

Openbaar eindrapport Ontwikkeling 4D COOL Optimizer voor Datacenters

Tender Urban Energy 2017



**Dit project is uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie
van het Ministerie van Economische Zaken**

1. Gegevens project

- Projectnummer: TEUE117084
- Projecttitel: Ontwikkeling 4D COOL Optimizer voor Datacenters
- Penvoerder en medeaanvragers: Pro-AT, Actiflow, SenseAnywhere, TNO, VORtech, NorthC
- Projectperiode: 1 feb 2018 – 1 juni 2020

2. Inhoudelijk eindrapport

Samenvatting

Datacenters zijn grootgebruikers van (elektrische) energie¹ met 2% van het mondiale gebruik². Energiebesparing staat hoog op de agenda^{3,4}, maar in de praktijk is de verdeling van warmte en koude in de zaal niet goed bekend. Datacenters koelen daarom vaak meer dan nodig is. Zij kunnen profiteren van een oplossing die inzicht geeft in het binnenklimaat, en aan de basis staat van energiezuiniger control van de koeling in het datacenter. Het consortium wil daarom oplossingen voor **real-time 3D (4D)** monitoring en control van de warmte- en flowverdeling in datacenters leveren. Dergelijke oplossingen zijn wereldwijd nieuw. In een eerder succesvol verlopen haalbaarheidsproject in 2017 is een *proof of concept* geleverd, waarmee de technische en economische haalbaarheid van de monitoring technologie is aangetoond. Het huidige project zet in op verdere ontwikkeling van de technologie tot een functioneel prototype voor operationele toepassing.

Inleiding



Datacenters zijn grootgebruikers van (elektrische) energie. Het elektriciteitsgebruik in datacenters bedraagt 2% van het mondiale gebruik. Met een wereldwijd elektriciteitsgebruik van 20.000 TWh in 2013⁵ en een elektriciteitsprijs van ca. 0,1 EUR/kWh resulteert dit in een jaarlijkse elektriciteitsrekening van ca. 40 miljard EUR voor datacenters wereldwijd. Dit elektriciteitsgebruik in datacenters neemt jaarlijks met 10-15% toe en is daarmee hoger dan in iedere andere sector. De verwachting is dat in 2020 de rekening in alleen al de VS zal zijn opgelopen tot 13 miljard EUR/jaar⁶.

Energiebesparing staat dan ook hoog op de agenda voor datacenters. Dit geldt zeker voor co-locatie datacenters⁷, die steeds meer concurreren op prijs. Een energiebesparing en de daaruit voortvloeiende kostenbesparing verstevigt de concurrentiepositie. Ook zijn duurzaamheid en milieuvriendelijkheid steeds belangrijker wordende uitgangspunten in de wereld van datacenters.

Een gemiddeld datacenter van ca. 1 MW heeft een elektriciteitsrekening in de orde van 1 MEUR/jaar. Ongeveer de helft daarvan gaat op aan de voeding van de computerapparatuur (IT-load), de andere helft aan energie voor koeling en ventilatie. In het bijzonder in zogeheten co-locatie datacenters, waar servers staan van vele verschillende klanten, kan de koelvraag sterk variëren: servers worden met grote regelmaat bijgeplaatst, vervangen, weggehaald etc. De temperatuureisen kunnen per server of rack verschillen en daarmee ook de lokaal benodigde koeling.

In de praktijk wordt met deze dynamiek beperkt rekening gehouden en wordt het datacenter afgeregeld op apparatuur die meeste koeling behoeft. De temperatuur van toegevoerde koude lucht wordt zo gekozen dat de inlet temperatuur bij de servers de maximaal toegestane waarde niet overschrijdt. In veel datacenters wordt koelenergie verspild omdat het koelsysteem is ingesteld op significant lagere

¹ <https://yearbook.enerdata.net/electricity-domestic-consumption-data-by-region.html>

² Zie bijv. <http://www.energiegids.nl/nieuws/co2-uitstoot-datacenters-dreigt-uit-de-hand-te-lopen>

³ Energiebesparing door best beschikbare technieken voor koeling van serverruimtes, CE Delft, oktober 2014, in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

⁴ Duurzaam koelen van datacenters, Agentschap NL, juni 2012, Publicatie-nr. 2EOSA1102

⁵ <https://yearbook.enerdata.net/electricity-domestic-consumption-data-by-region.html>

⁶ <http://www.nrdc.org/energy/data-center-efficiency-assessment.asp>

⁷ Co-locatie datacenters leveren diensten aan verschillende klanten (waar andere datacenters diensten aan één enkele klant leveren). In co-locatie datacenters bevinden zich servers van al deze verschillende klanten.

temperaturen dan nodig. Deze marge wordt gebruikt om lokale hot spots in de ruimte te compenseren en reduceert het risico dat te laat wordt gereageerd bij een plotselinge temperatuuroptocht.

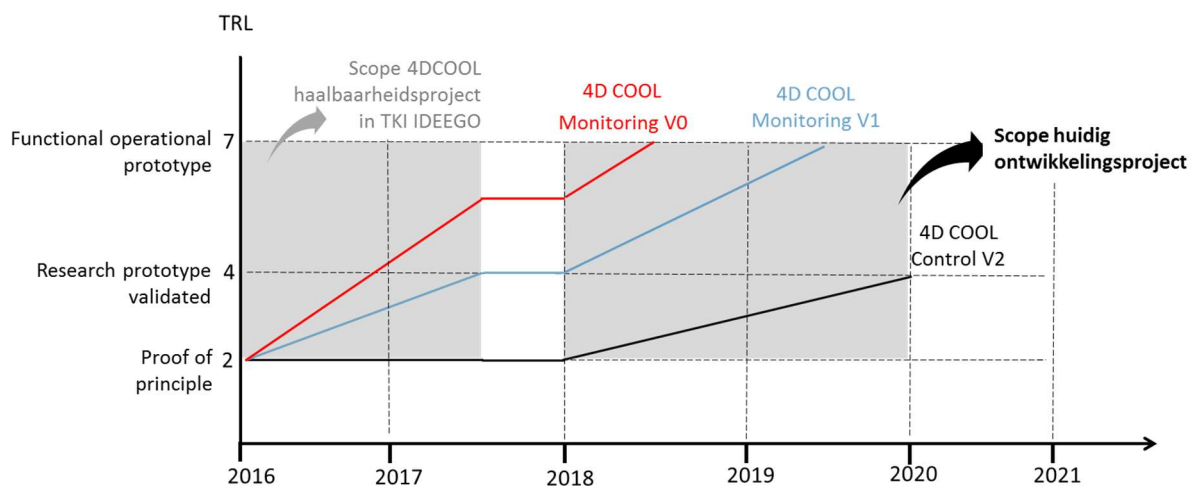
Probleemstelling (vanuit de eindgebruiker)

De huidige praktijk in co-locatie datacenters brengt met zich mee dat een groot deel van de ruimte in een datacenter-zaal onnodig wordt gekoeld. Hoe kan dit worden vermeden? Vanuit de gebruiker zijn de kosten van uitval als gevolg van te hoge temperaturen en hotspots zo groot (ca. 8000 USD per minuut), dat de datacenters liever te veel koelen en daarmee onnodig veel kosten maken. Door inzicht te verschaffen in het volledige klimaat in een ruimte via de voorgestelde slimme monitoring oplossing, kunnen de volgende vragen worden beantwoord: Hoe is de warmteverdeling in de gehele ruimte van het datacenter? Op welke plekken wordt meer gekoeld dan nodig is? Waar dreigen temperatuurdrempels overschreden te worden? Hoe (kosten)efficiënt is de inzet van koel- en ventilatie-apparatuur onder de huidige omstandigheden en koelingsvraag? En hoe kan deze inzet verbeterd worden, zodat energie bespaard wordt en de leveringszekerheid gegarandeerd blijft?

Doelstelling

4D COOL Optimizer is gebaseerd op fusie tussen een CFD-model en sensoren en kent daarvoor verschillende methodes, die elk corresponderen met toekomstige producten/diensten. Het consortium wil daarom:

- 4D COOL Monitoring technologie ontwikkelen tot operationeel prototype, geschikt voor:
 - o Versie⁸ **V0**: Doorrekenen (niet real-time) van scenario's, bijv. bij oplossen problemen met air flow en/of binnenklimaat of strategische beslissingen (investeren in aanpassing of uitbreiding van koeling, onder variërende belasting/aantal servers op zaal).
 - o Versie⁹ **V1**: Real-time 3D visualisatie van de warmteverdeling in de zaal van het datacenter zodat operators o.a. problemen kunnen detecteren en ook als basis voor energiezuinige 4D COOL control van het binnenklimaat.
- 4D COOL Control technologie (Versie¹⁰ **V2**) onderzoeken op haalbaarheid. TNO heeft enkele jaren geleden een *proof of principle* geleverd voor toepassing in een klimaatkas. Real-time control van het binnenklimaat bouwt voort op real-time monitoring en biedt veel potentie, omdat de energiebesparing geautomatiseerd wordt, en niet meer afhangt van de continue aandacht en expertise van de operator. We willen een proof of concept van in een datacenter aantonen.



Werkwijze

In het project wordt gewerkt aan 4D COOL Monitoring en Control, gebaseerd op fusie tussen sensormetingen en een CFD-model volgens een wereldwijd nieuwe methode¹¹. De technische

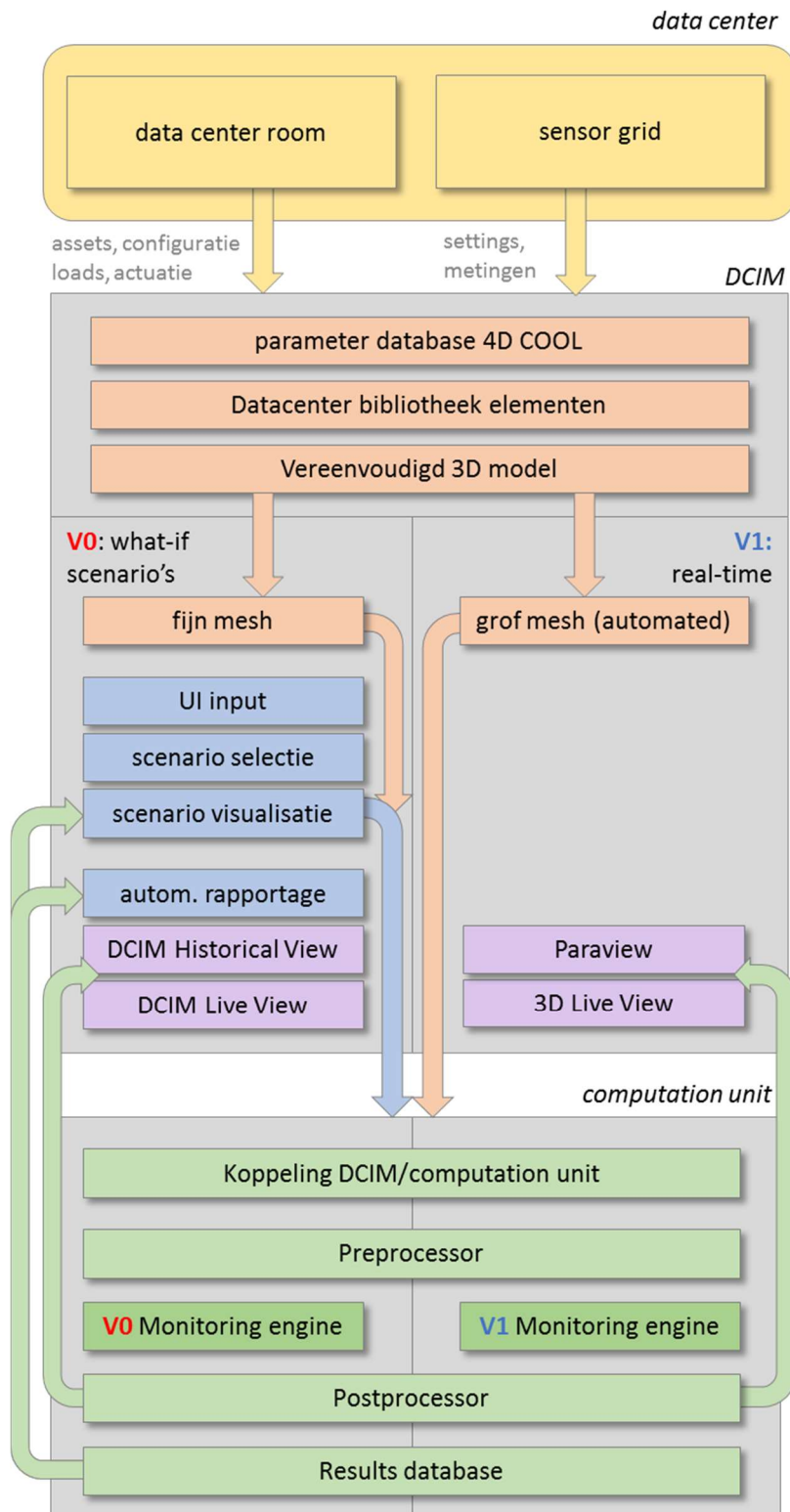
⁸ Monitoring **V0**: VORtech heeft dit (state-of-the-art) algoritme toegepast, gebaseerd op Ensemble Kalman filtering

⁹ Monitoring **V1**: TNO heeft haar eigen (beyond state-of-the-art) innovatieve (patent pending) algoritme voor data-assimilatie.

¹⁰ Control **V2**: TNO heeft haar eigen (beyond state-of-the-art) innovatieve (patent pending) algoritme voor real-time control van binnenklimaat.

¹¹ TNO heeft patentaanvragen lopen voor zowel de monitoring- als de control-methode.

samenhang tussen de infrastructuur en de activiteiten laat zich illustreren aan de hand van de architectuur voor 4D COOL Monitoring (zie figuur):



Korte omschrijving werkpakketten (zie ook Hoofdstuk 3)

1 Datacenter, sensoren en testen

NorthC levert gegevens aan m.b.t. assets, configuratie, loads, actuatie (voor zover niet in DCIM) en adviseert m.b.t. sensor grid lay-out en deployment van sensoren. Voor het testen van de 4D COOL engines wordt de zaal van het datacenter van NorthC in Groningen als praktijkomgeving gebruikt. **V0** Monitoring wordt ingezet om de menging van lucht in een technische ruimte van het datacenter te bestuderen. NorthC faciliteert ook de operationele tests voor 4D COOL Monitoring en 4D COOL Control. SenseAnywhere coördineert bepaling van aantal en type sensoren, verzorgt sensor grid lay-out, verbetering (waar nodig), aanschaf en (re-)deployment sensoren en functioneel testen, aanpassen en verbeteren van de sensoren (op zaal en in de technische mengruimte).

2 Assets, model en mesh

Ontwerp en implementatie van voorzieningen om snel (op basis van asset informatie) tot een geometrie te komen die bruikbaar is voor een CFD-berekening. PRO-AT bouwt daarvoor een vereenvoudigd 3D model in DCIM, terwijl Actiflow zich richt op genereren van de meshes: een fijn mesh voor V0, en een grof mesh (geautomatiseerd) voor V1.

3 What-if scenario's

Actiflow en Perf-IT ontwerpen en implementeren voorzieningen om maatregelen te specificeren ten behoeve van "what-if" scenario's; o.a. een userinterface, definitie en selectie van scenario's, en automatische rapportages. PRO-AT richt zich op de visualisatie van de scenario's. NorthC adviseert vanuit het standpunt van de gebruiker.

4 Visualisatie binnenklimaat

Ontwerp en implementatie van de visualisatie van het temperatuurveld (Actiflow en PRO-AT), zowel in 2D voor DCIM Live/Playback View voor Monitoring V0, als in 3D voor Monitoring V1. NorthC adviseert vanuit het standpunt van de gebruiker.

5 Computation unit

VORtech verzorgt het ontwerp en implementatie van het systeem dat de berekeningen geautomatiseerd uitvoert. Het hart daarvan wordt gevormd door beide monitoring engines waarin de fusie tussen CFD model en sensordata plaatsvindt. Pre- en postprocessor moeten worden ontworpen en ontwikkeld. Voorzieningen worden ontwikkeld voor het runnen van processen en probleemafhandeling. Verder het inrichten van hosting, testomgeving, compilers, versiebeheer. Verzorgen van de koppeling tussen DCIM en rekensysteem. Dit computational framework zal plaats bieden aan de verschillende engines die in WP6 ontwikkeld worden.

6 4D COOL engines

- In dit WP werken met name VORtech en TNO nauw samen. We onderscheiden de volgende engines:
 - Monitoring **V0**: er is relatief weinig ontwikkeling meer nodig om te komen tot een operationeel prototype. Er wordt o.a. gekeken naar verhogen van de rekensnelheid voor fusie, en het onderzoeken van gebruik van sensoren op andere locaties, ter verhoging van de nauwkeurigheid bij de racks.
 - Monitoring **V1**: deze methode heeft het meeste potentieel, met name vanwege de snelheid waarmee dynamische processen in het datacenter kunnen worden gevolgd. Wel is het zo dat deze methode nog onvolwassen is (een lagere TRL heeft) en aanvullend O&O nodig is om te komen tot een marktwaardig product/dienst: o.a. verminderen van de gevoeligheid van de methode voor de locaties van de sensoren en het verminderen van de benodigde hoeveelheid sensoren.
 - Control **V2**: real-time control is een *holy grail* voor data centers omdat continue optimalisatie van het binnenklimaat veel potentie biedt, met name als omstandigheden snel of sterk wisselen. TNO heeft een patentaanvraag lopen voor een innovatieve control-methode. Over de mogelijkheden voor data centers is nog niets bekend. We onderzoeken de haalbaarheid en richten ons op de validatie door een proof of concept te leveren aan de hand van research prototype technologie.

□ A) Resultaten van het project

De resultaten van het project worden besproken aan de hand van de lijst met de volgende behaalde deliverables conform projectplan, onder het aangegeven werkpakket (WP):

Werkpakket 1: Datacenter, sensoren en testen

M1: deployment of sensor infrastructuur voor testen 4D COOL engines

De volgende sensoren zijn gedeployed in de IT-room en de Technical room (waar o.a. de inlet en menging van de lucht plaatsvindt).

IT-room:

- 9 chimneys @ ceiling of room
- Alley 1,2,9: 12 sensors => 36
- Other alleys 6 sensors => 36
- 6 loggers spread in the room (cold side) => 6



- Loggers at sealing rail of the chimneys (hot side)
- Loggers placed random in room (cold side) lowered some distance from the ceiling

Deployed sensors in de IT-room. Omwille van vertrouwelijkheid hier niet leesbaar in openbaar eindrapport.

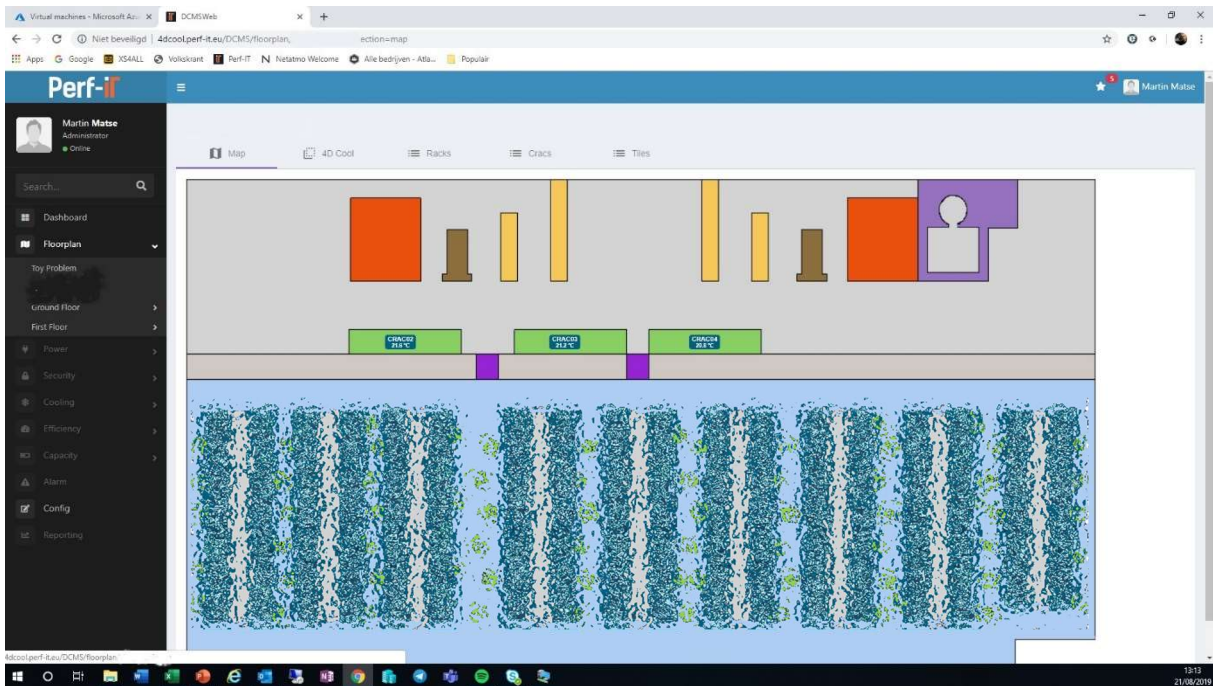
Technical room:

- Chillers: 2 outside, 2 inside, 3 chillers => 12
- Edge of top floor
- Attached to the 2 cables at edge across each chimney
- 2 rows of 9 loggers => 18
- Ventilation slots in outside wall
- 3x6 independent controllable sections => 18
- Several sensors spread in technical room between outside wall and chillers => 14

Werkpakket 2: Assets, model en mesh

M2: meshes fijn en grof voor data-assimilatie en infrastructuur om deze (geautomatiseerd) te genereren. Ontwerpen implementatie van voorzieningen zijn gemaakt om snel (op basis van asset informatie) tot een geometrie te komen die bruikbaar is voor een CFD-berekening: DCIM aanpassingen tot een aparte 4DCOOL omgeving, mesh generatie, fijn en grof (Perf-IT)

De DCIM-applicatie van Perf-iT wordt gebruikt als communicatiemedium en interface naar de gebruiker toe.



4DCOOL omgeving met de white-space ruimte vanm North-C met daarop de racks, luchtinlaatkleppen en verbruikte vermogens (scrambled weergegeven)

Ieder uur wordt er een datamonitoring gestart. Om dit te kunnen doen moeten de actuele waarden van de SenseAnywhere sensoren doorgestuurd worden naar de Engine. Andere informatie die wordt doorgestuurd is: rack load, koelinginstellingen en de positie van apparatuur.

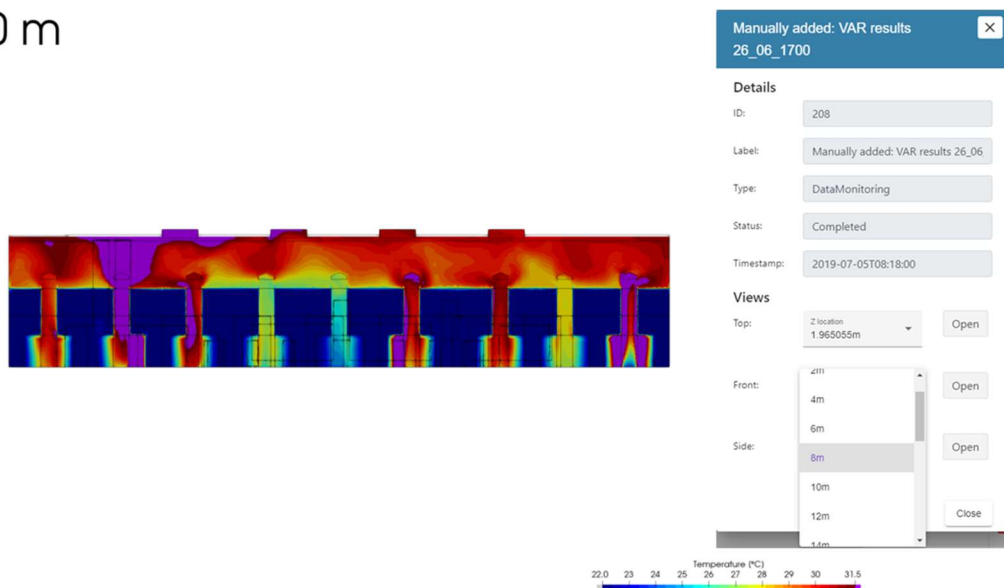
Het resultaat van deze datamonitoring kan vervolgens worden bekeken in DCIM.

Daarnaast kan de gebruiker een what-if scenario starten. In DCIM kan een scenario worden aangemaakt en gestart. Nadat de engine de uitkomsten heeft berekend kan deze in DCIM bekeken worden en vergeleken met de actuele situatie.

Datamonitoring selectie en visualisatie

In de 4DCOOL omgeving kunnen de resultaten van de datamonitoring runs snel gevisualiseerd worden. De gebruiker kan daarbij aangeven welke cross-sectie van de dataset hij wil bekijken cf. vergelijken met de resultaten van andere runs.

$Y = 8.00 \text{ m}$



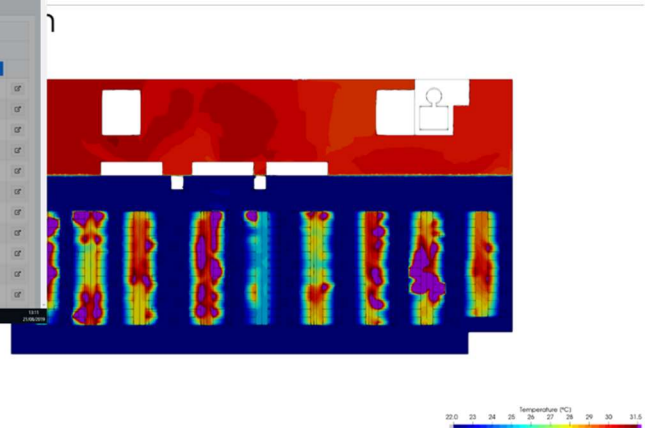
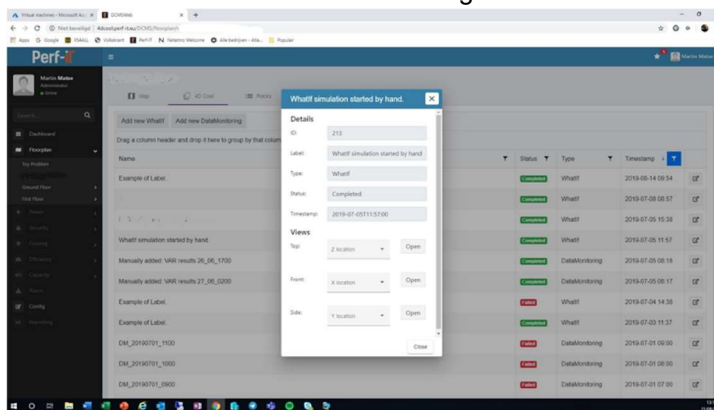
Werkpakket 3: What-if scenario's

M3: infrastructuur what-if scenario's

Door de methodekeuze (Digital Twin) is het model in staat om voorspellingen te doen buiten zijn geleerde kennis. De mogelijkheid die deze techniek biedt is omgezet in zogenaamde what-if scenario's. De huidige what-if's omvatten:

- . Aanpassen van de hoeveelheid koude lucht
- . Herverdelen van de koude lucht door de ruimte
- . Veranderen van het koelvermogen
- . Veranderen van het opgenomen vermogen door racks
- . Optreden van storingen (bijvoorbeeld op de koeling)

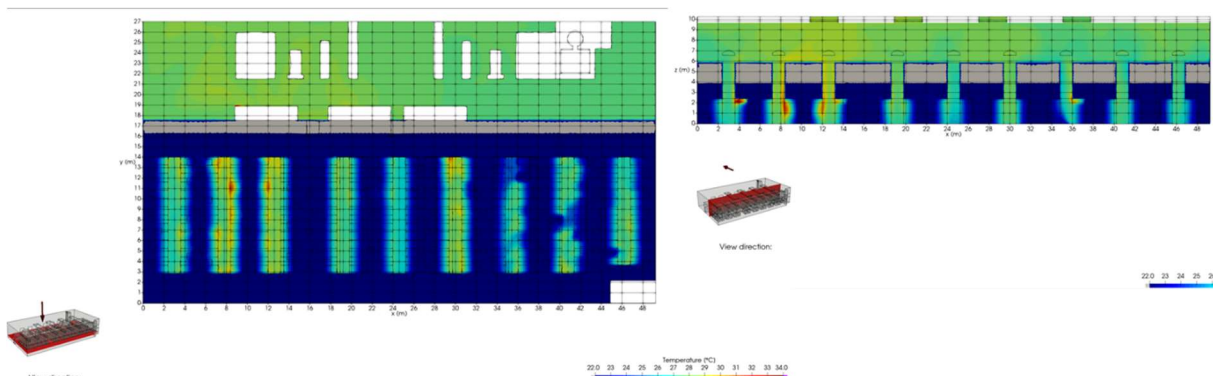
Dit is een ideale manier om het beheer van het datacenter te optimaliseren, zowel het operationele beheer als het reduceren van het energieverbruik.



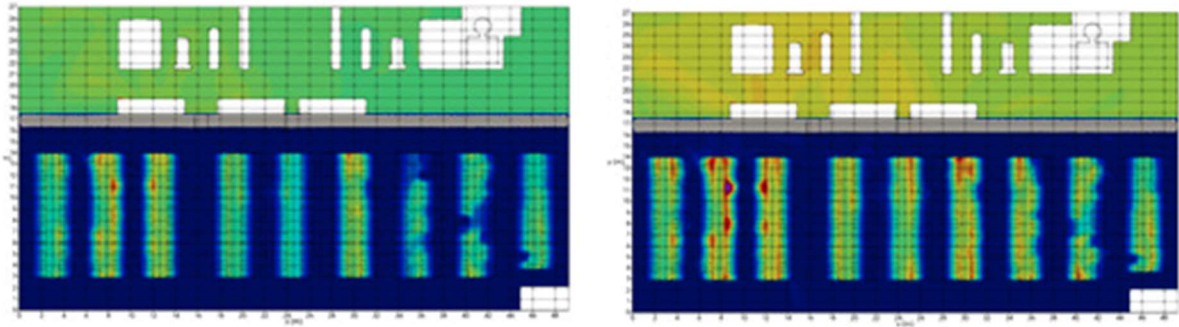
Werkpakket 4: Visualisatie binnenklimaat

M4: Visualisatiemodule voor binnenklimaat

- Er wordt gebruik gemaakt van ParaView, open source visualisatiesoftware
- Op basis van afmetingen rekenmodel worden doorsnedes getoond
- Afstand tussen doorsnedes is configureerbaar
- Op de doorsnede wordt een grid met assen ter oriëntatie getoond
- Aanzichten worden ook ingeschat op basis van afmetingen model en zijn configureerbaar
- Tekstueel wordt informatie over de betreffende run aan de figuur toegevoegd
- De figuren kunnen ook tot animatie worden verwerkt
- De figuren zijn opgebouwd uit een figuur met data en een figuur dat het aanzicht toont
- Temperatuurschaal is configureerbaar
- Figuren worden automatisch genereerd en op juiste plek opgeslagen
- De DCIM interface kan deze vervolgens tonen in de browser



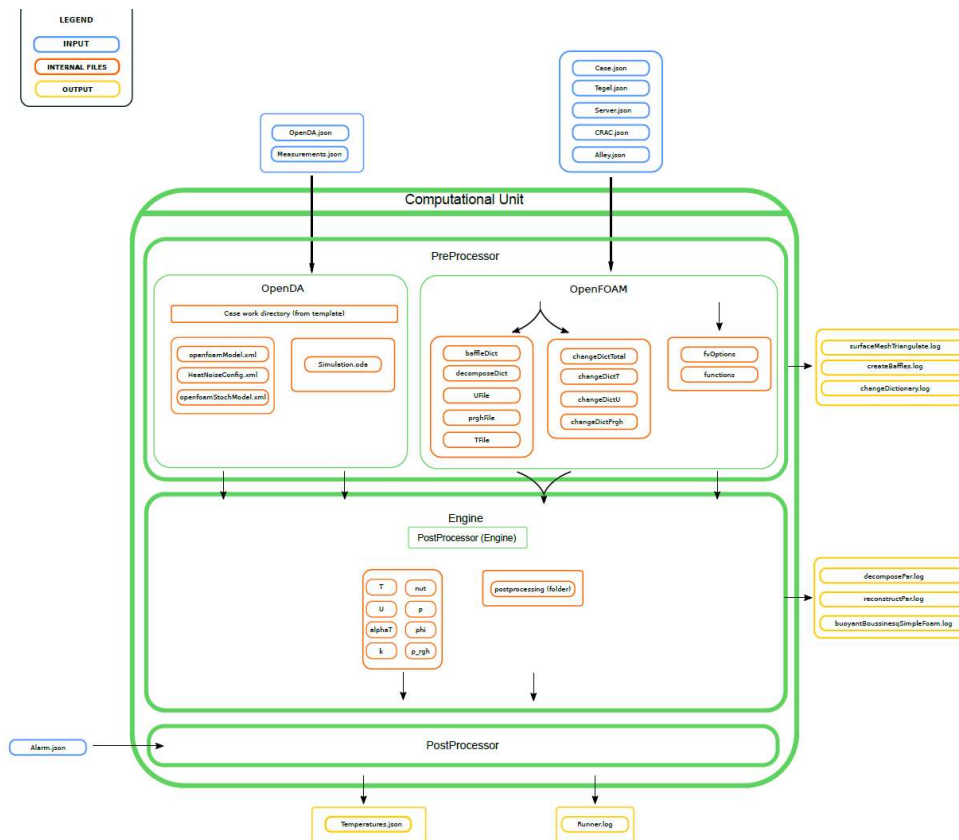
Visualisatie van monitoring en 'what-if' scenario's is verder identiek; de resultaten van 'what-if' scenario's worden gevisualiseerd in dezelfde doorsnedes als de resultaten van data-monitoring; Verschillende resultaten en doorsnedes kunnen worden geopend in verschillende tabbladen Hierdoor wordt vergelijking van verschillende situaties of scenario's vergemakkelijkt. Onderstaande figuur toont bijvoorbeeld het effect van toevoegen van racks met enkele tientallen kW's in een bepaalde gang.



Werkpakket 5: Computation Unit

M5: DCIM-computation unit interface, inclusief database en post-processing

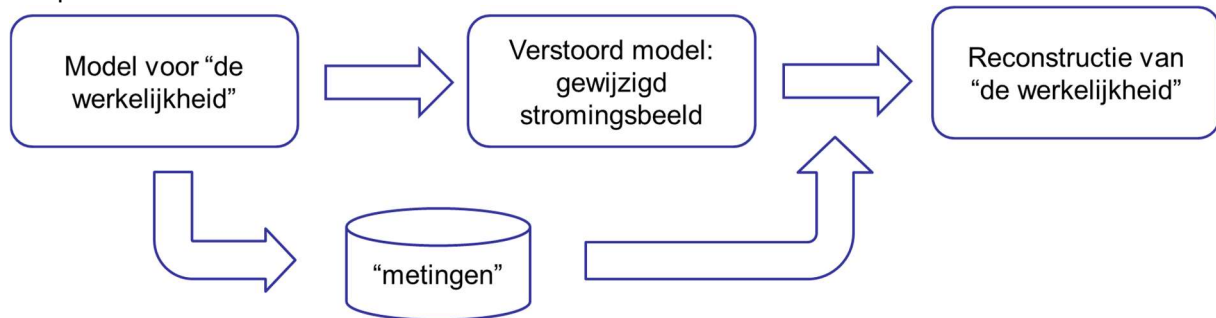
- Beschikbaar via Microsoft Azure cloud
- Dockerized: gemakkelijk te deployen
- Communiceert op basis van REST-API
- DevOps omgeving inclusief automatische tests



Werkpakket 6: 4DCOOL engines (V0 en V1)

M6.1/6.2: Operationele monitoring engines

Aanpak:



- Twin experiments: reconstrueren van een origineel temperatuurveld uit een verstoord temperatuurveld op basis van metingen aan het originele temperatuurveld.
- Toont aan dat afwijkingen tussen model en werkelijkheid met metingen gecorrigeerd kunnen worden

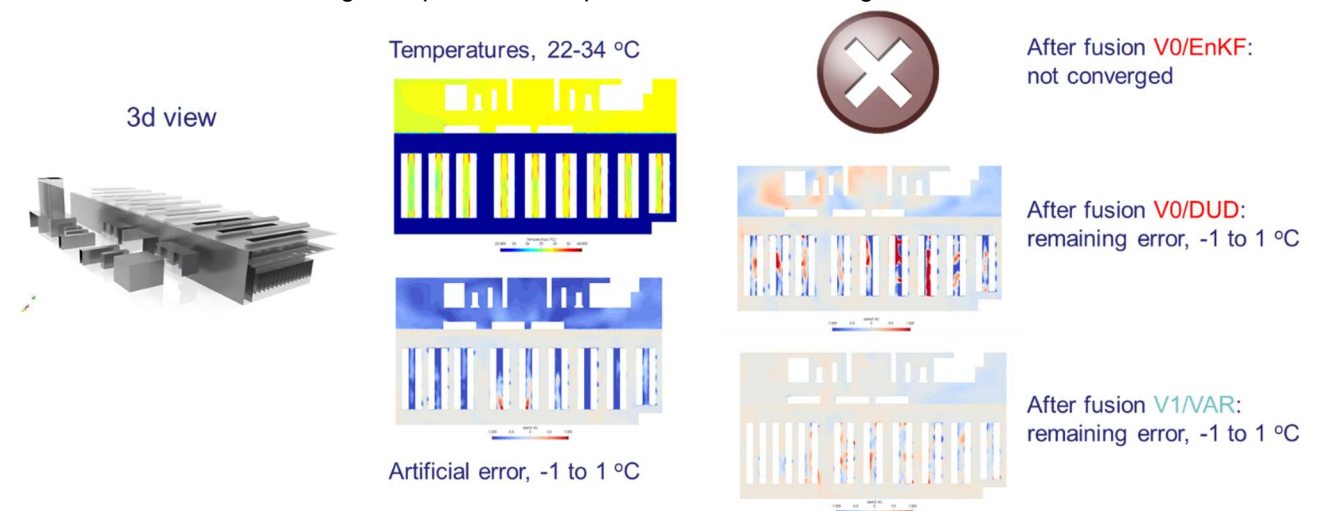
Voornaamste conclusies:

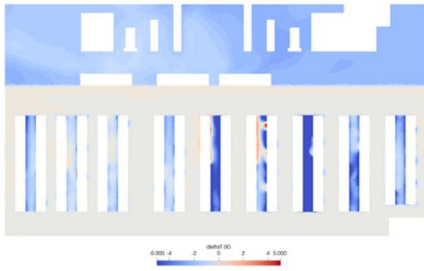
V0 : State of the Art data assimilatie benadering

- Ensemble Kalman filter (van OpenDA toolbox)
 - o Geïmplementeerd en effectief voor kleine test problemen/cases
 - o Werkt voor dynamische modellen maar niet geschikt voor quasi-statische modellen
 - o Ineffectief gebleken voor reconstrueren juiste temperaturen voor deze casus
 - o Vraagt veel rekentijd/effort
- DUD methode (van OpenDA toolbox)
 - o Geïmplementeerd
 - o Werkt voor quasi-statische modellen zoals voor deze casus
 - o Effectief in reconstrueren van temperatuurveld voor deze casus, kan verbeterd worden
 - o Rekeneffort vergelijkbaar met V1

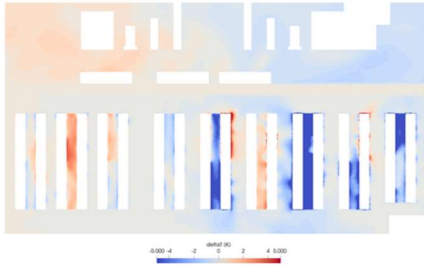
V1 : Variational methods (Adjoint based)

- VAR method
 - o Geïmplementeerd in Computation Engine framework.
 - o Getest op test cases variërend van klein tot schaal van NorthC Groningen zaal
 - o Aangetoonde verbetering temperatuurveld als gefuseerd wordt met echte metingen.
 - o Meer effort nodig voor parallelisatie/performance verbetering.

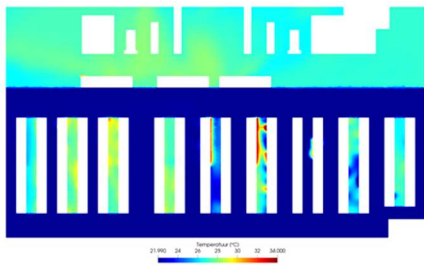




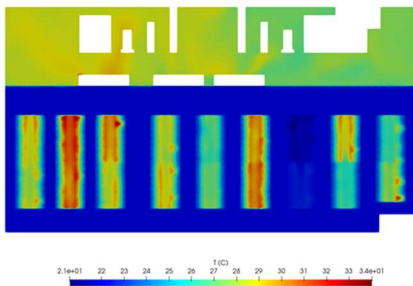
Corrections made by **V0/DUD**, -5 to 5 °C



Corrections made by **V1/VAR**, -5 to 5 °C



Fused temperature field by **V0/DUD**



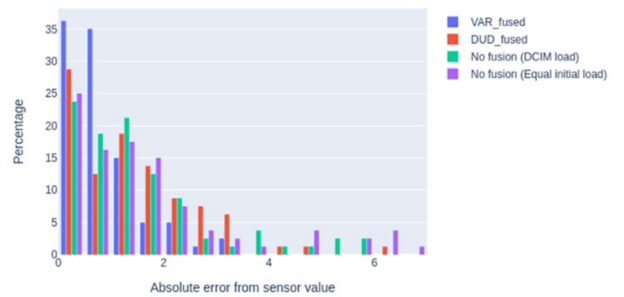
Fused temperature field by **V1/VAR**

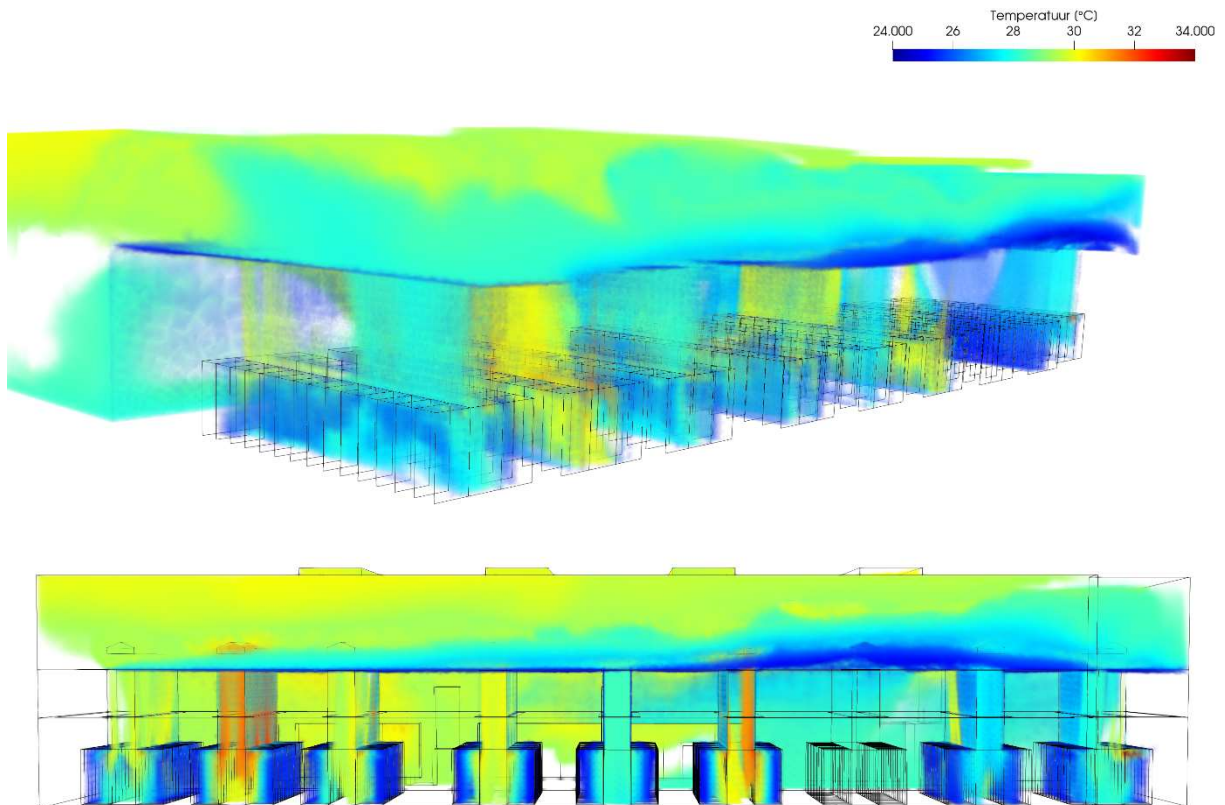
- De VAR engine is effectiever dan de DUD engine => de nieuwe monitoring methode van TNO (V1) werkt beter dan de traditionele methode.

Error distribution within racks area



Error distribution within racks area





Bovenstaande figuren tonen het resultaat van de V1/VAR methode na fusie met echte metingen.

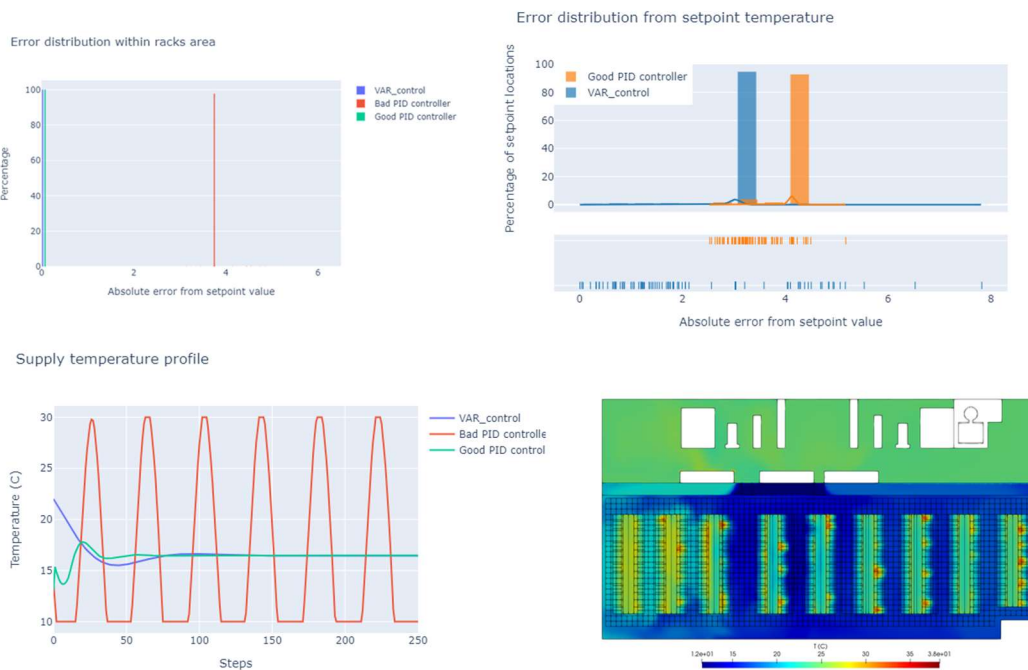
Werkpakket 6: 4DCOOL engines (V2)

M6.3: Haalbaarheid real-time control

Bepaling haalbaarheid real-time control aan de hand van research prototype 4D COOL engine Control V2

V2 : Variational methods (Adjoint based) for Control

- VAR method applied to control
 - Geïmplementeerd in de VAR solver.
 - Niet geïntegreerd in Computation Engine framework.
 - Getest op kleine cases, waar duidelijk voordelen uit blijken.
 - Voor daadwerkelijke deployment in datacenters is meer onderzoek nodig.
 - Soortgelijke formulering als de VAR data monitoring engine.
 - “Deploy and forget” vergeleken met niet-optimale traditionele methoden (bijv. PID control).

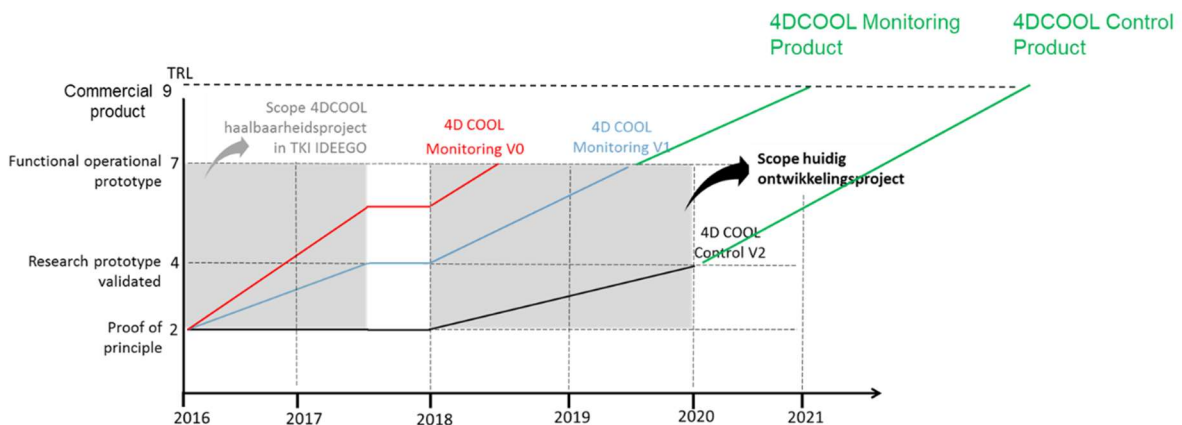


B) Conclusies / Mogelijkheden voor spin off en vervolgvactiteiten

Het project is succesvol afgerond: de ontwikkeling van de monitoring oplossingen V0 (DUD) en V1 (VAR) heeft geleid tot functioneel operationele prototypes, waarbij de VAR-monitoring methode als beste is beoordeeld door de projectpartners. Verder is de haalbaarheid van real-time control aangetoond. De gebruikersomgeving van 4DCOOL is ontwikkeld en opgeleverd en het betrokken datacenter in dit project NorthC is geïnteresseerd in de technologie. De partijen houden momenteel besprekingen om de samenwerking voort te zetten.

Tijdens de eindmeeting van dit project op 20 mei 2020 is over de vervolgmogelijkheden gesproken, o.a. aan de hand van de volgende grafiek (vergelijk met begin van dit rapport).

- De marktpartijen geven aan dat de prioriteit voor hen nu ligt bij het op de markt brengen van de monitoring oplossing die daarvoor nu voor een groot deel klaar is. Voor de investering die het datacenter (launching customer) daarvoor moet doen, is eventueel de DEI-regeling een mogelijkheid voor ondersteuning, zo geeft RVO aan. Ook de resterende ontwikkeling (TRL 7 -> TRL 8/9) zou daaruit (deels) gefinancierd kunnen worden.
- Voor real-time control zijn zeker mogelijkheden in de markt, maar dit wordt relevant als de 4DCOOL monitoring oplossing aanslaat. Aangezien het algoritme voor real-time control nauw verwant is aan dat van de VAR-implementatie van 4DCOOL monitoring, geeft dat een goed technisch uitgangspunt.



- De MKB-marktpartijen en TNO zullen verdere gesprekken voeren over de samenwerking en het gebruik van de resultaten uit dit project.