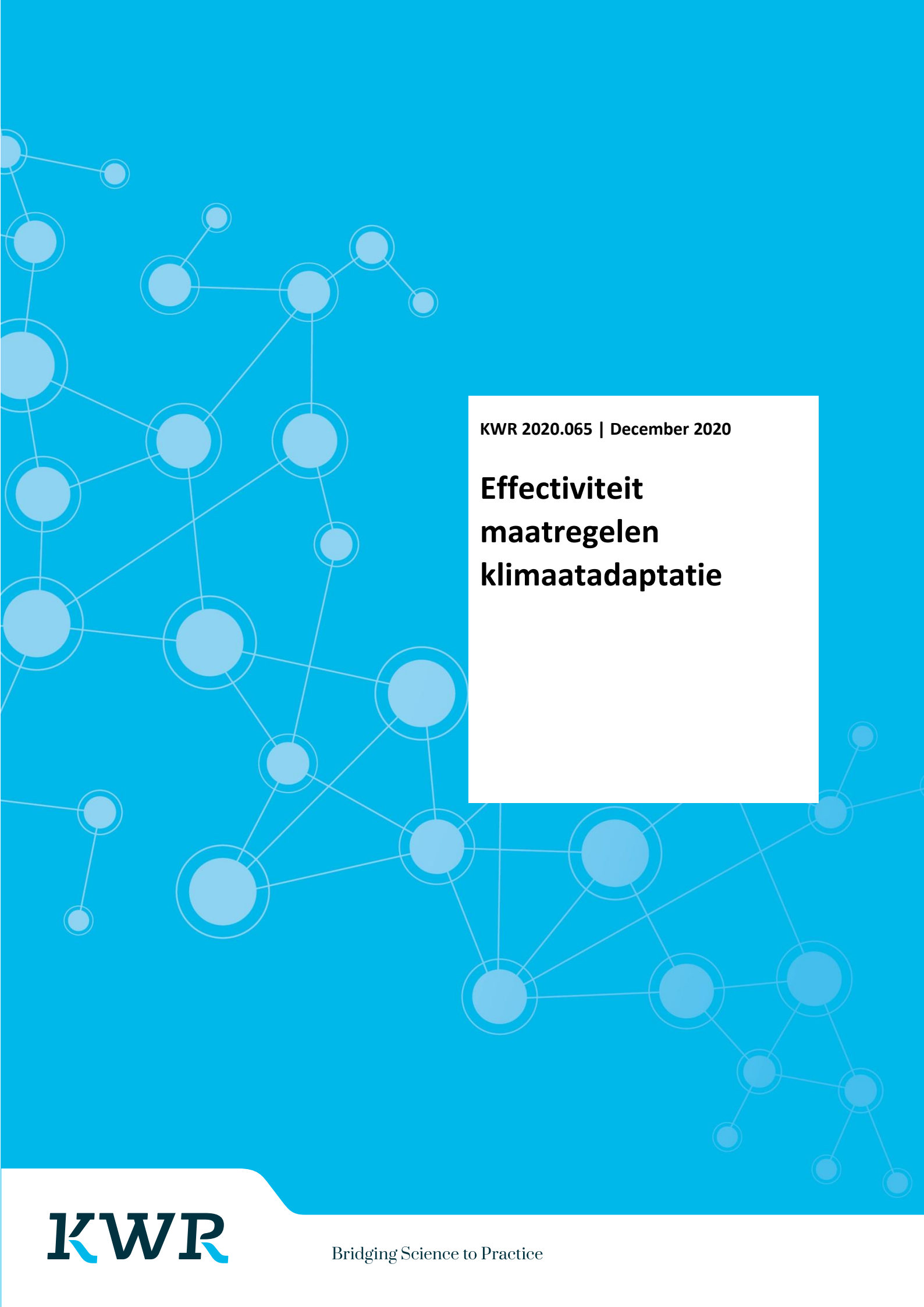




KWR 2020.065 | December 2020

**Effectiviteit
maatregelen
klimaatadaptatie**

Rapport

Effectiviteit maatregelen klimaatadaptatie

KWR 2020.065 | December 2020

Opdrachtnummer

403093/012

Projectmanager

ir. P (Petra) Holzhaus

Opdrachtgever

DPWE-bedrijven

Auteur(s)

dr.ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera en dr. J. (Joost) van Summeren

Kwaliteitsborger(s)

dr. ir M. (Mirjam) Blokker

Verzonden naar

DPWE-bedrijven

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. KWR zal zich onthouden van verspreiding van dit rapport en het rapport derhalve niet verstrekken aan derden, tenzij partijen anders overeenkomen. Opdrachtgever is gerechtigd het rapport te verspreiden mits KWR daarvoor vooraf toestemming heeft verleend. Aan de toestemming voor de verspreiding van (onderdelen van) het rapport kan KWR voorwaarden verbinden.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

klimaatadaptatie, hotspots, drinkwatertemperatuur

Jaar van publicatie

2020

Meer informatie

dr.ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera

T +31 30 606 9587

E Claudia.Agudelo-Vera@kwrwater.nl

PO Box 1072

3430 BB Nieuwegein

The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl



December 2020 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden veeleelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Inhoud

Rapport	1
Inhoud3	
1 Inleiding	4
1.1. Achtergrond	4
1.2. Doel en aanpak	4
1.3. Aanpak	4
2 Opbrengstpresentatie	5
I Bijlage – Memo's	30
II Inputparameters Hydrus	40
III Bijlage aanvullende resultaten van de validatie	41
IV Bijlage Modellerings van bodemopwarmte door warmtenet KWR 2020.046 samenvatting	45
V Defaultwaarden inlooppparameters (Waternet)	46

1 Inleiding

1.1. Achtergrond

Het drinkwater in het leidingnet warmt in de toekomst mogelijk op steeds meer locaties op tot temperaturen boven de grens van 25 °C. Dit is het gevolg van hogere luchttemperaturen (door klimaatverandering) en antropogene warmtebronnen zoals warmteleidingen. In DPWE 2019 zijn maatregelen geïnventariseerd waarmee de stijging van de temperatuur van het drinkwater beperkt kan worden. Met behulp van een computermodel Hydrus is het effect van verschillende klimaatadaptieve maatregelen in de straat gekwantificeerd, zoals het effect van groenstroken versus beschaduwing. Uitkomsten tot nu toe laten zien dat het effect van maatregelen op temperatuur kan worden gekwantificeerd, maar dat absolute temperaturen voorspellen beperkt mogelijk is. Daarmee kan dus ook de vraag niet worden beantwoord of de maatregelen ervoor gaan zorgen dat de temperatuur beneden de 25 °C blijft. Ook is nog niet duidelijk hoeveel effect een combinatie van maatregelen zal hebben. Het is daarom noodzakelijk om gebruikte modellen verder te valideren door onderzoek en metingen. Het onderwerp opwarming is met name relevant voor de DPWE-bedrijven omdat de temperatuur van het aangevoerde oppervlaktewater in de zomerperiode al hoog kan zijn en de leidingen veelal zijn gelegen in een verstedelijkte omgeving waar het Urban Heat Island effect de temperatuur nog extra laat stijgen. Tot slot speelt de aanwezigheid van vele antropogene factoren als stadsverwarmingsleidingen ook een rol. De onderzoeksvragen en gewenste metingen volgen uit het in 2019 afgeronde DPWE project (van Vossen, J., Stofberg, S. F. en Agudelo-Vera, C. M. (2019). "Effectiviteit maatregelen klimaatadaptatie." KWR 2019.080).

1.2. Doel en aanpak

Het doel van het project is tweeledig: valideren van het model; bepalen van het effect van een combinatie van maatregelen, omdat dit nog niet in beeld is gebracht.

1.3. Aanpak

Voor een kalibratie van het toegepaste 2D-temperatuurmodel zijn gedurende vijf weken bodemtemperatuurmetingen uitgevoerd op een locatie met matige stedelijkheid en droge zandgrond. Dit gebeurde op 16 locaties, op verschillende diepten (5 cm tot 1,5 m) en onder twee typen bodembedekking (verhard en onverhard). Met deze metingen werden de aannames van het tweedimensionale bodemtemperatuurmodel (2D-BTM) in Hydrus aangescherpt en is het effect van maatregelen tegen ongewenste opwarming gekwantificeerd.

2 Opbrengstpresentatie

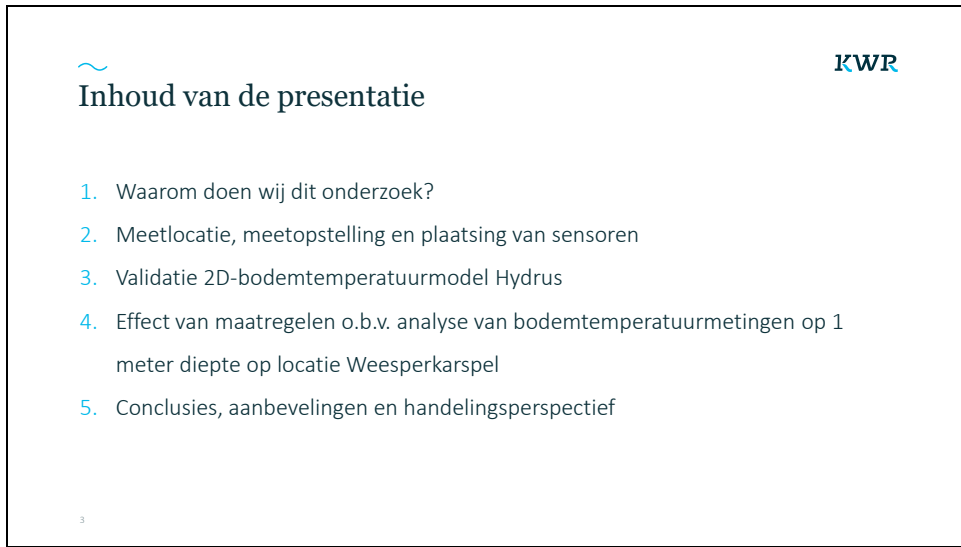
Slide 1



Slide 2



Slide 3



Slide 3 displays the table of contents for the presentation. It features a blue wavy line icon above the title 'Inhoud van de presentatie' and the KWR logo in the top right corner. A numbered list of five items is presented in blue text. A small number '3' is located in the bottom left corner of the slide content area.

Inhoud van de presentatie

- 1. Waarom doen wij dit onderzoek?
- 2. Meetlocatie, meetopstelling en plaatsing van sensoren
- 3. Validatie 2D-bodemtemperatuurmodel Hydrus
- 4. Effect van maatregelen o.b.v. analyse van bodemtemperatuurmetingen op 1 meter diepte op locatie Weesperkarspel
- 5. Conclusies, aanbevelingen en handelingsperspectief

3

Slide 4



Slide 4 features a dark blue background with a network of glowing blue nodes and lines. The title '1. Waarom doen wij dit onderzoek?' is written in white text, preceded by a blue wavy line icon. The KWR logo and the tagline 'Bridging Science to Practice' are positioned in the bottom left corner.

1. Waarom doen wij dit onderzoek?

KWR Bridging Science to Practice

Slide 5

Claudia Agudelo - 21 november 2019

KWR

Waarom is bodemtemperatuur belangrijk?

In de Drinkwaterwet is een eis opgenomen over de temperatuur van het drinkwater aan de tap van maximaal 25 °C.

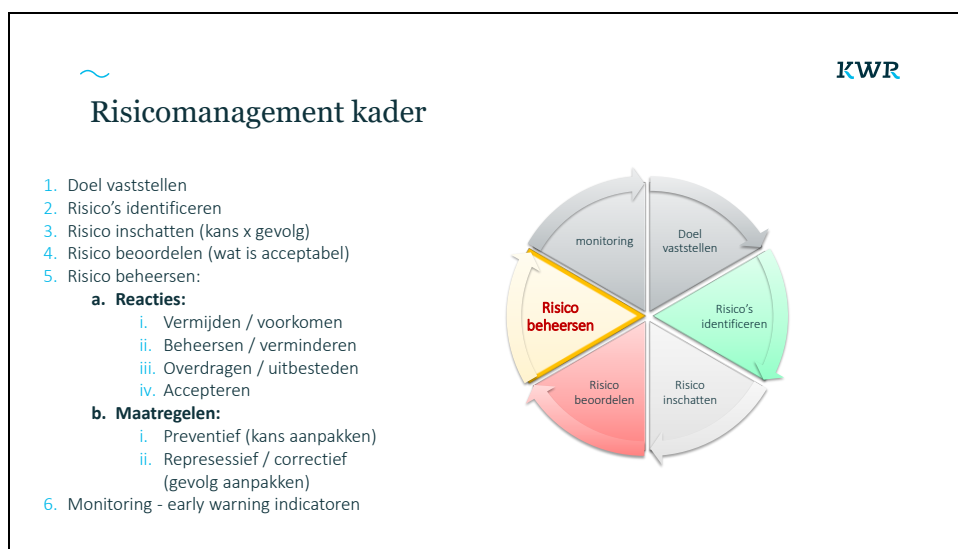
De drinkwatertemperatuur in het leidingnet wordt vrijwel volledig bepaald door de bodemtemperatuur rond het distributienet, (ca. 1 meter diepte).



Slide 6



Slide 7



Slide 8



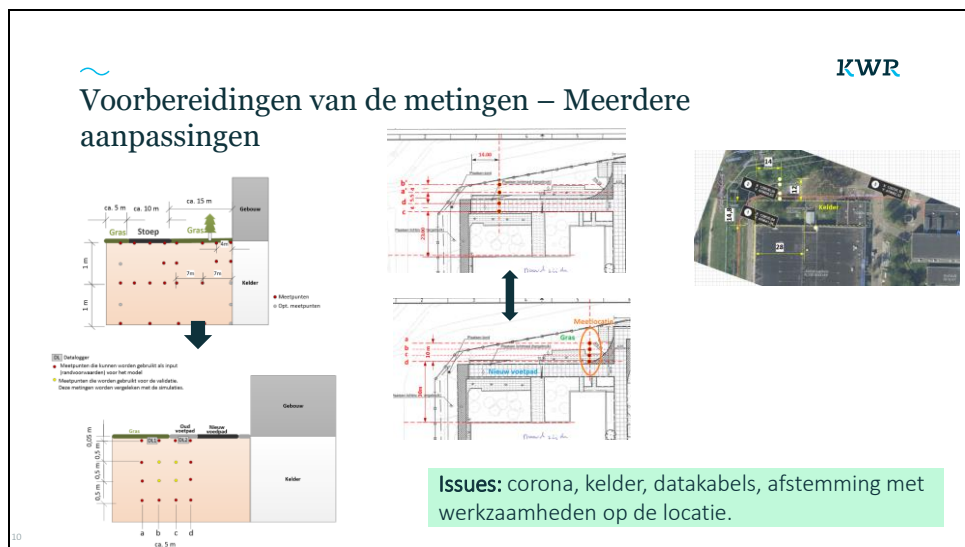
Slide 9



2. Meetlocatie, meetopstelling en plaatsing van sensoren

KWR
Bridging Science to Practice

Slide 10



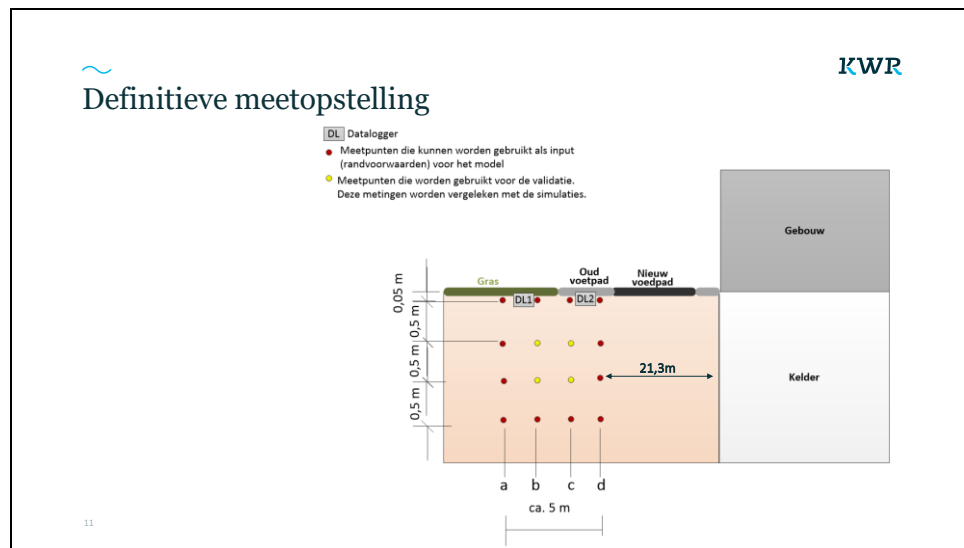
Voorbereidingen van de metingen – Meerdere aanpassingen

KWR

10

Issues: corona, kelder, datakabels, afstemming met werkzaamheden op de locatie.

Slide 11



Slide 12

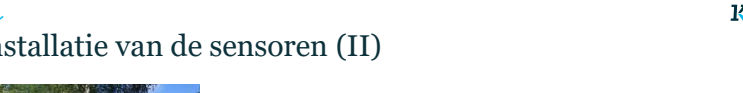


Slide 13

~

KWR

Installatie van de sensoren (II)



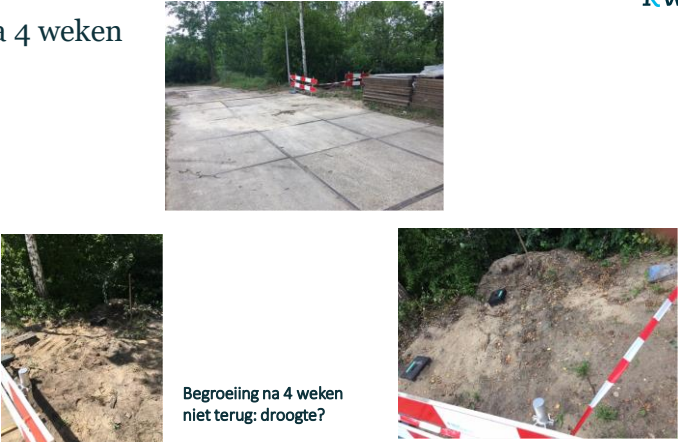
Slide 14

Slide 15

~

Foto's na 4 weken

KWR



Begroeiing na 4 weken
niet terug: droogte?

15

Slide 16

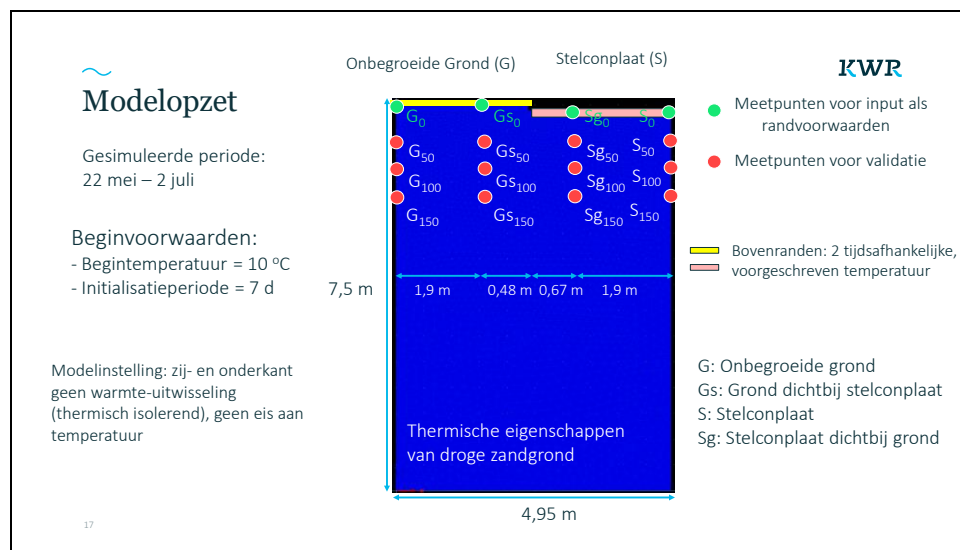
~

3. Validatie 2D-
bodemtemperatuurmodel Hydrus

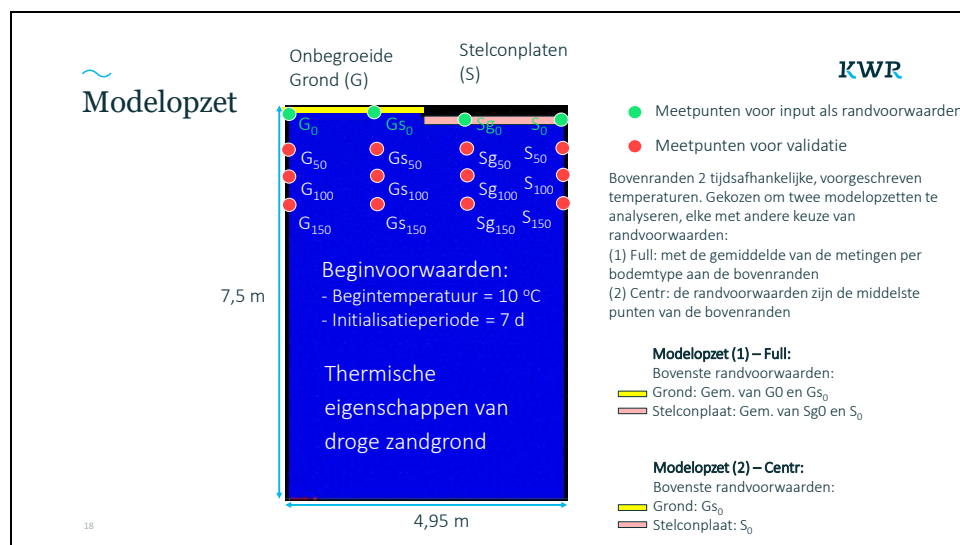
KWR

Bridging Science to Practice

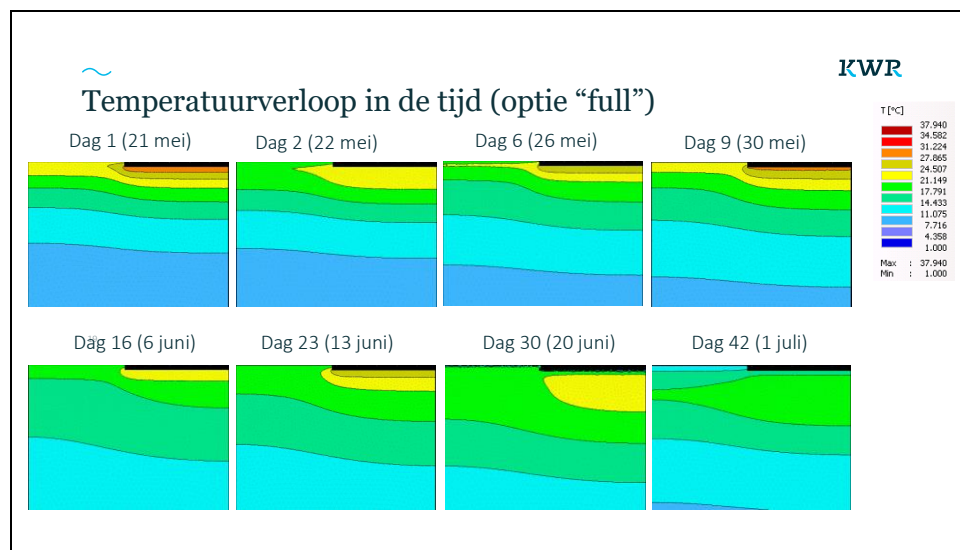
Slide 17



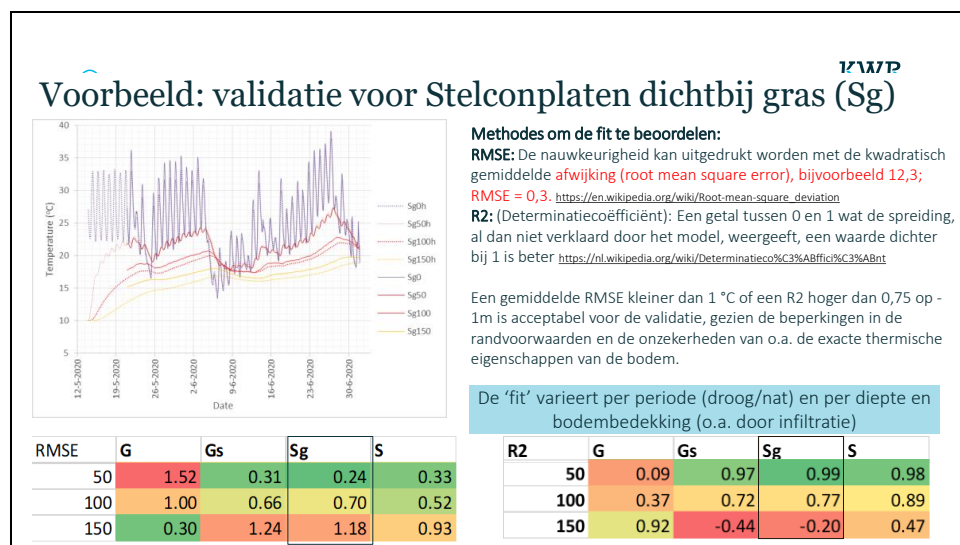
Slide 18



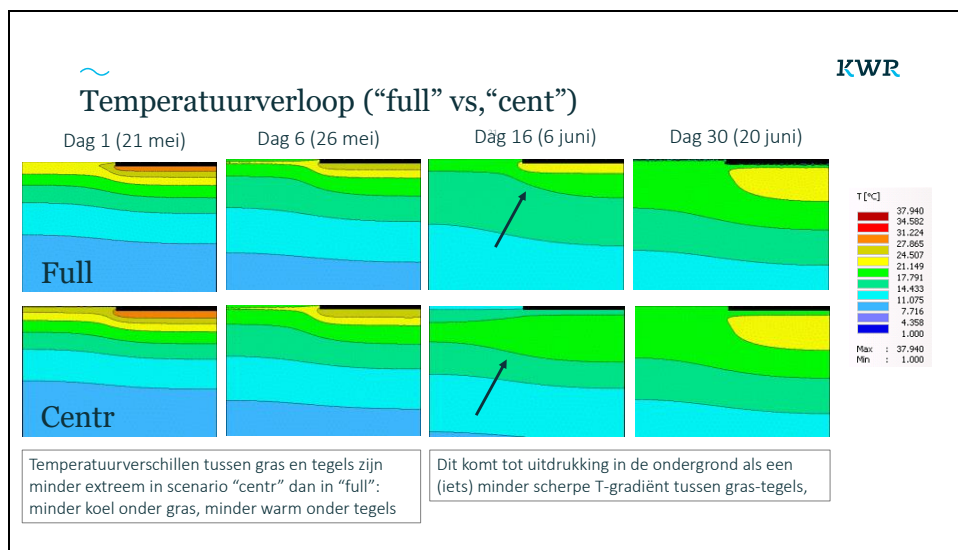
Slide 19



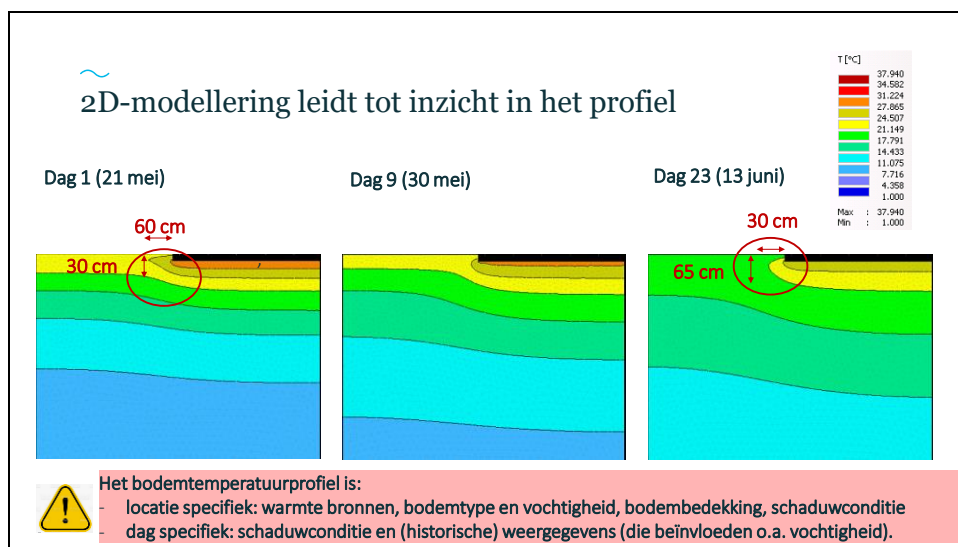
Slide 20



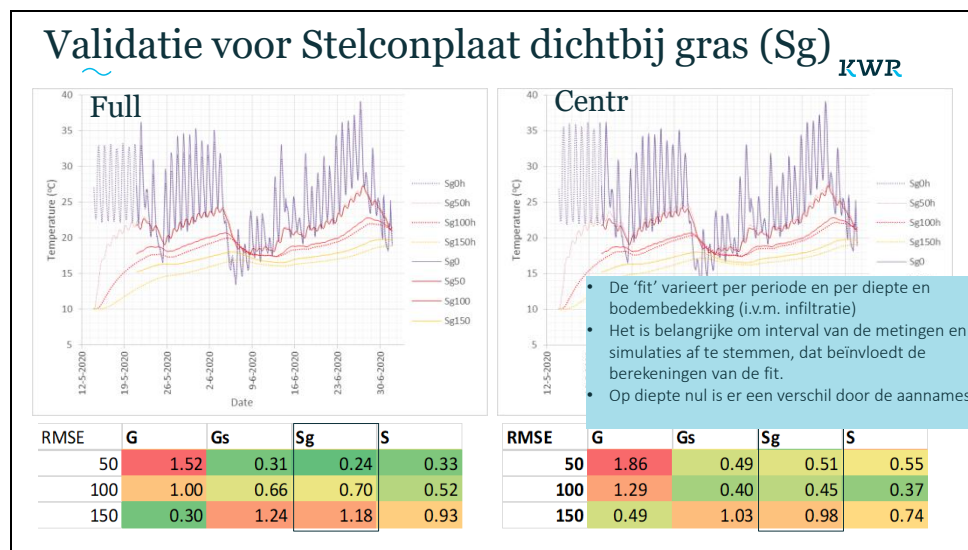
Slide 21



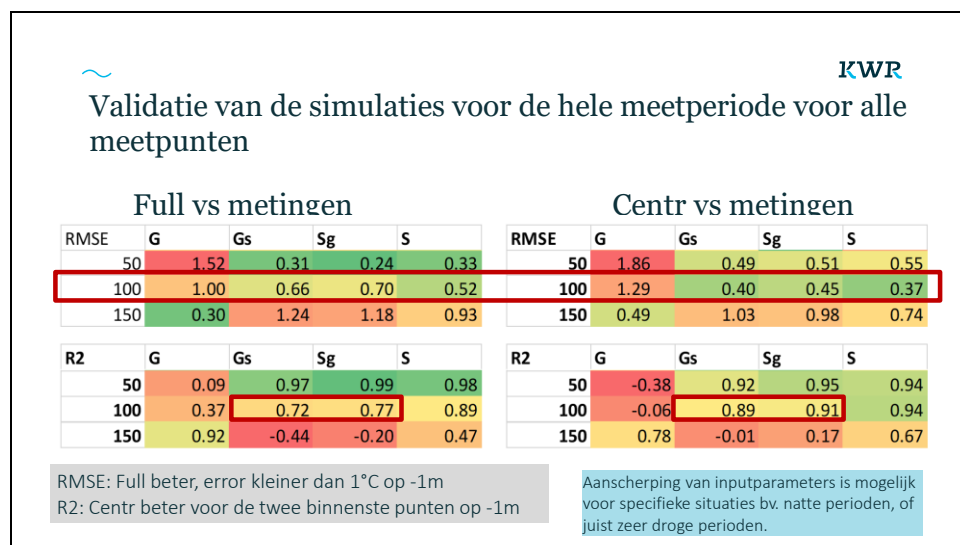
Slide 22



Slide 23



Slide 24



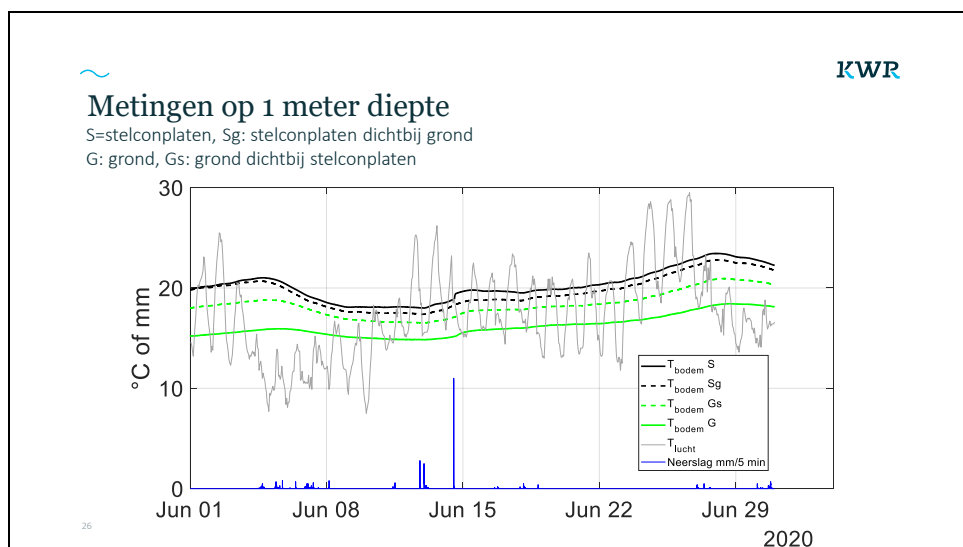
Slide 25



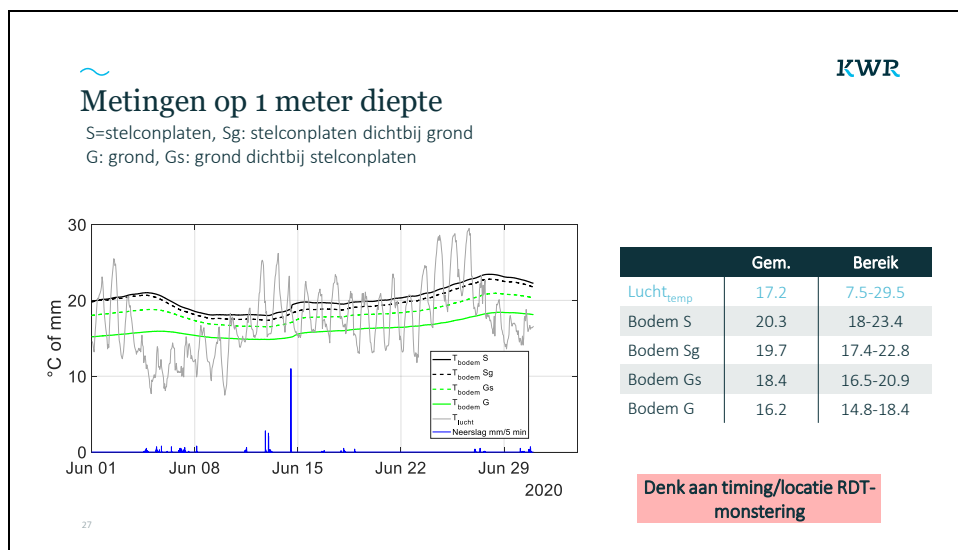
4. Effect van maatregelen o.b.v. analyse van bodemtemperatuurmetingen op 1 meter diepte op locatie Weesperkarspel

KWR
Bridging Science to Practice

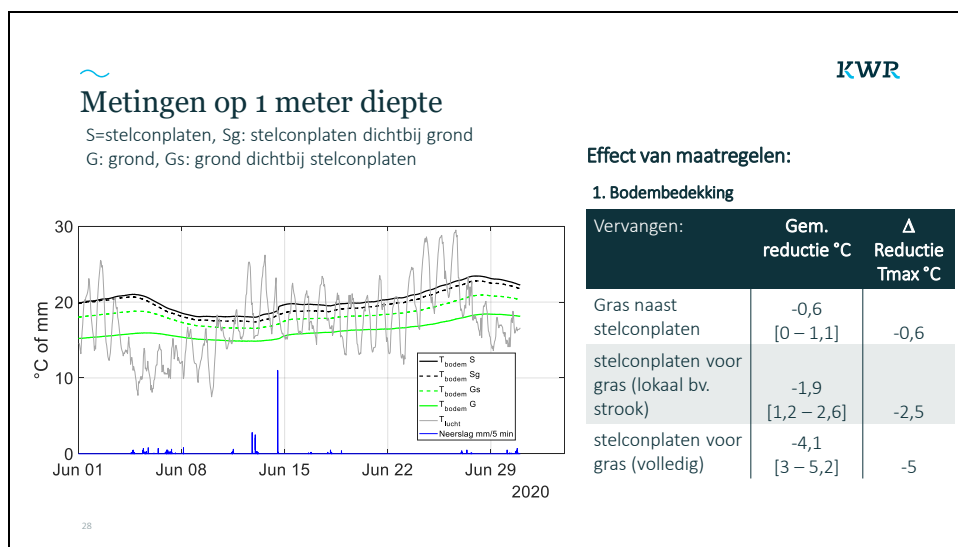
Slide 26



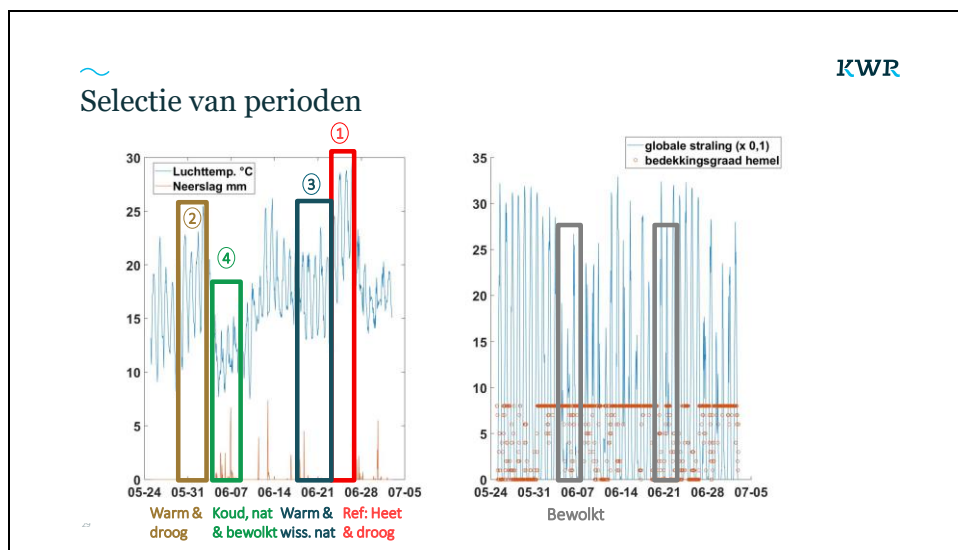
Slide 27



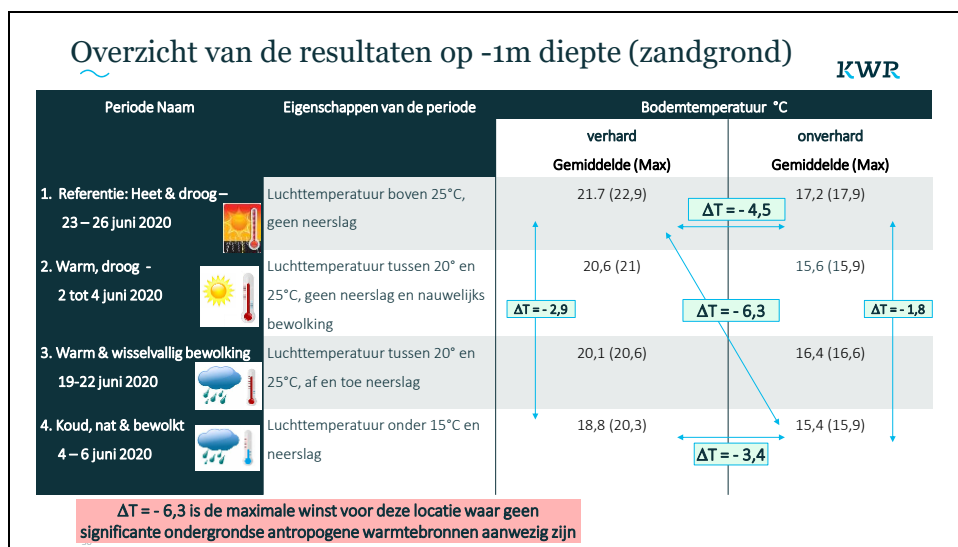
Slide 28



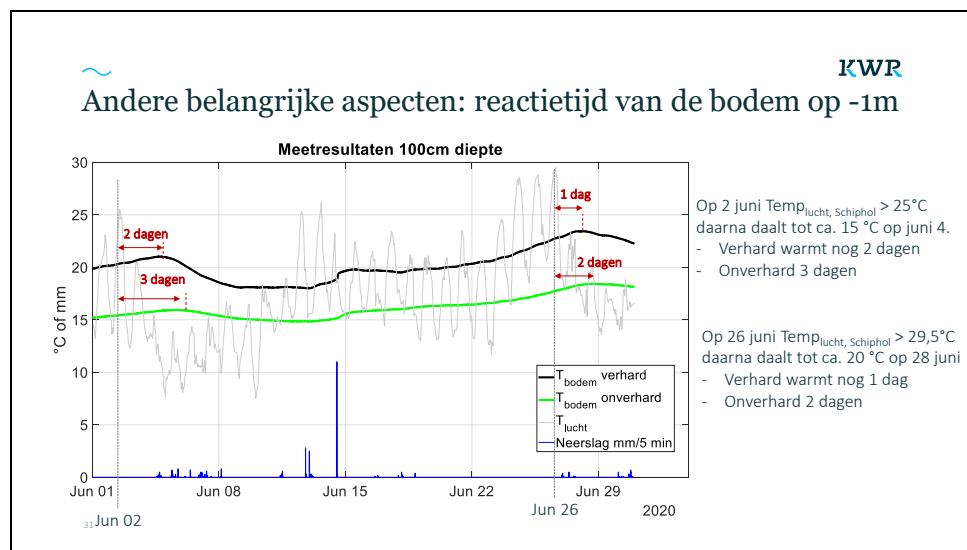
Slide 29



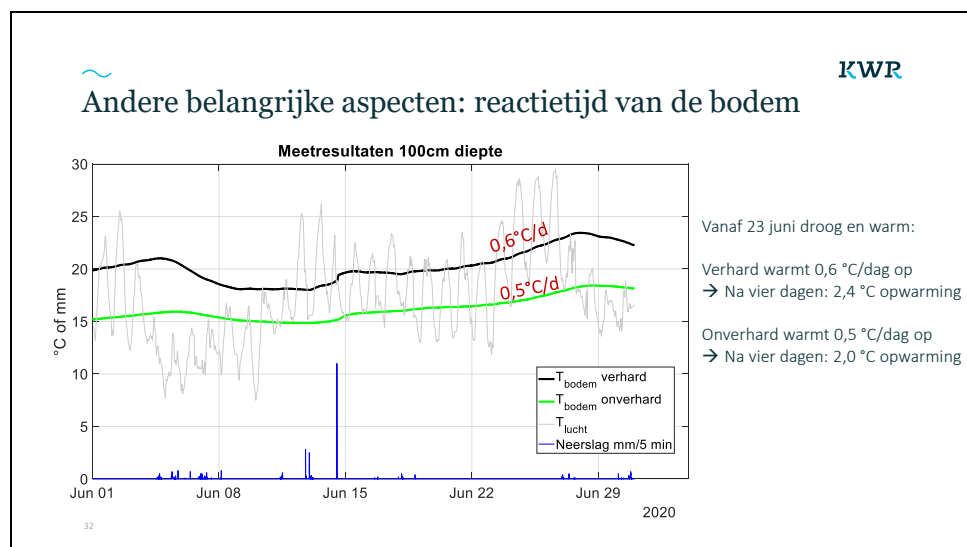
Slide 30



Slide 31



Slide 32



Slide 33

KWR

Mogelijk opwarming op -1 m gedreven door hogere luchttemperaturen

	Opwarming in °C per dag (gemeten)	Opwarming in °C na vier dagen droog en warm (gemeten)	Opwarming in °C na 7 dagen droog en warm (extrapolatie)
Verhard	0,6	2,4	4,2
Onverhard	0,5	2,0	3,5

33

Slide 34

KWR

Hoe kunnen wij de maatregelen nabootsen?

Periode Naam	Eigenschappen van de periode	Verhard	Nagebootste maatregel(en)	onverhard
1. Referentie: Heet & droog	Luchttemperatuur boven 25°C, geen neerslag	Conditie waar maatregelen nodig zijn		
2. Warm, droog	Luchttemperatuur tussen 20° en 25°C, geen neerslag en nauwelijks bewolking	i) opwarming van de luchttemperatuur te beperken b.v. door antropogene bronnen of stedelijk hitte eiland effect te beperken		i) Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond en ii) opwarming van de luchttemperatuur te beperken b.v. door antropogene bronnen of stedelijk hitte eiland effect te beperken
3. Warm & wisselvallig nat	Luchttemperatuur tussen 20° en 25°C, af en toe neerslag	i) opwarming van de luchttemperatuur te beperken ii) nabij vochtige bodem		i) Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond, ii) opwarming van de luchttemperatuur te beperken iii) droge bodem te voorkomen
4., Koud, nat & bewolkt	Luchttemperatuur onder 15°C en neerslag	i) opwarming van de luchttemperatuur te beperken ii) nabij natte bodem		i) Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond ii) opwarming van de luchttemperatuur te beperken iii) Schaduw die de luchttemperatuur verder afkoelt t.o.v. hete dagen en minder straling iv) natte bodem

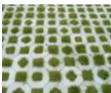
Slide 35

KWR

Resultaten generaliseren









Situatie tijdens droge perioden
 Verdamping is vergelijkbaar met stelconplaten.
 Nauwelijks infiltratie

Situatie tijdens droge perioden
 Verdamping is vergelijkbaar met onbegroeide grond.

Ideale situatie
 Waar vocht beschikbaar is om te verdampen

Verdamping is locatie specifiek. Voor deze locatie was grondwaterstand dieper dan 1m. Dus weinig/nauwelijks verdamping

35

Slide 36

KWR

Vergelijking van materialen voor warme en droge perioden




	Stoeptegel	Stelconplaat	Opmerking
Dikte (cm)	6	12	
Albedo	gelijk	gelijk	
Infiltratie (mm/uur)*	0,5	0	n.v.t. voor droge perioden
Verdamping (mm/dag)	0	0	voor droge perioden

* Gegevens van Waternet

36

Slide 37

KWR

Totale warmteoverdrachtscoëfficiënt U

De totale warmteoverdrachtscoëfficiënt of warmteovergangcoëfficiënt U kan worden berekend door de afzonderlijke warmteoverdrachtscoëfficiënten (van respectievelijk straling, geleiding door de bodem, geleiding door de leidingwand en convectie van het stromende drinkwater) als weerstanden in serie te zien :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_s} + \frac{d_{bodem}}{\lambda_{bodem}} + \frac{d_{tegel}}{\lambda_{tegel}}$$

Met $h_s = 5.104 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\lambda_{bodem} = 0,3 \text{ W/m.K}$, $\lambda_{tegel} = 0,7 \text{ W/m.K}$ en voor tegels van 6 of 12 cm; er is slechts een 2,7 % verschil tussen de U-waarde.

→ De U-waarde wordt met name bepaald het bodemtype

Voor een verschil van 5 °C tussen lucht en bodem op -1m zal dan ca. 0,1 °C graden verschillen tussen de twee type tegels.

Tegeltype	Totale warmteoverdrachtscoëfficiënt U (W/m²K)
12 cm tegel	2.93
6 cm tegel	3.13

37

Slide 38

KWR

Overzicht van het effect van maatregelen (indien eerdere onderzoek met rapportnummer)

Max. gemodelleerde opwarming in 2050 (BTO 2017.023)

Max. gemeten opwarming (BTO 2017.023)

1. Vegetatie (verdamping) in de omgeving (KWR 2019.080)
2. Opwarming luchttemperatuur beperken (KWR 2020.065)
3. WKO (KWR 2012.017)
4. Schaduw (BTO 2018.024)
5. Vocht vasthouden (KWR 2020.065)
6. Dieper leggen (-1,5) onder tegels (KWR 2020.065)
7. Combinatie van drie maatregelen: 2, 4 & 5 (KWR 2020.065)
8. Bomen (schaduw, verdamping en infiltratie) (KWR 2019.080)
9. Grootschalig verhard naar onverhard (KWR 2020.065)
10. Dieper leggen (-1,5m) en onder onverhard (KWR 2020.065)
11. Combinatie van vier maatregelen: 2, 4, 5 & 9 (KWR 2020.065)

38

Slide 39



Slide 40





Opbrengsten

1. 2D- Model is gevalideerd en voldoende betrouwbaar – aanbevelingen voor toekomstige 2D-analyses zijn gedestilleerd.
2. Effect van (gecombineerde) maatregelen zijn bepaald.
3. Bodem onder onverhard blijft koeler, maar dicht bij tegels warmt sneller op.
4. Verschillen stelconplaten t.o.v. betontegels zijn te verwaarlozen, belangrijker is om de bodemeigenschappen goed te kennen.
5. Bodem reageert op opwarming (door lucht temperatuur en straling) op een snelheid van 0,5 á 0,6 °C / dag. Dus na twee dagen warm weer kan bodem op -1m diepte al 1 °C opwarmen.
6. Afwisseling weer, warme naar koude dagen, laat zien dat de bodem pas na 1 á 3 dagen afkoelt

40

Slide 41



Conclusies (I)

Effect van afzonderlijke maatregelen is bepaald; nu ook het effect van combinatie van maatregelen

- a) Leiding aanleggen onder gras i.p.v. tegels 4 °C
- b) Beperken bovengrondse antropogene bronnen: bij een reductie van 5°C op Templucht max. 2 °C
- c) Leiding aanleggen aan schaduwzijde i.p.v. in de zon 2 °C o.b.v. simulaties
- d) Leidingen aanleggen in vochtige bodem 2 °C o.b.v. simulaties

→ Combinatie max 6 °C

- Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond (één strook gras naast is niet voldoende)
- opwarming van de luchttemperatuur beperken (door bv. Antropogene bronnen te beperken)
- Schaduw die de luchttemperatuur verder afkoelt t.o.v. hete dagen en minder straling
- natte bodem



Het effect van de maatregelen is ook locatie en dag specifiek

Aanbevolen is om het effect voor de 10 warmste dagen van een specifiek jaar te bepalen

41

Slide 42



Conclusies (II)

2D-BTM (Hydrus) geeft meer inzicht dan 1D-BTM, model nog beperkt geschikt voor heel specifieke locaties. Verbeteringen mogelijk door betere data; bijv.

- a) de juiste thermische eigenschappen van de bodem
- b) infiltratie van regenwater meemodelleren
- c) randvoorwaarden (full/centr)
- d) tijdreeks aan de bovenzijde

→ in TKI Engine wordt DGFlow gebruikt i.c.m. micrometeorologiemodel (c en d niet relevant), a en b als aanbeveling meegegeven

42

Slide 43




Aanvullende gevoeligheidsanalyse is te vinden:

KWR 2020.046 Modelling van bodemopwarmte door warmtenet
 Er is onderzocht in welke mate modelparameters de berekening beïnvloeden voor het berekenen van de opwarming van een zandbodem rond een geïsoleerde warmteleiding. Hiertoe zijn 2D modelleerberekeningen uitgevoerd met het rekenpakket *HYDRUS 2D/3D*.

KWR 2020.029 Modelling van de opwarming van drinkwater in drinkwaterinstallaties
Onder invloed van warmtenetten
 Hillebrand, B., *Modelling van de opwarming van drinkwater in drinkwaterinstallaties*. 2019, KWR: Nieuwegein. In dit rapport wordt onderzocht op basis van numerieke simulaties wat de invloed is van warmtelevering op de drinkwatertemperatuur aan de tap. Onderzocht is hoe de temperatuur in de aansluitleiding, de meterkast en de drinkwaterinstallatie de maximale en gemiddelde temperatuur aan de tap bepalen. Bijlage II - Modelling bodemtemperatuur rond warmteleiding
 MEMO d.d. 30 maart 2020, dr. J. van Summeren

43

Slide 44



Slide 45

Hoe verder?

Data + tools + uitkomst → handelingsperspectief

KWR

- 1) Met KNMI-data (historisch) + online bodemtemperatuurmodel + vergelijk met monsternames kun je bepalen waar mogelijk hotspots zitten
→ kun je deze hotspots mogelijk oplossen (leiding verleggen horizontaal of verticaal)
- 2) Met KNMI-data (historisch + voorspelling aantal dagen vooruit) + online bodemtemperatuurmodel kun je voorspellen wanneer potentieel probleem optreedt
→ kun je mogelijk infiltreren, schaduw aanbrengen of andere tijdelijke maatregelen treffen
- 3) Met KNMI-data (historisch + transformatietool klimaatscenario's) + bodemtemperatuurmodel kun je bepalen hoe vaak overschrijdingen gaan plaatsvinden
→ kun je besluiten om ander ontwerp/aanleg van je leidingnet na te streven
- 4) Met data over locatie leidingen + locatie antropogene (boven/ondergrondse) bronnen+ bodembedekking + zon/schaduw + bodemtemperatuurmodel + MSX-model kun je bepalen hoe je het leidingnet beter kunt ontwerpen / aanleggen (afstand tot warmtenet bijv. – TKI Engine)
→ kun je in overleg met andere beheerders van de ondergrond

45

Slide 46

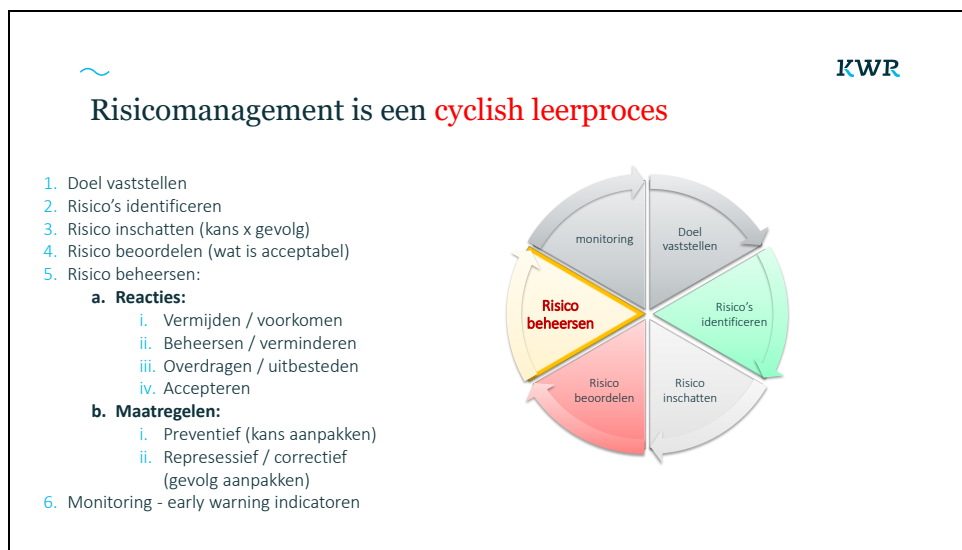
Aanbevelingen toekomstige meetplannen

KWR

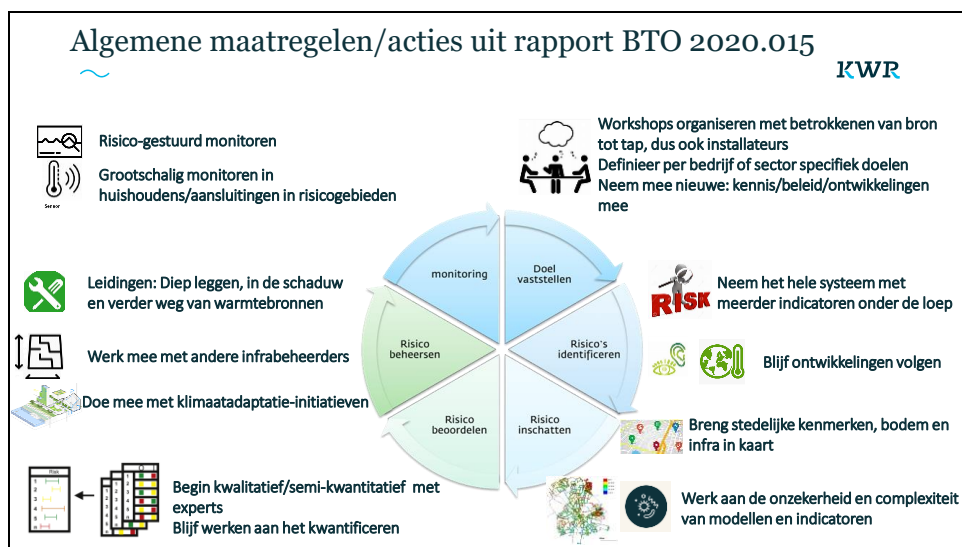
- Houd rekening met locatie van kwetsbare/kritische infrastructuur
- Kalibreer voor en na de sensoren
- Indien metingen onder gras gewenst zijn, is terug plaatsing van gras nodig. Daarna controleren of de gewenste situatie is bereikt.
- Per locatie en gewenste diepte van de metingen evalueren welke manier het beste is voor de plaatsing van de sensoren, zodat de bodem zo min mogelijk verstoord wordt.
- Houd rekening met een paar dagen stabilisatie na de plaatsing van de sensoren
- Documenteer beslissingen

46

Slide 47



Slide 48



Slide 49



Groninghaven 7
3433 PE Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

 @KWR_Water

 KWR

 KWR_Water



Claudia Agudelo-Vera
Claudia.agudelo-vera@kwrwater.nl



Joost van Summeren
Joost.van.Summeren@kwrwater.nl



Luuk de Waal
Luuk.de.Waal@kwrwater.nl



Mirjam Blokker
Mirjam.Blokker@kwrwater.nl

Slide 50



KWR December 2020 KWR 2020.065	Auteur(s) Claudia Agudelo-Vera, Joost van Summeren	Verzonden aan Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het Adviesproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf,
Opdrachtnummer A123456	Trefwoorden Klimaatverandering, hotspots in het net, maatregelen	
Projectmanager Petra Holzhaus		
Opdrachtgever DPWE-Bedrijven		
Kwaliteitsborger(s) Mirjam Blokker		

50

I Bijlage – Memo's

Van

Claudia Agudelo-Vera

Onderwerp

DPWE 2020 - Metingen weesperkaspel

Datum

13 februari 2020

Bestemd voor

DPWE bedrijven

Kopie / afschrift**Pagina**

30/47

Beschrijving locaties Weesperkarspel (Waternet)

Doel van de metingen: het 2D BTM valideren in het kader van de maatregelen die zijn tijdens de vergadering van 27 januari benoemd, nl. tegels, gras, invloed van gebouw, verschillende schaduw condities. Daarvoor moeten de randvoorwaarden van het BTM gemeten worden d.w.z. de temperatuur op de randen, en warmte-overdrachtscoëfficiënt (λ) van de bodem. De focus ligt op 1 m diepte waar distributie leidingen normaal liggen.

Dus de metingen op 1 m diepte zullen worden gebruik voor de 2D-modelvalidatie. Doordat een paar metingen over de diepte van de bodem worden gedaan, is het mogelijk om zelf de warmte-overdrachtscoëfficiënt van de bodem te bepalen. Drie potentiële locaties zijn geïdentificeerd voor de metingen, zie Figuur 1, 2 en Tabel 1 en 2.

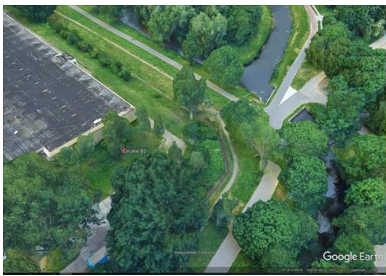


Figuur 1 a) Overzicht van de drie potentiële locaties Bron; Google maps. N.B. Locatie B biedt twee mogelijkheden



Figuur 2) 3D impressie van het gebied Bron: Google Earth.

Tabel 1 overzicht van eigenschappen per locatie

Locatie A - Nabij techlab	
	
Locatie B1	
	
Locatie B2 N-zijde zandfilter	
	

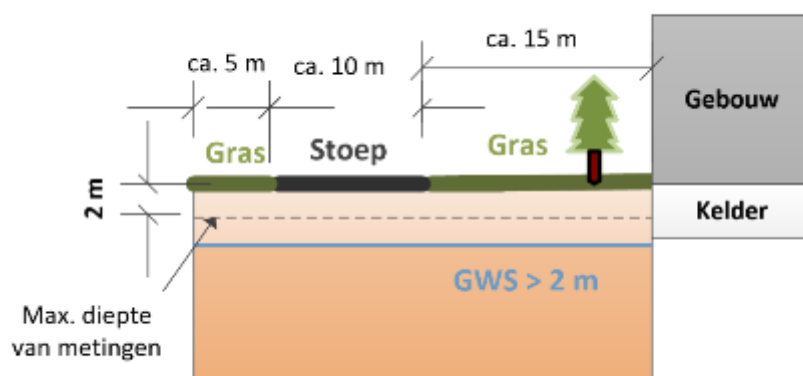
Tabel 2 Beschrijving van de locaties

Loc	Omgeving	Zon conditie	Leidingen	Bodembedekking	Andere opmerkingen
A	Er zijn twee gebouwen ca. 20 meter van elkaar.	Schaduw van gebouwen	2 Leidingen aanwezig: 90-PE, continu verbruik (richting lab). Aangesloten na 90-graden bocht; op 2m ligt een 1000-mm leiding. Gronddekking drinkwaterleiding 90 mm naar proefinstallatie is 0,8 m.	Stelcon platen + gras Bodembedekking wordt in de komende maanden aangepast	Nadelen: Geen bomen, evt. windtunnel
B1	Gebouw zandfiltratie: ca. 4 m hoog, heeft ook kelder (beton + kokers). Ca. 6 m van talud	Voor al in de zon	250-PVC, weinig doorstroming. Gronddekking boven drinkwaterleiding 250 mm nabij LZF noord is ongeveer 1,2 m. Het meenemen van doorstroomde leiding in meetgebied is geen top prioriteit, maar wel binnen kader van dit project. Temp wordt binnen gemeten (met enige vertraging)	metalen platen + gras	Nabijheid naar talud is niet gewenst, want dat brengt andere randvoorwaarden dan standaard situatie.
B2	N-zijde zandfilter. Ca. 30 m van talud	Schaduw van gebouwen en bomen	Geen leidingen aanwezig. Weg van bebouwing (is een voordeel) Binnen 4 maanden herbestrating gepland	Naast het gebouw gras, er is ook een pad parallel aan het gebouw aanwezig	

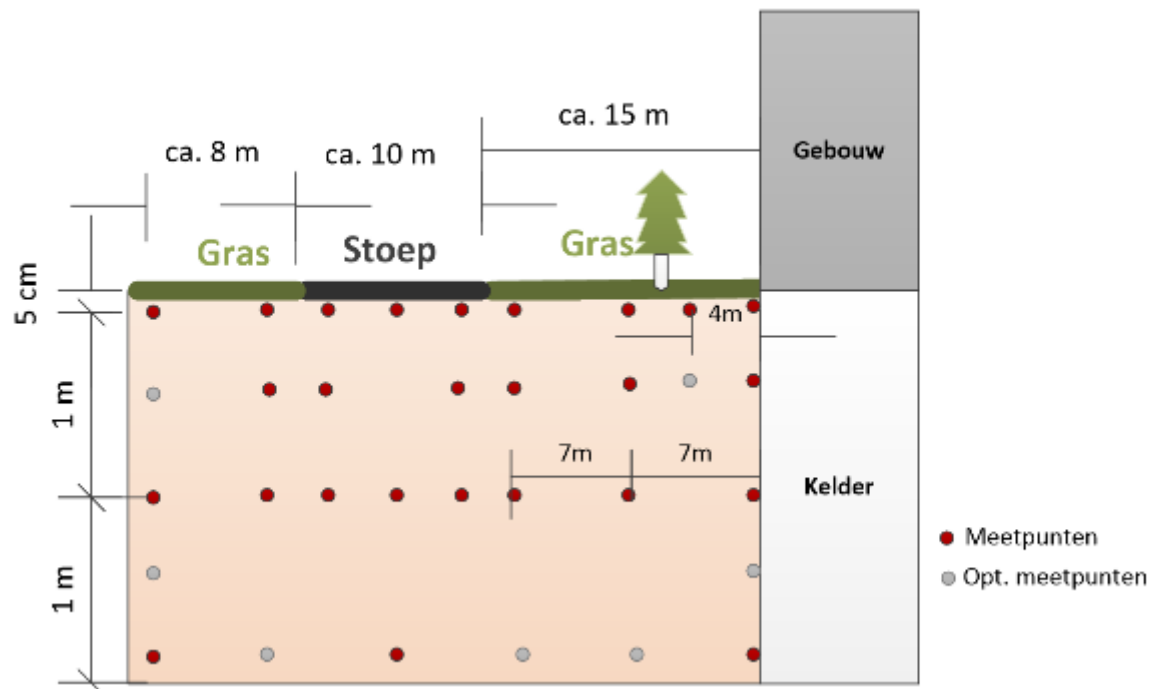
Concept voorstel meetopzet per meetperiode (2 meetperiodes in één locatie)

De meest geschikte locatie is B2 gezien deze de meeste mogelijkheden biedt om verschillende omstandigheden op één locatie te onderzoeken. Metingen zullen in twee verschillende perioden plaatsvinden om variaties in bodembedekking te kunnen identificeren

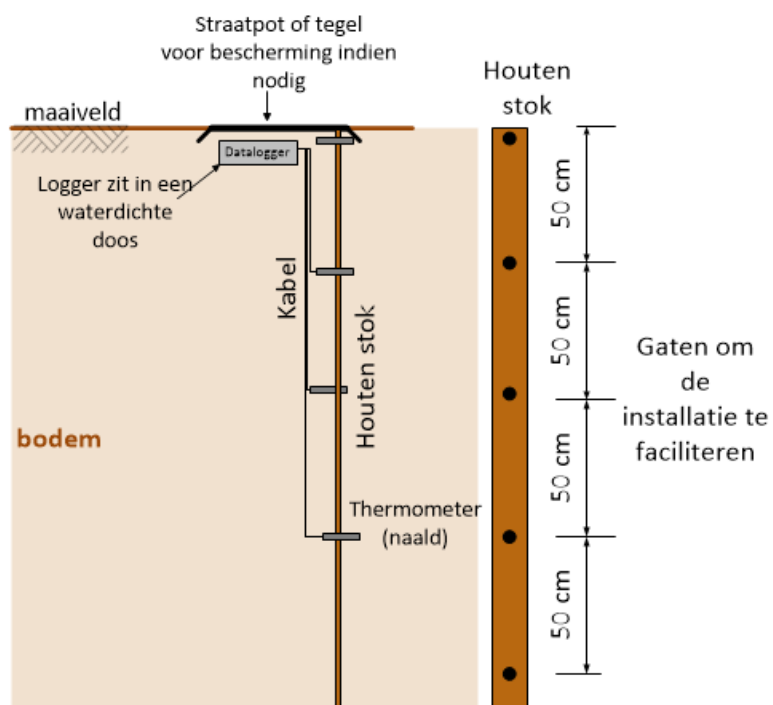
Zesentwintig meetpunten worden simultaan gemonitord. De eerste periode wordt de huidige situatie gemeten, Fig 3 & 4. De tweede periode wordt de bodembedekking aangepast (dat wordt besproken en afgestemd met de projectgroep). Dit kunnen infiltratiekratten, andere bodembedekking of schaduw zijn. De metingen zullen 10 meter van de hoek van het gebouw blijven om randeffecten te voorkomen. En vanuit modellering gezien liefst zo min mogelijk variatie (bomen, bodembedekking) parallel aan het gebouw. De metingen worden uitgevoerd in de bodem, de eerste beginnen 5 cm onder de bodembedekking.



Figuur 3 Schematische representatie van Locatie 2. Het validatiedomein beperkt zich tot het lichtoranje deel (25-30m x 2 m).



Figuur 4 Schematische representatie van Locatie 2, met verticale dimensie vergroot 10 keer.



Figuur 5 Voorbeeld van de installatie van de sensoren o.b.v. eerder uitgevoerde bodemmetingen.

Aanvullende informatie nodig

- Hoogte van gebouw en diepte van de kelder
- Bodemprofiel
- Indien mogelijk inschatting van grondwaterstand
- Lokale weergegevens (Luchttemperatuur, neerslag, straling, windsnelheid, etc. anders zullen wij data van de KNMI station in Schiphol gebruiken op ca. 20 Km afstand die op uur basis geregistreerd worden)

Specificaties voor de metingen

- Het liefst 4 weken registratie van bodemtemperaturen, minimaal 2 weken – minstens op 15 minuten resolutie
- Een aantal metingen voor bodemvochtigheid ter controle (n.t.b.) en vooral indien infiltratiekratten worden geselecteerd als een optie
- Ca. 26 sensoren nodig per meetperiode, optioneel zijn 7 sensoren om rekening te houden met eventueel falen van de sensoren of dataloggers.
- Een optie is ook in de eerste/tweede meetperiode tijdelijk schaduw te creëren.

Optioneel

- Luchttemperatuur in de kelder
- Bodemtemperatuur kan worden vergeleken met referentiemetingen van bodemtemperatuur die KNMI heeft beschikbaar online voor vier locaties in Nederland.
- Onderzoeken de mogelijkheden van een glasvezelkabel te gebruiken



Voorbeeld bodemprofiel



Voorbeeld infiltratiekratten



Voorbeeld tijdelijk schaduw



Voorbeeld doorlatend tegels



Voorbeeld temperatuur/vochtigheid monitoring met drones

Van

Claudia Agudelo-Vera

Onderwerp

Metingen Weesperkarspel

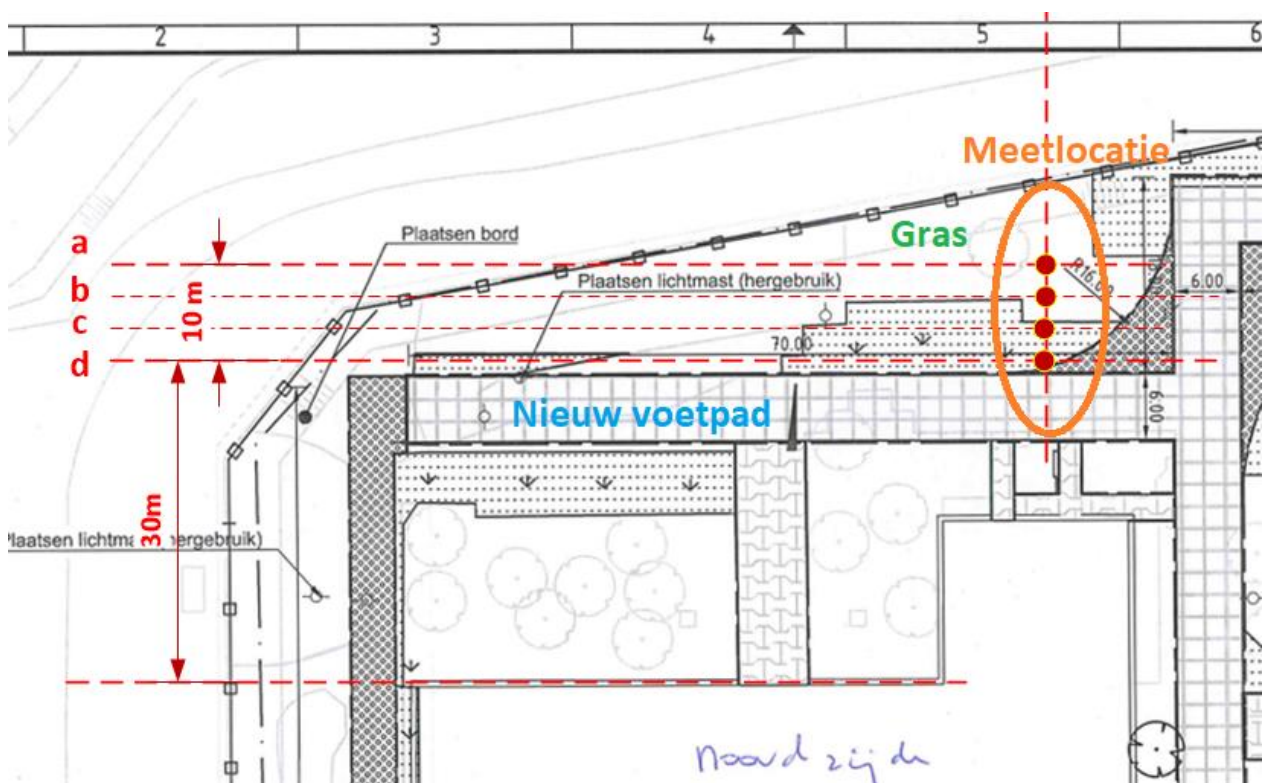
Datum

14 mei 2020

Bestemd voorProjectgroep DPWE-Project Effectiviteit
maatregelen klimaatadaptatie fase II**Kopie / afschrift****Pagina**

36/47

Definitieve locatie van de metingen in Weesperkarspel is weergegeven in Figuur 1. Deze locatie is meerdere keren verplaatst door aanwezigheid van een kelder en datakabels en door werkzaamheden op de locatie. De meetsetup is ook een paar keer aangepast, zie Figuur 2.



Figuur 1 Definitieve locatie

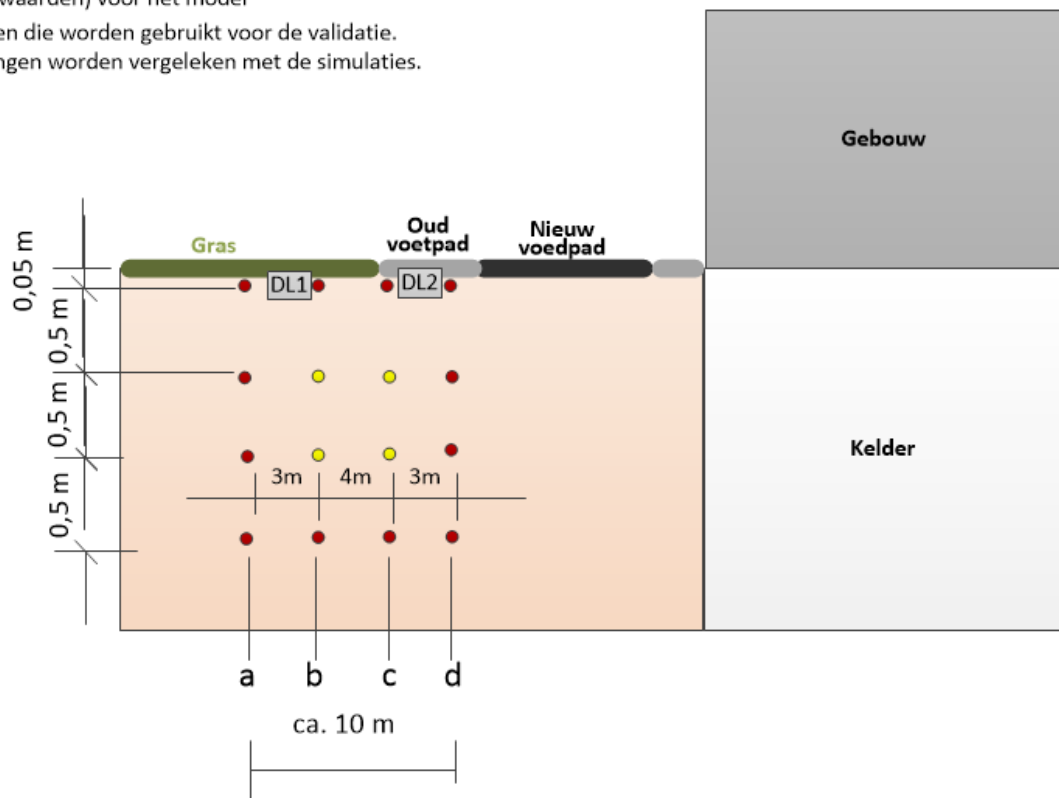
Voorstel is om één set van sensoren onder de (bestaande) verharding te plaatsen. Als de sensoren niet deels onder de huidige verharding kunnen liggen dan is de suggestie om tijdelijke verharding (stelcon oid) aan te brengen boven de meetlocatie om het effect te kunnen meten van verschillende bodembedekking.

Metingen Weesperkarspel 2020 - DPWE

Concept opstelling van 16 sensoren met 5 m kabel

DL Datalogger

- Meetpunten die kunnen worden gebruikt als input (randvoorwaarden) voor het model
- Meetpunten die worden gebruikt voor de validatie. Deze metingen worden vergeleken met de simulaties.



Figuur 2 Meet set-up

Van

Claudia Agudelo-Vera

Onderwerp

Scenario's voor analyse maatregelen

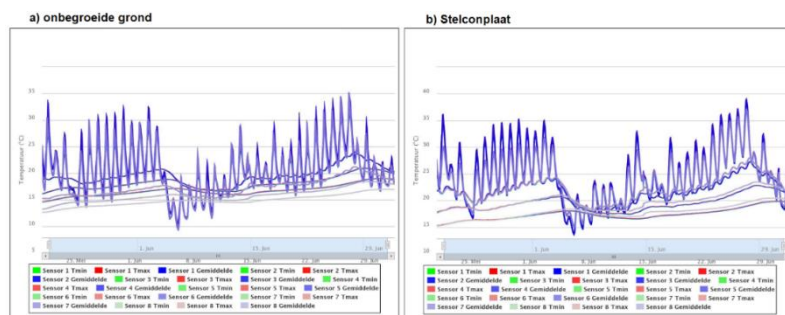
Datum

19 oktober 2020

Bestemd voorProject groep: DPWE - project Effectiviteit
maatregelen klimaatadaptatie - Fase II**Kopie / afschrift****Pagina**

38/47

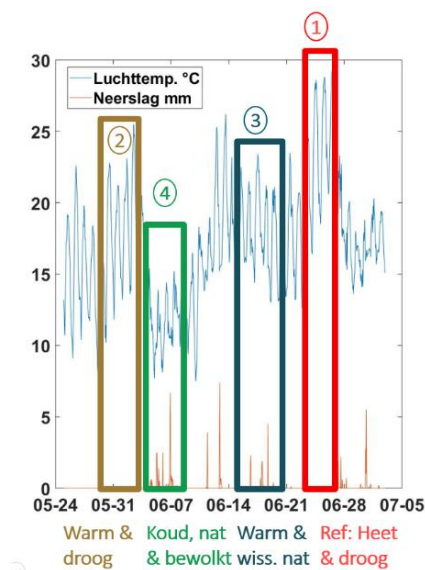
De metingen in locatie Weesperkarspel zijn beschikbaar voor de 16 sensoren voor de periode 25 mei 2020 t/m 2 juli 2020. Een overzicht van de bodemtemperatuur metingen is te zien in Fig 1.



Figuur 3 Overzicht bodemtemperatuur metingen

De metingen vallen in een wisselvallige meetperiode met, in het algemeen, een droge periode met veel zonuren en hoge variaties in luchttemperatuur. Verder is er ook variatie in neerslag en bedekkingsgraad. Ons voorstel is om de analyse in vier periodes in te delen, om het effect van maatregelen na te bootsen, d.w.z. natte dagen te gebruiken om het effect van irrigatie te evalueren en zeer bewolkte dagen te gebruiken om het effect van schaduw te evalueren, zie Fig 2 en tabel 1. De periodes zijn nl. 1. Referentie: Heet & droog; 2. Warm, droog; 3. Warm & wisselvallig nat en 4. Koud, nat & bewolkt.

Het referentie scenario (waar maatregelen nodig zijn) is de dataset 'onder Stelconplaat – Heet en droog' en het afgekoelde scenario (waar de afkoeling maximaal is) is 'Onder Onbegroeide grond – koud, nat & bewolkt'. Daartussen worden een aantal combinaties geëvalueerd.



Figuur 4 Voorstel indelen van meetperiode

Tabel 1 Beschrijving van de periode en nagebootste (combinatie van) maatregel(en)

Periode Naam	Eigenschappen van de periode	Nagebootste maatregel	
		Onder Stelconplaat	Onder Onbegroeide grond
1. Referentie: Heet & droog	Luchttemperatuur boven 25°C, geen neerslag	Conditie waar maatregelen nodig zijn	i) Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond, wat infiltratie (van regen of irrigatie) toelaat
2. Warm, droog	Luchttemperatuur tussen 20° en 25°C, geen neerslag en nauwelijks bewolking	i) opwarming van de luchttemperatuur te beperken b.v. door antropogene bronnen of stedelijk hitte eiland effect te beperken	i) Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond en ii) opwarming van de luchttemperatuur te beperken b.v. door antropogene bronnen of stedelijk hitte eiland effect te beperken
3. Warm & wisselvallig nat	Luchttemperatuur tussen 20° en 25°C, af en toe neerslag	i) opwarming van de luchttemperatuur te beperken ii) nabij vochtige bodem	i) Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond, ii) opwarming van de luchttemperatuur te beperken iii) droge bodem te voorkomen
4. Koud, nat & bewolkt	Luchttemperatuur onder 15°C en neerslag	i) opwarming van de luchttemperatuur te beperken ii) nabij natte bodem	i) Veranderen van bodembedekking van stelconplaat naar onbegroeide grond ii) opwarming van de luchttemperatuur te beperken iii) Schaduw die de luchttemperatuur verder afkoelt t.o.v. hete dagen en minder straling iv) natte bodem

II Inputparameters Hydrus

Technische aannames

- Domeindimensies: diepte x breedte = 10 m x 2 m
- FE resolutie
- FE knopen: 2832
- 2-D elementen: 5486

Modelperiode: 49 dagen (incl. initialisatieperiode van 7 dagen)

Tijdstap: varieert afhankelijk van modelcomplexiteit (bij een complexe berekening verkleint Hydrus de tijdstap. Min/max = 0,9 sec / 5 dagen. Multiplicatiefactor tussen opeenvolgende tijdstappen = 0,7 – 1,3.

Tijdstap resolutie van opgelegde thermische randvoorwaarde = 10 min

Output tijdstap = 0,25 d

Thermische randvoorwaarden

- Bovenrand:
 - ruimtelijk uniform en temporeel variabel (dus met een tijdsafhankelijk patroon). Afzonderlijke temperatuurpatronen voor zand en tegels.
 - In het verticale stukje rand tussen zand en tegels is de rand thermisch isolerend*.
- Zijranden: thermisch isolerend*
- Benedenrand: thermisch isolerend*

*Thermisch isolerend (Neumann conditie) betekent dat de temperatuur kan variëren, maar de gradiënt van de temperatuur in de richting loodrecht op de rand gelijk is aan nul. Is te beschouwen als een spiegelrand: als het domein gespiegeld zou zijn in deze rand zou het tot eenzelfde uitkomst leiden.

Bodemeigenschappen

Materiaal = zand:

$Q_r = 0.045$

$Q_s = 0.43$

$\alpha = 0.145$ (1/cm)

$N = 2.68$

$K_s = 712.8$ cm/day

$I [-] = 0.5$

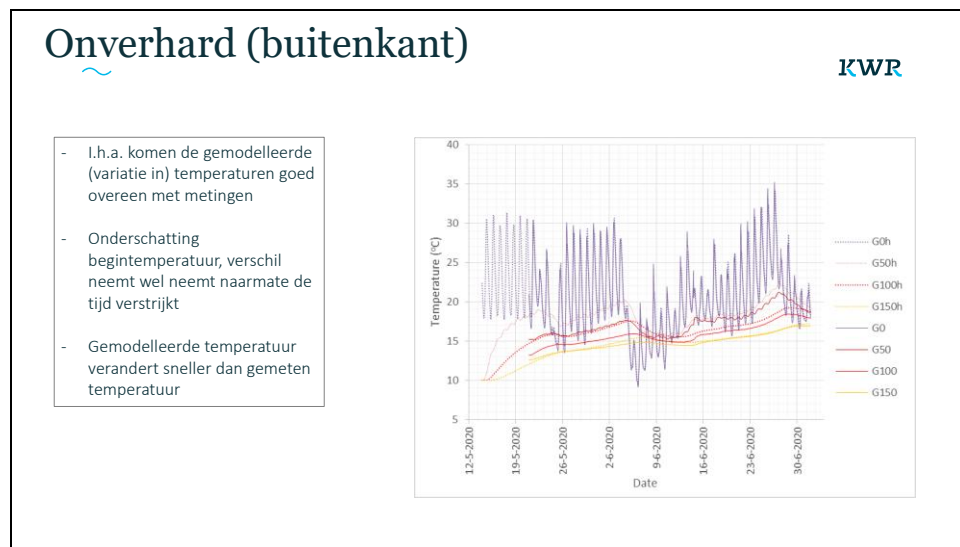
Mat 1

$b_1/b_2/b_3 = 1.47e16 / 1.5518e17 / 3.1662e17$

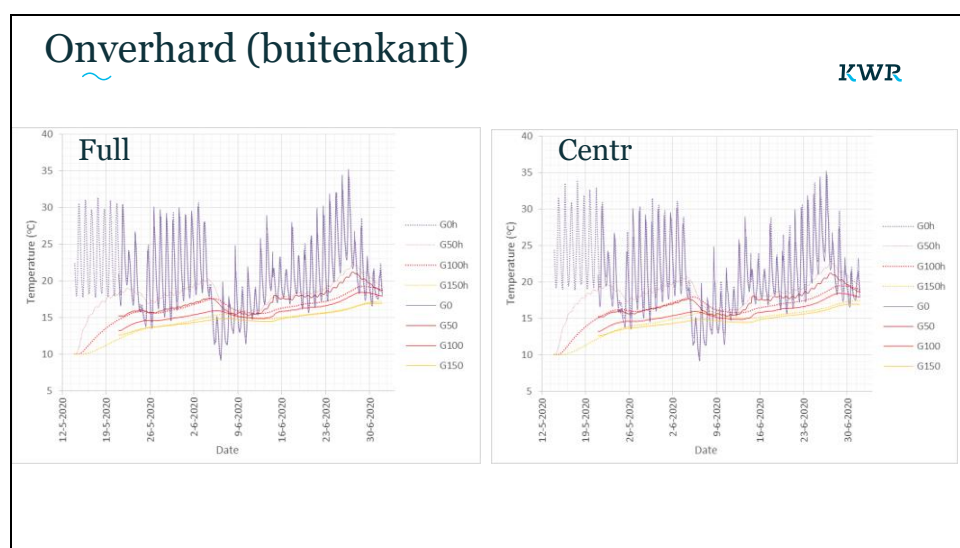
$C_n = 1.4333e14 / C_o = 1.8737e14 / C_w = 3.1204e14$

III Bijlage aanvullende resultaten van de validatie

Slide 1



Slide 2

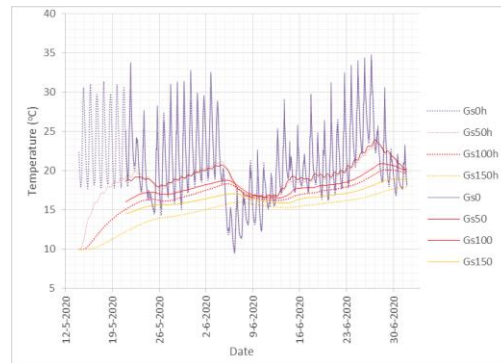


Slide 3

Onverhard (binnenkant)

KWR

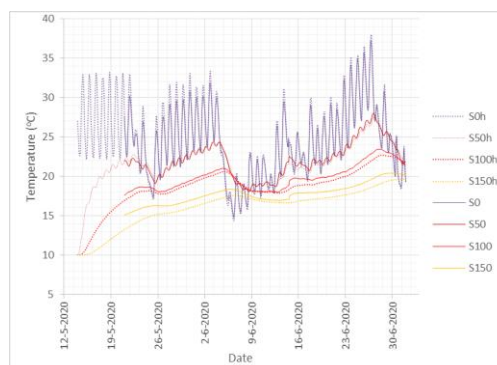
Begintemperatuur
- Lichte
onderschatting op
diepere
meetlocaties



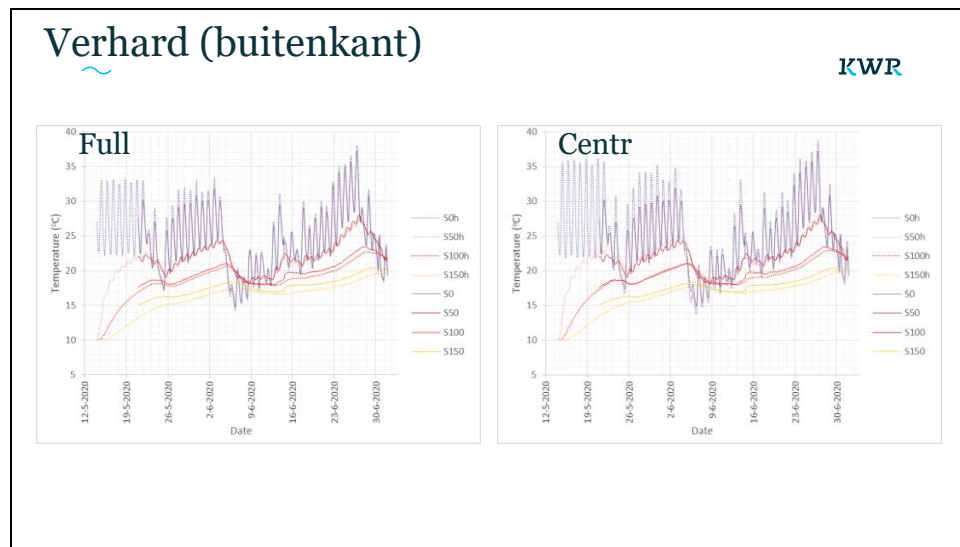
Slide 7

Verhard (buitenkant)

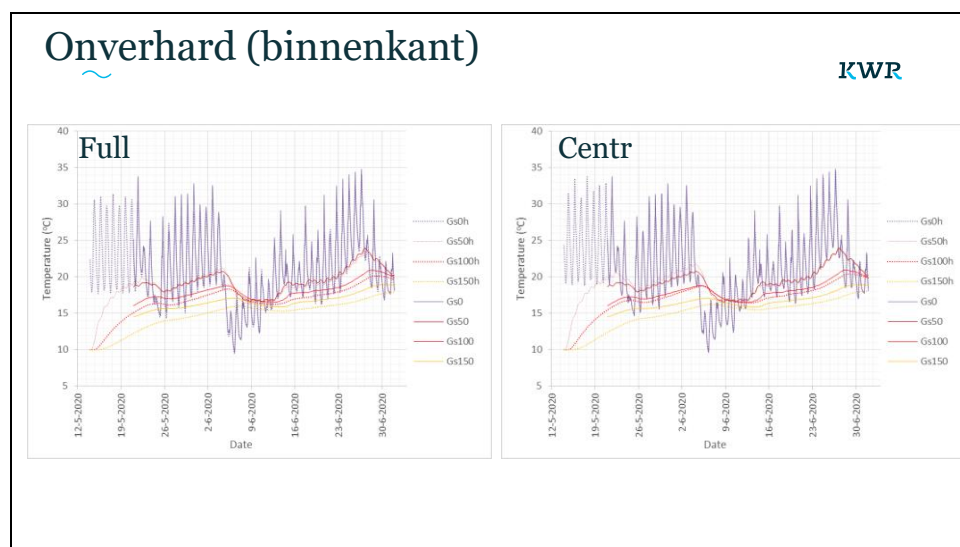
KWR



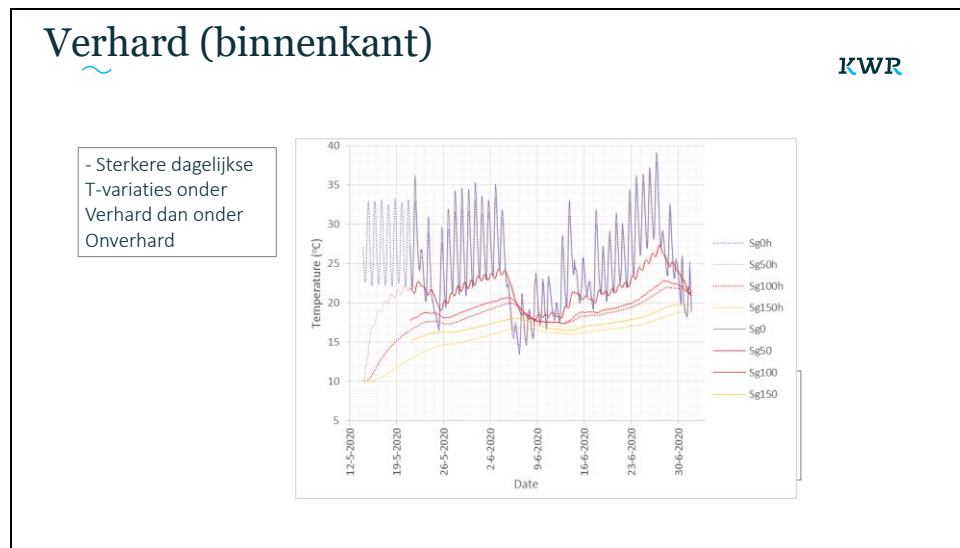
Slide 8



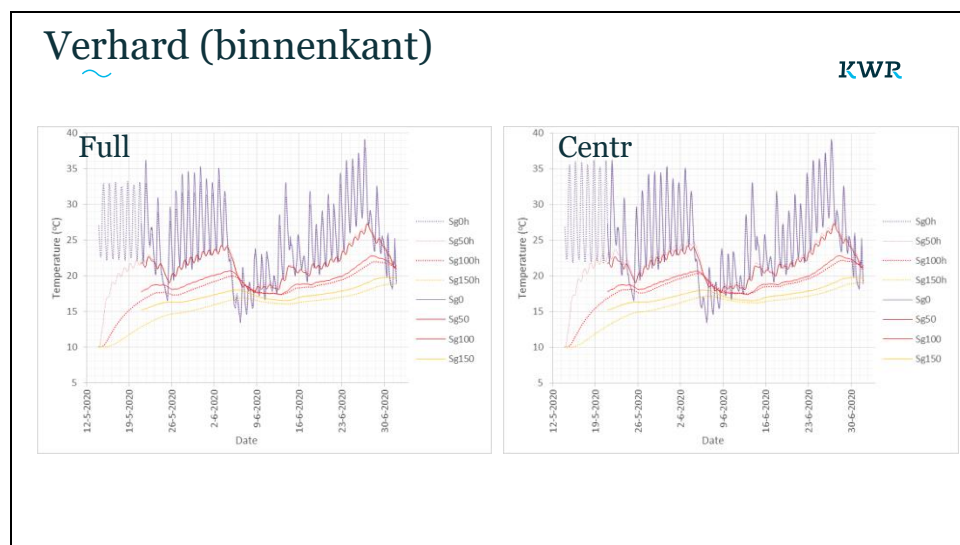
Slide 4



Slide 5



Slide 6



IV Bijlage Modelling van bodemopwarmte door warmtenet KWR 2020.046 samenvatting

Opdrachtgever: Evides, Auteur(s): dr. J. (Joost) van Summeren en Kwaliteitsborger(s) dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker

Samenvatting

Er is onderzocht in welke mate modelparameters de berekening beïnvloeden voor het berekenen van de opwarming van een zandbodem rond een geïsoleerde warmteleiding. Hiertoe zijn 2D modelleerberekeningen uitgevoerd met het rekenpakket HYDRUS 2D/3D.

Belangrijk is dat bij iedere berekening de volgende zaken worden gedocumenteerd, vetgedrukt de minimale eisen zoals die uit onze analyse volgt.

- 1 Het rekenpakket dat is gebruikt.
- 2 De afmetingen van het grid, een veilig uitgangspunt is **breedte: 24 maal de leidingdiameter, diepte: 46 maal de leidingdiameter**. Het gaat om de buitendiameter van de leiding + isolatiemateriaal.
- 3 De afmetingen van de gridcellen: **$\leq 0,065 \text{ m}^2$** . En pas gridverfijning toe rond de leiding: de knooppunt-afstand afnemend tot 10 cm in naast de leiding.
- 4 De thermische parameters van de bodem en leidingmateriaal, warmtecapaciteit C_p ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$); thermische conductiviteit λ ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$); massadichtheid ρ (kg m^{-3}). Aangeraden wordt voor de bodem uit te gaan van droog zand omdat dit tot een worst case leidt van warmte-opbouw in de bodem ($C_p = 800 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $\lambda = 1,4 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$; $\rho = 1650 \text{ kg m}^{-3}$). De afmetingen van warmteleidingen zijn in de catalogus terug te vinden, voor de isolatielaag van PUR geldt ($C_p = 1470 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $\lambda = 0,024 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$; $\rho = 90 \text{ kg m}^{-3}$); voor PE geldt ($C_p = 1880 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $\lambda = 0,47 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$; $\rho = 950 \text{ kg m}^{-3}$).
- 5 De randvoorwaarden die op de randen wordt opgelegd: boven, onder, links, rechts en op de (binnenkant van de) leidingwand. We raden aan om te werken met een **seizoenspatroon voor maaiveld**, ofwel op basis van een KNMI tijdreeks, ofwel op basis van een sinusfunctie. Indien een KNMI-tijdreeks wordt gebruikt, wees je er dan van bewust dat de metingen van bodemtemperaturen in/onder gras worden uitgevoerd, en niet representatief is voor een stedelijke omgeving. Voor de **randen links, rechts en onder** volstaat het om **thermisch ondoorlatende randen** te gebruiken, er hoeft dan geen initiële temperatuur te worden opgelegd.
- 6 Het model moet voldoende lang worden doorgerekend, minimaal **3 jaar aan simulatiedagen**.
- 7 De resultaten **van de warmste dag** op 1 meter diepte worden gepresenteerd.

V Defaultwaarden inloopparameters (Waternet)

1.7 Defaultwaarden inloopparameters

De defaultwaarden van de inloopparameters zijn afgeleid van de literatuurwaarden, zoals aangegeven in het NWRW 4.3-rapport. Bij de vaststelling van de parameters zijn 'veilige' waarden gehanteerd om een te grote onderschatting van de inloop te voorkomen. Met name voor de infiltratieparameters is daarom afgeweken van literatuurwaarden. Tabel B1.2 geeft een overzicht van de default inloopparameters.

Type oppervlak	Type afstroming	Afstromingsvertraging (min^{-1})	Oppervlakte berging (mm)	Infiltratie capaciteit (mm.h^{-1})		Tijdfactoren (h^{-1})	
				max.	min.	afname	herstel
gesloten verhard	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	0.5				
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0				
open verhard	hellend	0.5	0.0	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak	0.2	0.5	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0	2.0	0.5	3.0	0.1
dak	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	2.0				
	vlak uitgestrekt	0.1	4.0				
onverhard	hellend	0.5	2.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak	0.2	4.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	6.0	5.0	1.0	3.0	0.1

De defaultwaarden zijn per type oppervlak en per type afstroming opgegeven. Verdeel bij berekening van de afstromingsvertraging het aangesloten afvoerend oppervlak in typen afstroming: hellend, vlak en vlak uitgestrekt gebied. De afstromingsvertraging kent geen verder onderscheid in hoofdtype oppervlak (verharding). Dit betekent dat u bij afvoerend oppervlak (zonder onderscheid in verschillende verhardingstypen) toch verschillende typen afstromingen kunt aanbrengen. Dit kunt u vaak globaal doen.

In meer traditionele belastingen (zoals een constante intensiteit van $60 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$) voor stationaire berekeningen verwerkt u het inloopeffect in de neerslagbelasting. Zonder inloopeffecten vormen de standaardneerslaggebeurtenissen (zoals in bijlage 3) een extreem zware belasting voor rioolstelsels in vlakke gebieden.