk naar het grondwater. Deze maatregel kan dus effect hebben op de chemische kwaliteit van de bodem en het grondwater (Boogaard en Lemmen, 2007). Bij de aanleg van waterpleinen moet ook rekening gehouden worden met de chemische bodemkwaliteit. Ook als het vuilere (eerste) regenwater wegvloeit naar de riolering moet beoordeeld worden wat er met het schonere regenwater gedaan wordt. Infiltratie hiervan kan alsnog effect hebben op de chemische bodem- en grondwaterkwaliteit.
- Afdekking: door de aanleg van waterdoorlatende of waterpasserende verharding wordt op het oog het oppervlak afgedekt oppervlak in steden niet vermindert. De afdekking heeft wel andere infiltratiekenmerken, waardoor het oppervlak niet als volledig afgedekt hoeft te worden beschouwd.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Het laten meestromen van water in het straatprofiel en de aanleg van waterpleinen maakt de problematiek heel 'zichtbaar' en 'dichtbij' voor stadsbewoners. Burgers zullen hierdoor bewuster worden van de heersende klimaat- en waterproblematiek.
- Door de aanleg van waterpleinen worden de recreatieve mogelijkheden in steden uitgebreid.

Afvoer- en drainagesystemen

In de meeste gevallen wordt het regenwater in steden nu snel afgevoerd van wegen en daken naar het rioleringssysteem, waarop ook het huishoudelijke afvalwater wordt geloosd. In geval van piekafvoeren bij hevige regen kan het rioleringssysteem overbelast raken.

Gemengd stelsel

Het is mogelijk om huishoudelijk afvalwater (droogweerafvoer) en hemelwater op te vangen en af te voeren in gescheiden systemen. De droogweerafvoer leidt naar de afvalwaterzuivering. Omdat er geen sprake is van extreme pieken en dalen in de afvoer zijn overstorten hier niet nodig. Het regenwater wordt rechtstreeks of via een beperkte zuivering op het oppervlaktewater afgevoerd. Het is ook mogelijk het hemelwater te infiltreren in de bodem (zie mogelijkheden elders in dit hoofdstuk), om hoge oppervlaktewaterstanden te voorkomen.

Smartdrain

Een smartdrain-systeem is in staat de eerste, vervuilde stroom regenwater (first flush) te scheiden van de volgende, schonere stroom regenwater en deze apart af te voeren. Deze maatregel kan zeer goed toegepast worden naast de aanleg van een gemengd rioolstelsel. Het helpt zo piekafvoeren van regenwater beter te beheersen en het schonere regenwater ook echt schoon te houden (Rijsdijk, 2004). Daardoor kan het water direct lokaal worden afgevoerd naar een infiltratievoorziening of naar oppervlaktewater.

Relatie met de bodemthema's:

- Chemische kwaliteit (van bodem en water): directe afvoer van hemelwater naar het oppervlaktewater of de infiltratie ervan in de bodem heeft effecten op de chemische kwaliteit daarvan. De kwaliteit van dit 'schone' water moet goed beoordeeld worden voordat overgegaan wordt op directe, ongezuiverde afvoer.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke.

4.5 Uitwerking van overige maatregelen

Meer 'onafgedekte bodem' in tuinen en plantsoenen

Deze maatregel leidt tot afname van het verharde oppervlak in stedelijke gebieden en vergroot op deze wijze de infiltratiecapaciteit van de bodem. Nadere uitwerking van dergelijke maatregelen staan beschreven in hoofdstuk 2 van dit rapport, waarin de relatie tussen (openbaar) groen en klimaat in steden uitvoerig aan de orde komt.

Locatiekeuze verstedelijking

In de ruimtelijke planning van nieuwe woonlocaties moet rekening gehouden worden met vele factoren. Ruimtelijke plannen zijn een belangrijk instrument in het voorkomen/oplossen van knelpunten op het gebied van milieuhinder in de relatie tot woon- en werkfuncties. In deze plannen zou naast de bestaande milieuhinder, als geluid, luchtkwaliteit en huidige bodemkwaliteit, ook gekeken moeten worden naar de bijdrage van de bodem aan de klimaatbestendigheid van beoogde bouwlocaties. Er moet bijvoorbeeld gelet worden op de stevigheid van de bodem. Veen en klei hebben een kleine draagkracht, zand een grote. Is de bodem vatbaar voor inklinking in droge situaties (met name veen) en heeft die voldoende draagkracht? Zo niet, dan is er grotere kans op wateroverlast, zeker bij toenemende neerslag. En is deze bodem in staat een waterbergende functie te vervullen? Wat zijn de grondwaterstanden?

Relatie met de bodemthema's:

- Draagkracht: Sommige typen bodem, zoals veen en klei, zijn slap en zullen snel inklinken bij zware belasting door bebouwing.

Andere kwalitatieve bijdragen (baten) voor stad en bewoner

- Vermindering van de kans op wateroverlast in steden draagt bij aan de veiligheid en verlaagt het risico op schade aan huizen, infrastructuur en dergelijke.

5 Praktijkvoorbeelden van een aantal gemeenten

In een groot aantal gemeenten in Nederland en het buitenland wordt al actief beleid gevoerd rond het klimaatbestendig maken van de stad, waarbij de bodem wordt betrokken, zowel op het gebied van openbaar groen als op het gebied van waterberging. In dit hoofdstuk wordt een aantal projecten beschreven, die als voorbeeld kunnen dienen voor andere gemeenten in Nederland. Zie ook Steden op weg naar menselijk groen (Woestenburg et al., 2010).

5.1 Voorbeelden van gemeenten binnen Nederland

5.1.1 *Tiel/Arnhem/Nijmegen: Future Cities-project*

Het Future Cities-project, waarin Tiel en de stadsregiogemeenten Arnhem en Nijmegen samenwerken met andere Europese steden, onderzoekt hoe (regen)water vastgehouden kan worden en groen ingezet kan worden om de oververhitting van steden tegen te gaan en de luchtkwaliteit te verbeteren (website: Stadsregio Arnhem-Nijmegen, 2010). Onderzoeker drs. Vincent Kuypers van Alterra is nauw bij Future Cities betrokken. De uitvoering van het project gebeurt in Arnhem, in een gebied waar een bestaand bedrijfsterrein deels wordt geherstructureerd, deels wordt uitgebreid en waar nieuwe principes worden toegepast en getest. Ook in Nijmegen wordt een deel van het project uitgevoerd. Daar gaat het vooral om kleinschalige toepassingen die te maken hebben met het groen in de stad, zoals groene daken.

In de Waalsprong is dat al toegepast met bijvoorbeeld wadi's, die regenwater vasthouden in de grond. Dat soort principes wil men in het Future Cities-project algemener gaan toepassen om de hele regio op temperatuur te houden en slimmer met het schone regenwater om te gaan.

5.1.2 *Rotterdam: Rotterdam Climate Initiative*

Het Rotterdam Climate Initiative (RCI) heeft als doel 50% CO₂-reductie en 100% klimaatbestendigheid in 2025 (website Rotterdam-RCI). Binnen die context stimuleert de gemeente Rotterdam de aanleg van groene daken in de stad. Zo is er een aantrekkelijke subsidie voor huiseigenaren en heeft de stad inmiddels zo'n 40.000 m² aan groene daken gerealiseerd op diverse gemeentelijke gebouwen. Er is een groen infodak op het Groothandelsgebouw aangelegd, waar iedere eerste zondag van de maand een informatief en inspirerend programma wordt aangeboden en persoonlijk advies gegeven wordt over groene daken (website: Rotterdam-groenedaken).

Daarnaast wordt in nieuw te ontwikkelen wijken en renovatieprojecten zeer sterk gelet op de klimaatbestendigheid ervan in de toekomst. Bijvoorbeeld, voor het nieuw te ontwikkelen Stadionpark zijn diverse thema's benoemd die in de duurzame ontwikkeling uitgewerkt worden. Dit uit zich onder andere in energiezuinige maatregelen in gebouwen en woningen, een klimaatbestendig watersysteem, goed openbaar vervoer en onderzoek naar de mogelijkheden voor elektrisch vervoer. In het Rotterdam Central District, het gebied rond het Centraal Station, wordt een systeem voor koude- en warmteopslag in de bodem ontwikkeld. Een ander voorbeeld van een goede samenwerking tussen ruimtelijke ordening, ecologen en de gemeente is de transformatie van het Rotterdamse Zuiderpark. Alle specialisten van het waterschap en de gemeente zijn trots op het watersysteem van het Zuiderpark; het is een voorbeeld van het maken van 'schoon water' in een stedelijke omgeving met slechte kwaliteit oppervlaktewater.

5.1.3 *Schijndel: Schijndel leeft met water*

De gemeente Schijndel voert actief beleid om de waterafvoer en de berging in de bodem te optimaliseren. Hoe de gemeente Schijndel nu en in de toekomst wil omgaan met water, heeft de gemeenteraad vastgelegd in het waterplan 'Schijndel leeft met water'. Daarin hebben de gemeente en waterschappen met elkaar afgesproken dat de gemeente in de toekomst de hoeveelheid afvalwater, door afkoppeling, niet laat toenemen. Als wijken worden uitgebreid en het verharde oppervlak toeneemt, zal het regenwater dus op een andere manier – los van de riolering – moeten worden afgevoerd. Daarnaast wordt het bufferen en infiltreren van regenwater, eventueel met infiltratiekratten, gestimuleerd.

5.1.4 *Tilburg: Groene daken*

Stadskantoor 1 van de gemeente Tilburg is het eerste gemeentekantoor met een groen dak. Bij de planvorming voor nieuwe gemeentelijke gebouwen heeft het college in 2008 besloten om voortaan standaard te onderzoeken of een groen dak mogelijk is. In het eigen groen-, water- en milieubeleid neemt de gemeente Tilburg op om de aanleg van groene daken te stimuleren. Verder onderzoekt de gemeente in overleg met andere overheden (waterschappen, provincie en rijk) of een tijdelijke subsidieregeling mogelijk is. In 2007 hebben studenten van Hogere Agrarische School (HAS) Kennis Transfer het fenomeen groene daken onderzocht en geconcludeerd dat het verstandig is om groene daken in Tilburg te stimuleren. In overleg met de gemeente is een aantal potentiële locaties in beeld gebracht waar mogelijkheden liggen voor het toepassen van groene daken. Hierbij is gekeken naar de bestaande bebouwing, waar veel platte daken aanwezig zijn, en welke bouwprojecten binnen de gemeente in ontwikkeling zijn. Een aantal van deze plannen is nog in de ontwerpfasen. De potentiële locaties kunnen fungeren als pilot. Vervolgens kunnen de resultaten hiervan geëvalueerd worden. De gemeente krijgt op deze manier op een geleidelijke wijze steeds meer ervaring met de aanleg van groene daken (website: [tilburg.groendak](#)).

5.1.5 *Amsterdam: Proeftuin Amsterdam*

(Openbare) groenvoorziening kan dienen om voedsel te produceren. Amsterdam startte in navolging van Londen in 2007 met de Proeftuin Amsterdam. Onder deze noemer worden boeren en tuinders in en om Amsterdam gestimuleerd om op duurzame wijze voedingsmiddelen te produceren, die dan in de stad kunnen worden verkocht. Op deze manier krijgt het ommeland weer directe economische betekenis voor de stad en krijgen de stadsbewoners de beschikking over gezonde streekproducten. Ook wordt zo gewerkt aan het terugdringen van vervoersbewegingen: niet al het eten hoeft meer van ver te komen. Daarnaast worden Amsterdammers gestimuleerd meer in het groen te recreëren. Het logeershuis van tuinvereniging Amstelglorie is een aangepast tuinhuisje met een mooie en riante tuin (website: [bondvanvolkstuinters](#)). Ook is er het Fontishuisje: dit huisje kent geen vaste bewoners, maar is bedoeld als dagrecreatie voor bewoners van de aangesloten verzorgingshuizen. Zij kunnen hier verkoeling vinden op hete dagen. Het huisje werd gesubsidieerd door de gemeente Amsterdam.

6 Aanbevelingen

6.1 De rol van de overheid voor lokale overheden

Provincies, gemeenten en waterschappen zullen niet snel extra geld willen investeren in beleid rond de bodem en het openbaar groen in steden. De overheid wordt aanbevolen het belang van de bodem voor de klimaatbestendigheid van de stad inzichtelijk te maken door aan te haken bij andere beleidsterreinen zoals infrastructuur, volksgezondheid, veiligheid, kwaliteit en leefbaarheid van de openbare ruimte en gebouwde omgeving, natuureducatie en duurzaamheid. Zo worden klimaatvraagstukken gekoppeld aan andere problemen die in de maatschappij leven. Een voorbeeld: de maatregelen die nodig zijn om hitte-stress te verminderen kunnen aanhaken bij het thema van luchtkwaliteit. Door met het ontwerp van nieuwe wijken de straten op een juiste manier op de wind te plaatsen en door bomen en struiken te plaatsen met een open structuur blijft het fijn stof niet hangen en kan het groen bijdragen aan een groene leefomgeving. Het raakt dan direct het thema volksgezondheid, dat hoger op de prioriteitenlijst van gemeenten staat. Een voorbeeld van een project waarin lucht en klimaatgroen worden gecombineerd is *Stedenbouwkundige integratie lucht- en klimaatgroen*.

In meer algemene zin kan de inbedding van klimaatvraagstukken in het beleid gerealiseerd worden door de integratie van normen voor groenvoorziening en waterberging in planningsprocedures en bouwnormen. Daarbij wordt, nog duidelijker dan nu, vooruitgelopen op de verwachte effecten van klimaatverandering voor het stedelijk gebied. Daarnaast kan de overheid van gemeentes eisen dat ze adequate bescherming bieden van bestaand groen en waterberging in de stad en dat zij zorgen voor genoeg budget voor het onderhouden hiervan op langere termijn. De overheid zou meer sturend moeten zijn bij bijvoorbeeld de aanleg van groene daken door het aanpassen van het bouwbesluit zodat de aanleg van groene daken bij nieuwe projecten wordt gestimuleerd.

Daarnaast moet de overheid gemeenten duidelijk maken, dat nú investeren in klimaatbestendigheid in de toekomst gaat renderen. Als hulpmiddel hierbij is het goed om een concrete waarde te geven aan (het moneteriseren van) de voordelen van 'e' maatregelen en maatregelen ter verbetering van het waterbergend vermogen van de bodem. Gemeenten en waterschappen hebben dan beter inzicht in wat de investeringen hen uiteindelijk ook weer opleveren. Tot op heden wordt de aanleg van groen namelijk meestal als kostenpost gezien, in plaats van een investering in de gebiedsontwikkeling. Dat terwijl er bijvoorbeeld een duidelijke relatie is tussen de prijs van woningen en de aanwezigheid van groen, parken en waterpartijen. De waardevermeerdering van een woning loopt in de literatuur uiteen van 4 tot 8%, afhankelijk van het soort groen, de afstand en de ligging ten opzichte van de woning (Goossens, 2009).

Ook plannen voor multifunctioneel ruimtegebruik, zoals het dakpark in Rotterdam kunnen op een dergelijke manier geëvalueerd worden. Door dergelijke baten van investeringen in groen en waterberging goed in beeld te brengen, vermindert de onzekerheid omtrent hetgeen de maatregelen uiteindelijk zullen opleveren. Binnen dit kader zou de overheid ook nieuwe innovaties en experimenten moeten stimuleren, bijvoorbeeld in samenwerking met de universiteiten.

6.2 De rol van de overheid richting de burger

Om bij de burgers het besef te doen groeien dat het nodig is rekening te houden met klimaatverandering en dat daarvoor maatregelen nodig zijn, is het wenselijk burgers actief te betrekken bij het klimaatbestendig inrichten van de omgeving. Burgers zouden mee moeten denken over mogelijke maatregelen die het waterbergend vermogen van de bodem vergroten en over de inrichting van de groene ruimte. Zij zouden moeten worden betrokken bij het onderhoud ervan en gewezen worden op de economische voordelen die de maatregelen voor hen persoonlijk kunnen hebben. Zo wordt het burgerbewustzijn vergroot.

De overheid kan de burger ook wijzen op dingen die zij zelf, als individu, kunnen bijdragen aan de klimaatbestendigheid van hun stad. Het bevorderen van de aanwezigheid van 'onafgedichte bodem' in particuliere tuinen, het planten van bomen en struiken en de particuliere aanleg van ondergrondse waterbergingssystemen zijn hier voorbeelden van. Dit kan via directe voorlichting, maar ook via bijvoorbeeld de hoveniersbranche gecommuniceerd worden. Subsidies voor het nemen van maatregelen door particulieren zullen een extra stimulans vormen.

Zodra de burger enthousiast wordt, volgen de beleidsmakers bij de lokale overheid vaak ook!

6.3 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Om de mogelijke maatregelen die in dit rapport genoemd zijn nog verder uit te werken en concreet toepasbaar te maken, is het nodig dat beleidsmakers, RO-planners en andere betrokkenen goed inzicht hebben in zowel de kosten van de verschillende maatregelen, als ook in de baten. Wat levert het op, in euro's, maar ook in 'klimaatwinst' (waterbergingscapaciteit van de stad, omgevingskwaliteit, volksgezondheid)? Op basis van die informatie kunnen beleidsmakers vervolgens een afgewogen inschatting maken om al dan niet bepaalde maatregelen door te voeren. Omdat de situatie op iedere locatie anders is, zal een juiste kwantificering van de kosten en de baten van klimaatadaptatiemogelijkheden ook altijd sterk locatiegebonden zijn. Aanbevolen wordt daarom, om in samenwerking met een aantal gemeenten en/of waterschappen, enkele locaties/steden binnen Nederland te selecteren als casestudie gebieden en voor die gebieden een gedetailleerde kosten-batenanalyse uit te voeren. Daarbij zullen niet alleen de directe kosten en opbrengsten van een bepaalde maatregel worden meegenomen, maar ook de indirecte lasten en baten.

Een van de aanbevelingen uit de rapportage van maart 2010 (Claessens en Dirven, 2010) was het opnemen van het onderwerp klimaat in een bestaand instrument. Dit jaar is een dossier 'klimaat' aan de Routeplanner 'bodem' toegevoegd even als het bodemthema en een *factsheet* 'waterberging en -opslag'. Hierdoor worden gebruikers van de Routeplanner bodem geattendeerd op het onderwerp klimaatadaptatie in relatie tot bodem bij het opstellen van hun bodemambities. Ook kunnen op die manier alle gemeenten worden bereikt waardoor een breed draagvlak kan worden gecreëerd voor het nemen van maatregelen ten behoeve van de klimaatbestendigheid van een stad. Er zou een klimaattoets ontwikkeld moeten worden net zoals er al een watertoets is. Een instrument dat de risico's en kansen van de klimaatverandering expliciet en op evenwichtige wijze laat meewegen bij het opstellen van ruimtelijke plannen en besluiten. Het is niet een toets achteraf, maar een proces dat de initiatiefnemer van een ruimtelijk plan, de

bodembeheerder en de waterbeheerder met elkaar in gesprek brengt in een zo vroeg mogelijk stadium.

Daarnaast wordt aanbevolen om in het onderzoek naar klimaatbestendigheid van steden (en de rol van de bodem hierin) een link te leggen met het concept van de 'ecosysteemdiensten'. Dit concept is een tamelijk nieuwe manier om de voordelen (*benefits*) die de mensheid ervaart van het geheel van natuurlijke bronnen en processen in natuurlijke ecosystemen aan te duiden. De ecosysteemdiensten worden doorgaans onderverdeeld in vier categorieën: voorzienende/bevoorradende, regulerende, ondersteunende en culturele aspecten. Omdat het concept van de ecosysteemdiensten steeds algemener bekend en gebruikt wordt, en omdat er ook al onderzoek loopt op het gebied van klimaatbestendigheid en ecosysteemdiensten, wordt aanbevolen ook het onderzoek naar de relatie klimaat-bodem hierin in te bedden. Daarbij adviseren wij om ook het concept van de bodemthema's te handhaven, zoals in de huidige rapportage is gedaan, omdat dit concept specifiek toepasbaar is voor de bodem. Beide concepten kunnen probleemloos naast elkaar gebruikt worden.

Er zijn diverse mogelijkheden voor overheden en burgers in stedelijke gebieden om rekening te houden met de klimaatverandering en actief te werken aan het realiseren van klimaatbestendige steden. De bodem kan hierin een belangrijke rol vervullen, voornamelijk als drager van (openbaar) groen en vanwege het waterabsorberend en -bergend vermogen ervan. De belangrijkste klimaatadaptatiemaatregelen in het licht van openbaar groen zijn: de aanleg van groene daken en parken, een klimaatbestendige inrichting van de groene infrastructuur (boomcirkels, bermen, sportparken) en het stimuleren van bewoners bij de aanleg van (stoep)tuintjes. Vanuit het oogpunt van waterberging kan de bodem een rol spelen in de klimaatbestendigheid van steden door de aanleg van (ondergrondse) waterbuffers, infiltratiesystemen, wadi's, gemengde rioolstelsels/smartdrains, waterdoorlatende/waterpasserende verharding, waterpleinen en andere inrichtingsmaatregelen.

7 Conclusie

De genoemde mogelijke klimaatadaptatiemaatregelen kunnen effect hebben op andere aspecten van de bodem, die in beschouwing moeten worden genomen bij het overwegen van de te nemen maatregelen. De verschillende aspecten van de bodem worden samengevat in de zogenaamde bodemthema's. De belangrijkste bodemthema's in het opzicht van de klimaatadaptatiemaatregelen blijken te zijn: afdekking/verdichting, bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit, chemische bodemkwaliteit, verdroging/vernatting en het ondergrondse ruimtegebruik.

De overheid kan het belang van de bodem voor de klimaatbestendigheid van steden inzichtelijk maken voor gemeenten door dit beleidsveld te verbinden aan andere beleidsterreinen zoals infrastructuur, volksgezondheid, veiligheid, kwaliteit en leefbaarheid van de openbare ruimte en gebouwde omgeving, natuureducatie en duurzaamheid. Daarnaast kan de overheid gemeenten duidelijk maken, voor beide partijen geldt dat nú investeren in klimaatbestendigheid in de toekomst gaat renderen. De overheid kan ook de burgers wijzen op dingen die zij zelf, als individu, kunnen bijdragen aan de klimaatbestendigheid van hun stad. Ondersteuning bij het nemen van maatregelen door gemeenten en particulieren kunnen een extra stimulans vormen.

Literatuur

Bade, T., K. van der Leest, F. Tonneijck, 2009. Lang leve(n)de tuin. Kenniscentrum Triple E. Triple E Productions. Arnhem

Boogaard, F. en G. Lemmen, 2007. De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater. Stowa 2007-21. Utrecht.

Claessens, J.W. en E.M. Dirven, 2010. Klimaatverandering en het stedelijk gebied- De bodemfactor. RIVM rapport 607050005/2010.

De Groot, J.R.S. de, Kuikman, P.J., Nillessen, E.E.M., Platteeuw, M., Reinhard, S. Tassone, V.C., Verhagen, A., Roetter, R.P. en Verzandvoort-van Dijck, S.J.E., 2006. A qualitative assessment of climate adaptation options and some estimates of adaptation costs. Lsg Milieu-economie en natuurlijke hulpbronnen, p. 183.

De Wit, J., D. Lauwers, A. Van Herzele en L. Hens, 2006. 'Groene ruimten en gezondheid'. Vakgroep Menselijke Ecologie, Vrije Universiteit Brussel.

Donovan, R.G., H.E. Stewart, S.M. Owen, A.R. Mackenzie en C.N. Hewitt, 2005. Development and application of an urban tree quality score for photochemical pollution episodes using the Birmingham, United Kingdom, area as a case study. Environmental Science and Technology 39, pp. 6730-6738.

Europese Commissie, 2009. Witboek 'Adapting to climate change: Towards a framework for action'. COM(2009)147/4. Brussel.

Goossens, A. 2009. Value capturing door groene investeringen, Erasmus Universiteit. Groen en de Stad Nieuwsbrief, oktober 2010.

IPCC, 2007. Climate change 2007. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge/New York.

Klooster, J., D. van Moppes, E. Bes en D. Goedbloed, 2008. Het rendement van het groene daken in Rotterdam. H2O-24, 2008.

Kuo, F. en W.Sullivan, 2001, Aggression and Violence in the Inner City. Effects of Environments via Mental Fatigue. In: Environment and Behavior, 33 (4).

Losken, G., 2006. Dakbegroeiingsrichtlijn. ISBN-10: 90-5367-416-0 en ISBN-13: 978-90-5367-416-1. Hannover.

Maas, J., R. Verheij, S. De Vries, P. Spreeuwenberg, P. Groenewegen, 2005. Greenspace, urbanity and health: how strong is the relations? In: Gallis C. (Ed.). Forests, trees and human health and well-being. 1st European COST E39 Conference. Proceedings. Thessaloniki, Oktober 2005.

Noorman, N. en H. Ronden (red.) 2009. Wegen naar een klimaatbestendig Nederland. Planbureau voor de Leefomgeving, PBL-publicatienummer: 500078001, ISBN: 978-90-6960-222-6, Bilthoven.

Pronk, A. en C. van Dijk, 2008. Bomen en planten voor een betere luchtkwaliteit. Wageningen UR / Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. In vakblad Boomzorg, Uitgave: nr. 1, (pagina 66-69).

Rijsdijk, M., 2004. Herziening rioleringsplan Bergse Plaat. Projectnr. 0141465. Oranjewoud, Bergen op Zoom.

Rutgers, M., G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, A.J. Schouten, A.M. Breure, 2009. Prioritaire gebieden in de Kaderrichtlijn Bodem. Belang van bodembio-diversiteit en ecosysteemdiensten. RIVM rapport: 607370001. Bilthoven.

Rutgers, M, C. Mulder, A.J. Schouten, J. Bloem, J.J. Bogte, A.M. Breure, L. Brussaard, R.G.M. de Goede, J.H. Faber G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, G.W. Korthals, F.W. Smeding, C. Berg ten en N. van Eekeren, 2007. Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM rapport 607604008. Bilthoven.

Tonneijck, F. en V. Kuypers, 2006. Stadsbomen voor een goede luchtkwaliteit. Bomennieuws, lente 2006.

Van de Ven, F.H.M., E. Luyendijk, M. De Gunst, E. Tromp, B. Gersonius, M.J. Schilt, L.E. Krol, R. Peeters, L.A. Valkenburg, en C. Vlaming, 2008. Waterrobuust Bouwen, de kracht van kwetsbaarheid in een duurzaam ontwerp. 3BW/SBR, Rotterdam.

Van der Wouden, R., R. Kuiper en C. Eijgenraam, 2008. Ex antetoets Startnotitie Randstad 2040. Ruimtelijk Planbureau, Den Haag, Milieu en Natuurplanbureau, Bilthoven, Centraal Planbureau, Den Haag

Van Dorland, R. en B. Jansen, (red.), 2007. Het IPCC-rapport en de betekenis voor Nederland. PCCC, De Bilt/Wageningen.

Van Dorland, R., B. Jansen, en W. Dubelaar-Versluis, 2008. De Staat van het Klimaat 2007. PCCC, De Bilt/Wageningen.

Van Dorland, R., W. Dubelaar-Versluis, en B. Jansen, (red.), 2010. De Staat van het Klimaat 2009. PCCC, De Bilt/Wageningen.

Van Drunen, M. (red.), 2007. Naar een klimaatbestendig Nederland – Samenvatting Routeplanner, Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK), uitgeverij RIVM, Bilthoven.

Van Ierland, E.C., K. de Bruin, R.B. Dellink en A. Ruijs, 2006. A qualitative assessment of climate adaptation options and some estimates of adaptation costs. Routeplanner deelrapport 3.

Van Ierland, E.C., K. de Bruin, R.B. Dellink, A.J.W. Ruijs, L. Bolwidt, A. van Buuren, Graveland en A. Goossen, 2010. Groen en value capturing. Groen en de stad Nieuwsbrief. Oktober 2010.

Verschoor A.J. en E. Brand, 2008. Afspoeling van bouwmetalen: Risicobeoordeling van emissies van koper, lood en zink. RIVM rapport 711701078, Bilthoven.

Vos, M., 2009. Amsterdam groene wereldstad. Visie en voorstellen vanuit de portefeuille Groen ten behoeve van de Structuurvisie 2010-2030, Amsterdam.

Woestenburg, M., P. Visschedijk, R. Oldejans en J. Matijssen, 2010. Steden op weg naar menselijk groen. De vierde dimensie, ISBN 970 90 327 0383 7, Wageningen.

Websites

Onderstaande websites zijn in 2011 voor dit rapport gebruikt :

aquaRO: www.aquaRO.nl

ARK: maakruimtevoorklimaat.nl/ark-programma.html

bodemambities: www.soilambitions.eu/bodemambities/

bondvanvolkstuinders: www.bondvanvolkstuinders.nl

chicagoclimatereaction: www.chicagoclimatereaction.org/pages/adaptation/11.php

cijfersenfeiten: www.degroenestad.nl/cgi-bin/neosense.exe/Feiten_en_cijfers_opgemaakt4.pdf

deboomkwekerij: www.deboomkwekerij.nl/library/show/7106

degroenestad a: [www.degroenestad.nl/cgi-bin/neosense.exe/amsterdamgroenewereldstad\[1\].pdf](http://www.degroenestad.nl/cgi-bin/neosense.exe/amsterdamgroenewereldstad[1].pdf)

destadsregio: www.destadsregio.nl

detuin: [www.groenendestad.nl/upload/publicaties/documenten/Lang%20leve\(n\)%20de%20tuin.pdf](http://www.groenendestad.nl/upload/publicaties/documenten/Lang%20leve(n)%20de%20tuin.pdf)

DE URBANISTEN: www.urbanisten.nl

Futurecities: www.destadsregio.nl/page.asp?menu_id=294

groendaken-nederland: www.groendaken-nederland.nl

groenendestad b: www.groenendestad.nl/upload/publicaties/documenten/Stad%20en%20land/hetbinnenstedelijkbuitengevoel.pdf

hitte-nadeel: www.maakruimtevoorklimaat.nl/projecten/overzicht-nadelige-effecten/project/nieuws/overzicht-beperken-nadelige-effecten/hitte-eilanden.html

KNMI: www.KNMI.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffet/

maakruimtevoorklimaat:
www.maakruimtevoorklimaat.nl/projects/project/nieuws/projecten-bladeren/hitte-eilanden-1.html?tx_ttnews%5Bpointer%5D=2&cHash=5743414f10

Manchester: www.manchester.ac.uk/aboutus/news/archive/list/item/?id=2780&year=2007&month=05

Nashville: www.nashville.gov/mayor/docs/green_ribbon/GRC_Report_090701.pdf

naturalengland: www.naturalengland.org.uk/ourwork/enjoying/health/default.aspx

Rotterdam-groenedaken: www.rotterdam.nl/nieuw_groen_infodak_op_groothandelsgebouw_daken

Rotterdam- RCI: www.rotterdamclimateinitiative.nl

Rotterdam-waterplein: www.rotterdamclimateinitiative.nl/100_klimaatbestendig/projecten/waterpleinenportfolio_id=18.

Stadregio Arnhem-Nijmegen, 2010: ww.destadsregio.nl/page.asp?menu_id=294

Straatbomen: www.straatbomen.nl

Studio Marco Vermeulen, 2007: Prototype waterplein. Rotterdam.

Studio Marco Vermeulen, 2010: www.marcovermeulen.nl

Tilburg groendak: www.aecinfo.nl/4/pdcnewsitem/01/71/09/index_4.html

Websites voor meer info:

www.boomzorg.nl

www.degroenestad.nl

www.future-cities.eu

www.groen-in-zicht.nl

www.hier.nu/klimaatnieuws

www.maakruimtevoorklimaat.nl

www.programmaark.nl

www.straatbomen.nl

www.vakblad-stadsboom.nl

www.vakblad-treeworker.nl

Bijlage Factsheet waterberging en -opslag in de bodem

1. Omschrijving

Waterberging en -opslag zijn mogelijkheden om water op te slaan in de bodem. Hierbij wordt het wateroverschot, dat op een bepaald moment aanwezig is, vastgehouden tot er water nodig is op een later moment. Water is van levensbelang voor mens, plant en dier. Zelfs in Nederland is de beschikbaarheid van kwalitatief goed water niet altijd vanzelfsprekend. In de winter is er vaak een teveel aan water en in de zomer zijn er soms tekorten. Waterberging en -opslag kunnen een oplossing bieden.

Bestuurlijke en fysieke schaal: lokaal – regionaal.

2. Valkuilen en kansen

Kans: De stad klimaatbestendig maken.

Kans: Waterberging en -opslag kunnen leiden tot economische en milieubaten. Het in beeld brengen van deze baten kan in de toekomst een ondersteuning zijn voor verschillende partijen bij het nemen van initiatieven om wateroverlast op dit gebied in de toekomst tegen te gaan.

Kans: Duurzaam waterbeheer is ook van belang voor het op peil houden van de grondwaterstand. Een goede grondwaterstand zorgt voor een goede draagkracht van de bodem.

Valkuil: In geval van een te hoge grondwaterstand neemt de draagkracht van de bodem af. Op veen- en kleigronden kan een te lage grondwaterstand echter leiden tot inklinking en als gevolg daarvan bodemdaling.

Kans: Ook de sponswerking van de bodem kan worden gebruikt voor wateropslag. De bodem zelf kan ook water vasthouden (website: ruimtexmilieu). De sponswerking van de bodem zou moeten worden gebruikt in tijden van extreme neerslag. Goede drainagemogelijkheden van functionele grasvelden creëren (website: Gemeente Amsterdam, Stadsdeel Oud-Zuid).

Kans: Ook diepinfiltratie van regenwater is een manier om wateroverlast in de stad te beperken. Ondiepe infiltratieputten kunnen het regenwater van normale regenbuien opvangen. Bij stortbuien wordt het overtollige regenwater in de diepinfiltratieput opgevangen. De diepinfiltratieput past goed in het nieuwe waterbeleid van rijk, provincies, gemeenten en waterschappen (website: Gemeente Rijssen-Holten).

Valkuil: Diepinfiltratie gaat altijd gepaard met enige negatieve beïnvloeding van het grondwater Technische Commissie Bodem (TCB, 2009)¹ en dat is slechts onder voorwaarden toegestaan volgens de Kader Richtlijn Water/Grond Water Richtlijn KRW/GWR. De TCB concludeert daarom dat diepinfiltratie van afvloeiend hemelwater een uiterst middel is, wanneer blijkt dat geen alternatieven voorhanden zijn.

¹ TCB advies A047. 2009. Diepinfiltratie van afvloeiend hemelwater. Den Haag, 20 april 2009.

3. Referentiekader

De Kaderrichtlijn Water (KRW, richtlijn 2000/60/EC) is in 2000 van kracht geworden en heeft als doel de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater in Europa te waarborgen. Voor oppervlaktewater gelden chemische en ecologische doelen; voor grondwater gelden eisen ten aanzien van chemie (anders dan voor oppervlaktewater) en kwantiteit. Deze eisen zijn opgenomen in het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009 (BKMW) en de onderliggende ministeriële regeling Regeling monitoring kaderrichtlijn water (MR Monitoring KRW).

De nieuwe Wet ruimtelijke ordening (Wro), maakt geen onderscheid tussen boven- en ondergronds bouwen. Dat geldt ook voor bestemmingsplannen. De nieuwe Wro is in werking en afgestemd op waterwet.

De watertoets: Voor elk bouwplan dat een ingrijpende verandering in de openbare ruimte veroorzaakt, is sinds 2001 de zogenaamde 'watertoets' van toepassing. De watertoets zorgt ervoor dat in overleg met het waterschap, de gemeente en de partij die het bouwplan ontwikkelt het watersysteem op orde blijft en het rioolsysteem niet zwaarder wordt belast.

4. Indicatoren

Waterberging en -opslag: grondwaterstand, watervasthoudend vermogen, infiltratie.

5. Actoren

Partijen die baat hebben bij waterberging en -opslag: boeren, tuinders, diensten stadsbeheer, houders van volkstuinjes en bewoners van huizen met tuin, waterwinbedrijven en instellingen die te maken hebben met waterberging en -opslag.

Partijen die bezig zijn met de ruimtelijke planning van de gemeente en provincies, projectontwikkelaars, natuurontwikkelaars, oppervlaktewaterbeheerders (waterschappen), burgers en het bedrijfsleven.

6. Voorbeeld ambitie

Ruimtelijke ordening. Bij het toekennen van ruimtelijke functies eerst in kaart brengen wat de gevolgen zijn voor de waterhuishouding, bodemvruchtbaarheid, verdichting, afdekking en het ondergronds ruimtegebruik en de overige ruimtelijke functies (zie als voorbeeld de kansenskaarten voor ondergronds bouwen van de provincies Zuid-Holland en Gelderland).

7. Instrumenten en Aanpak

Ontwerpprincipes: De veranderingen op het gebied van ruimtelijke ordening beslaan vaak periodes van één generatie of meer. Dit vergt een goede planning. Om de bodem optimaal te gebruiken als buffer voor waterberging en -opslag is veel communicatie tussen overheden en afdelingen binnen de overheden nodig. De gemeente kan zorgen voor communicatie naar de burgers. De burger moet als eerste bewust worden gemaakt dat zij zelf ook bij kunnen dragen aan waterberging en -opslag in hun woonomgeving.

Websites:

Ruimtexmilieu: www.ruimtexmilieu.nl

Gemeente Amsterdam, Stadsdeel Oud-Zuid: www.zuid.amsterdam.nl/wonen_en/natuur_en_milieu/beleid/visie_groen_en_blauw?ActItdt=305770

Gemeente Rijssen-Holten over diepinfiltratie: www.rijssen-holten.nl/rsn/webgenrijssen.nsf/426C413A60D6ED9CC1256A5B003FDFA6/FAA15A6195C3B2A2C12570BA002F597C?opendocument&highlight=0, diepinfiltratie

Websites voor meer info:

www.mnp.nl/mnc/i-nl-0268.html

www.watertoets.net

www.waterwet.nl

www.helpdeskwater.nl, helpdesk voor iedereen die beroepsmatig te maken heeft met waterbeleid, beheer en management.

www.grondwaterplatform.nl, een platform voor het uitwisselen van kennis over grondwater tussen de bij dit thema betrokken groepen zoals werkgroep Grondwater en het Regionaal Adviesorgaan Grondwater.

8. Relatie met andere thema's

Heeft invloed op de thema's:

Ondergronds ruimtegebruik: Waterberging en -opslag zijn mogelijkheden om de ondergrondse ruimte te gebruiken om water op te slaan in de bodem.

Verdichting: Waterberging zal hoger zijn in een niet verdichte bodem.

Afdekking: Bij afdekking van de bodem krijgt de bodem geen kans het water te bergen om dit weer te gebruiken voor drogere tijden en om het riool te ontlasten.

Verdroging: Verdroging heeft effect op natuur in de stad, op boven- en ondergrondse biodiversiteit en op de oxidatie van veen.

Bodemvruchtbaarheid: Waterbergend vermogen heeft invloed op openbaar groen en boven- en ondergrondse biodiversiteit.

Ondervindt invloed van de thema's:

Grondwater: Grondwater staat in directe verbinding met de bodem. De grondwaterstand heeft daardoor direct invloed op het watervasthoudend vermogen.

9. Wat moet ik en wat mag ik niet doen als gemeenteambtenaar?

Voor dit thema is geen aparte wetgeving opgenomen, maar het thema hangt nauw samen met de thema's 'Grondwater' en 'Ondergronds ruimtegebruik'.

- Wro: In hun plannen geeft het college van burgemeester en wethouders aan hoe een gebied eruit moet gaan zien. Om bij de planvorming te komen tot een goede ruimtelijke ordening moet tevens rekening worden gehouden met ondergronds ruimtegebruik. De plannen mogen niet in strijd te zijn met de plannen van de ministerraad en de Gedeputeerde Staten.
- Waterwet: De gemeenteraad/het college van burgemeester en wethouders is belast met de zorgplichten voor overtollig hemelwater en grondwater in het stedelijke gebied.
- Daarnaast is de gemeenteraad/het college van burgemeester en wethouders belast met de lokale ruimtelijke inpassing van maatregelen op het gebied van waterkwantiteit en het uitvoeren van milieumaatregelen in het stedelijke gebied voor de Kaderrichtlijn Water.
- Infiltratiebesluit bodembescherming: Het college van burgemeester en wethouders mag geen vergunning verlenen. Lozingenbesluit bodembescherming. Website lozingsbesluit: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0009092>. Ook de wetgeving die staat bij het thema 'Grondwater' is op dit thema van toepassing.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl