

Warmteoverdracht stedelijke omgeving

warmteleiding Vlaardingen - Den Haag



Warmteoverdracht stedelijke omgeving
warmteleiding Vlaardingen - Den Haag

Auteur(s)

de heer J.M. van Esch

Warmteoverdracht stedelijke omgeving
warmteleiding Vlaardingen - Den Haag




Opdrachtgever	Gasunie New Energy
Contactpersoon	
Referenties	
Trefwoorden	Warmteleiding, grondwater, klimaat, energietransitie

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	17-08-2021
Projectnummer	11207270-002
Document ID	11207270-002-GEO-0001
Pagina's	58
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	dr.ir. J.M. van Esch	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	dr.ir. J.M. van Esch	dr. H.M.G. Kruse	ing. A.T. Aantjes	
				

Samenvatting

WarmtelinQ is een hoofdtransportleiding voor warm water. Vanuit WarmtelinQ wordt de warmte op termijn naar andere, kleinere warmtedistributienetten gepompt. De netten leveren de warmte vervolgens af bij woningen en bedrijven in Zuid-Holland die daarmee duurzaam verwarmd worden.

Als gevolg van het warmtetransport door de leiding warmt de ondergrond rond de leiding op. Onderzoek moet uitwijzen of de temperatuursverhoging nadelige effecten heeft voor bomen in Den Haag langs de Middachtenweg, de Moerweg en in de Kempstraat. Het onderzoek bestaat uit twee delen. Het eerste deel betreft het vaststellen van de te verwachten temperatuurstoename in de ondergrond, waarbij ook het bodemvochtgehalte wordt beschouwd. Het tweede deel beschouwt de effecten op de groei van bomen. Dit rapport presenteert de resultaten van het eerste deel van het onderzoek. Het tweede deel van onderzoek wordt door RHDHV uitgevoerd en de uitkomsten van dat onderzoek worden in een apart document vastgelegd.

De verwachte temperatuurstoename na de ingebruikname van de warmteleidingen is berekend voor vier locaties met een karakteristiek bodemprofiel in het leiding tracé; één bij de Middachtenweg (profiel 1), twee bij de Moerweg (profiel 2 en 3) en één in de Kempstraat (profiel 4). De locaties zijn geselecteerd op basis van grondeigenschappen en bodemvocht kenmerken. Voor elke profiel is de bodemtemperatuur en het bodemvochtgehalte berekend gedurende meerdere jaren. Het jaar 2020 kan als maatgevend worden beschouwd. De resultaten voor 2020 zijn in dit rapport in detail beschreven en kunnen worden gebruikt om het effect van de aanwezigheid van de warmte leidingen op de bomen te beoordelen in het tweede deel van het onderzoek.

Bij het vergelijken van de berekeningen met en zonder warmteleidingen bleek dat op een afstand van 2 m naast de aanvoerleiding, de invloed van de warmteleiding op een diepte van 0,5 m onder maaiveld gering is; maximaal 2 graden. Op dezelfde afstand van de aanvoerleiding wordt op een diepte van 2 m beneden maaiveld een temperatuurstoename van maximaal 4 graden geconstateerd. Op een afstand is van 5 meter is de invloed van de warmteleiding op de bodemtemperatuur te verwaarlozen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Probleemstelling	7
3	Beschikbare gegevens	9
3.1	Middachtenweg	10
3.2	Moerweg	11
3.3	Kempstraat	12
4	Berekeningen	13
4.1	Middachtenweg	14
4.2	Moerweg	16
4.3	Kempstraat	21
5	Conclusies en aanbevelingen	24
5.1	Conclusies	24
5.2	Aanbevelingen	27
	Literatuur	28
A	Onderzoekslocaties	29
B	Ondergrondprofielen	34
C	Meteorologische gegevens	36
D	Grondwaterstanden	38
E	Rekenmodellen	44
F	Rekenresultaten	46
G	Beoordelingstabellen	50

1 Inleiding

WarmtelinQ is een hoofdtransportleiding voor warm water. Vanuit WarmtelinQ wordt de warmte op termijn naar andere, kleinere warmtedistributienetten gepompt. De netten leveren de warmte vervolgens af bij woningen en bedrijven die daarmee duurzaam verwarmd worden. De hoofdtransportleiding loopt straks van de Rotterdamse haven naar het bestaande warmtenet in Den Haag.

Als gevolg van het warmtetransport door de leiding zal de ondergrond rond de leiding opwarmen. De mate waarin de ondergrond opwarmt is onderzocht op een testlocatie in Vlaardingen nabij een vergelijkbare warmteleiding 'Leiding over Noord' (Deltares, 2021a). In dit onderzoek zijn warmtemetingen uitgevoerd en is een rekenmodel ontwikkeld. Het rekenmodel is gevalideerd met de meetresultaten en is daarna toegepast om de warmteoverdracht in agrarische percelen en de mogelijke gewasschade door de warmteleiding Vlaardingen – Den Haag vast te stellen (Deltares, 2021b). Het opgestelde rekenmodel is ook toegepast om de opwarming van de grond boven het eco-aquaduct A4 Schiedam te bepalen (Deltares, 2021c).

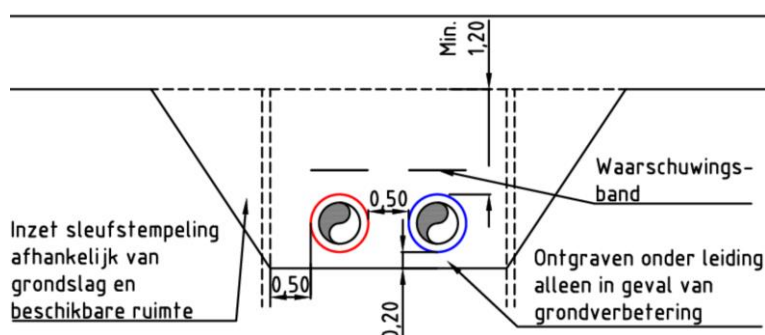
Dit rapport beschrijft het eerste deel van een onderzoek waarvan de resultaten moeten uitwijzen of de temperatuursverhoging door de aanleg van de warmte leiding nadelige effecten heeft voor bomen in Den Haag langs de Middachtenweg, de Moerweg en in de Kempstraat. De temperatuurstoename wordt berekend met het eerder ontwikkelde rekenmodel (Deltares 2021a). Het tweede deel van het onderzoek beschouwt de effecten op de groei van bomen en is niet in dit rapport beschreven. Dit rapport presenteert alleen de resultaten van het eerste deel van het onderzoek. Het tweede deel van onderzoek wordt door RHDHV uitgevoerd en de uitkomsten van dat onderzoek worden in een apart document vastgelegd.

In hoofdstuk 2 wordt de probleemstelling beschreven en worden de berekeningen toegelicht waarmee de te verwachten temperatuurstoename en verandering van het vochtgehalte kan worden vastgesteld. De beschikbare gegevens van de relevante locaties, zoals materiaaleigenschappen, ligging van het maaiveld, opbouw van de ondergrond en variatie van de grondwaterstanden, zijn samengevat in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 worden de berekende grondwaterstanden, bodemtemperaturen en watergehaltes, voor vier relevante locaties, gepresenteerd. De conclusies worden beschreven in hoofdstuk 5.

2 Probleemstelling

De onderzoeksvraag die wordt gesteld is: 'hoe groot is de toename van de temperatuur in de ondergrond van de Middachtenweg, de Moerweg en de Kempstraat in Den Haag, bij het gebruik van de warmteleiding Vlaardingen – Den Haag, en zijn er veranderingen in het bodemvochtgehalte te verwachten. Deze vraag moet met modelberekeningen, die het temperatuursverloop op vier locaties over vijf jaar (2016 – 2020) laten zien, worden beantwoord. Er worden berekeningen gemaakt met en zonder de aanwezigheid van de warmtetransportleidingen. De effecten op de bomen door RHDHV worden beschouwd en zullen de uitkomsten worden vastgelegd in een apart document.

Op de te onderzoeken locaties ligt de leiding in een open ontgraving, grotendeels binnen verstevigde taludwanden (sleufbekisting). De breedte van de onderkant sleuf is 2,9 m en de leidingdiameter is DN500/710. De temperatuur van de vloeistof in de aanvoerleiding is 120°C in de winter en 105°C in de zomer. De afvoerleidingtemperatuur is 70°C in de zomer en 65°C in de winter. Figuur 2.1 geeft een schematische weergave van het sleufprofiel.



Figuur 2.1 Standaard sleufprofiel: DN500/710 VPS (Gasunie 2020)

Met de modelberekeningen wordt het tijdsafhankelijke verloop van de temperatuur en het vochtgehalte in tweedimensionale dwarsdoorsnedes bepaald. Het vochtgehalte is het product van de porositeit van de grond en de verzadigingsgraad. Voor de berekeningen wordt het eindige elementen model DgFlow gebruikt dat voor het bepalen van de opwarming van de ondergrond door warmtetransportleidingen verder is ontwikkeld en gevalideerd (Deltares, 2021a). Het rekenmodel is eerder gebruikt om de warmteoverdracht in agrarische percelen en de mogelijke gewasschade door de warmteleiding Vlaardingen – Den Haag vast te stellen (Deltares, 2021b) en de opwarming van de grond boven het eco-aquaduct A4 Schiedam te bepalen (Deltares, 2021c) te bepalen.

De ligging van de grondwaterstand wordt berekend op basis van meteorologische gegevens die door het KNMI in Rotterdam zijn verzameld en de gemeten grondwaterstanden die zijn verzameld in de DINO database van TNO.

De resultaten worden gepresenteerd in grafieken met de bodemtemperaturen en bodemvochtgehalte op vijf dieptes (0,25, 0,5, 1,0, 1,5 en 2,0 m beneden maaiveld). bij verschillende afstanden van de aanvoerleiding (0,5, 1,0, 2,0 en 5 m). De aanvoerleiding is warmer dan de afvoerleiding, daardoor zijn de resultaten bij de aanvoer leiding maatgevend. De berekeningen worden uitgevoerd met Van Genuchten parameters (Staringreeks WUR) waarmee het stromingsgedrag in de onverzadigde toestand wordt beschreven. Geohydrologische parameters als doorlatendheid en porositeit van zand, veen en zand met

kleilaagjes waaruit de ondergrond is opgebouwd worden bepaald aan de hand van literatuurwaarden en eerder uitgevoerde projecten. Thermische eigenschappen als geleidbaarheid en warmtecapaciteit van deze materialen worden eveneens op deze manier bepaald.

3 Beschikbare gegevens

In dit hoofdstuk zijn de beschikbare gegevens zoals de ligging van het maaiveld, de opbouw van de ondergrond en de variatie van de grondwaterstanden, voor de verschillende locaties verzameld. Bijlage A geeft een indruk van de onderzoekslocaties met de daar aanwezige bomen. In Bijlage B zijn de ondergrondprofielen opgenomen die door Fugro zijn opgesteld. Bijlage C bevat de meteorologische gegevens; atmosferische temperatuur (Figuur 5.15), luchtvochtigheid (Figuur 5.16), windsnelheid (Figuur 5.17), korte golf straling (Figuur 5.18) en neerslag (Figuur 5.19) die in met weerstation Rotterdam door het KNMI zijn gemeten. In Bijlage D zijn grondwaterstanden die in de directe omgeving van de gekozen locaties door TNO zijn gemeten, opgenomen. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de peilbuislocaties.

Tabel 3.1 Locaties peilbuizen uit de DINO database (TNO 2021)

Code	x (m RD)	y (m RD)	Filter (m mv)
B30G5082	80090	453607	-1.39
B30G5083	80090	453607	-3.35
B30G4855	80005	453012	-1.72
B30G1018	80360	451535	-1.25
B30G4870	80857	452071	-2.97
B30G1029	80470	451620	onbekend

De thermische eigenschappen van de materialen zijn opgenomen in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Materiaalparameters standaardprofiel (Deltares 2021a)

Materiaal	Geleidbaarheid (W/mK)	Capaciteit (J/kgK)	Dichtheid (kg/m ³)	Diffusie (mm ² /s)
grondaanvulling	0.16	1510	800	0.13
eps	0.035	1450	27.5	0.88
PUR	0.024	1470	90	0.18
staal	45	500	8050	11.18
water	0.6	4182	1000	0.14

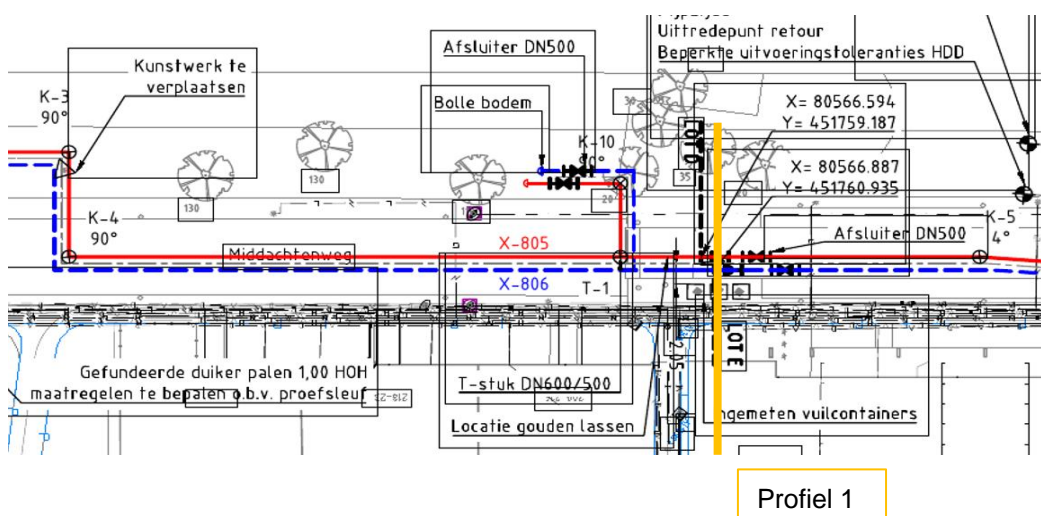
Thermische en geohydrologische eigenschappen van de ondergrond zijn verzameld in Tabel 3.3. Het voorkomen van zand, zand met kleilaagjes, veen en klei is afgeleid uit het beschikbare grondonderzoek (Deltares 2021a). Voor de bepaling van de thermische eigenschappen bij verzadigde omstandigheden is de geleidbaarheid van de korrelmatrix van zand vastgesteld op 2.25 W/mK, de geleidbaarheid van zand met kleilaagjes bedraagt 2.07 W/mK en de thermische geleidbaarheid van veen is 0.34 W/mK. Met deze gegevens is de geleidbaarheid van nat zand $0.15 + 2.25 * 0.65 + 0.6 * 0.35 = 1.82$ W/mK. De warmtecapaciteit van nat zand volgt uit $839 + 0.35 * 4182 = 2303$ J/kgK. Bij de berekeningen wordt klei volledig verzadigd verondersteld met een porositeit van 0.6, een doorlatendheid van 0.01 m/d, een geleidbaarheid van 0.96 W/mK en een warmtecapaciteit van 1547 J/kgK.

Tabel 3.3 Materiaalparameters ondergrond

Parameter	Zand	Zand / klei	Veen	Klei
porositeit (-)	0.35	0.40	0.50	0.60
doorlatendheid (m/d)	1.00	0.10	0.02	0.01
geleidbaarheid nat (W/mK)	1.82	1.60	0.55	0.96
geleidbaarheid droog (W/mK)	0.15	0.12	0.08	nvt
warmtecapaciteit nat (J/kgK)	2303	2147	2091	1547
warmtecapaciteit droog (J/kgK)	839	474	0	nvt
dichtheid (kg/m3)	2650	2350	1100	2300
genuchten a (1/m)	2.240	1.360	1.030	nvt
genuchten l (-)	0.000	-0.803	-1.411	nvt
genuchten n (-)	2.286	1.342	1.376	nvt

3.1 Middachtenweg

De leidingen ter plaatse van de Middachtenweg ligt in het tracé LOT E 001 en is ingetekend in routekaart 64 en 65 (rood aanvoerleiding blauw afvoerleiding). De profielovergang LOT D – LOT E op routekaart 65 (Figuur 3.1) wordt representatief geacht voor deze locatie.

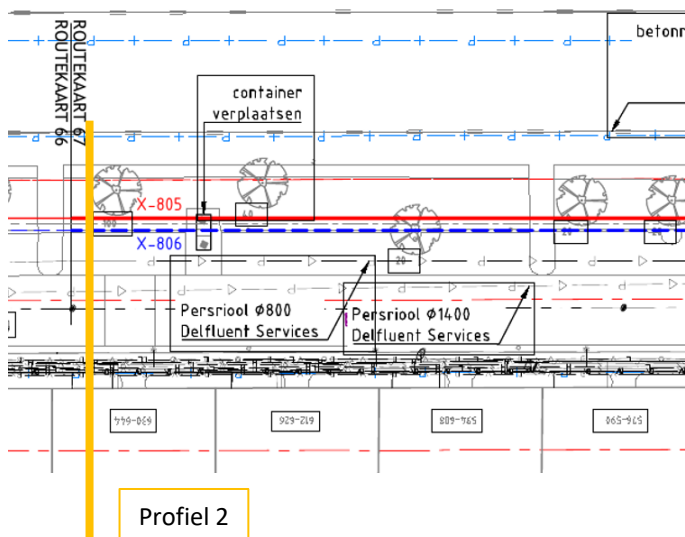


Figuur 3.1 Profiel 1 Middachtenweg (Gasunie 2020)

Volgens het ontwerp ligt het maaiveld ter plaatse van profiel op +0,1 m NAP en ligt de bovenkant leiding op -1,4 m NAP. De ondergrond is opgebouwd uit: zand met kleilaagjes tot -3,2 m NAP en homogeen zand tot -10,0 m NAP. Uit de stijghoogtemetingen in peilbuis B30G1029 (Figuur 5.25) volgt dat de grondwaterstand in het zandpakket tussen hoog mv -1,3 m, gemiddeld mv -1,6 m en laag mv -1,8 m mv ligt.

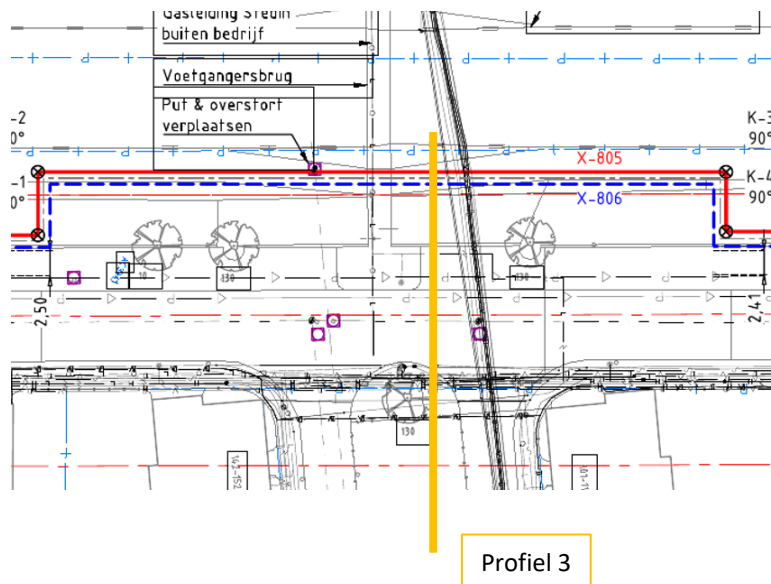
3.2 Moerweg

De leiding ter plaatse van de Moerweg ligt in tracé LOT E 003 en is ingetekend in de routekaarten 66, 67 en 68. Twee representatieve profielen zijn afgebeeld op routekaart 67 op een afstand 0 m (Figuur 3.2) en 130 m (Figuur 3.3). Het maaiveld van de eerste Moerweg locatie (profiel 2) ligt op +0,47 m NAP en is de bovenkant leiding ontworpen op -0,73 m NAP. De ondergrond is opgebouwd uit: zand van maaiveld tot -2,0 m NAP, veen tot een diepte van -2,4 m NAP, zand met kleilaagjes tot -6,1 m NAP en daaronder homogeen zand tot -10 m NAP. Uit de stijghoogtemetingen in peilbuis B30G4855 (Figuur 5.22) volgt dat de grondwaterstand in het zandpakket tussen hoog mv -1,2 m, gemiddeld mv -1,5 m en laag mv -1,8 m ligt.



Figuur 3.2 Profiel 2 Moerweg (Gasunie 2020)

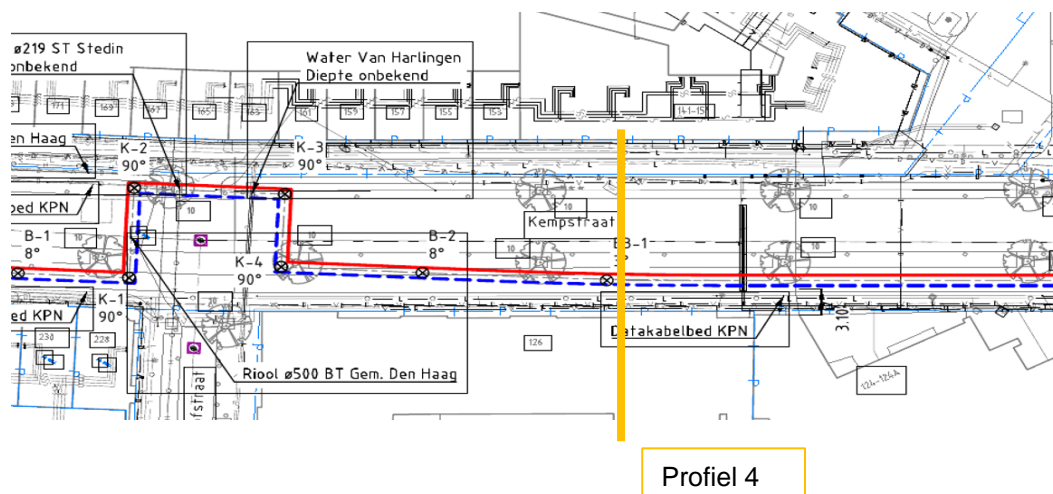
Bij de tweede Moerweg locatie (Profiel 3) is bij het ontwerp uitgegaan van een ligging van het maaiveld van +0,08 m NAP en is de bovenkant leiding gelegen op -1,33 m NAP. De ondergrond is opgebouwd uit: zand van maaiveld tot -2 m NAP, veen tot een diepte van -2,4 m NAP, zand met kleilaagjes tot -6,1 m NAP en daaronder homogeen zand tot -10 m NAP. Uit de stijghoogtemetingen in peilbuis B30G4855 (Figuur 5.22) volgt dat de grondwaterstand in het zandpakket tussen hoog, mv -1,2 m, gemiddeld mv -1,5 m en laag mv -1,8 m ligt.



Figuur 3.3 Profiel 3 Moerweg (Gasunie 2020)

3.3 Kempstraat

Het leidingen tracé in de Kempstraat valt in LOT E 007 en is weergegeven op de routekaarten 72 en 73. Het profiel dat in routekaart 73 op een afstand van 89,12 m begin kaartvlak ligt is weergegeven in Figuur 3.4 en wordt representatief voor dit tracé geacht. De aanvoerleiding is rood afgebeeld en de afvoerleiding blauw.



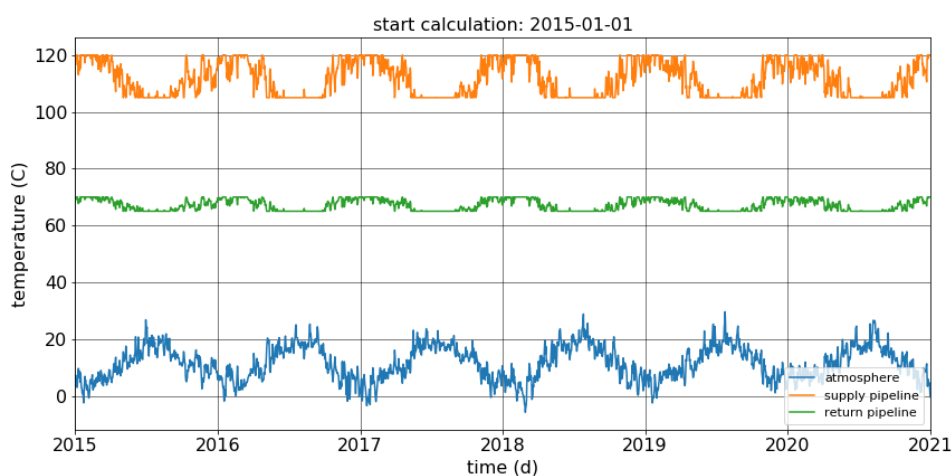
Figuur 3.4 Profiel 4 Kempstraat (Gasunie 2020)

Bij profiel 4 is bij het ontwerp uitgegaan van een ligging van het maaiveld op +0,88 m NAP en bovenkant leiding op -0,38 m NAP. De ondergrond bestaat uit zand van maaiveld tot -1,0 m NAP met daaronder veen tot een diepte van -1,6 m NAP en daaronder zand tot -10 m NAP. Uit de stijghoogtemetingen in peilbuis B30G5082 (Figuur 5.21) volgt dat de grondwaterstand in het zandpakket tussen hoog mv -0,7 m, gemiddeld mv -1,3 m en laag mv -1,6 m ligt.

4 Berekningen

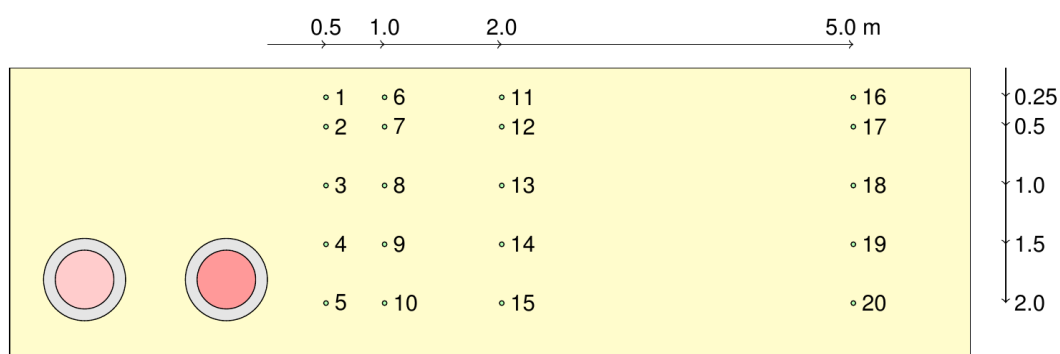
In dit hoofdstuk zijn de rekenresultaten verzameld per onderzoekslocatie bij een gemiddelde ligging van de grondwaterstand die is afgeleid uit de grondwatergegevens in de DINO database en neerslag en verdamping aan maaiveld. De bodemprofielen die zijn opgesteld voor de locaties en zijn beschreven in het vorige hoofdstuk zijn gebruikt in de berekeningen. In bijlage E zijn de 4 profielen afgebeeld.

In Figuur 4.1 is de temperatuur van de aanvoerleiding en de retourleiding afgebeeld; bij een atmosferische temperatuur van 5°C of lager heeft de vloeistof in de aanvoerleiding een temperatuur van 120°C en is de temperatuur van de vloeistof in de retourleiding 70°C, bij een buitentemperatuur van 15°C of hoger is de temperatuur in de aanvoerleiding 105°C en in de retourleiding 65°C. Bij een atmosferische temperatuur tussen 5°C en 15°C zijn de leidingtemperaturen geïnterpoleerd. Het berekende temperatuursverloop in de warmte leidingen is in de ondergrondberekeningen opgelegd.



Figuur 4.1 Temperatuur aanvoerleiding en retourleiding

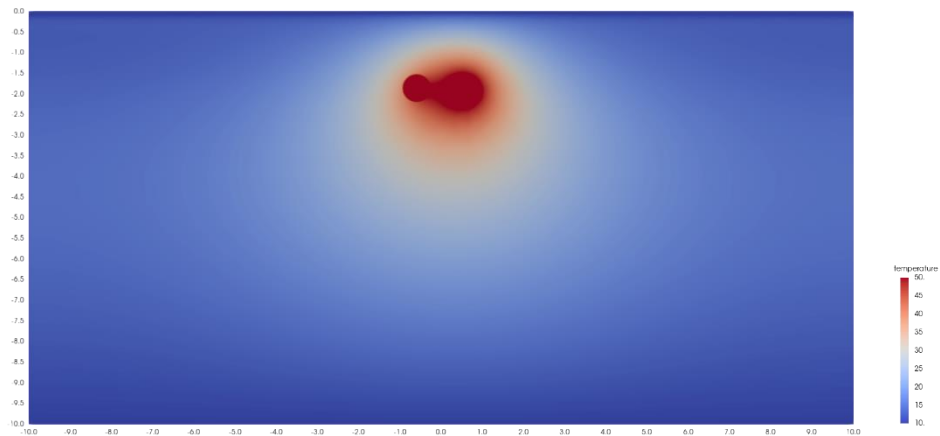
In dit hoofdstuk worden de resultaten voor het jaar 2020 gepresenteerd voor 5 rekenpunten (1 tot en met 5) uit Figuur 4.2. In Bijlage F zijn de resultaten voor de periode 2016-2021 opgenomen voor de rekenpunten 1 t/m 5 en de referentiepunten 16 t/m 20. In bijlage G worden maandgemiddelde waarden voor het jaar 2020 in tabelvorm gepresenteerd.



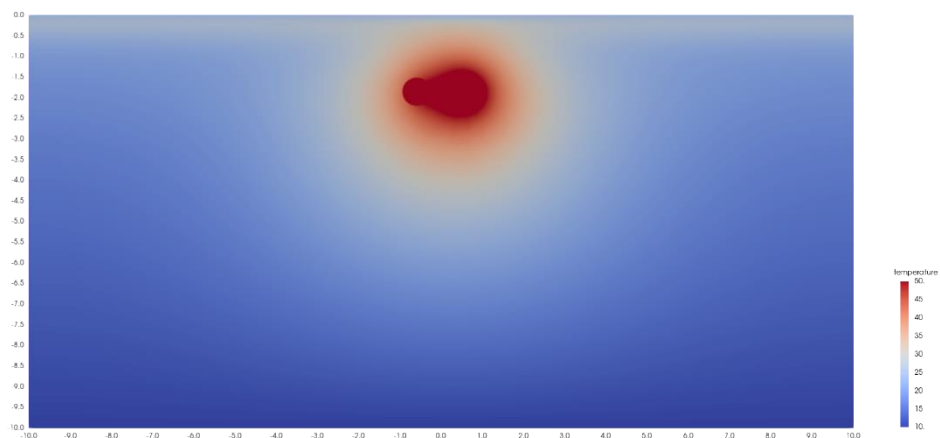
Figuur 4.2 Ondergrondschematisatie en rekenpunten

4.1 Middachtenweg

In Figuur 4.3 is de berekende bodemtemperatuur voor de onderzoekslocatie 'Middachtenweg' voor een wintersituatie afgebeeld, Figuur 4.4 geeft de bodemtemperatuur in de zomer weer (temperatuurschaal 10 tot 50 graden Celsius, waarbij hogere temperaturen zijn weergegeven met de kleur van de maximum temperatuurschaal lagere temperaturen dan 10 C komen niet voor).

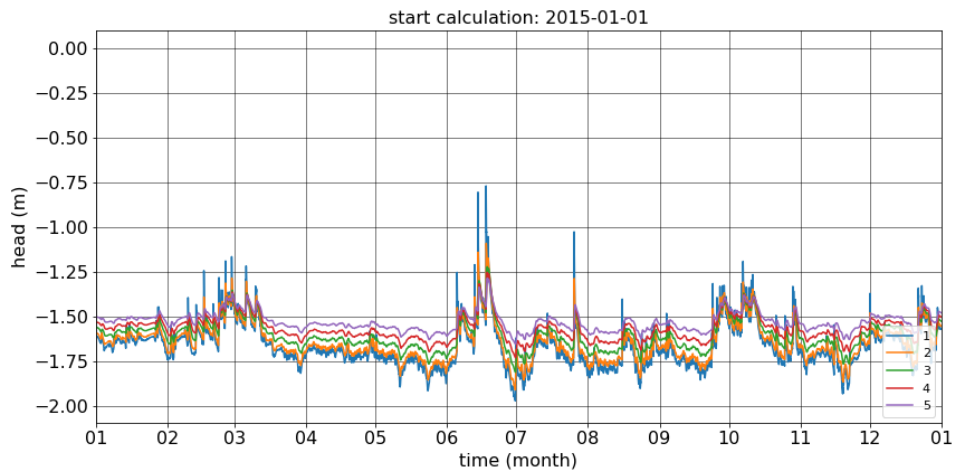


Figuur 4.3 Bodemtemperatuur profiel 1 (1 februari 2020)

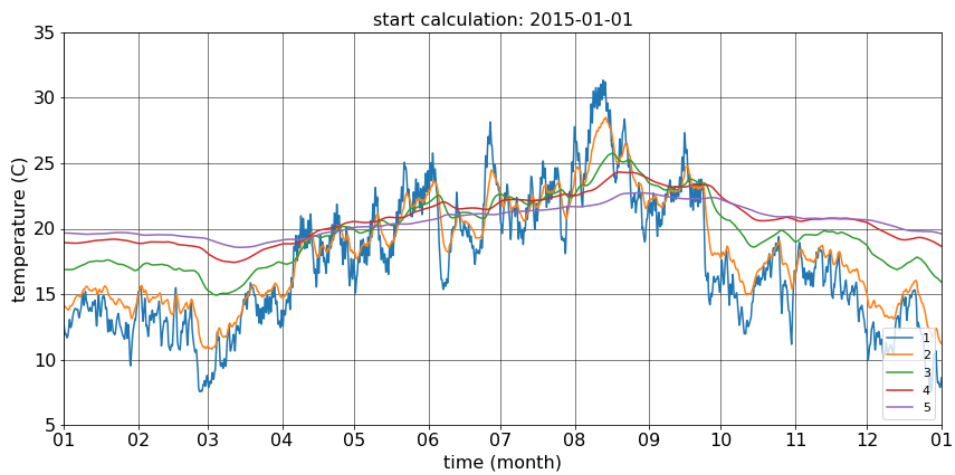


Figuur 4.4 Bodemtemperatuur profiel 1 (1 augustus 2020)

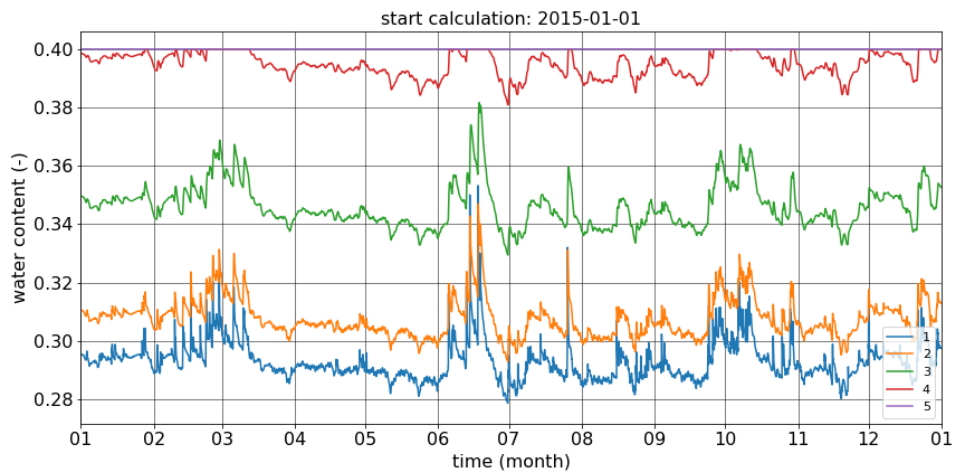
In Figuur 4.5, Figuur 4.6 en Figuur 4.7 zijn de rekenresultaten (stijghoogte, bodemtemperatuur en vochtgehalte) voor vijf punten, die zich in horizontale richting op een afstand van 0,5 m van de aanvoerleiding bevinden op een diepte van 0,25 (punt 1), 0,5 (punt 2), 1,0 (punt 3), 1,5 (punt 4) en 2,0 m (punt 5) beneden maaiveld, afgebeeld. De figuren geven de resultaten van de berekeningen gedurende het jaar 2020. In Bijlage F zijn de resultaten voor de periode 2016 – 2020 opgenomen en worden de temperaturen op een afstand van 0,5 m vergeleken met de temperaturen die op 5 m afstand van de aanvoerleiding zijn berekend. Op een afstand van 5 m wordt de bodemtemperatuur nagenoeg niet door de warmteleidingen beïnvloed.



Figuur 4.5 Grondwaterstand t.o.v. mv profiel 1 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)

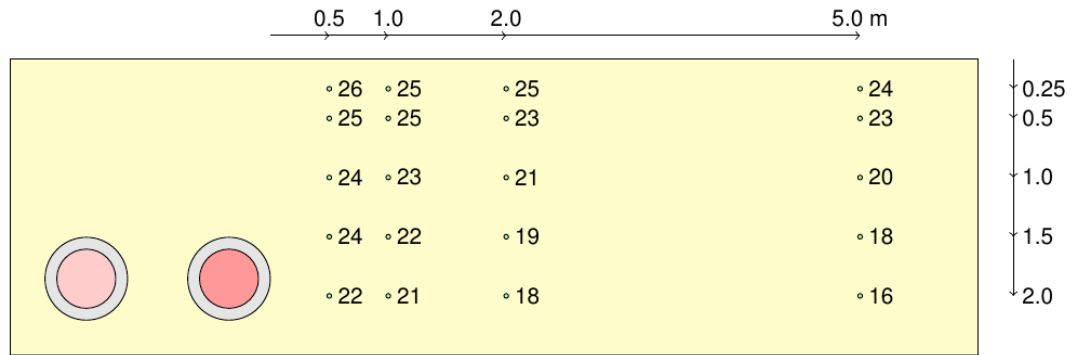


Figuur 4.6 Bodemtemperatuur profiel 1 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)



Figuur 4.7 Volumetrisch watergehalte profiel 1 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)

Figuur 4.8 geeft de gemiddelde bodemtemperaturen weer die berekend zijn voor de maand augustus 2020 in de 20 rekenpunten. In Bijlage G zijn de gemiddelde maandtemperaturen voor heel 2020 opgenomen.



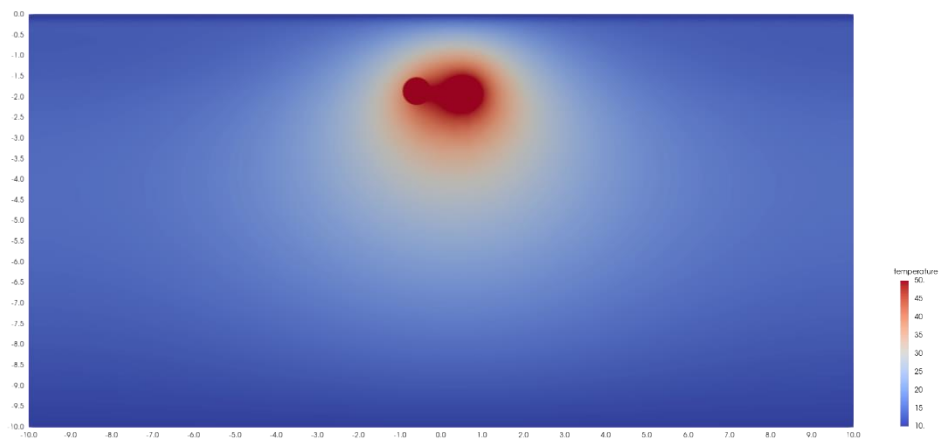
Figuur 4.8 Gemiddelde bodemtemperaturen augustus 2020, profiel 1

Een referentieberekening zonder warmteleidingen geeft voor de augustus 2020 een gemiddelde bodemtemperatuur van 24, 22, 19, 17 en 15 °C op een diepte van 0,25, 0,5, 1,0, 1,5 en 1,0 meter beneden maaiveld. Deze waarden komen nagenoeg overeen met de berekende bodemtemperatuur op een afstand van 5 m van de aanvoerleiding in de berekening met de warmte leidingen; het verschil is slechts één graden.

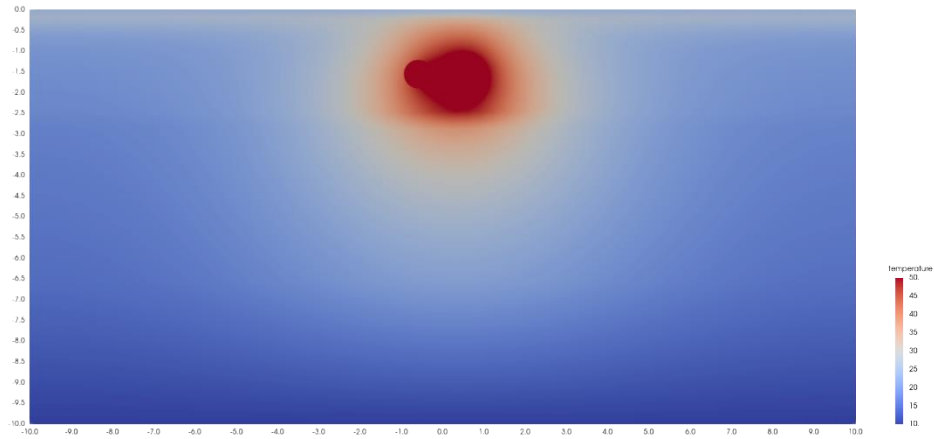
De vergelijkende berekeningen zonder de warmteleidingen laat zien dat de warmtetoename door de leidingen maximaal drie graden bedraagt op een afstand van twee meter naast de aanvoerleiding. De grootste toename is berekend op een diepte van 2 m. Op een diepte van 0,5 m is de toename één graad, op een diepte van 2 m is de toename 4 graden.

4.2 Moerweg

De temperatuur in de ondergrond langs de warmteleiding, zoals dat is berekend voor de eerste onderzoekslocatie aan de Moerweg (profiel 2), is afgebeeld in Figuur 4.9 en Figuur 4.10.

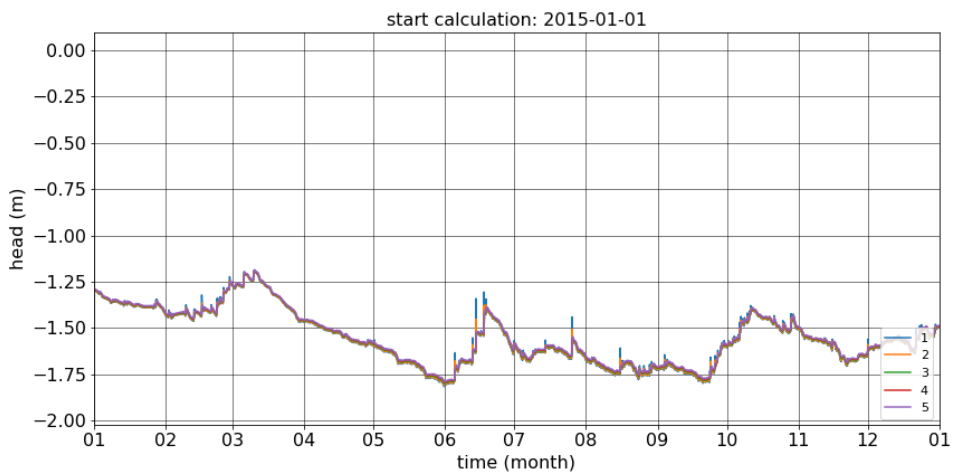


Figuur 4.9 Bodemtemperatuur profiel 2 (1 februari 2020)

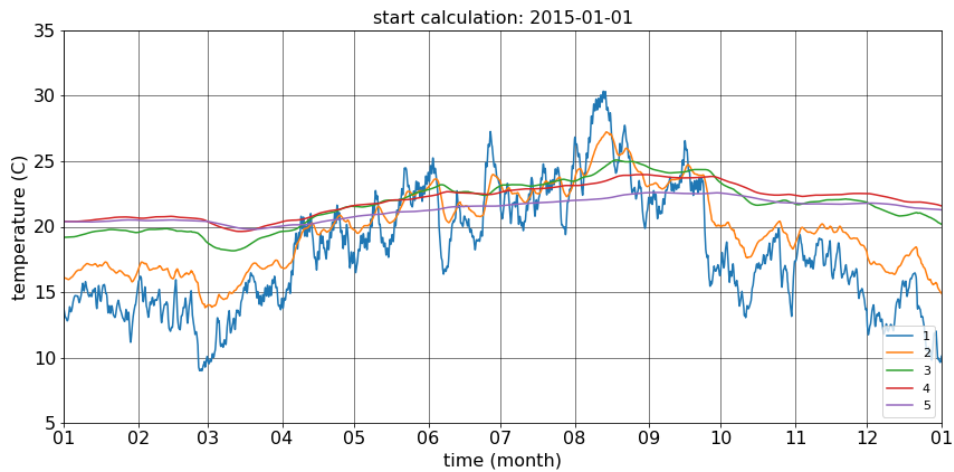


Figuur 4.10 Bodemtemperatuur profiel 2 (1 augustus 2020)

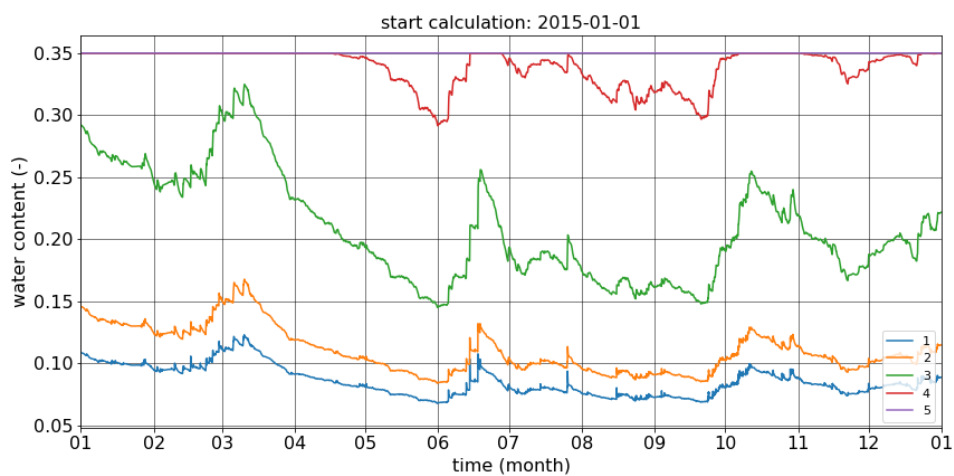
De grondwaterstand voor vijf punten, op een afstand van 0,5 m rechts van de aanvoerleiding op een diepte van 0,25 (punt 1), 0,5 (punt 2), 1,0 (punt 3), 1,5 (punt 4) en 2,0 m (punt 5) beneden maaiveld, gedurende het jaar 2020 is in Figuur 4.11 afgebeeld. Figuur 4.12 geeft de berekende bodemtemperaturen en in Figuur 4.13 is het watergehalte afgebeeld. In bijlage F zijn de rekenresultaten voor de periode 2016-2021 opgenomen.



Figuur 4.11 Grondwaterstand t.o.v. mv profiel 2 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)

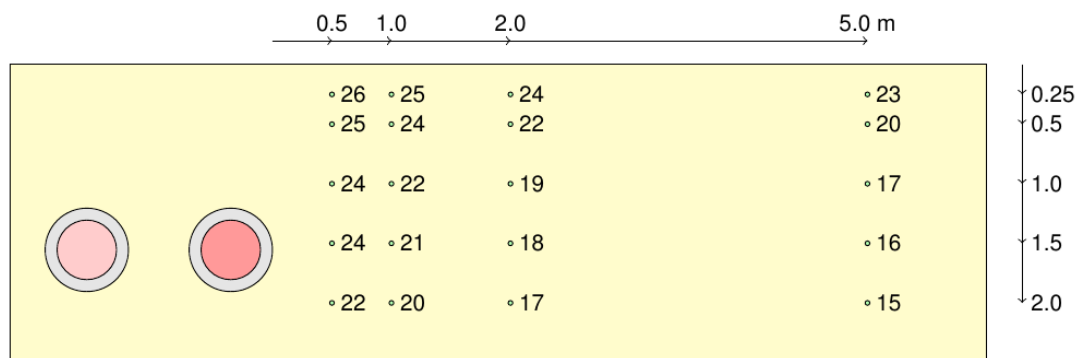


Figuur 4.12 Bodemtemperatuur profiel 2 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)



Figuur 4.13 Watergehalte profiel 2 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)

Figuur 4.14 geeft de gemiddelde bodemtemperaturen weer die berekend zijn voor de maand augustus 2020 in de 20 rekenpunten. In Bijlage G zijn de gemiddelde maandtemperaturen voor heel 2020 opgenomen.



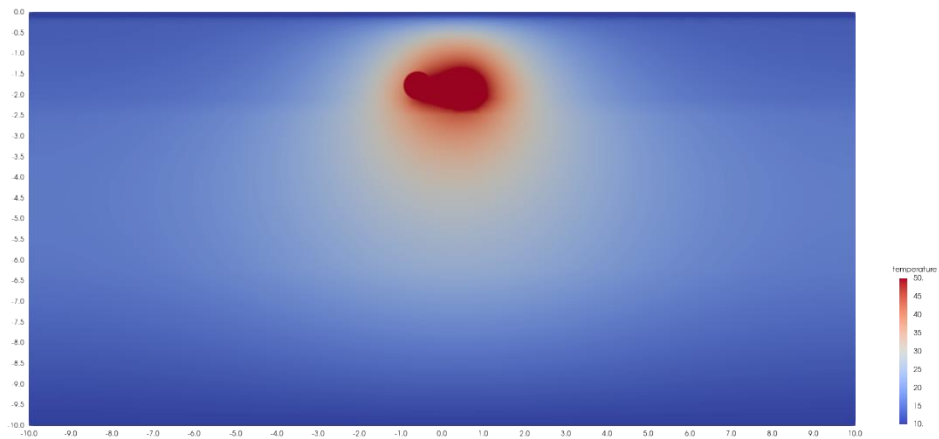
Figuur 4.14 Gemiddelde bodemtemperaturen augustus 2020, profiel 2

Een berekening zonder warmteleidingen geeft voor de augustus 2020 een gemiddelde maandtemperatuur van 23, 20, 16, 15 en 14°C op een diepte van 0,25, 0,5, 1,0, 1,5 en 1,0

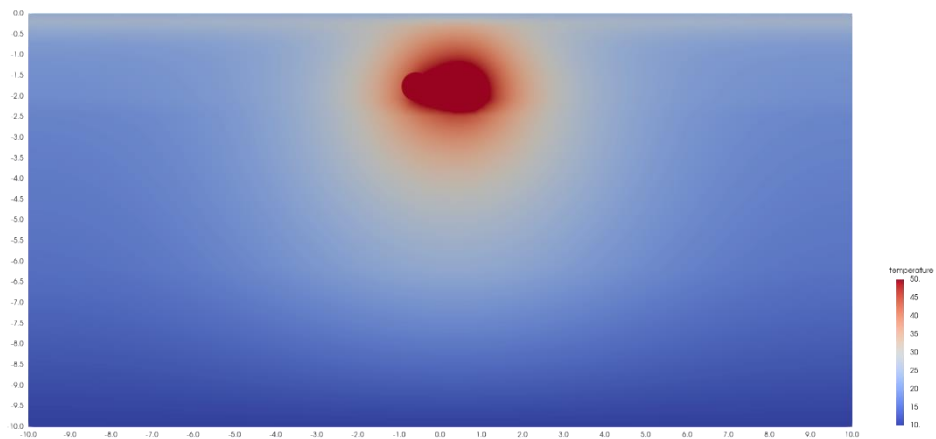
meter beneden maaiveld. Deze waarden zijn vergelijkbaar met de berekende temperatuur op een afstand van 5 m naast de aanvoerleiding in de berekening met de warmteleidingen.

De vergelijkende berekening zonder de warmteleidingen zien dat de toename door de leidingen maximaal 3 graden bedraagt op een afstand van twee meter naast de aanvoerleiding. Op een diepte van 0,5 m is de toename 2 graden, op een diepte van 2 m is de toename 3 graden.

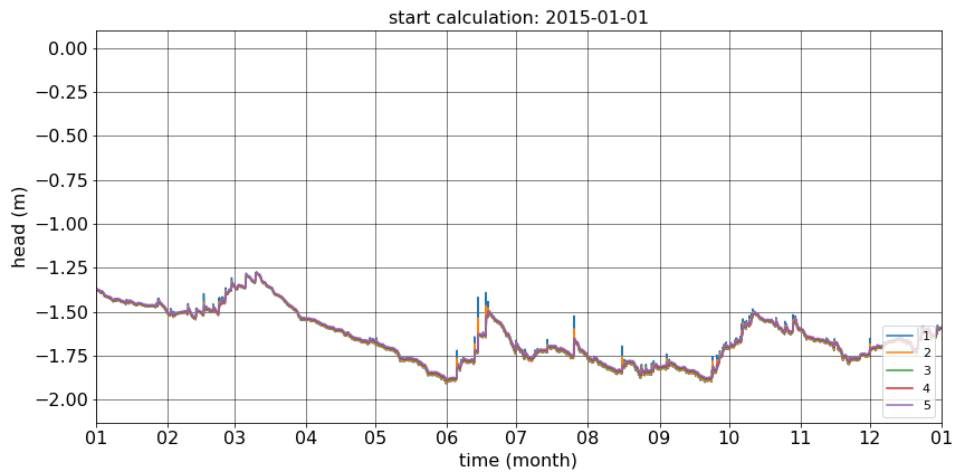
De resultaten van de berekening voor de tweede locatie aan de Moerweg (profiel 3) zijn weergegeven in Figuur 4.15 (wintersituatie) Figuur 4.16 (zomersituatie) Figuur 4.17 (stijghoogte) Figuur 4.18 (bodemtemperatuur) Figuur 4.19 (watergehalte) voor het jaar 2020.



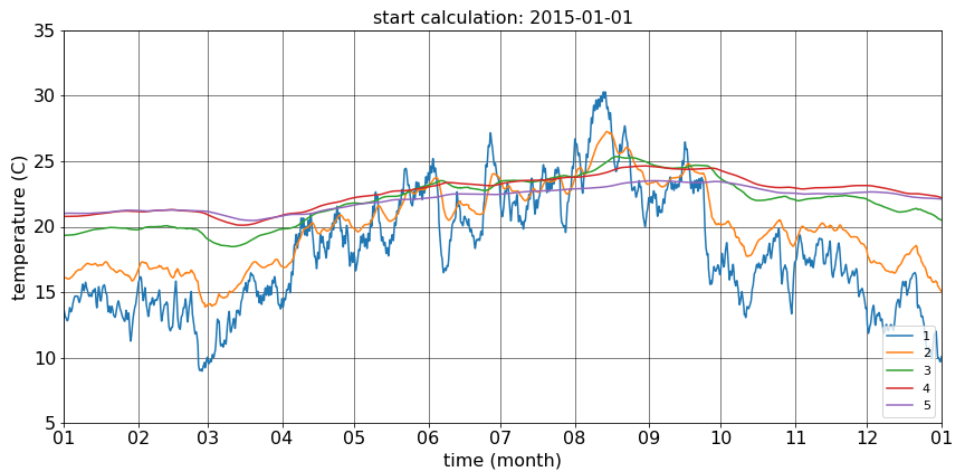
Figuur 4.15 Bodemtemperatuur profiel 3 (1 februari 2020)



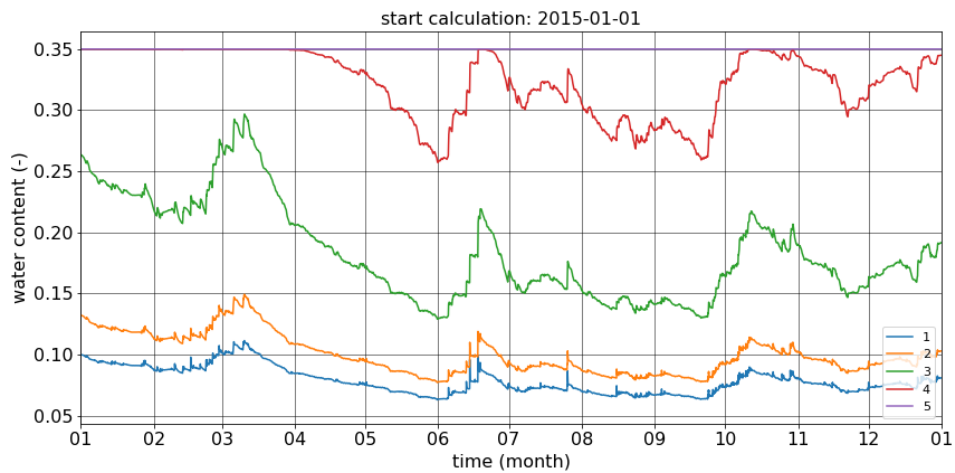
Figuur 4.16 Bodemtemperatuur profiel 3 (1 augustus 2020)



Figuur 4.17 Grondwaterstand t.o.v. mv profiel 3 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)

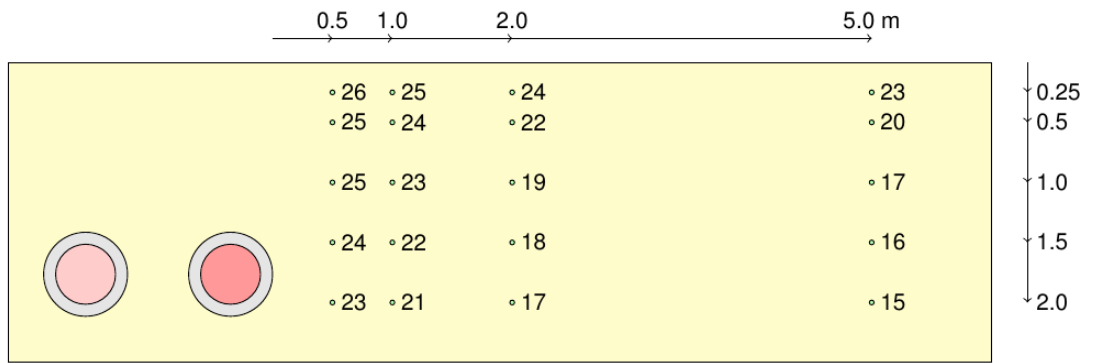


Figuur 4.18 Bodemtemperatuur profiel 3 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)



Figuur 4.19 Watergehalte profiel 3 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)

Figuur 4.20 geeft de gemiddelde bodemtemperaturen weer die berekend zijn voor de maand augustus 2020 in de 20 rekenpunten. In Bijlage G zijn de gemiddelde maandtemperaturen voor heel 2020 opgenomen.



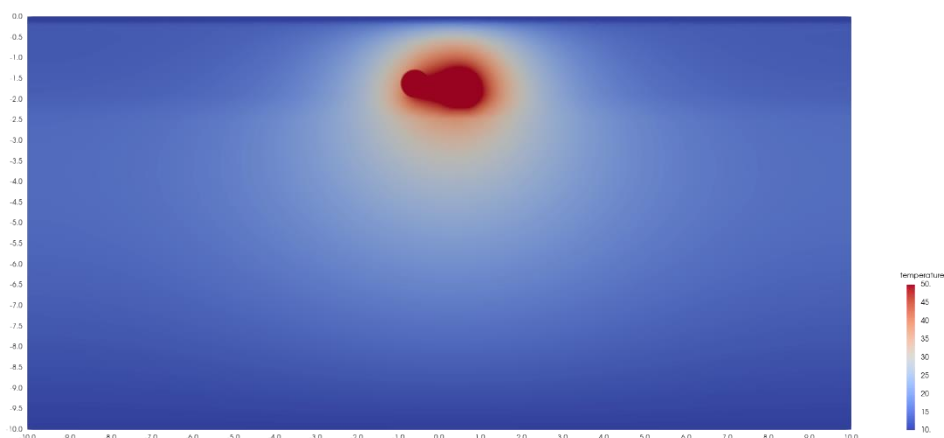
Figuur 4.20 Gemiddelde bodemtemperaturen augustus 2020, profiel 3

Een berekening zonder warmteleidingen geeft voor de maand augustus 2020 een gemiddelde temperatuur van 23, 20, 16, 14 en 14°C op een diepte van respectievelijk 0,25, 0,5, 1,0, 1,5 en 1,0 meter beneden maaiveld. Deze temperaturen komen goed overeen met de berekende bodemtemperatuur die volgen uit een berekening met warmteleiding op een afstand van 5 m van de aanvoerleiding (23, 20, 17, 16 en 15°C in bovenstaande figuur). Op een afstand van 5 meter is de opwarming door de warmteleidingen dus nagenoeg te verwaarlozen.

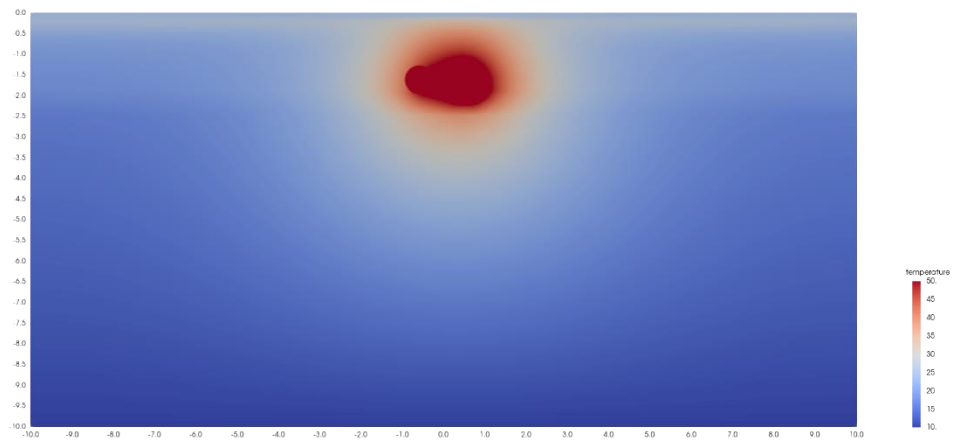
Op een afstand van 2 m is het verschil in de berekende temperatuur met en zonder warmteleiding maximaal 4 graden. De grootste toename is berekend op een diepte van 1,5 m. Op een diepte van 0,5 m is de toename 2 graden, op een diepte van 2 m is de toename 3 graden.

4.3 Kempstraat

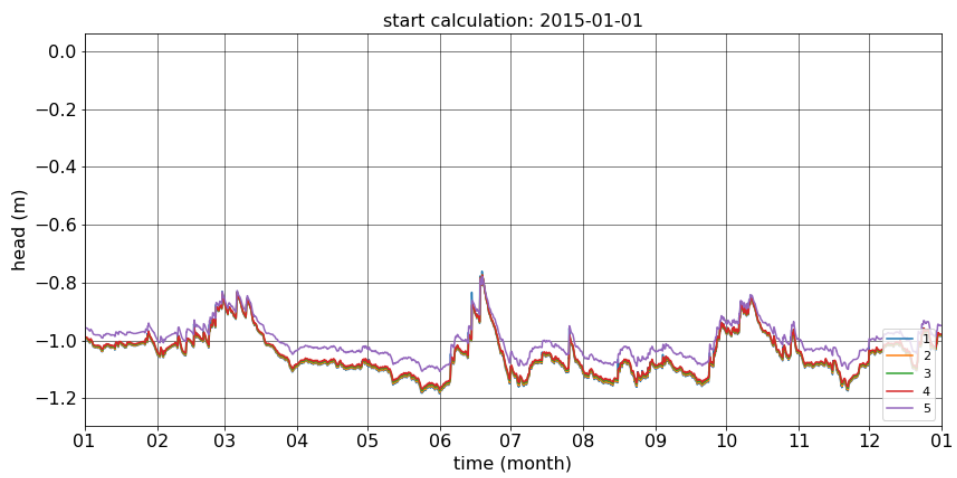
De berekende bodemtemperatuur voor de onderzoekslocatie Kempstraat (profiel 4) is afgebeeld in Figuur 4.21 (wintersituatie) en Figuur 4.22 (zomer situatie). De stijghoogte, de bodemtemperatuur en het watergehalte in de meetpunten op een afstand van 0,5 m van de aanvoerleiding en 0,25, 0,5, 1,0, 1,5 en 2,0 m beneden maaiveld zijn voor het jaar 2020 afgebeeld in Figuur 4.23, Figuur 4.24 en Figuur 4.25.



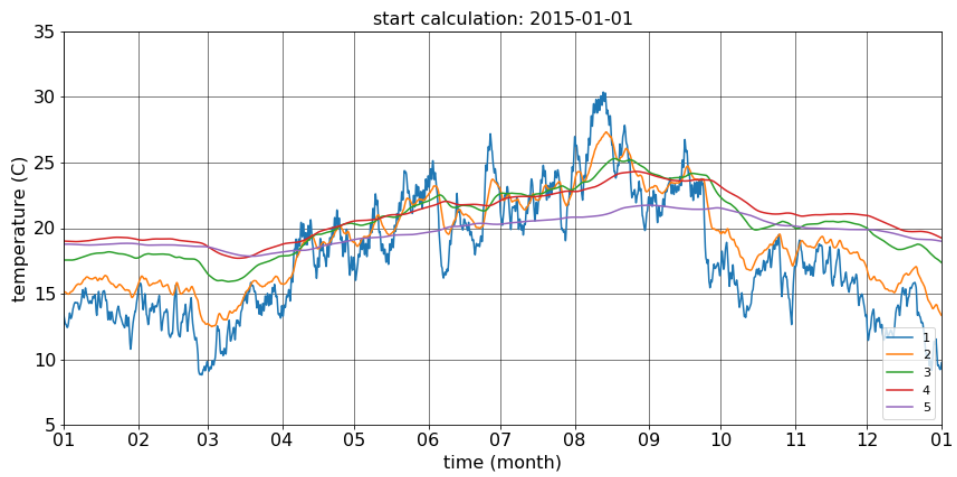
Figuur 4.21 Bodemtemperatuur profiel 4 (1 februari 2020)



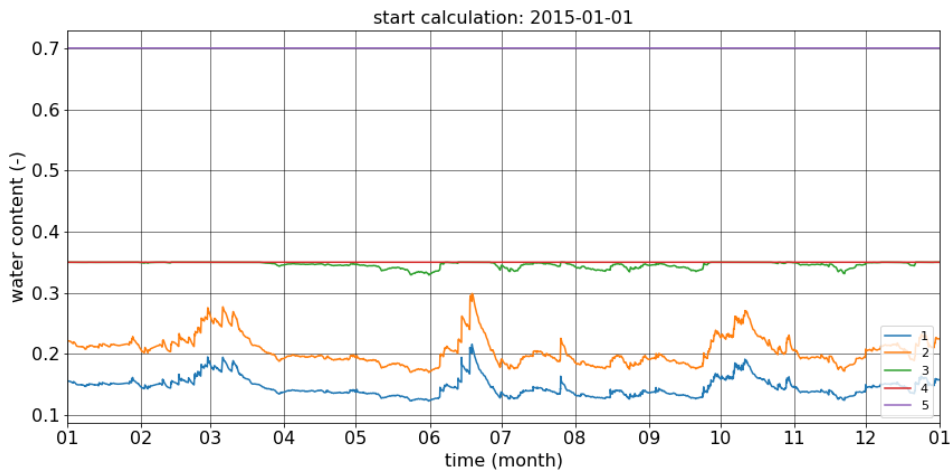
Figuur 4.22 Bodemtemperatuur profiel 4 (1 augustus 2020)



Figuur 4.23 Grondwaterstand t.o.v. mv profiel 4 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)

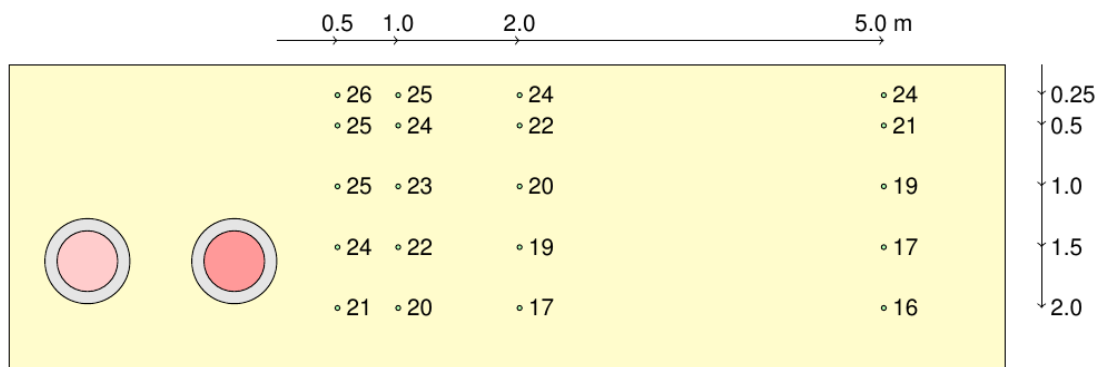


Figuur 4.24 Bodemtemperatuur profiel 4 (1 januari 2020 – 1 januari 2021)



Figuur 4.25: Watergehalte profiel 4 (1 januari 2020 – 1 januari 2021).

Figuur 4.26 geeft de gemiddelde bodemtemperaturen weer die berekend zijn voor de maand augustus 2020 in de 20 rekenpunten. In bijlage G zijn de gemiddelde maandtemperaturen voor heel 2020 opgenomen.



Figuur 4.26 Gemiddelde bodemtemperaturen augustus 2020, profiel 4.

Een berekening zonder warmteleidingen geeft voor de maand augustus 2020 een gemiddelde bodemtemperatuur van 23, 21, 18, 17 en 15°C op een diepte van 0,25, 0,5, 1,0, 1,5 en 1.0 meter beneden maaiveld. Deze waarden zijn maximaal 1 graad lager dan de berekende temperatuur op een afstand van 5 m van de aanvoerleiding.

Op een afstand van 2 m van de aanvoerleiding geeft de vergelijking tussen de berekening met warmteleidingen en zonder warmteleidingen een warmtetoename van maximaal 2 graden door de warmteleidingen. Op een diepte van 0,5 m is de toename maximaal 1 graad, op een diepte van 2 m is de toename 2 graden.

5 Conclusies en aanbevelingen

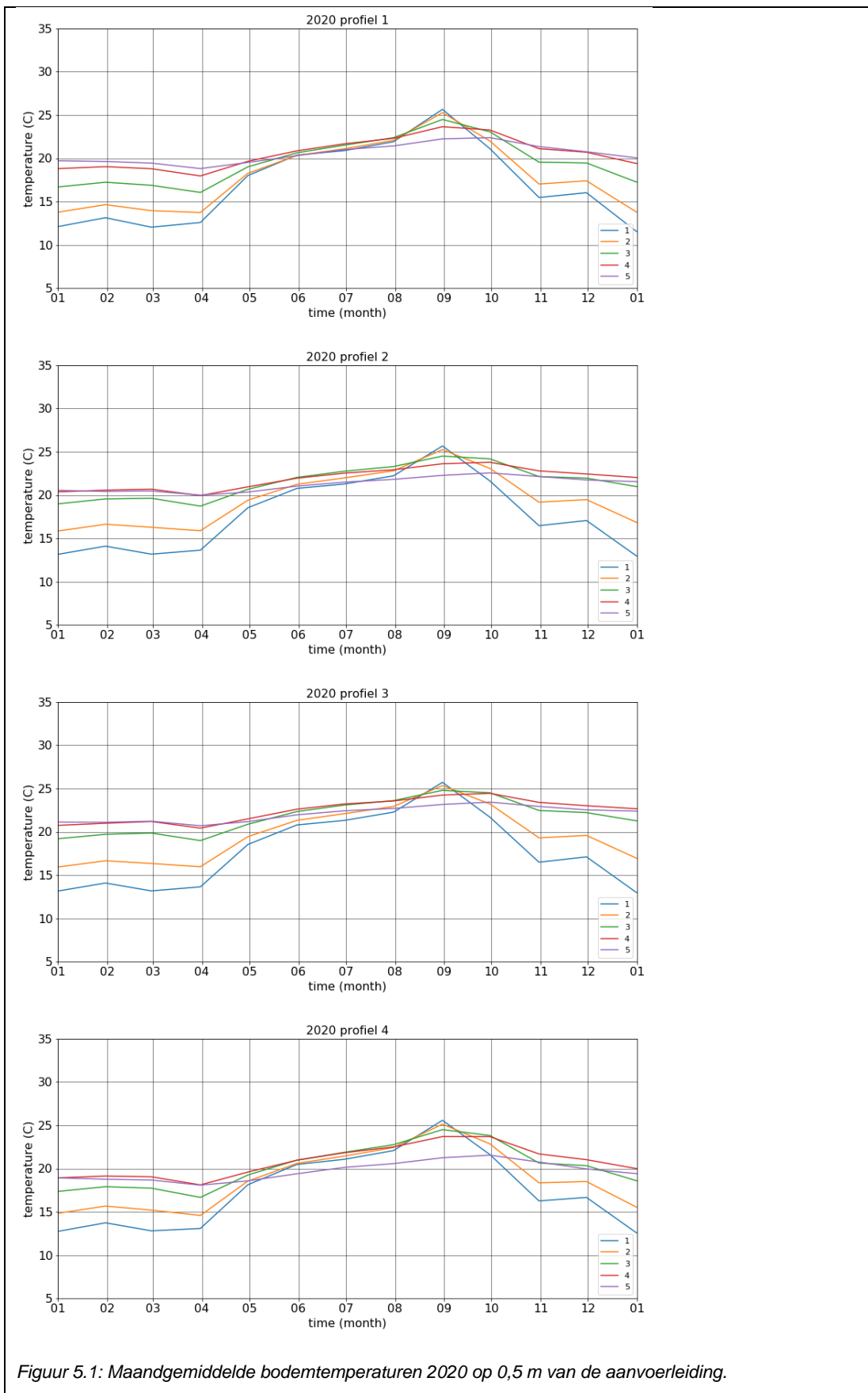
5.1 Conclusies

Als gevolg van het warmtetransport door de hoofdtransportleiding WarmtelinQ 'Vlaardingen – Den Haag' zal de ondergrond rond de leiding opwarmen. Onderzoek moet uitwijzen of de temperatuursverhoging nadelige effecten heeft voor bomen in Den Haag langs de Middachtenweg, de Moerweg en in de Kempstraat. Het onderzoek bestaat uit twee delen. Het eerste deel betreft het vaststellen van de te verwachten temperatuurstoename in de ondergrond, waarbij ook het bodemvochtgehalte wordt beschouwd. Het tweede deel beschouwt de effecten op de groei van bomen. Dit rapport presenteert de resultaten van het eerste deel van het onderzoek. Het tweede deel van onderzoek wordt door RHDHV uitgevoerd en de uitkomsten van dat onderzoek worden in een apart document vastgelegd.

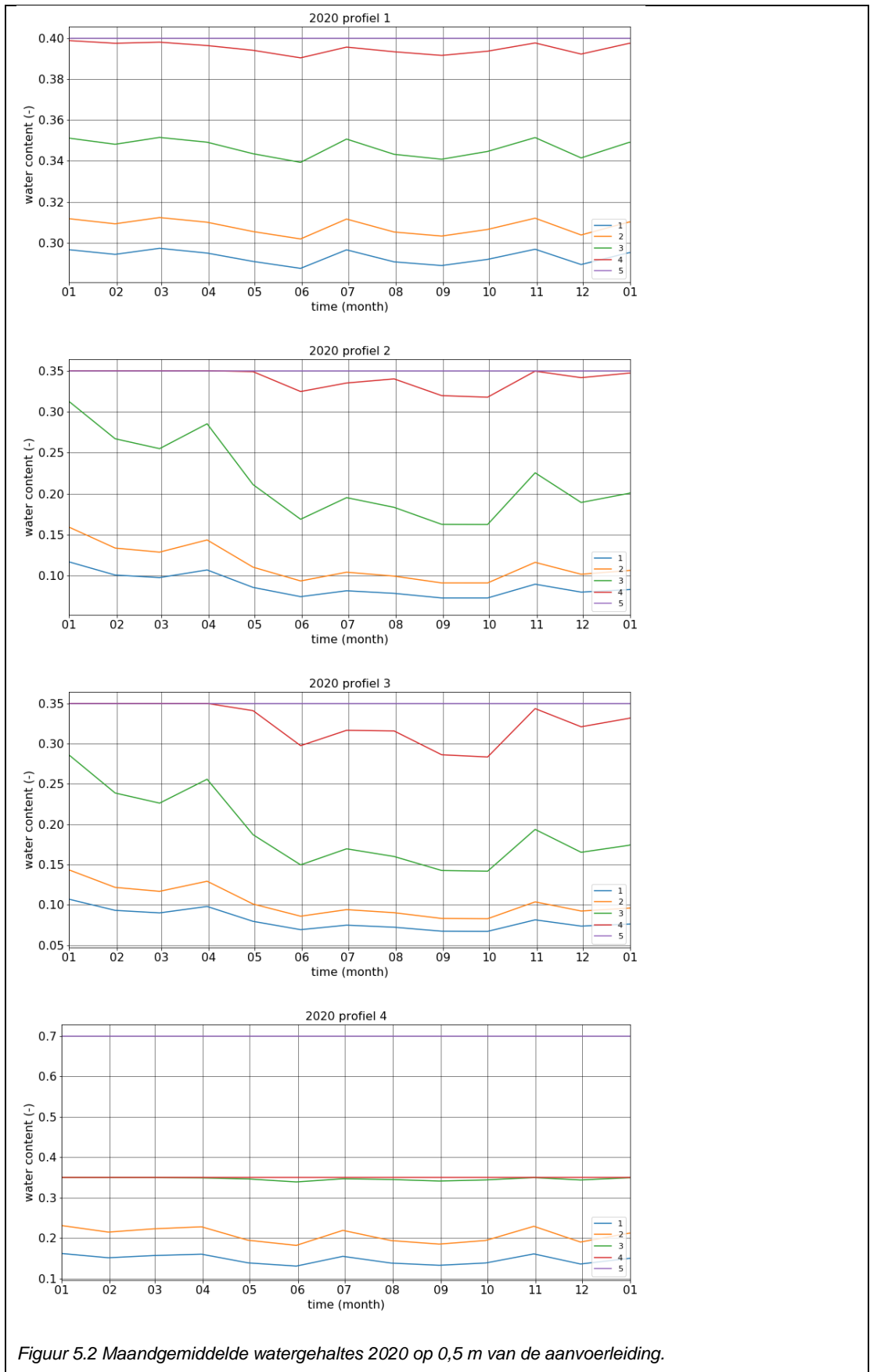
De verwachte temperatuurstoename en de verandering in vochtgehalte is berekend voor vier locaties in het leiding tracé; één bij de Middachtenweg (profiel 1), twee bij de Moerweg (profiel 2 en 3) en één in de Kempstraat (profiel 4). De locaties zijn geselecteerd op basis van grondeigenschappen en bodemvocht kenmerken. In de profielen is de bodemtemperatuur en het bodemvochtgehalte berekend gedurende meerdere jaren. Het jaar 2020 kan als maatgevend worden beschouwd. De resultaten voor 2020 zijn in dit rapport in detail beschreven en kunnen worden gebruikt om het effect van de aanwezigheid van de warmte leidingen op de bomen te beoordelen in het tweede deel van het onderzoek.

De maandgemiddelde bodemtemperaturen voor de vier locaties zijn samengevat in Figuur 5.1 en de berekende maandgemiddelde watergehaltes voor de locaties zijn weergegeven in Figuur 5.2. In de figuren zijn de rekenresultaten voor vijf punten op een afstand van 0,5 m in horizontale richting van de aanvoerleiding bevinden afgebeeld. De punten liggen op een diepte van 0,25 (punt 1), 0,5 (punt 2), 1,0 (punt 3), 1,5 (punt 4) en 2,0 m (punt 5) beneden maaiveld. In bijlage 5.2G zijn de rekenresultaten voor deze punten en 15 punten die verder van de leiding afliggen, in tabelvorm weergegeven. De temperaturen en bodemvochtgehalten in bijlage G kunnen worden gebruikt om het effect van de aanwezigheid van de warmte leidingen op de bomen te beoordelen in het tweede deel van het onderzoek dat door RHDHV wordt uitgevoerd.

Een vergelijking van de uitkomsten van een berekening met en een berekening zonder warmteleidingen laat zien dat de invloed van de warmteleiding 2 m naast de aanvoerleiding op een diepte van 0,5 m onder maaiveld gering is; maximaal 2 graden. Op dezelfde afstand van de warmteleiding wordt op een diepte van 2 m beneden maaiveld een temperatuurstoename van maximaal 4 graden geconstateerd. Op een afstand van 5 meter is de opwarming door de warmteleidingen over de hele diepte te verwaarlozen.



Figuur 5.1: Maandgemiddelde bodemtemperaturen 2020 op 0,5 m van de aanvoerleiding.



Figuur 5.2 Maandgemiddelde watergehaltenes 2020 op 0,5 m van de aanvoerleiding.

5.2 Aanbevelingen

Opgemerkt wordt dat de eigenschappen van de ondergrond bij dit onderzoek zijn afgeleid uit literatuuronderzoek en eerdere studies (Deltares 2021a). Aanbevolen wordt om de thermische eigenschappen van de ondergrond voor de onderzochte locaties in het lab bij verschillende vochtgehalten (relatie thermische geleidbaarheid-verzadigingsgraad – zuigspanning – doorlatendheid) te bepalen. Op basis van de uitkomsten van het labonderzoek kunnen de berekeningen die in dit rapport zijn gepresenteerd nauwkeuriger worden uitgevoerd

Ook zou het uitvoeren met metingen van de temperatuur en het bodem vochtgehalte voorafgaand aan de aanleg van de warmteleidingen nuttig zijn. De initiële condities kunnen dan beter worden vastgesteld, waarmee het rekenmodel voor deze eerste rekenstap kan worden gevalideerd. Hiervoor zouden de meetlansen die in een eerder project zijn gemaakt kunnen worden hergebruikt.

Literatuur

Deltares, 2021a, 'Thermal effects of heat supply pipelines on their surroundings; model development and validation', projectnummer 11205411-001-GEO-0001, 1 maart 2021.

Deltares, 2021b, 'Warmteoverdracht agrarische percelen; warmteleiding Vlaardingen – Den Haag', projectnummer 11205411-001-GEO-0004, 19 maart 2021.

Deltares, 2021c, 'Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam; warmteberekeningen', projectnummer 11206615-000-GEO-0002, 23 maart 2021.

Gasunie, 2020 'Routekaarten WarmtelinQ, trace Vlaardingen – Den Haag', 18-5-2020

KNMI, 31-12-2020, <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>,
uurgegevens Rotterdam.

TNO, 16-6-2012, <http://dinoloket.nl>, data en informatie van de Nederlandse ondergrond.

Google, 16-6-2021, <https://www.google.nl/intl/nl/earth/>, Google Earth.

A Onderzoekslocaties



Figuur 5.3: Bovenaanzicht Middachtenweg (Google 2021)



Figuur 5.4: Middachtenweg



Figuur 5.5: Middachtenweg



Figuur 5.6: Bovenaanzicht Moerweg (Google 2021)



Figuur 5.7: Moerweg



Figuur 5.8: Moerweg



Figuur 5.9: Bovenaanzicht Kempstraat (Google 2021)

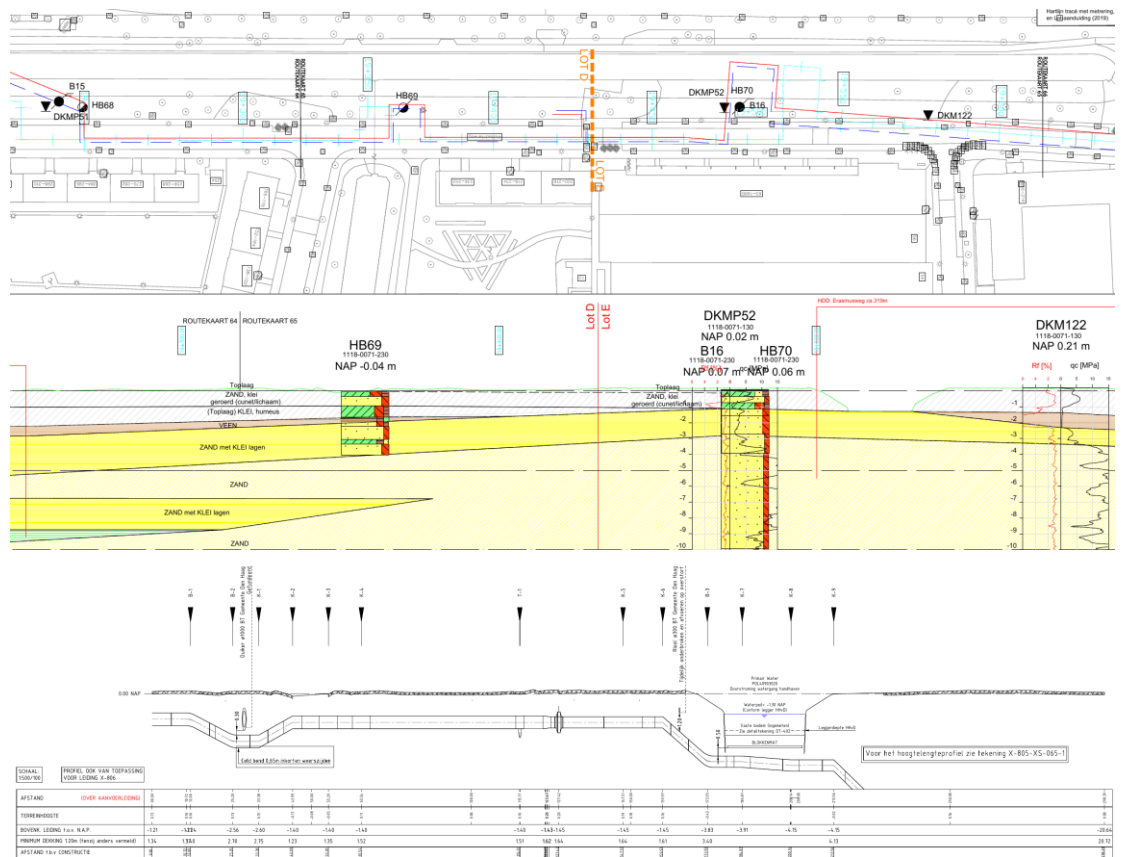


Figuur 5.10: Kempstraat

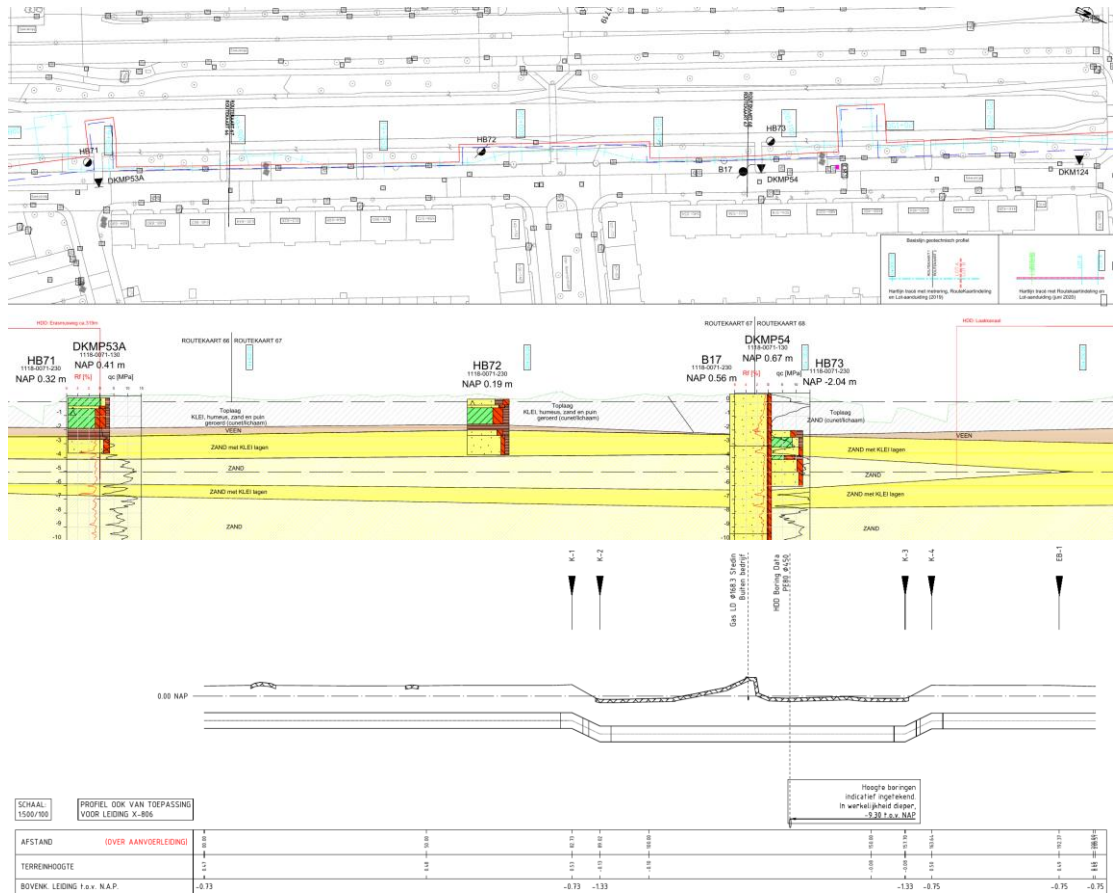


Figuur 5.11: Kempstraat

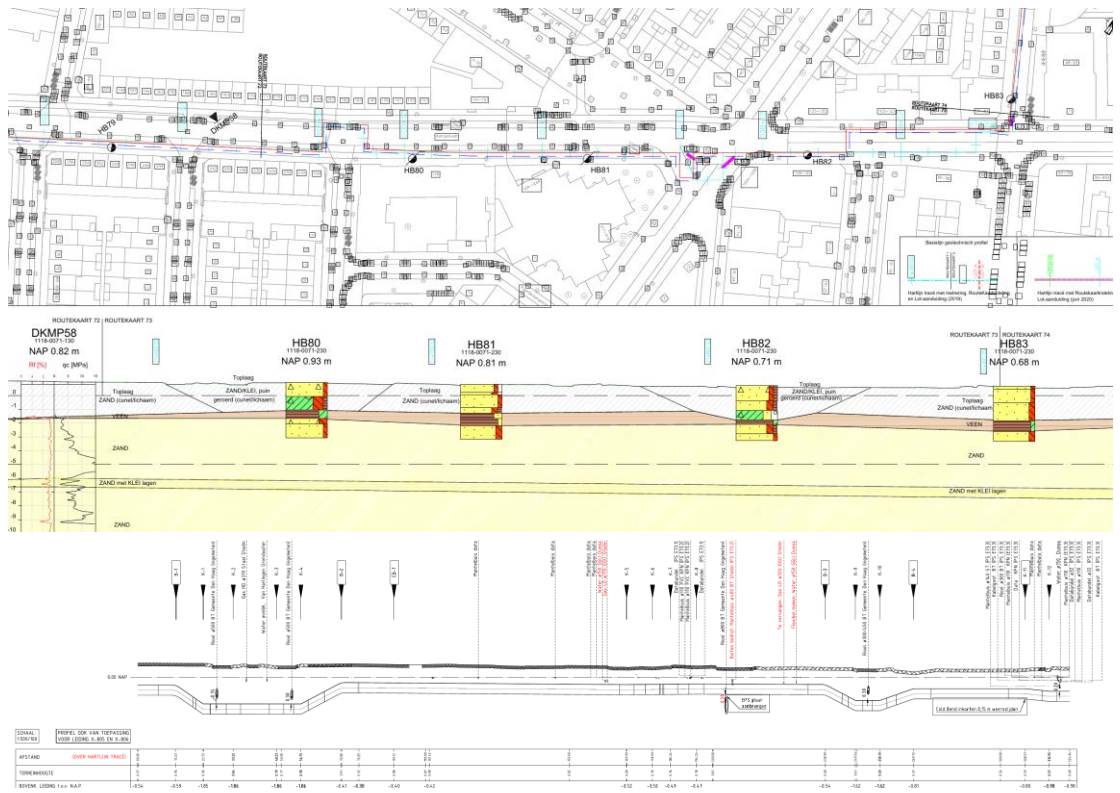
B Ondergrondprofielen



Figuur 5.12: Langsprofiel leiding Middachtenweg (Gsasunie 2020)

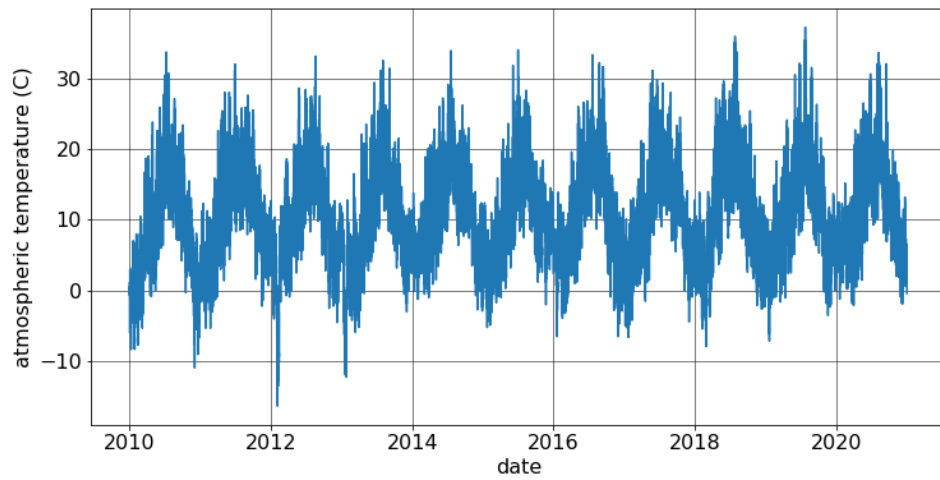


Figuur 5.13: Langsprofiel leiding Moerweg (Gsasunie 2020)

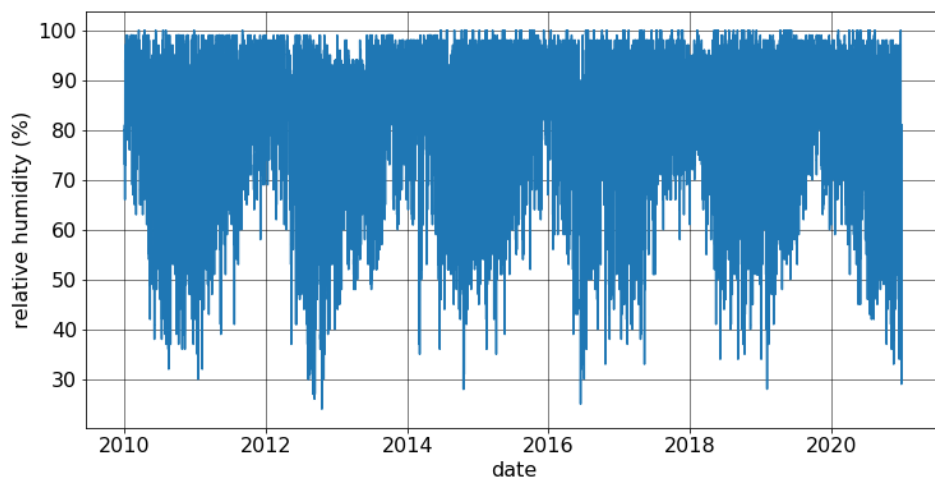


Figuur 5.14: Langsprofiel leiding Kempstraat (Gsasunie 2020)

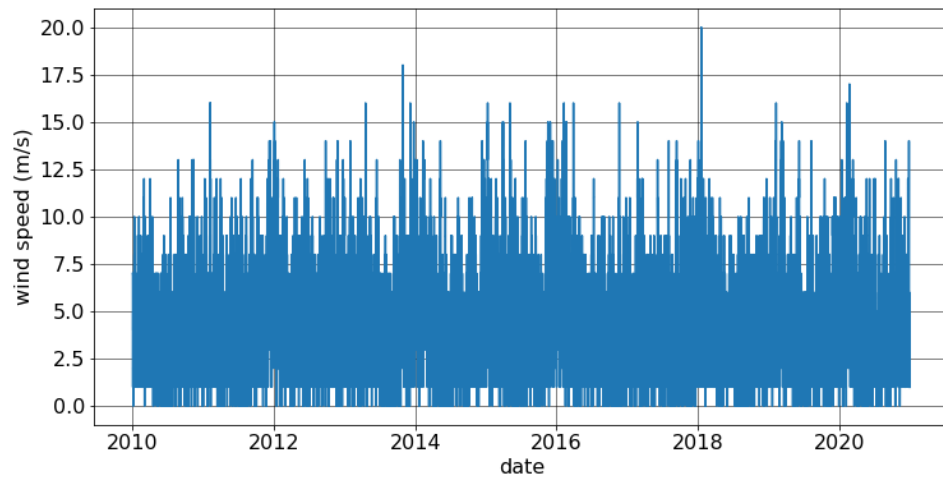
C Meteorologische gegevens



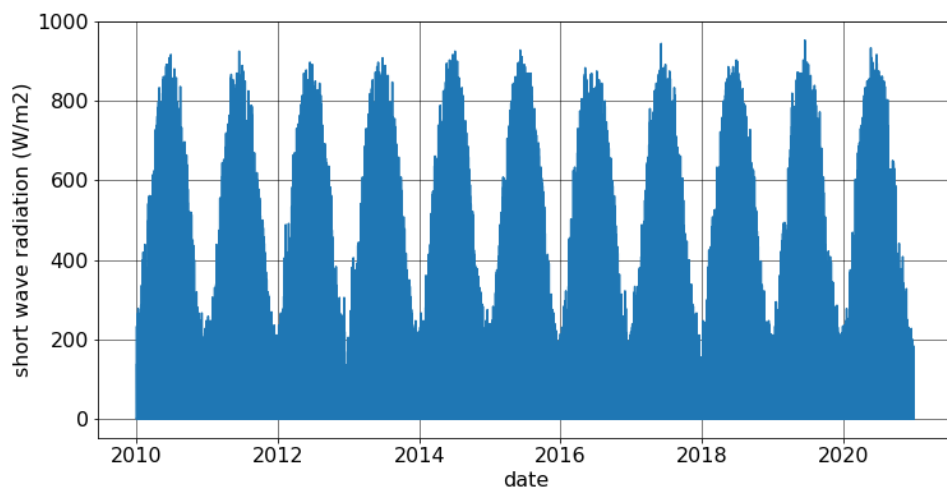
Figuur 5.15: Atmosferische temperatuur (KNMI 2021) station 344, Rotterdam



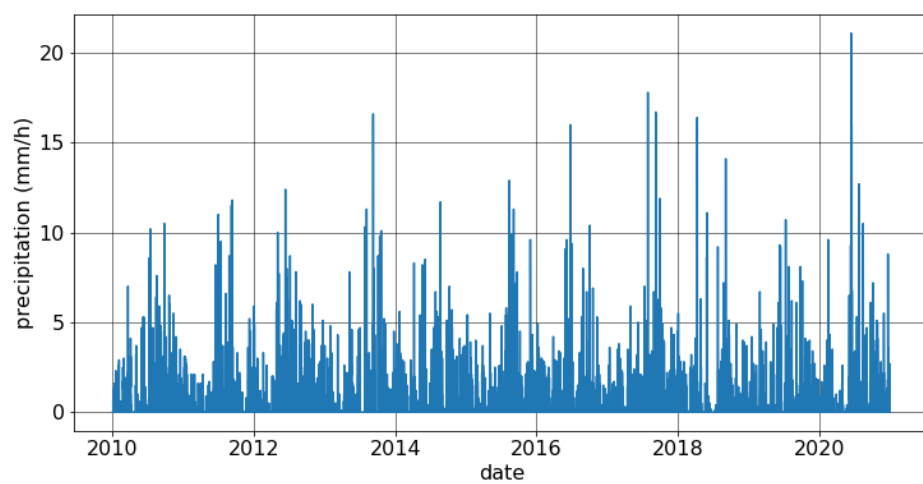
Figuur 5.16: Luchtvochtigheid (KNMI 2021) station 344, Rotterdam



Figuur 5.17: Windsnelheid (KNMI 2021) station 344, Rotterdam.

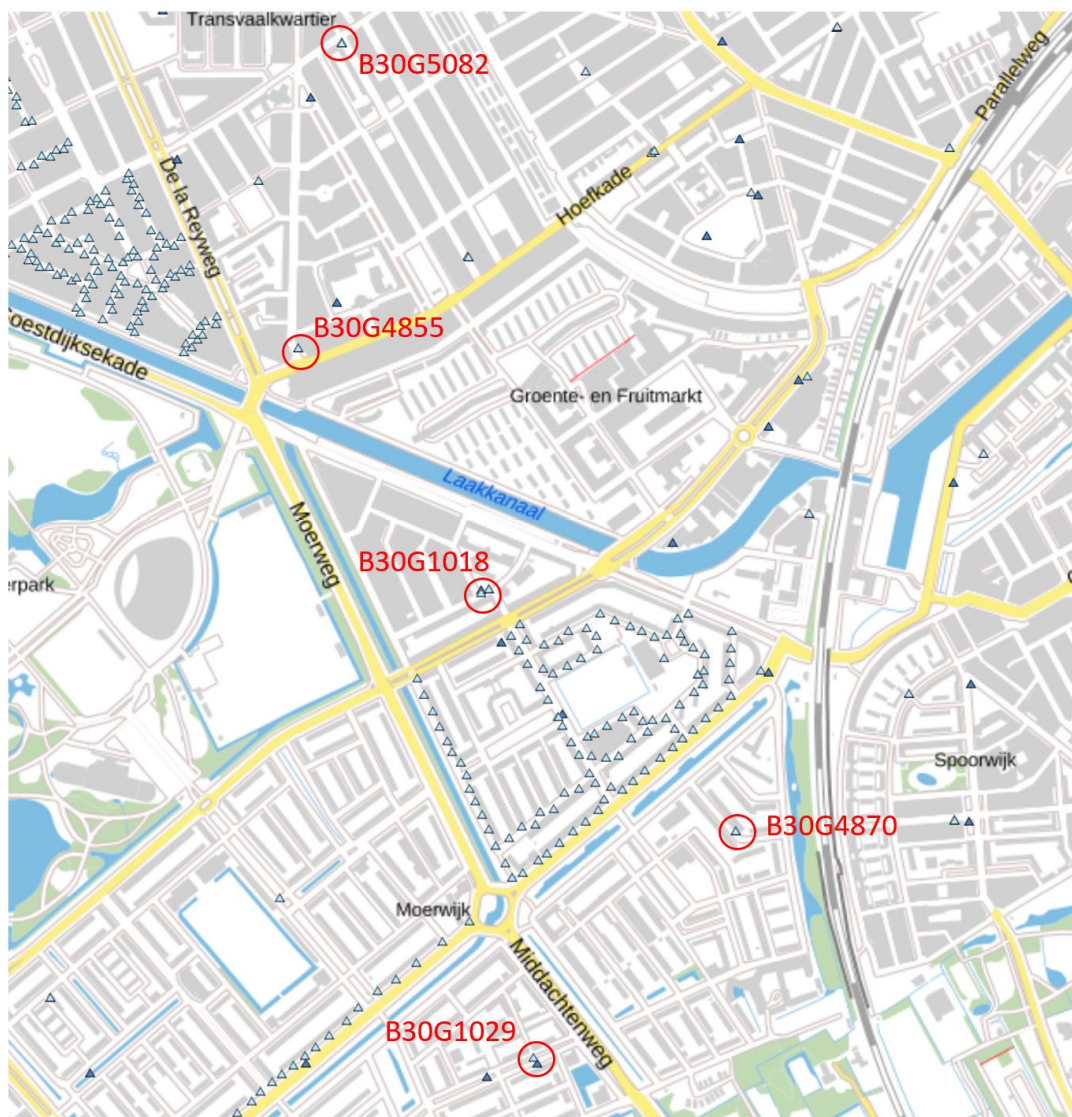


Figuur 5.18: Korte golf straling (KNMI 2021) station 344, Rotterdam

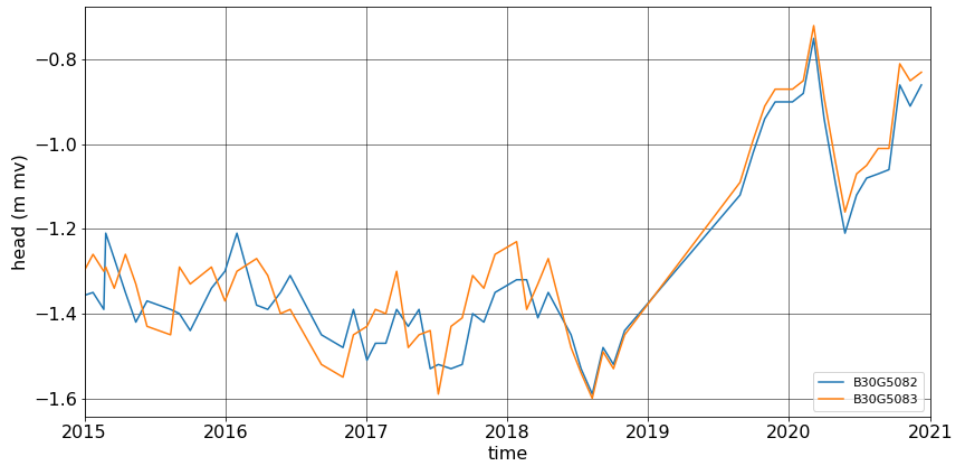
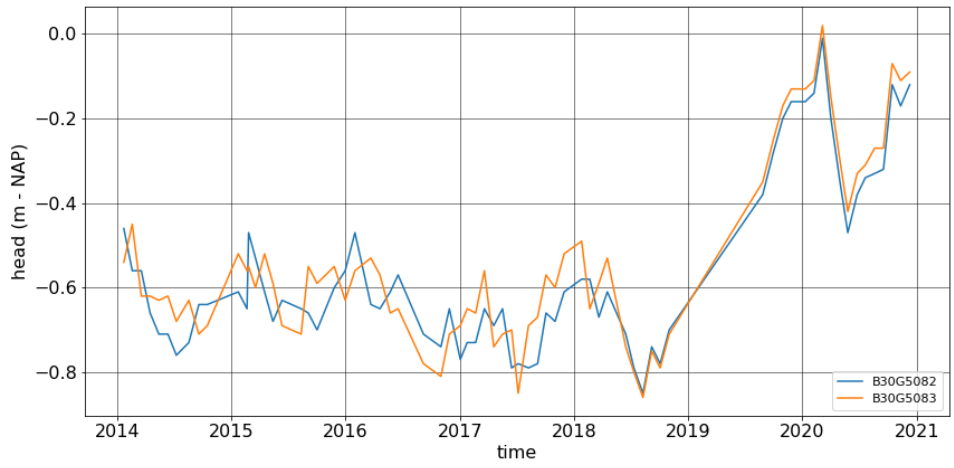


Figuur 5.19: Neerslag (KNMI 2021) station 344, Rotterdam

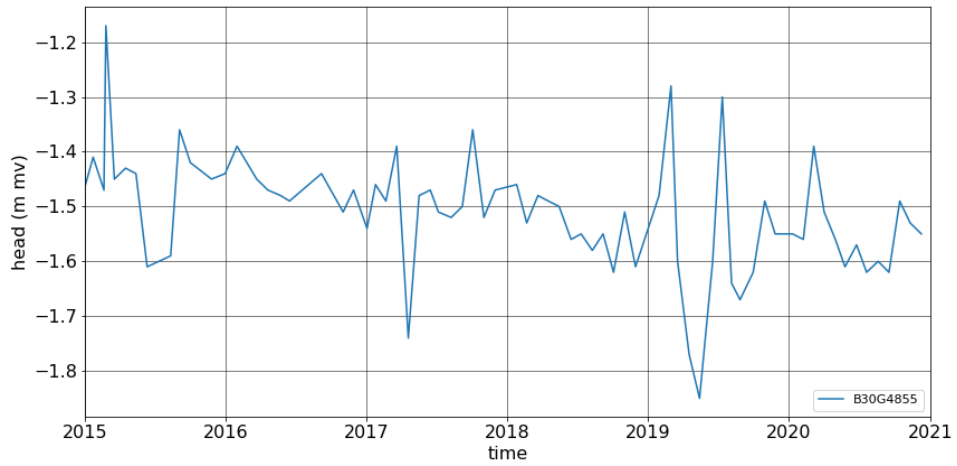
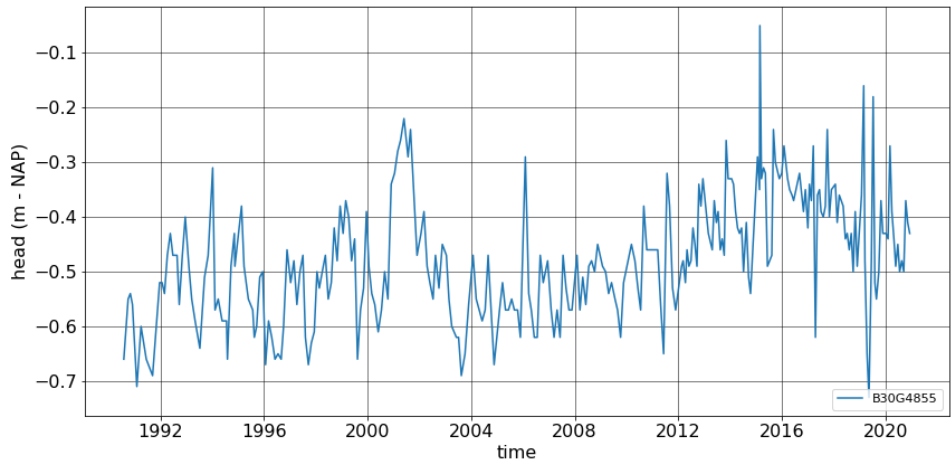
D Grondwaterstanden



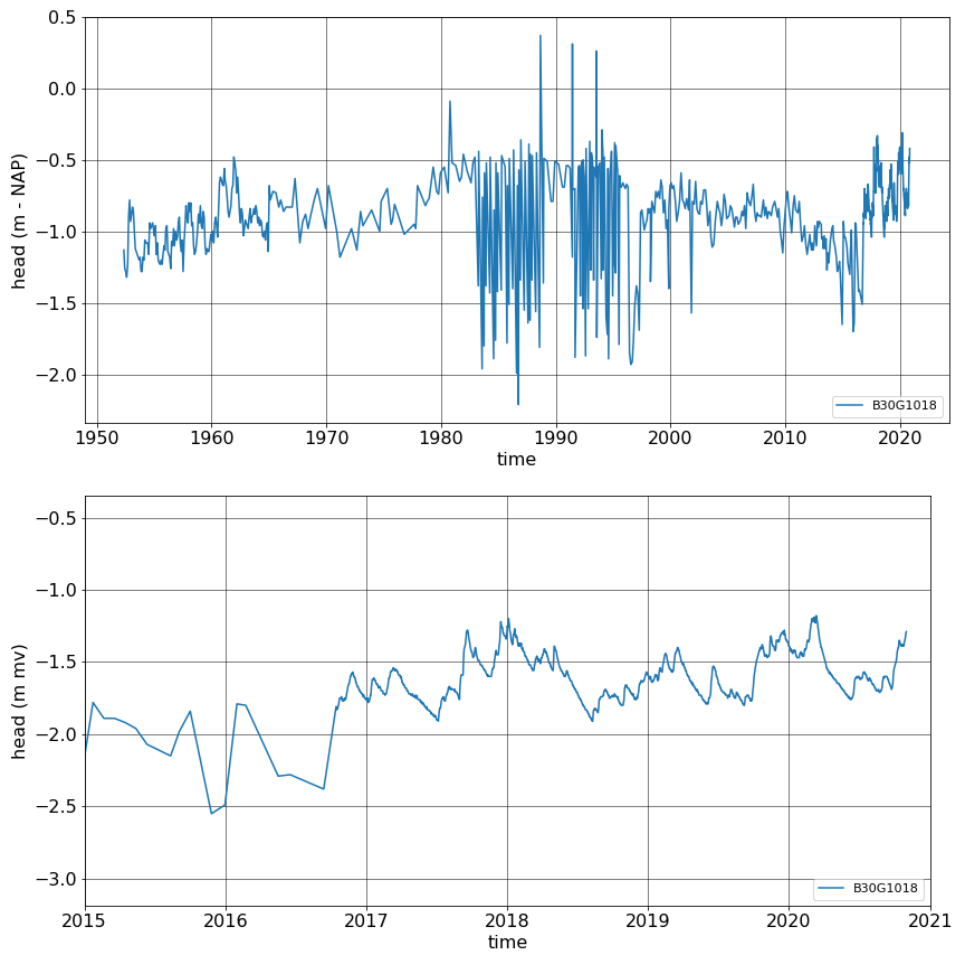
Figuur 5.20: Locaties stijghoogtemetingen Dino database (TNO 2021)



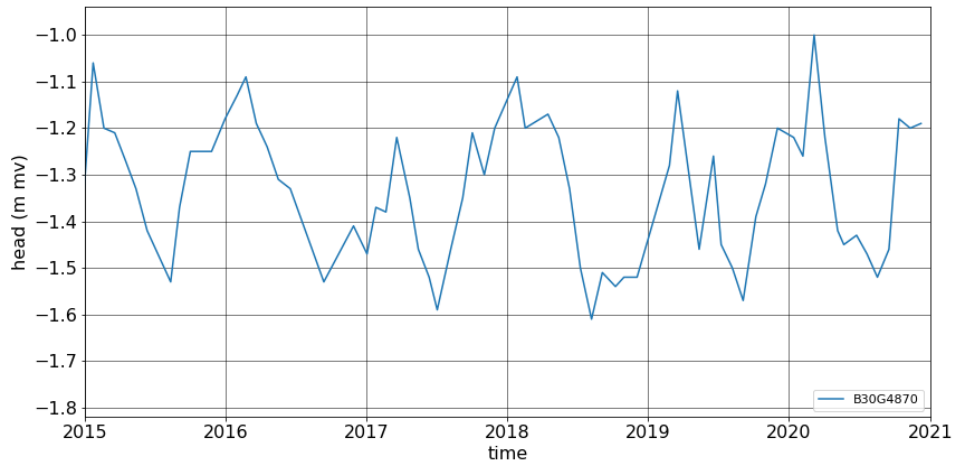
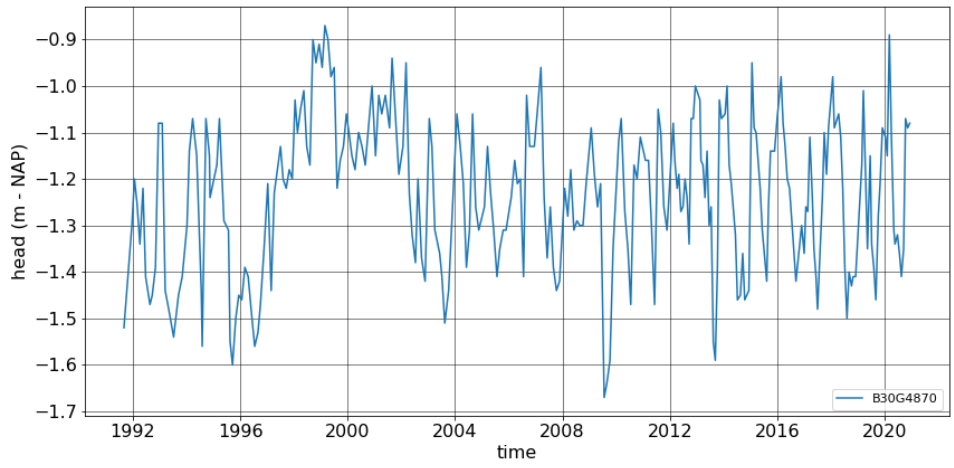
Figuur 5.21: Stijghoogtemetingen B30G5082 (TNO 2021)



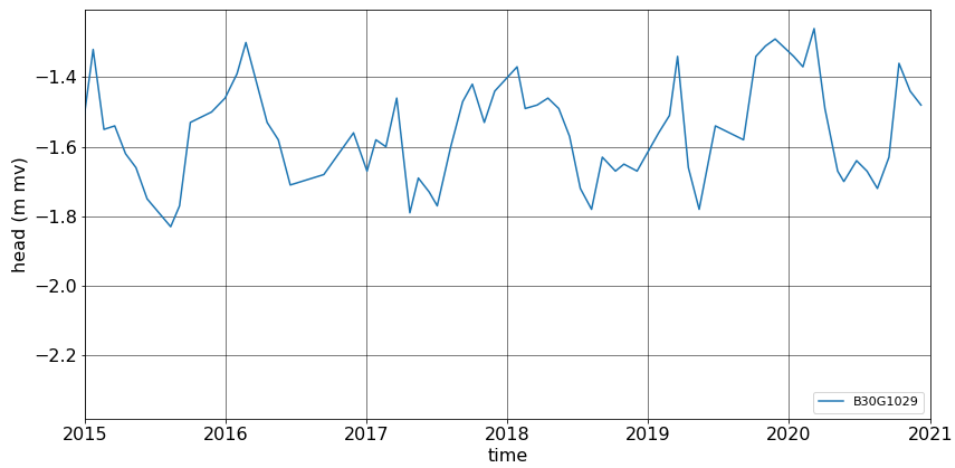
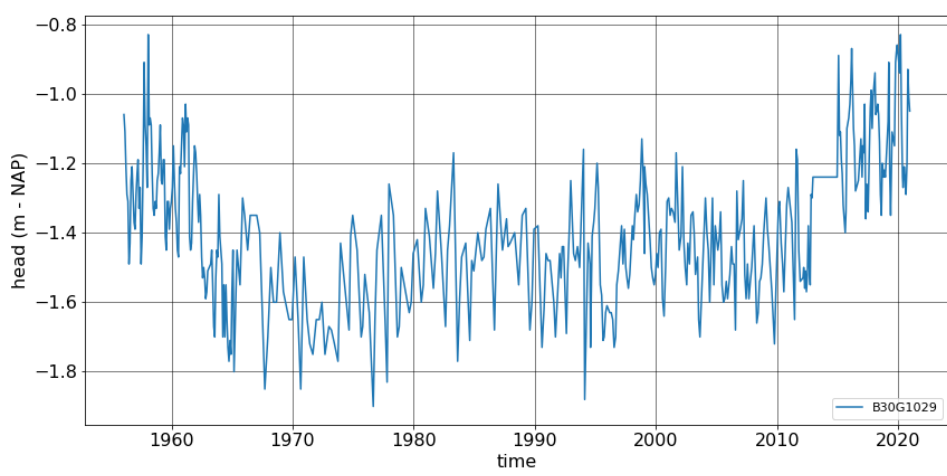
Figuur 5.22: Stijghoogtemetingen B30G4855 (TNO 2021)



Figuur 5.23: Stijghoogtemetingen B30G1018 (TNO 2021)

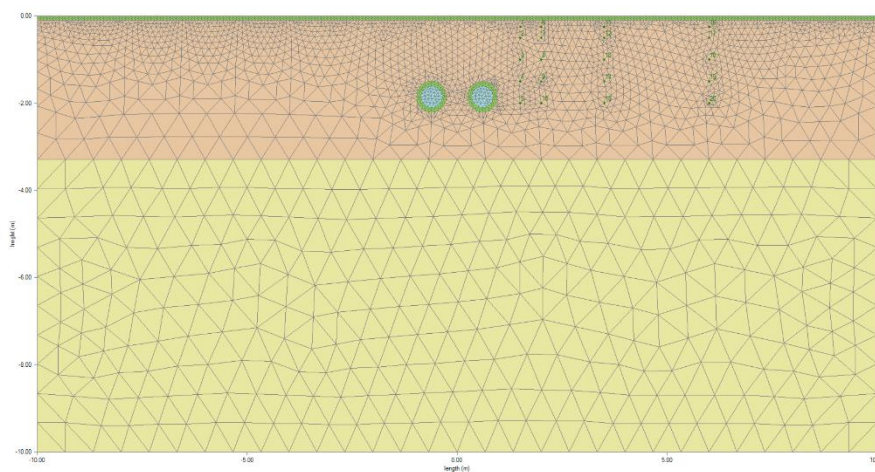


Figuur 5.24: Stijghoogtemetingen B30G4870 (TNO 2021)

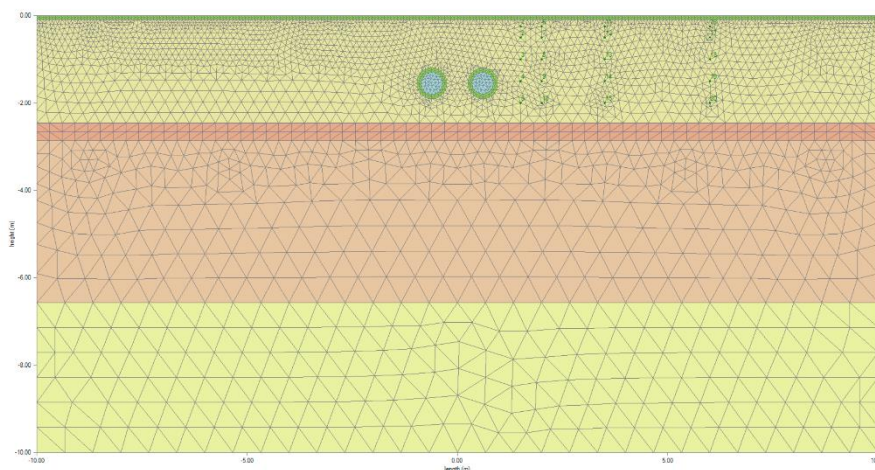


Figuur 5.25: Stijghoogtemetingen B30G1029 (TNO 2021)

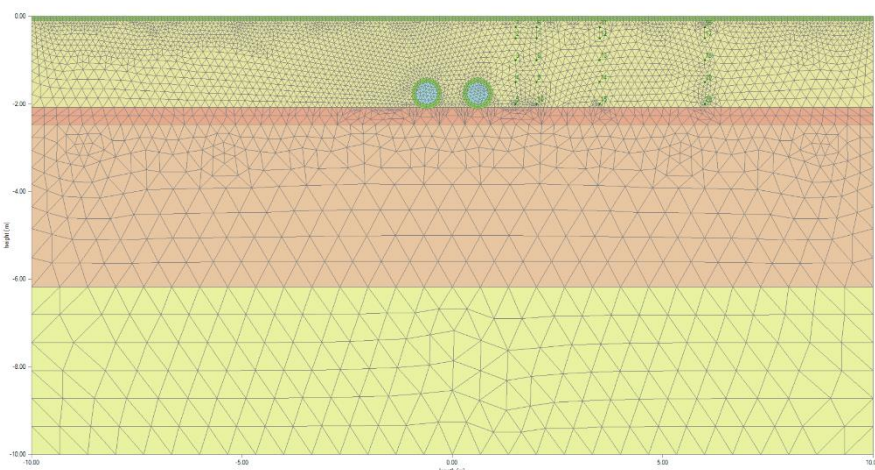
E Rekenmodellen



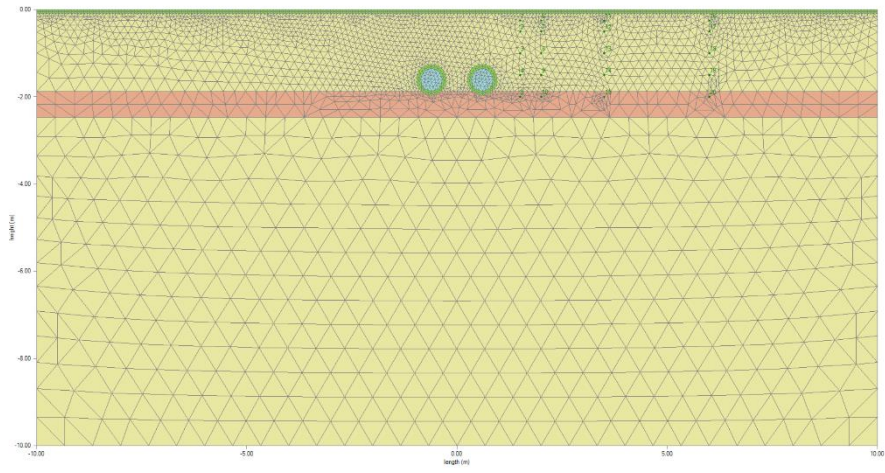
Figuur 5.26: Profiel 1 Rekenmodel Middachtenweg



Figuur 5.27: Profiel 2 Rekenmodel Moerweg

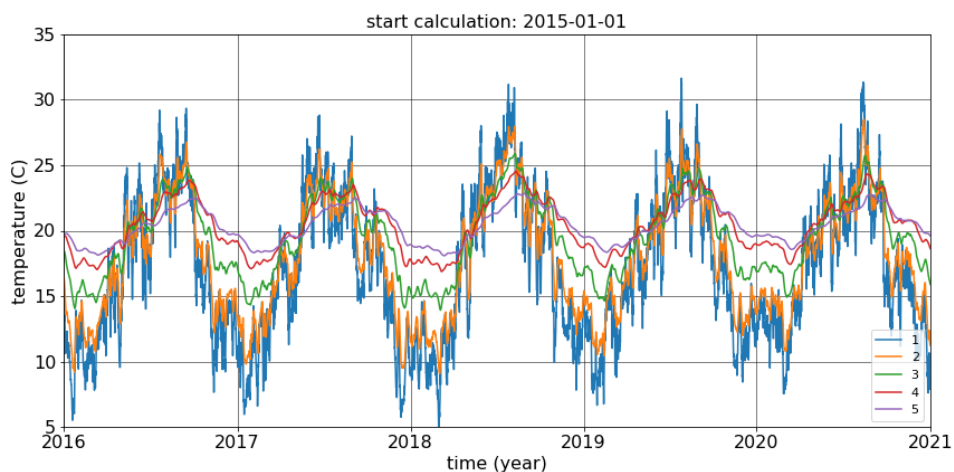


Figuur 5.28: Profiel 3 Rekenmodel Moerweg

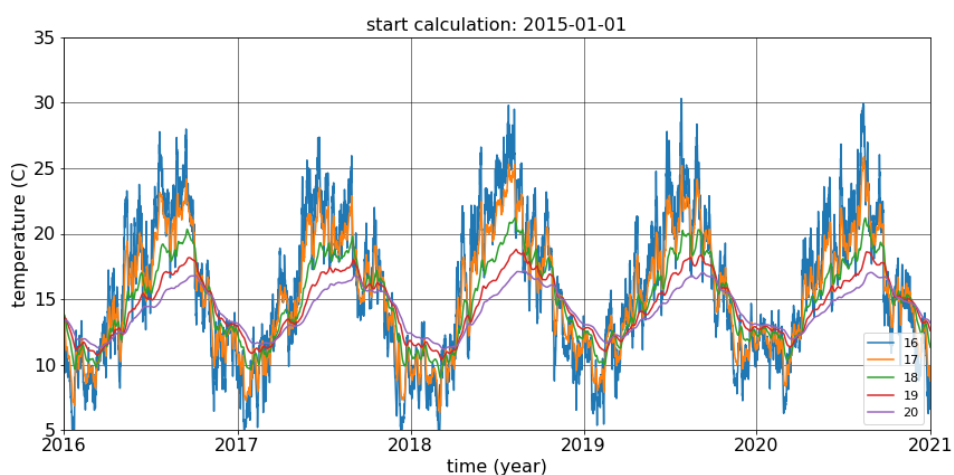


Figuur 5.29: Profiel 4 Rekenmodel Kempstraat

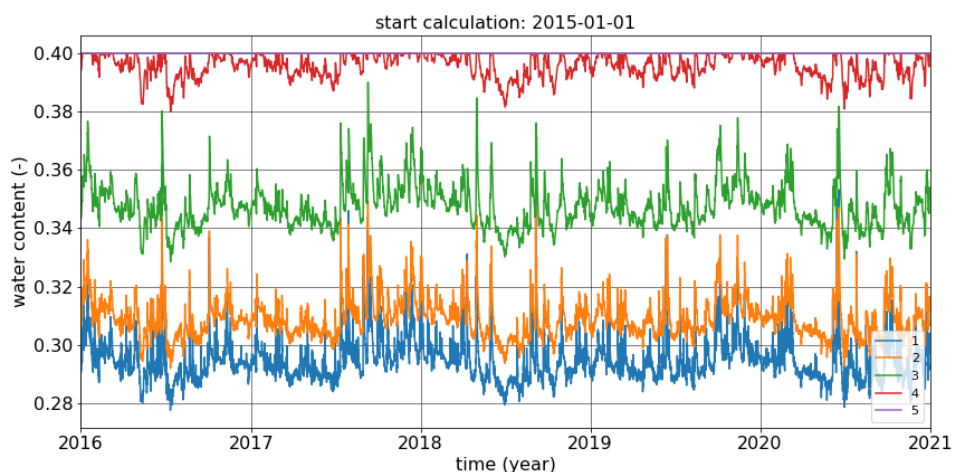
F Rekenresultaten



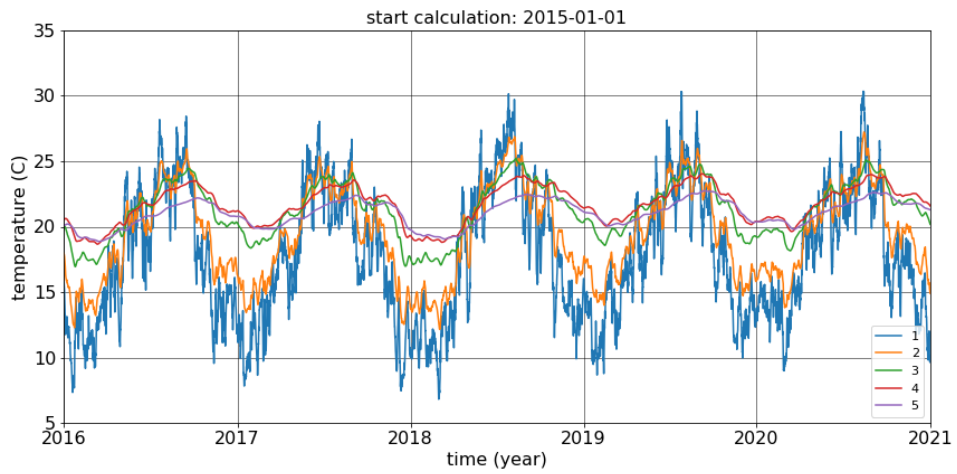
Figuur 5.30: Bodemtemperatuur profiel 1 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



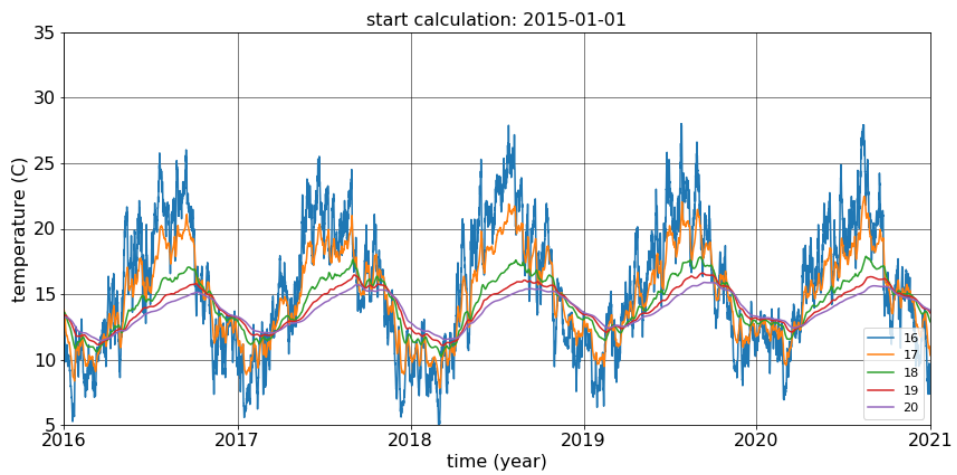
Figuur 5.31: Bodemtemperatuur referentie punten profiel 1 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



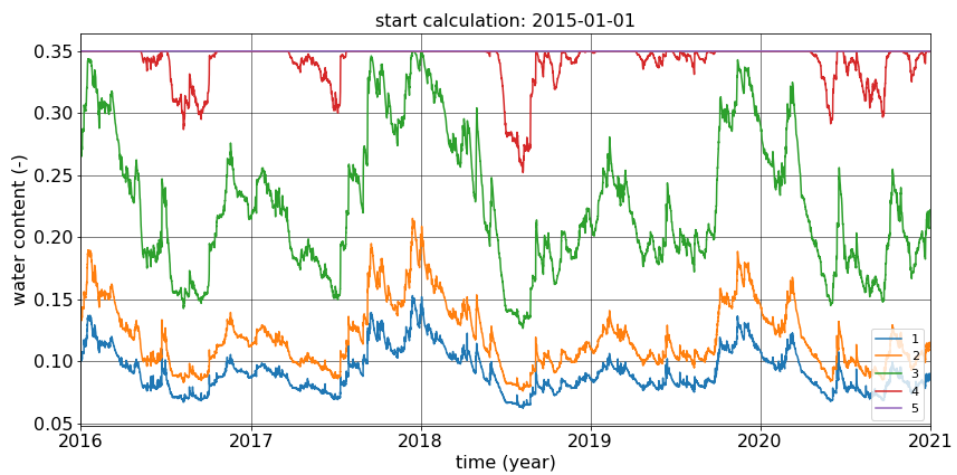
Figuur 5.32: Watergehalte profiel 1 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



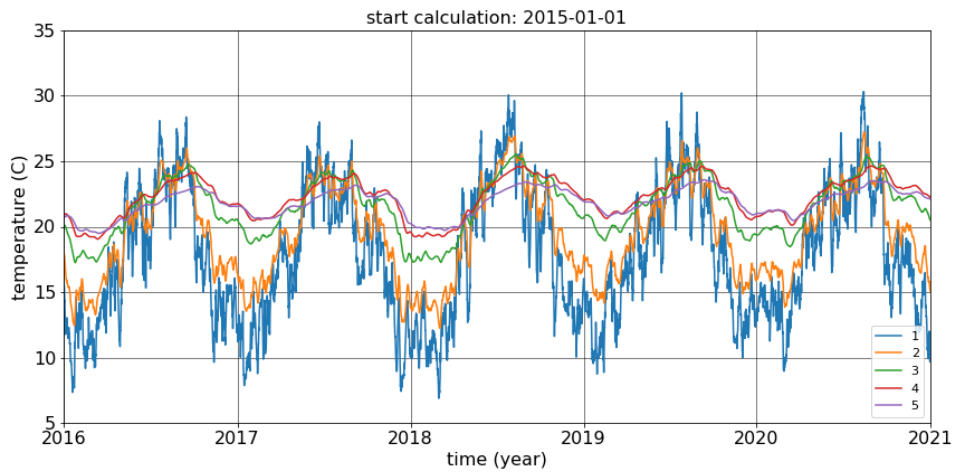
Figuur 5.33: Bodemtemperatuur profiel 2 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



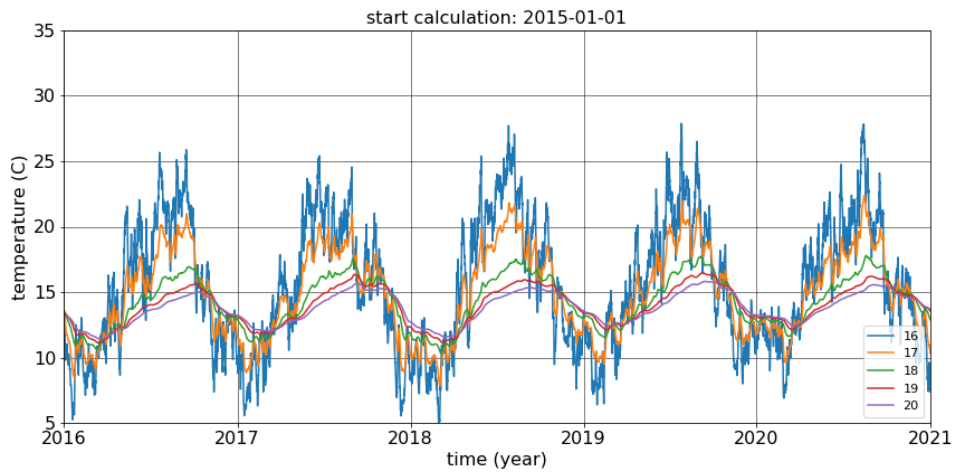
Figuur 5.34: Bodemtemperatuur referentie punten profiel 2 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



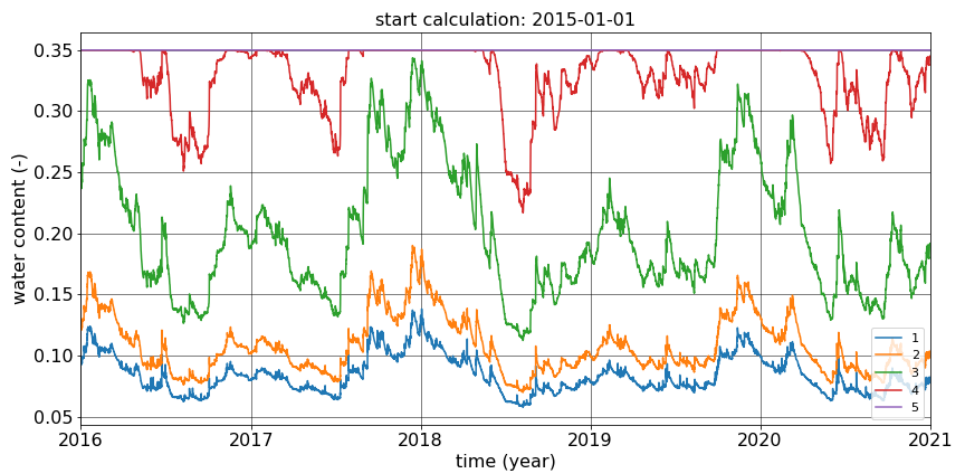
Figuur 5.35: Watergehalte profiel 2 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



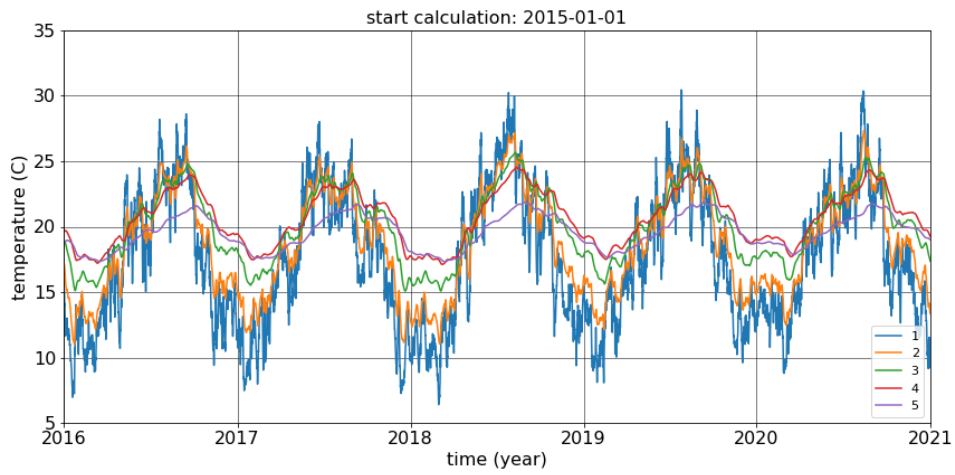
Figuur 5.36: Bodemtemperatuur profiel 3 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



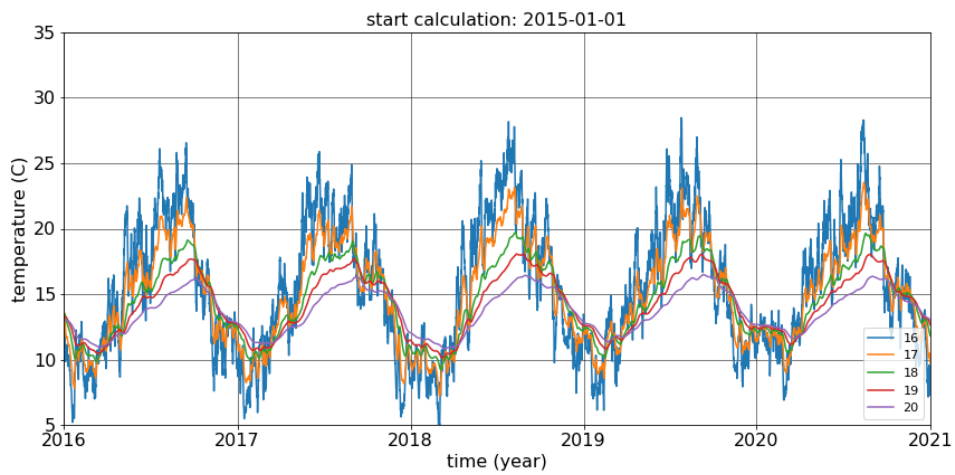
Figuur 5.37: Bodemtemperatuur referentie punten profiel 3 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



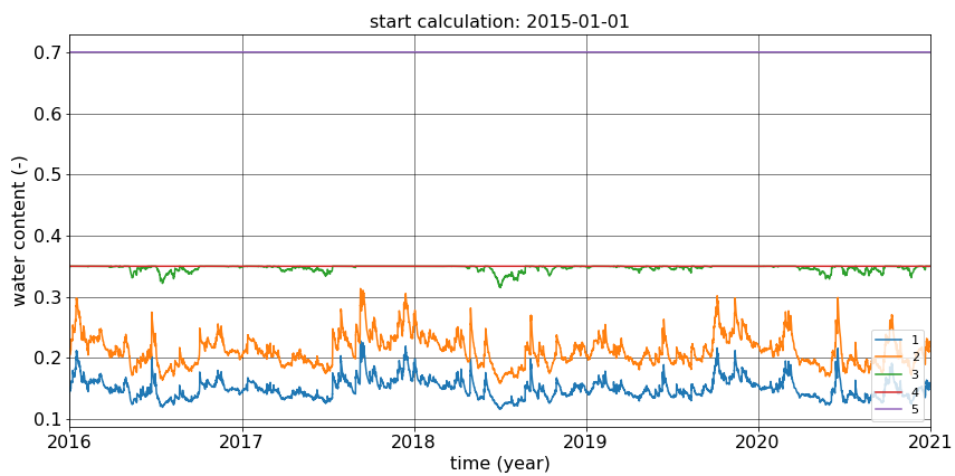
Figuur 5.38: Watergehalte profiel 3 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



Figuur 5.39: Bodemtemperatuur profiel 4 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



Figuur 5.40: Bodemtemperatuur referentie punten profiel 4 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).



Figuur 5.41: Watergehalte profiel 4 (1 januari 2016 – 1 januari 2021).

G Beoordelingstabellen

In de onderstaande tabellen zijn de rekenresultaten voor een aantal punten in de ondergrond opgenomen. De punten liggen op een diepte van 0,25 (punt 1), 0,5 (punt 2), 1,0 (punt 3), 1,5 (punt 4) en 2,0 m (punt 5) beneden maaiveld 0.5 m naast de aanvoerleiding. In deze tabel zijn tevens de punten 6 t/m 10 (1,0 m naast de aanvoerleiding), de punten 11 t/m 15 (2,0 m naast de aanvoerleiding) en de punten 16 t/m 20 (5,0 m naast de aanvoerleiding) opgenomen.

Tabel 5.1: Bodemtemperaturen 2020 per punt, profiel 1.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
1	13	12	13	18	20	21	22	26	21	15	16	12
2	15	14	14	18	20	21	22	25	22	17	17	14
3	17	17	16	19	21	22	22	24	23	20	19	17
4	19	19	18	20	21	22	22	24	23	21	21	19
5	20	19	19	20	20	21	21	22	22	21	21	20
6	13	12	12	18	20	21	22	25	21	15	16	11
7	14	13	13	18	20	20	21	25	21	16	17	13
8	16	16	15	18	19	20	21	23	22	18	18	16
9	17	17	16	18	19	20	21	22	22	19	19	18
10	18	17	17	18	18	19	20	21	21	20	19	18
11	12	11	12	17	19	20	21	25	20	15	15	11
12	13	12	12	16	18	19	20	23	20	15	15	12
13	14	13	13	15	17	18	19	21	20	16	16	14
14	14	14	13	15	16	17	18	19	19	17	16	15
15	15	14	14	15	16	17	17	18	18	17	16	15
16	12	11	11	17	19	20	21	24	20	14	15	10
17	12	11	11	15	18	19	20	23	20	15	15	11
18	12	12	11	14	16	17	18	20	19	15	15	13
19	13	13	12	13	15	16	17	18	18	16	15	13
20	13	13	12	13	14	15	16	16	17	16	15	14

Tabel 5.2: Watergehalte 2020 per punt, profiel 1.

punt	jan	feb	maar	april	mei	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec
1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30
2	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	0.32
3	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	0.36
4	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
5	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
6	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30
7	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	0.32
8	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	0.36
9	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
11	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30
12	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	0.32
13	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	0.36
14	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
15	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
16	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30
17	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	0.32
18	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	0.36
19	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
20	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Tabel 5.3: Bodemtemperaturen 2020 per punt, profiel 2.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
1	14	13	14	19	21	21	22	26	22	16	17	13
2	17	16	16	19	21	22	23	25	23	19	19	17
3	20	20	19	21	22	23	23	24	24	22	22	21
4	21	21	20	21	22	23	23	24	24	23	22	22
5	20	20	20	20	21	21	22	22	23	22	22	22
6	14	13	13	18	20	21	22	25	21	16	16	12
7	15	15	15	18	20	21	22	24	22	18	18	16
8	18	18	17	19	20	21	21	22	22	20	20	19
9	18	18	18	19	20	20	21	21	22	21	20	20
10	18	18	18	18	19	20	20	20	21	20	20	20
11	12	12	12	17	19	20	20	24	20	15	15	11
12	13	13	13	16	18	19	19	22	20	16	16	13
13	15	14	14	15	16	17	18	19	19	17	17	15
14	15	15	14	15	16	17	17	18	18	17	17	16
15	15	15	15	15	16	16	17	17	18	17	17	16
16	12	11	11	16	18	19	20	23	19	14	15	11
17	12	12	12	15	16	17	18	20	18	15	15	12
18	13	13	12	13	14	15	16	17	17	15	15	14
19	13	13	12	13	14	15	15	16	16	15	15	14
20	13	13	13	13	14	14	15	15	16	15	15	14

Tabel 5.4: Watergehalte 2020 per punt, profiel 2.

punt	jan	feb	maar	april	mei	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec
1	0.10	0.10	0.11	0.09	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.09	0.08	0.08
2	0.13	0.13	0.14	0.11	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.11
3	0.27	0.26	0.29	0.21	0.17	0.20	0.18	0.16	0.16	0.23	0.19	0.20
4	0.35	0.35	0.35	0.35	0.32	0.34	0.34	0.32	0.32	0.35	0.34	0.35
5	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
6	0.10	0.10	0.11	0.09	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.09	0.08	0.08
7	0.13	0.13	0.14	0.11	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.11
8	0.27	0.26	0.29	0.21	0.17	0.20	0.18	0.16	0.16	0.23	0.19	0.20
9	0.35	0.35	0.35	0.35	0.32	0.34	0.34	0.32	0.32	0.35	0.34	0.35
10	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
11	0.10	0.10	0.11	0.09	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.09	0.08	0.08
12	0.13	0.13	0.14	0.11	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.11
13	0.27	0.26	0.29	0.21	0.17	0.20	0.18	0.16	0.16	0.23	0.19	0.20
14	0.35	0.35	0.35	0.35	0.32	0.34	0.34	0.32	0.32	0.35	0.34	0.35
15	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
16	0.10	0.10	0.11	0.09	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.09	0.08	0.08
17	0.13	0.13	0.14	0.11	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.11
18	0.27	0.26	0.29	0.21	0.17	0.20	0.18	0.16	0.16	0.23	0.19	0.20
19	0.35	0.35	0.35	0.35	0.32	0.34	0.34	0.32	0.32	0.35	0.34	0.35
20	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Tabel 5.5: Bodemtemperaturen 2020 per punt, profiel 3.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
1	14	13	14	19	21	21	22	26	22	16	17	13
2	17	16	16	19	21	22	23	25	23	19	20	17
3	20	20	19	21	22	23	24	25	25	22	22	21
4	21	21	20	21	23	23	24	24	24	23	23	23
5	21	21	21	21	22	22	23	23	23	23	23	22
6	14	13	13	18	20	21	22	25	21	16	16	12
7	16	15	15	18	20	21	22	24	22	18	18	16
8	18	18	17	19	20	21	22	23	22	21	20	19
9	19	19	18	19	20	21	21	22	22	21	21	20
10	19	19	18	19	20	20	20	21	21	21	20	20
11	12	12	12	17	19	20	21	24	20	15	15	11
12	13	13	13	16	18	19	19	22	20	16	16	13
13	15	15	14	15	16	17	18	19	19	17	17	16
14	15	15	14	15	16	17	17	18	18	17	17	16
15	15	15	15	15	16	16	17	17	18	17	17	16
16	12	11	11	16	18	19	20	23	19	14	15	11
17	12	12	12	15	16	17	18	20	18	15	15	12
18	13	13	12	13	14	15	16	17	17	15	15	14
19	13	13	12	13	14	15	15	16	16	15	15	14
20	13	13	13	13	14	14	15	15	16	15	15	14

Tabel 5.6: Watergehalte 2020 per punt, profiel 3.

punt	jan	feb	maar	april	mei	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec
1	0.09	0.09	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08
2	0.12	0.12	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.10
3	0.24	0.23	0.26	0.19	0.15	0.17	0.16	0.14	0.14	0.19	0.17	0.17
4	0.35	0.35	0.35	0.34	0.30	0.32	0.32	0.29	0.28	0.34	0.32	0.33
5	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
6	0.09	0.09	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08
7	0.12	0.12	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.10
8	0.24	0.23	0.26	0.19	0.15	0.17	0.16	0.14	0.14	0.19	0.17	0.17
9	0.35	0.35	0.35	0.34	0.30	0.32	0.32	0.29	0.28	0.34	0.32	0.33
10	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
11	0.09	0.09	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08
12	0.12	0.12	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.10
13	0.24	0.23	0.26	0.19	0.15	0.17	0.16	0.14	0.14	0.19	0.17	0.17
14	0.35	0.35	0.35	0.34	0.30	0.32	0.32	0.29	0.28	0.34	0.32	0.33
15	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
16	0.09	0.09	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08
17	0.12	0.12	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.10
18	0.24	0.23	0.26	0.19	0.15	0.17	0.16	0.14	0.14	0.19	0.17	0.17
19	0.35	0.35	0.35	0.34	0.30	0.32	0.32	0.29	0.28	0.34	0.32	0.33
20	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Tabel 5.7: Bodemtemperaturen 2020 per punt, profiel 4.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
1	14	13	13	18	20	21	22	26	22	16	17	13
2	16	15	15	19	21	21	22	25	23	18	19	16
3	18	18	17	19	21	22	23	25	24	21	20	19
4	19	19	18	20	21	22	22	24	24	22	21	20
5	19	19	18	19	19	20	21	21	22	21	20	19
6	13	12	13	18	20	21	22	25	21	16	16	12
7	15	14	14	17	19	20	21	24	22	17	17	15
8	16	16	15	17	19	20	21	23	22	19	19	17
9	17	17	16	17	19	20	20	22	22	20	19	18
10	17	17	16	17	18	18	19	20	20	19	18	17
11	12	11	12	16	19	20	21	24	20	15	15	11
12	13	12	12	15	17	19	20	22	20	16	16	13
13	13	13	12	15	16	18	18	20	20	17	16	14
14	14	14	13	14	16	17	18	19	19	17	16	15
15	14	14	13	14	15	16	16	17	17	17	16	15
16	12	11	11	16	18	19	20	24	20	15	15	11
17	12	11	11	15	16	18	19	21	19	15	15	12
18	12	12	11	13	15	16	17	19	18	16	15	13
19	12	12	11	13	14	15	16	17	18	16	15	13
20	13	12	12	12	13	14	15	16	16	15	14	14

Tabel 5.8: Watergehalte 2020 per punt, profiel 4.

punt	jan	feb	maar	april	mei	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec
1	0.15	0.16	0.16	0.14	0.13	0.16	0.14	0.13	0.14	0.16	0.14	0.15
2	0.21	0.22	0.23	0.19	0.18	0.22	0.19	0.19	0.19	0.23	0.19	0.21
3	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.35	0.35	0.34	0.34	0.35	0.34	0.35
4	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
5	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
6	0.15	0.16	0.16	0.14	0.13	0.16	0.14	0.13	0.14	0.16	0.14	0.15
7	0.21	0.22	0.23	0.19	0.18	0.22	0.19	0.19	0.19	0.23	0.19	0.21
8	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.35	0.35	0.34	0.34	0.35	0.34	0.35
9	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
10	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
11	0.15	0.16	0.16	0.14	0.13	0.16	0.14	0.13	0.14	0.16	0.14	0.15
12	0.21	0.22	0.23	0.19	0.18	0.22	0.19	0.19	0.19	0.23	0.19	0.21
13	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.35	0.34	0.34	0.34	0.35	0.34	0.35
14	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
15	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	0.15	0.16	0.16	0.14	0.13	0.16	0.14	0.13	0.14	0.16	0.14	0.15
17	0.21	0.22	0.23	0.19	0.18	0.22	0.19	0.19	0.19	0.23	0.19	0.21
18	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.35	0.34	0.34	0.34	0.35	0.34	0.35
19	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
20	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl