

De aanpak van hittestress met behulp van stedelijk groen in de binnenstad van Groningen

Auteur: Tim Zomerdijk
Studentnummer: 2587823
Begeleidster: Britta Restemeyer
Datum: 12-06-2016
Opleiding: BSc Technische Planologie



**rijksuniversiteit
groningen**

faculteit ruimtelijke
wetenschappen

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Hoofdstuk 1. Introductie.....	4
1.1 Hittestress.....	4
1.2 Wetenschappelijke en maatschappelijke relevantie.....	5
1.3 Opbouw thesis.....	6
Hoofdstuk 2. Het hitte-eiland effect.....	7
2.1 Oorzaken en gevolgen.....	7
2.2 Kwetsbaarheid.....	7
2.3 Maatregelen.....	8
2.3.1 Boomaanplanting.....	9
2.3.2 Groene daken.....	10
2.3.3 Groene gevels.....	11
2.4 Conceptueel model.....	12
Hoofdstuk 3. Methodologie.....	13
3.1 Verwachtingen.....	13
3.2 Nadere criteria bepaling.....	13
3.3 GIS analyse.....	14
3.3.1 Kwetsbaarheidsanalyse.....	14
3.3.2 Groene maatregelen en urgentie.....	16
Hoofdstuk 4. Resultaten.....	18
4.1 Hittestress in de binnenstad van Groningen.....	18
4.2 Potentie van groene maatregelen.....	20
4.2.1 Boomaanplanting.....	20
4.2.2 Groene daken.....	22
4.2.3 Groene gevels.....	22
4.3 Synthese: potentie van groene maatregelen in de meest urgente gebieden.....	25
4.3.1 Boomaanplanting.....	25
4.3.2 Groene daken.....	25
4.3.3 Groene gevels.....	25
Hoofdstuk 5. Conclusie.....	29
Literatuurlijst.....	32
Bijlagen.....	35
Bijlage 1 Basiskaart binnenstad Groningen	35
Bijlage 2 Originele hittekaart van de binnenstad van Groningen.....	36
Bijlage 3 Hittekaart van de binnenstad van Groningen.....	37
Bijlage 4 Originele fietskaart van de binnenstad van Groningen.....	38
Bijlage 5 Fietskaart van de binnenstad van Groningen.....	39
Bijlage 6 Voetgangersstromen van de binnenstad van Groningen.....	40
Bijlage 7 Voetgangerskaart van de binnenstad van Groningen.....	41
Bijlage 8 Genummerde kwetsbaarheidskaart.....	42
Bijlage 9 Criterialijst groene maatregelen.....	42

Bijlage 10 Invulling van de criterialijst.....	44
Bijlage 11 Ingevulde criterialijst naar eindcijfers.....	46

Samenvatting

Vooral (binnen)steden hebben een grotere kans op hittestress dan rurale gebieden. Wanneer hiertegen wordt opgetreden is er sprake van het 'climate proof' maken van steden. Dit bachelorproject zal ingaan op de aanpak van hittestress in de binnenstad van Groningen. Met behulp van groene maatregelen zoals boomaanplanting, groene daken en groene gevels kunnen grote stappen worden gezet. Het onderzoek naar klimaatadaptatie op het gebied van hittestress mist grotendeels de koppeling naar implementatie in de praktijk. Wat is nodig voor implementatie? Waar dienen de eerste groene maatregelen te starten? Deze thesis zal een model geven die houvast geeft voor ontwerp en design tegen hittestress in de binnenstad van Groningen, maar kan ook worden toegepast voor andere hitte-gevoelige plaatsen. De hoofdvraag voor dit onderzoek is wat de fysieke potentie van vergroening in de binnenstad van Groningen is als maatregel tegen hittestress. De fysieke potentie zal naar voren komen uit een GIS-analyse met behulp van opgestelde criteriapunten waar de gekozen groene maatregelen aan moeten voldoen. De noodzaak voor vergroening tegen hittestress is het grootst in het centrum van de binnenstad van Groningen. De fysieke potentie van groene daken en groene gevels laat zien dat hiervoor mogelijkheden liggen. De hoogste potentie voor boomaanplanting ligt ten oosten van de binnenstad. Voordat kan worden overgegaan naar fysieke toepassing van groen is het van belang om verder onderzoek te verrichten binnen de potentiële gebieden voor vergroening. Hierbij dient een focus plaats te vinden op de specifieke eigenschappen van bebouwing, kosten, onderhoud en wensen van stakeholders.

Hoofdstuk 1. Introductie

1.1 Hittestress

Klimaatverandering is een hot topic in stedelijke ontwikkeling. Niet alleen is er veel belangstelling voor, het heeft ook een grote noodzaak. Door de hoge populaties en economische waardes zijn Nederlandse steden kwetsbaar voor de negatieve gevolgen van klimaatverandering (Döpp et al., 2009). Naast het voorkomen van heviger neerslag, zal ook de temperatuur stijgen.

Waar de urgentie voor de aanpak van overtollig water duidelijk zichtbaar is door bijvoorbeeld volgelopen straten, is de urgentie voor temperatuurstijging minder. Klok & Kluck (2015) concluderen dat urban professionals uit Nederland argumenten en aangrijpende voorbeelden nodig hebben om anderen te overtuigen van de urgentie van stedelijke hitte. Vooral op lokaal niveau hebben gemeentes in Nederland het lastig om de urgentie en goede argumenten te vinden om in stedelijke milieus in te zetten op klimaatadaptatie tegen hogere temperaturen (Klok & Kluck, 2015). Een verklaring hiervoor kan zijn het milde zeeklimaat, de kleine omvang van Nederlandse steden en de focus op water in plaats van temperatuur (Brink et al., 2013). Het idee van hitte als probleem kan wel zorgen voor bewustwording, maar heeft nog geen actie tot gevolg (Van Ammers & Kuijpers, 2009).

Een stijging van de temperatuur kan leiden tot hittestress. Er blijkt dat er significant meer mensen sterven, vooral ouderen, tijdens hittestress dagen dan tijdens niet-hittestress dagen (Smoyer et al., 2000). Tijdens hittestress gevoelige dagen zal er een lagere thermische behaaglijkheid zijn. De thermische behaaglijkheid is het comfort, of het gebrek daaraan, dat een mens ondervindt bij een bepaald klimaat (Ros & Van der Wouw, 2012). Dit klimaat wordt bepaald door onder meer regenval, zonnestraling en windsnelheid. De bevolking kan moeilijk wennen aan een klimaat dat binnen de stad meerdere graden Celsius warmer is dan daarbuiten. Door het hitte-eiland effect komen er tegenwoordig temperatuurverschillen voor van 7 graden Celsius binnen de Nederlandse steden Rotterdam en Arnhem (Slabbers et al., 2012). Ook zal een versterkte concentratie van fijnstof optreden door een temperatuurstijging (Slabbers et al., 2012). Döpp et al. (2009) concluderen dat de gemiddelde temperatuur in Nederland in de winter zal stijgen tussen de 0,9 en 2,3 graden Celsius, in de zomer tussen de 0,9 en 2,8 graden Celsius. Dit is een stijging in 2050 met 1990 als referentiejaar. In 2050 zullen Nederlandse steden de vergelijking vertonen met steden in het zuiden van Frankrijk in de huidige situatie op het gebied van temperatuur.

Het creëren van een verkoelende wijk helpt tegen het hitte-eiland effect en de daaropvolgende hittestress (Döpp & Albers, 2008). Dit kan door het aanleggen van groen en de inrichting van schaduwplekken. Een verkoelend effect ontstaat door verdamping van meer groen. Zo zijn goed beplante gebieden in Singapore koeler dan het Central Business District (Wong & Yu, 2005).

Doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de fysieke potentie van stedelijk groen in de binnenstad van Groningen als maatregel tegen hittestress, dus op welke specifieke plekken kan stedelijk groen worden toegepast met als doel de terugdringing van hittestress. De volgende hoofdvraag komt hier uit voort:

Wat is de fysieke potentie van vergroening in de binnenstad van Groningen als maatregel tegen hittestress?

Met behulp van de volgende deelvragen zal het antwoord op de hoofdvraag worden gezocht:

Welke maatregelen zijn geschikt voor vergroening en om hittestress tegen te gaan?

Hoe kan de fysieke potentie van vergroening beoordeeld worden?

Wat zijn potentiële gebieden voor vergroening tegen hittestress in de binnenstad van Groningen aan de hand van een ruimtelijke analyse?

1.2 Wetenschappelijke en maatschappelijke relevantie

Om het hitte-eiland effect en de daarop volgende hittestress aan te pakken komt de vraag op welke functies stedelijk groen kan vervullen in de binnenstad van Groningen ten aanzien van hittestress, gericht op controleerbare variabelen zoals ontwerp en design. Dit omdat hier nog niet genoeg onderzoek naar is gedaan (Memon et al., 2008). Brink et al. (2013) hebben geconcludeerd dat hittestress moeilijk de koppeling maakt naar de ruimtelijke ordening. Er is niet een duidelijke manier om de hittestress aan te pakken, vergroening is een voorbeeld van een adaptieve maatregel. Dit is echter nog erg breed, dienen er bijvoorbeeld meer bomen geplant te worden, groene daken te worden gecreëerd of een combinatie daarvan en in welke mate? Welke maatregelen zijn dus het effectiefst en in hoeverre kunnen deze worden toegepast in de context van Groningen.

Mees & Driessen (2011) hebben inzicht gegeven in de bestuurlijke capaciteit van steden om zich aan te passen aan klimaatverandering met behulp van stedelijk groen, ook wel 'climate greening' genoemd, en de barrières en kansen van deze capaciteit. De bestuurlijke capaciteit is in dit geval de mate waarin maatschappelijke vraagstukken door publiek-private netwerken kunnen worden opgelost (Mees & Driessen., 2011). Mees & Driessen (2011) concluderen dat de wettelijke en politieke capaciteit de sterkste categorieën voor de bestuurlijke capaciteit ten aanzien van klimaatadaptatie zijn. Adaptatie behoeft een integrale benadering op bestaande sociale, economische en milieumaatregelen om zo tot succesvolle ruimtelijke ordening te komen. Een voorbeeld is multifunctionele vormen van landgebruik waardoor verschillende bestuurlijke thema's worden gecombineerd. Daarnaast kan kennis worden vergroot door het behouden en versterken van leerprocessen en het gebruik maximaliseren van beschikbare stakeholder netwerken en dialogen (Mees & Driessen, 2011).

Voor de binnenstad van Groningen waren twee onderzoeksperspectieven mogelijk geweest, de bestuurlijke capaciteit enerzijds en ontwerp en design anderzijds. Gekozen is voor de kant van ontwerp en design. Waar een onderzoek gericht op beleid meer uitgaat van het zoeken naar overeenkomsten en vergelijkingen binnen de bestaande literatuur, kan een onderzoek naar ontwerp en design nieuwe inzichten geven in het klimaat adaptief maken van steden. Daarnaast kan het de koppeling naar de ruimtelijke ordening in de praktijk meer op poten zetten. Milieuproblemen gaan vaak hand in hand met een groei van stedelijke activiteiten (EEA, 2006, in Laforteza, 2009). Het is daarom van groot belang dat er bewustzijn omtrent het milieu is om tot duurzame ontwikkeling te komen. Dit bewustzijn moet uitgedrukt worden in de ruimtelijke ordening, design en het beheer van steden (Laforteza, 2009).

In een gesprek met de gemeente Groningen op 23 februari 2016 is naar voren gekomen dat de stad Groningen nog geen specifiek beleid heeft omtrent het hitte-eiland effect. Ideeën zijn er genoeg, maar het is nu de vraag hoe dit concreet kan worden gemaakt in stedelijke ontwikkeling. Is er überhaupt potentie voor een beleid gericht op hittestress? Dit onderzoek kan een houvast vormen voor de vorming van een hittebeleid voor de stad Groningen aan de hand van ontwerp en design. Dat

groen een positief effect kan hebben op een comfortabeler verblijf blijkt uit de plaatsing van drie groene paviljoens op het stadsbalkon bij het Centraal Station van Groningen ten ere van de titel Groenste stad van Nederland (Poelman, 2015). Deze paviljoens gaven in de zomer van 2014 een prettige schaduw op een anders schaduwloze hitte-eiland waar het niet prettig verblijven is met 30 graden Celsius (ibid.). Het was echter niet bij niemand opgekomen om de paviljoens voor een langere periode dan een paar maanden neer te zetten (Poelman, 2015). Dit met als gevolg dat het stadsbalkon in de zomer weer een hittegevoelige plek zal zijn (ibid.). Met de nieuwe binnenstadsvisie, waarbij onder andere de Grote Markt busvrij dient te worden, kan er een kans liggen om het hitte-eiland effect mee te nemen in de ontwerpen voor een langere duur. In het gesprek met de gemeente Groningen op 23 februari 2016 werd vermeld dat de binnenstad als geheel als hitte-eiland kan worden gezien, daarmee is hittestress een issue voor de hele binnenstad. Daarnaast trekken binnensteden over het algemeen veel voetgangers en fietsers, zij zullen hinder ondervinden van het hitte-eiland effect aangezien zij er direct mee in contact staan.

1.3 Opbouw thesis

Deze thesis zal beginnen met een aanleiding en probleemstelling, gevolgd door een theoretisch kader. Daar zullen relevante concepten naar voren komen op het gebied van hittestress, bovendien zullen er drie groene maatregelen worden weergegeven die de basis vormen voor dit onderzoek. De criteriapunten per groene maatregel, die ook terug te vinden zijn in het conceptueel model, zullen leidend zijn in de zoektocht naar de fysieke potentie. In de methodologie zal worden ingegaan wat precies de aanpak was om dit onderzoek te voltooien. Vervolgens zullen de resultaten bekend worden gemaakt van de fysieke potentie in de binnenstad van Groningen. In de conclusie zullen tot slot de hoofdpunten worden samengevat en aanbevelingen worden gedaan voor een vervolgonderzoek om zodoende de groene maatregelen beter te kunnen implementeren.

Hoofdstuk 2. Het hitte-eiland effect

2.1 Oorzaken en gevolgen

Steden zijn kwetsbaar voor de impact van klimaatverandering. Niet alleen overstromingsgevaar, maar ook temperatuurstijging speelt een rol (Mees & Driessen, 2011). Volgens het United Nations Framework Convention on Climate Change komen de veranderende weersomstandigheden bovenop de natuurlijke variabiliteit van het klimaat (Mulleman, 2010). De komende jaren zal de temperatuur enkele graden Celsius stijgen. Dit heeft grotere gevolgen in steden dan in rurale gebieden door het hitte-eiland effect (Döpp & Albers, 2008). Memon et al. (2008) hebben onderzoek gedaan naar het hitte-eiland effect, dit is het voorkomen van een hogere temperatuur in grote steden in vergelijking tot de naastliggende omgeving. Het hitte-eiland effect ontstaat door controleerbare en niet-controleerbare variabelen (Memon et al., 2008). De controleerbare variabelen hebben betrekking op ontwerp en design. De niet-controleerbare hebben daarentegen betrekking op het weer. De belangrijkste oorzaken van het hitte-eiland effect zijn de stedelijke samenstellingen, die zorgen voor een grote opname van zonnestraling (Indirect Solar Heating), en antropogene hittebronnen zoals airconditioners en voertuigen (Memon et al., 2008). Daarnaast speelt het gebrek aan windvelden in de stad een rol doordat hierdoor natuurlijke verkoeling ontbreekt (Döpp & Albers, 2009).

Het hitte-eiland effect heeft invloed op het slaapcomfort en de arbeidsproductiviteit, deze zullen dalen (Klok & Kluck, 2015). Verder zijn er ook gevolgen voor de gezondheid. Wheeler (2011) heeft kenbaar gemaakt dat warmere temperaturen kunnen leiden tot een hoger sterftcijfer en een daling van het comfort (Le Gates & Stout, 2011). Het hoge sterftcijfer wordt door het onderzoek van Smoyer et al. (2000) bevestigd. Er blijkt dat er significant meer mensen sterven, vooral ouderen, tijdens hittestress dagen dan tijdens niet-hittestress dagen (Smoyer et al., 2000). Bij een gevoelstemperatuur boven de 32 graden Celsius is er sprake van hittestress (Smoyer et al., 2000). In Nederland zouden tijdens de hittegolf van 2003 tussen de 1400 en 2200 overlijdens hitte gerelateerd zijn (Garssen et al., 2005).

2.2 Kwetsbaarheid

Rovers et al. (2014) concluderen dat elke stad in Nederland kwetsbaar is voor de effecten van klimaatverandering. Alleen is er wel variatie in de mate van kwetsbaarheid binnen steden. Daarom is het effectiever om lokale, relatief kleine maatregelen te nemen. Hierbij is het van belang dat er samenwerking is tussen de stakeholders zodat de maatregelen tegen bijvoorbeeld hittestress kunnen worden uitgevoerd bij renovaties en groot onderhoud. Naast een goede samenwerking is het ook van belang om te weten welke maatregelen het zinvolst zijn in een bepaalde omgeving. Er is namelijk verschil in welke mate mitigatiemaatregelen helpen om hittestress aan te pakken (Rosenzweig et al., 2006). Wheeler (2011) concludeert dat economieën die doorgaan met de huidige productie en consumptie in relatie met vervuiling gedoemd zijn te mislukken. Het gebruik van lichtere kleuren en semi-verhard asfalt zijn simpele ingrepen die al kunnen helpen tegen het hitte-eiland effect (Van Drunen & Lasage, 2007; Wheeler, 2011). Een paar koelere wijken hebben nauwelijks invloed op terugdringing van de gemiddelde temperatuur van een gehele stad (Alexandri & Jones, 2008). Groen moet dus niet op kleine schaal worden toegepast. Wanneer groen goed wordt toegepast kan een stad door groen als airconditioner te gebruiken duurzamer worden, er kan namelijk een afname van 32% tot 100% van de energie om gebouwen te koelen worden gerealiseerd (Alexandri & Jones, 2008).

Hoge temperaturen zijn de oorzaak van hittestress. Er dient echter niet alleen een focus te liggen op de hitte afzonderlijk. Het stadsklimaat heeft namelijk invloed op het gebruik van de buitenruimte door fietsers en voetgangers (Kleerekoper et al., 2012). Kleerekoper et al. (2012) concluderen dat fiets- en voetpaden meer zullen worden gebruikt wanneer er een comfortabel klimaat heerst. Aangezien het hitte-eiland effect zal zorgen voor een minder comfortabel stadsklimaat is het van belang om rekening te houden met de fiets- en voetpaden die op het moment het vaakst worden gebruikt. Wanneer er in deze gebieden namelijk sprake is van het hitte-eiland effect, zullen veel mensen last krijgen van hittestress.

2.3 Maatregelen

Belangrijk is om mitigatiemaatregelen tijdens huidige beleidsmaatregelen mee te nemen, dit doordat investeringen in bebouwing lange tijd onderhevig waren aan waardevermindering (Döpp et al., 2009). Het creëren van een verkoelende wijk helpt tegen het hitte-eiland effect (Döpp & Albers, 2008). Op de controleerbare variabelen kan invloed worden uitgeoefend met behulp van mitigatiemaatregelen. Deze mitigatiemaatregelen zijn onder te verdelen in het terugdringen van antropogene warmte, betere ontwerpen van daken en overige ontwerp factoren. Voorbeelden zijn een hogere albedo en groene daken (Memon et al., 2008). Memon et al. (2008) doen als aanbeveling dat er meer onderzoek moet worden gedaan naar de controleerbare variabelen om zo tot hoogwaardigere mitigatiemaatregelen te komen. Inmiddels zijn er al meerdere studies gevonden die hebben aangetoond dat stedelijk groen kan bijdragen aan het matigen van temperatuurstijging (Bowler et al., 2010; Mees & Driessen, 2011). Bowler et al. (2010) hebben deze studies onderzocht. Het betreft een studie naar 47 bruikbare artikelen over de koeling van steden door groene maatregelen, van tuinen tot groene daken. De steden die naar voren kwamen in het onderzoek waren onder andere Moskou, Londen, Essen en Stockholm (Bowler et al., 2010). Mees & Driessen (2011) geven aan dat er capaciteit ontbreekt om de bestaande bebouwing adaptief te maken voor vergroening, verder is adaptatie nog vooral een bestuurlijke aangelegenheid. Actieve inzet van de private sector kan er echter voor zorgen om de bestuurlijke capaciteit te vergroten. Dat vergroening ook helpt aan het creëren van aantrekkelijke woonmilieus blijkt uit het feit dat bewoners van Utrecht groen significant positief hebben gewaardeerd om de esthetische waarde (Klemm et al., 2015).

Waar Mees & Driessen (2011) het vooral hebben over adaptatie met behulp van de bestuurlijke capaciteit, hebben Memon et al. (2008) het over mitigatie van het stedelijke hitte-eiland effect. De vraag voor de context van Groningen is welke mitigatiemaatregelen relevant zijn voor de binnenstad, zowel fysiek als bestuurlijk en wat de reacties van de verschillende actoren hierop zijn.

Om een ruimtelijke analyse te kunnen doen voor de binnenstad van Groningen op het gebied van vergroening is het van belang om te weten welke specifieke ontwerpen toepasbaar zijn voor Groningen. Op de volgende bladzijdes volgen groene maatregelen die een positieve werking hebben op de terugdringing van hittestress. Deze zijn gekozen uit een reeks maatregelen, aangedragen door Brink et al. (2013) en Van Leeuwen et al. (2012), op basis van de mate waarin ze de aanpak van hittestress bevorderen en zorgen voor verkoeling.

Rosenzweig et al. (2009) doen als aanbeveling om strategieën te combineren zoals groene daken, boomaanplanting in open gebied en langs straten. Chiesura (2003) concludeert dat bij de ontwikkeling van parken er met de motieven om een park te bezoeken rekening moet worden. Dit zijn relaxen, sporten en samen met de kinderen. Stedelijk groen vervult namelijk belangrijke immateriële en niet-consumptieve behoeftes (Chiesura, 2003). Loofbomen met grote kronen hebben een positieve invloed op de terugdringing van hittestress (Rovers et al., 2014). Is hier ruimte voor in

de binnenstad van Groningen? En in hoeverre is het mogelijk om lokale, relatief kleine maatregelen te nemen zoals Rovers et al. (2014) voorstellen?

2.3.1 Boomaanplanting

Bomen in de stad en het gebruik van oppervlaktes die veel zonnestrallen terugkaatsen kunnen zorgen voor een vermindering van het hitte-eiland effect (Akbari et al., 2001). Akbari et al. (2001) concluderen dat door deze vermindering het energiegebruik voor airconditioning in de Verenigde Staten met 20 procent kan dalen, dit komt neer op meer dan 10 miljard Dollar per jaar. Verkoeling ontstaat door het omzetten van energie naar waterdamp (Van Leeuwen et al., 2012). Wanneer bomen aan de noordzijde van gebouwen worden geplaatst werpen ze een schaduw op het gebouw, dit zorgt voor verkoeling (Van Leeuwen et al., 2012). Voor de aanplanting van bomen moet rekening worden gehouden met de hoeveelheid verkeer dat langskomt, uitlaatgassen kunnen namelijk blijven hangen onder de bomen (Brink et al., 2013). Bomen langs de straat hebben de grootste potentie tot verkoeling per oppervlakte, wel is het gebruik van lichte materialen in een groter geheel effectiever doordat dit in een grote hoeveelheid kan worden toegepast (Rosenzweig et al., 2006). Maar zoals gezegd hebben bomen vele voordelen; productie van zuurstof, verkoeling en geven ze leefruimte (Groenblauwe netwerken, 2016). Van belang is om vooraf te bepalen waar een boom het best tot zijn recht kan komen, dit houdt in dat de kroon zich kan volwaardig kan ontwikkelen zonder veel snoeiwerk (ibid.). Daarnaast is het van belang om te bepalen welke boomsoort bij welke omgeving past, linden moeten bijvoorbeeld niet bij parkeerplaatsen of bankjes worden geplaatst vanwege de vervuilende werking van bladluizen die vaak in linden zijn te vinden (ibid.).

Er zijn meerdere structuren mogelijk voor de plaatsing van bomen. Zo bestaat er een boomveld, dit is een groepering van bomen die daardoor een aaneengesloten bladerdak vormen boven een grasveld of bestrating (Van Leeuwen et al., 2012). Waar een boomveld door schaduwwerking zorgt voor het verminderen van opwarming, kan het ook zorgen voor het blokkeren van wind en daarmee verkoeling (Brink et al., 2013). Hier dient rekening mee te worden gehouden, windvolle gebieden moeten niet hun functie van verkoeling verliezen. Hier moet echter een nuance worden gegeven dat uit onderzoek van Lenzholzer (2012) blijkt dat in de Nederlandse context ook sprake kan zijn van windoverlast. Er dienen dus afwegingen te worden gemaakt tussen verkoeling en overlast.

Naast een boomveld bestaat er ook een bomenlaan, dit is een aaneengesloten structuur van meerdere bomen (Van Leeuwen et al., 2012). Wanneer niet aan een kant, maar aan twee kanten van een weg een bomenlaan wordt geplaatst wordt het effect van voorkoming van hitte vergroot (ibid.). Wanneer de ruimte het niet toelaat om grote bomen te plaatsen, kan volgens Van Leeuwen et al. (2012) worden gekozen voor leibomen. Brink et al. (2013) geven aan dat leibomen vooral in dorpen worden toegepast. In steden heeft gevelgroen dezelfde werking als leibomen (Brink et al., 2013). Waar een boomveld nog voor blokkering van de wind kan zorgen, kan een bomenlaan windstromen creëren als ze strategisch worden geplaatst (Van Leeuwen et al., 2012).

Tot slot is er ook de alleenstaande boom, door Van Leeuwen et al (2012) bestempelt als boom sollitair. Een alleenstaande boom brengt vooral verkoeling voor individuen doordat er een beter comfort wordt gecreëerd door het tegenhouden van zonnestraling, het kan echter niet een hele straat in de schaduw zetten waardoor het effect kleinschaliger is (ibid.).

2.3.2 Groene daken

Er zijn twee typen dakgroen, namelijk extensief en intensief (Brink et al., 2013). Intensief is eigenlijk alleen geschikt voor nieuwbouw, deze vorm heeft een gelijkenis met normale tuinen (Mentens et al., 2002). Extensief is voor bijna alle gebouwen geschikt aangezien deze geen aangepaste dakconstructie behoeven, geen of weinig onderhoud vergen en een laag gewicht hebben (Mentens et al., 2002). Voordeel van dakgroen is dat het geen invloed heeft op de ventilatie door wind. Voor de verkoeling van steden is het van belang om groene daken niet zozeer toe te passen op hoogbouw, maar op daken tussen hoge gebouwen (ibid.). Een afname variërend van 8,4 tot 11,3 graden Celsius is realistisch met behulp van stedelijk groen (Alexandri & Jones, 2008). Voor extensief groen is het van belang dat de daken geen grotere helling hebben dan 45 graden (Hop, 2010). Groene daken en gevels kunnen tot slot het best hun functie laten zien wanneer er compact gebouwd wordt en er niet te grote openingen tussen gebouwen zijn waardoor zonnestraling vrij spel heeft (Alexandri & Jones, 2008). Yang et al. (2008) geven aan dat groene daken een positieve invloed hebben op luchtverschoning. In Chicago is bijvoorbeeld 1675 kilogram aan luchtverontreinigende stoffen verwijderd door ongeveer 20 hectare oppervlakte van groene daken (Yang et al., 2008). Hiervan was meer dan twee derde intensief groen. Het is de vraag of er ruimte is voor zoveel intensief groen in de binnenstad van Groningen en in hoeverre luchtverontreinigende stoffen zich tot boven de daken bevinden.

Dat groene daken een positieve werking hebben op de terugdringing van het hitte-eiland effect is te zien in Figuur 1, aangeleverd door Tessa Duste van Rooflife (2016). Rooflife is een bedrijf dat gespecialiseerd is in groene daken. Er is in Figuur 1 een temperatuurdaling te zien van meer dan 10 graden Celsius door vergroening.



Figuur 1. Invloed van vergroening op de temperatuur

Jim (2015) geeft aan dat voor extensieve groene daken het van belang is om rekening te houden met de soort beplanting. Zo kan beplanting met een lage transpiratie zelfs zorgen voor een hitte-eiland, ook al hebben groene daken een hogere albedo dan standaard daken. Van belang is dus om te bepalen welke beplanting nodig is, zo moeten er ook geen substraten worden geplaatst die veel water kunnen opslaan (Jim, 2015). Deze zorgen namelijk wel voor een koeling opwaarts door transpiratie, maar kunnen voor een opwarming zorgen naar beneden doordat water ook hitte vasthoudt (ibid.). De hitte kan worden opgeslagen in het substraat van de planten, iets wat bij intensief dakgroen geen rol speelt (Brink et al., 2013).

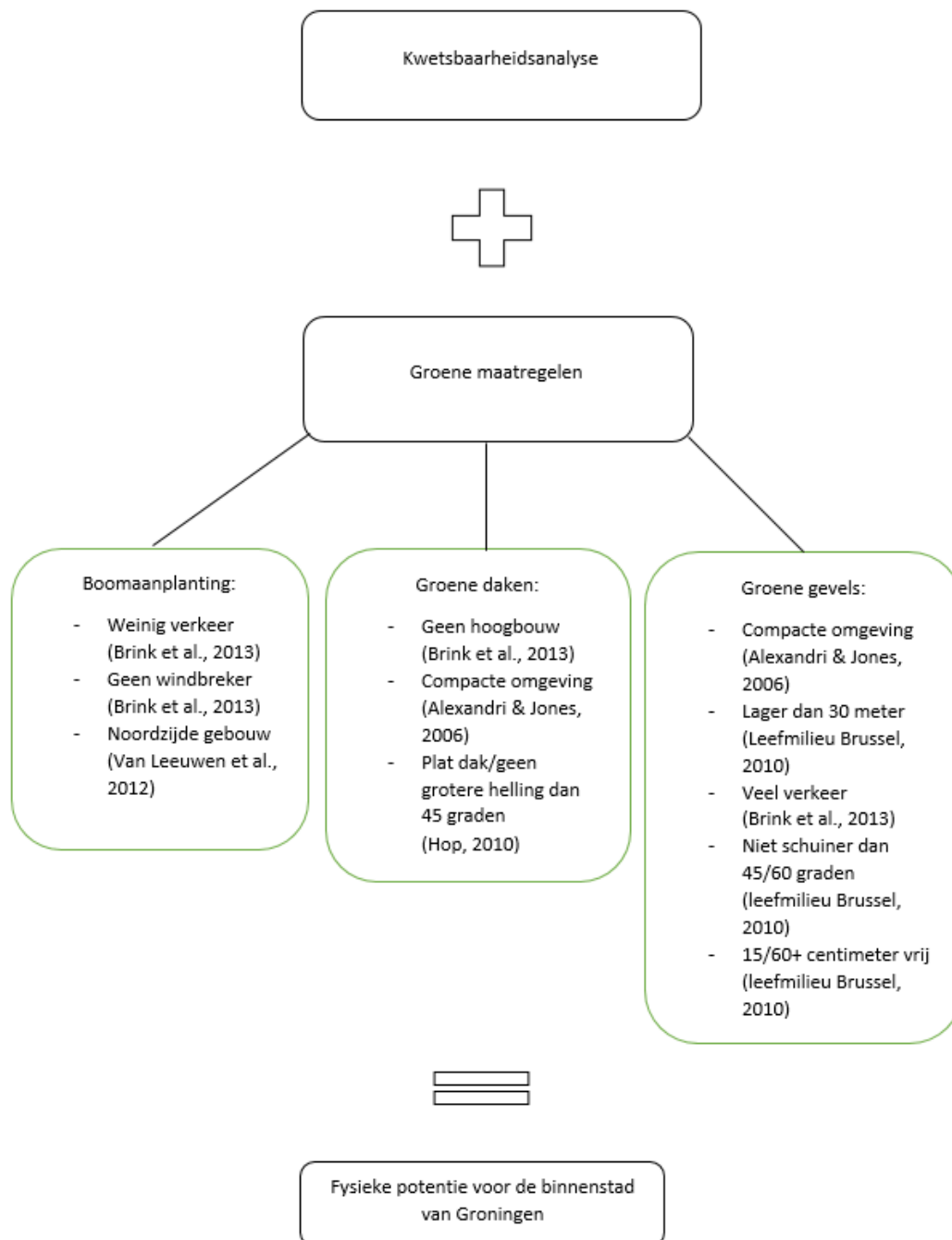
2.3.3 Groene gevels

Ten behoeve van de thermische behaaglijkheid in de stad pleiten Ros & Van der Wouw (2012) voor groene gevels. Rovers et al. (2014) stellen wel dat isolatie van gebouwen kan leiden tot meer hittestress wanneer niet aan afscherming van zonnestraling wordt gedacht. Het voordeel van groene gevels is dat deze directe zonnestraling tegenhoudt die kan zorgen voor opwarming van het gebouw (Van Leeuwen et al., 2012). De verkoeling door wind wordt nauwelijks aangetast doordat de groene gevel als tweede muur tegen de bebouwing aangroeit (ibid.). Bijkomend voordeel is dat een groene gevel de zonnestraling niet weerkaatst (Brink et al., 2013). Gevelgroen kan worden toegepast waar vanwege een hoge verkeersintensiteit geen bomen kunnen worden geplant (ibid.). Groene gevels hebben namelijk een positieve invloed heeft op de aanpak van fijnstof door het oppervlakte vergrotend vermogen van bladeren (Ottel , 2011). De bladeren houden de fijne deeltjes vast die met een regenbui worden weggespoeld. De fijnste deeltjes blijven aan de bladeren hangen (Ottel , 2011).

Er bestaan verschillende soorten gevelbeplanting. Zo zijn er zelfhechtende klimplanten, klimplanten die een constructie nodig hebben op een afstand van de muur, hangende planten die worden bevestigd in bakken op een balkon en verticale groene geveltuinen (Hermy et al., 2005). De laatste twee varianten behoeven veel onderhoud wat betreft bewatering en bemesting (ibid.). Voor zelfhechtende klimplanten is het van belang om gebouwen van tevoren op scheuren te controleren en/of er veel voegen zijn, de planten kunnen hier namelijk schade aanbrengen (ibid.). De maximale hoogte voor een begroeide gevel is ongeveer 30 meter (Leefmilieu Brussel, 2010). Naast de hoogte dient ook rekening te worden gehouden met de ruimte vanaf de gevel en de helling van de gevel. Zo moet een begroeide gevel niet schuiner zijn dan 45 graden, en van de gevel geschieden groen niet schuiner dan 60 graden (Leefmilieu Brussel, 2010). 1 tot 15 centimeter ruimte vanaf de gevel is nodig voor een begroeide gevel, meer dan 60 centimeter voor een verticale tuin (Leefmilieu Brussel, 2010). Een derde type gevel zijn plantenbakken aan de gevel (Hop, 2010), verwacht wordt dat de benodigde ruimte hiervan vergelijkbaar is met de andere twee soorten groene gevels.

Volgens Alexandri & Jones hebben groene gevels een groter effect op straatniveau dan groene daken. Groene daken daarentegen hebben een groter effect bovenop de daken, en uiteindelijk voor een hele stad. De hoogste mitigatie ontstaat door de combinatie van de twee maatregelen (Alexandri & Jones, 2008).

2.4 Conceptueel model



Figuur 2. Conceptueel model

In het conceptueel model hierboven zijn de te doorlopen stappen weergegeven die in het onderzoek aan bod komen. Allereerst zal er een kwetsbaarheidsanalyse worden gemaakt, vervolgens zullen van elke groene maatregel de fysieke eigenschappen en eisen worden onderzocht om deze vervolgens te kunnen verwerken in een ruimtelijke analyse. Uit deze analyse zullen potentiële gebieden komen voor elke groene maatregel.

Hoofdstuk 3. Methodologie

3.1 Verwachtingen

De hypothese naar aanleiding van de hoofdvraag *Wat is de fysieke potentie van vergroening in de binnenstad van Groningen als maatregel tegen hittestress?* is dat niet alle maatregelen genoemd in het theoretisch kader kunnen worden toegepast op een specifieke plek. De maatregelen dienen gebiedsgericht te worden geïmplementeerd. Dit wil zeggen de eigenschappen van een maatregel dienen in overeenstemming te staan met de gebiedsfuncties van een specifieke plek in de binnenstad. Afhankelijk van de ondergrond is het wel of niet mogelijk om groene gevels toe te passen. De wortels van de planten voor deze maatregel hebben namelijk veel ruimte nodig (Hermy et al., 2005). Verwacht wordt daarom dat verticale groene geveltuinen beter geschikt zijn in de binnenstad (Hermy et al., 2005). Voor bomen wordt verwacht dat deze niet in een structuur langs autowegen kunnen worden geplaatst vanwege de bundeling van uitlaatgassen onder de bladeren (Brink et al., 2013). Dit aangezien langs de autowegen in de binnenstad wordt verwacht dat deze een hoge verkeersintensiteit hebben. Voor dakgroen wordt verwacht dat deze op elk plat dak in de binnenstad kan worden toegepast. Dit wil zeggen, extensief groen. Extensief groen is namelijk makkelijk toepasbaar en behoeft weinig aanpassing van de huidige bebouwing (Mentens et al., 2002).

3.2 Nadere criteria bepaling

Met behulp van GIS en eigen observaties was een ruimtelijke analyse gemaakt van de fysieke potentie tot vergroening in de binnenstad van Groningen. De eerste stap was om tot de criteriapunten te komen, waar de literatuur te kort schoot was gekozen voor mailverkeer met adviesbureaus die gespecialiseerd zijn op het gebied van hittebestrijding, of groene maatregelen in het algemeen. Gekozen was voor mailverkeer aangezien dit effectief is om in een relatief kort tijdsbestek voldoende informatie te achterhalen.

Een lijst was opgesteld waar rekening mee dient te worden gehouden bij implementatie van groene daken, groene gevels en boomaanplanting, zie hiervoor bijlage 9. Vanuit de literatuur was het criteriapunt opgenomen dat groene daken en groene gevels het best tot hun recht komen in een compacte omgeving (Alexandri & Jones, 2008). De overige punten waren vastgesteld met behulp van informatie van Tessa Duste van Rooflife (2016), Elma Schoenmaker van BELW Advies (2016), brochure Dak en gevelgroen door Hop (2010), de website GroenBlauwe Netwerken (2015) en Leefmilieu Brussel (2010).

Alvorens het in kaart brengen van de fysieke potentie, was een kwetsbaarheidsanalyse gemaakt. De risicogebieden waren onderzocht met behulp van een hittekaart, fietsstromen en voetgangersstromen. De hittekaart, omdat dit de kern van het probleem van hittestress is. Fietsers en voetgangers, omdat deze het meeste last zullen hebben van de hitte. In tabel 1 op de volgende pagina zijn de criteriapunten, gebruikte data, waardering en uitwerking te zien. Hoofdstuk 3.3 zal ingaan op de doorlopen GIS stappen. De kaart van de kwetsbaarheidsanalyse was genummerd, zo kon per nummer de fysieke potentie worden beoordeeld. Bijlage 8 geeft de genummerde kwetsbaarheidsanalyse, de volgorde van de nummers was gekozen tijdens de observatieronde door de binnenstad. De criteriapunten waren beoordeeld met behulp van eigen waarnemingen, aangezien er geen bruikbare GIS kaarten konden worden gevonden. Bijlage 10 en 11 geven de uitkomsten van de eigen waarnemingen, op basis van de waardering uit tabel 1. De nummers uit bijlage 10 en 11

komen overeen met de genummerde kwetsbaarheidsanalyse uit bijlage 8. Niet alle criteriapunten waren beoordeeld voor een GIS analyse, omdat deze niet door eigen observatie konden worden beoordeeld. De criteriapunten die waren meegenomen zijn te zien in tabel 2, inclusief de criteriapunten, gebruikte data, waardering en uitwerking.

3.3 GIS analyse

De tweede stap was een GIS analyse. Gekozen was voor een GIS analyse, omdat het een goed middel is voor urban planning en milieuanalyses (Batty, 2010). Daarnaast is het, na een ruimtelijke analyse, te gebruiken als strategisch instrument voor besluitvorming en ruimtelijke ordening (Batty, 2010). Iets wat dit onderzoek probeerde na te streven, een handvat voor de toepassing van vergroening tegen hittestress. Een GIS-analyse kan visueel kenbaar maken waar groen kan worden toegepast en waarom.

3.3.1 Kwetsbaarheidsanalyse

Doel	Criteria	Data	Waardering	Uitwerking
<i>Risicogebieden</i>	Hittekaart	TAUW (2013) TOP10NL: GEBOUW Wegdeel_vlak Waterdeel_vlak	Rood = hoogste temperatuur Oranje = hoge temperatuur Licht oranje/geel = lage temperatuur	GIS tools: 1. Geo-referencing 2. Select features 3. Clip
	Voetgangersstromen	Gemeente Groningen (2015) TOP10NL: GEBOUW Wegdeel_vlak Waterdeel_vlak	>100000 = rood 50000-100000 = oranje <50000 = geel	1. Adressen telpunten via internet opgezocht 2. Gemiddelde voetgangersstromen per week berekend GIS tools: 1. Select features 2. Draw 3. Clip 4. Buffer
	Fietsstromen	Fietselweek gemeente Groningen (2015) TOP10NL: GEBOUW Wegdeel_vlak Waterdeel_vlak	Rood = hoge intensiteit Oranje = gemiddelde intensiteit Geel = lage intensiteit	GIS tools: 1. Geo-referencing 2. Select features 3. Clip 4. Buffer

Kwetsbaarheids-analyse	Samenvoeging risicogebieden	Gemeente Groningen: Groene daken (2011) Groenbeheer TOP10NL: GEBOUW Wegdeel_vlak Waterdeel_vlak	Hoogste risico = Hoogste temperatuur + rode gebieden voetgangers en fietsers Hoger risico = Hoogste temperatuur + oranje gebieden voetgangers en fietsers Hoog risico = Hoge temperatuur + rode gebieden voetgangers en fietsers Laag risico = Lage temperatuur en Hoge temperatuur + oranje gebieden voetgangers en fietsers.	GIS tools: 1. Select features 2. Clip 3. Merge
------------------------	-----------------------------	---	---	---

Tabel 1. Verwerking van de kwetsbaarheidsanalyse

Voordat begonnen kon worden met de analyse naar risicogebieden en de fysieke potentie diende er een basiskaart te komen van de binnenstad van Groningen. Dit was gedaan met behulp van de CBS wijk en buurtkaart (2013). De tool Clip zorgde ervoor dat de TOP10NL bestanden GEBOUW, Wegdeel_vlak en Waterdeel_vlak alleen te zien waren voor de buurten van de binnenstad van Groningen en het centrum. De basiskaart is terug te vinden in bijlage 1.

Tabel 1 laat de uitwerking zien van de kwetsbaarheidsanalyse. Als eerste was de hittekaart van TAUW (2013) opgeslagen als JPEG en toegevoegd aan de TOP10NL bestanden GEBOUW, Wegdeel_vlak en Waterdeel_vlak. Met behulp van Georeferencing kreeg de hittekaart hetzelfde referentiesysteem als de basiskaart, waardoor de hittekaart precies op de basiskaart kon worden gelegd. De hittekaart werd vervolgens doorzichtig gemaakt, met behulp van Select features zijn de rode gebieden geselecteerd uit de TOP10NL bestanden GEBOUW en Wegdeel_vlak. Vervolgens zijn deze geclipt tot een nieuwe layer met de hoogste temperatuur. Hetzelfde is gedaan voor de oranje gebieden, hoge temperatuur, en licht oranje/gele gebieden, lage temperatuur.

De data van de voetgangersstromen is aangeleverd door de gemeente Groningen, zie bijlage 6. De adressen van de telpunten waren online opgezocht en gemiddeldes waren berekend in Excel. Een onderverdeling van drie klassen werd gemaakt, zoals te zien is in tabel 1. De betreffende straten die overeenkwamen met de adressen werden geselecteerd uit het TOP10NL bestand Wegdeel_vlak en geclipt. Omdat geen data beschikbaar was van de hele binnenstad, was ervoor gekozen om een uitsnede te maken met de Draw tool. Om de voetgangersstromen duidelijker weer te geven, werd ervoor gekozen om een buffer van vijf meter toe te passen.

Fietselweek (2015) van de gemeente Groningen geeft de fietsstromen weer. Hiervan werd een JPEG gemaakt. Vervolgens waren dezelfde stappen doorlopen als bij de hittekaart. Allereerst

Georeferencing, dan de drie intensiteiten uit tabel 1 geselecteerd en geclipt uit het TOP10NL bestand Wegdeel_vlak, en tot slot een buffer ten behoeve van de weergave zoals bij de voetgangersstromen.

De kwetsbaarheidsanalyse volgde uit een samenvoeging van de drie risicogebieden. Er waren vier klassen gemaakt op basis van de waardering die te zien is in tabel 1. De temperatuur was hierbij leidend, de voetgangers en fietsers volgend. De temperatuur is namelijk de hoofdoorzaak van hittestress en deze geven ook de hitte aan voor de bewoners in de binnenstad. De klassen werden geselecteerd en geclipt uit de TOP10NL bestanden Wegdeel_vlak en GEBOUW. De hittegebieden, voetgangersstromen en fietsstromen die in dezelfde klasse zaten werden gemerged tot een layer.

3.3.2 Groene maatregelen en urgentie

Maatregel	Criteria	Data	Waardering	Uitwerking
<i>Boomaanplanting</i>	Weinig verkeer	TOP10NL: GEBOUW Wegdeel_vlak	V = voldoet geheel = cijfer 10	1. Gemiddelde berekenen van de waardering 2. Onderverdeling: 10 = hoogste potentie 8,7/9 = hogere potentie 8/8,3 = hoge potentie 7 = lage potentie 6,7 = lagere potentie 5,7/6 = laagste potentie GIS tools: 1. Select features 2. Clip 3. Buffer
	Geen open gebied	Waterdeel_vlak	V/0 = voldoet	
	Noordzijde gebouw	Eigen observatie	voor een groot deel = cijfer 8 0 = voldoet voor de helft = cijfer 7 0/x = voldoet voor een klein deel = cijfer 6 X of - = voldoet niet = cijfer 4	
<i>Groene daken</i>	Geen hoogbouw	TOP10NL: GEBOUW Wegdeel_vlak	V = voldoet geheel = cijfer 10	1. Gemiddelde berekenen van de waardering 2. Onderverdeling: 10 = hoogste potentie 9.3 = hogere potentie 9 = hoge potentie 8,7 = gemiddelde potentie 8,3 = lage potentie 8 = lagere potentie 7 = laagste potentie GIS tools: 1. Select features 2. Clip
	Compacte omgeving	Waterdeel_vlak	V/0 = voldoet	
	Plat dak/geen grotere helling dan 45 graden	Eigen observatie	voor een groot deel = cijfer 8 0 = voldoet voor de helft = cijfer 7 0/x = voldoet voor een klein deel = cijfer 6 X of - = voldoet	

			niet = cijfer 4	
<i>Groene gevels</i>	Compacte omgeving	TOP10NL: GEBOUW	V = voldoet geheel = cijfer 10	1. Gemiddelde berekenen van de waardering 2. Onderverdeling: 10 = hoogste potentie 9.6 = hogere potentie 9.4 = hoge potentie 9,2 = gemiddelde potentie 8,8 = lage potentie 8,4 = lagere potentie 8,2 = laagste potentie GIS tools: 1. Select features 2. Clip
	Lager dan 30 meter	Wegdeel_vlak Waterdeel_vlak	V/0 = voldoet voor een groot deel = cijfer 8	
	Veel verkeer	Eigen observatie	0 = voldoet voor de helft = cijfer 7	
	Niet schuiner dan 45/60 graden		0/x = voldoet voor een klein deel = cijfer 6	
	1-15 cm ruimte		X of - = voldoet niet = cijfer 4	
	> 60 cm ruimte			
<i>Fysieke potentie in relatie tot de urgentie</i>	-	TOP10NL: GEBOUW Wegdeel_vlak Waterdeel_vlak	-	Samenvoeging van de groene maatregelen afzonderlijk met de kwetsbaarheidsanalyse GIS tool: Buffer

Tabel 2. Verwerking van de fysieke potentie in relatie tot de urgentie

Per groene maatregel zijn de criteriapunten uit tabel 2 doorlopen op basis van eigen observaties in de binnenstad van Groningen. Deze waren beoordeeld volgens de weergegeven waardering in de bovenstaande tabel. Na de eigen observaties waren de waarderingen in kleur gemarkeerd ter verduidelijking en omgezet naar eindcijfers. Vervolgens kon het gemiddelde berekend worden. De gemiddeldes staan voor de fysieke potentie. Welk gemiddelde voor welke potentie stond, staat per maatregel onder uitwerking in tabel 2 weergegeven. Voor het criteriapunt veel verkeer bij groene gevels waren de beoordelingen niet meegenomen in de berekening van het gemiddelde. Dit omdat het geen noodzaak is om groene gevels bij veel verkeer te plaatsen. De laatste kolom uit bijlage 11 geeft een +, 0 of – weer. Dit staat voor veel, gemiddeld en weinig verkeer. De drukke autowegen waren als aparte layer toegevoegd met behulp van Select features en clip uit het TOP10NL bestand Wegdeel_vlak.

Voor elke maatregel waren de GIS stappen overeenkomstig om tot de fysieke potentie te komen. De gebieden met dezelfde potentie werden geselecteerd en geclipt. Voor groene gevels en groene daken gebeurde dit uit het TOP10NL bestand GEBOUW, voor boomaanplanting uit Wegdeel_vlak. Voor boomaanplanting was ten behoeve van de weergave nog een buffer aangemaakt van vijf meter. Verder zijn de straten waar al bomen stonden, of helemaal geen plek was voor bomen, niet meegenomen.

Om tot de fysieke potentie in relatie tot de urgentie te komen werd gebruik gemaakt van de kwetsbaarheidsanalyse en de kaart van de fysieke potentie per maatregel. Met de tool Buffer voor de vier risicogebieden uit de kwetsbaarheidsanalyse, zie tabel 1, werden randen gecreëerd om de fysieke potentie om zo de urgentie te kunnen laten zien.

Hoofdstuk 4. Resultaten

4.1 Hittestress in de binnenstad van Groningen

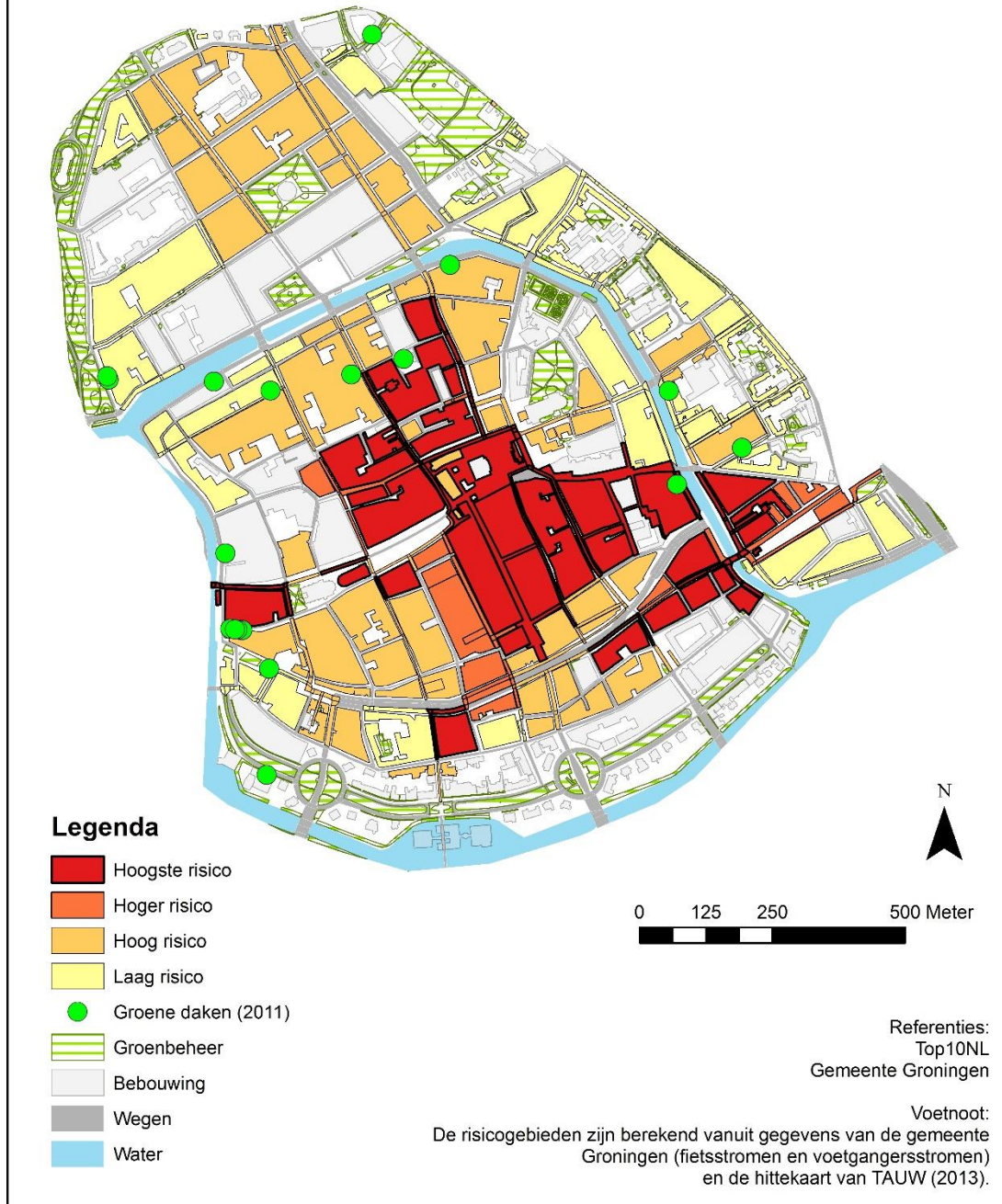
De wijk- en buurtkaart van het CBS (2013) toont dat er vijf buurten zijn in de binnenstad van Groningen. Uit de gegevens van het CBS valt op te maken hoeveel ouderen, 65 plus, er zich bevinden per buurt. Het noorden heeft de meeste ouderen, 408. Met 360 volgt het zuiden. Het oosten en het centrum zitten rond de 160, het westen heeft slechts 74. Deze gegevens zijn weliswaar verouderd, maar het is de vraag in hoeverre de scheiding tussen noord-zuid en de overige buurten in een paar jaar is veranderd. Voor dit onderzoek zijn het noorden en zuiden van belang voor de focus op een specifieke bevolkingsgroep, aangezien Smoyer et al. (2000) al aangaven dat vooral ouderen meer last hebben van hittestress dagen.

Figuur 3 op de volgende pagina toont de kwetsbaarheidsanalyse, de gebieden met de hoogste urgentie voor de aanpak van hittestress. Ook de ligging van groene daken te zien. De data hiervan komt uit 2011 en is daarmee al enkele jaren oud, waardoor deze wellicht niet meer up-to-date is. Naast de groene daken is ook het groenbeheer van de gemeente Groningen te zien.

Het hoogste risico concentreert zich in het centrum van Groningen. Niet alleen omdat daar de hoogste temperaturen voorkomen, maar ook omdat hier de hoogste intensiteiten van fietsers en voetgangers liggen. De kwetsbaarheidsanalyse toont namelijk de samenvoeging van de fietskaart, voetgangerskaart en hittekaart. Voor de voetgangersstromen waren alleen gegevens beschikbaar van het centrum, maar dit is geen groot probleem aangezien verwacht wordt dat de intensiteit van voetgangers in het centrum ook het hoogst is.

In het noorden en zuiden is te zien dat er relatief weinig tot geen rode hitteplekken te zien zijn, de gebieden met de grootste groep 65-plussers. Niet geheel onverwacht zijn dit ook de gebieden waar relatief veel groen voorkomt. Een bevestiging dat groen een positieve invloed heeft op de temperatuur, zoals onder andere Döpp & Albers (2008) ook al kenbaar hadden gemaakt. Wanneer gekeken wordt naar de ligging van de groene daken is te concluderen dat de groene daken nog onvoldoende in de gebieden met het hoogste risico liggen. Hier ligt dus een uitdaging om de toepassing van groene daken meer op af te stemmen op de gebieden met de hoogste urgentie, hetzelfde geldt voor de toepassing van groen in het algemeen. De volgende hoofdstukken zullen ingaan op de fysieke potentie van groene maatregelen. Waar is het überhaupt mogelijk om tot vergroening over te gaan? Tot slot zal er een koppeling worden gemaakt met de fysieke potentie in relatie tot de meest urgente gebieden.

Kwetsbaarheidsanalyse binnenstad Groningen



Figuur 3. Kwetsbaarheidsanalyse

4.2 Potentie van groene maatregelen

4.2.1 Boomaanplanting

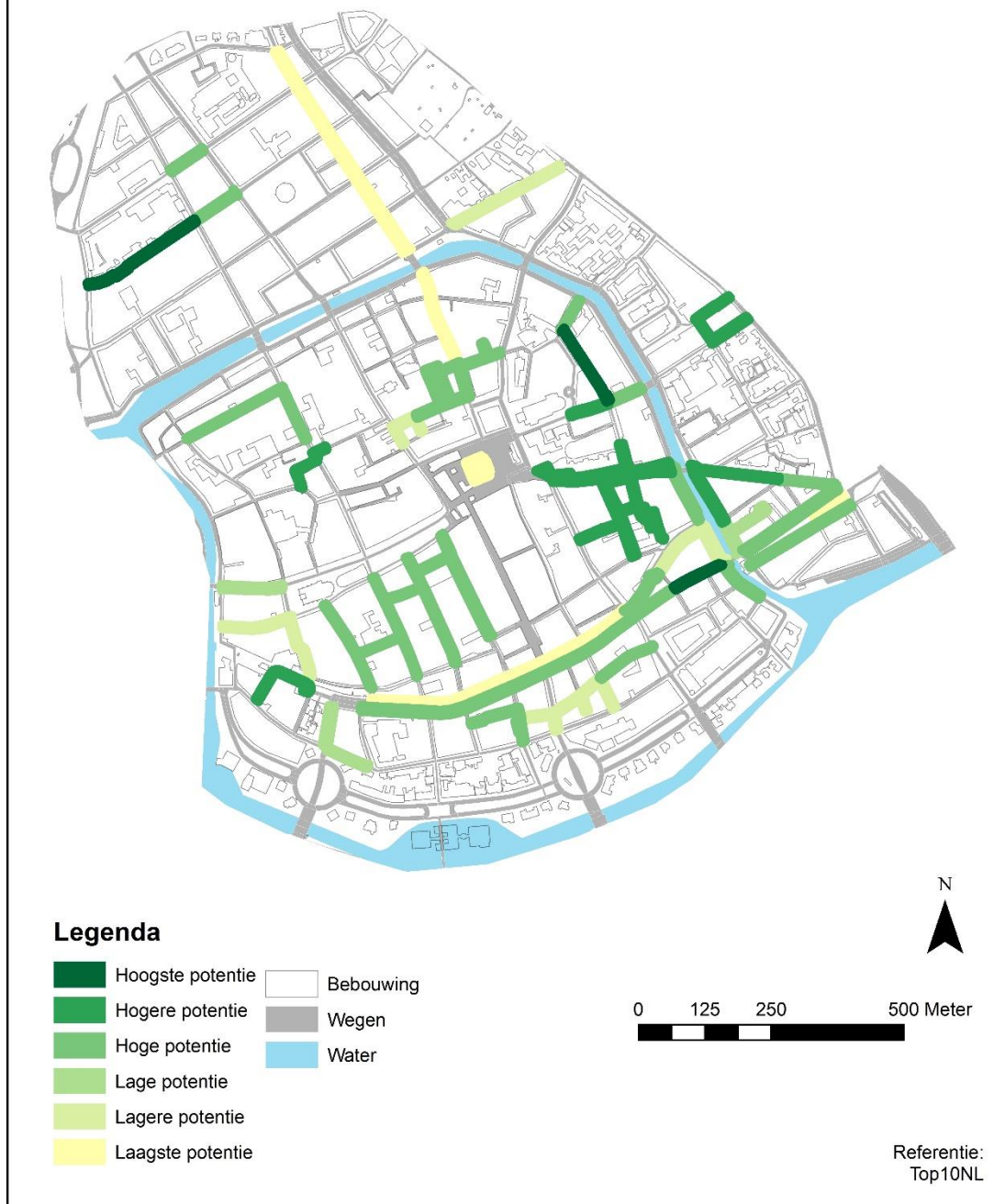
Figuur 4 op de volgende pagina laat de fysieke potentie zien van boomaanplanting als groene maatregel tegen hittestress. Zoals vermeld bij de methodologie zijn niet alle straten zichtbaar met hun potentie. Dit omdat er al bomen stonden of omdat er geen plek voor is. Vooral in het noorden staan er al regelmatig bomen, wat ook terug te zien is in Figuur 3. In het centrum is er weinig tot geen mogelijkheid om aan boomaanplanting te doen vanwege de drukke voetgangersstromen, deze straten zijn dan ook niet weergegeven.

Wat opvalt is dat de straten met de hoogste potentie voornamelijk in het oostelijke gedeelte liggen. Hier hebben de bomen de mogelijkheid om de naastgelegen gebouwen in de schaduw te zetten en spelen ze niet als windbreker. De straten met de laagste potentie scoren laag doordat er sprake is van een open gebied waar bomen als windbreker kunnen optreden en er relatief veel verkeer is waar uitlaatgassen onder de bomen kunnen blijven hangen. Daarnaast is de locatie ten opzichte van naastgelegen gebouwen van belang. Wanneer een boom namelijk ten zuiden van een gebouw staat, kan het verkoeling geven aan voetgangers, maar hebben bewoners van de gebouwen er geen profijt van. Daarmee wordt het probleem van hittestress slechts deels opgelost.

Van belang is om te weten dat per straat de fysieke potentie ook kan verschillen qua boomtype. Niet elke straat is bijvoorbeeld geschikt voor bomen met een grote kroon, helemaal niet in de binnenstad waar vaak weinig ruimte voorhanden is. Daarnaast dient er rekenschap te worden gehouden met de ondergrond, dit kan uiteraard ook verschillen per straat. Niet alleen de bodemsoort, maar ook wat er in de ondergrond zit zoals leidingen en buizen. Bovendien is het de vraag welke type boomaanplanting kan worden uitgevoerd. Verschillende structuren zijn mogelijk: alleenstaande bomen, een bomenrij en een clustering van bomen. Een bomenrij en clustering van bomen hebben een hoger effect op de aanpak van hitte dan alleenstaande bomen. Daar waar al enkele bomen staan, zou ontwikkeling kunnen plaatsvinden tot een bomenrij.

Tot slot dient er ook rekenschap te worden gehouden met een maximum aan breedte van de boomstam, de hoogte van de boom, onderhoud, soort boom etc. Deze eigenschappen zijn niet meegenomen in de beoordeling van de fysieke potentie. In plaats van dit voor de gehele binnenstad uit te zoeken, geeft Figuur 4 de eerste handreiking waar begonnen kan worden.

Fysieke potentie boomaanplanting in de binnenstad van Groningen



Figuur 4. Fysieke potentie boomaanplanting

4.2.2 Groene daken

De volgende pagina laat Figuur 5 zien. Hier is de fysieke potentie van groene daken te zien voor de binnenstad van Groningen. De gebouwen met de hoogste potentie zijn te vinden in het centrum, het zuidelijke deel van de binnenstad en een paar in het noordelijke deel. Over het algemeen kan vanaf Figuur 5 worden gesteld dat een groot deel van de binnenstad van Groningen geschikt is voor groene daken. Een criteriapunt waar mee rekening is gehouden is of het gebouw een plat dak heeft of geen grotere helling dan 45 graden. Gebouwen die hierop goed scoren, hebben een hoge potentie en zijn daarmee geschikt voor zowel intensief als extensief groen. Wel moet er per dakconstructie worden bekeken in hoeverre deze werkelijk geschikt is. Extensief groen heeft namelijk een gewicht van 90 kg/m² nodig, terwijl intensief groen 250 kg/m² nodig heeft (Rooflife, 2016). Daarnaast dient er rekenschap te worden gehouden met de hoogte van het substraat, voor intensief groen moet deze namelijk 15-80 cm zijn. In sommige gevallen zelfs meer dan 100 cm (Rooflife, 2016). Voor extensief groen blijft het tot 15 cm (Hop, 2010). Daarnaast is er verschil in onderhoud, voor extensief is namelijk nauwelijks onderhoud nodig. Dit is handig wanneer in de toekomst grote aantallen groene daken worden geplaatst.

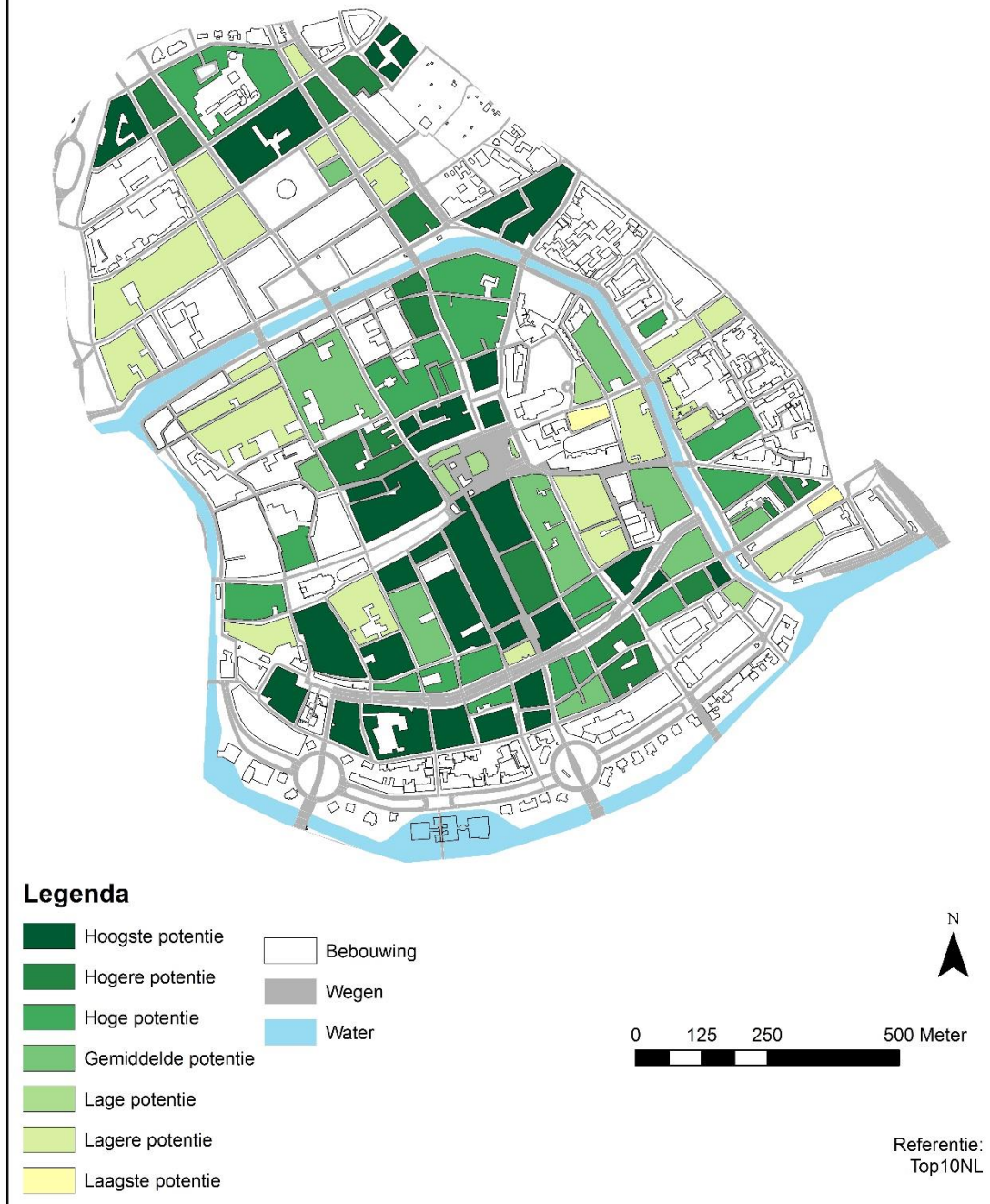
4.2.3 Groene gevels

De derde groene maatregel die is onderzocht is de realisering van groene gevels. Figuur 6 op pagina 24 laat de fysieke potentie hiervan zien in de binnenstad van Groningen. Groene gevels zijn nog nauwelijks in het straatbeeld van de binnenstad van Groningen te vinden, hier is dus zeker een slag te slaan. Er zijn twee soorten gevels die zijn meegenomen in het onderzoek met behulp van eigen observaties, namelijk begroeide gevels en van de gevel gescheiden groen. Er is rekening gehouden met de ruimte die nodig is voor elk type gevel.

Hoe groener het weergegeven huizenblok in Figuur 6 hoe hoger de potentie voor zowel een begroeide gevel als van de gevel gescheiden groen. Er zijn minder gebouwen met de hoogste potentie dan bij groene daken. Dit komt door het feit dat een huizenblok vanwege ruimtegebrek wel geschikt is voor begroeide gevel, maar niet voor van de gevel gescheiden groen. Dit haalt de hoogte van de waardering naar beneden. Hier dient rekenschap mee worden te houden, net als het feit dat er een keuze dient te worden gemaakt in de soort beplanting en het onderhoud. Bij gevelpanelen is dit namelijk een wekelijkse controle (Hop, 2010). Daarnaast is er verschil in kosten. Een begroeide gevel is goedkoper, maar het eindbeeld is wel veel later zichtbaar dan van gevel gescheiden groen (Hop, 2010). De vraag is dus of een groene gevel onderdeel uitmaakt van een toekomstvisie of huidig beleid.

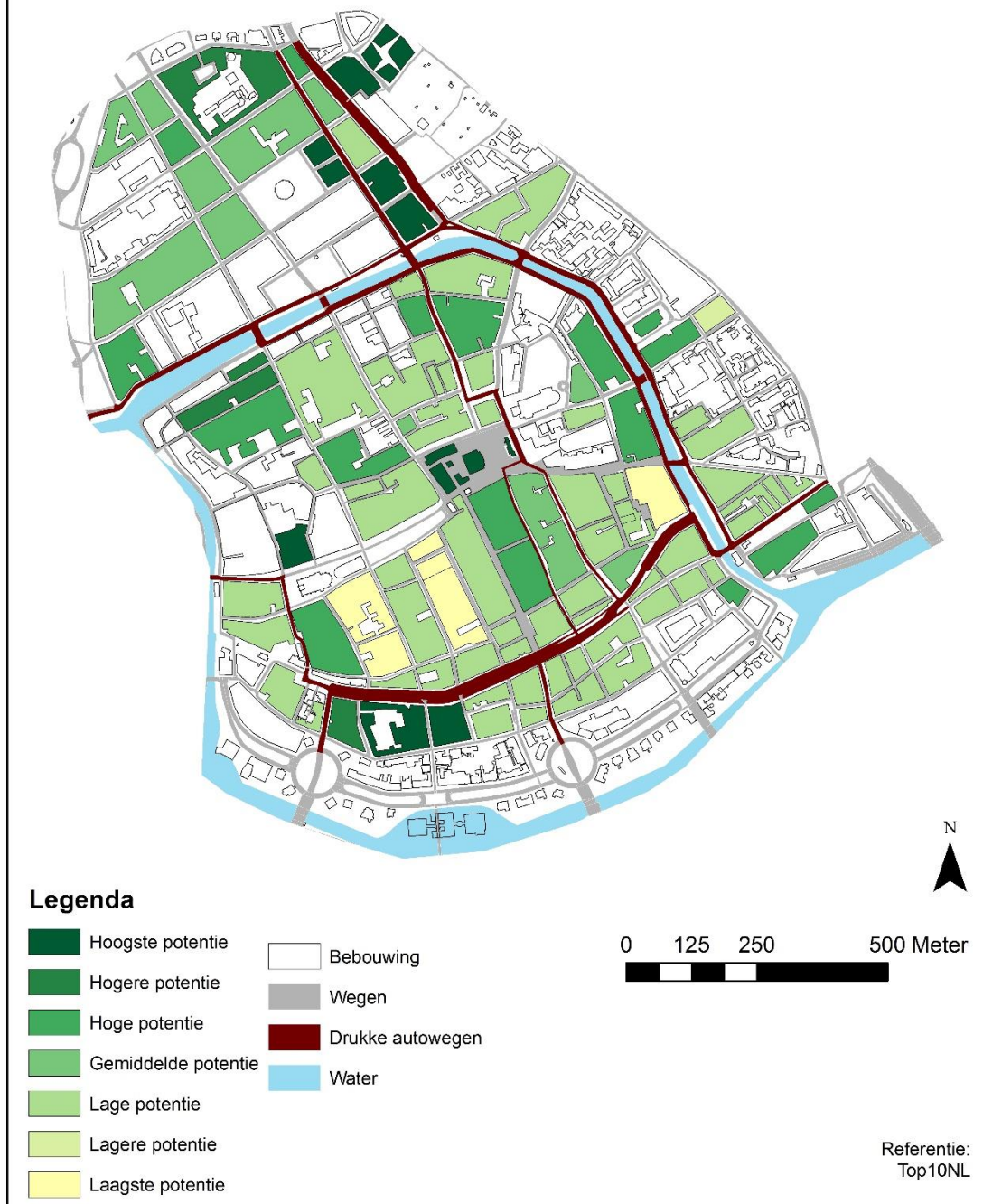
Een bijkomend voordeel van groene gevels is dat het een positieve invloed heeft op de aanpak van fijnstof door het oppervlakte vergrotend vermogen van bladeren (Ottel , 2011). Aangezien wegen met relatief veel auto- en busverkeer voornamelijk oorzaak zijn van luchtverontreiniging, zijn deze wegen weergegeven in Figuur 6. Groene gevels zullen dus een bijkomend voordeel hebben langs deze wegen, naast de aanpak van hitte. Vooral de gebouwen in het noorden en links in het zuiden hebben een goede mogelijkheid om langs de drukke wegen vergroening toe te passen.

Fysieke potentie groene daken in de binnenstad van Groningen



Figuur 5. Fysieke potentie groene daken

Fysieke potentie groene gevels in de binnenstad van Groningen



Figuur 6. Fysieke potentie groene gevels

4.3 Synthese: potentie van groene maatregelen in de meest urgente gebieden

4.3.1 Boomaanplanting

De vraag die na de fysieke potentie overblijft is waar de urgentie het grootst is voor vergroening. De urgentie is met behulp van randen om de fysieke potentie weergegeven, Figuur 7 op de volgende pagina laat dit zien. De urgentie is eerder aan bod gekomen naar aanleiding van de kwetsbaarheidsanalyse. Wat opvalt is dat waar de fysieke potentie het hoogst is, de urgentie ook het hoogst is. Er zijn dus zeker mogelijkheden om op deze gebieden het hitte-eiland effect aan te pakken met behulp van boomaanplanting. In het noordwesten is weliswaar de potentie erg hoog, maar de urgentie erg laag. In het midden is een geel vierkant te zien, dit is de Grote Markt. De urgentie is hier erg hoog, maar de potentie laag. Dit komt doordat het een open gebied is en er sprake kan zijn dat bomen een wind als lichte verkoeling tegenhouden. Ten noorden en zuiden van de Grote Markt zijn ook gebieden met een hoge urgentie, de fysieke potentie is hier wel hoger dan op de Grote Markt. Wel is de vraag in hoeverre daadwerkelijk ruimte is voor een groenstructuur aangezien dit niet al te ruime wegen zijn met veel verkeer. Alleenstaande bomen zouden hiervoor de oplossing kunnen bieden, ook al hebben deze een minder sterke invloed op het hitte-eiland effect dan een aaneenschakeling van bomen.

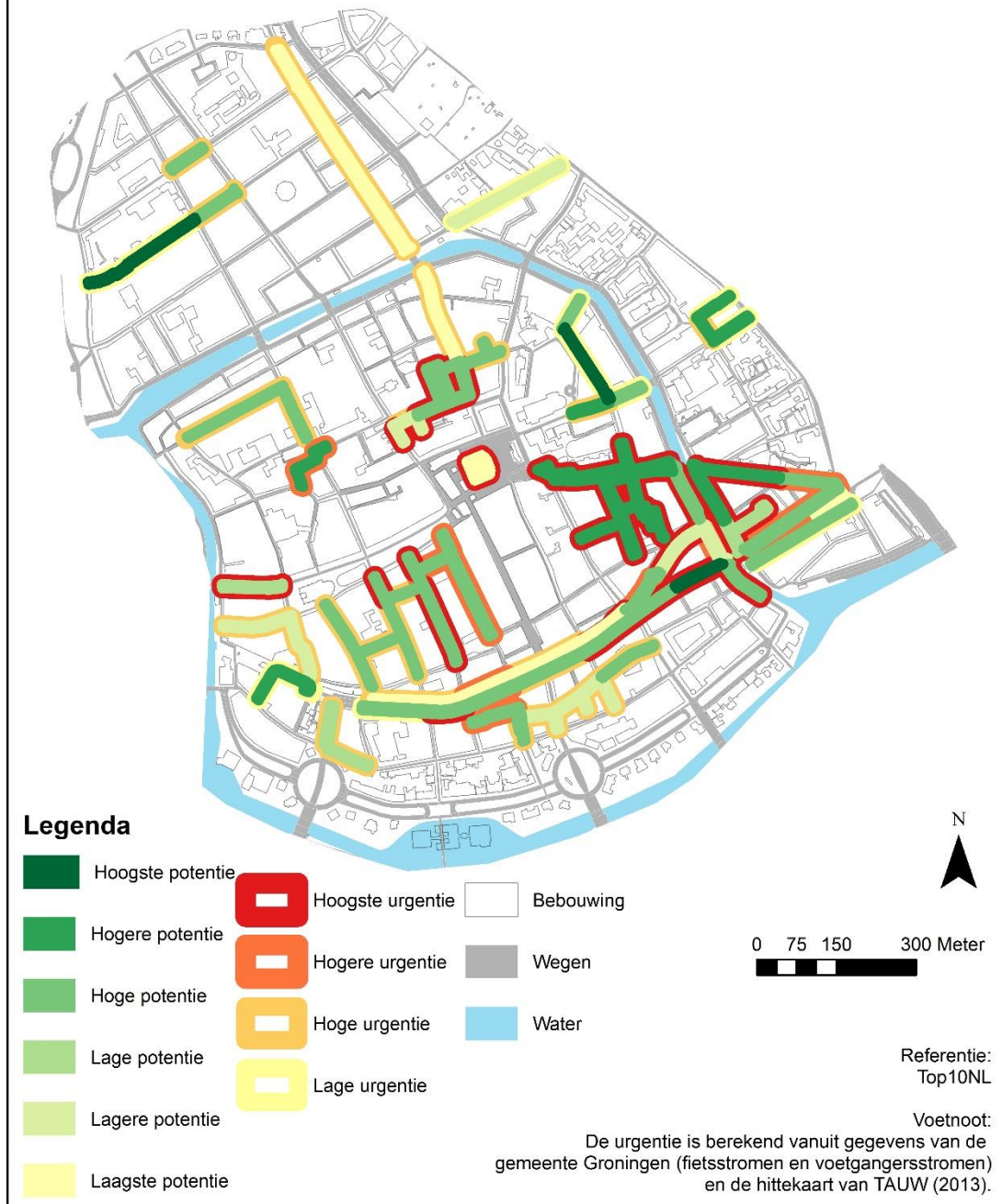
4.3.2 Groene daken

De fysieke potentie voor groene daken in relatie tot de urgentie is terug te vinden in Figuur 8, pagina 27. De kwetsbaarheidsanalyse, Figuur 3, liet zien waar zich groene daken bevonden in 2011. Hieruit was op te maken dat er een slag was te slaan om meer groene daken in de hitte gevoeligste gebieden te realiseren, aangezien in 2011 amper groene daken in het centrum lagen. Figuur 8 toont aan dat de gebieden met de hoogste potentie en hoogste urgentie samenkomen in het centrum. De slag om groene daken meer af stemmen op de heetste gebieden is dus zeker mogelijk. Waar de potentie voor boomaanplanting hier minder was vanwege de ruimte, is er dus voor vergroening wel een kans op basis van groene daken. Andersom geldt hetzelfde voor het oostelijke gedeelte; een lagere potentie voor groene daken, maar een hoge potentie voor boomaanplanting. Ook in het noordelijke deel van de binnenstad is een hoge potentie, de urgentie is hier echter iets lager.

4.3.3 Groene gevels

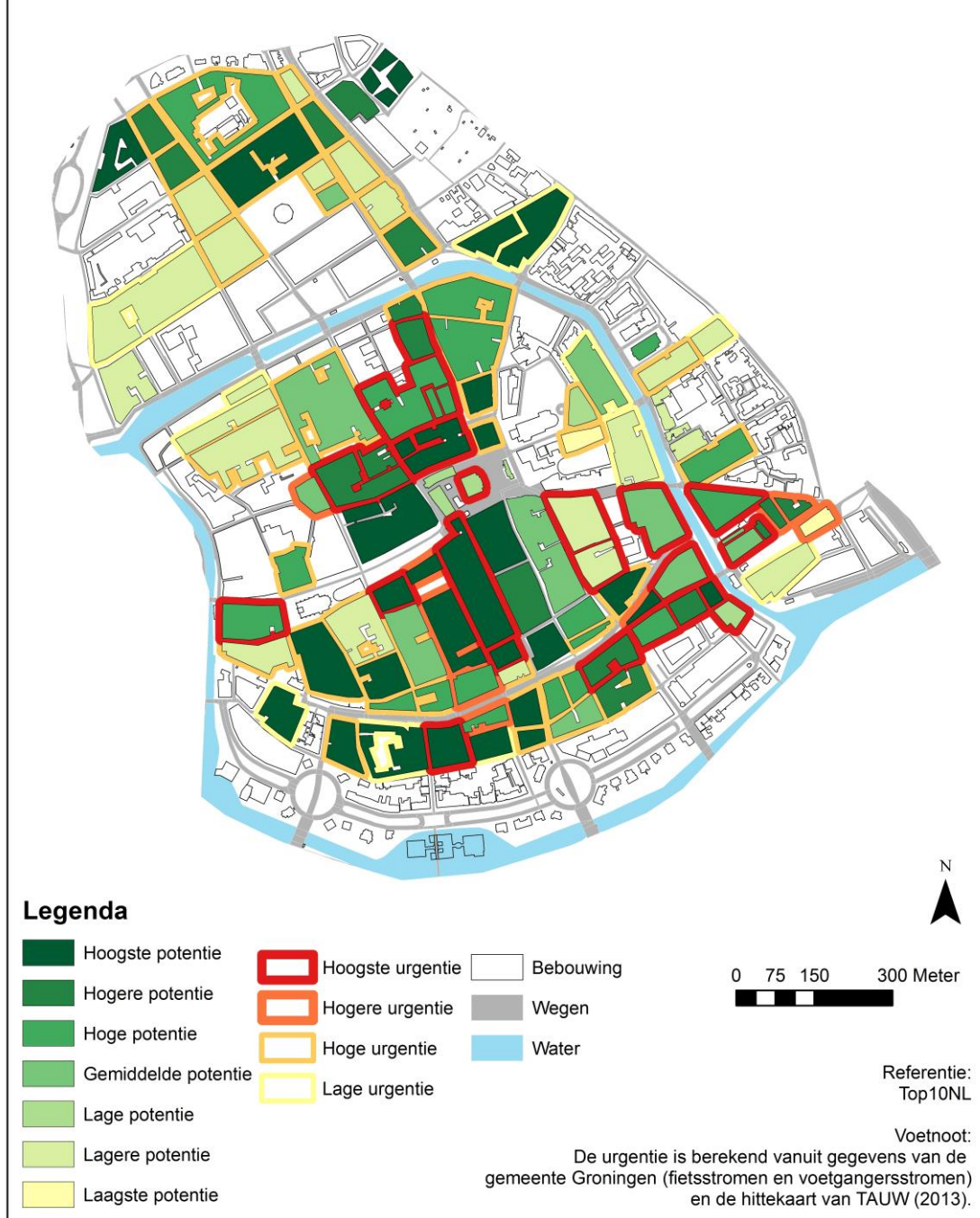
Net als bij groene daken geldt ook voor groene gevels dat er mogelijkheden liggen om de heetste gebieden aan te pakken met behulp van vergroening. Figuur 9 op pagina 28 toont de fysieke potentie in relatie tot de meest urgente gebieden. De gebouwen met de hoogste potentie en de hoogste urgentie zijn onder andere te vinden in het midden van het centrum, de Grote Markt. De vraag is echter of de gebouwen op de Grote Markt groene gevels moeten krijgen, de karakteristieke gevels gaan daar namelijk dan bij verloren. In het zuidelijke en noordelijke deel zijn ook gebouwen te vinden met de hoogste potentie, met de naast gelegen drukke wegen is er een goede kans om ook in te zetten op luchtverschuiving. Zoals eerder vermeld hebben groene gevels hier namelijk een helpende hand in. Voor de gebieden met een hogere potentie en hoge potentie geldt dat zij wel in aanmerking kunnen komen voor de hoogste potentie begroeide gevel. Voor de andere variant, van de gevel gescheiden groen, dient er namelijk minimaal 60 centimeter vrije ruimte te zijn. Aangezien in het centrum weinig speelruimte is, is dit niet realistisch. Voor begroeide gevels is maximaal 15 centimeter nodig (Leefmilieu Brussel, 2010). Hier liggen wel mogelijkheden om ook in het centrum over te gaan tot groene gevels.

Fysieke potentie boomaanplanting in de meest urgente gebieden



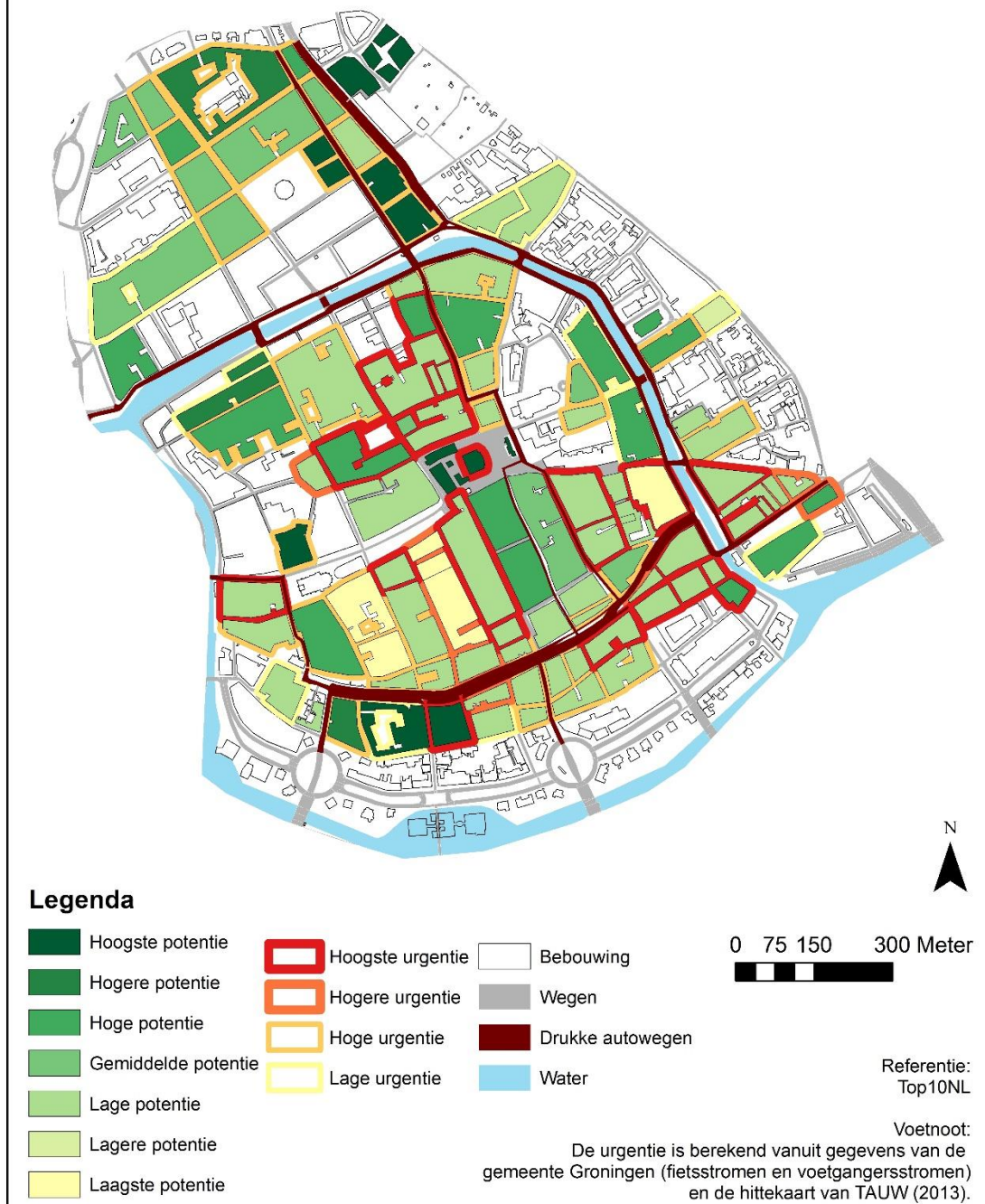
Figuur 7. Fysieke potentie boomaanplanting in relatie tot de urgentie

Fysieke potentie groene daken in de meest urgente gebieden



Figuur 8. Fysieke potentie groene daken in relatie tot de urgentie

Fysieke potentie groene gevels in de meest urgente gebieden



Figuur 9. Fysieke potentie groene gevels in relatie tot de urgentie

Hoofdstuk 5. Conclusie

Boomaanplanting, groene daken en groene gevels hebben een positieve werking op de terugdringing van hittestress. Dit komt door de schaduwwerking van bomen en de opvang van zonnestraling door groene daken en groene gevels. Daarnaast zorgen planten voor verkoeling door verdamping van water (Brink et al., 2013). Deze drie groene maatregelen zijn daarmee het antwoord op de eerste deelvraag die ging over welke maatregelen geschikt zijn voor vergroening en de aanpak van hittestress. Dat het huidige groen in de binnenstad van Groningen ook al invloed heeft op de hitte werd bevestigd door de hittekaart in relatie tot het groenbeheer van de gemeente Groningen. Daar waar zich groen bevond, waren zelden de hoogste temperaturen te vinden. De tweede deelvraag ging over de beoordeling van de fysieke potentie. Per maatregel zijn criteriapunten gezocht waaraan deze moeten voldoen om over te kunnen gaan tot implementatie. Een samengevoegde lijst is samengesteld en is meegenomen tijdens observaties door de binnenstad van Groningen. Met behulp van korte notaties en latere omzetting tot eindcijfers zijn genummerde gebouwen beoordeeld. Een ruimtelijke analyse is gemaakt met het programma GIS. Hieruit zijn de potentiële gebieden gekomen voor de toepassing van vergroening, deze gebieden hebben het antwoord gegeven op de laatste deelvraag die ging over wat de potentiële gebieden zijn voor vergroening tegen hittestress in de binnenstad van Groningen.

De hoofdvraag voor dit onderzoek was: *Wat is de fysieke potentie van vergroening in de binnenstad van Groningen als maatregel tegen hittestress?* Deze is beantwoord aan de hand van een kwetsbaarheidsanalyse die de binnenstad van Groningen opgedeeld heeft naar gebieden, oplopend naar noodzaak om er vergroening toe te passen. Vervolgens zijn de kaarten van de potentiële gebieden ieder afzonderlijk gecombineerd met de kwetsbaarheidsanalyse. Hiermee kon de urgentie in relatie tot de fysieke potentie geanalyseerd worden.

Uit deze analyse kwam naar voren dat het centrum extra zorg behoeft, aangezien hier de gebieden liggen met de hoogste urgentie. De fysieke potenties van groene gevels, en vooral groene daken geven een positief beeld om te investeren in vergroening van het centrum. Voor groene gevels geldt dat dit de variant is met de begroeide gevel, omdat dit minder ruimte in beslag neemt. Wel moet onderzocht worden welke gevelconstructies daar precies geschikt voor zijn. De inzet van groene gevels ten behoeve van verbetering van de luchtkwaliteit heeft een hoge potentie in het zuidelijke en noordelijke gedeelte van de binnenstad. De maatregel groene daken is de makkelijkste variant om in te zetten, vanwege hoge fysieke potenties in de binnenstad. Dit geldt voornamelijk voor extensief groen. De fysieke potentie van boomaanplanting ligt hoog in het oostelijke deel van de binnenstad, waar ook een hoge noodzaak is. Daarnaast is er meer ruimte voorhanden dan de drukke voetgangerswegen in het centrum. De vraag blijft welke bomen geschikt zijn voor de potentiële gebieden, denkend aan de bodemsoort en type boom.

Het proces om de criteriapunten per groene maatregel op een rijtje te krijgen verliep zonder problemen. Hetzelfde geldt voor aangeleverde data door onder andere de gemeente Groningen. Sommige data is enigszins verouderd, waaronder de ligging van groene daken, of niet volledig voor de gehele binnenstad, zoals de voetgangersstromen. Toch was de data zeker nuttig. De beoordeling van de criteriapunten per focusgebied verliep goed. Wel moet een kanttekening worden geplaatst dat dit is gebaseerd op eigen, misschien wat vluchtige, observaties. Het is daarmee minder exact dan bijvoorbeeld een uitwerking in een computermodel. Zo zijn de hellingen van de gevels en daken geschat vanaf straatniveau. Hetzelfde geldt voor de uitwerking van drukke autowegen, dit is ook gebaseerd op eigen waarnemingen aangezien hier geen data voor kon worden gevonden. Voor de

benodigde ruimte voor groene gevels is gekeken naar de drukte van de straat in relatie tot de breedte van de straat, het kan zijn dat er in een aantal gevallen meer of minder ruimte is dan in het onderzoek is waargenomen. Niet dat het onderzoek daardoor nietszeggend is, het geeft onder meer een handvat naar verder gefocust onderzoek in de gebieden met een hoge fysieke potentie en hoge noodzaak. Dit wil zeggen, onderzoek naar welke bomen waar precies kunnen worden geplaatst en in welke structuur. Daarnaast welke dak- en gevelconstructies nu precies geschikt zijn voor welke soort maatregel.

De fysieke potenties laten nu huizenblokken zien. Van belang om in toekomstig onderzoek een focus te vinden binnen de huizenblokken van dit onderzoek, dus per gebouw. Dan zal ook naar voren komen wie de eigenaren zijn en wat de meningen van de verschillende stakeholders zijn. Zijn bedrijven en bewoners meedenkend, of moet een overheid sturend zijn om tot een toekomstige gewenste temperatuurdaling te komen? Om vergroening dan op een goede manier te kunnen realiseren, is het zaak om goede afwegingen te maken tussen enigszins de behoeftes van stakeholders en de gewenste effecten van vergroening. Maar ook dient er rekening te worden gehouden met de te maken kosten, onderhoud en hoe de groene maatregelen passen in het straatbeeld. Wanneer er een beleid op poten komt omtrent hittestress in de stad Groningen, is het advies voor de gemeente om een start te maken in de gebieden met de hoogste urgentie in relatie tot de hoogste potentie. Om de bewoners en bezoekers van de binnenstad van Groningen te beschermen tegen hittestress is het echter niet voldoende om slechts hier en daar een boom of groene gevel te plaatsen. Dit heeft namelijk weinig tot geen effect om het hitte-eiland effect op de schaal van de binnenstad op te lossen. Een aaneenschakeling dient gevonden te worden, waar kunnen bomen daadwerkelijk geplant worden en in welke structuur kunnen groene daken en groene gevels het effectiefst geplaatst worden? Wanneer blijkt dat na verder onderzoek binnen de uitgelichte gebieden onvoldoende mogelijkheden zijn tot een aaneenschakeling, dient gekeken te worden naar de gebieden met een lagere potentie en een hoge urgentie. Het is namelijk goed mogelijk dat een huizenblok als geheel een lage potentie geeft, maar dat binnen het huizenblok wel mogelijkheden zijn voor enkele gevels en daken om verder te helpen aan een grotere groenstructuur dat verder gaat dan dat huizenblok alleen.

Belangrijk is om ook de werkelijke invloed van vergroening na implementatie in de gaten te houden. De kwetsbaarheidsanalyse heeft al laten zien dat de hoogste temperaturen nauwelijks nabij groen voorkomt. Hoe is de temperatuur na vergroening in de meest urgente gebieden? Een nieuwe hittekaart in relatie tot het groen biedt hiervoor een uitkomst. Dan zal ook naar voren komen, waar de intensiteit van groen nog te kort schiet en waar nog stappen dienen te worden gezet.

De focus lag in dit onderzoek op de binnenstad van Groningen, voor verder onderzoek kunnen ook andere delen/wijken met hoge bevolkingsaantallen van de stad Groningen worden onderzocht. Wat is de fysieke potentie daar voor een aangename temperatuur? Zijn er verschillen en overeenkomsten? Dit onderzoek heeft een methode gegeven om de fysieke potentie te meten van toekomstige maatregelen. De methode is breder toepasbaar dan de binnenstad van Groningen. Niet alleen voor andere wijken binnen de stad Groningen, ook daar buiten. Daarnaast leent de methode zich er ook voor om het te gebruiken voor andere criteriapunten dan die nu gebruikt zijn. Wanneer de criteriapunten worden aangepast aan de hand van de te nemen maatregel, kunnen dezelfde stappen worden doorlopen om zo tot fysieke potenties te komen in relatie tot de noodzaak. Het voordeel van de methode in dit onderzoek is dat van een groot gebied, zoals de binnenstad van Groningen, relatief snel een focus kan worden gevonden waar de te nemen stappen kunnen en moeten worden gezet.

Vergroening is een breed begrip. Dit onderzoek heeft drie maatregelen gegeven, maar daarbinnen zijn ook weer onderverdelingen te maken met elk hun specifieke eigenschappen. Belangrijk is om tot slot te benadrukken dat de focusgebieden met hoge noodzaak leidend moeten zijn en blijven om zo de aard van hittestress te kunnen aanpakken.

Literatuurlijst

Akbari, H., Pomerantz, M. & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70 (3), 295-310.

Alexandri, E. & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493.

Albers, R.A.W. & Döpp, S.P. (2008). *Klimaatverandering in Nederland: Uitdagingen voor een leefbare stad*. Utrecht: TNO Bouw en Ondergrond.

Atelier groenblauw. (2015). *groenblauwe ontwerptool*. Beschikbaar via: <http://www.groenblauwenetwerken.com/design-tool/?themeorder=2-3-4-5-6-7-8&theme=3&goal=heat&density=center>. Voor het laatst bezocht op 8 maart 2016.

Batty, M. (2010). Using Geographical Information Systems. In: Clifford, N., French, S. & Valentine, G. *Key methods in geography*. 2nd ed. London: SAGE Publications Ltd. 408-423.

Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M. & Pullin, A.S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155.

Brink, M., Alfonso, C., Van Rooij, J., Guliker, W., Hendriks, M., Schoenmaker, E., Lenzholzer, S., Hermy, M. & Nijhuis, L. (2013). *Tegen de Hitte*. Rotterdam: Drukkerij Tripiti.

Chiesura, A. (2003). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68, 129-138.

Döpp, S., Bosch, P. & Van Deelen, K. (2009). Climate Change in the Netherlands: Challenges for a safe and attractive urban environment. *TNO Built Environment and Geosciences*, 1-16.

European Environment Agency (2006). *Urban sprawl in Europe – the ignored challenge*. Beschikbaar via: http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_10. Voor het laatst bezocht op 9 juni 2016.

Garsen, J., Harmsen, C. & De Beer, J. (2005). The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance*, 10 (7), 165-168.

Hermy, M., Schauvliege, M. & Tijskens, G. (2005). *Groenbeheer – een verhaal met toekomst*. Berchem: Velt.

Hop, M. (2010). *Dak- en gevelgroen*. Deventer: Thieme.

Jim, C.Y. (2015). Assessing climate-adaptation effect of extensive tropical green roofs in cities. *Landscape and urban planning*, 138, 54-70.

Kleerekoper, L., Van Esch, M. & Salcedo, T.B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 30-38.

Klemm, W., Heusinkveld, B.G., Lenzholzer, S. & Van Hove, B. (2015). Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and urban planning*, 138, 87-98.

Klok, L. & Kluck, J. (2015). Reasons to adapt to urban heat (in the Netherlands). 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, 1-16.

- Lafortezza, R., Carrus, G., Sanesi, G. & Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban forestry & urban greening*, 8, 97-108.
- Lasage, R. & Van Drunen, M. (2007). *Klimaatverandering in stedelijke gebieden*. Den Haag: Nationaal Onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte.
- Leefmilieu Brussel (2010). *Een groendak aanleggen*. Brussel: Brussels Instituut voor Milieubeheer.
- Leefmilieu Brussel (2010). *Een groene gevel realiseren*. Brussel: Brussels Instituut voor Milieubeheer.
- Lenzholzer, S. (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 39-48.
- Mees, H. P., & Driessen, P. P. J. (2011). Adaptation to climate change in urban areas : Climate-greening London, Rotterdam, and Toronto. *Climate Law*, 2, 251–280.
- Memon, R.A., Leung, Y.C., & Liu C.H. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 120-128.
- Mentens, J., Hermy, M. & Raes, D. (2002). *Extensieve groene daken*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse gemeenschap.
- Mulleman, B. (2010). *Impact van de klimaatverandering op watertekorten voor drinkwaterproductie in Vlaanderen*. Leuven: Faculteit Ingenieurswetenschappen.
- Ottel , M. (2011). *The green building envelope: Vertical greening*. Delft: Faculty Civil Engineering and Geosciences.
- Poelman, F. (2015). Hitte-eiland mist groen. *Dagblad van het Noorden*, 04-07-2015.
- Rooflife (2016). *Veelgestelde vragen*. Beschikbaar via: <http://www.rooflife.nl/faq/>. Voor het laatst bezocht op 20 april 2016.
- Ros, E.J.M. & Van de Wouw, P.M.F. (2012). *Groene-gevelsysteem voor een tropisch klimaat*. Rapport 3. Eindhoven: Building Technology.
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Parshall, L., Gaffin, S., Lynn, B., Goldberg, R., Cox, J., Hodges, S., (2006). *Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces*. New York: State Energy Research and Development Authority.
- Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Parshall, L., Lynn, B., Cox, J., Goldberg, R., Hodges, S., Graffin, S., Slosberg, R.B., Savio, P., Dunstan, F. & Watson, M. (2009). Mitigating New York City's heat island: Integrating stakeholder perspectives and scientific evaluation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90 (9), 1297–1312.
- Rovers, V., Bosch, P. & Albers, R. (2014). Eindrapport Climate Proof Cities. Climate Proof Cities consortium, 1-128.
- Slabbers, S., Zonneveld, W. & Van Dijk, T. (2012). *Dictaat RO1: 'Ontwerpen in de Planologie*. Groningen: Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen.
- Smoyer, E., Rainham, D.G.C. & Newko, J.N. (2000). Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996. *Int J Biometeorol*, 44, 190-197.
- Van Ammers, H. & Kuypers, V. (2009). *Arnhem is een eiland. Een hitte-eiland. Steden raken tijdens hete zomers de warmte niet meer kwijt*. Amsterdam: Vrije universiteit Amsterdam.

Van Leeuwen, E., De Koning, P. & De Winter, H. (2012). *Toolkit klimaatgroen*. Wageningen: BELWadvies.

Wheeler, S. (2011). Urban Planning and Global Climate Change. In R.T. LeGates & F. Stout (Red.), *The City Reader fifth edition*. (pp. 458-467). Londen: Routledge.

Wong, N.H. & Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat international*, 29, 547-558.

Yang, J., Yu, Q. & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42, 7266-7273.

Bijlagen

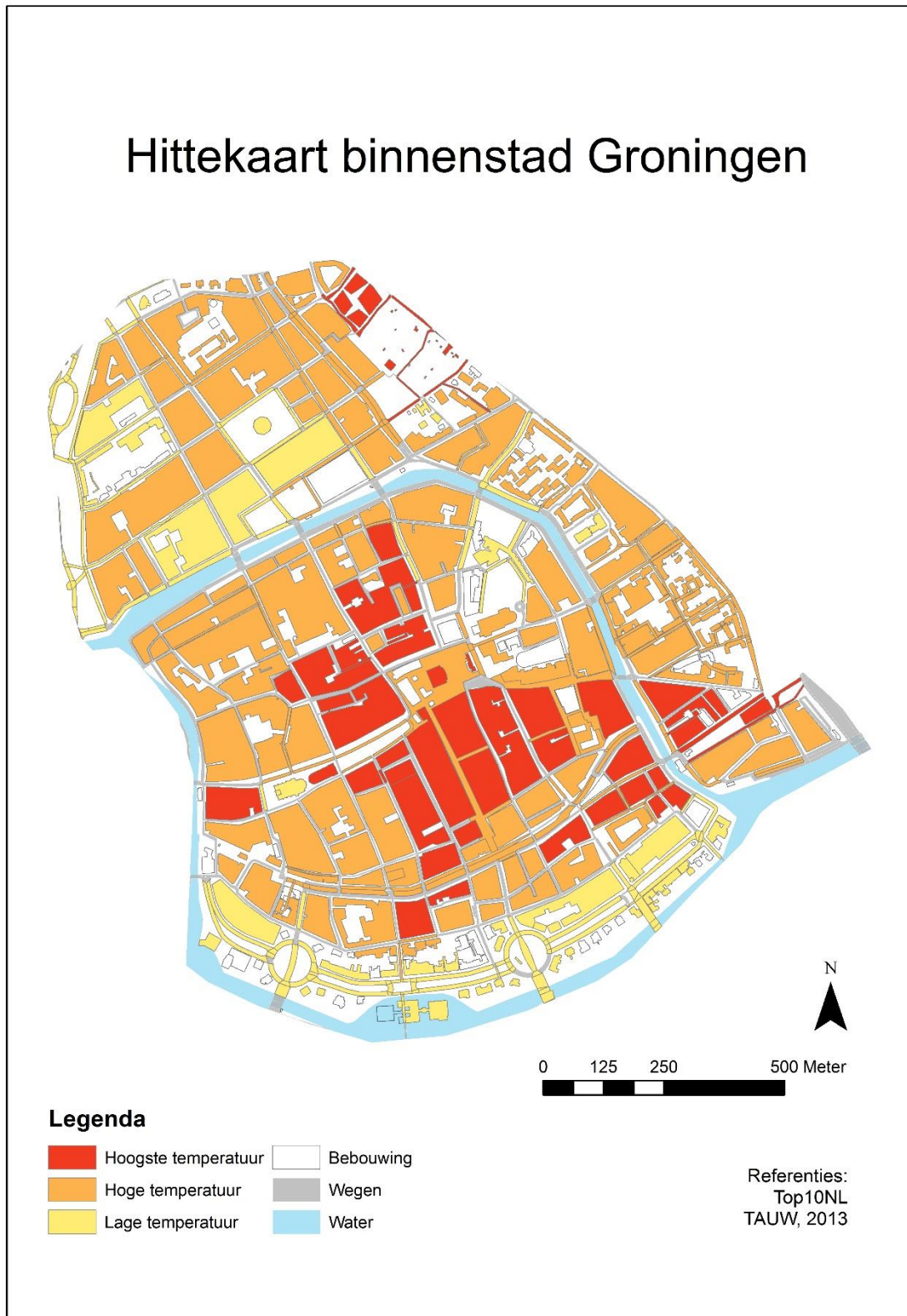
Bijlage 1 Basiskaart van de binnenstad van Groningen



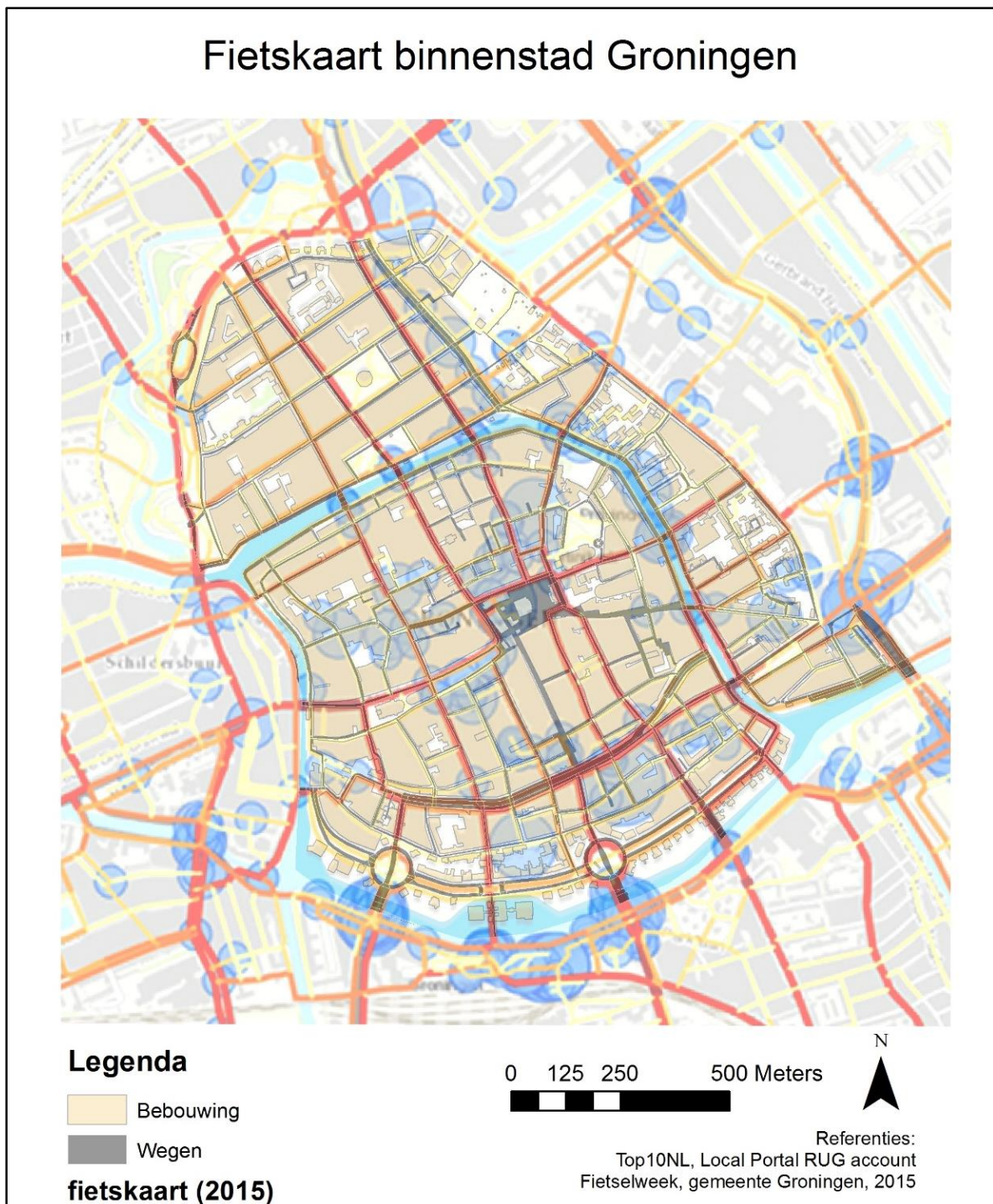
Figuur 10. Basiskaart



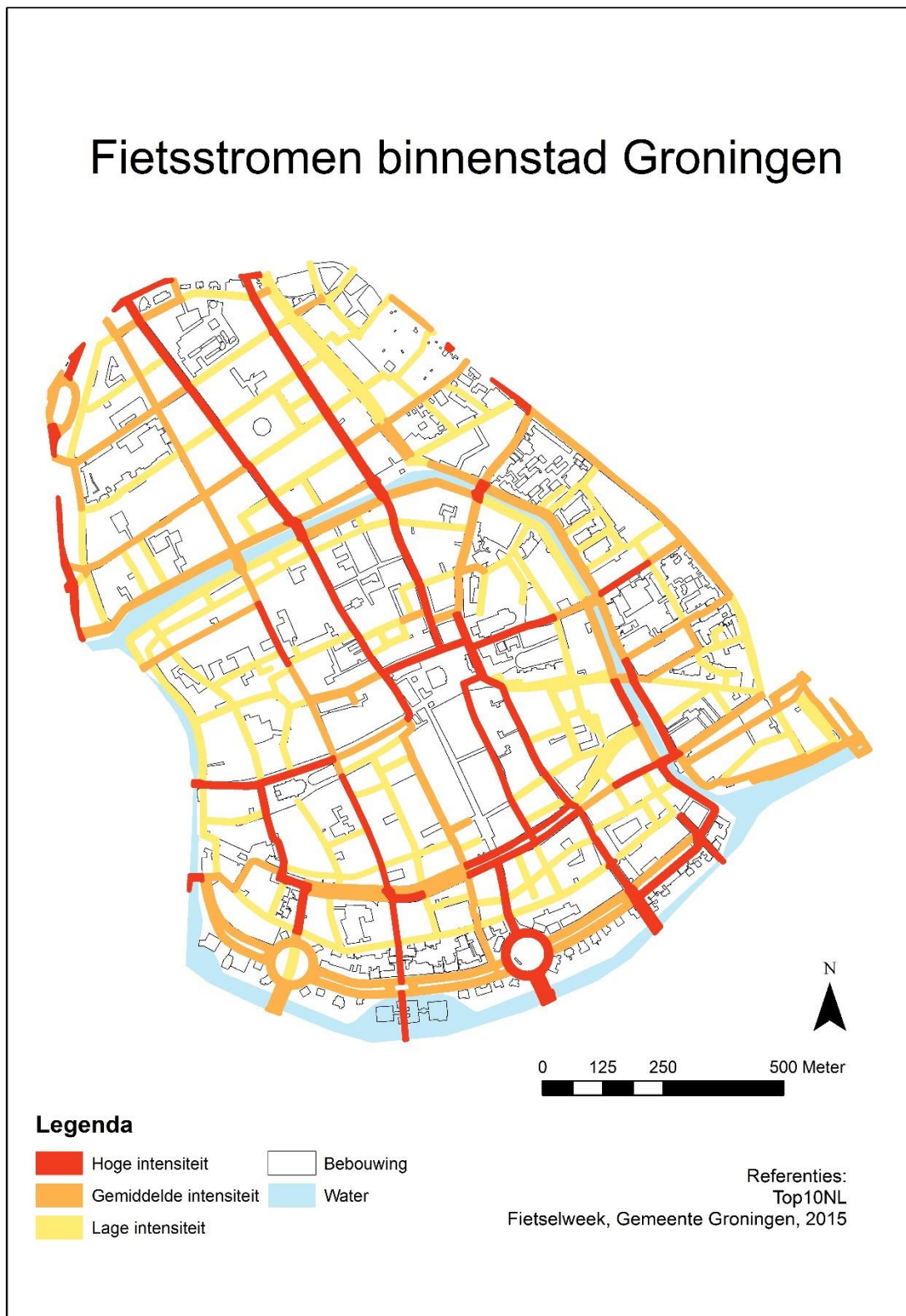
Figuur 11. Originele hittekaart



Figuur 12. Bewerkte hittekaart



Figuur 13. Originele fietskaart



Figuur 14. Bewerkte fietskaart

Bijlage 6 Voetgangersstromen binnenstad Groningen

Telpunt	week 20	week 21	week 22	week 23	week 24	week 25	week 26	week 27	week 28	week 29	week 30	week 31	week 32	week 33	week 34	week 35	week 36
907	60000	80000	100000	93100	88200	91800	98000	91800	102000	83300	88200	88200	86700	98000	93100	105000	102900
910	145000	165000	235000	285000	305000	325000	355000	310000	330000	230000	260000	290000	230000	270000	245000	285000	145000
913	224400	215000	235000	235000	225000	235000	255000	220000	230000	200000	193800	195000	175000	215000	200000	225000	200000
919	173400	155000	175000	170000	165000	175000	195000	171500	180000	166600	155000	155000	147000	180000	163200	195000	220500
941	46800	44100	42400	45000	42400	47700	51000	42300	43200	36400	35000	34300	32400	35700	40800	51000	49000
944	55000	45900	47700	43200	44100	49000	49000	40000	6300	9600	23500	29400	35000	37600	33600	33600	31800
946	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122500	230000	210000	230000	135000
977	45000	48000	47700	48000	45900	45000	45900	38400	37100	33600	30600	32400	32900	45000	40000	31800	32400
1001	0	0	0	0	0	0	0	55000	31800	37600	45900	65000	80000	142800	80000	96900	75000
1010	14700	0	22000	30000	20400	25500	26500	17600	28200	26500	21600	22000	24500	34300	26000	18800	33600
1012	30600	30600	27600	28200	27500	27500	28200	26000	25000	23500	23000	23000	23000	27600	26000	31200	31200
1014	110000	115000	110000	117600	110000	112200	110000	98000	93100	80000	73500	71400	76500	100000	98000	120000	112200
1015	0	52000	93100	50000	93100	95000	58800	52000	41600	58800	75000	45000	75000	50000	81600	60000	68600
1016	78000	70000	66300	73500	66300	68600	67200	57600	57600	49000	48000	46800	46800	73500	55000	70000	67600
1019	56100	53900	53900	52800	51000	51000	52000	45000	44100	38400	37100	40000	39200	52000	45000	55000	56100
1164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31200	88200	120000	102900	125000	137200
1165	0	0	0	0	0	0	0	117600	120000	96900	102900	96900	93100	127400	110000	135000	120000
1352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75000	100000
1357	0	0	0	0	0	0	0	0	25500	17100	18000	19200	18000	24000	20800	17100	23500

Tabel 3. Tellingen van voetgangersstromen in Groningen (gemeente Groningen, 2015)

totaal	gemiddelde	Telnr	Naam	adres
1550300	91194,12	907	Tosti World	vismarkt 30
4410000	259411,8	910	Coolcat Herestraat	herestraat 48
3678200	216364,7	913	HEMA Herestraat	herestraat 64
2942200	173070,6	919	We Herestraat	herestraat 37
719500	42323,53	941	HEMA Westerhaven	westerhaven 62
614300	36135,29	944	Talens	carolieweg 20
927500	185500	946	Coolcat Grote Markt	grote markt 20
679700	39982,35	977	Haastje Repje	gelkingestraat 41
710000	71000	1001	Woonn	poelestraat 21
392200	24512,5	1010	Bommen Berend	oude ebbingestraat 17
459700	27041,18	1012	Heerlijk Chocolate	folkingestraat 35
1707500	100441,2	1014	Groninger Kaasboetiek	astraat 5
1049600	65600	1015	Body Touch	oosterstraat 54
1061800	62458,82	1016	De Schoenenfabriek	akerkhof 17
822600	48388,24	1019	Ascoli	folkingestraat 5
604500	100750	1164	Lighthouse	stoeldraaierstraat 11
1119800	111980	1165	Sacha	guldenstraat 2
175000	87500	1352	Maxime	oosterstraat 40
183200	20355,56	1357	Musjes	zwanestraat 25

Tabel 4. Bewerkte tellingen van de voetgangersstromen in Groningen



Figuur 15. Voetgangersstromen

Bijlage 8 Genummerde kwetsbaarheidskaart



Figuur 16. Genummerde kwetsbaarheidsanalyse

Bijlage 9 Criterialijst groene maatregelen

Boomaanplanting

1. Weinig verkeer?
2. Geen open gebied?
3. Kunnen er bomen worden geplant aan de noordzijde?

Groene daken

5. Geen hoogbouw ten opzichte van de omgeving?
6. Compacte omgeving?
7. Plat dak? Of geen grotere helling dan 45 graden voor extensief groen?

Groene gevels

13. Compacte omgeving?
14. Minder hoog dan 30 meter?
15. Veel verkeer?
16. Kleinere helling van de gevel dan 45 graden (begroeide gevel) of 60 graden (van de gevel gescheiden groen)?
17. 1-15 cm ruimte vanaf de gevel (begroeide gevel)?
meer dan 60 cm ruimte vanaf de gevel (van de gevel gescheiden groen)?

Extra informatie groene daken:

Extensief groen: verzadigd gewicht van 90 kg/m²

Intensief groen: verzadigd gewicht van minimaal 250 kg/m²

Extensief groen, bestaat uit sedum, heeft nauwelijks onderhoud nodig.

Onderhoud ongeveer 2x per jaar, intensief groen door experts, vergelijkbaar met een tuin op de begaande grond

Extensief groen: meestal geen irrigatie nodig

Intensief groen: altijd nodig

Extensief groen: 2-15 cm substraat

Intensief groen: 15-80 cm substraat, voor bomen is meer dan 100 cm nodig.

Extra informatie groene gevels:

Begroeide gevel: geen watergeefstelsel nodig, weinig onderhoud

Van de gevel gescheiden groen: watergeefstelsel nodig en wekelijkse controle

Begroeide gevel: eindbeeld pas na meerdere jaren zichtbaar

Van de gevel gescheiden groen: eindbeeld meteen tot enkele maanden zichtbaar

(Bovenstaande criteriapunten zijn vastgesteld met behulp van informatie van Tessa Duste van Rooflife, Schoenmaker van BELW Advies, brochure Dak en Gevelgroen door Hop, GroenBlauwe Netwerken en Leefmilieu Brussel)

Bijlage 10 Invulling van de criterialijst

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
2	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
3	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
4	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
5	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
6	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
7	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
8	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
9	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
10	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
11	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
12	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
13	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
14	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
15	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
16	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
17	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
18	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
19	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
20	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
21	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
22	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
23	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
24	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
25	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
26	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
27	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
28	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
29	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
30	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
31	X	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 5. Waarderingen gebieden 1-31

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
32	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
33	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
34	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
35	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
36	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
37	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
38	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
39	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
41	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
42	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
43	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
44	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
45	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
46	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
47	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
48	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
49	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
50	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
51	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
52	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
53	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
54	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
55	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
56	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
57	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
58	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
59	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
60	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
61	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
62	✓	✓	✓		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 6. Waarderingen gebieden 32-62

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
63	X	✓	X		✓	✓	✓/0						✓	✓	✓	✓	✓
64	X/0	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
65	X/0	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
66	X/0	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
67	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
68	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
69	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
70	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
71	✓	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
72	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
73	X/0	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
74	X/0	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
75	X/0	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
76	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
77	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
78	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
79	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
80	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
81	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
82	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
83	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
84	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
85	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
86	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
87	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
88	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
89	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
90	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
91	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
92	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
93	X	✓	X		✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 7. Waarderingen gebieden 63-91

