

# Groene Batenplanner

Gebruikershandleiding

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu  
Centrum voor Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid  
Team Natuurlijk Kapitaal

## Inhoudsopgave

<b>Inhoudsopgave .....</b>	<b>2</b>
<b>Leeswijzer.....</b>	<b>3</b>
<b>Terminologie, definities en afkortingen.....</b>	<b>4</b>
<b>Introductie Groene Batenplanner.....</b>	<b>5</b>
De waarde van groen voor mensen .....	6
Maatschappelijke waarde van groen in cijfers .....	6
<b>Werking groene batenplanner.....</b>	<b>7</b>
Analyseprincipes en mogelijkheden GBP.....	7
Definiëren van het projectgebied.....	7
Het plaatsen van groenelementen .....	8
Doorrekenen van de resultaten .....	9
<b>Algemene toelichting modellen .....</b>	<b>11</b>
Afvang van fijnstof .....	11
Reductie van verwachte overlijdens.....	11
Verkoeling.....	12
<b>Nadere technische documentatie modellen .....</b>	<b>13</b>
Afvang van fijnstof .....	13
Reductie verwachte overlijdens (sterftereductie) .....	22
Verkoeling.....	30
<b>Bijlagen.....</b>	<b>42</b>
Bijlage I – Ontwikkeling Groenkaart ANK (bomen, struiken, laagblijvende vegetatie).....	43
Bijlage II – Ontwikkeling bewonerskaart .....	46
Bijlage III - bepaling NDVI-waarden .....	48
Bijlage IV – Sterftekanskaart .....	51
Bijlage V - standaard featuretabel .....	52
Bijlage VI – GBP-model uitvoer validatie test .....	53

## Leeswijzer

In deze gebruikshandleiding van de Groene Baten Planner (GBP) worden de werking, de inhoud en de uitkomsten van de modellen van de GBP uitgelegd.

Het eerste deel van deze handleiding geeft een algemene beschrijving van de GBP, hoe deze kan worden ingezet en hoe deze werkt in globale termen. Daarna worden de opgenomen modellen in algemene termen beschreven.

In het tweede deel van deze handleiding worden deze modellen in meer detail beschreven en wordt uitgelegd hoe de resultaten berekend worden. De bijlagen geven verdere achtergrondinformatie.

## Terminologie, definities en afkortingen

### Fijnstof (PM)

Fijnstof bestaat uit microscopisch kleine luchtverontreinigende deeltjes in de lucht die kleiner zijn dan 10 micrometer. De Engelse term hiervoor is particulate matter (PM). Bij fijnstof maken we een onderverdeling op basis van de grootte van de deeltjes. PM<sub>10</sub> (deeltjes kleiner dan 10 micrometer), PM<sub>2.5</sub> (deeltjes kleiner dan 2.5 micrometer) en ultrafijn fijnstof PM<sub>0.1</sub> (deeltjes kleiner dan 100 nanometer).

### Urban Heat Island (UHI)

Het Urban Heat Island is het verschil tussen de temperatuur in stedelijke en dichtbebouwde gebieden en het omliggend gebied. De temperatuur is vaak een paar graden Celsius hoger dan in het omliggende landelijk gebied dan in stedelijk dichtbebouwde gebieden. .

### Sterftereductie

Dit is gebaseerd op gegevens afkomstig van het relatieve risico om te overlijden door natuurlijke oorzaak (waaronder ziekte), wat kan worden verminderd (voorkomen) door verschillende maatregelen (zoals meer groen in de omgeving).

### NDVI

Normalized Difference Vegetation Index, een index waarmee de mate van groen wordt aangegeven. Deze maat wordt vooral toegepast op luchtfoto's en satellietbeelden, waarmee de mate van groen als struiken, bomen en gras kan worden bepaald. De index loopt van -1 tot 1, waarbij van 0 tot 1 de mate van groen op land zonder sneeuw aangeeft.

### Rastercel

De output kaarten hebben een resolutie van 10 x 10 meter (100m<sup>2</sup>), ook wel de rastercel genoemd. Het model rekent per rastercel een unieke waarde uit. Om deze reden worden veel uitkomsten per 100 m<sup>2</sup> gepresenteerd.

## Introductie Groene Batenplanner

Iedereen die werkt aan stedelijke ruimtelijke ontwikkeling kan gebruikmaken van de Groene Baten Planner (GBP). De GBP-tool is ontwikkeld door het RIVM en ondersteunt ruimtelijke planmakers bij het identificeren van de meerwaarde voor het toepassen van groen in de ruimtelijke inrichting van een stedelijke omgeving. Zo maakt de GBP inzichtelijk welke baten het toevoegen van groen in stadsinrichtingsplannen oplevert.

### Groene Baten Planner gebruiken

De Groene Baten Planner (GBP) is een tool die in de verkennende fase van ruimtelijke planvorming ingezet wordt om een indicatie te geven van wat de aanwezigheid van nieuwe parken, bomen en ander groen in de leefomgeving kan opleveren binnen een bestaande situatie.

De GBP is gebaseerd op wetenschappelijk aangetoonde relaties. De maatschappelijke waarde kan kwalitatief, kwantitatief, en/of in monetaire waarde zijn uitgedrukt (de GBP rekent nog niet met monetaire waarden). De resultaten bevatten een zekere mate van onzekerheid. Deze onzekerheid varieert per indicator. De door de GBP gegenereerde output is een niet-uitputtende opsomming van indicatoren, waarmee het effect van aanvullende groenmaatregelen wordt weergegeven. De GBP ondergaat een continue ontwikkeling op basis van wetenschappelijke inzichten en maatschappelijke vraagstukken.

#### Voor eindgebruikers

De GBP-API is openbaar beschikbaar. Verschillende (3D-) ruimtelijke planningsplatformen hebben de GBP in hun platform geïntegreerd. Eindgebruikers, als gemeente en adviesbureaus, kunnen direct gebruik maken van de GBP via deze verschillende ruimtelijke planningsplatformen. Dit zijn momenteel Esri Nederland, Tygron en Strategis 3D-Cityplanner. Via deze platformen is het mogelijk om zelf inzicht te krijgen in de effecten en maatschappelijke baten van groene maatregelen.

#### Voor platformontwikkelaars

De GBP werkt via een Application Programming Interface (API) voor gebruik binnen ruimtelijke planningstools. Toegang tot de API vraagt u aan via het formulier op de site:

<https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/groene-baten-planner>.

De modellen voor berekeningen zijn beschikbaar na verbinding te maken met de GBP-API. Ontwikkelaars van ruimtelijke ontwerptools kunnen hier dus verder mee aan de slag.

#### Disclaimer

Het RIVM aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor schade als gevolg van het gebruik van de Groene Batenplanner

(GBP) en de interpretatie van de uitkomsten. De GBP is alleen geschikt om in de verkennende fase van ruimtelijke planvorming verschillende scenario's te vergelijken.

## De waarde van groen voor mensen

Diverse onderzoeken laten zien dat groen in de leefomgeving gezond is voor mensen. Met groen bedoelen we bijvoorbeeld parken, bomen en plantsoenen. De aanwezigheid van water kan ook een positieve bijdrage leveren aan een gezonde leefomgeving.

De aanwezigheid van groen kost geld in aanleg en onderhoud, maar levert ook voordelen op, zogeheten maatschappelijke baten. Denk daarbij onder andere het tegengaan van hitte in de stad, de mogelijkheid tot recreatie en sport en het afvangen van fijnstof. Kortom, groen en water hebben een positief effect op de leefomgeving en klimaatverandering en daarmee ook op het welzijn van mensen en kwaliteit van leven.

## Maatschappelijke waarde van groen in cijfers

Om de waarde van groen en water bij het inrichten van een gebied duidelijk te maken, is het behulpzaam om effecten van maatschappelijke baten in cijfers uit te drukken. De GBP bevat een combinatie van rekenmodellen om de waarde van het toevoegen van groen en water in een plan te kunnen berekenen. In de planfase, voorafgaand aan de nadere ontwikkeling en uitvoering van stedenbouwkundige plannen, kunt u met de GBP uitproberen welke scenario's de meeste baten opleveren.

### LET OP

Gebruik de GBP in de eerste fase van scenario-ontwikkeling, want ook de platformen waar de GBP op beschikbaar is, zijn hier ook voor ingericht. Het detailniveau is niet hoog genoeg voor ondersteuning en verantwoording van een eindconcept.

## Werking groene batenplanner

### Analyseprincipes en mogelijkheden GBP

De GBP rekent aan de hand van verschillende ruimtelijke gegevens van de huidige situatie de baten van nieuwe groenmaatregelen uit. Dit betekent dat de analyse uitgaat van de huidige situatie aan bebouwing en inwoner-aantal binnen een wijk of stadsdeel. De GBP rekent enkel de baten uit voor het verschil tussen het verkennend ontwerp en de huidige situatie. De GBP rekent dus niet de baten uit voor de huidige situatie.

Ongeacht veranderingen in het nieuwe ontwerp in bebouwing en inwoner-aantal wijzigen deze niet voor de GBP-analyse. Hierdoor is de GBP vooral geschikt om de baten te berekenen van groen dat wordt toegevoegd binnen een verkennend ontwerp die voor het grootste deel uitgaat van de huidige situatie in bebouwing en inwoners.

De analyses worden uitgevoerd op een resolutie van 10 x 10 meter (een rastercel). Dit betekent dat kleine groenmaatregelen maar zeer beperkt bijdragen aan de verandering van de groensituatie in een wijk. Maatregelen kleiner dan 10 x 10 meter worden wel meegenomen in de analyse maar zorgen voor een kleine verandering in groen bij binnen een 10 x 10 meter vlak.

De modelresultaten worden in absolute getallen gegeven. Er worden geen uitspraken gedaan over statistische significantie, omdat de achterliggende modellen zich hier momenteel niet voor lenen. De GBP kan daarom het beste worden gebruikt voor het vergelijken van verschillende groenontwerpen.

### Definiëren van het projectgebied

Om de baten van groen door te rekenen moet er eerst een projectgebied worden gedefinieerd. Het projectgebied markeert de grens waarbinnen verschillende groenelementen kunnen worden ingetekend. Alleen groenelementen binnen het projectgebied worden meegenomen in de analyse.

De analyse zelf beperkt zich niet tot het projectgebied. Maatregelen getroffen in het projectgebied kunnen namelijk ook een effect hebben dat zich uitstrekt buiten het projectgebied. Daarom wordt voor de analyse ook een buffer meegenomen van 500 meter rondom het projectgebied. Met deze bufferzone zorgen we dat het volledige effect van maatregelen worden doorberekend.

Geschikte projectgebieden zijn op het niveau van een stadsdeel of wijk (c.a. tussen de 20.000 – 500.000 m<sup>2</sup>). Bij kleinere gebieden (buurt niveau) is de schaal vaak te klein om substantiële groenmaatregelen te nemen. Grotere projectgebieden dan een stadsdeel kunnen worden doorgerekend maar dit zal lang duren (tiental minuten). Dit maakt een groot projectgebied minder geschikt om snel een aantal ontwerp ideeën te testen.

## Het plaatsen van groenelementen

De GBP kan verschillende type groenelementen doorrekenen. Dit varieert van straatbomen en bomenlanen, grasvelden of wadi's. Deze groenelementen zijn opgebouwd uit verschillende percentages verharding, bomen, struiken en laag groen (gras).

De GBP heeft een eigen lijst aan groenelementen (ook wel features genoemd) die als basis kunnen worden gebruikt voor het ontwikkelen van een nieuw groenplan (zie ook Bijlage V):

### Straatbomen en bomenlanen

Het toevoegen van bomen tussen de weg en huizen of op de stoep. Of het plaatsen van rijen bomen aan beide kanten van de weg. Dit zorgt bijvoorbeeld voor verkoeling en de afvang van fijnstof.

### Urban Wetlands

Moerasachtig natuurgebied bij een stad. Het water speelt hierbij een belangrijke rol als onder andere regenwaterbuffer. Verder kan deze natuur bijdragen aan de kwaliteit van waterlichamen (wanneer in de buurt) en de bodem.

### Wadi's (Water Afvoer Drainage en Infiltratie)

Een groene greppel in bewoond gebied met daaronder een drainage- en infiltratiesysteem. Het voornaamste doel is om regenwater te bergen voor het tegengaan van zowel wateroverlast als droogte. Daarnaast is het goed voor de biodiversiteit.

### Groene gevels

Het verticaal aanbrengen van natuur tegen gevels van huizen en andere gebouwen gaat onder andere hitte tegen en draagt bij aan biodiversiteit.

### Groene daken

Natuur op daken van huizen en andere gebouwen vangt regenwater af, waardoor riolen minder worden belast. Ook werkt het verkoelend voor onderliggende ruimtes en de omgeving en is het goed voor de biodiversiteit.

### Berging door de realisatie van extra wateroppervlak

Het creëren van meer ruimte voor water bij bestaande bergingen (bijv. vijvers of waterornamenten). Op deze manier is een stad beter voorbereidt op het bergen van water door de seizoenen heen, zonder de natuur rondom het water te verstoren.

### Stadsbossen

Een bos dat zich binnen de grenzen van de stad bevindt. Dit geeft recreatiemogelijkheden, zorgt voor verkoeling van de stad en is goed voor de biodiversiteit en kan een bijdrage leveren aan de luchtkwaliteit.

### Waterdoorlatende verharding

Poreuze bestrating of half verharding zoals grind zorgen ervoor dat regenwater geleidelijk door de grond opgenomen kan worden. Dat



vertraagt de waterafvoer, houdt het grondwater op peil en heeft een zuiverende functie door het opvangen en filteren van vervuilende stoffen.

#### Gras aanleggen

Ook gras zorgt voor een geleidelijke afvoer van regenwater, heeft een licht verkoelend effect en is bovendien goed voor de biodiversiteit.

Elk van deze features heeft een relatieve verhouding tussen het aandeel van bomen, struiken, gras en verharding mee (zie Bijlage V). Deze verhouding bepaalt het uiteindelijke effect van de groenmaatregel. Zodra een feature over (een deel van) een rastercel valt, dan krijgt de hele cel de waarde van de feature.

De features worden ingetekend binnen het platform en geven zo dus aan wat de veranderingen zijn ten opzichte van de oude situatie. Features kunnen over elkaar heen worden getekend, waarbij de analyse enkel wordt uitgevoerd op de bovenliggende features. Controleer altijd goed of de gekozen groenelementen goed overeenkomen met het beoogde plan voor een zo goed mogelijke doorrekening van het verkennende ontwerp. In de standaard featuretabel zijn enkel vergroeningsmaatregelen opgenomen. Ontwikkelaars kunnen ook eigen features ontwikkelen die beter passen bij het platform of het plan dat wordt gemaakt. Er kunnen bijvoorbeeld eigen features worden toegevoegd die leiden tot een vermindering van de hoeveelheid groen door een waarde van 0 toe te kennen aan de relatieve aandelen van gras-, struiken- en bomenfractie.

## Doorrekenen van de resultaten

Na het intekenen van de groenelementen kan het verkennend ontwerp worden doorgerekend. Hiervoor levert het platform dat u gebruikt een mogelijkheid om de doorrekening met de GBP te activeren (zie hiervoor de documentatie van het desbetreffende platform). Het verkennend ontwerp wordt nu doorgestuurd naar de GBP-API.

De GBP gaat nu de modellen doorrekenen. Dat gebeurt in twee stappen: eenmaal voor de huidige situatie invoerkaarten; en eenmaal voor het verkennend ontwerp waarin alle invoerkaarten zijn bewerkt aan de hand van de ingetekende maatregelen. Omdat het om ruimtelijke analyses gaat kost dit vaak een aantal minuten tijd. Hoe groter het projectgebied en het aantal groenelementen hoe langer de doorrekening duurt.

Als de doorrekening is afgerond worden de resultaten berekend door het verschil te nemen tussen het verkennend ontwerp en de huidige situatie. De resultaten worden door de GBP-API teruggestuurd naar het gebruikte platform, waar ze getoond worden (zie hiervoor de instructie of documentatie van het desbetreffende platform).

Afhankelijk van het verkennende ontwerp kunnen de baten van het groen groot of klein zijn. Belangrijk hierbij is dat kleine groenmaatregelen ook maar een beperkt effect opleveren. Ook is het belangrijk om er op te letten of het ontwerp echt nieuw areaal groen toevoegt of voor een groot deel groen vervangt waar al groen staat. In dit laatste geval kunnen de baten zeer beperkt zijn ten opzichte van de oude situatie. In het geval dat

features zijn gebruikt die minder groen zijn dan het groen dat ze vervangen kunnen modellen zelfs een negatief resultaat opleveren. Aan te bevelen is daarom om in het verkennend ontwerp ook echt substantieel groen areaal toe te voegen, hiermee komen de meeste GBP-analyses zo ook het beste tot hun recht.

## Algemene toelichting modellen

Door de aanleg van groen en water ontstaan omgevings- en gezondheidsbaten. De GBP maakt de baten inzichtelijk door een aantal indicatoren door te rekenen (onderverdeeld in categorieën):

### Afvang van fijnstof

De aanwezigheid van vervuilende deeltjes en gassen in de lucht, zoals fijnstof en stikstofoxiden, bepaalt in grote mate de luchtkwaliteit in een stedelijke omgeving. De concentratie in de lucht is vooral afhankelijk van emissiebronnen (uitstoot), van bijvoorbeeld fabrieken en verkeer.

Fijnstof is een verzamelnaam voor microscopisch kleine luchtverontreinigende deeltjes in de lucht die kleiner zijn dan 10 micrometer. De Engelse term hiervoor is particulate matter (PM). Fijnstof wordt beschreven in verschillende grootte: PM10 (deeltjes kleiner dan 10 micrometer, PM2.5 (deeltjes kleiner dan 2.5 micrometer) en ultrafijn fijnstof PM0.1 (deeltjes kleiner dan 100 nanometer).

Groen kan fijnstofdeeltjes van de grootte PM10 en PM2,5 afvangen, doordat deze voor een gedeelte achterblijft op het bladerdak. Het effect daarvan op de hoeveelheden in de lucht is echter beperkt.

- *Indicator: afgevangen fijnstof in kg/jaar*  
Deze indicator berekent de hoeveelheid door vegetatie afgevangen fijnstof (PM10 en PM2,5) in kilogram per jaar in het ingetekende projectgebied.

Deze resultaten kunnen gebruikt worden om de afvang van fijnstof door groen te bepalen, maar geven geen indicatie in welke mate de concentratie fijnstof in de lucht veranderd. Dat is namelijk meer afhankelijk van de hoeveelheid fijnstof bronnen.

### Reductie van verwachte overlijdens

De kans op vroegtijdig overlijden neemt af naarmate er meer groen in de omgeving aanwezig is.

De hoeveelheid groen in de omgeving wordt afgeleid uit satelliet beelden, en uitgedrukt in een index getal dat loopt van -1 tot 1, waarbij waarden van 0 tot 1 de mate van groen op land zonder sneeuw aangeeft. Deze index is gerelateerd aan het relatieve risico op vroegtijdig overlijden.

- *Indicator: De vermindering van het aantal mensen dat vroegtijdig overlijdt per 100 duizend inwoners (aantal mensen/honderdduizend inwoners/jaar)*  
Deze indicator berekent hoeveel minder mensen vroegtijdig overlijden door de toename van groen in de omgeving. Dit aantal wordt uitgedrukt in een aantal mensen per honderdduizend inwoners per jaar.

De resultaten geven aan in welke mate het relatieve risico op vroegtijdig overlijden wordt verminderd door de aanwezigheid van meer groen. Dit betreft natuurlijke doodsoorzaken, waaronder ziekten. Dit getal kan worden opgevat als een algemene verbetering van de leefomgeving, met minder overlijdens tot gevolg. Het is geen indicator die aangeeft of bepaalde ziekten minder voor gaan komen.

## Verkoeling

De opwarming van gebouwen en straten en minder wind veroorzaken hogere temperaturen in een stad dan daarbuiten. Dit effect wordt het 'urban heat island' (UHI) genoemd. Groen helpt de hogere temperaturen tegen te gaan. Op de locaties die het heetst worden, kan het effect van groen het grootst zijn. Bomen hebben een groter verkoelend effect dan struiken en gras: bomen geven schaduw en verdampen ook veel water waardoor het koeler blijft.

- *Indicator: Afname temperatuur (°C)*  
Deze indicator berekent de afname in temperatuur door groen.

De resultaten geven de potentiële verkoeling door groen aan, maar de temperatuur op lokaal niveau kan afwijken door zeer lokale verschillen in objecten (zoals gebouwen) en schaduwwerking.

## Nadere technische documentatie modellen

### Afvang van fijnstof

Luchtvervuiling bestaat uit verschillende stoffen, afkomstig van met name verkeer, industrie en veehouderijen (Hoogerbrugge et al. 2022). De luchtkwaliteit in de stedelijke omgeving wordt in grote mate bepaald door de aanwezigheid van vervuilende deeltjes en gassen in de lucht, zoals fijnstof en stikstofoxiden. In de GBP wordt uitgegaan van fijnstof als indicator voor luchtkwaliteit, omdat fijnstof één van de meest schadelijke stoffen is voor de gezondheid (Russell & Brunekreef, 2009). Fijnstof is een verzamelnaam voor allerlei kleine deeltjes die in de lucht aanwezig zijn, zoals roet-, metaal-, zout- en zanddeeltjes. Sommige fijnstofdeeltjes worden rechtstreeks uitgestoten in de lucht (primaire fijnstof), andere deeltjes ontstaan in de lucht (secundaire fijnstof) door chemische reacties van gassen, zoals ammoniak en stikstofdioxide. De chemische samenstelling van fijnstof kan erg verschillend zijn. Dat hangt af van de bron en locatie. Plaatselijk hebben vooral bronnen in de directe omgeving invloed op de luchtkwaliteit. Hoe groot die invloed is hangt sterk af van hoe groot de uitstoot is. Ook de hoogte en de wijze waarop de vervuilende stoffen worden uitgestoten is belangrijk.

Fijnstof wordt ingedeeld naar grootte van het deeltje en aangeduid met de Engelse term Particulate Matter, afgekort PM. Deeltjes kleiner dan 10 micrometer worden aangeduid als PM<sub>10</sub> (fijnstof). Is een deeltje kleiner dan 2,5 micrometer dan spreken we van PM<sub>2,5</sub> (fijnstof). Ultrafijnstof is kleiner dan 0,1 micrometer (PM<sub>0,1</sub>). Zodra fijnstof wordt ingeademd, kan deze via de longen in het lichaam terecht komen. De aanwezigheid van fijnstof in de lucht wordt in verband gebracht met luchtwegproblemen, hart- en vaatziekten en vroegtijdige dood (Derkzen et al., 2015; Santibañez et al., 2013; Cassee et al., 2013; Gerlofs-Nijland et al., 2019).

### Het effect van groen op luchtkwaliteit

De concentratie van fijnstof in de lucht is vooral afhankelijk van emissies, maatregelen die direct emissies voorkomen zijn over het algemeen het effectiefst. Bomen en struiken kunnen een bijdrage leveren aan het verbeteren van luchtkwaliteit doordat fijnstof op bladeren achterblijft (PM retentie genoemd). De rol van (stedelijk) groen in het verlagen van de fijnstofconcentratie is echter beperkt. (Janhall, 2015; Chen et al., 2016; Abhijith et al., 2017; Baldauf, 2017).

Het GBP-model berekent de hoeveelheid fijnstof (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>) die potentieel door groen in de stad kan worden afgevangen. Er wordt onderscheid gemaakt in de effecten van verschillende typen vegetatie; grassen, struiken en bomen. Bomen hebben de hoogste potentie om fijnstof af te vangen, grassen de laagste. Daarnaast maken we onderscheid tussen het afvangen van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> omdat kleinere deeltjes minder goed door groen worden afgevangen dan grotere deeltjes. Ook is er een verschil in impact op de gezondheid waarbij vooral kleinere deeltjes (PM<sub>2,5</sub>) een grotere impact hebben. Dit maakt het relevant om

zowel PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> in kaart te brengen. De resultaten worden weergegeven op een kaart, met afgevangen PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> in kilogrammen (kg) per jaar.

- *Indicator: afgevangen fijnstof in kg/100m<sup>2</sup>/jaar*  
Deze indicator berekent de hoeveelheid door vegetatie afgevangen fijnstof (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>) in kilogram per honderd vierkante meter per jaar in het ingetekende projectgebied.

## Modelbeschrijving Afvang van fijnstof

### Inputkaarten

Het model maakt gebruik van verschillende inputkaarten, look-up tabellen en processtappen om tot de berekening van de afvangst van fijnstof te komen. Inputkaarten zijn (Tabel 4.1):

*Tabel 4.1: Overzicht input kaarten model PM retentie*

Inputkaart	Variabele	Beschrijving	Bron
Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT)	Ruimtelijke objecten	Kaart met de inrichting van de fysieke omgeving van NL	SVB-BGT (2023)
PM <sub>10</sub> concentratie	µg/m <sup>3</sup>	Fijnstofconcentratie PM <sub>10</sub> in de lucht (2020)	RIVM (2020)
PM <sub>2,5</sub> concentratie	µg/m <sup>3</sup>	Fijnstofconcentratie PM <sub>2,5</sub> in de lucht (2020)	RIVM (2020)
Groenkaart	% bomen bedekking	Percentage bedekking van vegetatie hoger dan 2,5 meter in een rastercel van 10 x 10 meter.	RIVM (2017)
	% struiken bedekking	Percentage bedekking van vegetatie hoger dan 1 meter en lager dan 2,5 meter in een rastercel van 10 x 10 meter.	RIVM (2017)
	% grassen bedekking	Percentage bedekking van vegetatie lager dan 1 meter in een rastercel van 10 x 10 meter.	RIVM (2017)

### Basisregistratie Grootschalige Topografie kaart

De Basisregistratie Grootschalige Topografie kaart (BGT) geeft gedetailleerde informatie over de inrichting van de fysieke omgeving van Nederland. De kaart wordt gebuikt om de fractie van vegetatie en non-vegetatie (b.v. water, wegen en bebouwing) te bepalen.

### Fijnstofkaarten: $PM_{10}$ – en $PM_{2.5}$ concentratie

De fijnstof concentraties  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  zijn gebaseerd op de *Grootschalige Depositiekaart Nederland* (GDN, RIVM 2020) en verfijnd op basis van rekenpunten uit de monitoringstool van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL). Deze kaarten zijn gepubliceerd op de Atlas Leefomgeving. Deze kaarten van 25 x 25 m meter worden vervolgens geïnterpoleerd naar een 10 x 10 m resolutie.

### Groenkaart

De groenkaart geeft weer wat het aandeel is van de vegetatie in een bepaald gebied, en wat voor type groen het is. Vegetatie hoger dan 2,5 meter is aangeduid als de categorie bomen, vegetatie tussen 2,5 meter en 1 meter hoog als struiken en lager dan 1 meter als lage vegetatie, of gras. Deze kaarten zijn gemaakt met behulp van luchtfoto's en LiDAR data (om de hoogte van objecten te bepalen), en bevatten ook groen in tuinen, zie ook Bijlage 1.

### Input look-up tabellen

#### Look- up Tabel Depositiesnelheid van fijnstof (Tabel 4.2)

Depositie snelheid is de snelheid waarmee fijnstof wordt gedeponeerd op oppervlakten (Chen et al 2012), in dit geval bladoppervlak. De hoeveelheid fijnstof die uit de lucht wordt afgevangen is afhankelijk van het landgebruik, de type vegetatie en grootte van het fijnstof zelf (De Nocker et al. 2016). Dit uit zich in verschillende depositie snelheden, uitgedrukt in meter per seconde. Aan de hand van de inputkaarten wordt het percentage bomen, struiken en grassen bepaald en zodoende welke depositiesnelheid relevant is voor het plangebied is. De depositiesnelheden van  $PM_{10}$  voor de verschillende typen vegetatie staan weergegeven in Tabel 5.2. Voor  $PM_{2.5}$  hanteren we een depositiesnelheid van 20% van die van  $PM_{10}$  (DeNocker, 2016).

Depositiesnelheden worden weergegeven in meter/seconde, en is afhankelijk van de PM concentratie in de lucht, weergegeven in  $\mu\text{g m}^{-3}$ . De afvang van fijnstof wordt uitgedrukt in  $\text{kg}/100\text{m}^2/\text{jaar}$ . Daarom vindt er een 'unit correctie' plaats. Deze correctie, van  $\text{cm s}^{-1} \times \mu\text{g m}^{-3}$  naar  $\text{kg}/100\text{m}^2/\text{jrr}^{-1}$  is 0.031536.

Tabel 4.2. Gemiddelde depositiesnelheden en resuspending fractie voor verschillende vegetatie typen en landgebruik (De Nocker et al 2016).

Vegetatie type	Depositie snelheid PM <sub>10</sub> (m/s)	Resuspending fractie
Landgebruik BGT *	0.0 - 0.2	0.0/05
Loofbomen	0.5	0.5
Naaldbomen	0.7	0.5
struiken	0.3	0.5
Grasland	0.2	0.5
Landbouwgrond	0.2	0.5
water	0.1	0.0
lage natuurlijke vegetatie	0.2	0.5
lage boomgaard	0.2	0.5
gemengd bos	0.6	0.5

\* De precieze waarde hangt af van het landgebruik volgens de BGT kaart. Bebouwde gebieden krijgen de waarde 0.0, water en bos waarde 0.1, en landbouwgebieden 0.2.

#### Look-up Tabel resuspending van fijnstof (Tabel 4.2)

Fijnstof dat op de bladeren is gedeponeerd kan daar ook weer van loskomen door meteorologische condities zoals wind en regen, fysieke eigenschappen van het blad (hard ruw oppervlak), of saturatie van het bladerdek. Dit leidt tot resuspending van fijnstof in de omgeving (Gradon 2009). De resuspending fractie wordt geschat op 0.5, voor elk vegetatietype en landgebruik, behalve voor water (0.0) (zie Tabel 4.2) (De Nocker et al 2016).

#### Procesbeschrijving Model Afvang van fijnstof

Hieronder volgt een stap-voor-stap beschrijving van de verschillende berekeningen die plaatsvinden in het model. Deze zijn ook te vinden in Figuur 4.1.

De code voor dit model vind je terug in het volgende python script:

[GroeneBatenPlannerPublic/pm\\_retention.py at main · rivm-syso/GroeneBatenPlannerPublic \(github.com\)](https://github.com/GroeneBatenPlannerPublic/pm_retention.py)

#### Proces 1: Bepalen van de fractie non-vegetatie van een rastercel.

Elke rastercel van 10 x 10 meter heeft een bepaalde fractie van groen (bomen, struiken en grassen) en niet-groen. Deze fracties worden gebruikt om te bepalen welke fracties van de rastercel niet-groen zijn, b.v. door een weg of een gebouw.

$$fr_{non-veg} = 1 - (fr_{boom} + fr_{struik} + fr_{gras})$$

Waar:

- $fr_x$  de fractie is van bomen, struiken, grassen dan wel non-vegetatie.



Proces 2: Berekenen van de gemiddelde depositiesnelheid 'V<sub>dep</sub>' van de verschillende soorten vegetatie in een rastercel.

Bomen, struiken en grassen vangen fijnstof in verschillende mate in, door de depositiesnelheden van fijnstof. In het model wordt aangenomen dat niet-groen, bijvoorbeeld verharding en gebouwen, ook een deel fijnstof afvangen, afhankelijk van het landgebruik (zie Tabel 5.2). De fractie van groen en niet-groen is daarom bepalend voor de totale depositiesnelheid

$$V_{dep} = fr_{boom}V_{boom} + fr_{struik}V_{struik} + fr_{gras}V_{gras} + fr_{non-veg}V_{landgebruik_i}$$

Waar:

- V<sub>x</sub> de depositiesnelheid is van bomen, struiken, grassen en non-vegetatie [m s<sup>-1</sup>]

Proces 3: Berekening van PM retentie op vegetatie.

De hoeveelheid fijnstof in een rastercel die op het blad achterblijft is afhankelijk van de fijnstof concentratie in de lucht, de totale depositiesnelheid van de rastercel en in welke mate fijnstof weer van de bladeren loskomt (zie Tabel 5.2).

$$Retentie_{PMx} = V_{dep} \times C_{PMx} \times (1 - fr_{Resuspensie}) \times UnitCorrectie$$

Waar:

- Retentie<sub>PMx</sub> de hoeveelheid PM<sub>10</sub> / PM<sub>2.5</sub> is die wordt ingevangen door vegetatie [kg/100 m<sup>2</sup>]
- C<sub>PMx</sub> de fijnstofconcentratie van PM<sub>10</sub> of PM<sub>2.5</sub> is in de lucht [µg m<sup>-3</sup>]
- fr<sub>Resuspensie</sub> de fractie is van of PM<sub>10</sub> / PM<sub>2.5</sub> wat vanaf het blad loskomt
- Unitcorrectie wordt toegepast om de fijnstofconcentratie in de lucht naar kg/jaar om te rekenen.

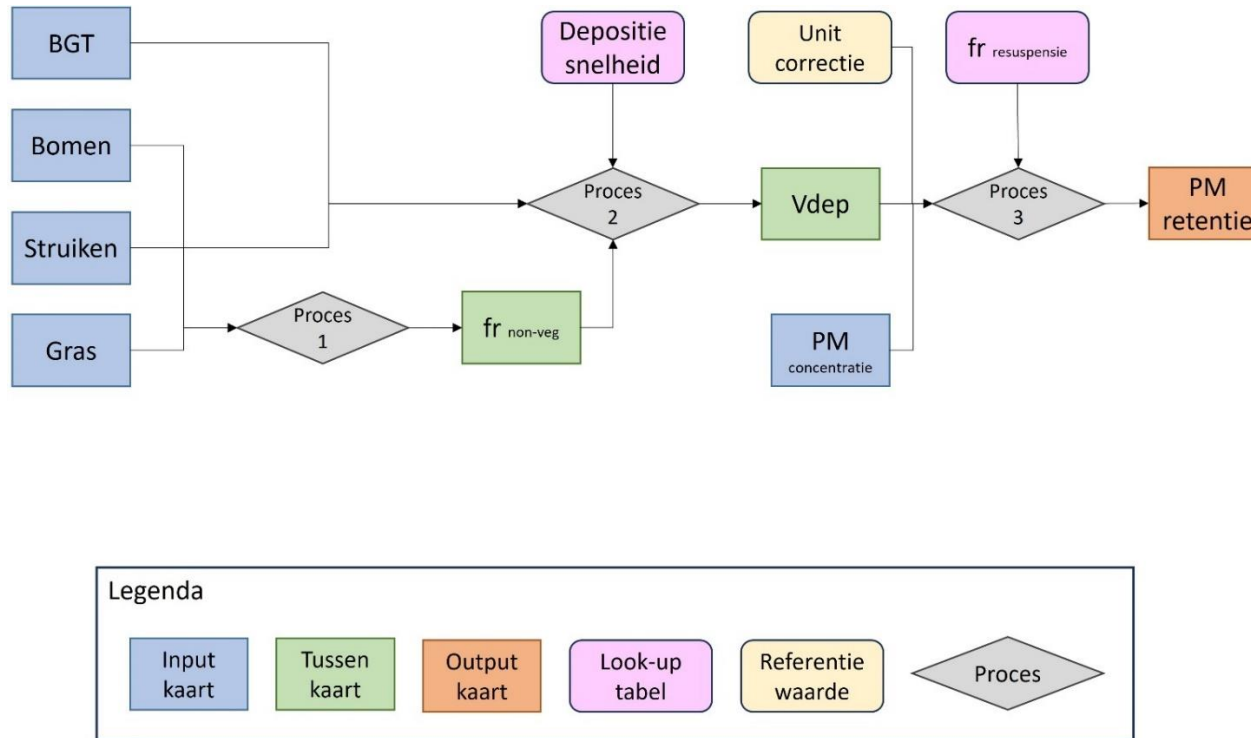
**Output**

De GBP geeft een absoluut getal voor de totale afvang van fijnstof, uitgesplitst naar PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>. Deze getallen zijn gebaseerd op twee kaarten die door het model berekend worden en die de afvangst van fijnstof in het projectgebied weergeven, voor PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>:

- PM<sub>10</sub> retentie (kg/jaar)
- PM<sub>2,5</sub> retentie (kg/jaar)

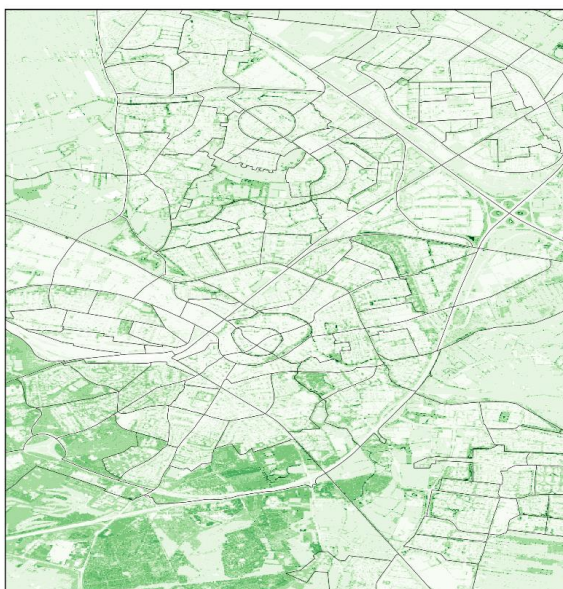
Voor een voorbeeld van de achterliggende output kaarten, zie Figuur 4.2, en Bijlage VI.

### Model flowchart Afvang van fijnstof

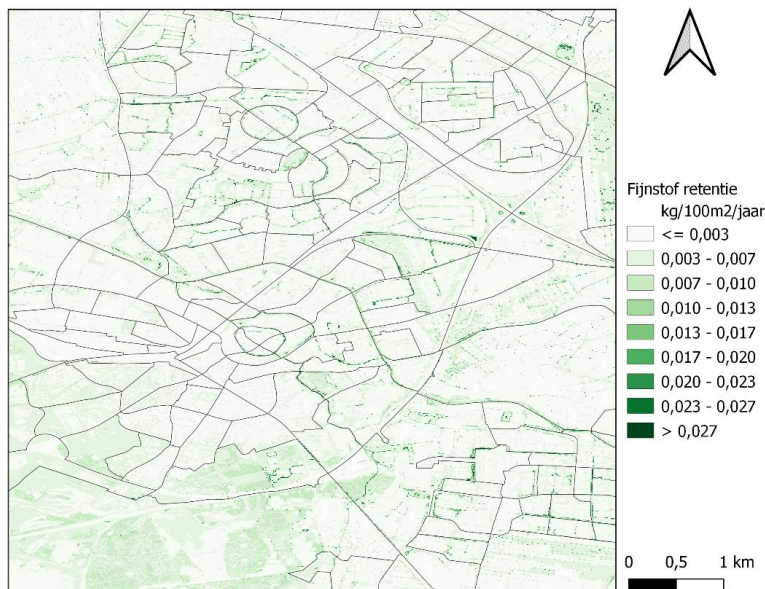


Figuur 4.1. Model flowchart van afvang van fijnstof. Het model begint met de inputkaarten met landgebruik en type groen, waarmee vervolgens de verschillende processtappen worden doorlopen. Vdep is de depositiesnelheid, fr non-veg staat voor de fractie van het oppervlak dat geen vegetatie is, fr resuspensie voor de fractie van het afgevangen fijnstof dat het blad weer verlaat. PM concentratie is de fijnstofconcentratie aanwezig in de lucht. De output, PM retentie, geeft aan hoeveel fijnstof is afgevangen door vegetatie.

Fijnstof retentie (PM10)



Fijnstof retentie (PM2.5)



*Figuur 4.2. Voorbeeld van de mate waarin fijnstof als a) PM10 en b) PM2.5 wordt afgevangen door groen en water op basis van de huidige situatie. Hoe donkerder de kleur groen op de kaart is, hoe meer fijnstof er wordt afgevangen. Deze kaarten zijn bedoeld om een voorbeeld te geven van de ruimtelijke spreiding in de huidige situatie van een bepaalde indicator, die gebruikt worden om af te trekken van de ontwerp situatie. Deze kaarten kunnen niet goed geïnterpreteerd worden als losstaande output. Daarvoor is een verschil tussen huidige- en ontwerpsituatie nodig.*

### Opmerkingen bij model Afvang van fijnstof

- De afvangst van fijnstof, en daarmee de vermindering van fijnstof-concentratie in de lucht door vegetatie is beperkt ten opzichte van de totale concentraties.
- In dit model wordt uitgegaan van een lineair verband tussen het oppervlak aan bomen of andere typen vegetatie en de afvangst van fijnstof. In werkelijkheid hangt de mate waarin fijnstof achterblijft op bladeren af van de luchtverversing in het bladerdak en de mate van saturatie. Als er meerdere bomen of struiken bij elkaar staan zal de luchtverversing aan de rand groter zijn dan in het midden.
- Het is belangrijk dat de vegetatie ruimte overlaat voor luchtverversing. Het kan bijvoorbeeld nuttiger zijn om struiken i.p.v. bomen toe te voegen in smalle straten, omdat de boomkronen de straat afdekken, waardoor het fijnstof niet weg kan. In deze situaties kan sprake zijn van het zogenaamde 'street canyon effect', waar in straten met hoge en dichte bebouwing fijnstof juist kan worden vastgehouden onder het bladerdak, waardoor de fijnstof-concentratie in de lucht toeneemt (Abhijith et al., 2017) Dit effect van street canyoning is niet gemodelleerd. Voor het verbeteren van luchtkwaliteit is het belangrijk om te zorgen dat er geen 'street canyons' worden gecreëerd. Dit moet gedaan worden in een nadere uitwerking van het ontwerp. Het huidige

model leent zich er niet voor om de juiste groenindeling op straatniveau te adviseren.

- Na verloop van tijd treedt er saturatie van het bladoppervlak op, waardoor weinig fijnstof meer wordt afgevangen. Daarnaast kan bij een regenbui een deel van het afgevangen fijnstof ook worden afgespoeld (Pace & Grote, 2020; Xu et al., 2017). Deze effecten kunnen verschillen in de tijd, per weer type en per seizoen. Hiermee houdt het huidige model momenteel geen rekening.
- Het huidige model laat zien dat groen kan bijdragen aan het afvangen van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> in de buitenlucht. Voor het verder vertalen van deze effecten naar maatschappelijke baten, zoals gezondheidseffecten, zijn de onzekerheden echter vooralsnog te groot. Dit heeft onder andere te maken met de beperkte bijdrage van groen aan het verlagen van de concentratie van fijnstof in de lucht. Tegelijkertijd zijn ook andere factoren van invloed of uiteindelijk ook gezondheidswinst wordt geboekt. De luchtkwaliteit binnen woningen en werkplekken speelt hierin mee en het is onduidelijk in hoeverre groen bijdraagt aan het verbeteren van de luchtkwaliteit binnen. Verder kan luchtkwaliteitsverbetering door groen ook nooit los worden gezien van andere baten of negatieve effecten in de omgeving, en moeten dus in samenhang worden onderzocht (Klompmaker *et al* 2020, Cassee *et al* 2013). Daardoor is het niet mogelijk om een statistisch significant effect van groen op gezondheid als gevolg van verminderde blootstelling aan fijnstof te onderbouwen. Om uitspraken te doen in hoeverre groen bijdraagt aan gezondheidsverbeteringen via verbeterde luchtkwaliteit is dus verder onderzoek noodzakelijk.

## Referenties model Afvang van fijnstof

- Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, R., Broderick, B., Di Sabatino, S. and Pulvirenti, B., 2017. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments - A review. *Atmospheric Environment*. 162, pp. 71-86.
- Baldauf, R., 2017. Roadside vegetation design characteristics that can improve local, near-road air quality. *Transportation Research Part D*, 52, pp. 354-361.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G., 1998. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99(3), pp. 347-360.
- Cassee, F.R., Héroux, M.E., Gerlofs-Nijland, M.E. and Kelly, F.J., 2013. Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. *Inhalation Toxicology* 25(14), pp. 802-812.
- Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M. and Zhang, Z., 2016. Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Environmental Pollution*, 208, pp. 198-208.
- Chen, L., Peng, S., Liu, J. and Hou, Q., 2012. Dry deposition velocity of total suspended particles and meteorological influence in four

locations in Guangzhou, China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), pp.632-639.

- De Nocker, L. and Viaene P., 2016. Methode ecosysteemdienst fijn stof afvang, *ECOPLAN*, VITO.
- Derkzen, M.L., van Teeffelen, A.J. and Verburg, P.H., 2015. Quantifying urban ecosystem services based on high - resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), pp.1020-1032.
- Gerlofs-Nijland, M.E., Bokkers, B.G., Sachse, H., Reijnders, J.J., Gustafsson, M., Boere, A.J.F., Fokkens, P.F.H., Leseman, D.L., Augsburg, K. and Cassee, F.R., 2019. Inhalation toxicity profiles of particulate matter: a comparison between brake wear with other sources of emission. *Inhalation toxicology*, 31(3), pp.89-98.
- Gradoń, L., 2009. Resuspension of particles from surfaces: Technological, environmental and pharmaceutical aspects. *Advanced Powder Technology*, 20(1), pp.17-28.
- Janhall, S., 2015. Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, pp. 130-137.
- Klompmaker, J.O., 2020. Health effects of combined exposure to surrounding green, air pollution and traffic noise. PhD thesis, RIVM Strategic Program S/121004 HERACLES
- Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Jorak Jr, F., Puybonnieux-Textier, V., Quénel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J-C. and Sommer, H., 2000. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 356, 9232, pp. 795-801.
- Pace & Grote et al 2020. Deposition and Resuspension Mechanisms Into and From Tree Canopies: A Study Modeling Particle Removal of Conifers and Broadleaves in Different Cities. 10.3389/ffgc.2020.00026
- Powe, N.A. and Willis, K.G., 2004. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) absorption attributable to woodland in Britain. *Journal of Environmental Management* 70(2), pp. 119-128.
- RIVM, 2020 Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland - *Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu*, Bilthoven.
- Santibañez, D.A., Ibarra, S., Matus, P. and Seguel, R., 2013. A five-year study of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and cerebrovascular diseases. *Environmental Pollution*, 181, pp.1-6.
- Tiwary, A., Reff. A. and Colls, J.J., 2008. Collection of ambient particulate matter by porous vegetation barriers: sampling and characterization methods. *Journal of Aerosol Science*, 39, pp. 40-47.
- Xu et al. 2017. Influence of rainfall duration and intensity on particulate matter removal from plant leaves. 10.1016/j.scitotenv.2017.07.14

## Reductie verwachte overlijdens (sterftereductie)

Veel studies wijzen op het verband tussen de aanwezigheid van groen in de stad en de winst die daarmee behaald kan worden voor de gezondheid van de bewoners van de stad (Rojas-Rueda et al. 2019; Barboza et al., 2021). De World Health Organization (WHO) heeft als richtlijn dat er in verstedelijkt gebied ten minste een groen gebied van een halve hectare aanwezig is binnen 300 meter afstand van een woning (WHO, 2017).

Volksgezondheid kan op verschillende manieren worden uitgedrukt met behulp van verschillende indicatoren, die de prevalentie en incidentie van ziektes uitdrukken. Er zijn indicatoren voor fysieke en mentale gezondheid die kunnen variëren van specifiek tot breder. Voorbeelden van indicatoren van fysieke gezondheid zijn o.a. overgewicht, hart- en vaatziekten, luchtwegklachten en de werking van het immuunsysteem. Indicatoren voor mentale gezondheid zijn o.a. stemming, stress, depressie en de mate van concentratie. Er is momenteel onvoldoende onderzoek beschikbaar om de positieve effecten van groen op fysieke en mentale gezondheid te kwantificeren. Het mechanisme waarmee groen een positief effect heeft op fysieke en mentale gezondheid is nog onduidelijk (Kuo, 2015; Triguero-Mas et al., 2015). Dit is onder andere complex doordat het effect van groen moeilijk is uit te splitsen naar het voorkomen van specifieke ziekten (De la Fuente et al., 2020). In een meer algemenere maat voor gezondheid is er wel een significant kwantificeerbaar verband tussen de mate van aanwezigheid van groen en het verminderen van het relatieve risico op overlijden binnen een jaar door natuurlijke oorzaken, waaronder ziekte. Het aantal vroegtijdige overlijdens per jaar afneemt met 4.0% per 0.1 toename van NDVI (groenindex van 0 tot 1) (Rojas-Rueda et al 2019). Aan de hand van deze correlatie gaan we in ons model uit van een lineair verband (toename hoeft niet persé in eenheden van 0.1 NDVI te zijn). De correlatie tussen een toename in NDVI en een afname in sterfte geldt binnen een buffer van 500 meter waarin de NDVI gemeten is. De genoemde 4.0% sterftereductie is een gemiddelde, de waarde kan variëren tussen 3% en 6% (Rojas-Rueda et al. 2019).

## Het effect van groen op de volksgezondheid

Het aantal vroegtijdige overlijdens (vroegtijdige mortaliteit), kan gezien worden als een uitdrukking van gezondheid, gemiddeld leven gezonde mensen langer. Het uitgangspunt van dit model is de fysieke gezondheid van de bevolking, uitgedrukt in mortaliteit.

- *Indicator: De vermindering van het aantal mensen dat vroegtijdig overlijdt per 100 duizend inwoners (aantal mensen/honderdduizend inwoners/jaar)*  
Deze indicator berekent hoeveel minder mensen vroegtijdig overlijden door de toename van groen in de omgeving. Dit aantal wordt uitgedrukt in een aantal mensen per honderdduizend inwoners per jaar.



## Modelbeschrijving Reductie verwachte overlijdens (sterftereductie)

### Inputkaarten

Het model maakt gebruik van verschillende inputkaarten, look-up tabellen en processtappen om reductie van de te verwachte overlijdens te berekenen. Inputkaarten zijn (Tabel 4.3):

*Tabel 4.3: Overzicht input kaarten model reductie overlijdens*

Input kaart	Variabele	Beschrijving	Bron
Normalised Differentiation Vegetation Index	NDVI	Kaart met de groenindex per rastercel (10 x 10 meter)	RIVM (2023)
Sterftekans kaart	Gemiddelde sterfte per gemeente per jaar	Kaart gebaseerd op sterftegevallen per week en de wijk en buurten kaart door het CBS en	RIVM (2023), CBS (2023)
Inwonerkaart	Inwoners per woonobject	Gemiddeld aantal inwoners per woning per wijk en buurt	RIVM (2023), CBS (2023)

### Normalised Differentiation Vegetation Index (NDVI) kaart

De NDVI kaart laat een groenindex zien die een inschatting geeft van hoeveel vegetatie aanwezig is. De kaart gebruikt voor dit model is op basis van Sentinel-2 MSI satellietbeelden. De NDVI-index kan variëren tussen -1 en 1, waarbij waarden lager dan 0 water, sneeuw of wolken zijn. Waarden tussen 0 en 1 geven de mate van vegetatiebedekking aan, waarbij een hogere waarde staat voor meer groen. Elke stadswijk heeft al een bepaalde NDVI, zelfs bij alleen bebouwing is deze groter dan 0, de huidige NDVI (NDVI 'current').

Voor een uitgebreidere beschrijving van de NDVI kaart, zie 'Bijlage III Bepaling NDVI waarden'.

### Sterftekans kaart

De natuurlijke sterfte per gemeente per jaar, gedeeld door het aantal inwoners van die gemeenten. Voor een uitgebreide beschrijving over de totstandkoming van de sterftekanskaart, zie 'Bijlage IV sterftekans kaart'.

### Inwonerskaart

Inwoner kaart met het gemiddeld aantal inwoners per woonobject op basis van de CBS wijken en buurten kaart. Voor een uitgebreidere beschrijving van de inwonerkaart, zie 'Bijlage II Inwonerskaart'.

### Input look-up tabellen

#### Look-up tabel NDVI per groentype (Tabel 4.4)

Om te bepalen welke NDVI-waarde moet worden gekoppeld aan een specifieke groenmaatregel is per groen type (bomen, gras, struiken) een gemiddelde NDVI-waarde bepaald (tabel 4.4 en zie bijlage III). Vervolgens worden deze waarden gebruikt om per groenmaatregel (zie bijlage V) een NDVI toe te kennen aan de hand van het percentage gras, struiken en groen waaruit deze is opgebouwd.

Tabel 4.4: toegekende gemiddelde NDVI-waardes per vegetatietype, zie Bijlage III.

Vegetatie type	NDVI
Bomen	0.47
Struiken	0.36
Gras	0.36
Gebouwen	0.16
Infrastructuur	0.14

#### *Procesbeschrijving Reductie verwachte overlijdens (sterftereductie)*

Hieronder volgt een stap-voor-stap beschrijving van de verschillende berekeningen die plaatsvinden in het model. Deze zijn ook te vinden in Figuur 4.3.

De code voor dit model vind je terug in het volgende python script:

[GroeneBatenPlannerPublic/mortality\\_reduction.py at main · rivm-syso/GroeneBatenPlannerPublic \(github.com\)](https://github.com/GroeneBatenPlannerPublic/mortality_reduction.py)

#### Proces 1: Inschatten van de nieuwe NDVI-waarde door de plaatsing van groen in de omgeving.

In dit model geeft de NDVI de hoeveelheid groen van een rastercel weer, en niet de Groenkaart. Door meer groen in de omgeving te plaatsen, verandert de NDVI, afhankelijk van de soort groenmaatregel (feature). De NDVI van de rastercel waarin de groenmaatregel geplaatst wordt, verandert naar de

$$NDVI_{diff} = NDVI_{feature} - NDVI_{current}$$

Waar:

- $NDVI_{feature}$  de NDVI-waarde weergeeft van bomen, struiken, grassen dan wel non-vegetatie (zie look-up tabel 5.4).
- $NDVI_{current}$  de huidige NDVI is in het plangebied.
- $NDVI_{diff}$  het verschil is tussen de beoogde NDVI door geplaatste maatregelen en de huidige NDVI in het plangebied.

#### Proces 2: Bepalen van het algemene percentage vroegtijdige overlijdens dat te voorkomen is door de plaatsing van groen in de omgeving.

Aan de hand van de correlatie 4% sterfte-afname per 0.1 NDVI toename.

$$VVO(-) = \left( \frac{NDVI_{diff}}{0.1} \right) * 0.04$$

Waar:

- VVO staat voor de fractie van het 'voorkomen vroegtijdige overlijdens' door de toename van NDVI het beoogde plangebied.



Proces 3: Het berekenen van het aantal voorkomen vroegtijdige overlijdens per 100m<sup>2</sup> per jaar.

Hier wordt gebruik gemaakt van de VVO (-) zoals berekend in de vorige stap en het aantal overlijdens per 100 m<sup>2</sup> (afkomstig van de sterftekaartaart).

$$AVVO = \text{sterftekans} * \text{inwoners} * (VVO)$$

Waar:

- AVVO' staat voor het aantal voorkomen vroegtijdige overlijdens per 100 m<sup>2</sup> per jaar.
- sterftekans de kans op overlijden op basis van de inputkaart 'sterftekans' is.
- inwoners aantallen op basis van inputkaart 'inwonerkaart' zijn.

Proces 4: Berekening van het percentage voorkomen vroegtijdige overlijdens per 100.000 inwoners.

$$AVVO_{100} = AVVO / \text{inwoners} * 100.000$$

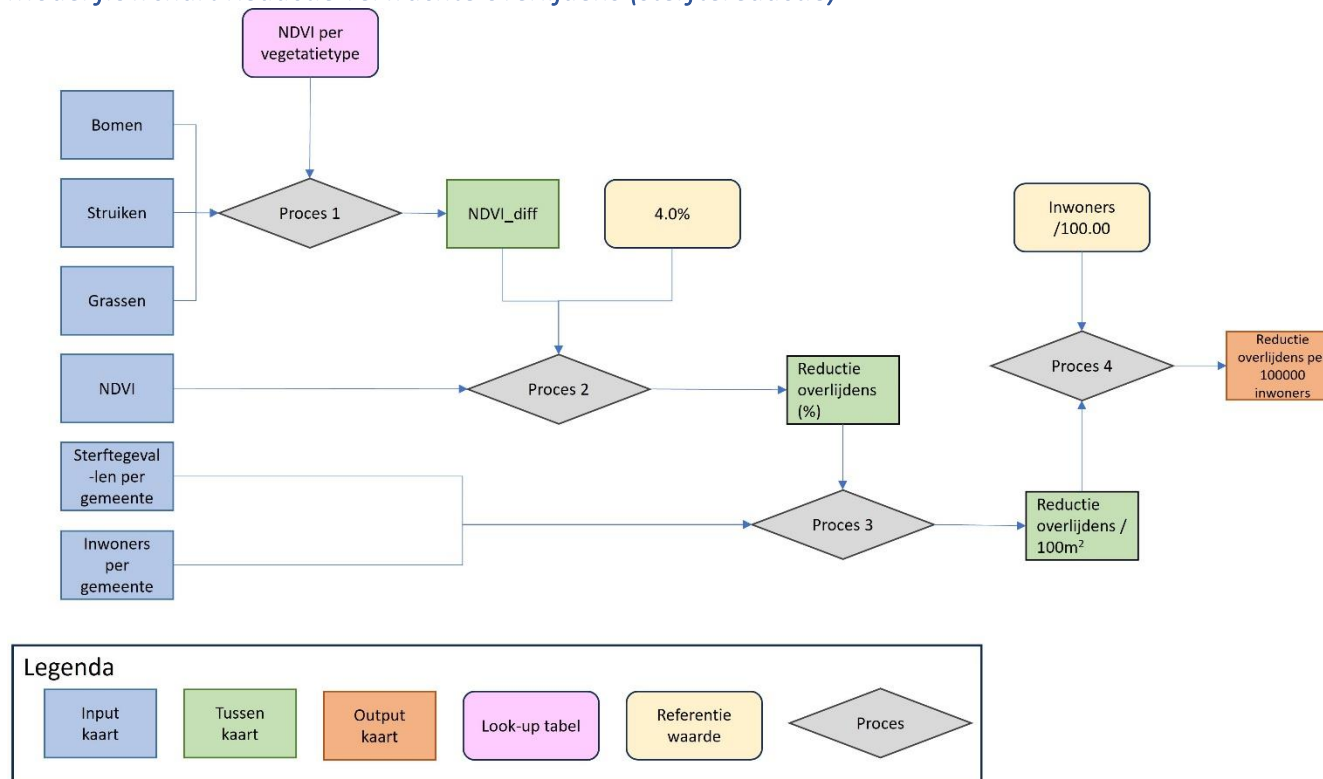
**Output**

De output van het model wordt weergegeven in een absoluut getal:

- De vermindering van het aantal mensen dat vroegtijdig overlijdt in het projectgebied per 100 duizend inwoners (aantal mensen/honderdduizend inwoners/jaar)

Voor een voorbeeld van de achterliggende output kaart zie Figuur 4.4, en Bijlage VI.

### Model flowchart Reductie verwachte overlijdens (sterftereductie)



Figuur 4.3. Model flowchart van de reductie van aantal sterfgevallen. Het model begint met de inputkaarten met type groen (wat belang is voor groenmaatregelen) en de huidige NDVI. Hiermee vervolgens de reductie van sterfgevallen door plaatsing van groen berekend, aan de hand van gegevens over sterfgevallen en aantal inwoners.

## Reductie overlijdens door groen



*Figuur 4.4. Voorbeeld van de mate waarin groen de hoeveelheid overlijdens verminderd op basis van de huidige situatie. Blauwe kleuren geven een groot effect weer (relatief hoog aantal voorkomen overlijdens), rode kleuren geven een kleiner effect weer (weinig tot geen voorkomen overlijdens). Deze kaarten zijn bedoeld om een voorbeeld te geven van de ruimtelijke spreiding in de huidige situatie van een bepaalde indicator, die gebruikt worden om af te trekken van de ontwerp situatie. Deze kaarten kunnen niet goed geïnterpreteerd worden als losstaande output. Daarvoor is een verschil tussen huidige- en ontwerpsituatie nodig.*

### Opmerkingen bij model Reductie verwachte overlijdens (sterftereductie)

- Deze gezondheidsmaat sluit minder aan bij al in gebruik zijnde doelstellingen van gemeenten of andere overheden die vaak op een specifiek gezondheidsrisico's focussen (zoals overgewicht). Het is op basis van de huidige literatuur nog niet mogelijk de invloed van groen te relateren aan specifieke gezondheidsrisico's zoals overgewicht.
- De uitkomst van bovenstaande figuur 4.4 of van GBP uitvoer zal altijd een zeer klein getal zijn. Dit komt omdat de gebruikte correlaties zijn gevonden in grote steden, en bij kleine plangebieden de relaties tot een relatief minder groot effectief leiden. Een vervolgstap zou zijn om de sterftereductie om te zetten naar verloren levensjaren en samenhangende economische waarde hiervan.
- De maat NDVI is een generalisatie voor de hoeveelheid groen, maar zegt niks over de kwaliteit van het groen of de toegankelijkheid (of recreatie waarde) ervan.

## Referenties model Reductie verwachte overlijdens (sterftereductie)

- Barboza et al., 2021. *Green space and mortality in European cities: a health impact assessment study*. The Lancet Planetary Health, Volume 5 Issue 10 (2021).
- Rojas-Rueda et al., 2019 *Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies*, *Lancet Planet Health*.; 3: e469-e477
- World Health Organization, 2017. *Urban green spaces: a brief for action*.
- Kuo, M., 2015. *How might contact with nature promote human health?* Promising mechanisms and a possible central pathway. *Frontiers in Psychology*, 6 (2015)
- Triguero-Mas, M., 2015. *Natural outdoor environments and mental and physical health: Relationships and mechanisms*. *Environmental International*. Volume 77 (2015)
- De La Fuente et al., 2020. *Green Space Exposure Association with Type 2 Diabetes Mellitus, Physical Activity, and Obesity: A Systematic Review*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Volume 18 Issue 1 (2020)

## Verkoeling

In een stedelijke omgeving is het vaak warmer dan in direct omliggende gebieden buiten de stad. Dit effect wordt het 'Urban Heat Island' (UHI) genoemd. De hogere temperaturen in een stad worden veroorzaakt door de opwarming van gebouwen en straten en door lagere windsnelheden in een stad vergeleken met het buitengebied. Het verschil in de luchttemperatuur tussen stad en het buitengebied kan op een warme dag tot 3 à 4 graden Celsius bedragen (Dirksen et al., 2019; Lauwaet et al., 2018). Vooral tijdens de zomer en tijdens hittegolven levert dit gezondheidsrisico's op, wat kan leiden tot hogere mortaliteit met name onder kwetsbare groepen als ouderen en pasgeborenen (Botzen et al., 2020; Masselot et al., 2023).

Vegetatie en openwater helpen om de hogere temperaturen tegen te gaan. Op de locaties die het heetst zijn, is het effect van groen, en dan met name van bomen, potentieel het grootst. Bomen geven schaduw maar verdampen ook veel water waardoor het koeler blijft (Gago et al., 2013; Ziter et al., 2019), wat tot een verkoeling van enkele graden in de luchttemperatuur kan leiden (de Nijs et al., 2019; Ziter et al., 2019) afhankelijk van de vegetatiebedekking.

## Hitte in de stad: Urban Heat Island

De  $UHI_{max}$  geeft het maximale verschil weer tussen de luchttemperatuur in de stad en in het buitengebied. Het is het maximale dagelijkse verschil in temperatuur, wat doorgaans 4 uur na zonsondergang optreedt tijdens een rustig weertype (de Nijs et al., 2019; Koopmans et al., 2020).

Om het maximale UHI-effect te bepalen (zonder effect van groen) dat in een gebied kan optreden, wordt de UHI berekend op basis van de windsnelheid en de bevolkingsdichtheid. Deze gebruikte relatie is gebaseerd op uitkomsten van het UrbClim-model, dat is ontwikkeld op basis van simulaties van meer dan 100 Europese steden tijdens het EU FP7-project RAMSES, en dat eerder in meerdere studies is gevalideerd (De Ridder et al., 2015; Lauwaet et al., 2015).

Uit de resultaten van het RAMSES-project blijkt dat het maximale UHI-effect voor steden nauwkeurig kan worden geschat op basis van twee variabelen: (1) de jaarlijkse gemiddelde windsnelheid op 10 m boven de grond en (2) de populatiegrootte binnen een straal van 10 km rond een bepaalde locatie (Lauwaet et al., 2018). Deze variabelen zijn overgenomen in onderstaand beschreven procestap 2 van het hier gepresenteerde model

Meer specifiek is de relatie in het model gebaseerd op de gemiddelde dagelijkse maximale UHI tijdens het zomerseizoen (juni t/m augustus), figuur 1 in Lauwaet et al (2018) volgend. Het aantal inwoners in een straal van 10 km wordt in het model berekend als de som van alle inwoners binnen een straal van 10 km rondom een rastercel, op basis van de door het RIVM ontwikkelde inwonerskaart (Appendix II).

- *Indicator: Afname temperatuur (°C)*  
Deze indicator berekent de afname in temperatuur door groen.

## Modelbeschrijving verkoeling

### Inputkaarten

Om het verkoelende effect van stedelijk groen en water op stedelijke gebieden te bepalen worden de volgende inputkaarten gebruikt (Tabel 4.5).

*Tabel 4.5. De kaarten die gebruikt worden als input voor het model Verkoeling*

Inputkaart	Variabele	Beschrijving	Bron
Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT)	Ruimtelijke objecten	Kaart met de inrichting van de fysieke omgeving van NL	SVB-BGT (2023)
Windsnelheid	m s <sup>-1</sup>	Gemiddelde windsnelheid op 100 m hoogte in de periode 2004-2013	KNMI (Geertsema & van den Brink, 2014)
Inwonerskaart	Inwoners	Aantal inwoners per rastercel	RIVM (Appendix II)
Groenkaart	% bomen bedekking	Percentage bedekking van vegetatie hoger dan 2,5 meter in een rastercel van 10 x 10 meter.	RIVM (2017)
	% struiken bedekking	Percentage bedekking van vegetatie hoger dan 1 meter en lager dan 2,5 meter in een rastercel van 10 x 10 meter.	RIVM (2017)
	% grassen bedekking	Percentage bedekking van vegetatie lager dan 1 meter in een rastercel van 10 x 10 meter.	RIVM (2017)

#### Basisregistratie Grootchalige Topografie kaart

De Basisregistratie Grootchalige Topografie kaart (BGT) geeft gedetailleerde informatie over de inrichting van de fysieke omgeving van Nederland. De kaart wordt gebruikt om de fractie van vegetatie en non-vegetatie (b.v. water, wegen en bebouwing) te bepalen.

#### Windsnelheid

De gemiddelde windsnelheid op 100 m hoogte in de periode 2004-2013

#### Inwonerskaart

Inwoner kaart met het gemiddeld aantal inwoners per woonobject op basis van de CBS wijken en buurten kaart. Voor een uitgebreidere beschrijving van de inwonerkaart, zie 'Bijlage II Inwonerskaart'.

### Groenkaart

De groenkaart geeft weer wat het aandeel is van de vegetatie in een bepaald gebied, en wat voor type groen het is. Vegetatie hoger dan 2,5 meter is aangeduid als de categorie bomen, vegetatie tussen 2,5 meter en 1 meter hoog als struiken en lager dan 1 meter als lage vegetatie, of gras. Deze kaarten zijn gemaakt met behulp van luchtfoto's en LiDAR data (om de hoogte van objecten te bepalen), en bevatten ook groen in tuinen, zie ook Bijlage 1.

### Input look-up tabellen

Voor het toekennen van het verkoelend effect van groen en BGT klassen zijn de volgende twee look-up tabellen gehanteerd voor respectievelijk onderstaande beschreven processtap 1 (tabel 4.6) en processtap 4 (tabel 4.7).

*Tabel 4.6. De toegekende verhardings-, ruwheidslengte- en verkoelingseffect-waarde voor de gebruikte BGT langgebruiksklassen in het stedelijk verkoelingsmodel.*

<b>BGT klasse</b>	<b>Verhard/onverhard</b>	<b>Ruwheidslengte (m)</b>	<b>Verkoelend effect (-)</b>
pand	verhard	1.50	0.00
gebouwinstallatie	verhard	1.50	0.00
overigbouwwerk	verhard	1.50	0.00
wegdeel	verhard	0.30	0.00
weginrichtingselement	verhard	0.30	0.00
tunneldeel	verhard	0.30	0.00
kunstwerkdeel	verhard	0.30	0.00
berm	onverhard	0.30	0.20
verkeerseiland	verhard	0.30	0.00
ondersteunendwegdeel_transitie	onverhard	0.30	0.00
"oever, slootkant"	onverhard	0.10	0.20
slik	onverhard	0.10	0.00
ondersteunendwaterdeel_transitie	onverhard	0.10	0.00
erf	onverhard	0.30	0.00
gesloten verharding	verhard	0.30	0.00
open verharding	verhard	0.30	0.00
half verhard	verhard	0.30	0.00
zand	onverhard	0.30	0.00
onverhard	onverhard	0.30	0.00
onbegroeidterreindeel_transitie	onverhard	0.30	0.00
"greppel, droge sloot"	onverhard	0.10	0.30
waterloop	onverhard	0.00	0.30
watervlakte	onverhard	0.00	0.30
zee	onverhard	0.00	1.00
waterdeel_transitie	onverhard	0.00	0.30



Tabel 4.6 - Vervolg. De toegekende verhardings-, ruwheidslengte- en verkoelingseffect- waarde voor de gebruikte BGT langgebruiksklassen in het stedelijk verkoelingsmodel.

BGT klasse	Verhard/onverhard	Ruwheidslengte (m)	Verkoelend effect (-)
boomteelt	onverhard	1.20	0.20
bouwland	onverhard	0.10	0.15
duin	onverhard	0.10	0.00
fruitteelt	onverhard	0.50	0.20
gemengd bos	onverhard	1.20	0.20
grasland agrarisch	onverhard	0.05	0.20
grasland overig	onverhard	0.10	0.20
groenvoorziening	onverhard	0.30	0.20
heide	onverhard	0.10	0.20
houtwal	onverhard	1.20	0.20
kwelder	onverhard	0.30	0.20
loofbos	onverhard	1.20	0.20
moeras	onverhard	0.10	0.20
naaldbos	onverhard	1.20	0.20
rietland	onverhard	0.30	0.20
struiken	onverhard	0.30	0.20
begroeidterreindeel transitie	onverhard	0.10	0.20
functioneelgebied	verhard	0.30	0.00
scheiding	verhard	0.30	0.00
overigescheiding	verhard	0.30	0.00

Tabel 4.7. De fracties verkoelend effect van groen en water.

Klassen	Fractie reductie UHI effect (-)
Bomen	0.5
Struiken	0.3
Grassen	0.2
Binnenwater	0.3
Zee	1

### *Procesbeschrijving model Verkoeling*

Hieronder volgt een stap-voor-stap beschrijving van de verschillende berekeningen die plaatsvinden in het model. Deze zijn ook te vinden in Figuur 4.5.

De code voor dit model vind je terug in het volgende python script:  
[GroeneBatenPlannerPublic/cooling\\_in\\_urban\\_areas.py at main · rivm-syso/GroeneBatenPlannerPublic \(github.com\)](https://github.com/GroeneBatenPlannerPublic/cooling_in_urban_areas.py)

#### Processtap 1: berekening gemiddelde windsnelheid op basis van landgebruik

Voor de correcte relatie tussen windsnelheid en  $UHI_{max}$  is als eerste stap de windsnelheid op 100 m boven de grond voor Nederland (Geertsema & van den Brink, 2014) omgezet tot een windsnelheidskaart op 10 m hoogte boven de grond. Hiervoor is de BGT invoerkaart gebruikt waarin elk type landgebruik een bijbehorende 'ruwheidslengte voor momentum' ( $z0m$ ) toegekend heeft gekregen. Dit staat voor de hoogte waarop de windsnelheid theoretisch nul is. Hierbij wordt de tussenkaart  $Z0m_{bgt}$  gecreëerd. (proces 1 a). De  $z0m$  voor de BGT klassen zijn bepaald op basis van De Ridder and Schayes(1997) (zie tabel 4.6). De windsnelheid op 10 m boven de grond is hierna berekend aan de hand van de volgende vergelijking (Wieringa, 1986):

$$windsnelheid_{10m} = windsnelheid_{100m} \times \ln(10/z0m_{bgt}) / \ln(100/z0m_{bgt})$$

Waar:

- $Windsnelheid_{10m}$  de gemiddelde windsnelheid is op 10 m boven de grond [m s<sup>-1</sup>].
- $Windsnelheid_{100m}$  de gemiddelde windsnelheid is op 100 m boven de grond [m s<sup>-1</sup>].
- $z0m_{bgt}$  de ruwheidslengte is per BGT-klasse [m].

De windsnelheid wordt vervolgens gemiddeld over een radius van 50 meter van de betreffende rastercel, wat resulteert in de windsnelheidskaart op 10 m hoogte (proces 1b)

#### Processtap 2: berekening $UHI_{max}$ op basis van inwoneraantal en windsnelheid

In deze stap (proces 2a) wordt de populatiekaart omgezet naar de som van het inwonersaantal binnen een straal van 10 km afstand. Om het maximale stedelijke hitte eiland effect te berekenen is vervolgens onderstaande formule (proces 2b) gebruikt als functie van de inwonersom binnen 10 km afstand en de windsnelheid op 10 m hoogte. Deze formule is gebaseerd op Lauwaet et al. (2018). De  $UHI_{max}$  is hierin gedefinieerd als het gemiddelde dagelijkse maximale verschil tussen urbane en rurale temperatuur tijdens de periode (juni t/m augustus).  $UHI_{max}$  is het maximale verschil tussen stad en platteland temperaturen en is doorgaans het moment 4 uur na zonsondergang.

$$UHI_{max} = -1.605 + 1.062 \times \log(inwoners_{10km}) - 0.356 \times windsnelheid_{10m}$$

Waar:

- $UHI_{max}$  de zomer (Juni-Augustus) gemiddelde dagelijkse maximale UHI is [ $^{\circ}C$ ].
- $Inwoners_{10km}$  het totale inwonersaantal is dat binnen een 10 km radius woont van een gegeven rastercel [inwoners per 100  $m^2$ ].
- $Windsnelheid_{10m}$  de gemiddelde windsnelheid is 10 m boven het maaiveld. De minimumwaarde is 0 [ $m\ s^{-1}$ ].

### Processtap 3: berekening $UHI_{potentieel}$ op basis van de verharding

Om te bepalen of het maximale UHI-effect in een bepaalde rastercel daadwerkelijk wordt bereikt, wordt het percentage bodemverharding berekend voor alle rastercellen binnen een kilometer afstand van de betreffende rastercel. Het percentage bodemverharding wordt vervolgens gebruikt om het potentiële UHI-effect te bepalen dat in een bepaald gebied kan optreden. Hierbij wordt uitgegaan van een lineair verband tussen de maximale UHI en een UHI-effect van nul bij geen bodembedekking in een kilometer afstand.

Het percentage bodemverharding in een straal van één kilometer is bepaald op basis van de BGT kaart en vervolgens gecorrigeerd met behulp van de vegetatiekaart. Als eerste stap (proces 3a) wordt de BGT kaart geherclassificeerd als een "boolean" (binaire) verhardingskaart, die aangeeft of een gebied verhard is of niet (op basis van tabel 4.7).

Landgebruiksklassen die verhard zijn op de BGT-kaart worden aangenomen 100% verhard te zijn (op 10 x 10 meter). Als vervolgstap (3b) worden de bomen, struiken en graskaart opgeteld tot een vegetatiebedekkingskaart. De vegetatiebedekkingskaart wordt vervolgens gebruikt om het verhardingspercentage te corrigeren, door het percentage vegetatiebedekking af te trekken van de verhardingswaarde van 1 indien een gebied verhard is. Een berm krijgt bijvoorbeeld een afdichtingswaarde van 1. Als deze berm voor 30% begroeid is op basis van de vegetatiekaart, krijgt de rastercel uiteindelijk een afdichtingswaarde van 0,7 (1 – 0,3). Vervolgens wordt op basis hiervan de gemiddelde hoeveelheid afdichting in een straal van een kilometer rond elke rastercel berekend wat leidt tot de tussenkaart Fr Verharding (proces 3c). De potentiële UHI voor een bepaalde locatie wordt als volgt berekend (proces 3d), in lijn met (Lauwaet et al. (2018):

$$UHI_{potentieel} = UHI_{max} \times fr\_verharding_{1km}$$

Waar:

- $UHI_{potential}$  het potentiële UHI effect is van een rastercel [ $^{\circ}C$ ].
- $UHI_{max}$  het zomer (Juni-Augustus) gemiddelde dagelijkse maximale UHI is van een stad [ $^{\circ}C$ ].
- $fr\_verharding_{1km}$  de fractie verharding is binnen een radius van 1 km van de betreffende rastercel

### Processtap 4: $UHI_{groen}$ onder invloed van groen en water

Om het effect van water en groen te berekenen op de  $UHI_{potential}$  wordt als eerste stap (proces 4a) de fractie reductie kaart berekend aan de hand van de verschillende vegetatiefracties, en open water gebieden (gebaseerd op BGT) aan de hand van onderstaande lookup tabel (tabel 4.7). Eerst worden UHI-reductiefracties toegekend aan de bomen-,

struiken- en graskaart. Een kaart die de fractie niet-groene gebieden in een rastercel weergeeft, wordt vervolgens berekend als: 1 minus de vegetatiefractie (bomen + struiken + lage vegetatie fracties). Aan BGT-landsgebruiksklassen worden vervolgens reductiefracties toegekend volgens tabel 5.6 vermenigvuldigd met dit fractie niet begroeid.

Ter illustratie: in een 10 x 10 m rastercel met een potentiële UHI van 3°C met binnen een straal van 30 m: 20% bomen (0.5 reductie), 20% gras (0.2 reductie), 10% binnenwater (0.1 reductie) en 50% bebouwd oppervlakte (BGT = pand; 0 reductie), wordt de lokale UHI als volgt berekend:

$$3^{\circ}\text{C} * (1 - (0.2*0.5 + 0.2*0.2 + 0.1*0.3 + 0.5*0)) = 2.49^{\circ}\text{C}.$$

In de modelberekening wordt aangenomen dat het verkoelend effect van vegetatie niet verder rijkt dan 30 meter afstand, wat een conservatieve schatting is van de ruimtelijke effecten.

De UHI-waarde onder invloed van groen wordt daarna als volgt berekend (processtap 4b):

$$UHI_{groen} = UHI_{potential} * \left(1 - \sum fr_{reductie_{30m}}\right)$$

Waar:

- $UHI_{groen}$  het voorspelde UHI-effect is onder invloed van vegetatie en water [°C]
- $UHI_{potential}$  het plaatselijk potentiële UHI effect is van een rastercel [°C].
- $\sum fr_{reductie_{30m}}$  de fractie reductie is in UHI-effect beïnvloed door vegetatie en water in een radius van 30 meter rondom de betreffende rastercel [-]

#### Processtap 5: Verschil in $UHI_{max}$ onder invloed van groen en water

Het uiteindelijke verkoelende effect van groen en water wordt als volgt berekend voor elke rastercel in °C:

$$Afname\ van\ temperatuur = UHI_{potential} - UHI_{groen}$$

De gegeven waarde toont de maximale afname van de  $UHI_{max}$  voor het projectgebied. Dit geeft het maximale verschil weer tussen urbane en rurale temperatuur dat op een dag optreedt.

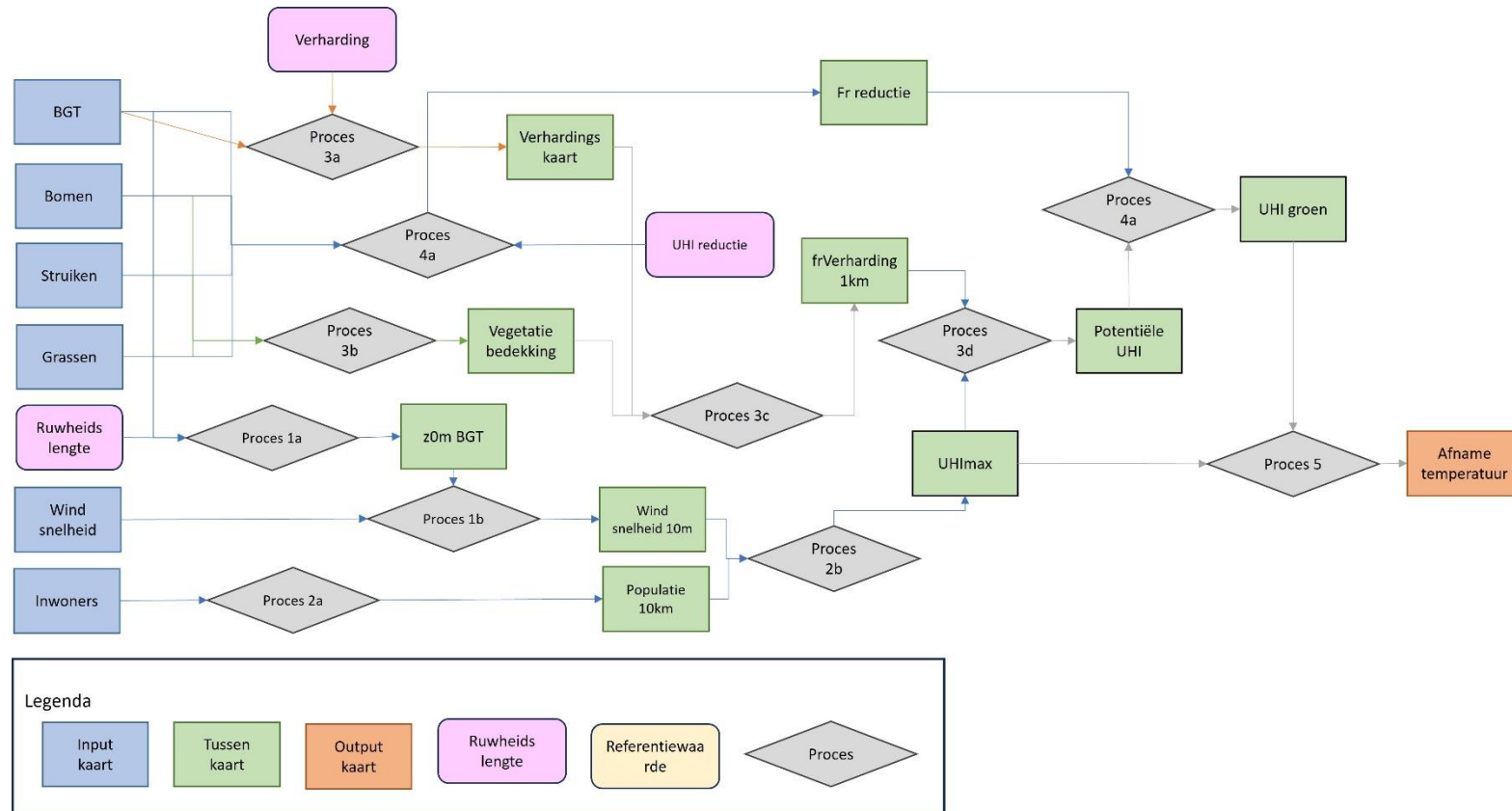
#### **Output**

De output van het model wordt weergegeven in een absoluut getal:

- De maximale afname van temperatuur in een gegeven projectgebied in °C

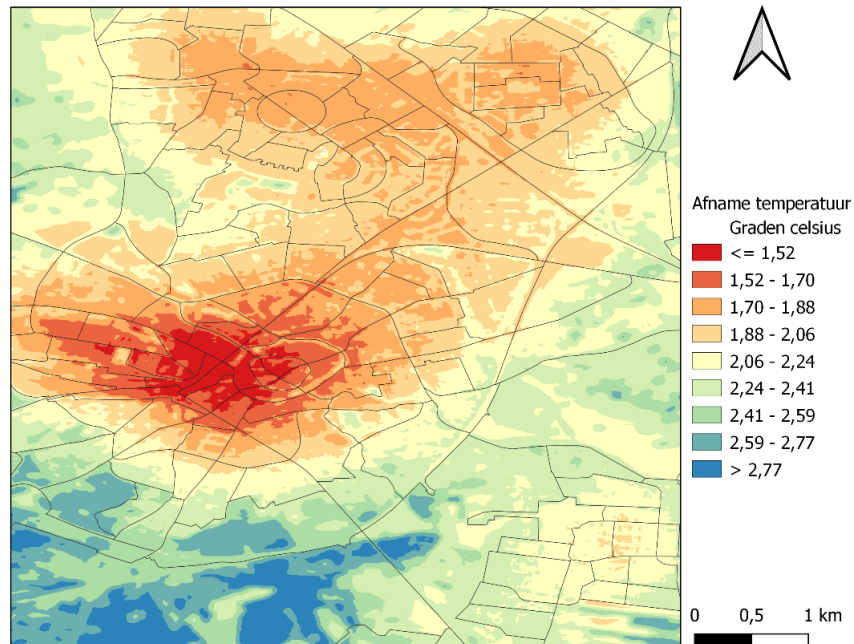
Voor een voorbeeld van de onderliggende output kaarten zie Figuur 4.6, en Bijlage VI.

## Model Flowchart Verkoeling



**Figuur 4.5.** Model flowchart van het model Verkoeling. Het model begint met de inputkaarten met het landgebruik, type groen en de eigenschappen van het groen en de stad. Hiermee wordt vervolgens aan de hand van verschillende gegevens zoals kentallen en tussenkaarten de afname van de temperatuur in een stedelijke omgeving berekend.

## Afname van temperatuur door groen



*Figuur 4.6. Voorbeeld van de mate waarin vegetatie de temperatuur verlaagd op basis van de huidige situatie. Blauwe kleurtinten geven een groot effect van verkoeling weer, rode tinten geven klein effect van verkoeling weer. Deze kaarten zijn bedoeld om een voorbeeld te geven van de ruimtelijke spreiding in de huidige situatie van een bepaalde indicator, die gebruikt worden om af te trekken van de ontwerp situatie. Deze kaarten kunnen niet goed geïnterpreteerd worden als losstaande output. Daarvoor is een verschil tussen huidige- en ontwerpsituatie nodig.*

## Opmerkingen bij model Verkoeling

- Het model is niet geschikt om vergroening door te rekenen van industriegebieden, aangezien de populatiedichtheid daar zeer laag of nul is en er geen nauwkeurige UHI voor berekend wordt door het Lauwaet et al. (2018) model.
- De relatie tussen windsnelheid, populatiedichtheid en de UHI-max in Lauwaet et al (2018) is gebaseerd op stedelijke schaal. Voor vertaling naar wijkniveau of een nog kleiner schaalniveau is nog aanvullend validerend onderzoek nodig.
- Voor het bepalen van risicogebieden voor het optreden van gezondheidsrisico's is naast de luchttemperatuur ook de binnentemperatuur van gebouwen zeer bepalend, aangezien kwetsbare bewoners tijdens hittegolven het merendeel van de tijd binnen doorbrengen. Hoewel voor luchttemperatuur de vegetatiebedekking en verdichting van de bodem het meest voorspellend zijn, zijn voor de binnentemperatuur ook de gebouwdichtheid en hoogte relevante parameters (Leichtle et al., 2023).
- De afstand tot waar vegetatie een verkoelend effect heeft staat nog ter discussie in wetenschappelijke literatuur (Fernández, 2019) en is afhankelijk van het type vegetatie (Gallay et al., 2023), met waargenomen waardes voor verkoeling tot maximaal 30-60 meter afstand voor grasvegetatie en 90 meter afstand voor bomen (op bodemtemperatuur), en tot 40 meter waargenomen temperatuurreductie (op de luchttemperatuur) voor bomen (Rafiee et al., 2016). Aangezien in het huidige model een conservatieve term wordt gebruikt voor deze afstand, verwachten we dat ons model eerder een onderschatting dan een overschatting geeft van de ruimtelijke invloed van groen en water op de  $UHI_{max}$ . Potentie van groen voor verkoeling hangt ook samen met de beschikbaarheid van water in de bodem. Groen kan namelijk bijdragen aan verkoeling door verdamping, maar dit is ook afhankelijk of er op deze locatie voldoende water beschikbaar is om te verdampen. De heetste plekken in de stad zijn volgens het model dus in potentie de plekken waar vegetatie het grootste verschil kan maken, maar aanvullend onderzoek naar deze locaties is nodig om beter vast te stellen wat de mogelijkheden zijn om groen hier goed in te passen. Dat is bijvoorbeeld afhankelijk van of er voldoende water beschikbaar is in de bodem. Hieruit kunnen ook aanvullende eisen volgen voor een goede ruimtelijke inrichting om een groene en koele omgeving te faciliteren. Het huidige model geeft hier geen inzichten in.

## Referenties model Verkoeling

- Botzen, W.J.W., M.L. Martinus, P. Bröde, M.A. Folkerts, P. Ignjacevic, F. Estrada, C.N. Harmsen, and H.A.M. Daanen. 2020. Economic valuation of climate change-induced mortality: age dependent cold and heat mortality in the Netherlands. *Climatic Change*. 162:545-562.
- de Nijs, T., P. Bosch, E. Brand, B. Heusinkveld, F. van der Hoeven, C. Jacobs, L. Klok, J. Kluck, A. Koekoek, S. Koopmans, K. van Nieuwaal, R. Ronda, and G. Steeneveld. 2019. Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte. In Development of a Standard Heat Stress Test. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
- De Ridder, K., D. Lauwaet, and B. Maiheu. 2015. UrbClim – A fast urban boundary layer climate model. *Urban Climate*. 12:21-48.
- De Ridder, K., and G. Schayes. 1997. The IAGL Land Surface Model. *Journal of Applied Meteorology* (1988-2005). 36:167-182.
- Dirksen, M., R.J. Ronda, N.E. Theeuwes, and G.A. Pagani. 2019. Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. *Urban Climate*. 30:100498.
- Fernández, I.C. 2019. A multiple-class distance-decaying approach for mapping temperature reduction ecosystem services provided by urban vegetation in Santiago de Chile. *Ecological Economics*. 161:193-201.
- Gago, E.J., J. Roldan, R. Pacheco-Torres, and J. Ordóñez. 2013. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 25:749-758.
- Gallay, I., B. Olah, V. Murtinová, and Z. Gallayová. 2023. Quantification of the Cooling Effect and Cooling Distance of Urban Green Spaces Based on Their Vegetation Structure and Size as a Basis for Management Tools for Mitigating Urban Climate. *Sustainability*. 15:3705.
- Geertsema, G.T. and van den Brink H.W., 2014. Windkaart van Nederland op 100 meter hoogte [Technisch rapport]TR-351, *KNMI*, De Bilt.
- Koopmans, S., B.G. Heusinkveld, and G.J. Steeneveld. 2020. A standardized Physical Equivalent Temperature urban heat map at 1-m spatial resolution to facilitate climate stress tests in the Netherlands. *Building and Environment*. 181:106984.
- Lauwaet, D., T. De Nijs, I. Liekens, H. Hooyberghs, E. Verachtert, W. Lefebvre, K. De Ridder, R. Remme, and S. Broekx. 2018. A new method for fine-scale assessments of the average urban Heat island over large areas and the effectiveness of nature-based solutions. *One Ecosystem*. 3.
- Lauwaet, D., H. Hooyberghs, B. Maiheu, W. Lefebvre, G. Driesen, S. Van Looy, and K. De Ridder. 2015. Detailed Urban Heat Island Projections for Cities Worldwide: Dynamical Downscaling CMIP5 Global Climate Models. *Climate*. 3:391-415.



- Leichtle, T., M. Kühnl, A. Droin, C. Beck, M. Hiete, and H. Taubenböck. 2023. Quantifying urban heat exposure at fine scale - modeling outdoor and indoor temperatures using citizen science and VHR remote sensing. *Urban Climate*. 49:101522.
- Masselot, P., M. Mistry, J. Vanoli, R. Schneider, T. Iungman, D. Garcia-Leon, J.C. Ciscar, L. Feyen, H. Orru, A. Urban, S. Breitner, V. Huber, A. Schneider, E. Samoli, M. Stafoggia, F. de'Donato, S. Rao, B. Armstrong, M. Nieuwenhuijsen, A.M. Vicedo-Cabrera, and A. Gasparrini. 2023. Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe. *Lancet Planet Health*. 7:e271-e281.
- Rafiee, A., E. Dias, and E. Koomen. 2016. Local impact of tree volume on nocturnal urban heat island: A case study in Amsterdam. *Urban Forestry & Urban Greening*. 16:50-61.
- Ziter, C.D., E.J. Pedersen, C.J. Kucharik, and M.G. Turner. 2019. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 116:7575-7580.
- Wieringa, J., 1986. Roughness-dependent geographical information of surface wind speed averages. *QJRM*, 112, pp. 876-889.

## Bijlagen

## Bijlage I – Ontwikkeling Groenkaart ANK (bomen, struiken, laagblijvende vegetatie)

De GBP rekent aan de hand van de huidige groensituatie. De huidige groensituatie bepalen we door de groenkaart. De groenkaart is een combinatie van AHN, NDVI en vegetatiekaarten.

AHN3 is beschikbaar via: <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/actueel-hoogtebestand-nederland-ahn3->

Luchtfoto's zijn beschikbaar via: <https://www.beeldmateriaal.nl/>

### Hoogte van alle objecten

AHN3 (Actueel Hoogtebestand Nederland) is de derde versie van het digitale hoogtemodel van Nederland ingewonnen tussen 2014 en 2019. Het model bestaat uit 1.374 tif-bestanden (rasterbestanden met een resolutie van 0,5 m) met hoogte-informatie voor Nederland (ten opzichte van NAP). Elke tif-file heeft een oppervlakte van 5.000 x 6.250 m. Er worden twee soorten hoogte-informatie gebruikt, elk in een apart tif-bestand: hoogte op maaiveld en de hoogte op de bovenkant van alle objecten, relatief ten opzichte van NAP. In totaal worden 2.748 tif-bestanden gedownload, elk met een resolutie van 0,5 m.

1. De NoData-waarden in de rasters op maaiveldniveau (bijv. gaten in gebieden waar gebouwen of andere objecten zich bevinden) worden opgevuld met waarden op basis van de omliggende waarden met behulp van de ArcGis-tool 'Focal Statistics' (rechthoekbuurt met 50 x 50 rastercellen -eenheden). De statistiek wordt alleen toegepast in de NoData-rastercellen.
2. De hoogte van alle objecten wordt vervolgens berekend door de grondrasters af te trekken van de objectrasters.
3. De BAG-vectorlaag wordt geconverteerd naar een raster met een resolutie van 0,5 m. rastercellen met gebouwen in de BAG-laag (gebouwen) en binnen een buffer van 2 m rond elk gebouw krijgen vervolgens de waarde nul.
4. In dit stadium zijn er 1.374 rasterbestanden met een resolutie van 0,5 m die de hoogte van alle objecten weergeven, maar exclusief gebouwen. Om onderscheid te maken tussen vegetatie en andere objecten wordt de luchtfoto van Nederland uit 2016 in 0,25 m resolutie gebruikt (zie stappen 4-6).
5. De luchtfoto van Nederland in een resolutie van 0,25 m wordt omgezet naar een resolutie van 0,5 m en wordt opgesplitst in dezelfde 1.374 gebieden.
6. De Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) wordt berekend uit de infrarood- en rode banden van de luchtfoto. Dit resulteert in

de omzetting van de 3-bands foto in een 1-bands rasterlaag. De NDVI wordt berekend met de volgende formule:  $(\text{Band 1} - \text{Band 2}) / (\text{Band 1} + \text{Band 2})$

7. Alle resulterende waarden  $\geq 0$  worden verondersteld vegetatie te zijn.
8. Alle rastercellen die vegetatie bevatten, worden ingesteld op de waarde = 1. De andere rastercellen worden ingesteld op NoData-waarden.
9. De rasterlaag die de hoogte bevat van alle objecten behalve gebouwen die in stap 4 zijn gemaakt, wordt vervolgens vermenigvuldigd met de rasterlaag die in stap 6 is gemaakt.

In dit stadium zijn er 1.374 rasterlagen met een resolutie van 0,5 meter die de hoogte van alle vegetatie in Nederland laten zien. Hoogspanningslijnen zijn echter de enige niet-vegetatie-objecten die niet volledig uit de rasters kunnen worden verwijderd. Daarom krijgen alle waarden die binnen 25 m van hoogspanningslijnen liggen op de hoogspanningskaart uit 2016 de waarde nul. De rasterlagen met een resolutie van 0,5 m worden vervolgens omgezet naar een laag met een resolutie van 10 m en er worden drie afzonderlijke vegetatietypes onderscheiden: bomen, struiken en lage vegetatie zoals gras (zie onderstaande stappen).

#### Uitsplitsing in drie vegetatietypes (percentage per 10 x 10 m)

10. Het percentage bomen, struiken en lage begroeiing per 10 m rastercel wordt berekend. Dit wordt voor elk vegetatietype afzonderlijk gedaan. Eerst wordt alle vegetatie hoger dan 2,5 m geclassificeerd als bomen, door een waarde van 1 toe te kennen aan alle rastercellen met een waarde hoger dan 2,5 in de bestanden met een resolutie van 0,5 m. De waarde van de resterende rastercellen wordt op nul gezet. De rasterbestanden met een resolutie van 0,5 m worden vervolgens samengevoegd tot een resolutie van 10 x 10 m door de som van de 400 originele rastercelwaarden te delen door vier. Deze procedure resulteert in een rasterbestand met een resolutie van 10 x 10 m met daarin het percentage bomen per rastercel.
11. Dezelfde procedure in stap 8 wordt herhaald om lagen te maken die de verdeling van struiken en lage begroeiing weergeven. Hierbij wordt vegetatie met een hoogte tussen 1 en 2,5 m aangemerkt als struik en vegetatie met een hoogte tussen 0 en 1 m als lage vegetatie.
12. In het laagvegetatieraster zijn landbouwgebieden in de AAN-dataset (Agrarisch Areaal Nederland afkomstig uit BRP gewaspercelen) ingesteld op NoData. Landbouwpercelen maken dus geen onderdeel uit van de groenkaart en dragen dus niet bij aan de berekening van

ecosysteemdiensten wanneer deze berekend worden aan de hand van de groenkaart.

In dit stadium zijn er drie rasterlagen, met een resolutie van 10 x 10 m, die het percentage vegetatie per rastercel weergeven. Bij elkaar opgeteld variëren de waarden van 0 – 100% vegetatie. Tenslotte wordt een rasterlaag met een resolutie van 10 x 10 m berekend die de hoogte van de bomen weergeeft (in m), zie volgende stap.

### Hoogte van de bomen

13. De lagen met een resolutie van 0,5 m uit stap 7 worden omgezet tot een resolutie van 10 x 10 m door het 90e percentiel te berekenen van de 400 originele rastercelwaarden die hoger zijn dan 2,5 m (bomen).

De 1.374 resulterende rasterlagen met een resolutie van 10 x 10 m worden gecombineerd tot één rasterlaag voor Nederland.

### Beschikbaarheid data en kaarten

De resulterende kaarten zijn beschikbaar via de website van de Atlas van Natuurlijk Kapitaal ([www.atlasnaturalcapital.nl/kaarten](http://www.atlasnaturalcapital.nl/kaarten)).

Onder de kaarttitels:

- Groenkaart van Nederland (RIVM, 2020)
- Bomen in Nederland (RIVM, 2016)
- Boomhoogte in Nederland (RIVM, 2017)
- Struiken in Nederland

## Bijlage II – Ontwikkeling bewonerskaart

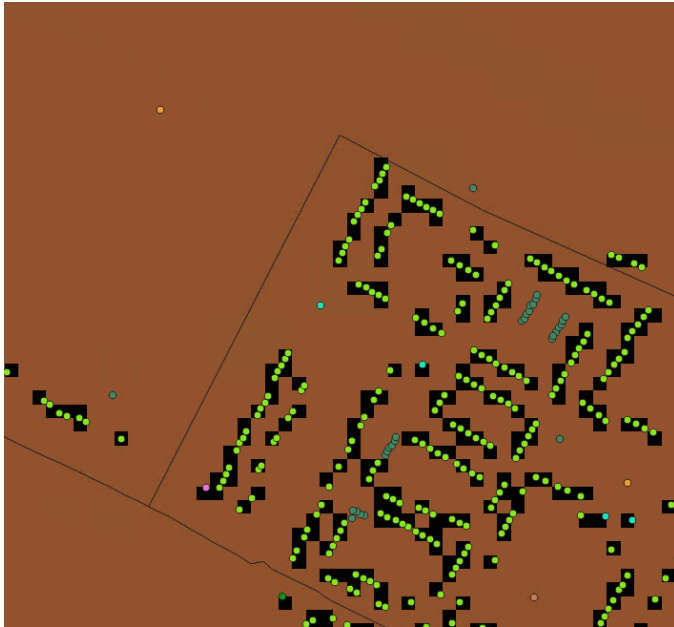
Inwoners en bevolkingsdichtheid zijn een belangrijk onderdeel van veel ecosysteemdienstmodellen omdat een ecosysteemdienst aan de maatschappij pas bestaat als er mensen zijn die de voordelen hiervan genieten. Om ecosysteemdiensten in een stedelijke omgeving nauwkeurig te modelleren, is een bewonerskaart met hoge resolutie nodig, omdat de bevolkingsdichtheid over korte afstanden sterk kan variëren. Op basis van de door het CBS ontwikkelde wijkkaart (CBS Wijk- en Buurtkaart) en de BAG dataset (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) wordt een inwonerskaart met een resolutie van 10 x 10m ontwikkeld voor heel Nederland, die het aantal inwoners per rastercel van 10 x 10 m weergeeft. Met deze aanpak worden ecosysteemdiensten dus primair gekoppeld aan waar mensen wonen en niet aan locaties waar mensen verblijven om te werken of recreëren.

De inwonerkaart geeft in een 10 x 10 m raster het gemiddeld aantal inwoners weer. De kaart is gecreëerd door de Basis Administratie Gebouwen (BAG (pdok.nl)) te combineren met de CBS wijken en buurten kaart: CBS Wijken en Buurten 2022 versie 1 (pdok.nl). Onderstaande zes stappen beschrijven hoe de BAG en de CBS wijken en buurten kaart omgezet worden tot een inwonerkaart.

1. Als eerste stap worden alle buurten geselecteerd uit de CBS wijken en buurten kaartlaag waar het aantal inwoners hoger is dan 0.
2. Als tweede stap worden op basis van de BAG polygonen alle gebouwen en ligplaatsen geselecteerd met een woonfunctie, zodat enkel gebouwen en woonboten met woonbestemming geselecteerd worden. Dit resulteert in een kaart met enkel verblijfsobjecten met woonbestemming als polygonen.
3. Als derde stap worden de adressen (verblijfsobjecten) als puntlocaties gecombineerd met bovenstaande kaart (bewoonde gebouwpolygonen), zodat enkel de adressen overblijven (als untlocaties) die overlappen met gebouwen waar mensen wonen.
4. Als vierde stap worden per buurtpolygoon de hoeveelheid inwoners gedeeld door het aantal verblijfsobjecten in het buurtpolygoon om tot een gemiddeld inwonersaantal per verblijfsobject te komen. Dit resulteert in een kaartlaag met polygonen (buurten) met het gemiddeld aantal inwoners per verblijfsobject.
5. Als vijfde stap worden per verblijfsobject met een join in elke buurt het gemiddelde aantal bewoners per verblijfsobject toegekend aan elk verblijfsobject in die betreffende buurt.
6. Als zesde stap wordt bovenstaande kaart gerasteriseerd naar een 10 x 10 m rasterkaart waarbij voor elke rastercel het aantal inwoners per verblijfsobject in een buurt vermenigvuldigd wordt met het aantal verblijfsobjecten in de 10 x 10 m rastercel. Op deze manier

ontstaat een rasterkaart met het aantal inwoners per rastercel van 10 x10 m.

7. Onderstaande figuur II-1 geeft een voorbeeld van de output van ruimtelijke output van het script:



*Figuur II-1. Elk punt is een verblijfsobject. Als het een lichtgroen punt betreft, heeft het verblijfsobject een woonfunctie en wordt het omgezet tot een zwarte rastercel (10 x 10 m) die de waarde krijgt toebedeeld van het gemiddelde aantal inwoners per buurt per verblijfsobject*

## Bijlage III - bepaling NDVI-waarden

De modellen in de Groene Baten Planner zijn gebaseerd op wetenschappelijke studies naar de relatie tussen groen en maatschappelijke baten. Bij het maken van de modellen wordt getracht zo goed mogelijk aan te sluiten bij de methoden en gegevens die zijn gebruikt in de betreffende studie(s). Het model 'Reductie verwachte overlijdens' is gebaseerd op studies (Rojas-Rueda, 2019) waarin 'groen' wordt geoperationaliseerd als de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Daarom wordt voor dit model in de GBP ook de NDVI gebruikt als groenmaat en voor het berekenen van de bijdragen van aanwezig groen aan de modeluitkomst. De NDVI kan worden afgeleid van een satellietbeeld of luchtfoto. NDVI is een index en kan een waarde hebben tussen de -1.0 en 1.0. Water, wolken en sneeuw geven negatieve waarden, waarden rond nul betekent dat er op die locatie geen vegetatiebedekking is (bv. door asfalt, stenen, onbegroeide grond, infrastructuur en gebouwen). Positieve waarden zijn afkomstig van groen zoals bomen, struiken en gras of algengroei in het oppervlaktewater. NDVI geeft een inschatting van de kwantiteit van groen, een hogere biomassa correleert met een hogere NDVI-waarde, evenals van de kwaliteit, een gezonde vegetatiebedekking heeft een hogere NDVI-waarde dan een ongezonde (b.v. dun bladerdak van bomen).

In de GBP-modellen wordt NDVI gebruikt om te voorspellen wat de effecten zijn van bepaalde groenmaatregelen. Daarvoor is de NDVI van de huidige situatie nodig en ook een schatting van de verandering in NDVI als gevolg van de ruimtelijke maatregelen. Daar gaan twee stappen aan vooraf: 1) het maken van een land dekkend NDVI-beeld en 2) het bepalen van de NDVI-waarden van verschillende groene en infrastructurele objecten in de stad.

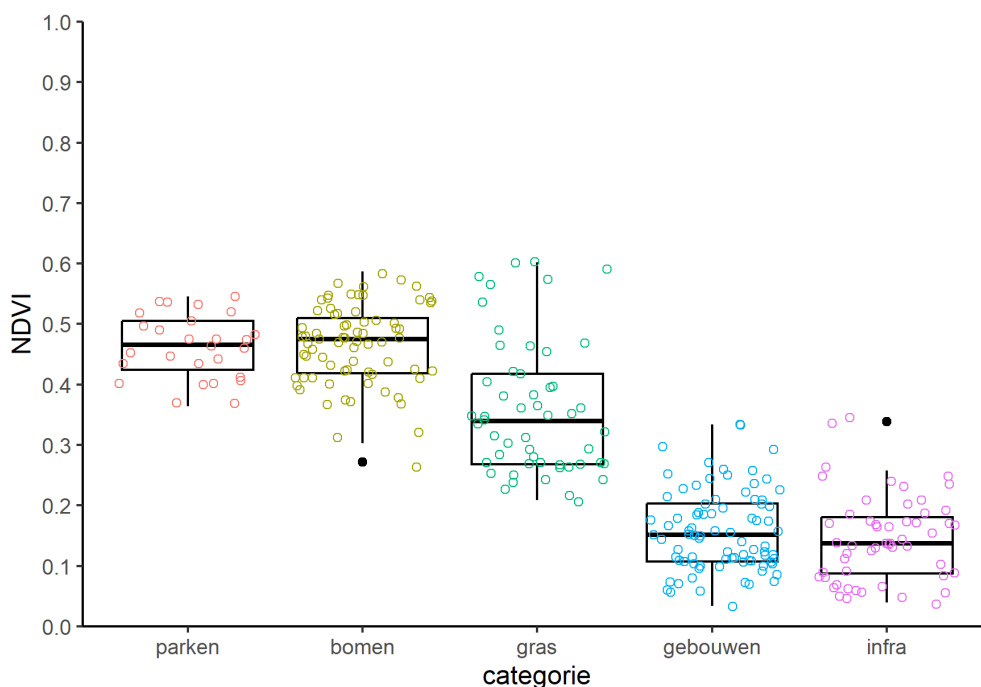
Om de huidige NDVI te bepalen maken we gebruik van satellietbeelden afkomstig van de Sentinel-2 MSI satellieten. Deze beelden hebben een resolutie van 10 x 10 m, wat overeenkomt met de resolutie toegepast in de GBP-modellen. De Sentinel-2 satellieten hebben een fly-over time van 5 tot 10 dagen. Daardoor zijn er regelmatig beelden beschikbaar van gebieden. Door het samenvoegen van beelden over het groeiseizoen van 1 mei tot 31 augustus ontstaat een samengesteld en gemiddeld beeld van de NDVI-waarden over het groeiseizoen. Hiervoor zijn Sentinel-2 beelden van Copernicus Open Access Hub geselecteerd met <5% wolkenbedekking (cloud cover) en product level 2A (atmospherically corrected surface reflectances in cartographic geometry). Na het verzamelen van de beelden zijn deze omgezet in NDVI met behulp van een algoritme en samengevoegd tot één land dekkende kaart (met scriptroutines onderdeel van het Natuurlijk Kapitaal package (download\_sentinel.py, calculate\_ndvi.py, merge\_ndvi\_tiles.py)).

Voor het berekenen van de bijdragen van nieuwe groenmaatregelen aan de hand van NDVI-waarden hebben we van het 2022 Sentinel-2 NDVI beeld de waarden van verschillende type groen afgeleid. Hiervoor hebben we verschillende type groen en objecten in bebouwd gebied binnen de gemeente Amersfoort geselecteerd. Het gaat hierbij om parken, bomen, gras, infrastructuur en gebouwen (zie afbeelding bijlage 3.1). Hiervoor

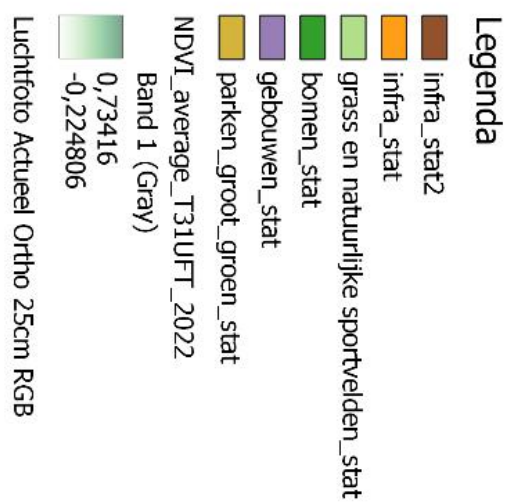


zijn handmatig polygonen ingetekend op een luchtfotokaart (zie afbeelding bijlage 3.2). Per polygoon is de gemiddelde NDVI berekend. Deze handmatige stap was noodzakelijk omdat in veel gevallen ruimtelijke administraties van bijvoorbeeld de gemeenten (BGT) niet goed de daadwerkelijke en actuele oppervalk van groenvoorzieningen volgt. Voor parken is de NDVI-waarde gebaseerd op de gehele omtrek van het park, dit is dus inclusief bomen, struiken en gras maar ook andere objecten zoals kleine gebouwen en wandelpaden. De NDVI-waarden van parken en bomen verschillen niet significant, dit heeft er mee te maken dat het oppervalk van parken voor een groot deel uit bomen bestaat. Bomen hebben de hoogste NDVI-waarden met een mediaan van 0.47. Gras heeft een lagere NDVI van 0.36. Niet groene objecten zoals gebouwen en infrastructuur hebben een NDVI mediaan van 0.16 en 0.14 respectievelijk. Voor struiken was het lastig representatieve polygonen in te tekenen van het satellietbeeld. Daarom hebben we voor struiken aangenomen dat de NDVI overeenkomt met de NDVI van bomen.

De NDVI-waarden per categorie zijn door vertaald naar de feature tabel (zie bijlage V) die wordt gebruikt voor de NK-modellen en GBP om per type ingreep de bijdrage aan bomen, gras en struiken te bepalen.



*Figuur III-1: NDVI-waarden van verschillende objectcategorieën afgeleid van het samengesteld NDVI sentinel-2 satellietbeeld van het groeiseizoen 2022.*



*Figuur III-2: polygoenen voor het afleiden van de NDVI per categorie in de gemeente Amersfoort*

## Bijlage IV – Sterftekanskaart

Op basis van de CBS-tabel overledenen per gemeente per week is als eerste stap de som berekend voor de sterfte in jaar 2022 per gemeente. Hierna is deze som voor de sterfte per gemeente per jaar gedeeld door het aantal inwoners van die betreffende gemeente in 2022 om tot een sterftekans per gemeente per jaar te komen. Als laatste stap is de polygonkaart sterftekans per gemeente gerasteriseerd naar een 10 x 10 m raster met het GDAL command: `gdal_rasterize` met de sterftekans als input voor de 10 x 10 m rasters. De sterftekans per gemeente per jaar lag in 2022 gemiddeld over de 345 gemeenten op 0,010 met een standaarddeviatie van 0,002, binnen een range van het minimum 0,0045 (gemeente Urk) tot het maximum 0,0230 (gemeente Laren).

Gebruikte bronnen:

[Wijk- en buurtkaart 2022 \(cbs.nl\)](https://www.cbs.nl/nl-nl/wijk-en-buurtkaart-2022)

## Bijlage V - standaard featuretabel

Vergroening van stedelijk gebied gebeurt door verschillende groene maatregelen toe te passen in bewoond gebied. Denk bijvoorbeeld aan het aanleggen van een park met bomen, struiken en een vijver of het plaatsen van bomen in straten. Voor verschillende vergroeningsmaatregelen worden aan de hand van percentages de hoeveelheid bomen, struiken en gras toegekend.

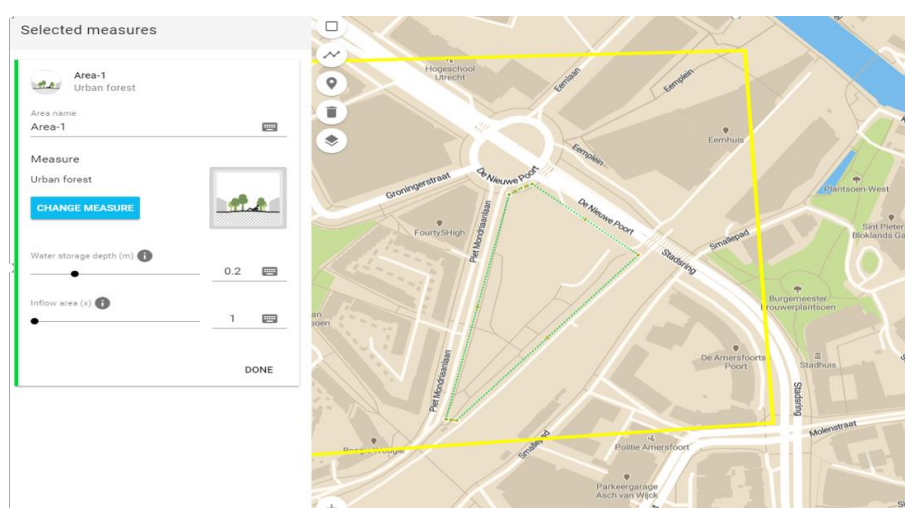
De GBP bevat standaard de volgende groene maatregelen met de volgende groenpercentages:

*Tabel V-1: Overzicht van groen en water percentages die worden toegekend aan maatregelen*

Groenmaatregel	% bomen	% struiken	% gras	% water
Straatbomen en bomenlanen	<b>25</b>	0	75	0
Urban wetlands	0	0	50	50
Wadi's met drainage	0	0	100	0
Groene gevels	5	0	5	
Groene daken	0	1	90	
Berging door de realisatie van extra wateroppervlak	0	0	0	100
Stadsbossen	50	20	30	0
Waterdoorlatende verharding	0	0	20	0
Gras aanleggen	0	20	80	0

## Bijlage VI – GBP-model uitvoer validatie test

Om inzicht te krijgen in het functioneren van de modellen binnen de GBP is een test scenario uitgevoerd, waarbij een braakliggend terrein omgevormd is naar een stadsbos (groen gestippeld polygoon in de vorm van een driehoek met een oppervlakte van grofweg 0,5 x 230 x 120 m). Als validatie/ter referentie is de uitvoer van de modellen bekeken en bepaald of deze overeenkomen met de ruimtelijke patronen die we zouden verwachten.



*Figuur VI-1: projectgebied waar de validatieanalyse is uitgevoerd (groene gestippelde driehoek)*

De volgende GBP uitvoer zijn het resultaat van de groeningreep:

Fijnstof retentie ( $PM_{2.5}$ ) = 0.69 kg/jaar

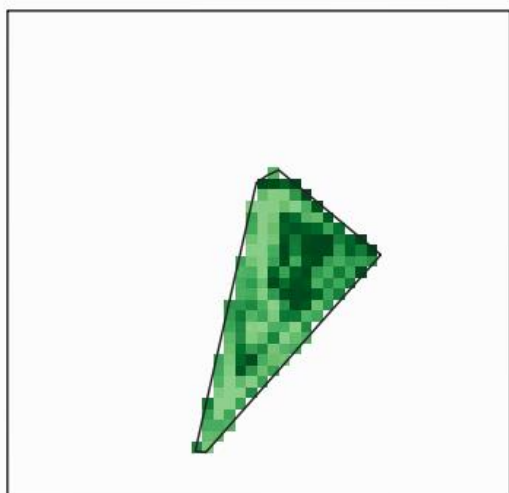
Fijnstof retentie ( $PM_{10}$ ) = 13.0 kg/jaar

Verkoeling = 0.41 graden °C

Reductie overlijdens = 0.26 personen/100 duizend inwoners/jaar

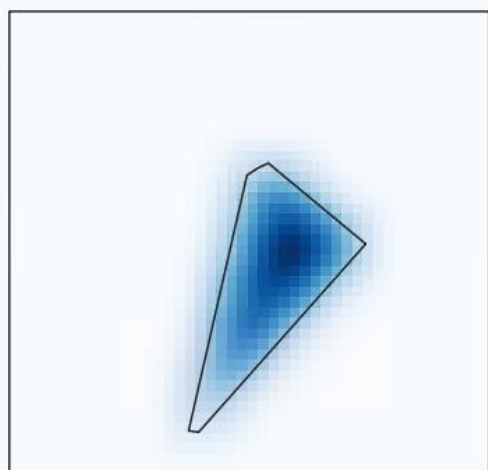
Onderstaande ruimtelijke patroon liggen achter deze bovenstaande resultaten:

De ruimtelijke patronen voor fijnstof retentie volgen hetzelfde patroon afhankelijk van de achterliggende concentratiekaart voor  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  respectievelijk. Duidelijk te zien is dat er enkel afvangst plaatsvindt binnen de gedane groeningreep (Fig. VI-2).



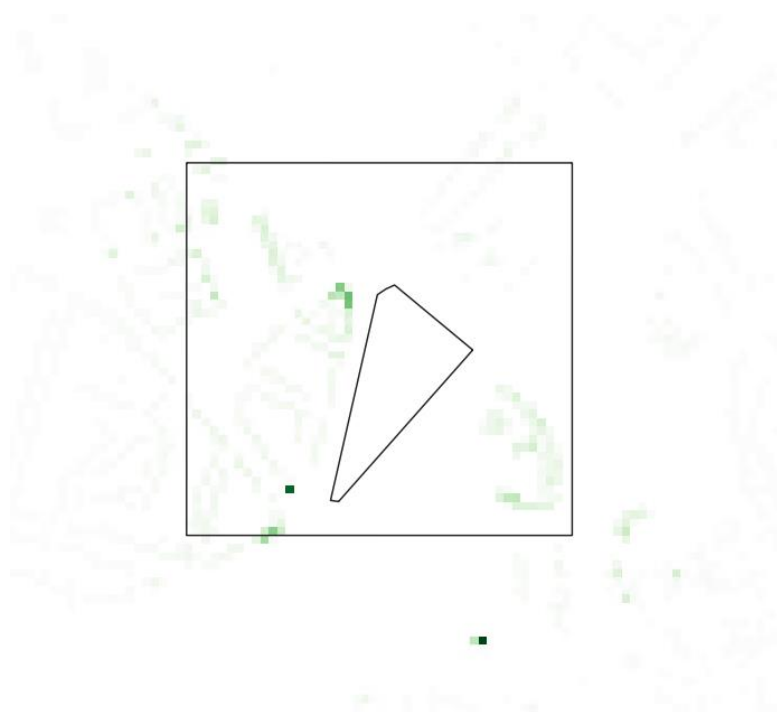
*Figuur VI-2: Validatie test fijnstofafvangst. Hoe donkerder de kleur groen op de kaart is, hoe hoger de afvangst van fijnstof is.*

De verkoeling is maximaal in het centrum van de groeningreep. Voor verkoeling is een uitstralingseffect zichtbaar tot 30 meter buiten de groeningreep (Fig. VI-3).



*Figuur VI-3: Validatie test verkoeling. Hoe donkerder de kleur blauw is, hoe hoger de verkoeling door groen en water is.*

De reductie in overlijdens vinden enkel plaats in rastercellen waar bebouwing aanwezig is. De grootste effecten zijn zichtbaar in rastercellen dicht bij de groeningreep en waar de populatiedichtheid het grootste is.



*Figuur VI-4: Validatie test reductie in overlijdens. Hoe donkerder de kleur groen op de kaart is, hoe hoger de reductie in overlijdens.*