

# CSI Trees: klimaatadaptieve bomen met toekomst

## Projectcontext en nieuwe Europese en Nederlandse winterhardheidszonekaarten

Het toekomstig boombestand voor de stedelijke omgeving zal moeten passen bij de toekomstige klimatologische omstandigheden en het toekomstig bodemwatersysteem in de stad om bomen vitaal te kunnen laten groeien. Dit toekomstig stedelijk boombestand staat centraal in het project CSI Trees: 'klimaatadaptieve bomen met toekomst'.

Dit onderzoek is bedoeld om steden in de toekomst empirisch onderbouwd te voorzien van boomsoorten die bewezen bestand zijn tegen de toenemende en vaak helaas gestapelde stressfactoren. Denk aan droogtestress gecombineerd met zoutstress door de langzaam oprukkende verzilting van laag Nederland. In dit artikel staat de context van het project en de nieuw berekende winterhardzonekaarten centraal.

### Stadsklimaat extremer

Ons stadsklimaat verandert momenteel snel. De opwarming van materialen zoals wegen, gevels en daken, samen met de warmte die wordt geproduceerd door menselijke activiteiten zoals verkeer en industrie, zorgt ervoor dat warmte zich overdag ophoopt en 's nachts langdurig maar onvoldoende uitstraalt. Dit leidt tot een aanzienlijke afwijking in de stralingsbalans van de stad in vergelijking met het platteland. Hierdoor is het in de stad vaak warmer. Dit heeft niet alleen een grote impact op ons thermisch comfort en onze gezondheid, maar ook op de vitaliteit van stadsbomen, bijvoorbeeld door het ontstaan van hitte-eilanden. Het vergroenen van de stedelijke omgeving is inmiddels één van de erkende en effectieve manieren om het stadsklimaat aan te passen aan het veranderende klimaat.

Bomen vormen de hoofdstructuur van veel terrestrische ecosystemen en tevens de hoofdstructuur in de stadsecologie. Maar de vraag doet zich voor of het huidig boombestand wel geschikt is om vitaal te kunnen blijven groeien en de van stadsbomen verwachte ecosystemediensten, zoals verkoeling, afvang van fijnstof, tijdelijke retentie van regenwater bij hoosbuien, bodembioogie, geluidsreductie etc. zullen kunnen blijven leveren. Het antwoord erop is helaas negatief. Studies wijzen uit dat een groot percentage van de soorten die momenteel worden toegepast in steden in gematigde streken wereldwijd, de komende 50 jaar zullen gaan wegwijnen en afsterven als gevolg van de veranderende abiotische factoren. Er wordt in toenemende mate een beroep gedaan op de veerkracht (plasticiteit) van het toegepaste sortiment waarbij onder- en bovengrenzen van toleranties van de boomsoort worden overschreden. Veel van de huidig toegepaste soorten hebben hun oorsprong in vochtige, koele loofbossen. Door de klimaatverandering is het essentieel geworden om nu te anticiperen op de toekomstige geschiktheid van stadsbomen. Dit vormt de legitimatie en het belang van CSI Trees. Het onderzoek beoogt een bijdrage te leveren aan de groene keten door het in beeld brengen van nieuwe verdienmodellen voor boomkwekers

en hoveniers, maar vooral ook een bijdrage te leveren aan de leefbaarheid van de toekomstige groene stad.

### **Mondiale klimaatverandering**

Het kan niemand zijn ontgaan, dat we midden in een versnelling van de opwarming van de aarde zitten. De milieuomstandigheden veranderen sneller dan houtige gewassen zich onder natuurlijke omstandigheden kunnen aanpassen. Dat geldt voor natuurlijke ecosystemen, maar helaas is het stedelijk ecosysteem nog ongunstiger omdat hier geen sprake is van natuurlijke verjonging en wij bomen plaatsen op een specifieke standplaats. De opvatting dat het inheemse sortiment beter was aangepast aan de klimaatomstandigheden, gold in de periode waarin er sprake was van een redelijk stabiel klimaat. Inmiddels lijkt dit een achterhaalde opvatting geworden. Een groot percentage van het inheemse genetische materiaal staat onder druk. Het kwijnt weg, wordt extra vatbaar voor ziekten en plagen of sterft versnelt af. In de afgelopen decennia hebben wetenschappers veel geleerd over het klimaatsysteem en hoe het reageert op de uitstoot van broeikasgassen. Hierdoor kan met steeds meer zekerheid gezegd worden dat deze veranderingen zich zullen voortzetten. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) benadrukt in zijn meest recente samenvatting, het 6e Assessment Report, dat er onmiskenbaar bewijs is voor de wereldwijde opwarming en de invloed van de mens daarop. Op basis van deze informatie heeft het KNMI eind 2023 nieuwe klimaatscenario's voor Nederland ontwikkeld, bekend als KNMI'23. Deze nieuwe scenario's zijn een actualisatie en verfijning van de eerdere scenario's uit 2014 (KNMI'14). Omdat de scenario's uit 2023 nog niet gepubliceerd waren bij aanvang van het onderzoek is hier gebruik gemaakt van de scenario's uit 2014.

### **Het CSI Trees vooronderzoek**

De afgelopen twee jaar heeft het CSI Trees-project gewerkt aan het uitwerken van een onderzoekssystematiek en het opbouwen van een onderzoeksteam om te komen tot een systematische benadering voor het vinden van nieuwe, voor de toekomst geschikte, stadsbomen.

Moderne snelle morfo-fysiologische analysemethoden maken het mogelijk een classificatiesysteem voor de toepassing van stadsbomen vast te stellen op basis van empirisch verkregen gegevens ter ondersteuning van 'expert judgement' en veldmonitoring. In het werkveld wordt wel gesproken over 'klimaatbomen'. In de definitie van CSI Trees zijn dit boomsoorten die tolerant zijn voor de belangrijkste toekomstige abiotische factoren met een periode van 50-60 jaar vooruit.

### **Fenotyperen, wat is dat?**

We onderzoeken bij de huidige toegepaste stadsbomen en zaadherkomsten, maar later in het project bij nieuwe in beeld gebrachte boomsoorten, de reactie op aangeboden stress, zoals droogtestress, zoutstress, tijdelijke wateroverlast tijdens het groeiseizoen of combinaties hiervan etc. Deze methodiek, waarbij we de morfologie en fysiologie van planten onder laboratoriumomstandigheden meten, noemen we fenotyperen. Dit houdt in dat we heel precies en onder gelijke omstandigheden bij grote aantallen verschillende boomsoorten de fysiologische reacties op stress registreren met moderne detectiemethoden en camerabeelden. De verzamelde gegevens worden vervolgens geanalyseerd en geclassificeerd. Hier-



Marc Ravesloot in het NPEC (Netherlands Plant Eco-phenotyping Centre in Wageningen)



Proefopstelling in het NPEC

uit ontstaan verschillende ‘ideaaltypen’ bomen die geschikt zijn voor diverse soorten standplaatsen. De bestaande kennis uit de praktijk kan daarna worden gekoppeld aan de inzichten die we uit het onderzoek hebben verkregen en vice versa.

### **Een zoekprofiel op basis van toekomstige klimaatomstandigheden**

Terwijl het huidige boombestand is ontstaan uit nieuwsgierigheid, passie en de typische Hollandse handelsgeest, dwingt de klimaatverandering ons nu om gericht te werk te gaan bij de selectie van stadsbomen. Er zal veel meer met focus moeten worden gezocht. Dit wordt in CSI Trees uitgevoerd door de toekomstige milieuomstandigheden in de stad te berekenen op basis van de KNMI klimaatscenario’s en de meest bepalende factoren die gezonde groei bepalen (‘forward casten’). Dit wordt samengevat in een zoekprofiel. Dit zoekprofiel wordt gekoppeld aan geografische data van de soort uit het oorspronkelijke verspreidingsgebied. Hieruit selecteert het systeem boomsoorten waarvan verwacht wordt dat ze voor het toekomstig stadsklimaat bestendig zijn (‘back casten’).

### **Welke abiotische factoren veranderen in de stedelijke omgeving?**

Iedere boomsoort heeft zijn eigen set aan toleranties die hem geschikt maakt voor een specifieke standplaats. In kolom 1 van tabel 1 staan de verschillende stress-typen die in de boomfysiologie worden onderscheiden, in kolom 2 de specifieke stress die het stress-type veroorzaakt en in kolom 3 de fysiologische en vaak zichtbare effecten daarvan. In de tabel zijn een aantal factoren vetgedrukt. Dit zijn de factoren die voor Nederlandse stadsbomen sterk aan het veranderen zijn en erg bepalend zijn voor gezonde groei.

### **Boomsoorten zoeken met focus**

Er zijn momenteel wereldwijd ongeveer 55.000 boomsoorten beschreven. Een recente studie geeft aan dat naar verwachting nog circa 7000 boomsoorten gevonden en beschreven zullen gaan worden, indien ontbossing dat niet onmogelijk maakt. Daarbij wordt door de betreffende onderzoekers opgemerkt dat die zich naar verwachting voornamelijk in de tropische regenwouden bevinden en maar in beperkte mate in de gematigde streken. Circa tweederde van de beschreven soorten zijn

<i>Abiotisch stress type</i>	<i>Veroorzaakte abiotische stress</i>	<i>Fysiologisch effect</i>
<i>Water</i>	<b>tekort</b> <b>overmaat</b>	<b>droogte (gereduceerde groei &gt; afsterven)</b> <b>zuurstofschuld wortelzone (afsterven wortels)</b>
<i>Temperatuur</i>	vorst koude <b>hitte</b>	bevriezing planten (delen) endo dormancy problemen <b>bladverbranding, stamscheuren</b>
<i>Licht/radiatie</i>	laag <b>hoog</b> infra rood ultra violet (uv) ioniserende straling	verminderde koolstofvastlegging <b>blad en stamverbranding</b> overmatige opwarming bladschijf/reductie groei bij toename beschadiging DNA en membranen bij toename beschadiging DNA
<i>Bodem</i>	<b>verzilting</b> mineralen tekort mineralentoxiciteit ph luchtverontreiniging <b>bodemtemperatuur</b> <b>bodemverdichting</b>	<b>verminderde groei en sterfte</b> verminderde groei wortelschade chlorose en gereduceerde groei verzuring bodem/vermesting bodem <b>veranderde fenologie</b> <b>gereduceerde groei</b>
<i>Atmosfeer</i>	wind luchtdruk geluid magnetische straling <b>dampdrucktekort (rv + t)</b>	scheefgroei/windworp afname fotosynthese bij toename totale luchtdruk toename geluid: toename groei en verdediging effect op zaadkieming/bloeitijd/fotosynthese <b>&gt; verhoging stomataweerstand: zomerbladval</b>

niet geschikt om vitaal te kunnen groeien in onze gematigde streken. Maar dan blijft er nog een heel groot potentieel over, dat maar gedeeltelijk in Europa aanwezig is in botanische tuinen, in cultuur is gebracht door de Europese boomkwekerijsector of inmiddels is geïntroduceerd. De natuur heeft nog een enorme potentie.

### **Langetermijnstrategieën nodig**

Een zorgvuldige introductie van nieuw genetisch materiaal vraagt van de groenketen een langetermijnvisie. Er moet namelijk rekening gehouden worden met de duur van verschillende deelstudies die uitgevoerd moeten worden. Bijvoorbeeld risico-inventarisaties op fyto-sanitair vlak en risico's op invasiviteit, correcte juridische werkwijze met inachtneming van het Nagoya protocol, juiste inschrijvingen in het rassenregister, het vaststellen van de cultuurwaarde tot en met de eerste introducties van de soort in de stedelijke omgeving vraagt

van de groenketen een langetermijnvisie. De snelheid van de verandering van het (stads) klimaat noopt ons ertoe hierop sterk in te zetten. Een recente studie uitgevoerd in 80 grote steden wereldwijd verwacht dat 70% van het huidig boombestand dat wordt toegepast in de stedelijke omgeving niet meer zal voldoen binnen een periode van 50 jaar.

De klimaatsverandering en het terugdringen van CO<sub>2</sub>-emissies lijkt zelfs op Europese schaal op een autonoom proces. Indien niet mondiaal met vereende krachten wordt samengewerkt om gemaakte reductieafspraken na te komen, overkomt de verandering ons en resteren ons voor het stadsboombestand globaal maar twee opties. We blijven werken met het bestaande sortiment waarvoor de stedelijke omgeving steeds ongunstiger wordt en maatschappelijke kosten moeilijk in te schatten zijn. Of we gaan als groenketen met de stroom mee en passen ons boombestand heel weloverwogen en gecontroleerd aan, aan de

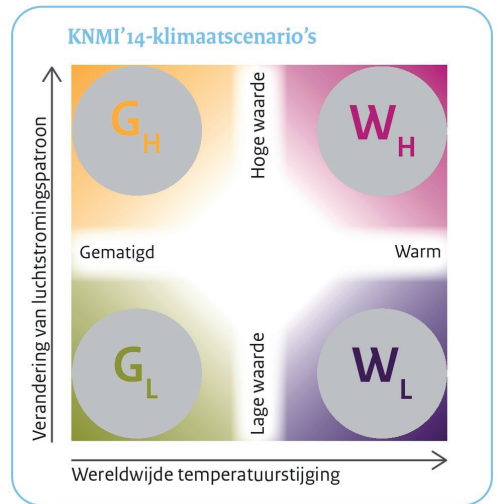
toekomstige bodem- en klimaatomstandigheden. CSI Trees zet in op de laatstgenoemde strategie. Dat vraagt om een beleidsmatige beweging van reactief naar proactief.

### Update verouderde winterhardheidszonekaarten

Hieronder gaan we in op één van de traditioneel meest bepalende factoren voor boomgroei in gematigde streken: de winterhardheid. Winterhardheid representeert de minimale temperatuur die een plant kan overleven. Het vormt de fysiologische ondergrens voor de verspreiding van een soort in natuurlijke ecosystemen of de overlevingskans van een soort na aanplant, op basis van zijn koudetolerantie. Het wereldwijd meest erkende systeem voor de weergave van winterhardheid is het USDA (United States Department of Agriculture)-systeem uit de jaren '60 van de vorige eeuw. De rekenregels van de USDA en de bijbehorende zone-indeling zijn daarom gebruikt voor de herberekeningen van de Nederlandse winterhardheidszones tot 2085. Inmiddels is sinds de invoering de schaal aangepast van 1a tot 23b, 26 stappen van 5 Farenheit.

### Rekenmethode

Een winterhardheidszone voor een bepaalde locatie wordt berekend als het gemiddelde van de jaarlijkse laagste minimumtemperatuur over een periode van 30 jaar. Door de USDA definities van de winterhardheidszones te gebruiken kunnen deze gemiddelde minima ingedeeld worden in één van de 26 zones. In totaal zijn alle - ruim 25.000 - Europese WMO weerstations die zijn aangesloten bij het ECA&D (European Climate Assessment and Dataset ) en de initiële kwaliteitscontrole hebben doorstaan, gebruikt om de winterhardheidszones van Europa te berekenen van 1950 tot nu, in stappen van 10 jaar. Voor Nederland zijn tevens de winterhardheidszones berekend tot 2085. Voor de verwachtingen is gebruik gemaakt van de voorlaatste KNMI klimaatscenario's, die dateren uit 2014. De historische Europese winterhardheidszone kaarten van 1950 tot het heden zijn te zien als timelaps door het scannen van de volgende QR code:



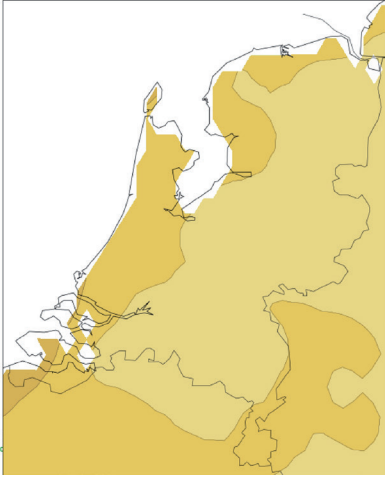
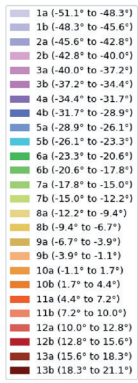
KNMI'14-klimaatscenario's

Het KNMI hanteert twee grootheden voor het opstellen van de klimaatscenario's. De ene is gebaseerd op de verwachte wereldgemiddelde temperatuurstijgingen (gematigd 1°C of sterk: 2°C). De andere gaat over de toekomstige groot-schalige luchtstromen: of de luchtstromen blijven grotendeels gelijk met voornamelijk westelijke wind, of ze worden sterker en gaan afwijken met meer oostenwind. Voor het Nederlandse klimaat zijn deze scenario's toegepast om een verwachting te maken van de toekomstige winterhardheid. Deze zijn weergegeven in de kaarten van de verwachte winterhardheidszones van Nederland in 2030, 2050 en 2085.

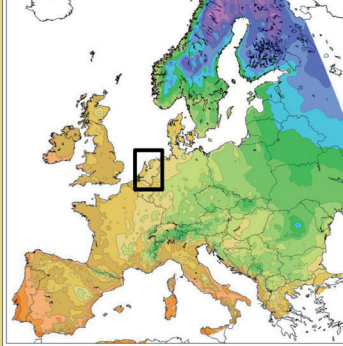
### Wat betekent klimaatverandering voor vitale boomgroei?

Wat betekenen de nieuwe voorspellende winterhardheidszonekaarten voor de productie van boomkwekerijgewassen en de toepassing van planten op hun uiteindelijke standplaats die zij ze geven? De winterhardheidszone wordt berekend op basis van de laagst gemeten temperatuur over 30 jaar op een specifieke locatie. De herberekende winterhardheidszonekaarten geven een goede eerste richtlijn aan telers en groenverzoekers over welke gewassen/bomen het goed zouden kunnen gaan doen in Nederland in de toekomst. Er zijn wel een paar kanttekeningen om rekening mee te houden bij het gebruik hiervan:

Winterhardheidszones 1991-2020

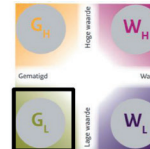
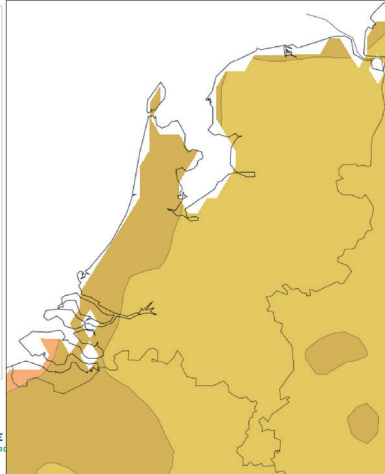
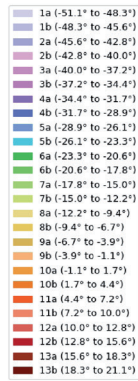


Winterhardheidszones 1991 - 2020

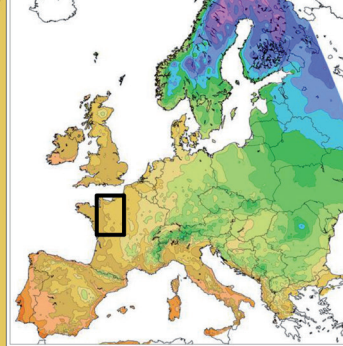


De huidige winterhardheidszonekaart van Nederland

Winterhardheidszones 2085, GL scenario

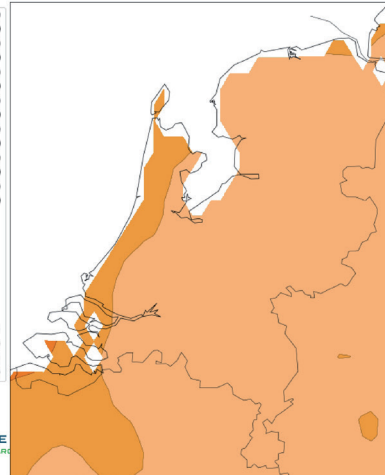


Winterhardheidszones 1991 - 2020

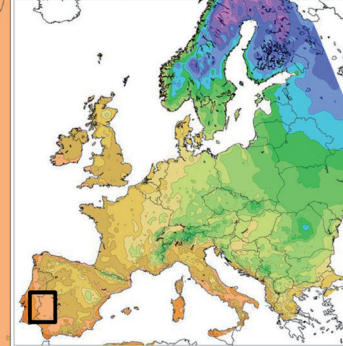


Het GL scenario beschrijft een toekomst waar de winterhardheidszones zeer weinig veranderen ten opzichte van nu. In het kader de regio in Europa nu waarmee deze winterhardheidszone vergelijkbaar is.

Winterhardheidszones 2085, WH scenario



Winterhardheidszones 1991 - 2020



Het WH scenario beschrijft een toekomst waar de winterhardheidszones zeer veel veranderen. In het kader de regio in Europa waarmee deze winterhardheidszone op dit moment vergelijkbaar is.

1. De winters worden door de klimaatverandering onvoorspelbaarder. Een zeer strenge winter met bijvoorbeeld een late strenge wintervorstperiode behoort nog steeds tot de mogelijkheden. De winterhardheidslijst, gekoppeld aan de nieuwe update van winterhardheidszones, zal dan voor zachte en gemiddelde winters redelijk betrouwbaar zijn. Gesteld wordt dat wanneer een gewas in zijn minimumzone wordt geplant, er een overlevingskans van 80% bestaat. Voor een strenge winter is de kans op vorstschade van veel meer factoren afhankelijk, zoals: genetische herkomst van een zaadherkomst, de lengte van de vorstperiode, kale vorst of vorst met sneeuwdek, juveniliteit, windrichting en schraalheid van de wind en vochttoestand van de bodem. In die gevallen is de winterhardheidslijst in combinatie met de nieuwe winterhardheidszondekaarten minder betrouwbaar.
2. Voor de meeste gewassen is late wintervorst het meest bedreigend. Vooral wanneer de fase van opgelegde winterrust (=aan de koudebehoefte van de plant is voldaan) is doorbroken en de plant actief wordt, verdwijnt binnen 24-48 uur de tot dan toe opgebouwde vorstresistentie. Een late tweede wintervorstperiode kan dan gemakkelijk tot vorstschade leiden, zowel in de kwekerijfase als bij aanplant. Hernieuwde opbouw van vorstresistentie in het voorjaar, na een warmere periode, is boomsoortafhankelijk en dit fysiologisch proces is ook veel trager (weken). Veel gewassen kunnen niet hernieuwd vorstresistentie opbouwen gedurende een winterperiode, omdat de fysiologische prikkel hiervoor, het korter worden van de daglengte, in het voorjaar ontbreekt.

## Fenologie

Het zachter wordende klimaat heeft consequenties voor de fenologie van (bloem)knoppen. Het versnellen en vervroegen van de groei- en bloeistadia (fenologie) maakt de kans op nachtvorstschade groter, wat grote consequenties kan hebben, met name in de fruitteelt. Het selecteren op zeer laat bloeiende fruitrassen lijkt belangrijker te gaan worden in dit opzicht. Er zijn ook aanwijzingen dat het uitlopen door

de zachte winters wel wordt vervroegd, maar de data waarop late nachtvorst optreedt niet of veel minder wordt vervroegd. Dat maakt schade groter omdat de gevoeligheid toeneemt met het fenologisch stadium.

De hier beschreven inzichten en resultaten komen uit het project CSI trees: klimaatbomen voor de toekomst. Het betrof een tweejarige voorstudie voor een te schrijven hoofdstudie die vanaf april 2025 gaat starten. Het werd gefinancierd vanuit het Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat. Cofinanciering wordt opgebracht door het Nederlandse bedrijfsleven: Branche Organisatie Anthos, Stichting De Groene Stad, Boomkwekerij Gebr. Van den Berk, Boomkwekerijen Udenhout, Boot & Dart, Ebben Boomkwekerijen, Mart van den Oever Boomkwekerijen, Gemeente Almere, Gemeente Amsterdam, Gemeente Apeldoorn, Gemeente Arnhem, Gemeente Den Haag, Gemeente Dordrecht, Gemeente Leeuwarden, Gemeente Rotterdam, Gemeente 's-Hertogenbosch en Gemeente Utrecht. CSI staat voor Crime Scene Investigation, het met focus speuren naar een dader met een forensisch onderzoeksteam. CSI staat ook voor Citizen Science Investigator oftewel de burger betrekken bij wetenschap om hen actief in contact brengen met kwesties die hun dagelijkse gezondheid en de kwaliteit van hun lokale omgeving beïnvloeden. CSI-Trees is de projectnaam die in overdrachtelijke zin de specifieke speurtocht naar nieuwe boomsoorten weergeeft, met daarbij de burgerwensen niet uit het oog verliezend.

Meer informatie:

Marc Ravesloot, marc.ravesloot@wur.nl, M 06 22193312

Auteurs:

Marc Ravesloot en Marilena Willemsen werken bij WUR BU Agrosystems Research, Lucas Hulsmans, Gert-Jan Steeneveld en Bert Heusinkveld bij WUR Department of Environmental Sciences, Meteorology and Air Quality

## Literatuur

- Esperon-Rodriguez, M. et al. (2022) Climate change increases global risk to urban forests. *Nature Climate Change*, Vol 12, p950-955.
- Hoffman, M.H.A. & M.B.M. Ravesloot (1989). *Winterhardheid van Boomkwekerijgewassen*. Boomteeltpraktijkonderzoek. Boskoop.
- Hulsmans, L.M. et al (2023). Schuift Nederland tot 2085 vier winterhardheidszones op? Verwachtingen op basis van 25.000 weerstations. *Tuin & Landschap* 14/15, 7 juli.
- Wamelink G.W. & K. Kurvers. The Netherlands may lose up to 40% of its plant species due to climate change (in prep.)