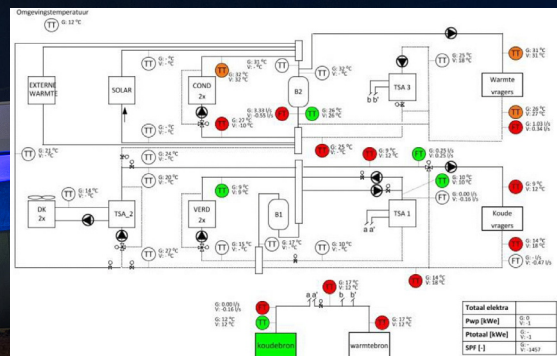


Eindrapport MoBaMo-BES

Model geBaseerde Monitoring BodemEnergieSystemen



©1.



Eindrapport MoBaMo-BES

Model geBaseerde Monitoring BodemEnergieSystemen

de heer I.W.M. Pothof
mevrouw S.L. Kooreman
de heer J.M. Lemans

Titel
Eindrapport MoBaMo-BES

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RVO	11202129-000	11202129-000- HYE-0003	19



Trefwoorden
Bodemenergiesystemen, real-time monitoring, thermische balans, Delft- FEWS

Samenvatting
Een belangrijke techniek voor verduurzaming van de gebouwde omgeving is bodemenergie. Het is een duurzaam alternatief voor gasgestookte en compressie-gekoelde gebouwen omdat de ondergrond met haar gunstige eigenschappen kan voorzien in opslag van warmte en koude waaruit de thermische vraag wordt voldaan. De mate waarin fossiele energiebesparing en CO₂-uitstootreductie wordt gerealiseerd, wordt bepaald door de geïnstalleerde capaciteit alsmede de prestatie van het bodemenergiesystemen (BES). Monitoring van het BES zorgt voor inzicht in deze prestatie. Wat ontbreekt aan de huidige generatie van monitoring systemen voor klimaatinstallaties gekoppeld aan BES, is een real-time vergelijking tussen de gemeten prestatie en de verwachte prestatie op basis van de ontwerpuitgangspunten.

Het MoBaMo-BES monitoring tool bevat uitgebreide functionaliteit voor model-gebaseerde monitoring van klimaatinstallaties met een BES-koppeling en sluit aan op de eisen in het Bouwbesluit 2013. Uit de pilots blijkt dat het loggen en beschikbaar stellen aan derden van sensordata geen vanzelfsprekendheid is. Niet alle sensoren zijn aanwezig, niet alle sensoren worden gelogd en niet alle data wordt zomaar vrijgegeven aan derden voor dit onderzoeksproject. Daardoor is het op dit moment lastig om het MoBaMo-BES monitoringstool op dit detailniveau kostenefficiënt op te zetten.

Voor toekomstige MoBaMo-BES toepassingen wordt aanbevolen om een model te maken dat zich beperkt tot de thermische onbalans van het BES en de warmte- en koudevraag op basis van bijvoorbeeld gewogen graaddagen en eventueel historische data van de warmte- en koudevraag. Een dergelijke MoBaMoBES Light versie voorziet voor veel gebouwen in de behoefte aan model-gebaseerde monitoring.

Referenties
TKI Urban Energy project TEUE117014

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	nov. 2019	Sofie Kooreman Matthijs Lemans	sk	Ivo Pothof		Bas van Vossen	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelstellingen en uitgangspunten	1
1.3 Samenwerkende partijen	1
1.4 Projectopzet	2
1.5 Bijdrage aan doelstellingen van Ministerie I&W mbt Bodem en Ondergrond	3
1.6 Overzicht openbare publicaties	3
2 De monitoringstool	4
2.1 Functioneel ontwerp	4
2.1.1 Basispakket	4
2.1.2 MoBaMo-BES pakket	5
2.1.3 Uitbreidingspakket	5
2.2 Ontwikkeling van de FEWS-MoBaMo-BES monitoringstool	5
2.3 Extern gebruik MoBaMo-BES	6
3 Pilots	7
3.1 Pilot Westraven	7
3.1.1 Configuratie	7
3.1.2 Knelpunten	8
3.1.3 Conclusies en aanbevelingen	9
3.2 Pilot Tetra	10
3.2.1 Configuratie	10
3.2.2 Knelpunten	12
3.2.3 Conclusies en aanbevelingen	12
3.3 Pilot Rucphen	13
3.3.1 Configuratie	13
3.3.2 Knelpunten	14
3.3.3 Conclusies en aanbevelingen	14
4 Routekaart Landelijke Database Bodemenergie	15
4.1 Plan van aanpak	15
4.2 Stakeholders en informatiestromen	15
5 Conclusies en aanbevelingen	17
5.1 Conclusies	17
5.1.1 Beschikbaarheid en juistheid van data	17
5.1.2 Configureren en berekeningen	17
5.2 Aanbevelingen	18
6 References	19

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Een belangrijke techniek voor verduurzaming van de gebouwde omgeving is bodemenergie. Het is een duurzaam alternatief voor gasgestookte en compressie-gekoelde gebouwen omdat de ondergrond met haar gunstige eigenschappen kan voorzien in opslag van warmte en koude waaruit de thermische vraag wordt voldaan. De mate waarin fossiele energiebesparing en CO₂-uitstootreductie wordt gerealiseerd, wordt bepaald door de geïnstalleerde capaciteit alsmede de prestatie van het bodemenergiesystemen (BES). Monitoring van het BES zorgt voor inzicht in deze prestatie.

Wat ontbreekt aan de huidige generatie van monitoring systemen voor klimaatinstallaties gekoppeld aan BES, is een real-time vergelijking tussen de gemeten prestatie en de verwachte prestatie op basis van de ontwerpuitgangspunten.

1.2 Doelstellingen en uitgangspunten

Het doel van het project MoBaMo-BES is de ontwikkeling van een monitoringstool waarmee een beheerder het BES optimaal kan laten functioneren. Deze monitoringstool geeft de mogelijkheid om real-time informatie over het systeem te toetsen met de te verwachten prestaties. Dit is bereikt door de ontwikkeling van een configureerbare pre-commerciële versie van een monitoringstool. Deze is gestoeld op basis van de huidige verplichte Key Performance Indicators (KPI's) aangevuld met specifieke data die wordt geregistreerd in het GebouwBeheerSysteem (GBS), dat:

1. Signaleert of de prestaties van het systeem op enig moment conform ontwerp en/of verwachting van de eigenaar/exploitant zijn;
2. Inzicht verschaft aan de beheerder/eigenaar over de te verwachten thermische (on)balans in het komende halfjaar;
3. De beheerder ondersteunt en aanmoedigt om een BES (en de klimaatinstallatie) optimaal te laten functioneren;
4. Rapportages oplevert conform de wettelijke verplichtingen richting bevoegd gezag en andere stakeholders.

De praktische bruikbaarheid van de innovatieve monitoringstool is in 3 pilot systemen getoetst. Dit rapport beschrijft de belangrijkste resultaten en projectervaringen van het TKI Urban Energy project MoBaMo-BES en dient als verantwoordingsrapportage aan de co-financierende partijen.

1.3 Samenwerkende partijen

<i>Naam</i>	<i>Type organisatie</i>
Deltares	Kennisinstelling
Techniplan	Adviesbureau
KWA	Adviesbureau
DWA	Adviesbureau
Hogeschool Utrecht	Kennisinstelling
SIMAXX	Softwarebedrijf
ISSO	Kennisinstelling
ENGIE Services West	Service- en energiebedrijf
Rijksvastgoedbedrijf	Overheidsorgaan
Rijkswaterstaat – WVL	Overheidsorgaan

1.4 Projectopzet

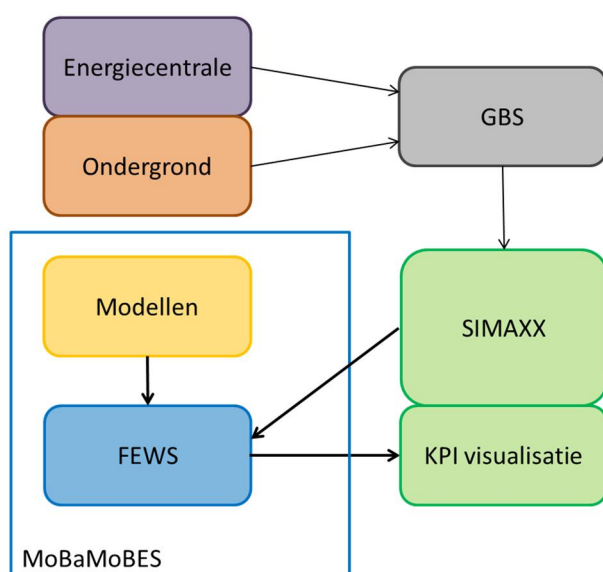
De functionaliteit van twee data-integratie-platformen wordt gecombineerd om MoBaMo-BES te realiseren:

1. SIMAXX is een monitoring-platform dat specifiek ontwikkeld is voor de gebouwde omgeving. Met SIMAXX is het mogelijk om meetdata van vrijwel alle mogelijke GBS-systemen, energiemeters, gebouwdatabases, etc. te verwerken tot informatie. Zie ook www.simaxx.com.
2. Delft-FEWS is het open source data-integratie-platform van Deltares, dat ontworpen is om meetdata, modeldata en externe voorspellingen (weer, etc.) real-time te verwerken tot bruikbare informatie. Delft-FEWS is oorspronkelijk ontwikkeld als Flood-Early-Warning System, maar kent tegenwoordig tal van andere toepassingen in productie-optimalisatie van waterkrachtcentrales, aansturing van warmtenetten en monitoring van rioolgemaal. Zie ook <https://oss.deltares.nl/web/delft-fews/>

Hiertoe worden eenvoudige modellen van onderdelen van een BES gekoppeld aan deze bestaande monitoringsplatformen (FEWS en SIMAXX), die zodanig beschikbaar komt dat derden het platform kunnen configureren voor een specifieke situatie. Deze modellen worden real-time gevoed met meetdata, zodat KPI's berekend kunnen worden. De Modelgebaseerde Monitoring van BES (MoBaMo-BES) zal ertoe leiden dat beheerders enerzijds vroegtijdig geïnformeerd worden over verminderd functioneren en anderzijds uitgedaagd worden om een BES optimaal te laten functioneren. Bovendien vormt deze geavanceerde monitoring een degelijke basis voor verbeterde regelingen in geïntegreerde intelligente energiesystemen.

Het project is verdeeld in zes werkpakketten:

1. Functioneel ontwerp MoBaMo-BES. Hierin wordt enerzijds onderzocht wat de meest efficiënte manier is om de model-integratie functionaliteit van FEWS te combineren met SIMAXX. Anderzijds worden de KPI's en de eisen aan de datastromen vastgelegd.
2. Ontwikkeling FEWS-MoBaMo-BES.
3. Pilots. Gemeentekantoor Rucphen (RVB), kantoor Westraven (RVB), kantoor Tetra (Deltares)
4. Kennisoverdracht.
5. Verkenning landelijke database. Dit werkpakket is aanpalend aan de hoofddoelstelling van het onderzoeksproject.
6. Projectmanagement.



Figuur 1.1 Samenhang tussen de verschillende werkpakketten

1.5 Bijdrage aan doelstellingen van Ministerie I&W mbt Bodem en Ondergrond

Nederland staat voor grote opgaven op het gebied van klimaat, (zoet) water en ruimtelijke inrichting. De bodem en ondergrond, waarvan het gebruik intensiveert, spelen in deze opgave een betekenisvolle rol, zowel om uitdagingen te voorkomen als het oplossen ervan. Kennis van het bodem-water-sediment-systeem is nodig om de hiervoor genoemde opgaven het hoofd te kunnen bieden.

De transitie van het bodembeleid krijgt steeds meer invulling. Er treedt een verschuiving op van saneren naar duurzaam beheer en benutten van de ondergrond en de relatie daarvan met de (bovengrondse) functies. Met de komst van de Omgevingswet en de aanvullingswet en het –besluit bodem in 2021 wordt dit nog versterkt. Bodem en ondergrond zijn bovendien belangrijk voor het beheer van de netwerken van RWS als drager van wegen, dijken en kunstwerken, als onderdeel van het hoofdwatersysteem en als leverancier van ecosysteemdiensten en natuurlijk kapitaal op het areaal. De drie hoofdlijnen zijn:

- Bijdrage Bodem en Ondergrond aan maatschappelijke opgaven (zoals Energietransitie, klimaatverandering, voldoende en schoon grondwater)
- Beheersing onverwachte gebeurtenissen (beheersen (financiële) risico's, vrijkomende bouwgrondstoffen, etc.)
- Bijdrage Bodem en Ondergrond aan impuls Circulaire Economie (incl. natuurlijk kapitaal en energietransitie)

Dit project draagt direct bij aan het duurzaam benutten van de ondergrond in relatie tot (bovengrondse) klimaatinstallaties in de gebouwde omgeving en levert daarmee een bijdrage aan de verdere verduurzaming van de gebouwde omgeving.

1.6 Overzicht openbare publicaties

Alle rapportages zijn te vinden op de volgende openbare website:

<https://publicwiki.deltares.nl/display/MoBaMoBes/MoBaMo-Bes+Home>

Contactpersonen:

de heer I.W.M. (Ivo) Pothof

mevrouw S.L. (Sofie) Kooreman

de heer J.M. (Mathijs) Lemans

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. De projectreferentie van TKI Urban Energy is TEUE117014.

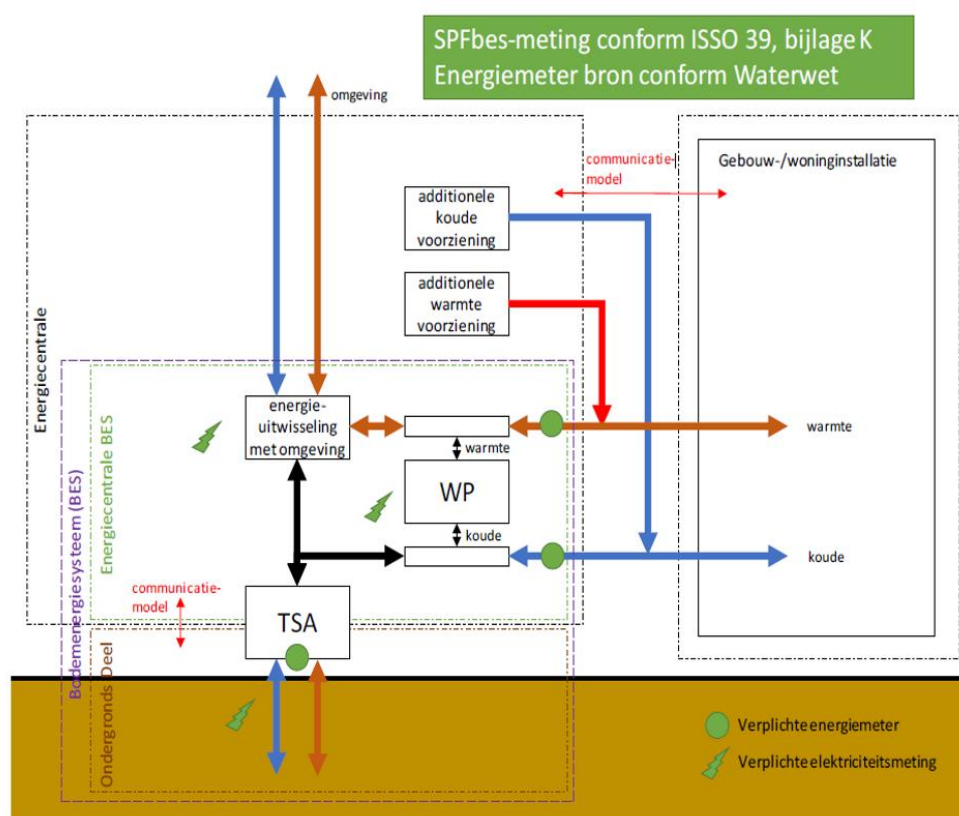
2 De monitoringstool

2.1 Functioneel ontwerp

Werkpakket 1 heeft geleid tot het functioneel ontwerp MoBaMo-BES. Dit bevat o.a. een omschrijving van relevante parameters en KPI's, ontwerpuitgangspunten, randvoorwaarden en rekenkundige modellen van verschillende onderdelen van een BES. Deze modellen zijn gekoppeld aan FEWS/SIMAXX en worden real-time gevoed met meetdata, zodat de KPI's kunnen worden berekend. Voor meer informatie, zie de Functioneel Ontwerp documenten (Molenaar, Functioneel Ontwerp MoBaMo-BES, 2018). Deze KPI's kunnen grofweg in drie categorieën worden ingedeeld: het basispakket, het MoBaMo-Bes pakket en het uitbreidingspakket.

2.1.1 Basispakket

Dit bevat de wettelijk minimum te rapporteren parameters. Deze hebben als doel bescherming van de ondergrond en dienen jaarlijks aan de provincie gerapporteerd te worden. Hiertoe moet het systeem minimaal kunnen werken met de bijbehorende wettelijk verplichte energiemeters. In Figuur 2.1 zijn deze energiemeters schematisch weergegeven:



Figuur 2.1 wettelijke verplichte energiemeters voor een BES

De parameters die gerapporteerd dienen te worden:

- Jaargemiddeld temperatuurverschil (delta T) van de bronnen
- Energiebalans in de ondergrond. Is balansherstel actief (ja/nee)? Is balansherstel noodzakelijk (ja/nee)?
- Seasonal Performance Factor (SPF) van het BES
- De minimum en maximum infiltratietemperatuur

De ontwikkelde monitoringstool genereert automatisch een overzicht van deze parameters, zie bijvoorbeeld Figuur 2.3.

2.1.2 MoBaMo-BES pakket

Naast het basispakket, zijn de volgende parameters in de MoBaMo-BES tool geconfigureerd:

- Warmte- en koudevraag van het gebouw
 - Buitentemperatuur en stooklijn
 - Ontwerp temperaturen en debieten gebouw
- Aandeel basislast / pieklast (warmte en koude) van de verschillende opwekkers
 - Temperaturen en debieten rond de opwekkers
- Jaargemiddelde COP warmtepomp, per losse warmtepomp en de gecombineerde COP
 - Aannames voor een aantal parameters zoals de Carnotfactor en elektrische input
- Uitbreiding en voorspelling van de thermische balans in de ondergrond
 - Energielevering per jaar
 - Verloop van injectie- en onttrekkingstemperatuur over de tijd
- Peilstijging of -daling in de bronnen (bijvoorbeeld injectie)

2.1.3 Uitbreidingspakket

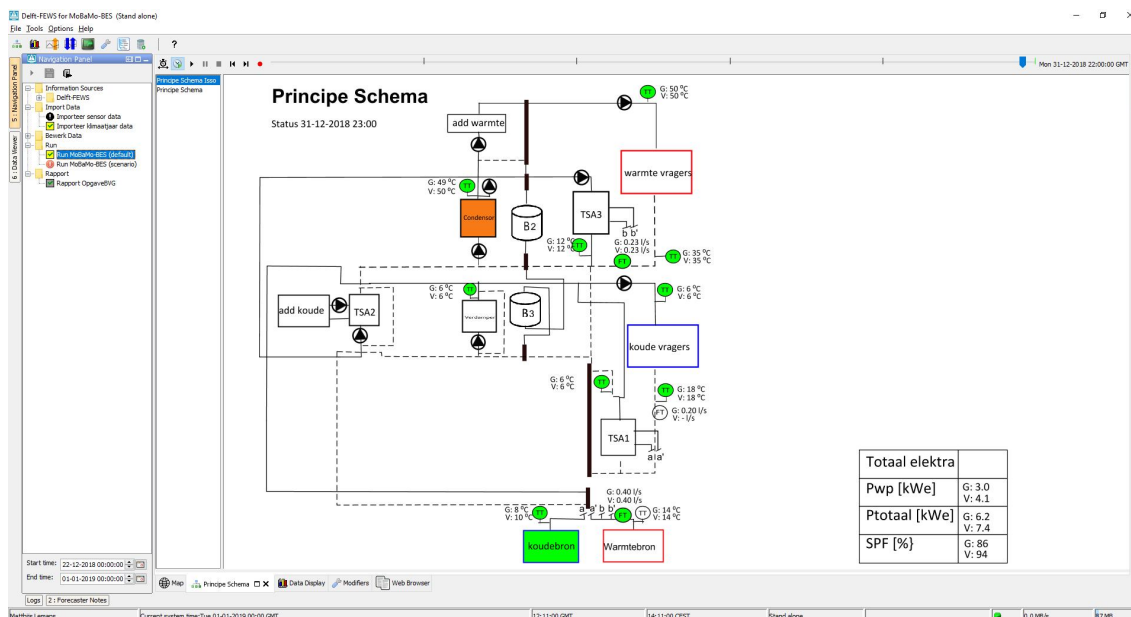
Inventarisatie van welke extra performance indicators wenselijk zijn voor gebouwbeheerders en ontwerpers om in de toekomst in te bouwen:

- Prestatie warmtepomp
 - Sensoren voor alle temperaturen, debieten en vermogens, geen aannames
- Voorspelling van de thermische onbalans, waar niet de gehele installatie voor doorgerekend hoeft te worden. Zo is de gebruiker minder afhankelijk van de aanwezigheid van meetgegevens en correcte installatie informatie
- Verificatie van de voorspellingsmodellen van de overige KPI's

2.2 Ontwikkeling van de FEWS-MoBaMo-BES monitoringstool

In het Delft-FEWS platform is de FEWS-MoBaMo-BES monitoringstool geconfigureerd voor installaties met een BES. Deze kan onder andere in een operationele setting tijdreeksen importeren, locaties definiëren binnen een systeem en berekeningen uitvoeren. Visualisatiemethoden in de GUI van de resultaten zijn flexibel, in te stellen naar wensen van de gebruiker. Met dit beschikbaar gestelde FEWS-MoBaMo-BES monitoringstool en de rekenmodellen, kunnen derden FEWS-MoBaMo-BES configureren voor een specifieke situatie. In FEWS-MoBaMo-BES wordt nu uitgegaan van een standaard processchema, in FEWS het 'principeschema' genoemd. Deze is zo representatief mogelijk gekozen voor de verschillende bestaande BES installatietypes. Het principeschema is gebaseerd op basisconcept 3.3 uit ISSO-publicatie 39, versie 2014. Zie Figuur 2.2 voor het principeschema geconfigureerd in de Delft-FEWS MoBaMo-BES applicatie.

De berekeningen die in Delft-FEWS MoBaMo-BES zijn geconfigureerd zijn voor het overgrote deel rechtstreeks overgenomen uit het Excel model uit het functioneel ontwerp. Voor de validatie van de berekeningen is gecontroleerd dat de applicatie bij identieke invoer dezelfde waarden genereert als het Excel model.



Figuur 2.2 Principe schema van de FEWS-MoBaMo-BES applicatie met daarin de gemeten- (G) en verwachte (V) data. Als de gemeten en verwachte data te veel van elkaar afwijken (criteria zijn in te stellen), is dit in rood aangegeven

Jaarlijkse opgave bevoegd gezag																			
A1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Jaarlijkse opgave bevoegd gezag																		
2																			
3																			
4	Maand	Koude laden	Koude lade	Productiv	Maximaal	Gem. T	(? Min. T	(?C Max T	(?C	Koude on	Productiv	Maximaal	Gem. T	(? Min. T	(?C Max T	(?C	Balans ma	Cumulatieve balans (jaarlijks)	
5	januari	7.43	1069.92	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1069.92	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.43	7.43
6	februari	6.72	967.68	6.9	1.44	8	8	8	8	0	967.68	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.72	14.15
7	maart	7.43	1069.92	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1069.92	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.43	21.58
8	april	7.2	1036.8	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1036.8	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.2	28.78
9	mei	7.44	1071.36	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1071.36	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.44	36.22
10	juni	7.2	1036.8	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1036.8	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.2	43.42
11	juli	7.44	1071.36	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1071.36	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.44	50.86
12	augustus	7.44	1071.36	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1071.36	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.44	58.3
13	september	7.2	1036.8	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1036.8	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.2	65.5
14	oktober	7.45	1072.8	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1072.8	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.45	72.95
15	november	7.2	1036.8	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1036.8	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.2	80.15
16	december	7.44	1071.36	6.9	1.44	8	8	8	8	0	1071.36	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	7.44	87.59
17	Totaal	87.59	12612.96	6.9	1.44					0	12612.96	0	1.44	N/A	N/A	N/A	N/A	87.59	87.59
18																			
19		Vergund	Resultaat	Oordeel															
20	Debiet (m3/u)	50	1.44	groen															
21	Waterbezwa	130000	12612.96	groen															
22	Waterbezwa	N/A	12612.96	groen															
23	Waterbezwa	N/A	25225.92	groen															
24	Max T (degC)	25	N/A	N/A															
25	Productiviteit	4.65	6.9	groen															
26	Productiviteit	4.65	0	N/A															
27	Balans (MWh)	1	200	groen															
28	SPF bron Win	4	0.34	rood															
29	SPF bron Zom	20	0	rood						260	75								
30	SPF bron tota	5	0.26	rood															
31																			

Figuur 2.3 Rapport voor Bevoegd Gezag, gegenereerd door Delft-FEWS

2.3 Extern gebruik MoBaMo-BES

Het Delft-FEWS-MoBaMo-BES prototype en bijbehorende configuratie trainingen zijn online te downloaden op [MoBaMo-Bes Prototype](#). Voorafgaand aan het downloaden dient men zich online te registreren.

Deltares biedt regelmatig configuratie cursussen aan voor verdere ondersteuning. Voor meer informatie kan contact opgenomen worden met fews-courses@deltares.nl.

3 Pilots

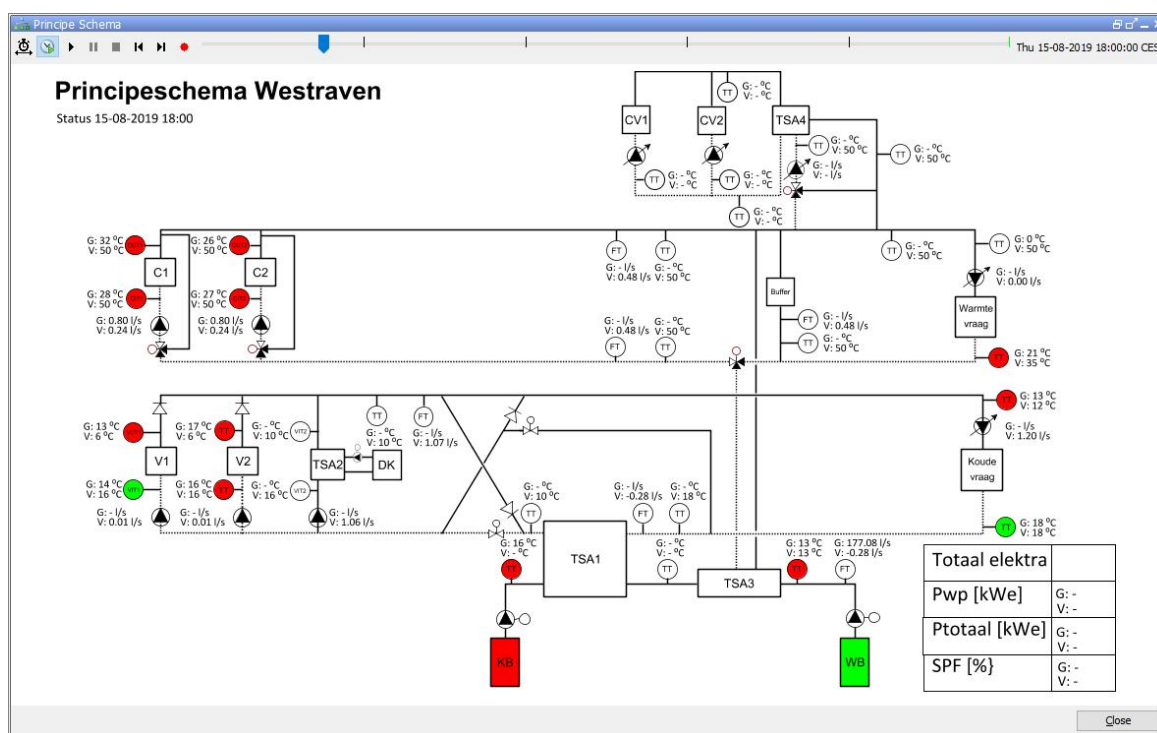
Om de monitoringstool te testen zijn door de betrokken partijen, op basis van het opgezette FEWS-MoBaMo-BES monitoringstool, pilotprojecten uitgevoerd.

3.1 Pilot Westraven

Deze pilot betreft het gebouw Westraven van Rijkswaterstaat, de pilot is uitgevoerd door Techniplan. De energiebronnen in deze installatie bestaan naast een BES uit een droge koeler en twee pieklast cv-ketels.

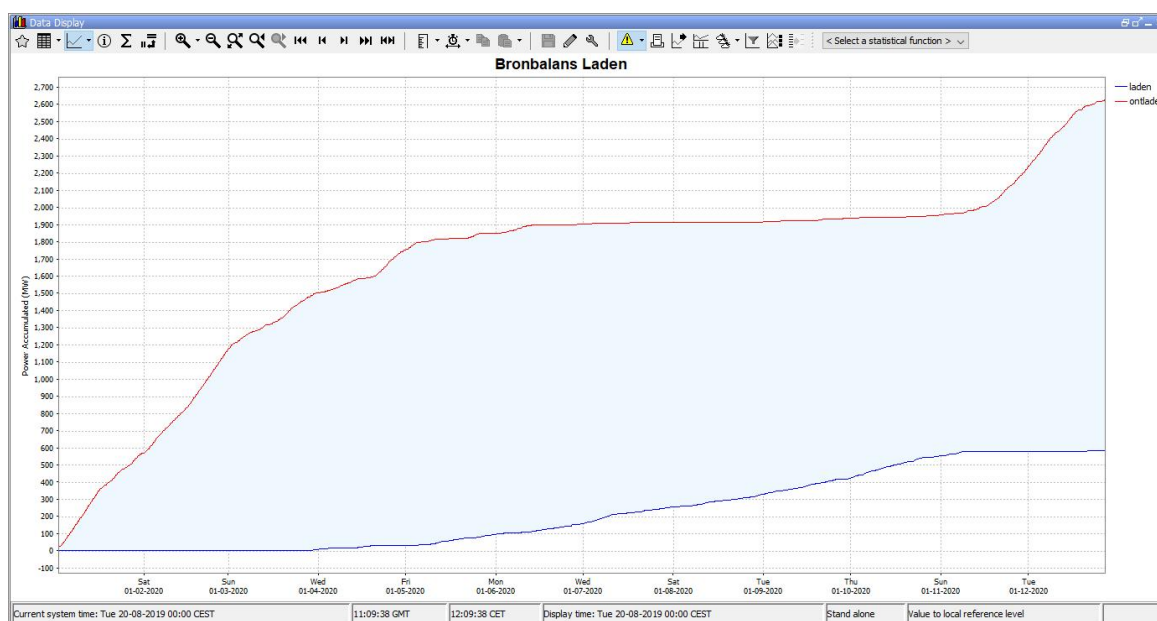
3.1.1 Configuratie

Voor dit pilotproject is begonnen met het bepalen van de verschillen tussen het FEWS-MoBaMo-BES principeschema en het BES van het Westraven-gebouw. Op basis van deze analyse is FEWS-MoBaMo-BES in de FEWS-omgeving geconfigureerd voor het Westraven-gebouw. Deze configuratie staat beschreven in bijlage 1 van het pilotverslag. Het resulterende principeschema is te zien in Figuur 3.1



Figuur 3.1 Principeschema van het Westraven gebouw

De installatie van het Westraven gebouw is niet ontworpen om warmte in te vangen met een droge koeler. Om die reden is dat ook niet opgenomen in het principeschema. Tevens is er in het GKW-net geen buffervat opgenomen, omdat die in werkelijkheid ook niet aanwezig is. Dit heeft als gevolg dat er een aantal berekeningen, met name de berekeningen waar mengtemperaturen worden berekend, anders worden berekend. Er komen namelijk andere leidingen 'samen' dan in het standaard prototype. Er is voor de Westraven-pilot sensordata van 10 temperatuursensoren en 3 debietsensoren beschikbaar.



Figuur 3.2 Gesimuleerde voorspelde bronbalans grafiek uit MoBaMo-BES Westraven, waarin de bekende jaarlijkse onbalans tussen kouden laden en ontladen wordt geïllustreerd

Verschillende KPI's, zoals de energiebalans in de ondergrond zijn berekend en vergeleken met het functioneel ontwerp. Dit bleek voor een aantal KPI's echter een uitdaging. Meerdere subsystemen (additionele warmte, de warmtepompen etc.) maken in FEWS-MoBaMo-BES gebruik van standaardwaarden. Omdat hiervan geen ontwerp- en meetwaarden beschikbaar bleken en de subsystemen in werkelijkheid anders worden geregeld, wijken veel verwachte waarden af. Validatie op dit punt is dan ook een lastige opgave gebleken.

3.1.2 Knelpunten

Het configureren van de pilot wordt op dit moment als tijdrovend ervaren. Grotendeels komt dat door het feit dat het toch wel maatwerk blijft om een installatie te configureren in FEWS-MoBaMoBES. Veel bodemenergiesystemen vertonen gelijkenissen, echter hydraulisch verschillen de installaties vaak. De volgende knelpunten kwamen naar voren:

- Hydraulische schakelingen; Met name het configureren van een andere hydraulische schakeling is tijdrovend. Dit komt enerzijds doordat de visualisatie in FEWS moet worden aangepast. Anderzijds moeten de onderliggende 'energie- en waterbalansberekeningen' worden herzien.
- De sensoren en locaties van de sensoren; Het juist configureren van de sensoren met de juiste naamgeving en locatie kost veel tijd. De configuratietijd neemt ook toe naar mate het aantal sensoren, en daarmee het aantal datapunten, toeneemt.
- Aanwezigheid van juiste revisietekeningen; Het feit dat het ontvangen principeschema verschilt van de werkelijke situatie heeft geen gunstig effect gehad op de snelheid van de configuratietijd. Dit heeft ertoe geleid dat er, nadat het principeschema in FEWS-MoBaMoBES is geconfigureerd, nog aanpassingen zijn gedaan.
- Programmeervaardigheden; Tenslotte hebben we ervaren dat de snelheid van het configuratietraject een grote afhankelijkheid heeft van de 'capaciteiten' van de configurator. Voor het configureren van de pilot is een zekere mate ervaring met XML-programmeren noodzakelijk.

3.1.3 Conclusies en aanbevelingen

Inventarisatiefase

De cursus van Deltares over het werken met FEWS is gedurende de pilotconfiguratie belangrijk geweest. Zonder de cursus zou het lastiger zijn om de pilot te configureren, wat zou resulteren in een langer ontwikkeltraject. Het verkrijgen van de data is erg tijdrovend gebleken, mede doordat er een afhankelijkheid was van externe partijen die de data beschikbaar moeten stellen. Daarnaast is het inventariseren van de WKO-installatie en bedrijfssituaties erg lastig gebleken.

Punten van aanbeveling zijn:

- Databeschikbaarheid; De data dient relatief makkelijk te bereiken en alle data dient aanwezig te zijn. Hiermee wordt het voor de configurator eenvoudiger om de pilot te configureren en de resultaten te valideren.
- Datajuistheid; Verkeerde waarden kunnen een vertekend beeld geven en veel tijd kosten om te achterhalen of er foutieve data aanwezig is en waar deze zich bevindt.
- GUI ontwikkelen, waarmee de installatie kan worden geconfigureerd. Dat zal in eerste instantie veel meer werk kosten, maar er ook toe leiden dat de moeilijkheidsgraad van het configureren enorm zal afnemen en de drempel zal verlagen voor gebruikers om het monitoringsprogramma te gebruiken.
- Standaardisatie van de naamgeving van sensoren. Tevens wordt aanbevolen om de naamgeving van de sensoren te standaardiseren. Een groot deel van de geïnvesteerde tijd is gestoken in het juist configureren van locaties en sensoren. Dit kan voorkomen worden door het gebruiken van standaardnamen voor sensoren en locaties, waarbij alle mogelijke locaties en sensoren reeds een naam toegekend krijgen, zonder dat deze per se worden gebruikt.

Configuratiefase

Het configureren van de pilot bleek vooral maatwerk en het niveau van de configuratie was zeer gedetailleerd. Voordeel van het hoge detailniveau is, dat bij juiste configuratie ook gedetailleerde simulatieresultaten worden weergegeven. Een groot nadeel van het hoge detailniveau is echter dat het configureren van de pilot dusdanig veel tijd in beslag heeft genomen, dat dit commercieel gezien voor monitoring niet is te verantwoorden.

Er wordt aanbevolen om een aantal aspecten van de berekeningen aan te passen om de nauwkeurigheid van de verwachte waarden te vergroten. Een voorbeeld daarvan is, het al eerdergenoemde, pompdebiet bij pieklast warmte. Ook het berekende warmte- en koudevermogen van het gebouw wordt op dit moment berekend op basis van een 'stooklijn'. Dit zou nauwkeuriger kunnen worden berekend door een factor buitentemperatuur, een factor dag/nacht en een factor minimaal vermogen.

Als laatste wordt aanbevolen om de FEWS-functionaliteit binnen een WKO-GBS als Priva te laten functioneren, dit maakt het inladen van GBS data een stuk simpeler en sneller. De hydraulische schakelingen, regeltechnische uitgangspunten, dataverzameling etc. zijn namelijk allemaal al in Priva geconfigureerd. Een dashboard met onderliggende simulatie als 'Priva-module' hieraan toevoegen zou een grote meerwaarde geven.

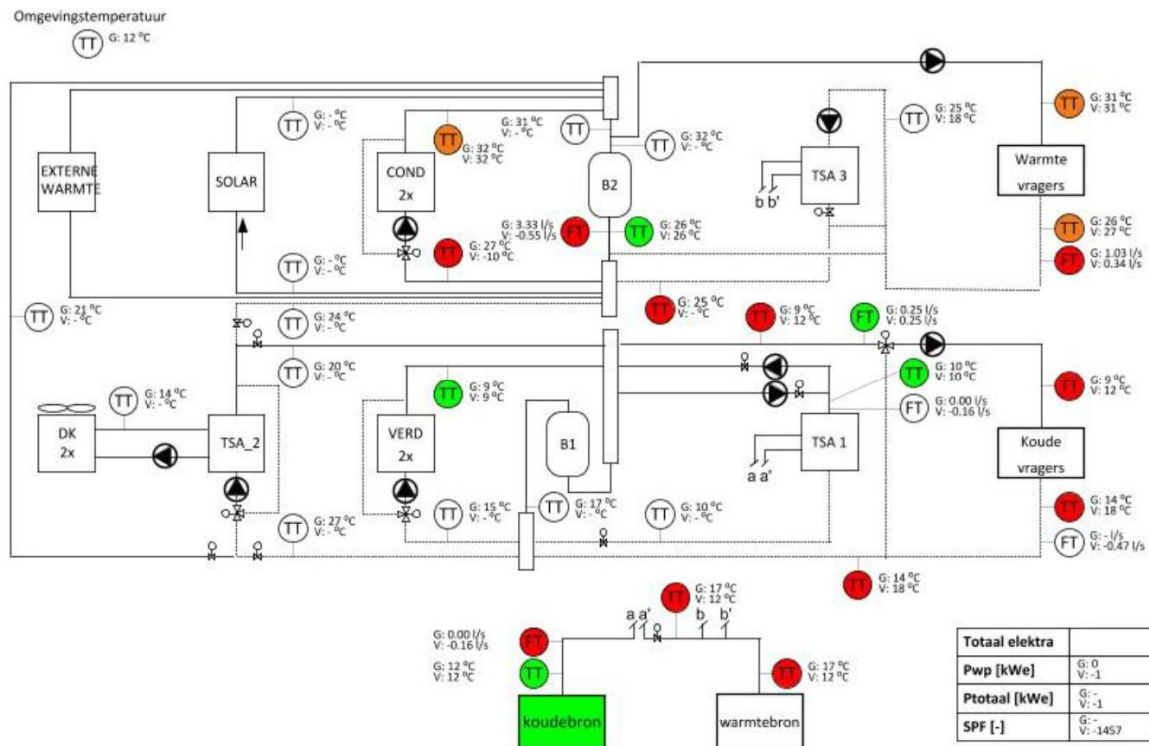
Voor meer informatie, zie het pilot verslag van Westraven (Molenaar, Pilot rapport Westraven, 2019).

3.2 Pilot Tetra

3.2.1 Configuratie

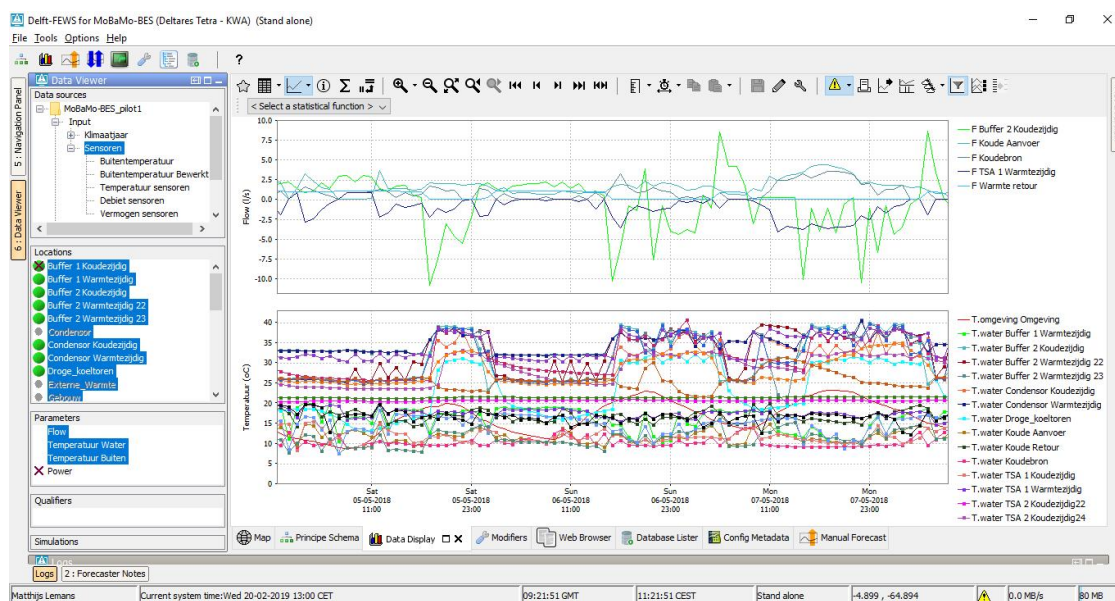
Deze pilot betreft het kantoorgebouw Tetra van Deltares, de pilot is uitgevoerd door KWA. De energiebronnen in deze installatie bestaan naast een BES uit een aantal droge koelers en zonnecollectoren. Voor dit pilotproject is begonnen met het bepalen van de verschillen tussen FEWS-MoBaMo-BES en het BES van het Tetra-gebouw. Op basis van deze analyse is FEWS-MoBaMo-BES in de FEWS-omgeving geconfigureerd voor het Tetra-gebouw. Deze configuratie staat beschreven in bijlage 1 van het pilotverslag (Zijlstra & Lemans, 2019).

Daarna is het principeschema aangepast, omdat het BES in het FEWS-MoBaMo-BES afwijkt van het BES van het Tetra gebouw. Daarna is de naamgeving van de locaties binnen het BES van het Tetra gebouw aangepast, om deze te laten aansluiten op de standaard naamgeving binnen FEWS-MoBaMo-BES.



Figuur 3.3 Principeschema van het Tetra gebouw

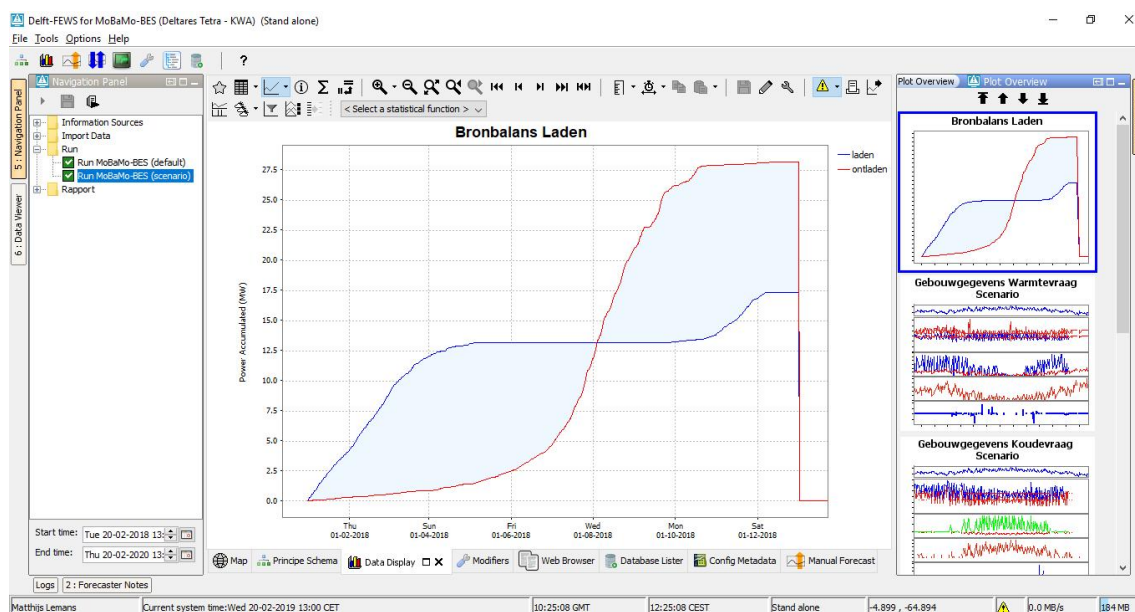
Er is voor de Tetra-pilot sensordata van 25 temperatuursensoren en 5 debietsensoren beschikbaar, zie onderstaande screenshot van de pilot applicatie.



Figuur 3.4 Data filter met real time sensor data voor flow (boven) en temperatuur (beneden)

Volgens het FEWS-MoBaMo-BES zouden er 27 respectievelijk 13 sensoren moeten zijn om alle berekeningen te kunnen uitvoeren. Met name de reductie in debietsensoren heeft tot gevolg dat sommige berekeningen niet kunnen worden uitgevoerd. Van de beschikbare sensordata heeft de beheerder van het GBS de benodigde actuele en historische data op een ftp-server gezet, zodat de pilot hiermee kan worden gevoed. Ter verdere invulling van het FEWS-MoBaMo-BES is KNMI-data geïmporteerd, voor het bepalen van de buitentemperatuur.

Het verbruik van de subsystemen (bijv. gebruik droogkoeler, extra warmte/koude opslaan enz.) was niet bekend, daardoor zijn vele van de verwachte waarden van de debieten niet te bepalen, en daarmee ook vele seizoensgebonden performance factoren (SPF's) niet. Op dit punt is de verdere validatie van de berekeningen gestopt, alsmede het sluitend proberen te maken van de energie-/debietbalans. Een goede validatie van het systeem is daardoor niet mogelijk gebleken. Technisch gezien kunnen de bronbalans grafieken gemaakt worden, zoals bijvoorbeeld afgebeeld in Figuur 3.5, maar naarmate minder meetdata over de warmte- en koudevraag van het gebouw beschikbaar is, hangt deze voorspelling meer af van aannames.



Figuur 3.5 voorgedefinieerde grafiek in Delft-FEWS met bronbalans tussen kouden laden en ontladen voor een heel jaar

3.2.2 Knelpunten

Tijdens het configureren bleek dat er een verschil zat tussen beschikbare processchema's/ontwerpdokumentatie en het processchema dat via het GBS wordt getoond. Een up-to-date pakket van processchema en hoe het geheel van componenten die het BES vormen wordt aangestuurd (functionele en/of regeltechnische omschrijving) was niet aanwezig.

De plaats van sensoren en beschikbare procesdata is uniek voor iedere situatie. Hierdoor is er veel extra configuratiewerk. Goede naamgeving van de sensoren en herleiden naar de werkelijke datapunten (tagnummers) is tijdrovend. De tijd om de monitoringstool te configureren neemt fors toe als de hoeveelheid beschikbare data van de locaties toeneemt.

3.2.3 Conclusies en aanbevelingen

1. Databeschikbaarheid

De beschikbaarheid van procesdata is geen vanzelfsprekendheid, onder andere door het niet beschikbaar willen stellen van data aan derden, door de BES-beheerder van het Tetra gebouw. Naast het beschikbaar stellen van data, moeten soms ook aanvullende zaken worden geregeld, zoals de aanwezigheid van een ftp-server. Om de continuïteit van het monitoringssysteem te waarborgen, is het noodzakelijk dat de beschikbaarheid van zo'n server wordt gegarandeerd.

2. Ontbrekende data

Een belangrijk onderdeel van het BES is de warmte-/vermogensbalans rond de warmtepomp. Het huidige systeem kent wel een temperatuurmeting, zowel warmte- als koudezijde, van de intrede- en uittredetemperatuur naar en van de warmtepomp. Gegevens over de debieten ontbreken. Voor nieuwe systemen is het wenselijk dat deze gegevens (debiet naar verdampers en condensoren) wel worden gemeten.

3. Nauwkeurigheid van data

Een goede validatie van zowel het verkrijgen van gegevens over de systeemconfiguratie, alsmede het ontvangen van de juiste data uit het GBS is belangrijk. In deze pilot is er gestart met een verouderd processchema. Daarna bleek het opvragen van de juiste data uit het GBS lastig te zijn. Voor het effectief verzamelen van data uit het GBS, alsmede het vaststellen hoe het BES eruit ziet, is het aan te raden dat zowel de 'vrager' (de persoon die

het model ontwikkeld), als de 'gever' (de GBS-beheerder) samen zitten, om zo misverstanden te voorkomen.

4. Configureren

De configuratie van het BES in MoBaMo-BES bleek zeer tijdrovend te zijn. Het gaat hierbij om zowel het aanmaken van de juiste tags, het opzetten van het systeemplaatje als het uitwerken van de WKO-aansturing. Tijd kan worden bespaard door vooraf een eenduidige naamgeving te hanteren.

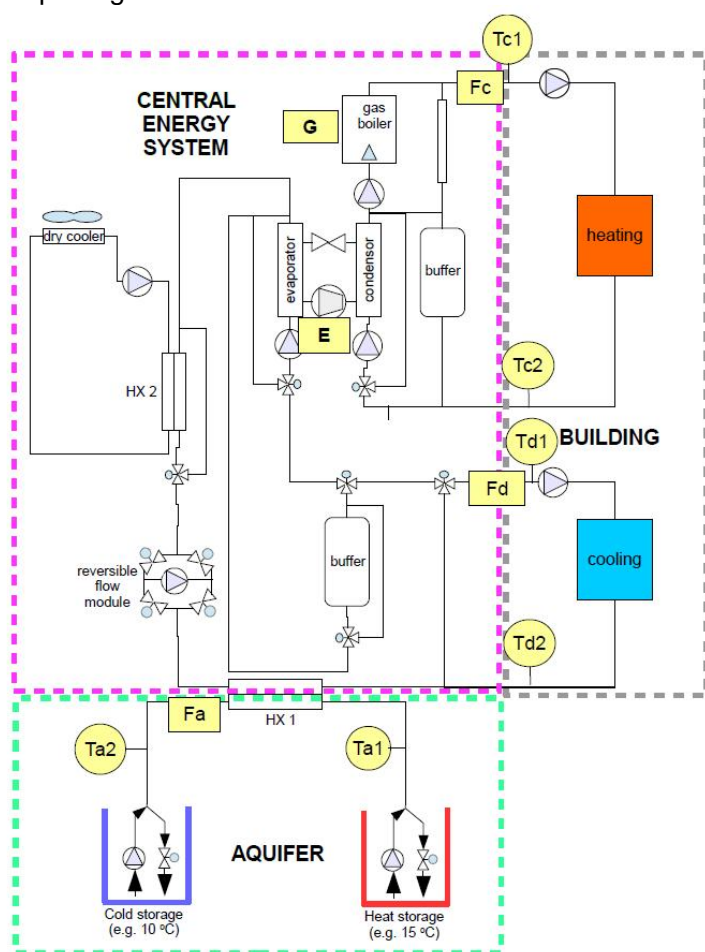
Voor meer informatie, zie het [pilot verslag van Tetra gebouw](#) (Zijlstra & Lemans, 2019).

3.3 Pilot Rucphen

Deze pilot betreft het gemeentekantoor van Rucphen, de pilot is uitgevoerd door DWA en de Hogeschool Utrecht. De energiebronnen in deze installatie bestaan naast een BES uit een aantal gasketels en droge koelers.

3.3.1 Configuratie

Net als bij de pilot Tetra, is begonnen met het bepalen van de verschillen tussen het FEWS-MoBaMo-BES en het BES van het te monitoren gebouw. Deze configuratie staat beschreven in hoofdstuk 5 van het pilotverslag. Het prinscipeschema en de locaties zijn aangepast aan het Rucphen gebouw.



Figuur 3.6 Prinscipeschema van het Rucphen gemeentekantoor

Uurlijkse waarden konden verkregen worden uit het GBS voor het jaar 2016 voor de sensoren zoals aangegeven in Figuur 3.6. Het betrof debietmetingen voor gebouwverwarming, -koeling met de aanvoer en retourtemperaturen en het debiet tussen de bronnen inclusief injectie- en onttrekkingstemperaturen. Daarnaast waren de elektriciteit naar de warmtepomp en het gas naar de ketels gelogd. Qua buitencondities zijn de buitentemperatuur en zoninstraling gemeten.

Met de aangegeven opnemers zijn de warmte- en koudeleveringen naar het gebouw te bepalen, idem dito de mate van inzet van bodemenergie en bijstook. De stooklijnen, temperatuurverschillen en vermogens bij verschillende buitencondities zijn ook te plotten.

De COP van het totaalsysteem is te bepalen, conform ISSO 39 door de toegevoerde gashoeveelheid voor de gas bijstook om te rekenen naar de hoeveelheid elektriciteit die opgewekt had kunnen worden met een elektriciteitscentrale (gemiddeld rendement ongeveer 52%) en dit op te tellen bij de elektriciteitstoevoer naar de warmtepomp.

Bij het berekenen van de KPI's komt naar voren dat uurlijkse waarden analyseren een minder duidelijk en betrouwbaar beeld geeft dan 24-uur gemiddelde waarden. De uurlijkse berekeningen op basis van de huidige gegevens resulteren in veel spreiding, wat het lastig maakt om zinnige informatie te geven aan bijvoorbeeld een gebouwbeheerder of operator. Daarentegen geven de 24 uren gemiddelden een rustiger profiel waarmee een goede (eerste) indicatie van de COP ontstaat.

De korte-termijn dynamica t.g.v. het regelgedrag en de invloed van de thermische buffers wordt in die 24 uur vereffend.

3.3.2 Knelpunten

In dataset ontbreekt informatie over de droge koeler (overigens wel fysieke sensoren aanwezig) en de toestand van de kleine buffers (geen debiet- en temperatuuropnemers aan in- en uitlaatzijde). Ook het elektriciteitsverbruik voor de distributiepompen bleek niet vast te stellen.

Door het ontbreken van vermogensmetingen op de condensor is een directe COP bepaling van de warmtepomp niet mogelijk.

3.3.3 Conclusies en aanbevelingen

1. De COP en het aandeel bodemenergie kunnen het beste bepaald worden op een etmaalgemiddelde.
2. Fijnmazig inzetten van KPI's geeft een te grote bandbreedte. Deze kan alleen maar versmald worden als meer informatie uit het systeem onttrokken wordt zoals kleppenstanden, buffervolumes, bufferstromen, thermische massa's. Dat maakt het geheel in dat geval ook complexer en geeft niet een directe meerwaarde voor het controleren. Zo gauw COP waarden gedurende enkele weken voortdurend buiten de range liggen is maatwerkadvies van een verantwoordelijke partij sowieso noodzakelijk en zal er op dat moment gericht ingezoomd gaan worden in de monitoringssystemen.
3. Het uiteindelijk in balans van brengen van de ondergrond is een wettelijke verplichting. Het ontbreekt op dit moment nog aan goede algoritmen die dit geautomatiseerd goed uitvoert voor WKO's. Vanuit MoBaMo-BES zou een vervolg hierin voorzien kunnen gaan worden.

Voor meer informatie, zie het afstudeerverslag en oplegger, van de [pilot Rucphen](#) (Hoppenbrouwer, 2018) (Planje, Hoppenbrouwer, & Jongen, 2019)

4 Routekaart Landelijke Database Bodemenergie

Anno 2018 zijn er reeds circa 2.450 open bodemenergiesystemen (hierna BES) vergund en grotendeels gerealiseerd en naar schatting 20.000 tot 60.000 gesloten bodemenergiesystemen (hierna G-BES) gerealiseerd, waarvan er circa 4.000 zijn gemeld. Naar de toekomst toe is de verwachting dat het aantal open en gesloten BES fors zal groeien. Naast de verwachte groei van het aantal bodemenergiesystemen en daarmee de geïnstalleerde capaciteit zal ook de prestatie van een BES goed moeten zijn. Enerzijds, om de gewenste afname van CO₂-uitstoot te realiseren en anderzijds om negatieve interferentie van het groeiende aantal systemen te voorkomen. In dit kader is het zowel voor het bevoegd gezag als de beheerder van bodemenergiesystemen, van belang dat de beschikbare informatie over een individueel BES op een goede manier wordt geborgd. Kortom, er is behoefte aan uniforme, landsdekkende en eenvoudig te ontsluiten informatie over de vergunde en gerealiseerde BES. Daartoe is WP 5, verkenning Landelijke Database, uitgevoerd door KWA.

4.1 Plan van aanpak

Voor de te realiseren Landelijke Database Bodemenergiesystemen (LD-BES), zijn de volgende relevante eigenschappen geïdentificeerd:

- Compatibiliteit met de MoBaMo-BES monitoringstool, zodat een BES aan de ontwerpgegevens van een systeem getoetst kan worden
- De database kan extra relevante informatie bevatten ten behoeve van het ontwerpen van toekomstige bodemenergiesystemen. Zoals:
 - De berekende doorlatendheid van het watervoerende pakket ter hoogte van het filter, op basis van uitgevoerde capaciteitsproeven bij oplevering van bodemenergiesystemen
 - De gehanteerde ontgassingsdruk bij oplevering van bodemenergiesystemen
 - De ligging van de redoxgrens (op basis van de boorbeschrijving en geohydrologische inschatting)
 - De gemeten achtergrondtemperatuur van het watervoerende pakket ter hoogte van het filter, voorafgaand aan ingebruikname
 - De ligging van de zoet-zoutgrens op basis van o.a. de gemonitorde waterkwaliteitsanalyses
- Kostenbesparing in de ontwerpfase van nieuw BES. Doordat de benodigde informatie van de systemen in de omgeving van een nieuw BES veel makkelijker toegankelijk is voor de ontwerpers, is er daarmee minder kans op ontwerpfouten.
- Kostenbesparing in energieverbruik door het kunnen uitoefenen van goed beheer. Het levert handvaten voor het bevoegd gezag om het functioneren van vergunde bodemenergiesystemen eenduidig te kunnen beoordelen.

4.2 Stakeholders en informatiestromen

Relevante stakeholders en de bijbehorende informatiestromen zijn geïdentificeerd, op basis van het wettelijke kader. De volgende informatiestromen worden hiermee bedoeld:

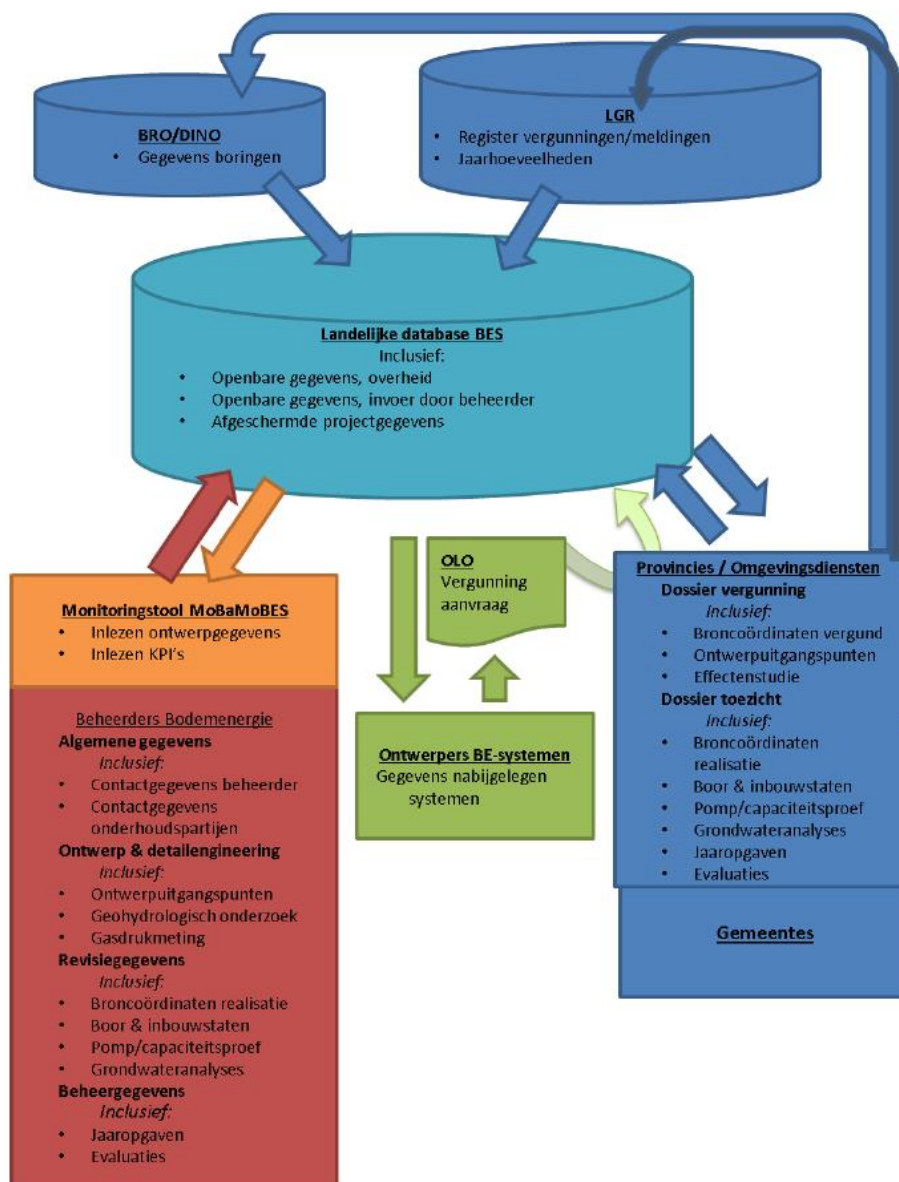
- Benodigde informatie om te komen tot een goed ontwerp van een BES
- Benodigde informatie om te komen tot een goed beheer en daarmee gekoppeld het functioneren van MoBaMo-BES in relatie tot de beoogde database
- Benodigde informatie voor het bevoegd gezag

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in bestaande systemen en toekomstige systemen.

De belangrijkste bronnen van informatie zijn:

- Het Omgevingsloket online; vergunningaanvragen en meldingen worden ingediend via het Omgevingsloket online

- De bevoegd gezagen; provincies voor open bodemenergiesystemen en de gemeenten voor gesloten bodemenergiesystemen (vergunning- en handavingsdossier
- Het Landelijk Grondwater Register (LGR)
- Het DINO-loket
- De eigenaar van het BES en iedereen die bij het ontwerp, de realisatie, beheer onderhoud is betrokken



Figuur 4.1 stakeholders en informatiestromen voor de landelijke database BES

Voor meer informatie, zie het rapport ‘[Route Landelijke Database](#)’ (Bokhoven, 2019)

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De onderstaande conclusies en aanbevelingen zijn opgesteld op basis van de pilotrapportages, de reflectie op de pilotrapportages van ENGIE op basis van hun praktijkervaring als gebouwbeheerder en de eindmeeting met het consortium (16 oktober 2019). De functionaliteiten zoals beschreven in de Functioneel Ontwerp documentatie, zijn verwerkt in de FEWS-MoBaMo-BES monitoringstool. Als alle benodigde sensordata van een BES installatie ingevoerd is, worden de KPI's zoals beschreven in het Functioneel Ontwerp berekend en gemonitord.

Gebouwbeheerders besteden veel aandacht aan de volgende beheerpunten van BES systemen:

- Voldoen aan de wettelijke verplichtingen
- Signaleren van fouten en storingen
- Prestaties van BES systemen te optimaliseren

Met name het laatste aandachtsgebied (optimalisatie) vraagt volgens ENGIE om continue aandacht en inzicht in de werking van het systeem. Er is een grote diversiteit aan BES systemen, wat het moeilijk maakt om deze systemen eenduidig te beoordelen, zeker in het operationele proces. FEWS-MoBaMoBES kan de mogelijkheid bieden om hier ondersteuning te bieden. In de pilots blijkt het verkrijgen van de complete en juiste set van data/informatie een uitdaging. Daardoor is het op dit moment lastig om het MoBaMo-BES monitoringstool op het detailniveau van de onderdelen van de klimaatinstallatie kostenefficiënt op te zetten.

5.1.1 Beschikbaarheid en juistheid van data

Uit de pilots blijkt dat het loggen en beschikbaar stellen aan derden van sensordata geen vanzelfsprekendheid is. Niet alle sensoren zijn aanwezig, niet alle sensoren worden gelogd en niet alle data wordt zomaar vrijgegeven aan derden voor dit onderzoeksproject. De ondervonden weerstand op het vrijgeven van aan derden, werd onder andere veroorzaakt doordat de IT-partners contracten af hebben gesloten met de beheerders, die gebaseerd zijn op minimale wettelijke eisen. Daarnaast werden soms ook aanpassingen gedaan aan het IT-systeem, zoals het inrichten van een ftp-server.

De documentatie over hoe de BES installatie is ingericht en hoe deze wordt aangestuurd is niet altijd compleet en komt niet altijd overeen met hoe de installatie werkelijk draait. De 'as built' tekeningen en werkelijke installatie zijn niet altijd hetzelfde. Mogelijke verklaringen zijn dat de installatie niet volgens het ontwerp is gebouwd, of dat aangebrachte veranderingen niet worden vastgelegd.

5.1.2 Configureren en berekeningen

De tijd die nodig is voor het configureren van een BES in het FEWS-MoBaMo-BES, hangt af van de mate waarin de te configureren BES overeenkomt met de standaard installatie in het FEWS-MoBaMo-BES (basisconcept 3.3 uit ISSO-39). Hoe meer de te monitoren BES verschilt van het principeschema, hoe meer tijd het configureren kost en hoe groter de kans is op het maken van fouten.

Uit de pilot in Rucphen blijkt dat het berekenen van KPI's zoals de COP en het aandeel bodemenergie, in de huidige monitoringstool, betrouwbaardere resultaten genereert op basis van etmaalgemiddelde waarden in plaats van uurlijkse waarden.

De (voorspellende) berekeningen van de thermische balans in de ondergrond, vraagt met de huidige opzet van FEWS-MoBaMo-BES een doorrekening van de gehele installatie. Voor de praktische toepassing op de pilot locaties in dit project, blijken deze berekeningen te complex voor de gelimiteerde hoeveelheid, correcte data en informatie die beschikbaar is.

5.2 Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling voor toekomstige FEWS-MoBaMo-BES applicaties is om eerst de beschikbare data en de kwaliteit daarvan te inventariseren en de FEWS-MoBaMo-BES configuratie daarop af te stemmen.

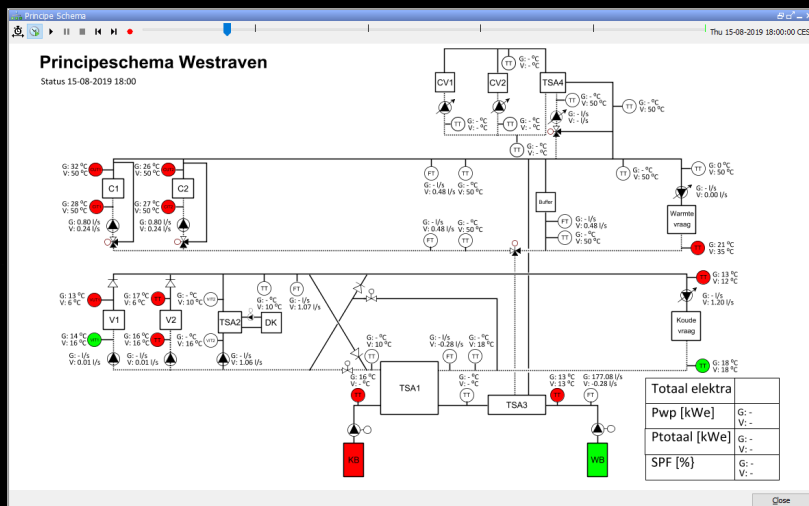
Voor de verdere ontwikkeling van het FEWS-MoBaMo-BES principeschema wordt aanbevolen om een gedegen afweging te maken tussen maatwerk (kost meer tijd, maar nauwkeuriger resultaten) en generaliteit (sneller te implementeren, maar met minder nauwkeurige resultaten). Daarnaast wordt een gestandaardiseerde naamgeving voorgesteld voor de apparatuur en meters. Aandachtspunt hierbij is dat deze naamgeving eenvoudig en snel gekoppeld kan worden aan de daadwerkelijke projectcodering in het GebouwBeheerSysteem.

KPI's zoals de COP, SPF en het aandeel Bodemenergie kunnen het beste bepaald worden met een etmaalgemiddelde. Resultaten op basis van kleinere tijdstappen, zoals uurlijks, krijgen een te grote bandbreedte.

Voor de praktische toepassing wordt aanbevolen om een eenvoudiger model te maken dat zich beperkt tot de WKO en een berekening van de warmte- en koudevraag op basis van bijvoorbeeld gewogen graaddagen en eventueel historische data van de warmte- en koudevraag. Daarmee kan op dag- of maandbasis de ontwikkeling van de onbalans voorspeld worden, zodat de beheerder kan anticiperen op de toekomstige onbalans in plaats van achteraf reageren, wanneer het BES al minder goed functioneert.

6 References

- Bokhoven, A. v. (2019). *Routekaart landelijke database Bodemenergie*. KWA.
- Hoppenbrouwer, F. (2018). *Ontwerpen van MoBaMo-BES monitoringstool*. DWA en Hogeschool Utrecht.
- Molenaar, R. (2018). *Functioneel Ontwerp MoBaMo-BES*. Techniplan.
- Molenaar, R. (2019). *Pilot rapport Westraven*. Techniplan.
- Planje, W., Hoppenbrouwer, F., & Jongen, J. (2019). *Prestatie-indicatoren voor real-time monitoring van een WKO systeem*. Hogeschool Utrecht.
- Zijlstra, W., & Lemans, M. (2019). *Pilot rapportage Tetra*. KWA en Deltares.



Deltares