

Energie 6.0

Eindrapportage TKI Urban Energy-project Energie 6.0

Ontsluiten van flexibiliteit van koelhuizen op een schaalbare manier.

Auteurs:

Bart de Brouwer, Michiel Klever, Felipe Lorenzen (Priogen)

Ewoud Werkman, Bob Ran, Niels Jansen (TNO)

Aarjan Langereis (I-Real)

REVISION HISTORY

Rev	Date	Change history	Author
0.8	2-11-2017	Basisdocument	Ewoud Werkman Bob Ran Niels Jansen
0.81	5-11-2017	Toevoegingen Priogen Hfst. 1-3	Bart de Brouwer
0.82	7-11-2017	Business case Priogen en conclusies	Bart de Brouwer
0.83	10-11-2017	I-Real input Hfst. 2 toegevoegd, business case Priogen en conclusies & aanbevelingen	Bart de Brouwer Aarjan Langereis
0.85	15-11-2017	Review versie	Bart de Brouwer
0.86	17-11-2017	Feedback TNO	Niels Jansen, Bob Ran, Ewoud Werkman
0.87	17-11-2017	Regelgeving en conclusies verder uitgewerkt	Bart de Brouwer
0.9	27-11-2017	Integratie input I-real en layout, governance	Aarjan Langereis, Ewoud Werkman
0.94	6-12-2017	Update conclusie / plaatjes koelinstallatie / scoping	Ewoud Werkman
0.95	11-12-2017	Spelling & grammatica (t/m pagina 29) Uitschrijven keuzes in paragraaf 3.1	Michiel Klever
0.96	11-12-2017	Integratie laatste stukken governance	Ewoud Werkman, Aarjan Langereis
0.97	13-12-2017	Paragraaf 5.5 geschreven (wacht op input)	Michiel Klever
0.98a	13-12-2017	Integratie deliverables tabel + update governance	Ewoud Werkman
0.99	14-12-2017	Adjusted 2.3.4 –no forklift implementation Table 6 recalculated and adjusted Reference Deliverables table filled in Adjusted calculation examples chapter 3 Added paragraph 3.4.1	Michiel Klever
0.99a	19-12-2017	Updated terminology in document	Ewoud Werkman
0.99b	22-01-2018	Rewrite business case section Removed: 5.3.5 (5.3.4 & 5.4.3?) Added: 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3	Michiel Klever
1.0	25-01-2018	Laatste puntjes op de i	Ewoud Werkman
1.1	02-03-2018	Openbare samenvatting toegevoegd	Alex Vermeer
1.2	22-03-2018	Wijzigingen Business case op verzoek van I-Real en aanmaken bijlage 7	Alex Vermeer
1.2a	23-03-2018	Verwijzing naar bijlage 7 bij de betreffende hoofdstukken.	Alex Vermeer
1.2b	29-09-2018	Financieel hoofdstuk aangepast naar actuele cijfers en inhoudsopgave bijgewerkt	Alex Vermeer

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	8
1.1	Projectsamenvatting	8
1.2	Partijen en rollen in de keten	8
1.3	Doelstelling Project	9
1.4	Scope	10
1.4.1	Koelhuis als demonstratie.....	10
1.4.2	Demand Response Mechanisme	10
2	Data ontsluiten voor flexibiliteitsbepaling	11
2.1	Flexibiliteit ontsluiten in Energie 6.0.....	11
2.2	Analyse van de beschikbare flexibiliteit in het koelhuis.....	11
2.3	Werkzaamheden Monitoring & Control.....	12
2.3.1	Inventarisatie en meetplan.....	12
2.3.2	Installatie meters.....	14
2.3.3	Koppeling PLC's	14
2.3.4	Vorkheftrucks	15
2.3.5	Inrichten RealM2M.....	15
2.3.6	Kwaliteit van data	15
2.4	Kosten Monitoring & Control	16
2.4.1	Kosten installatie	16
2.4.2	Doorlooptijd	16
3	Flexibiliteitsanalyse	17
3.1	Inleiding.....	17
3.2	Basislast.....	18
3.3	Black Box analyse	21
3.4	Controleren van koude lucht vraag.....	25
3.4.1	Volledige test VPP	32
3.4.2	Conclusies	33
4	Flexibiliteitsinterface	35
4.1	Taken, rollen en verantwoordelijkheden	35
4.2	Interface tussen Flexibiliteitsaanbieder en Flexibiliteitontsluiter	37
4.3	Interface tussen Flexibiliteitontsluiter en Aggregator	38
4.3.1	Praktische invulling Energy Flexibility Interface.....	42
4.3.2	De missende rol.....	43

4.4	Integreren van de flexibiliteitsketen binnen de huidige wetgeving	44
5	Business case.....	48
5.1	Business case Priogen	48
5.2	Ervaring en resultaten Energie 6.0.....	48
5.2.1	Aanname rolverdeling Energie 6.0.....	48
5.2.2	Implicaties van de veranderende rol van Priogen.....	48
5.3	Conclusie en aanbevelingen Energie 6.0 op business case Priogen.....	49
5.3.1	Interoperabiliteit van systemen.....	49
5.3.2	Schaalbare oplossing	50
5.3.3	Duidelijke rolverdeling.....	51
5.3.4	Bijgewerkte business case	51
5.4	Business case I-Real.....	51
5.4.1	Specialisaties I-Real	51
5.4.2	Ervaringen en resultaten	51
5.4.3	Bijgewerkte business case	52
5.5	Business case product (flexontsluiten koelhuizen).....	53
5.5.1	Gezamenlijke business case.....	53
5.5.2	Analyse business case.....	53
6	Governance	53
6.1	Business.....	53
6.2	Technisch.....	55
6.2.1	Overzicht van de rollen.....	55
6.2.2	Overzicht van de technische koppelingen	57
7	Conclusies & aanbevelingen.....	60
7.1	Interoperabiliteit.....	60
7.1.1	Data metingen.....	60
7.1.2	Flexibiliteitanalyse	61
7.2	Schaalbaarheid.....	62
7.3	Duidelijke rolverdeling	63
7.4	Huidige regelgeving en richting	63
8	Financiële realisatie	64

Lijst van figuren

Figuur 1: Partijen en rollen in de keten van flexibiliteitontsluiting.....	9
Figuur 2: Schematische weergave van een machinekamer bij Van Acht.	12
Figuur 3: Temperatuursensoren in een koelcel.	13
Figuur 4: Verschillende mogelijkheden om op flexibiliteit in het proces te sturen	18
Figuur 5: Gem. elektriciteitsverbruik op werkdagen 26-5-2017 t/m 18-6-2017.....	19
Figuur 6: Gemiddeld elektriciteitsverbruik in weekenden 26-5-2017 t/m 18-6-2017	20
Figuur 7: Verschil tussen voorspelling door middel van een simpel gemiddelde (rood) en daadwerkelijk gebruik (blauw) in de periode 26-5-2017 t/m 05-08-2017	20
Figuur 8: Verschil tussen voorspelling met 'exponential smoothing' (rood) en daadwerkelijk verbruik (blauw) in de periode 26-05-2017 t/m 05-08-2017	21
Figuur 9: Functie Tennetonbalanssignaal en reactietijd installaties	22
Figuur 10: Schematische weergave van de control door middel van PowerHouse-sigitaal	23
Figuur 11: Representatie van het flexibiliteitsprofiel op basis van een "black box" analyse	24
Figuur 12: Schematische weergave van de controle op basis van de koele lucht	25
Figuur 13: Testresultaten (1/4) op 11-8-2017.....	26
Figuur 14: Testresultaten (2/4) op 14-8-2017.....	26
Figuur 15: Testresultaten (3/4) op 15-8-2017.....	27
Figuur 16: Testresultaten (4/4) op 16-8-2017.....	27
Figuur 17: Energieverbruik van de machinekamer, test 16-8-2017.....	28
Figuur 18: Temperatuur van de vaste voeler in koelcel 15, test 17-08-2017	29
Figuur 19: Flexibiliteitsprofiel bij het sturen op de toevoer van koele lucht naar de koelcellen.....	30
Figuur 20: Resultaten volledige test VPP.....	32
Figuur 20: Vergelijking Methode A en Methode C op het gebruik op de onbalansmarkt.....	34
Figuur 21: Taken t.b.v. flexibiliteitontsluiting voor een primair proces	36
Figuur 22: Taken, rollen en marktpartijen uit het project weergegeven in de flexibiliteitsketen.	37
Figuur 23: Vermogen-, temperatuur en statusmetingen van Machinekamer 3 en koelcel 11 en 15 ..	38
Figuur 24: Locatie Energy flexibility interface(EFI) binnen de keten	39
Figuur 25: Flexibiliteitsmodel.....	39
Figuur 26: Model van getrapte flexibiliteit	41
Figuur 27: Voorbeeld optimalisatie op de day-ahead en intraday markten.....	41
Figuur 28: Verandering van taken en rollen van de partijen in het consortium (in rood)	42
Figuur 29: UML Sequencediagram voor het versturen van het spersignaal door Priogen.....	43
Figuur 30: Rollen en taken voor ontsluiten van flexibiliteit op een schaalbare manier.....	44

Lijst van tabellen

Tabel 1: Parameters die volgen uit de analyse van het gedrag van de koelcel na PowerHouse signalen.....	24
Tabel 2: Prijs-spread implicaties afschakelen installaties	24
Tabel 3: Temperatuurontwikkeling van koelcel 15 o.b.v. uitgevoerde ontwikkelingen	29
Tabel 4: Resulterende parameters voortkomend uit testen met sturing op de koele lucht toevoer..	30
Tabel 5: Temperatuurontwikkeling van koelcel 15 en het product voor de testsituaties	31
Tabel 6: Prijs-spread implicaties overshoot sturen op koele lucht toevoer	31
Tabel 7: Resultaten volledige test VPP	33
Tabel 7: Noodzakelijke metingen voor elk van de varianten.....	38
Tabel 8: Varianten flexibiliteitsmodel om verschillende flexibeliteitsopties te communiceren	40
Tabel 9: Stuursignaal: Allocatie vanuit aggregator die gecommuniceerd wordt naar flexibiliteitontsluiter	40
Tabel 10: Veranderende rollen en verantwoordelijkheden door integratie flexibiliteit.....	45
Tabel 11: Volume (MWh) aannames originele business case Priogen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 12: Financiële aannames originele business case Priogen....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 13: Aangepaste volume(MWh) aanname business case Priogen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 14: Aangepaste financiële aannames business case Priogen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 16: Bijgewerkte business case I-Real	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 17: Kostenoverzicht gehele business case	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

Lijst van werkpakketresultaten Energie 6.0

Nr.	Omschrijving	Locatie
D1.1	Notulen en presentaties van consortiumbijeenkomsten – Chematronics	Bijlage 1
D1.2	Voortgangsverslagen, tussenrapportages – Chematronics	Bijlage 2
D1.3	Financiële rapportages, eindrapportages – Chematronics	Bijlage 3
D2.1	Karakterisatie van installaties bij Van Acht – I-Real	Bijlage 4, Bijlage 5, Hoofdstuk 2.3
D2.2	Inventarisatie van overige toepassingsgebieden en markten – I-Real	
D2.3	Resultaten van onderzoek naar wetgeving en regulering – Priogen	Paragraaf 4.4
D3.1	Uitontwikkeling van hardware-matige koppeling en software voor aansluiting VPP platform op besturingssysteem klant – I-Real	Bijlage 4, Bijlage 5
D3.2	Definitie van basismodellen voor aansturing VPP platform – Priogen	Marktmodel: Bijlage 6 Energiediagram: Paragrafen 3.3 & 3.5
D3.3*	Definitie parameters in PowerMatcher algoritme – TNO	Hoofdstuk 4
D4.2*	Simulatiemodel TNO algoritmes – Priogen	Hoofdstuk 4
D4.3	Geïmplementeerde PowerMatcher technologie bij eindgebruiker – I-Real	Bijlage 4, Bijlage 5, Hoofdstuk 6.2
D4.5	Definitie van optimaal energiediagram – Priogen	Paragrafen 3.3 & 3.5 Figuren 11 en 19
D5.1	Fysieke levering van VPP product aan klant – I-Real	Bijlage 4, Bijlage 5, Hoofdstuk 2.3
D5.2	Formalisatie eerste commerciële toepassing VPP – I-Real	Bijlage 4, Bijlage 5, Hoofdstuk 2.3
D5.3	Volledig operationele VPP bij eindgebruiker – Priogen	Paragraaf 3.4.1

* Vanwege voortschrijdend inzicht is afgeweken van de oorspronkelijke deliverable-definitie uit het projectvoorstel. Toelichting hierop is te vinden in paragraaf 1.4.2

Lijst van bijlagen Energie 6.0

Nr.	Omschrijving
Bijlage 1	Notulen en presentaties van consortiumbijeenkomsten – Chematronics
Bijlage 2	Voortgangsverslagen, wijzigingen – Chematronics
Bijlage 3	Financiële rapportages – Chematronics
Bijlage 4	Meteroverzicht Van Acht rapport – I-Real
Bijlage 5	Overzicht installatie meters bij Van Acht – I-Real
Bijlage 6	Marktmodel - Priogen
Bijlage 7	Business case – I-Real

** Alle bijlagen dienen confidentieel behandeld te worden.

1 Introductie

1.1 Projectsamenvatting

De aanleiding van dit project komt voort uit de onvoorspelbaarheid van de vraag naar en het aanbod van elektriciteit en de daaraan gekoppelde onbalansprijzen, een probleem dat in de toekomst verder zal toenemen door de groei in hernieuwbare energiebronnen als wind en zon. Verschil tussen vraag en aanbod van elektriciteit leidt tot onbalans op het net, dit heeft financiële gevolgen voor zowel de leveranciers als voor de afnemers van elektriciteit. Verlaging van onbalans in het energiesysteem maakt het dus mogelijk om meer duurzame energiebronnen in het energiesysteem te integreren en draagt daarmee direct bij aan de door de overheid gestelde doelen omtrent de reductie van CO₂-uitstoot. Een oplossing die slim gebruik maakt van onbalans en leidt tot meer balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit biedt toegevoegde waarde voor partijen zoals energieleveranciers, netbeheerders en eindgebruikers en zal ook een direct stimulerend effect hebben op het gebruik van duurzame (groene) elektriciteit. Het project Energie 6.0 is uniek in het feit dat een totaalpakket aan diensten neergezet wordt omtrent energieprijvoorspelling en het benutten van onbalans. Daarnaast is de beoogde mate van flexibiliteit in aansluiting op de verschillende systemen bij de klant uniek.

Het toegepaste onderzoek heeft als doel het creëren van een schaalbaar en geïntegreerd systeem dat het elektriciteitsgebruik automatisch optimaliseert binnen de opgegeven productie-eisen van de gebruiker.

Binnen het Energie 6.0 project kan men de volgende risico factoren identificeren met betrekking tot de drie bovenstaande focus gebieden;

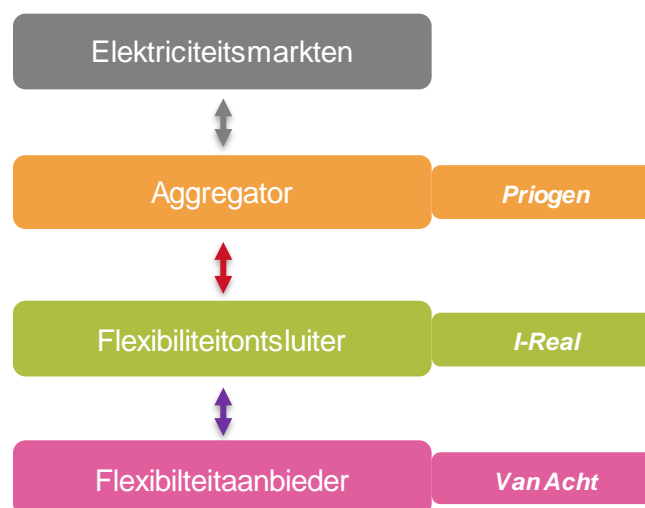
- Het hardware-matig aansluiten van besturingssystemen. De locatie in Sint-Oedenrode is relatief uitdagend aangezien het ontsluiten van data plaatsvindt binnen bestaande installaties van verschillende leveranciers met ieder hun eigen protocol en interface. Tevens wordt er gewerkt met opgeslagen producten die met name gekoeld worden, en niet ingevroren. Dit geeft een kleinere bandbreedte waarbinnen flexibel met elektriciteitsgebruik kan worden omgegaan dan bijvoorbeeld in een vrieshuis.
- Mogelijke compatibiliteitsissues tussen verschillende soorten hard- en software
- De ontwikkeling van het energiemodel, het voorspellen van energievraag en -aanbod en bijbehorende prijsmechanismen
- Omgang met wet- en regelgeving voor verschillende toepassingsgebieden en markten
- Mate van openheid van bestaande protocollen en mogelijkheid voor reverse engineering

Wanneer de business case hier kan worden aangetoond is de stap naar andere locaties en activiteiten relatief eenvoudig.

1.2 Partijen en rollen in de keten

Energie 6.0 richt zich op industriële demand response. In de consortiumvorming van het Energie 6.0 project is gepoogd een consortium te creëren waarin alle rollen gerepresenteerd zijn die nodig zijn in de keten voor commerciële waarde ontsluiting van energieflexibiliteit (zie Figuur 1). De eerste rol in de keten wordt is de rol van flexibiliteitaanbieder, de rol wordt ingevuld door Van Acht. Van Acht beschikt over een aantal koelhuizen die elektrische energie gebruiken als 'brandstof' voor het koelproces. De aanname is dat er in dit koelproces elektrische flexibiliteit zit die kan worden ontsloten. De flexibiliteit wordt ontsloten door de volgende rol in de keten, dit is de rol van

flexibiliteitontsluiter. Deze rol wordt binnen het consortium ingevuld door I-Real. I-Real is verantwoordelijk voor de aanpassing in de koelinstallaties waardoor de energieconsumptie van deze installaties nauwkeuriger monitor- en stuurbaar is. Hiermee ontsluiten ze de energieflexibiliteit naar de volgende rol in de keten, de rol van de aggregator. Deze rol wordt binnen het Energie 6.0-project uitgevoerd door Priogen. Priogen is verantwoordelijk voor het valoriseren van de energieflexibiliteit op energiemarkten. Door de flexibiliteit te verhandelen ontstaat waarde in de vorm van een kostenbesparing op de energieconsumptie van Van Acht. Na het verhandelen van de flexibiliteit stelt Priogen een nieuw energieconsumptieprofiel met geoptimaliseerde kosten op voor Van Acht. Dit nieuwe profiel wordt gecommuniceerd naar de systemen van I-Real welke vervolgens verantwoordelijk zijn voor het uitvoeren van dit optimale energieconsumptieprofiel door de systemen van Van Acht. TNO is als vierde partij betrokken bij dit consortium als kennispartner. TNO heeft jarenlange ervaring op het gebied van energieflexibiliteit. Deze ervaring is opgedaan in onder andere proeftuinen en internationale samenwerkingen, en wordt binnen Energie 6.0 ingezet als katalysator voor de ontwikkeling van de demonstratie.



Figuur 1: Partijen en rollen in de keten van flexibiliteitontsluiting

1.3 Doelstelling Project

Het toegepaste onderzoek heeft als doel het creëren van een schaalbaar en geïntegreerd systeem dat het elektriciteitsgebruik automatisch optimaliseert binnen de opgegeven productie-eisen van de gebruiker. Hierbij wordt een totaalpakket aan diensten neergezet omtrent energieprijvoorspelling en het benutten van onbalans. Het ontsluiten van flexibiliteit van één koelhuis heeft weinig impact op het energiesysteem, hiervoor is een grote hoeveelheid flexibele bronnen nodig. Dit kan binnen de randvoorwaarden van het Energie 6.0 project niet gerealiseerd worden, wel kunnen de gecreëerde oplossingen binnen het project zo ontwikkeld worden dat ze schaalbaar zijn. Het doel is dan ook om het systeem generiek in te richten zodat het schaalbaar is naar zowel andere koelhuisen als andere industriële activiteiten met flexibiliteit zoals vrieshuizen en gemalen. Hierdoor kan de flexibiliteit van deze activiteiten in de toekomst sneller en goedkoper ontsloten en ingezet worden. Standaardisatie, rolverdeling en interoperabiliteit zijn daarom specifieke focusgebieden van het Energie 6.0 project.

Binnen het Energie 6.0 project kan men de volgende risico factoren identificeren met betrekking tot de drie bovenstaande focus gebieden;

- Het hardware-matig aansluiten van besturingssystemen. De locatie in Sint-Oedenrode is relatief uitdagend aangezien het ontsluiten van data plaatsvindt binnen bestaande installaties van verschillende leveranciers met ieder hun eigen protocol en interface. Tevens wordt er gewerkt met opgeslagen producten die met name gekoeld worden, en niet ingevroren. Dit geeft een kleinere bandbreedte waarbinnen flexibel met elektriciteitsgebruik kan worden omgegaan dan bijvoorbeeld in een vrieshuis.
- Mogelijke compatibiliteitsissues tussen verschillende soorten hard- en software
- De ontwikkeling van het energiemodel, het voorspellen van energievraag en -aanbod en bijbehorende prijsmechanismen
- Omgang met wet- en regelgeving voor verschillende toepassingsgebieden en markten
- Mate van openheid van bestaande protocollen en mogelijkheid voor reverse engineering

Wanneer de business case hier kan worden aangetoond is de stap naar andere locaties en activiteiten relatief eenvoudig.

1.4 Scope

1.4.1 Koelhuis als demonstratie

In het projectplan is aangegeven dat het koelhuis van Van Acht als demonstratie gebruikt wordt voor een schaalbare ontsluiting van flexibiliteit. De demonstratie vindt plaats in een complexe situatie met een beperkte bandbreedte voor buffering, een grote diversiteit aan productparameters die moeten worden bewaakt en een reeds aanwezige toepassing van PowerHouse voor het optimaal gebruik van APX-prijzen. Dit heeft als voordeel dat na het aantonen van de waarde van deze dienst in deze complexe situatie, opschaling naar volgende klanten eenvoudiger is. In de business cases in hoofdstuk 5 worden hier rekening mee gehouden voor opschaling richting vrieshuizen en waterschaps-gemalen.

1.4.2 Demand Response Mechanisme

Aanvankelijk is het uitgangspunt van Energie 6.0 geweest om TNO's PowerMatcher-technologie in te zetten als demand response mechanisme voor de aggregator (Priogen) in het Energie 6.0 project. PowerMatcher biedt een goed schaalbare, gedistribueerde real-time oplossing voor demand response. Gaande het project is er echter gekozen om af te wijken van de toepassing van PowerMatcher. Dit kwam omdat er in de loop van het project gekozen is om de aggregator een niet-real-time optimalisatie toe te laten passen. Hierdoor werd de optimalisatie niet langer gedaan op basis van de (bijna) real-time onbalans markt maar op basis van intra-day en day-ahead markten. De optimalisatie op deze twee markten stelt andere eisen aan het optimalisatie-algoritme. Hierdoor sloten de sterke punten van PowerMatcher niet meer aan bij de behoeftes van het project.

Om deze reden is gekozen een eigen optimalisatie-algoritme te creëren in het project. Dit algoritme werkt op basis van kostenminimalisatiefuncties. Allereerst wordt de verwachte prijs op de day-ahead en intra-day markten voorspeld, waarna de energieconsumptie door middel van de kostenminimalisatiefuncties wordt geoptimaliseerd. Hieruit volgt het goedkoopste energiprofiel voor het koelhuis. Dit wordt in de volgende stap enerzijds genomineerd op de energiemarkten en daarna verstuurd naar het systeem van I-Real dat ervoor zorgt dat het consumptieprofiel ook wordt gerealiseerd door het koelsysteem van Van Acht.

2 Data ontsluiten voor flexibiliteitsbepaling

De eerste taak in Energie 6.0 is het ontsluiten van de flexibiliteit door I-Real (flexibiliteitontsluiter) bij het koelhuis van Van Acht (flexibiliteitsaanbieder). Om dit te kunnen doen moet het koelsysteem van Van Acht nader worden geanalyseerd. In deze analyse wordt er inzicht verkregen in hoe het koelsysteem werkt en waar de flexibiliteit zich precies bevindt in het systeem.

2.1 Flexibiliteit ontsluiten in Energie 6.0

Van Acht uit Sint-Oedenrode is actief in de koel- en vriesopslag. Het koelhuis beschikt over 10.000 m² opslagruimte verdeeld over 50 koelcellen in 4 hallen. In iedere ruimte wordt een geconditioneerd klimaat gecreëerd tussen de -5 Celsius en +25 Celsius. De locatie heeft de kenmerken van een typisch koelhuis qua stroomverbruik. Het jaarlijkse verbruik bedraagt 2.5 miljoen kWh, waarvan ca. 80% door de koelinstallatie wordt verbruikt. Deze koelcellen worden koel gehouden door middel van compressoren. Deze compressoren zetten elektrische energie om in koude. De koelcellen worden niet continu gekoeld; een regelsysteem zorgt ervoor dat er alleen koude wordt toegevoegd aan een koelcel wanneer de cel te ver opgewarmd dreigt te raken. Dit betekent in de praktijk dat de cellen een paar uur per dag gekoeld worden en de andere uren niet. Dit resulteert erin dat de compressoren niet de gehele dag aanstaan en de elektrische energie dus niet continu verbruikt wordt. Hierdoor ontstaat flexibiliteit in het systeem. Echter, wanneer we de compressoren kunnen laten draaien tijdens uren dat de elektriciteit goedkoop is op de markt en niet laten draaien op uren dat het duur is op de markt, dan kunnen we het systeem economisch optimaliseren. Daarmee dragen we direct mee aan de 'opvang' van de schommelingen van het aanbod groene energie in het systeem. We consumeren namelijk op momenten van overvloed en we consumeren minder op momenten van schaarste.

Echter om bovenstaande te realiseren is het nodig om de energieconsumptie van Van Acht gedetailleerd te kunnen voorspellen en te kunnen sturen. Omdat de huidige regelsystemen in het koelhuis nooit ontworpen zijn om dit te kunnen, moeten er aanpassingen worden gemaakt aan het systeem. Om beter inzicht te krijgen in de flexibiliteit van het koelsysteem zijn veel metingen nodig, bijvoorbeeld temperatuur- en vermogensmetingen. Hiervoor moeten dus extra sensoren worden geïnstalleerd. Daarbij moeten deze sensoren continu kunnen worden uitgelezen en de data moet kunnen worden opgeslagen. Dit vergt een complexere ICT-infrastructuur dan de infrastructuur die aanwezig is in de huidige installatie. Naast meten is het ook nodig om te kunnen sturen. De aansturingsopties moeten worden aangepast en uitgebreid zodat het bijvoorbeeld mogelijk wordt om de compressoren op minutenresolutie aan en uit te zetten.

2.2 Analyse van de beschikbare flexibiliteit in het koelhuis

Tot nu toe is de aanname geweest dat er flexibiliteit in het primaire proces van Van Acht aanwezig is. Deze aanname is gedaan door de eigenaar van de koelsystemen, die uit ervaring weet dat de te koelen producten niet in gevaar komen wanneer de stroom een tweetal uur per dag wordt onderbroken. De kennis hierover wordt gevoed door een jarenlange ervaring in de koelindustrie en een samenwerking met de energieleverancier 'PowerHouse'. Dit is echter niet gemeten noch wiskundig bepaald. Hierdoor is het niet geheel duidelijk of de aangegeven 2 uur een ondergrens of een bovengrens is, en of het altijd (het gehele jaar door) geldt. Daarnaast is het niet duidelijk of de 2-uurige interruptie ook gedaan kan worden bij andere koelhuizen. Met het oog op de gewenste schaalbaarheid van de oplossing is dit een belangrijk punt van onderzoek voor dit project. Daarbij is het voor de schaalbaarheid zeer wenselijk om de dagelijks beschikbare flexibiliteit automatisch te kunnen berekenen.

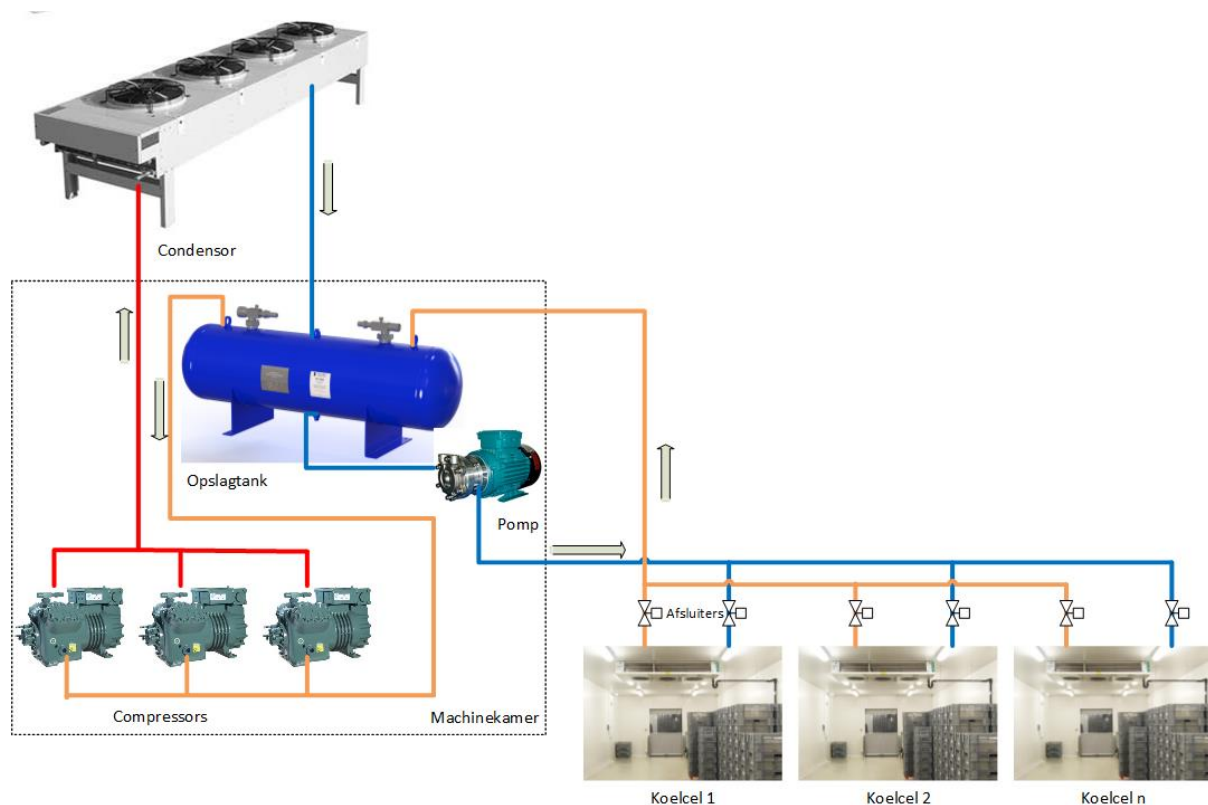
Om een nauwkeurig inzicht te verkrijgen in de beschikbare flexibiliteit bij Van Acht is een betere analyse nodig van de koelprocessen en het energieverbruik. Hiervoor is de monitoring van I-Real essentieel. Deze monitoring bestaat uit het meten van energieconsumptie van componenten in het koelsysteem (zoals compressoren), temperaturen van de koelcellen en status informatie van de systemen. Deze data wordt frequent opgeslagen in een database en kan vervolgens gebruikt worden voor analyses van het koelsysteem.

2.3 Werkzaamheden Monitoring & Control

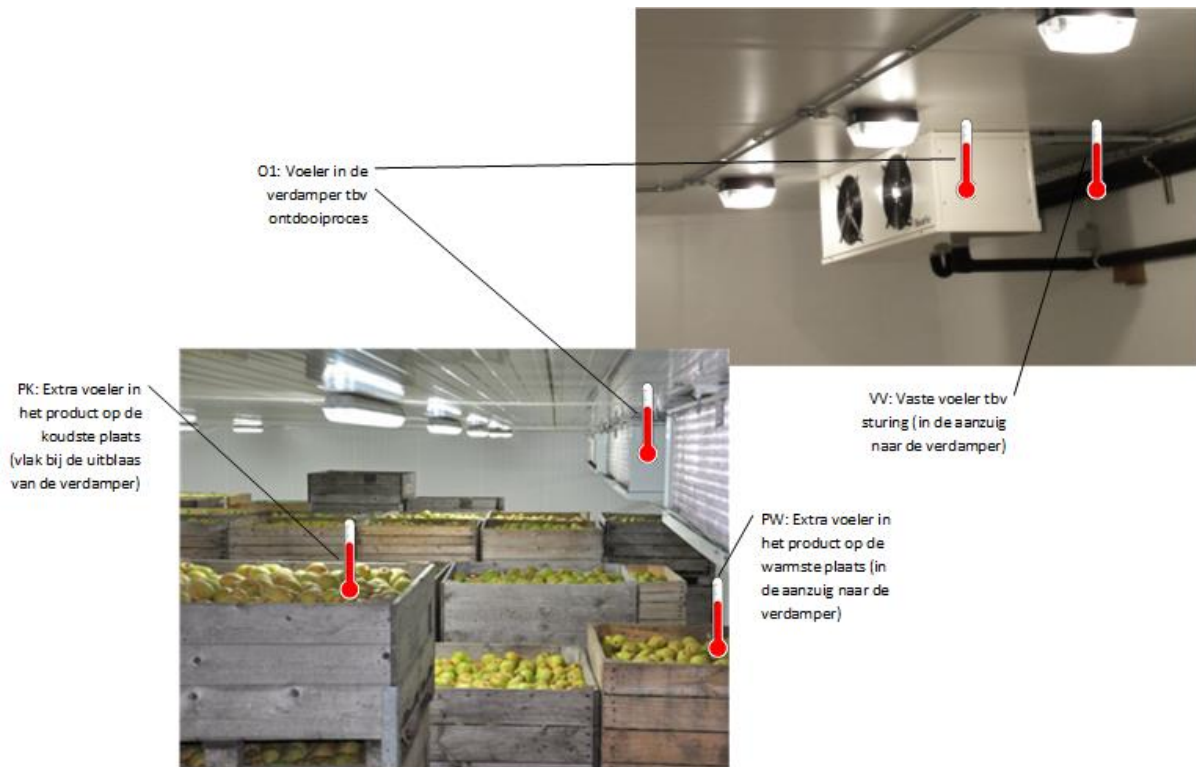
2.3.1 Inventarisatie en meetplan

Als eerste is bij de firma Van Acht een schouw uitgevoerd om een idee te krijgen van de installaties. Hierbij is gekeken naar de drie koelinstallaties en de stroomvoorziening. Bij deze schouw bleek al snel dat het bedrijf een 'organische groei' had doorgemaakt. Dit had als gevolg dat bijvoorbeeld niet alle technische installatietekeningen waren bijgewerkt. Ook het labelen van de aansluitingen in verdeelkasten liet te wensen over.

In Figuur 2 is een schematische weergave van een machinekamer weergegeven. In Figuur 3 is een schematische weergegeven hoe de temperatuursensoren in een koelcel geplaatst zijn.



Figuur 2: Schematische weergave van een machinekamer bij Van Acht.



Figuur 3: Temperatuursensoren in een koelcel.

Er is daarom een nieuwe inventarisatie gemaakt van de energiestromen en hoe deze in het pand verdeeld c.q. vertakt worden. Hierbij was de moeilijkheid dat er geen bestaand overzicht was en daarom is deze inventarisatie deels gedaan door kabels te volgen om te zien waarvoor ze gebruikt worden. Het meetplan (waar wordt wat gemeten) heeft al met al meer tijd gekost dan voorzien.

Voor het meten van het energieverbruik zijn tussenmeters geplaatst. Omdat het een bestaande installatie betrof was er weinig ruimte voor de te installeren meters, maar vooral ook voor de stroomtransformatoren. Gekozen is daarom om bij gelijke belasting van compressoren slechts 1 fasestroom te gaan meten. Op deze manier konden er met één elektrameter 3 onafhankelijk energiestromen gemeten worden. Naast de ruimtebesparing die dit opleverde bij de kabels in de verdeelkasten, had dit tevens een kostenbesparend effect.

In dit project is vooral gekeken naar koelinstallaties MK2 en MK3. De derde installatie (MK1) is wel meegenomen in de monitoring wat betreft energieverbruik, maar is niet betrokken bij het mogelijk afschakelen. Deze installatie staat namelijk op de nominatie om gerenoveerd te worden, waardoor het geen zin had om nog in deze installatie te investeren.

MK2 en MK3 zijn twee installaties die verschillend zijn opgezet. Bij MK2 wordt voor de aansturing van de compressoren een besturing van de firma Carel gebruikt. Deze PLC/controller is speciaal ontwikkeld voor het aansturen van koelinstallaties. Naast de controller van Carel is er ook een systeem van Auxcis geplaatst dat de monitoring en aansturing van de koelcellen voor zijn rekening neemt. De productie van koude wordt dus door de Carel controller geregeld, de distributie en afname door het systeem van Auxcis. Daarnaast zijn er nog diverse hardware-schakelingen die buiten beide systemen omgaan, zoals de bedrijfsschakelaar die per koelcel aanwezig is en die de gehele cel (tijdelijk) uitzet.

Bij koelinstallatie MK3 wordt er één generieke PLC (merk Siemens) gebruikt voor het gehele proces. Alle sensoren en actuatoren zijn aangesloten op de PLC. Naast de standaard sensoren, zoals

temperatuurmetingen in de koelcellen, zijn bij MK3 ook stroommetingen aanwezig per individuele compressor. Dit maakt deze installatie zeer geschikt voor dit project.

Naast de koelinstallatie is ook het laadstation van de vorkheftrucks meegenomen in dit plan. Doel hierbij te kunnen sturen wanneer de vorkheftrucks zouden worden opgeladen. Hiervoor zijn relais geplaatst in de verdeelkast zodat deze op afstand middels de nieuwe PLC's aangestuurd zouden kunnen worden.

2.3.2 Installatie meters

Om een goed beeld te krijgen van het energieverbruik per installatie c.q. per onderdeel van het bedrijf, zijn extra energiemeters geplaatst. In diverse verdeelkasten zijn daarom stroomtransformatoren geplaatst bij de belangrijkste groepen. Tevens is het pulscontact van de hoofdmeter aangesloten op een datalogger zodat ook het totaalverbruik inzichtelijk gemaakt kon worden. Uit een analyse op de data is gebleken dat ca 90% van het energieverbruik dat door de hoofdmeter werd gemeten ook middels de geplaatste tussenmeters is gemeten. De overige 10% wordt gebruikt voor zaken als verlichting, kantoorruimtes en de kantine.

De data van de energiemeters en datalogger wordt verzameld door twee centraal geplaatste PLC's. Deze PLC's zijn geplaatst bij de twee grootste koelinstallaties MK2 en MK3. De koppeling tussen de meters en logger is gerealiseerd door twee nieuw aangelegde RS485 netwerken; voor iedere PLC een eigen netwerk.

2.3.3 Koppeling PLC's

Om goed inzicht te krijgen in het functioneren van de koelinstallaties is gekozen voor een koppeling op PLC-niveau met de koelinstallaties. Op die manier was het niet nodig om nieuwe sensoren te plaatsen en bovendien zou dit in een later stadium ook gebruikt kunnen worden voor het afschakelen van (delen) van de koelinstallatie. Onderzocht is hoe deze koppeling het beste gemaakt kon worden, omdat hiervoor meerdere opties waren.

2.3.3.1 PLC direct koppelen aan RealM2M

Voordelen van deze optie zijn dat er slechts een kleine investering nodig is in hardware en dat data direct uit de bron gehaald kan worden. Nadelen zijn er echter ook. Zo is het noodzakelijk dat de leverancier van de koelinstallatie de software in de PLC voorbereidt op de koppeling. Er is dus toestemming en ondersteuning van de leverancier nodig, en deze leverancier verschilt bij andere koelhuizen. Dit maakt de oplossing minder schaalbaar.

2.3.3.2 PLC naar PLC-koppeling

In deze oplossing wordt er een tweede PLC geplaatst, welke vervolgens dan via een bussysteem gekoppeld wordt met de reeds bestaande PLC. Hiervoor kan bijvoorbeeld Modbus, Profibus of Profinet gebruikt worden. In deze optie zorgt de tweede PLC voor het inwinnen van de meetwaarden en voor tijdelijke opslag. Van de leverancier van de koelinstallatie is slechts toestemming en een kleine aanpassing nodig. De nieuwe PLC kan grotendeels een standaard programma bevatten. De interface naar de PLC van de koelinstallatie is het enige deel dat op maat gemaakt moet worden. Met deze optie zijn wel meer kosten gemoeid dan bij de eerste optie.

I/O opnieuw uitlezen

De sensoren, welke gekoppeld zijn aan de PLC van de koelinstallatie, worden in deze optie door een tweede, nieuw te plaatsen, PLC ook uitgelezen. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat er galvanische scheidingen wordt aangebracht om te voorkomen dat de signalen verstoord worden. Dit brengt daardoor wel een extra kostenpost met zich mee. Voordeel van deze oplossing is dat het niet

noodzakelijk is om de leverancier van de koelinstallatie erbij te betrekken, hoewel dit wel sterk aan te raden is.

Keuze

Gezien de kosten en de mogelijkheid om de oplossing verder op te schalen, is voor de PLC naar PLC-koppeling gekozen. Dit was mede omdat de leverancier behulpzaam was en bereid was toegang te verlenen. Bovendien zouden de nieuwe PLC's ook gebruikt gaan worden voor het uitlezen van de nieuwe tussenmeters, waardoor de eerste optie ook niet veel meer voordelen zou hebben.

In het project is gebleken dat een PLC naar PLC-koppeling bij MK2 niet eenvoudig te realiseren was. De controller beschikte standaard niet over interface waarmee gekoppeld kon worden. Hiervoor zou een uitbreiding nodig zijn, wat extra investeringen met zich mee zou brengen. Mede gezien dit feit en de beperkte data die hieruit verkregen zou kunnen worden in vergelijking met MK3 is daarom besloten om de koppeling met MK2 uit te stellen en de focus te leggen op MK3.

Uiteindelijk heeft het tot stand komen van de koppeling bij MK3 nog de nodige voeten in de aarde gehad. Zo bleek een upgrade van de installatie op stapel te zijn en is er in het project voor gekozen deze naar voren te halen. Pas daarna kon de koppeling met de PLC van MK3 gelegd worden. Ook waren er problemen met het netwerk dat hiervoor was aangelegd. De nieuw geplaatste PLC's bij MK2 en MK3 communiceren onderling middels een ethernet netwerk, wat door de lengte van de kabels instabiel bleek te zijn. Een switch heeft dit probleem uiteindelijk verholpen.

2.3.4 Vorkheftrucks

In de verdeelkast van de vorkheftrucks zijn relais geplaatst die over een tijdvertraging beschikken. Hierdoor kon met een enkel signaal vanuit de PLC het opladen worden gestart of gestopt. Iedere vorkheftruck heeft zijn eigen laadstation met relais. De relais zijn in serie geschakeld, zodanig dat er een korte vertraging zit tussen iedere relais. Dit voorkomt een te grote piekbelasting die zou ontstaan als alle laadstations tegelijk zouden worden ingeschakeld. Het vinden van een goede module was lastig omdat er slecht zeer beperkte ruimte was in de verdeelkast.

Gegeven de vertraging in het project is besloten om dit additionele idee niet uit te voeren. Echter, voor een toekomstige implementatie geeft dit een extra bron van flexibiliteit.

2.3.5 Inrichten RealM2M

In RealM2M zijn beide PLC's geconfigureerd en wordt de data verzameld en opgeslagen. De verzamelde data wordt vervolgens op een centrale FTP-server gezet zodat de overige projectleden ook over de data kunnen beschikken. Tevens is het mogelijk om via de webinterface de meest actuele waarden en statussen te zien en kunnen instellingen worden aangepast.

Daarnaast is er een API beschikbaar gesteld waarmee meetwaarden kunnen worden opgevraagd en instellingen kunnen worden gewijzigd.

2.3.6 Kwaliteit van data

De koppeling tussen de twee PLC's bij MK3 bleek in eerste instantie niet altijd stabiel te werken. Het resultaat was veel nulwaarden in de database van RealM2M. Door het toevoegen van extra bewaking in de PLC-software is dit probleem verholpen.

Bij de tussenmeters was gerekend met een resolutie van 0.1 kWh, maar met een meetfrequentie van 1 minuut bleek dat dit een te lage resolutie op te leveren. Reden is dat sommige delen van de installatie overgedimensioneerd waren waardoor er een sterk resolutie verlies optrad. Dit is opgelost door uit de tussenmeters andere registers te gaan uitlezen dan initieel bedacht. Er bleken namelijk

ook 64bits Wh waarden uit de meter gehaald te kunnen worden waardoor de resolutie weer op een aanvaardbaar niveau kwam te liggen. Dit betekende wel voor een gedeelte een verandering van het PLC-programma en een aanpassing van de inrichting in Realm2M.

De tussenmeters zitten via Modbus gekoppeld aan de nieuwe PLC. In de basis blokken, die van de fabrikant van de PLC zijn, blijkt echter een bug te zitten waardoor de tussenmeters soms niet meer bereikbaar zijn. Hiervoor is een tussenoplossing gemaakt die deze module herstart op het moment dat er gedetecteerd wordt dat deze is vastgelopen. De definitieve oplossing dient te komen vanuit de fabrikant, echter de verwachting is dat dit nog enige tijd op zich zal laten wachten.

2.4 Kosten Monitoring & Control

2.4.1 Kosten installatie

Het aansluiten op de koelinstallaties van Van Acht en het plaatsen van de meters voor het energieverbruik maakte onderdeel uit van het project Energie 6.0. De levering en installatie van de hardware bij Van Acht is in dit project daarom tegen kostprijs gedaan. Daarnaast is er nog veel tijd gaan zitten in het uitwerken van het meetplan en de afstemming met de installateurs. Nadat de koppeling naar Realm2M was gelegd is ook veel tijd gaan zitten in het uitzoeken en controleren van de data, het opzetten van de API en het inregelen van het sturen. Veel van de gemaakte kosten zijn daarom in dit project relatief hoog geweest, terwijl deze bij een volgende installatie lager kunnen zijn.

Als gekeken wordt naar een volgende installatie bij een koelhuis met vergelijkbare omvang, dan moet ongeveer gerekend worden met de volgende kosten:

- Opstellen meetplan: €2.000,- tot € 3.000,-
- Hardware PLC's en tussenmeters: €7.500,- tot € 10.000,-
- Installatie tussenmeters: €3.000,- tot € 4.000,-
- Koppelen PLC met koelinstallatie €2.000,- tot € 3.000,- (per koelinstallatie)

Daarbij komen nog de kosten voor o.a. de inzet van eigen mensen, de e-installateur, de leverancier van de PLC's van de koelinstallatie en het gebruik van Realm2M. Deze laatste bestaat o.a. uit kosten voor hosting, sla en licentie. Hoe meer klanten worden aangesloten op het systeem, hoe lager deze kosten worden. Een ander voordeel van grotere hoeveelheden koelhuizen is dat de werkwijze meer gestandaardiseerd kan worden, waardoor de kosten voor het meetplan, de installatiekosten en de kosten voor het koppelen gereduceerd kunnen worden.

Bij de installatie zijn de koelinstallaties korte tijd uitgezet om veilig de stroomtransformatoren te kunnen installeren. Gezien het feit dat zo iets vergelijkbaars gebeurt bij een spersignaal van PowerHouse, is de impact op het bedrijfsproces te verwaarlozen.

2.4.2 Doorlooptijd

Bij de installatie bij Van Acht bedroeg de doorlooptijd ongeveer 8 maanden. Het opstellen van het meetplan en de PLC-koppeling bij MK3 hebben hieraan een grote bijdrage geleverd. Daarnaast is er ook veel tijd gaan zitten in de afstemming met alle betrokken partijen.

Aangezien er nu meer ervaring is, kinderziektes zijn opgelost, en PLC-programma's af zijn, zullen zowel de kosten verlagen als de doorlooptijd verkorten. Als er vanuit de leveranciers voldoende medewerking is, dan zou een volgend koelhuis in een periode van 3 tot 4 maanden aangesloten kunnen worden. In de toekomst zou dit zelfs teruggebracht kunnen worden naar 2 maanden.

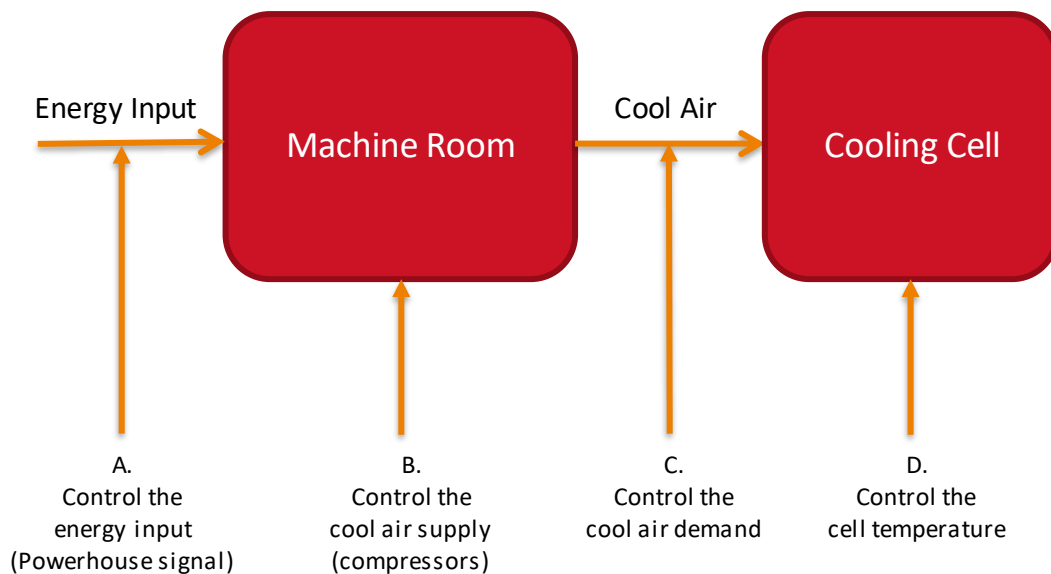
3 Flexibiliteit analyse

3.1 Inleiding

Om flexibiliteit te ontsluiten wordt vaak het ontsluiten van data als een belangrijke randvoorwaarde gezien. Namelijk, zonder data is er ook geen inzicht in de hoeveelheid elektriciteit die flexibel wordt ingezet/aangeboden. Het is ook van groot belang dat de ontsloten data op een goede manier geïnterpreteerd wordt. Voor een koelhuis bijvoorbeeld is het niet evident hoe het verlagen van het elektriciteitsverbruik effect heeft op de temperatuur van de producten en andersom. De opbouw van het koelsysteem bij Van Acht, met compressoren die koudemiddel rondpompen en koude lucht die wordt verspreid door ventilatoren, geven een complex natuurkundig systeem waarin elektriciteit wordt omgezet naar koude lucht en uiteindelijk een kouder product. In plaats van het volledig natuurkundig begrijpen en beschrijven van het proces kan door middel van (zelflerende) data-analyse verbanden worden ontdekt tussen elektriciteit en de temperatuur van het product. Hiervoor is het van belang dat er naast data ook input komt van de proceseigenaar over de bandbreedtes waarbinnen de temperatuur geregeld kan worden. In dit hoofdstuk wordt de uitgevoerde analyse voor het koelhuis bij Van Acht beschreven.

De data en methodiek om flexibiliteit te analyseren bij een koelhuis is afhankelijk van het control mechanisme dat wordt ingezet. Voor een koelhuis als bij Van Acht kunnen een aantal control situaties onderscheiden worden (Figuur 4):

- A. *Control op de energie input:* deze situatie is gelijk aan de control die ingesteld is door de huidige energieleverancier PowerHouse. Hierbij wordt de energietoevoer naar de machinekamer uitgeschakeld of verminderd. Dit is een directe control op het energieverbruik en volledig indirect op de producttemperatuur.
- B. *Control op de toevoer van koude lucht:* Hierbij wordt de machinekamer aangestuurd door middel van het aan/uitzetten van compressoren en daarmee het aanbod van koude lucht beïnvloedt. Dit levert een indirecte energie aansturing én een indirecte temperatuur aansturing.
- C. *Control op de vraag naar koude lucht:* In deze situatie worden de koelcellen individueel aan- of uitgezet door de toevoer van koude lucht naar die cel te sturen. Dit kan door bepaalde kleppen open of dicht te zetten. Dit levert een indirecte energie aansturing én een indirecte temperatuur aansturing.
- D. *Control op de temperatuur in de cel:* De temperatuur in de cel is de control die het nauwkeurigst stuurt op de kwaliteit van het product door daadwerkelijk de temperatuur als stuurmiddel te gebruiken. Deze control heeft echter een zeer indirecte impact op het energiegebruik van het proces.



Figuur 4: Verschillende mogelijkheden om op flexibiliteit in het proces te sturen

Situatie B was binnen Energie 6.0 niet mogelijk in verband met technische limitaties van het koelhuis. Situatie D was niet mogelijk om meerdere redenen. Ten eerste was er een gebrek aan data, tenzij Van Acht continu door zou geven wat er in elke koelcel zit. Dit is niet alleen arbeidsintensief maar een verstoring van het reguliere arbeidsproces van Van Acht. Daarnaast zou in dit scenario een model per individueel product (huidig *en* toekomstig) nodig zijn en een gedetailleerd inzicht in het exact energieverbruik van elke component binnen elke stap van de keten. Gezien deze beperkingen is gekozen om situaties A en C te analyseren.

3.2 Basislast

Het elektriciteitsverbruik van een koelhuis is afhankelijk van meerdere factoren (weer, seizoen, producten, werkzaamheden). Het analyseren van al deze factoren om tot een basislast te komen is een studie die veel kennis vergt van het koelproces en van afhankelijkheden tussen de verschillende factoren. In dit project zoeken we naar een methode om schaalbaar flexibiliteit te ontsluiten bij koelhuisen en we kiezen er daarom voor om zoveel mogelijk data-analyse tools in te zetten in plaats van het analyseren van de verschillende processen die leiden tot het koelgedrag.

In alle flexibiliteitsprofielen is een basislast te zien. Deze basislast is het energieverbruik van het koelhuis in een normale situatie, dus zonder het gebruik van flexibiliteit. Het bepalen van de basislast is van cruciaal belang voor het efficiënt inkopen van de elektriciteitsbehoefte. Op de elektriciteitsmarkt (APX/ENDEX) wordt elektriciteit tot een dag van tevoren verhandeld. Het is dus nodig dat uiterlijk een dag van de voren bekend is wat de elektriciteitsbehoefte gaat zijn. Daarnaast is de basislast belangrijk voor het inzetten van flexibiliteit als onbalanssturing omdat de mate van flexibiliteit op de onbalansmarkt wordt afgerekend aan de hand van het verschil ten opzichte van het ingekochte volume. De geleverde flexibiliteit kan dan berekend worden door de basislast te vergelijken met het daadwerkelijke elektriciteitsverbruik.

Een simpele optimalisatie is er op gericht onbalanskosten te minimaliseren door effectief in te kopen op de day-ahead markt. Historisch gezien zijn de Nederlandse onbalansprijzen hoger dan de day-ahead prijzen op de spotmarkt. In Nederland wordt er op de onbalans markt verschil gemaakt tussen prijzen voor op- en afregelen. De prijzen voor opregelen zijn gemiddeld 9% hoger dan de spotmarkt.

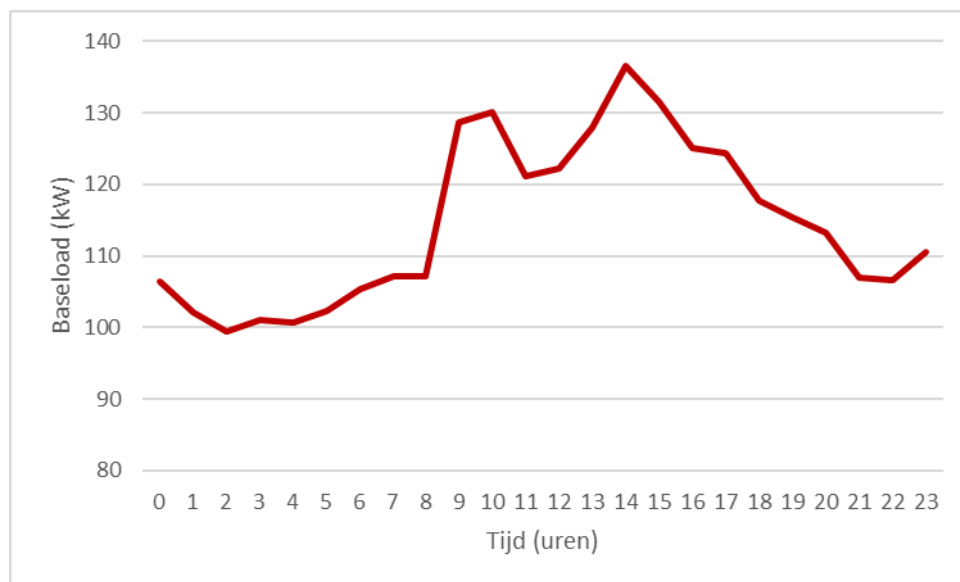
De gemiddelde prijzen voor afregelen zijn gemiddeld 3% lager dan in de spotmarkt¹. De aanname dat onbalansprijzen moeilijk voorspelbaar zijn leidt tot de conclusie dat een inkoopstrategie gebaseerd op een basislast zo dicht mogelijk bij de daadwerkelijke elektriciteitsconsumptie de blootstelling aan onbalansvolumes minimaliseert en daarom leidt tot kostenbesparingen. Een praktijkvoorbeeld uit een door Van Acht beschikbaar gestelde dataset² geeft de volgende inzichten;

- Het gemiddelde ingekochte volume op de APX is 65 kWh/15 minutes
- Het gemiddelde verbruik is 80 kWh/15 minutes
- De gemiddelde betaalde prijs door Van Acht is 35,16 Euro/MWh
- De ongewogen gemiddelde prijs van de APX is 33,48 Euro/MWh
- De gemiddeld prijs voor het verhandelde onbalansvolume is 41,18 Euro/MWh

Het eerste wat opvalt uit de data is dat Van Acht continu te weinig elektriciteit inkoop op de spotmarkt ten opzichte van de daadwerkelijke consumptie. Dit heeft tot gevolg dat het verschil op de onbalansmarkt ingekocht wordt waar de gemiddelde prijzen hoger zijn dan in de day-ahead markt.

Als we naar de bovenstaande data kijken zien we dat Van Acht onbalanskosten maakt terwijl Van Acht een onbalansopbrengst zou moeten kunnen behalen gezien de aanname dat Van Acht over flexibiliteit beschikt. In het geval we perfect de elektriciteitsconsumptie van Van Acht zouden kunnen voorspellen en alle consumptie op de APX ingekocht zou worden, zou dit leiden tot een kostprijs van 34,32 Euro/MWh (dit is lager dan de huidige kostprijs van 35,16 Euro/MWh)

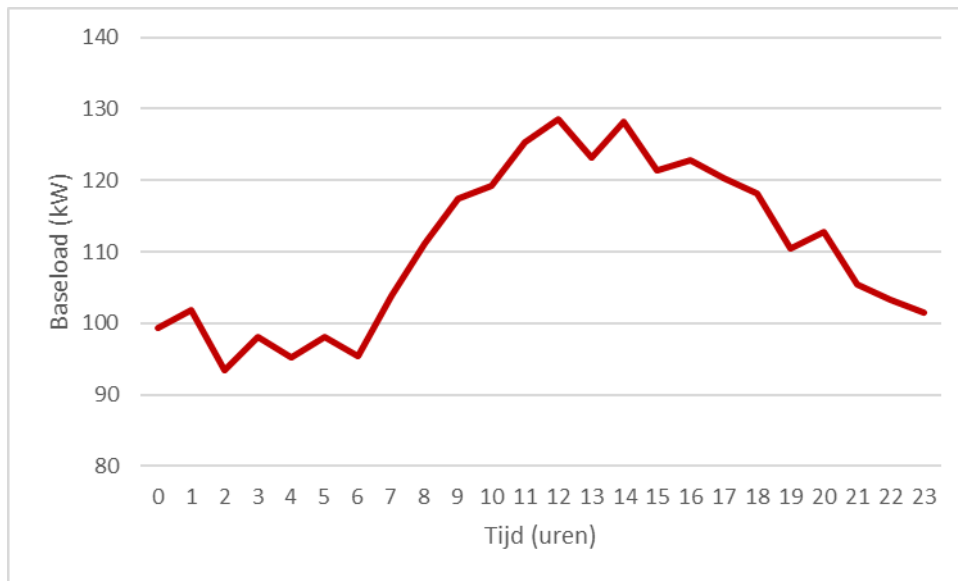
Vanuit de data is direct één trend te ontdekken die van belang is voor het elektriciteitsverbruik, namelijk het verschil tussen werkdagen en weekenden/feestdagen. In Figuur 5 is het gemiddelde patroon van werkdagen weergegeven en in Figuur 6 het gemiddelde patroon van weekenden. Hier is zowel in de hoogte van het elektriciteitsgebruik als in de grilligheid van het patroon een significant verschil te zien.



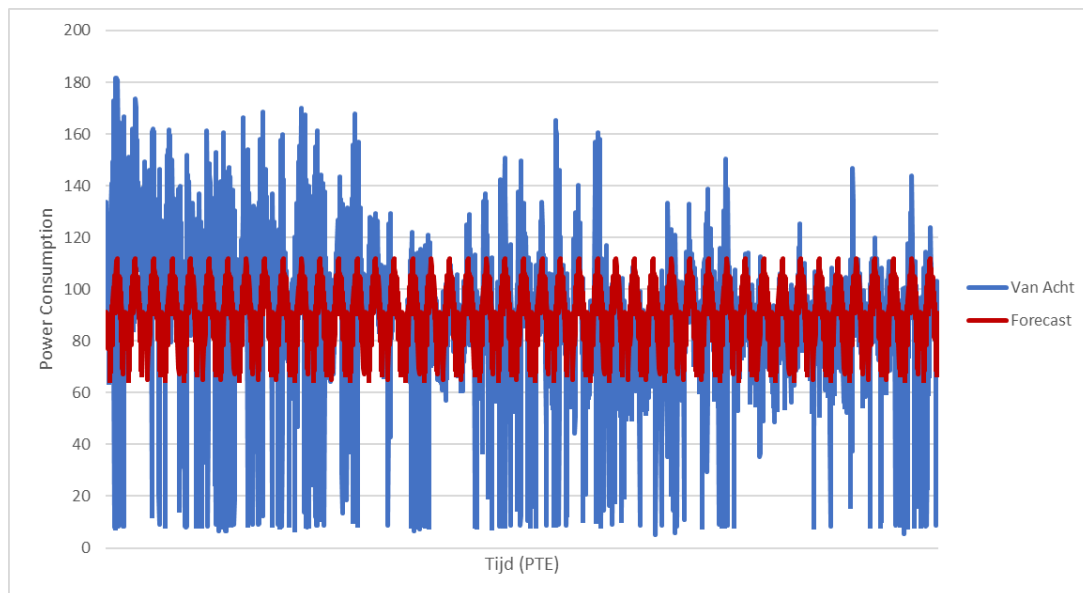
Figuur 5: Gem. elektriciteitsverbruik op werkdagen 26-5-2017 t/m 18-6-2017

¹ Waarde bepaald op basis van Tennet data 1-1-2016 t/m 1-6-2017

² Powerhouse sourcing data 1-5-2017 t/m 17-6-2017



Figuur 6: Gemiddeld elektriciteitsverbruik in weekenden 26-5-2017 t/m 18-6-2017

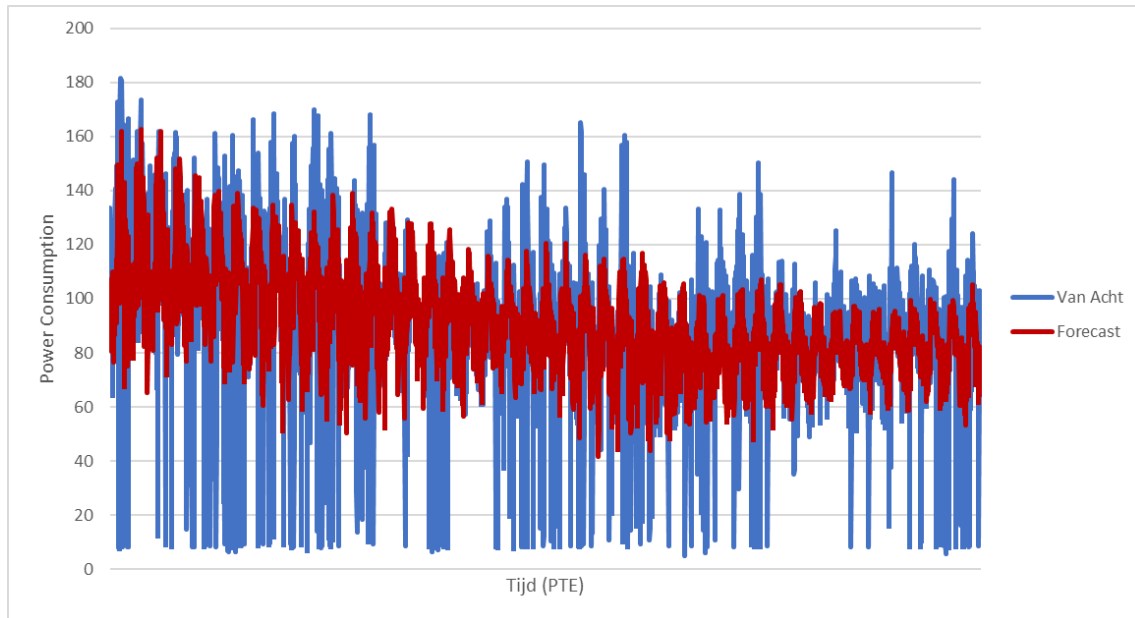


Figuur 7: Verschil tussen voorspelling door middel van een simpel gemiddelde (rood) en daadwerkelijk gebruik (blauw) in de periode 26-5-2017 t/m 05-08-2017

Het bepalen van de basislast over een langere periode geeft afwijkingen ten opzichte van het daadwerkelijke elektriciteitsverbruik, zoals zichtbaar in Figuur 7. Het elektriciteitsverbruik van het koelhuis neemt in twee stappen sterk af (rond 13-06-2017 en rond 16-06-2017) van gemiddeld 110 kW naar gemiddeld 80 kW. Dit is een daling van 27% die ervoor zorgt dat de berekende basislast afwijkt van het daadwerkelijk verbruik. De “standaardafwijking” (standaardafwijking = $\sqrt{\frac{\sum(x_i - b_i)^2}{N}}$ waarbij x_i de meetwaarde en b_i de basislast) van de basislast is nu 22 kW.

De hiervoor gebruikte methodiek om de basislast te voorspellen is gebaseerd op het gemiddelde van de voorgaande periode. Deze methodiek houdt slecht rekening met veranderingen in de basislast van een koelhuis omdat een meetwaarde van 1 maand geleden dezelfde waarde krijgt als de

meetwaarde van gisteren. Een methodiek die hier wel rekening mee houdt is de “exponential smoothing” methodiek. Deze methodiek geeft een hoge prioriteit aan de laatste meetwaarde (15%) ten opzichte van alle vorige meetwaarden (85% voor alle vorige meetwaarden tezamen). Hierdoor kunnen we beter omgaan met veranderingen in het koelproces (Figuur 8). Dit leidt voor dezelfde data tot een “standaardafwijking” van 14 kW. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat deze methode een initialisatieperiode heeft, welke in dit experiment is genomen als 3 dagen.



Figuur 8: Verschil tussen voorspelling met ‘exponential smoothing’ (rood) en daadwerkelijk verbruik (blauw) in de periode 26-05-2017 t/m 05-08-2017

De beste methode om de basislast van een koelhuis te bepalen is door de daadwerkelijke bezetting van het koelhuis en de bijbehorende energievraag vast te stellen. De voorspellingsfout kan verder gereduceerd worden indien de technische specificaties van de koelingscellen, de target temperatuur, het product en het laadschema van de onderliggende cellen meegenomen worden in de voorspelling. Deze aanpak is echter niet mogelijk zonder diepgaande kennis van het onderliggende proces. Vanwege het streven naar een schaalbare oplossing en gezien de variabiliteit van de energievraag in het koelhuis wordt aangeraden om de “exponential smoothing” methode te gebruiken om de basislast te voorspellen. Het wordt aangeraden om enige extra beschikbare gegevens en relaties voor het energiegebruik altijd mee te nemen in het voorspellen van de basislast. De exponential smoothing methode is in de volgende analyses gebruikt voor een voorspelling van de basislast.

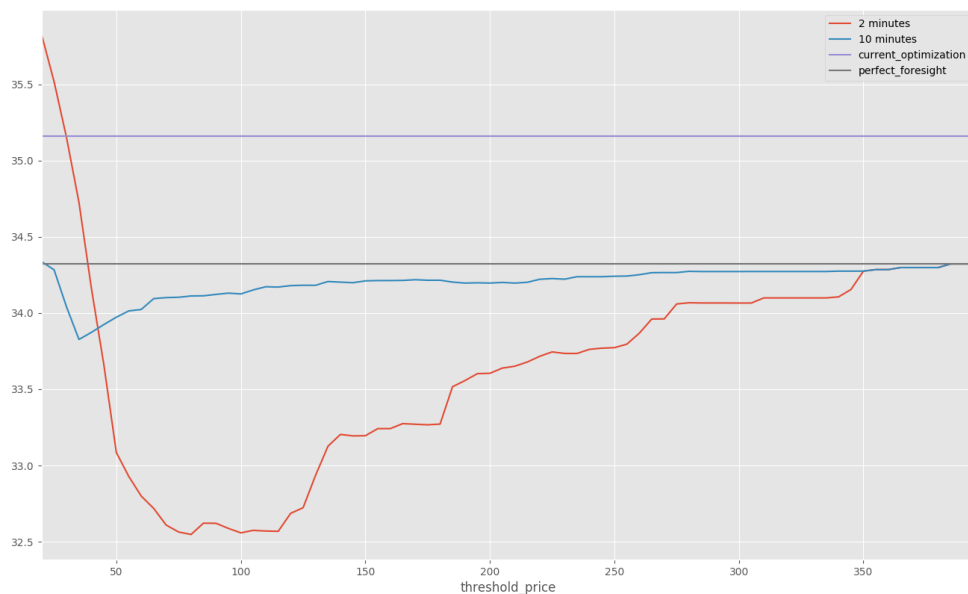
Het bovenstaande is er op gericht de basislast zo goed mogelijk bij de daadwerkelijke consumptie te laten aansluiten. Dit geeft een kostenvoordeel voor Van Acht maar ook voor de netbeheerder. Betere voorspellingen leiden tot minder onverwachte fluctuaties in het systeem en als gevolg hiervan kan een hoger percentage groene stroom worden ingevoerd in het systeem. Desalniettemin kunnen we mogelijk een hoger kostenvoordeel halen en het systeem verder balanceren door de flexibiliteit van de installaties te benutten.

3.3 Black Box analyse

Aangezien Van Acht grotzakelijk gebruiker van elektriciteit is, gebruiken zij de diensten van PowerHouse voor de inkoop van elektriciteit. Een van de diensten die zij afnemen is handelen op de onbalansmarkt, waarbij Van Acht op een vooraf aangegeven onbalansprijs en een vooraf

aangegeven “leadtime” (aantal minuten dat het Tennet onbalanssignaal boven de aangegeven prijs moet zijn) PowerHouse in staat stelt de machinekamers af te schakelen. De niet geconsumeerde elektriciteit wordt daardoor verkocht op de onbalansmarkt voor een hogere prijs dan dat deze ingekocht was op de day-ahead of intra-day markten.

De aanwezige flexibiliteit van de installaties kan mogelijk een opbrengst genereren uit het balanceren op de onbalans markt. Om het potentieel van deze opbrengst te bepalen, benaderen we de business case eerst vanuit een situatie waar prijsniveau en “leadtime” de enige variabelen zijn zonder rekening te houden met de fysieke beperkingen van de installaties. In Nederland publiceert Tennet de prijs die ontstaat als resultaat van het afroepen van regelcapaciteit om het systeem te balanceren. Deze prijzen worden door Tennet elke minute geüpdate en kunnen gebruikt worden om de onbalansprijs van een PTE te voorspellen. Figuur 9 geeft de optimalisatieresultaten als functie van het Tennet onbalanssignaal en de reactietijd van de installaties.



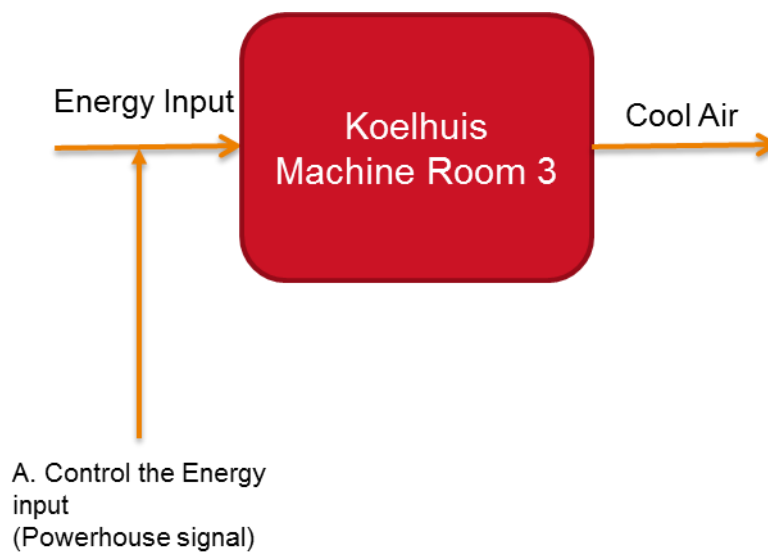
Figuur 9: Functie Tennetonbalanssignaal en reactietijd installaties

De belangrijkste conclusie is dat significante kostenbesparingen kunnen worden behaald. Het theoretische potentieel van deze optimalisatie kan oplopen tot 10% van de sourcingkosten afhankelijk van de reactietijd en het minimale prijssignaal. De belangrijkste conclusie is dat de kostenreductie het grootst is wanneer de reactietijd 2 minuten is en het prijsniveau in de bandbreedte van 80-115 Euro/MWh zit. Gemiddeld worden de installaties 7x per dag afgeschakeld, maar op sommige dagen kan dit oplopen tot een significant hoger aantal (maximaal geobserveerd was 30x). De analyse is op dezelfde data set uitgevoerd als in de voorgaande paragraaf.

De belangrijkste vraag is hoe de installaties van Van Acht zich verhouden ten opzichte van het theoretische potentieel en of het bedrijfsproces hier niet door verstoord wordt.

Het aanwezig zijn van de PowerHouse dienst komt hier van pas om de reactie van het systeem op een stuursignaal te meten, en de praktijksituatie te vergelijken met het theoretisch potentieel. We hoeven hier geen extra experimenten voor op te zetten.

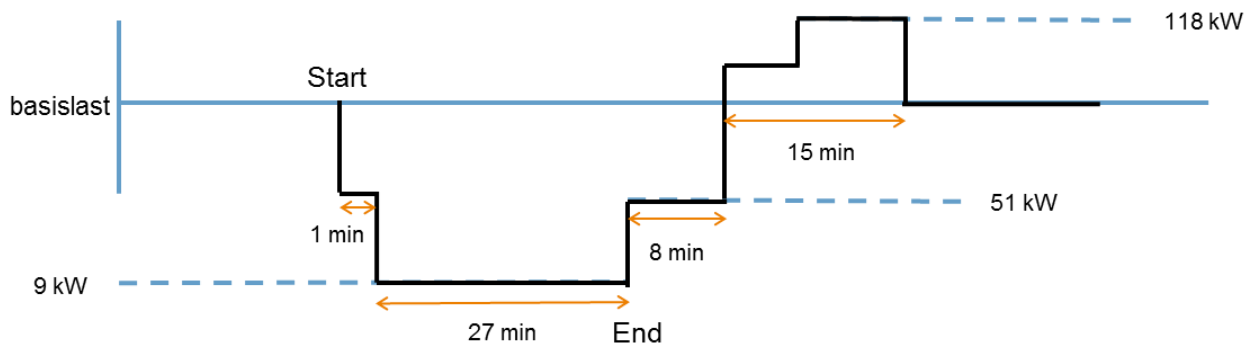
De flexibiliteit wordt ontsloten door een signaal dat het volledige energiegebruik uit zet. Dit signaal kan worden gebruikt om het profiel van de energieflexibiliteit te bepalen. Dit profiel geeft aan in hoeverre het gebruik van flexibiliteit kan afwijken van de basislast. In deze analyse nemen we aan dat we niets te maken hebben met het proces rondom het verdelen van koele lucht over de koelcellen en het koud houden van de producten. Hierdoor voeren we een “black box” analyse uit. Voor deze analyse hebben we enkel data nodig over het energieverbruik van de machinekamer en over het moment van uit- en inschakelen door PowerHouse. Uit een analyse van de PowerHouse signalen blijkt dat het signaal genegeerd wordt als de machinekamer te lang zonder stroom staat. Deze perioden worden uitgesloten van verdere analyse omdat de regels met betrekking tot het negeren van het signaal niet bekend zijn. Er blijven 67 perioden over die bruikbaar zijn om het gedrag bij een PowerHouse-signaal te analyseren (dataset 25-05-2017 t/m 18-06-2017).



Figuur 10: Schematische weergave van de control door middel van PowerHouse-signaal

Uit de black box analyse komen een aantal parameters over het flexibiliteitsprofiel van het koelhuis. Ten eerste kan de periode worden vastgesteld waarin de ondergrens van het profiel wordt bereikt, dit is 27 minuten met een standaarddeviatie van ± 13 minuten. Interessant is om te zien dat de maximale duur 70 minuten is (zonder dat het signaal wordt genegeerd) en de minimale duur 7 minuten. De vastgestelde 2 uur, op basis van de ervaring van Van Acht, wordt dus niet bereikt met het PowerHouse-signaal. De reactietijd vanaf het PowerHouse-signaal totdat de ondergrens van het profiel wordt bereikt is laag, $1,2 \pm 0,4$ minuten. Dit komt overeen met de optimale reactietijd van de initiële analyse (2 min). De opstarttijd nadat het signaal voor inschakelen wordt verzonden duurt langer, 8 ± 5 minuten.

De ondergrens van het flexibiliteitsprofiel is gemiddeld $9 \text{ kW} \pm 1 \text{ kW}$. Tijdens het opstarten van de compressoren gebruikt het systeem $51 \pm 23 \text{ kW}$. Om de overshoot na het inschakelen van de machinekamer te bepalen is een extra analyse nodig. Uit de temperatuur data van koelcel 15 blijkt dat het 1-11 minuten duurt om weer op temperatuur te komen. Voor deze analyse kijken we daarom naar de periode tot 15 minuten nadat compressoren volledig operationeel zijn, in die periode is het elektriciteitsgebruik $118 \pm 27 \text{ kW}$.



Figuur 11: Representatie van het flexibiliteitsprofiel op basis van een "black box" analyse

Parameter	Gemiddelde	Standaard Deviatie	Minimum	Maximum
Reactietijd (start)	1,2 minuten	0,4 minuten	1 minuut	2 minuten
Reactietijd (eind)	8 minuten	5 minuten	1 minuut	25 minuten
Tijd flexibiliteit inzet	27 minuten	13 minuten	7 minuten	70 minuten
Ondergrens energiegebruik	9 kW	1 kW	6 kW	13 kW
Energie opstarten compressoren	51 kW	23 kW	6 kW	116 kW
Energiegebruik 15-min overshoot	118 kW	27 kW	27 kW	178 kW
Tijd per dag	90 minuten	75 minuten	14 minuten	303 minuten

Tabel 1: Parameters die volgen uit de analyse van het gedrag van de koelcel na PowerHouse signalen.

Uit deze analyse zien we dat met name de ondergrens van het energiegebruik goed voorspelbaar is. Dit komt voornamelijk doordat de compressoren fysiek worden uitgezet. Het energieverbruik vanaf het opstarten van de compressoren is minder goed te voorspellen. Hier komen ook meer onbekende variabelen in het spel, zoals welke specifieke koelcellen aan staan en de streeftemperaturen die bij de producten horen.

We passen een simulatie toe om enig inzicht te krijgen in de kosten van de overshoot. We bepalen de gemiddelde waarde van flexibiliteit op basis van realistische reactie- en overshoottijden. Als we naar bovenstaande figuur kijken dan reageert de machine na 1 minuten op het afschakelsignaal en 8 minuten na het opschakelsignaal. Vervolgens krijgen we voor een periode van 15 minuten een overshoot. De vraag is of de waardecreatie van het afschakelen voldoende is voor de compensatie van de overshootkosten.

De onderstaande tabel geeft de resultaten aan voor 2 scenario's:

1. Het optimale scenario, hier reageert het systeem zonder vertraging én er is geen overshoot
2. Het scenario zoals vastgesteld in de analyse, er is 1 minuut vertraging bij opstarten én er is een overshoot van 15 minuten (op 118 kW)

Turn_off_delay	Overshoot_Time	Flex_spread (Eur/MWh)	Overschoot_spread (Eur/MWh)	Opbrengsten (Eur/MWh)
0	0	20,84	0	20,84
1	15	18,00	-15,84	2,16

Tabel 2: Prijsspread implicaties afschakelen installaties

Wat opvalt is dat opbrengsten snel verminderen vanwege de overshootkosten.

Rekenvoorbeeld

Laten we aannemen dat basislast 80 KWh is en dat de elektriciteitsconsumptie tijdens de 30 minuten terugvalt naar 9 KWh. Tijdens de overshoot is de last 118 KWh. In het geval dat onze simulatie de praktijksituatie benadert ziet de waarde van flexibiliteit er als volgt uit:

Opbrengsten flexibiliteit: $71 \text{ kWh} * 18 * (1/2) * (1/1000) = 0,63$ Euro per afschakelmoment

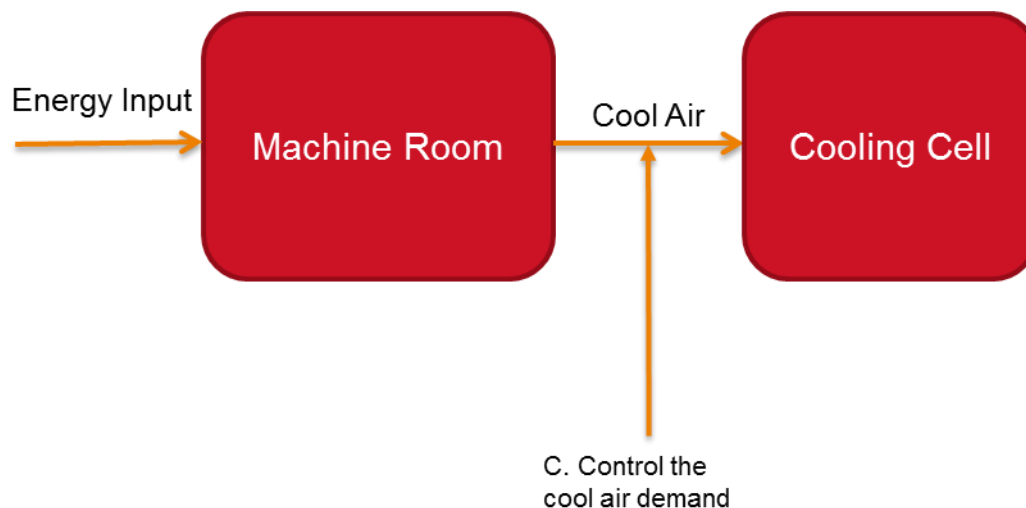
In de berekening hierboven is 71 KWh het onbalansvolume, 18,00 de spread tussen onbalansprijs en APX in de periode dat de installatie is afgeschakeld, $\frac{1}{2}$ is de factor voor de 30 minuten en $1/1000$ is de conversiefactor van Eur/MWh naar Eur/KWh.

Kosten flexibiliteit vanwege overshoot: $38 \text{ kWh} * 15,84 * (1/4) * (1/1000) = 0,1505$ Euro

De overshoot geeft dus een significante reductie, zowel via een negatieve invloed op de waarde van flexibiliteit als via een verhoging van de kosten. Is het reduceren of voorkomen van de overshoot een mogelijkheid? Dit is een belangrijke vervolgonderzoeksvraag.

3.4 Controleren van koude lucht vraag

De initiële situatie bij Van Acht is zodanig ingericht dat de sturing door PowerHouse direct wordt gericht op het energieverbruik. Het PowerHouse-signaal sluit als het ware de gehele machinekamer af van energieverbruik. Hierdoor wordt gerealiseerd dat het energieverbruik in de stuurperiode voorspelbaar is (nagenoeg 0), maar er kan geen rekening gehouden worden met het koelproces. Hierdoor zijn er brede aannames nodig om te zorgen dat het koelproces niet in gevaar komt door sturing op het energieverbruik.

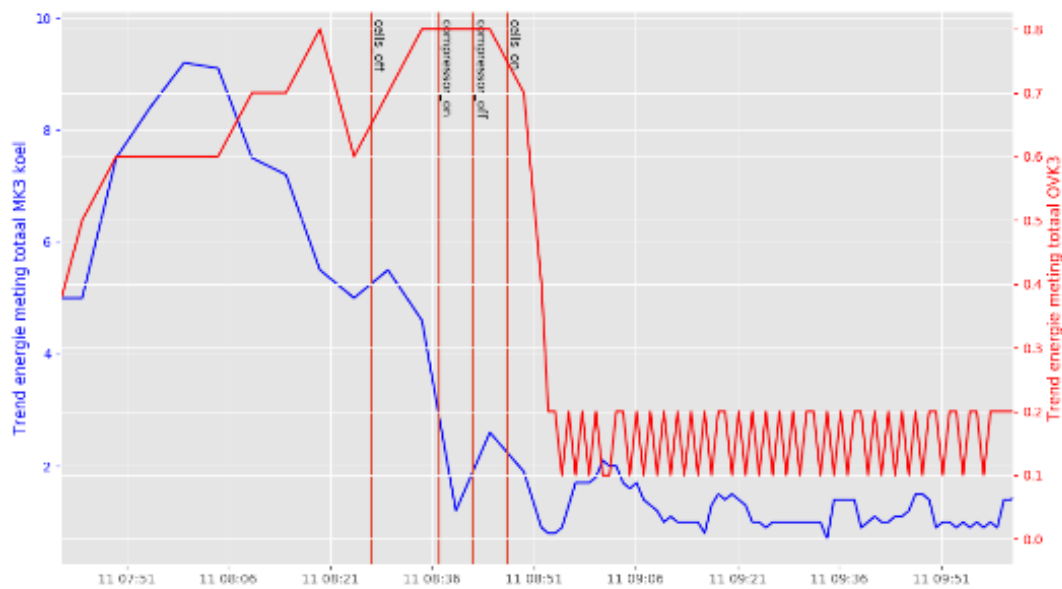


Figuur 12: Schematische weergave van de controle op basis van de koude lucht

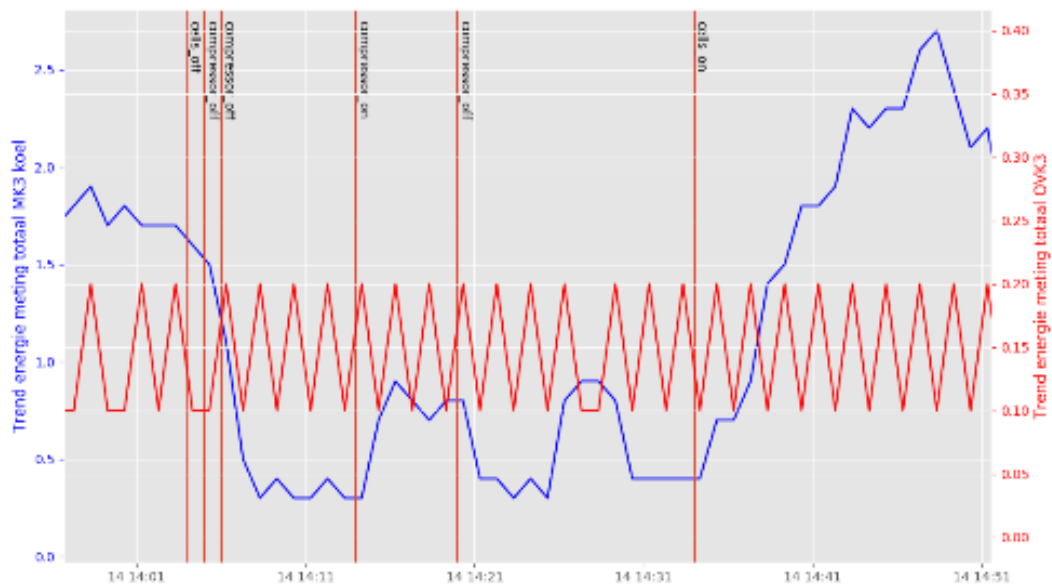
In dit project is empirisch onderzocht of het mogelijk is om te sturen op de toevoer van koude lucht naar de individuele cellen (Optie C). De dataset die hiervoor gebruikt is, verschilt van de dataset voor de eerdere analyses. Er zijn vijf momenten gekozen om de ramp-up time en de ramp-down time in MK3 in kaart te brengen. Voor vier van deze momenten was de test als volgt;

1. Registreer de cellen die koeling vereisen en registreer het product
2. Schakel de cellen af en registreer de datum en tijd van deze handeling
3. De cellen blijven afgeschakeld voor 30 minuten
4. Schakel de cellen weer aan en registreer de datum en tijd van deze handeling

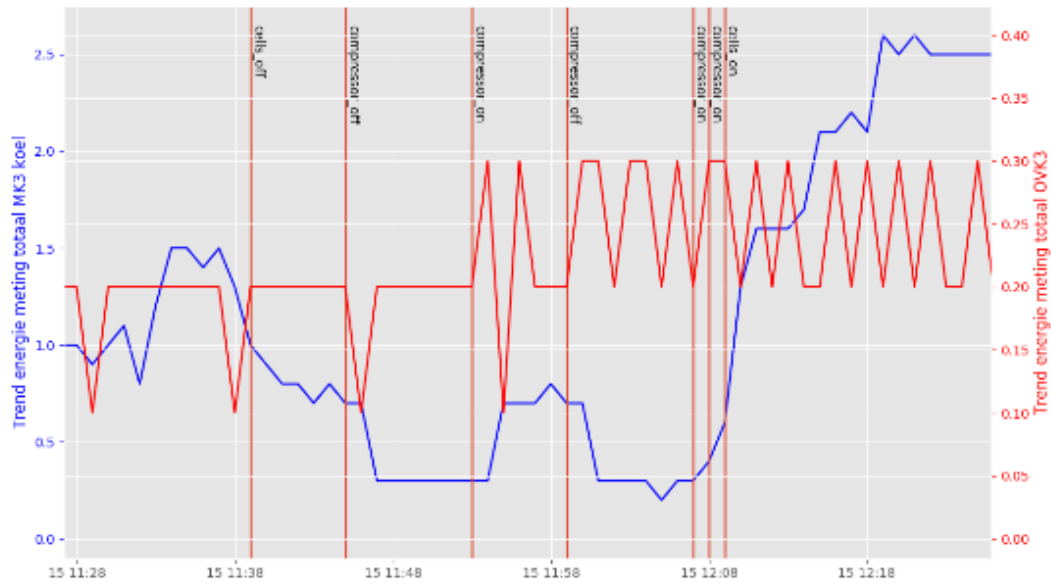
Voor de vijfde test zijn de handelingen gelijk echter is de afgeschakelde tijd 90 min. In tegenstelling van de eerste vier test is de vijfde test meer gericht op de temperatuur sensitiviteit dan op de ramp up en ramp down tijd van de machinekamer.



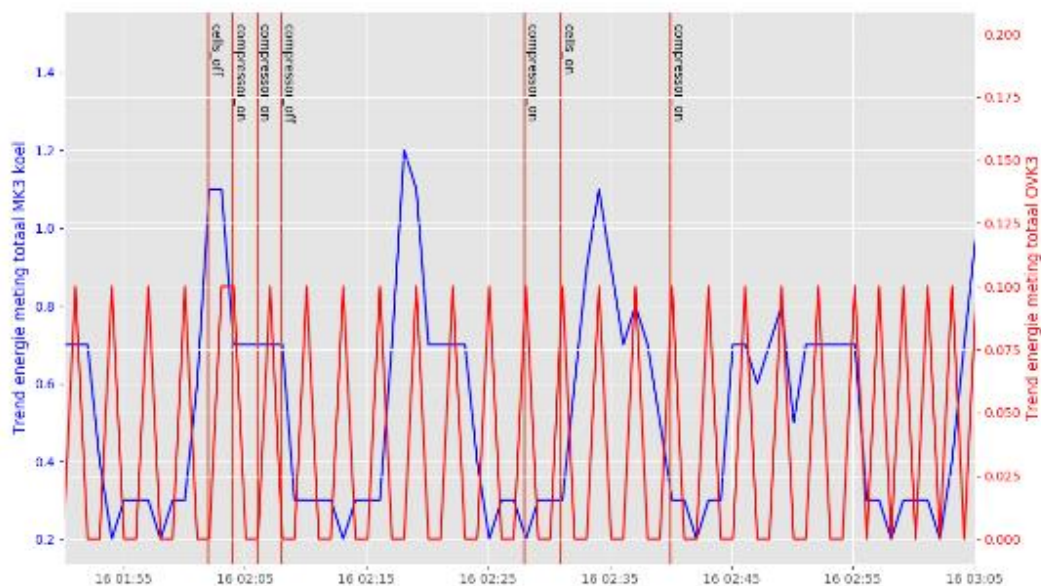
Figuur 13: Testresultaten (1/4) op 11-8-2017



Figuur 14: Testresultaten (2/4) op 14-8-2017



Figuur 15: Testresultaten (3/4) op 15-8-2017



Figuur 16: Testresultaten (4/4) op 16-8-2017

2017-8-11: Deze metingen zijn in de verdere analyse genegeerd omdat de datametingen niet betrouwbaar bleken te zijn vanwege een data-upload verandering.

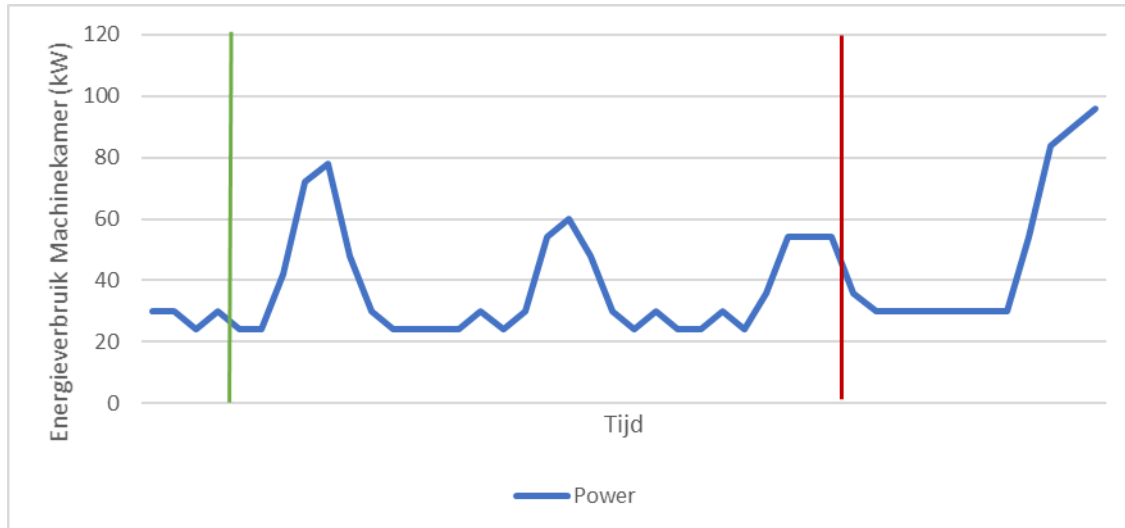
2017-8-14: De metingen vertonen een stapsgewijze vermindering in consumptie van 1.75 KWh/min tot 0.5 KWh/min. Tevens is duidelijk te zien dat de compressoren 1 en 8 afschakelen tijdens de testperiode. Zodra de cellen weer ingeschakeld zijn loopt de elektriciteitsconsumptie snel op en er volgt een overshoot van 0.5 KWh/min tijdens een korte periode.

2017-8-15: De metingen vertonen een vergelijkbaar beeld met de metingen van 2017-8-14.

2017-8-16: Deze meting vertoont een ander beeld dan de voorgaande tests. Hier is geen duidelijk zichtbare invloed van het af- en aanschakelen van de cellen. Opmerkelijk is dat de consumptie op een lager niveau zit dan de voorgaande dagen. Na nader onderzoek bleek dat slechts cel 15 een

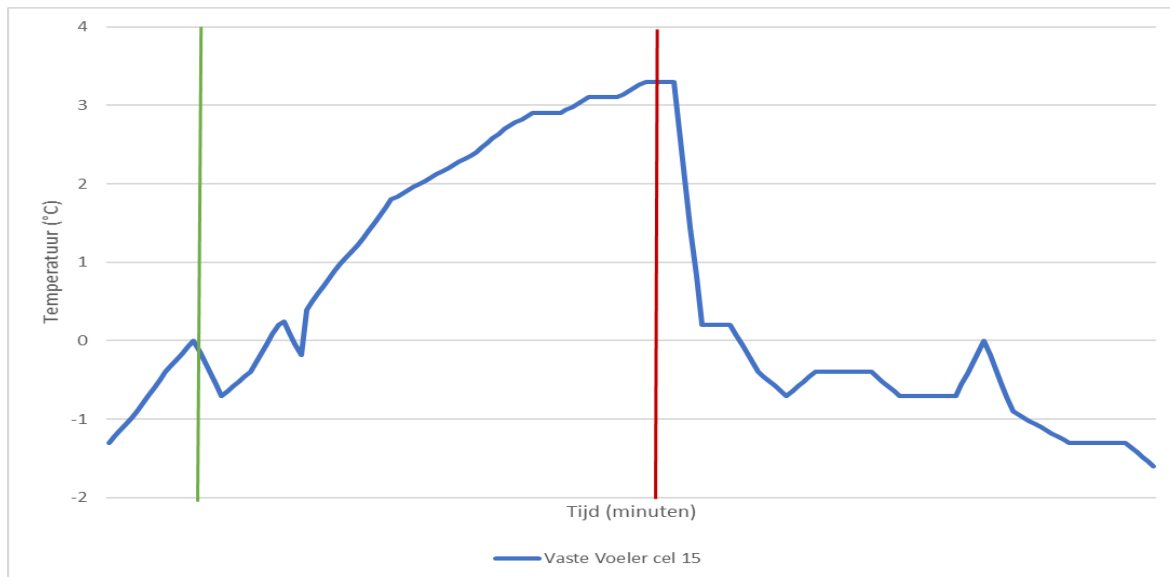
koelingsvraag had. De invloed van 1 cel is onvoldoende voor een zichtbaar effect. De voorgaande dagen hadden cellen 15, 16, 18, 19, 53 en 54 allen een koelingsvraag voor het koelen van aardbeienplantjes. Dit verklaart de significant lagere elektriciteitsconsumptie van MK3.

Uit bovenstaande experimenten waar alle draaiende koelcellen zijn uitgezet is de impact op het energieverbruik geanalyseerd. Hieruit volgt een ander flexibiliteitsprofiel dan bij het sturen op de energie input.



Figuur 17: Energieverbruik van de machinekamer, test 16-8-2017

Vanuit Figuur 17 is te zien dat het energieverbruik in de testperiode hoger ligt dan in het geval van het PowerHouse-sigitaal. De groene lijn geeft het moment aan dat de cel uitgezet wordt, de rode lijn geeft het moment aan dat de cel weer aan gaat. Daarnaast zijn er pieken te zien van compressoren die nog aan gaan terwijl er geen koelvraag is vanuit de cellen. Dit komt omdat het systeem nog steeds de druk in het drukvat handhaaft, om zo de normale koelcyclus sneller te kunnen hervatten. In alle testen is ditzelfde patroon van compressoren die de druk handhaven zichtbaar. Het gemiddelde energieverbruik tijdens een test ligt tussen de 27 en 36 kW (Gemeten over de testen op 14-8-2017, 15-8-2017, 16-8-2017, 17-8-2017).



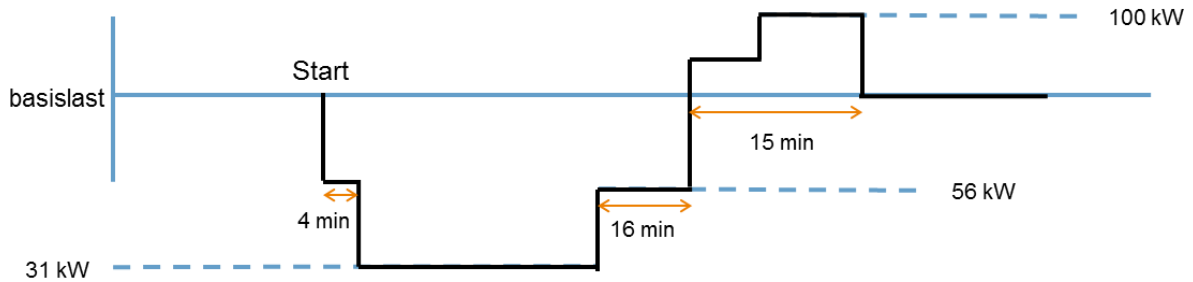
Figuur 18: Temperatuur van de vaste voeler in koelcel 15, test 17-08-2017

De hoeveelheid energie die de koelcel initieel weer nodig heeft om op de setpoints te komen wordt voornamelijk gedreven door de hoogte van de temperatuur in de koelcel. De test op 17-08 was uitgevoerd voor 1,5 uur om een grote temperatuursopbouw te realiseren. Uit de test bleek dat in dit specifieke geval er 66 minuten voor nodig is om weer rond het setpoint uit te komen ($1,4 \pm 0,4$ °C). Dit is voor alle experimenten bepaald (Tabel 3) en uit de resultaten blijkt dat de spreiding van de data zodanig is dat voor deze experimenten geen conclusie getrokken kan worden over de overshoot na het uitzetten van een koelcel.

Experiment Datum	Tijd tot setpoint (min)	Temperatuurverschil (°C)	T/min
14-08-2017	66	4,4	0,07
15-08-2017	14	2,5	0,18
16-08-2017	24	3,9	0,16
17-08-2017	24	2	0,08

Tabel 3: Temperatuurontwikkeling van koelcel 15 o.b.v. uitgevoerde ontwikkelingen

Een analyse van de temperatuur in koelcel 15 na PowerHouse-signalen geeft een beeld van het gedrag van deze koelcel bij een temperatuurverschil kleiner dan 2,5 °C. Gemiddeld duurt het dan 5 minuten (met 6 minuten standaarddeviatie) om de temperatuur terug op het set point te krijgen. Ook in deze analyse is er geen duidelijke relatie tussen het temperatuurverschil en de tijd tot het setpoint. Net zoals in de black-box analyse nemen we aan dat er 15 minuten aan overshoot is. In Figuur 19 zijn de resultaten van deze analyse weergegeven in een flexibiliteitsprofiel. Het is zichtbaar dat de ondergrens van dit profiel hoger ligt en dat de responstijden langer zijn. Daarnaast is het energieverbruik tijdens de overshoot lager, maar dit kan verklaard worden doordat het algemene energieverbruik in de testperiode lager ligt.



Figuur 19: Flexibiliteitsprofiel bij het sturen op de toevoer van koude lucht naar de koelcellen

Parameter	14-08-2017	15-08-2017	16-08-2017	17-08-2017	Gemiddelde
Reactietijd (start)	4	8	2	1	4
Reactietijd (eind)	6	2	24	33	16
Ondergrens energieverbruik	35	30	36	27	31
Energie opstarten compressoren	56	57	52	42	48
Energieverbruik 15-min overshoot	126	131	68	47	100
Aantal cellen actief	9	9	5	5	7

Tabel 4: Resulterende parameters voortkomend uit testen met sturing op de koude lucht toevoer

In Tabel 4 zijn de parameters weergegeven die tijdens de experimenten zijn gemeten. Er zijn in dit geval slechts 4 experimenten uitgevoerd. Dit geeft onvoldoende statistische significantie om volledige conclusies uit te trekken. Daarom zijn voor ieder experiment de individuele meetwaarden weergegeven. In vergelijking met de “black box analyse” is te zien dat de reactietijd (start) langer is en dat de ondergrens van het energieverbruik hoger is. Dit komt doordat in deze situatie de compressoren aan blijven staan. Daarnaast is de reactietijd (eind) en het energieverbruik van de overshoot lager, dit komt onder andere doordat er minder cellen aanstaan en daardoor het basis energieverbruik lager is. Daarnaast is in de testperiode de helft van de cellen leeggehaald, dit heeft een zichtbaar effect op de resultaten met betrekking tot de eind reactietijd en het energieverbruik nadat de cellen weer zijn aangezet.

Bij deze experimenten is ook gekeken naar de impact van het uitzetten van de cel op de temperatuur van het product (de “Product Warm”, PW, sensor, Tabel 5). In dit geval ging het om aardbeienplanten met een streef temperatuur van $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. In de testen is de temperatuur van deze sensor met $0,1 - 0,6$ graden toegenomen is. Het is ook te zien dat de snelheid waarmee de temperatuur toeneemt afhankelijk is van de begintemperatuur. Bij een groter verschil tussen de temperatuur in de koelcel en de temperatuur van het product, zoals op 15-08-2017, neemt de temperatuur sneller toe. Uit deze data volgt de hypothese dat de temperatuur van het product maximaal $0,5$ graden stijgt in een periode van $1,5$ uur als de starttemperatuur rond de streef temperatuur ligt ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dit betekent dat, indien de producttemperatuur dagelijks $0,5$ graden mag stijgen, een cel veilig $1,5$ uur uitgezet kan worden. De daadwerkelijke grenzen dienen aangegeven te worden vanuit de flexibliteitaanbieder.

Experiment Datum	Temperatuur cel/product bij start (°C)	Temperatuurstijging Product (°C)	Duur experiment (min)	°C /min Product
14-08-2017	-1,3/-1,1	0,4	30	0,010
15-08-2017	5,1/-0,1	0,6	31	0,020
16-08-2017	-1,3/-0,8	0,1	29	0,003
17-08-2017	-0,1/-1,1	0,6	80	0,001

Tabel 5: Temperatuurontwikkeling van koelcel 15 en het product voor de testsituaties

We passen een simulatie toe om enig inzicht te krijgen in de kosten van de overshoot. We bepalen de gemiddelde waarde van flexibiliteit op basis van realistische reactie en overshoot tijden. Als we naar de bovenstaande figuur kijken dan reageert de energieconsumptie na 4 minuten op het afschakel signaal en 16 minuten na het “opschakel” signaal. Vervolgens krijgen we voor een periode van 15 minuten een “overshoot”. De vraag is of de waarde creatie van het afschakelen voldoende is voor de compensatie van de overshoot kosten.

De onderstaande tabel geeft de resultaten aan voor 3 scenario’s:

1. Het optimale scenario, hier reageert het systeem zonder vertraging én er is geen overshoot
2. Het scenario zoals vastgesteld in de “black box” analyse, er is 1 minuut vertraging bij opstarten én er is een overshoot van 15 minuten (op 118 kW)
3. Het scenario zoals empirisch vastgesteld voor het uitschakelen van de koelcellen. Er zijn 4 minuten vertraging bij het inschakelen én er is een overshoot van 15 minuten (op 100 kW)

Vertraging (min)	Overshoot tijd (min)	Flex spread (€)	Overshoot (€)
0	0	16,85	0
1	15	14,94	-7,25
2	15	13,07	-6,60
3	15	11,19	-7,29
4	15	10,16	-7,01
5	15	8,04	-7,95

Tabel 6: Prijsspread implicaties overshoot sturen op koele lucht toevoer

Wat opvalt is dat de ‘Vertraging’ een flinke invloed heeft op de ‘Flex spread’. Hoe kleiner de vertraging tussen signaal en activering, hoe meer waarde er te halen is uit de flexibiliteit. De kosten van de overshoot zijn onafhankelijk van de vertraging.

Rekenvoorbeeld

In de tabel hierboven wordt de situatie met vertraging 1 minuut en overshoot-tijd 15 minuten genomen. Daarnaast worden de volgende assumpties gemaakt: basislast = 80 kWh, afschakellast = 31 kWh, overshootlast = 100 kWh.

In dit geval zijn de opbrengsten en kosten:

$$\text{Flex waarde} = 49 \text{ kWh} * € 16,85 \text{ per MWh} * 0,5 \text{ uur} * 0,001 \text{ kWh/MWh} = € 0,41$$

$$\text{Overshoot kosten} = 20 \text{ kWh} * € 7,25 \text{ per MWh} * 0,25 \text{ uur} * 0,001 \text{ kWh/MWh} = € 0,04$$

In dit geval zijn de overshoot-kosten significant gereduceerd, en blijft een netto-waarde van € 0.37 per afschakelmoment over. Echter, bij langere reactietijden worden deze getallen snel anders. Bij 5 minuten geldt bijvoorbeeld:

$$\text{Flex waarde} = 49 \text{ kWh} * \text{€ } 8,04 \text{ per MWh} * 0,5 \text{ uur} * 0,001 \text{ kWh/MWh} = \text{€ } 0,20$$

$$\text{Overshoot kosten} = 20 \text{ kWh} * \text{€ } 7,95 \text{ per MWh} * 0,25 \text{ uur} * 0,001 \text{ kWh/MWh} = \text{€ } 0,04$$

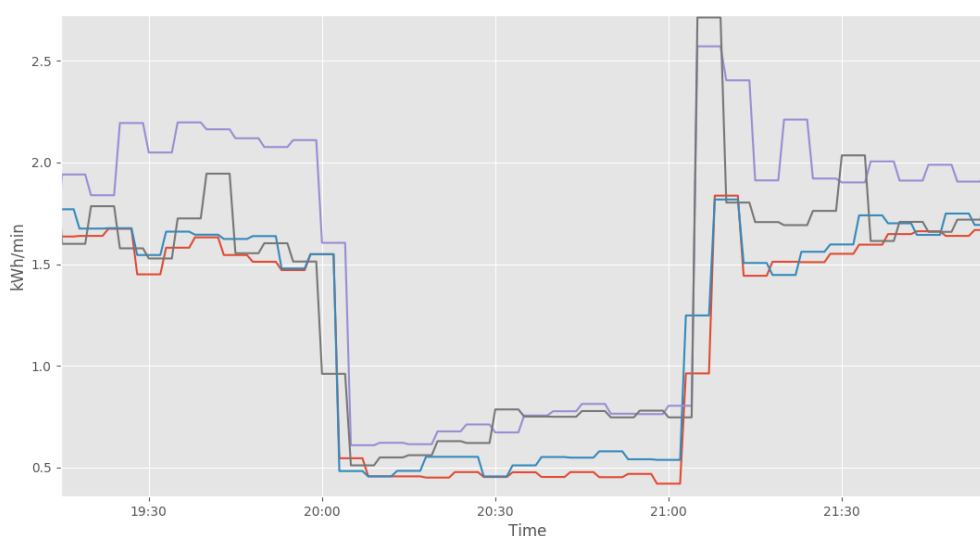
De overshootkosten blijven hier ongeveer gelijk, maar de flex waarde wordt significant gereduceerd. Dit maakt het relatieve effect van de overshoot ten opzichte van de flexwaarde groter. Netto blijft er € 0.16 over, een reductie van ruim 55%.

Hoewel er in theorie meer mogelijkheden zijn om op celniveau te sturen, zal dit ook de vertraging vergroten. Het vinden van het optimale punt wat betreft afschakelmethode, overshoot en vertraging is een belangrijke onderzoeksvraag voor de toekomst.

3.4.1 Volledige test VPP

Tenslotte is een volledige test van de VPP uitgevoerd. Hierbij heeft Priogen de volledige controle genomen over het biedingsgedrag op de day-ahead markt, en volledige controle over het spersignaal door communicatie via de API van I-Real. Actieve tussenkomst van de andere consortiumpartners was voor deze test dus niet meer nodig.

Op vier verschillende dagen is een reductiesignaal verstuurd om 19:58, gevolgd door een terugkeer naar de normale staat om 21:00. Voor de analyse is specifiek gekeken naar cellen 31-44 Het consumptiepatroon van deze cellen is te zien in onderstaande grafiek.



Figuur 20: Resultaten volledige test VPP

Op basis van de grafiek is duidelijk dat het signaal correct is aangekomen bij Van Acht, en dat na enkele minuten het stroomverbruik significant afneemt. Vanaf 21:00 neemt het stroomverbruik weer toe, met eerst een overshoot en vervolgens een terugkeer naar een niveau rond de basislast. Op technisch niveau is de test dus geslaagd: het stroomverbruik volgde de acties die door de aggregator verstuurd werden.

Ten opzichte van de eerdere testen valt op dat de overshoot wat korter lijkt, met een terugkeer naar de basislast binnen 10 minuten. Echter, de omvang van de overshoot is volatieler dan eerder gemeten. De omvang van de overshoot uiteen van vrijwel nul naar zeer hoog. Onderstaande tabel geeft een detailbeeld.

	Gemiddelde consumptie (kWh / min)			Omvang afschakeling	Omvang overshoot
	Basislast	Afschakeling	Overshoot		
	19:48 - 19:58	20:03 - 21:00	21:05 - 21:10		
2017-11-23	1.497	0.468	1.400	-1.029	-0.097
2017-11-24	1.558	0.521	1.533	-1.037	-0.025
2017-11-30	2.096	0.740	2.543	-1.356	0.447
2017-12-01	1.561	0.690	2.561	-0.872	1.000

Tabel 7: Resultaten volledige test VPP

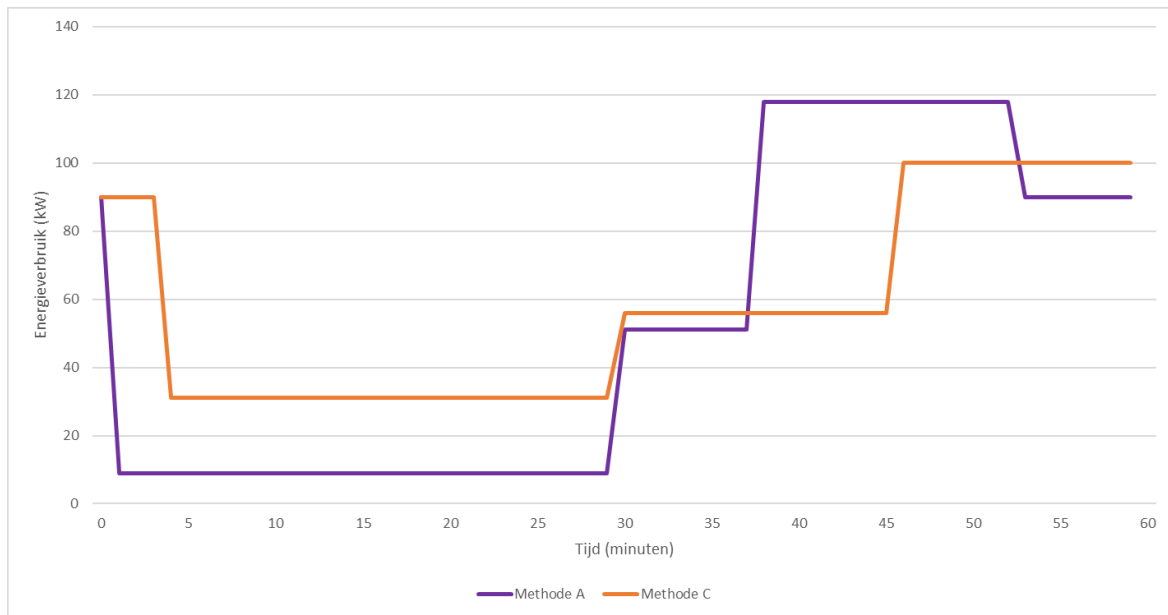
Om te bepalen wat de kosten en opbrengsten van een dergelijke strategie zijn is een jaar aan prijsdata geanalyseerd. Deze gegevens zijn toegepast op het gemiddelde van de vier live-testen hierboven. Hieruit komt een basislast van 101 kWh, een last tijdens afschakeling van 36 kWh en een last tijdens het uur van de overshoot van 121 kWh. Op basis van een jaar prijsdata geeft dit een kostenbesparing van € 1,98 per afschakeling.

In totaal wordt er naar aanleiding van de afschakeling minder elektriciteit gebruikt dan als er niet afgeschakeld wordt. Dit betekent dat de afschakeling gedeeltelijk profiteert van een inefficiëntie in het huidige bedrijfsproces; met minder elektriciteit kan hetzelfde bedrijfsproces worden gedraaid. Het is moeilijk om exact te bepalen hoeveel van de besparing komt uit stroombesparing en hoeveel uit prijsvoordeel, maar gegeven dat het prijsverschil tussen het afschakeluur en het overshootuur gemiddeld € 3.12 per MWh is en dat de reductie tijdens het afschakeluur $101 - 36 = 65$ kWh is, zal het prijsvoordeel maximaal $0.065 \times 3.12 = € 0.20$ opleveren en de stroombesparing minimaal $1.98 - 0.20 = € 1.78$. Het grootste gedeelte van de besparing zit dus in een lager stroomverbruik.

3.4.2 Conclusies

Er zijn verschillende manieren om bij een koelhuis flexibiliteit te ontsluiten (Figuur 4). Voor al deze manieren kan op basis van data-analyse en experimenten de flexibiliteit in het koelhuis bepaald worden. Hoe dieper in het proces van het koelhuis de flexibiliteit ontsloten wordt hoe complexer de relatie tussen het stuursignaal wordt en dus hoe onzekerder de ontsloten flexibiliteit is. Om de onzekerheid te verminderen kan meer data worden ontsloten en meegenomen in de analyse.

In het voorgaande hoofdstuk zijn 2 methoden geanalyseerd om de flexibiliteit aan te sturen: A. Control the energy input en C. Control the cool air demand. Deze methoden hebben beide een ander flexibiliteitsprofiel (Figuur 19). Beide methoden worden gebruikt om het elektriciteitsgebruik van het koelhuis te verlagen als de elektriciteitsprijs hoog is. Daarom kunnen we de methoden vergelijken voor het sturen op de onbalansmarkt. In een situatie waar voor 30 minuten (2 PTE) de onbalansprijs hoog is krijgen we een verschillend gedrag. Methode A heeft een lager dieptepunt en verbruikt daarom gemiddeld 70% minder energie (13,5 kWh) in de 'dure' periode. Dit moet echter weer ingehaald worden en daarom verbruikt Methode A gemiddeld 23 % meer energie (8,5 kWh) in het opvolgende half uur. De onbalansprijs in opeenvolgende tijdseenheden zijn regelmatig positief gecorreleerd, dit betekent dat in de opvolgende tijdseenheden methode C beter presteert dan methode A. Uit de simulatie met onbalansprijzen blijkt dat methode A beter presteert om op onbalans te sturen dan methode C. De winst die door methode A wordt gemaakt in de onbalansperiode is hoger dan de extra verlies die wordt gedraaid door de overshoot. De overshoot verlaagt het financiële potentieel van sturen op onbalans wel significant. Het is dan ook belangrijk om te kijken naar mogelijkheden om de overshoot te verlagen of verplaatsen.



Figuur 21: Vergelijking Methode A en Methode C op het gebruik op de onbalansmarkt

Daarnaast is in dit hoofdstuk duidelijk geworden dat het bepalen van het flexibiliteitsprofiel van een koelhuis niet triviaal is en dat er specifieke kennis nodig is om dit profiel op te stellen. Dit omvat kennis van data-analyse en statistische methoden, maar ook kennis van het bedrijfsproces zelf.

4 Flexibiliteitsinterface

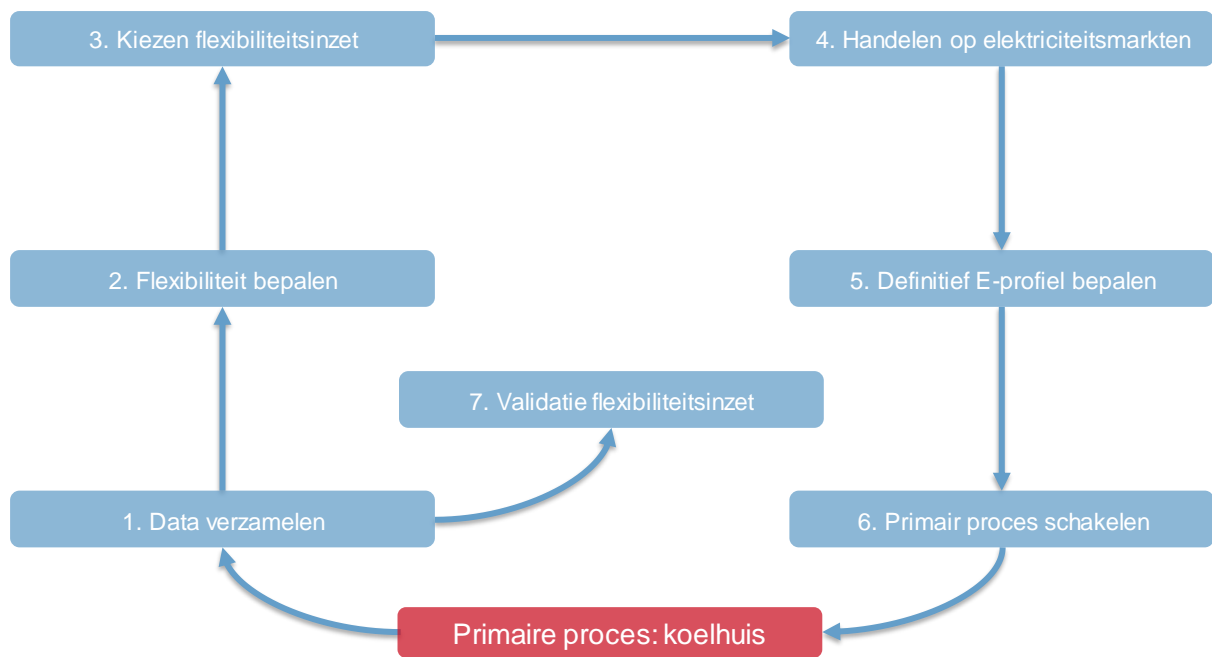
Met het ontsluiten van één koelhuis wordt natuurlijk niet genoeg flexibiliteit gecreëerd om fluctuaties in bijvoorbeeld wind en zon op te vangen; hiervoor is opschaling nodig. Om deze opschaling mogelijk te maken is het noodzakelijk om op een generieke manier de flexibiliteit van primaire processen zoals die van koelhuizen te ontsluiten. Daarvoor is er naast een algemene methodiek voor flexibiliteitsanalyse ook een generieke interface nodig om op een schaalbare manier flexibiliteit te ontsluiten: een koelhuis moet een generiek ‘flexibiliteit-stopcontact’ hebben, waar alle Aggregators hun ‘flexibiliteit-stekker’ in kunnen steken. De interface bevat de parameters die het algoritme nodig heeft om zijn optimalisaties te doen.

4.1 Taken, rollen en verantwoordelijkheden

Om tot flexibiliteitontsluiting te komen zijn er verschillende taken die uitgevoerd moeten worden:

1. *Verzamelen van elektriciteitsmetingen, regelruimte en andere belangrijke parameters uit het primaire proces.*
Bijvoorbeeld: Hoeveel machinekamers of koelcellen kunnen aangestuurd worden?
2. *Bepalen van de flexibiliteit op basis van deze metingen en randvoorwaarden uit het primaire proces*
Op basis van metingen en randvoorwaarden kan de systeemtoestand bepaald worden. Dit dient als input voor het bepalen van de momentane flexibiliteit.
Bijvoorbeeld: Bepalen van de basislast van een machinekamer. Bepalen welke na-ijl effecten er zijn als een machinekamer een half uur uitgezet wordt en er aardbeienplantjes gekoeld worden.
3. *Bepalen welke flexibiliteit gebruikt wordt bij het handelen op de elektriciteitsmarkt*
Bijvoorbeeld: Het gebruik van flexibiliteit heeft gevolgen voor de systeemtoestand en daarmee het niet beschikbaar zijn van flexibiliteit op een ander moment. Welke flexibiliteit past op een bepaald moment het beste in het portfolio van de Aggregator?
4. *Handelen met flexibiliteit op de elektriciteitsmarkt*
Mogelijk op verschillende markten, zoals day-ahead, intra-day en onbalans. Elk van deze markten, en de toestand daarvan, geeft eisen aan het type flexibiliteit dat nodig is.
5. *Definitief E-profiel bepalen op basis van de ingeplande flexibiliteit binnen het portfolio op de verschillende markten en per flexibiliteraanbieder*
Bijvoorbeeld: het profiel dat het aankomende uur gevolgd dient te worden door van Van Acht, waarin de flexibiliteitsinzet is opgenomen.
6. *Bij inzet van flexibiliteit schakelen door een stuursignaal naar het primaire proces te sturen*
Bijvoorbeeld een koelcel uitzetten of weer aanzetten.
7. *Valideren of primaire proces het stuursignaal volgt.*
O.a. nodig om bij fouten te achterhalen waar deze zijn ontstaan en wat de oorzaak is. Dit heeft te maken met wie in de keten waarvoor (financieel) verantwoordelijk is. Bijvoorbeeld: Het stuursignaal is wel aangekomen, maar genegeerd vanwege nieuw ontstane eisen in het primaire proces.

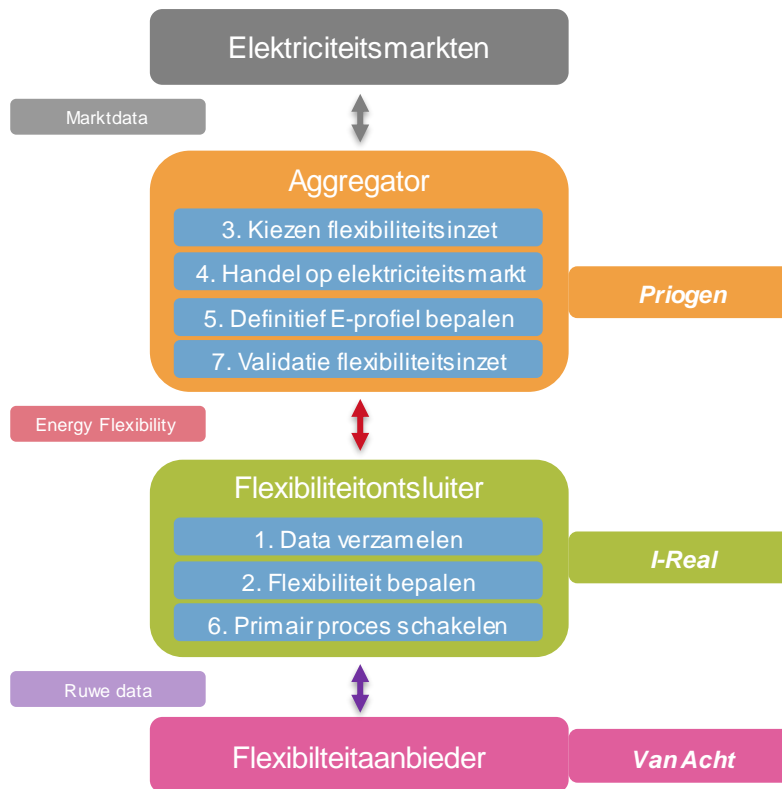
Deze taken zijn weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 22: Taken t.b.v. flexibiliteitontsluiting voor een primair proces

Deze taken worden door verschillende rollen in de keten ingevuld. Deze rollen worden typisch gedefinieerd op basis van expertise in de keten. Binnen dit project was de beoogde taakverdeling als volgt: het primaire proces wordt door Van Acht ingevuld, de flexibilitetaanbieder. De taak van flexibiliteitsinzet, handelen op de elektriciteitsmarkt en validatie van de inzet ligt logischerwijs bij de Aggregator, Priogen. Data verzamelen, primair proces schakelen en flexibiliteit bepalen ligt vervolgens bij de partij die de flexibiliteit ontsluit, I-Real.

Dit geeft het volgende plaatje voor rollen gericht op de marktpartijen in de keten:



Figuur 23: Taken, rollen en marktpartijen uit het project weergegeven in de flexibiliteitsketen.

In de figuur zijn drie interfaces te herkennen. De interface tussen de markt en de aggregator (grijze pijlen: marktdata) is een bestaande (en gedocumenteerde, bijvoorbeeld USEF) interface en valt buiten de scope van dit project. De andere twee interfaces moesten in dit project worden ontwikkeld en worden hieronder verder uitgewerkt.

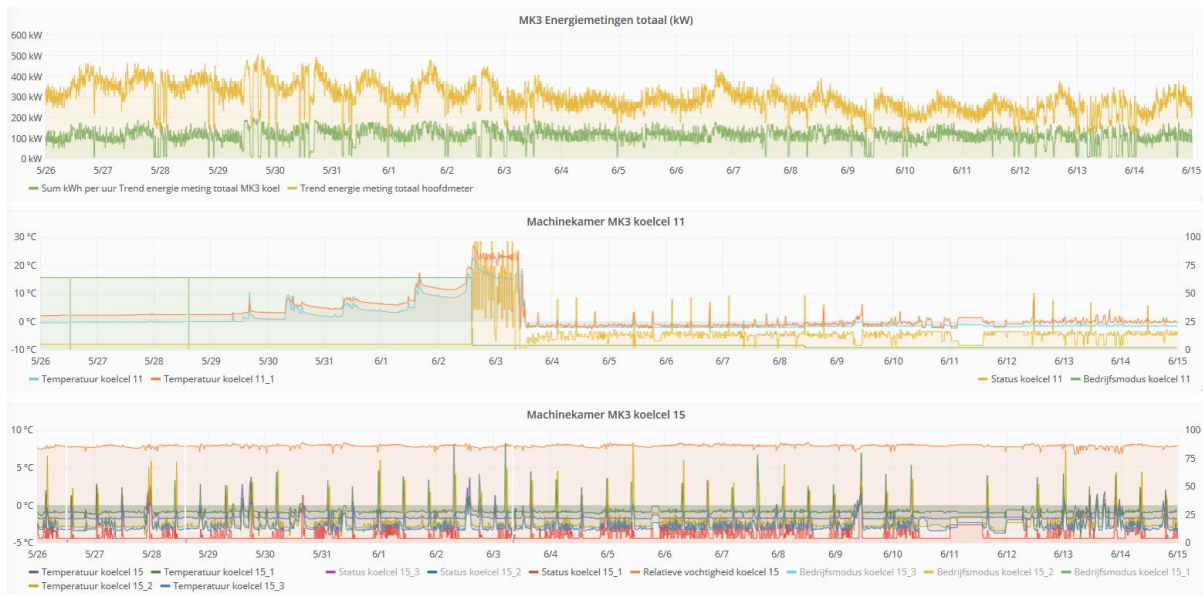
4.2 Interface tussen Flexibiliteitaanbieder en Flexibiliteitontsluiter

De interface tussen de Flexibiliteitaanbieder en Flexibiliteitontsluiter (paars) beschrijft voornamelijk de ruwe data die uit het primaire proces ontsloten moet worden. Dit betreft metingen van het primaire proces, zoals energie- en vermogensmetingen en andere metingen van proceseigenschappen.

Omdat initieel niet bekend was welke informatie precies nodig is voor het bepalen van de flexibiliteit, was de opdracht aan de Flexibiliteitontsluiter om zoveel mogelijk gegevens te ontsluiten, zodat er voor de flexibiliteitsanalyse zoveel mogelijk informatie beschikbaar was.

Alle ruwe data werd op verschillende frequenties gesampled (afhankelijk van wat hardware- en softwarematig mogelijk was, zie hiervoor paragraaf 2.1) en beschikbaar gemaakt via twee wegen:

- Via CSV-bestanden, die bijvoorbeeld in Excel of SQL verwerkt kunnen worden,
- Via de RealM2M applicatie van i-Real, waardoor de data via een API toegankelijk gemaakt werd.



Figuur 24: Vermogen-, temperatuur en statusmetingen van Machinekamer 3 en koelcel 11 en 15

Op basis van de data-analyse uit hoofdstuk 3 blijkt dat de volgende metingen noodzakelijk zijn om de flexibiliteit te kunnen bepalen per variant uit de indeling in Figuur 4:

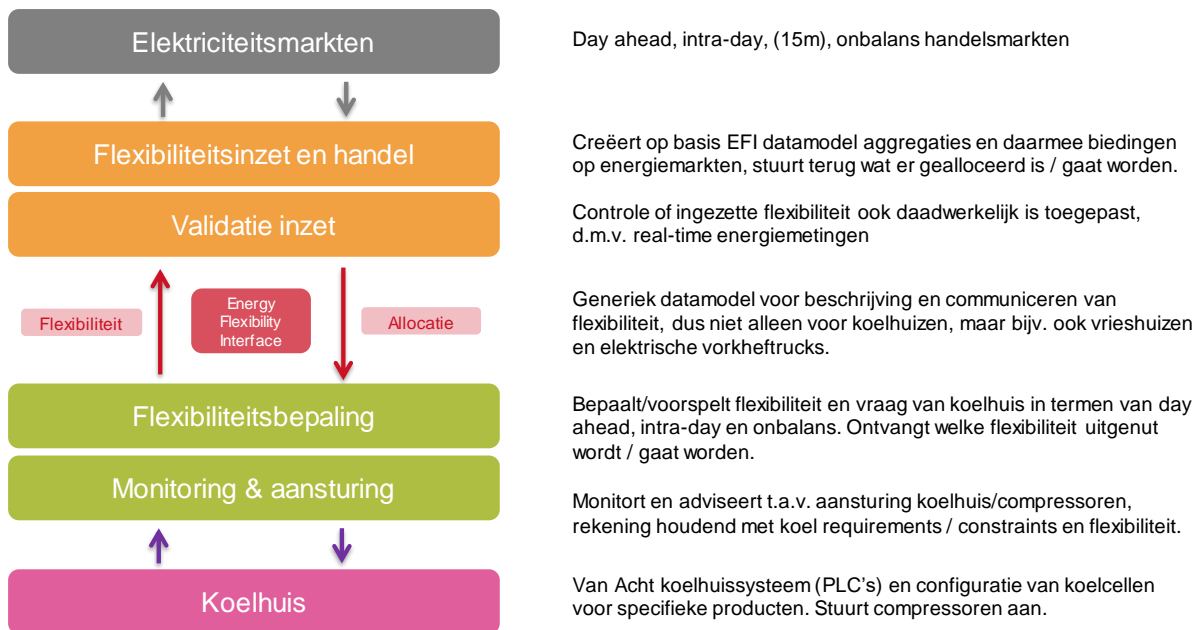
Variant	Metingen, sensoren / validatie / actuatoren
A: Control the energy input (powerhouse)	<i>Sper-signaal voor de gehele installatie</i>
B: Control the cool air supply (compressors)	Energiemetingen / <u>statusmeting compressoren</u> / <i>sper-signaal per compressor</i>
C: Control the cool air demand	Energiemetingen, Cel-temperatuur / <u>statusmeting koelcel</u> / <i>sper-signaal per koelcel</i>
D: Control the cell temperature	Energiemetingen, Cel-temperatuur, product en product-eigenschappen / <u>statusmetingen koelcel</u> / <i>temperatuur-signaal per koelcel</i>

Tabel 8: Noodzakelijke metingen voor elk van de varianten

Ten behoeve van stap 5, de controle of de inzet van flexibiliteit ook uitgevoerd wordt, is het noodzakelijk om te weten of bijvoorbeeld de installatie uitgeschakeld is (de statusmeting). Deze zijn onderstreept weergegeven in de tabel. Bij Van Acht wordt dit gedaan door te controleren of elk van de compressoren van een machinekamer uit staan. Deze meting moet in dat geval dus toegevoegd worden aan het lijstje. Voor een schaalbare oplossing dient deze statusmeting rechtstreeks opgevraagd te kunnen worden (bijvoorbeeld door rechtstreeks uit de PLC te lezen).

4.3 Interface tussen Flexibiliteitontsluiter en Aggregator

De interface tussen de Flexibiliteitontsluiter en Aggregator (rood in de figuren) is in het onderstaande figuur uitgelicht. Deze interface wordt de Energy Flexibility Interface (EFI) genoemd. De EFI dient de flexibiliteit die bepaald is door de ontsluiter, op een manier aan te bieden dat de aggregator daar gebruik van kan maken voor handel op de elektriciteitsmarkten. Daarom wordt er ook in de terminologie van deze markten informatie uitgewisseld. Dit houdt in dat het handelsvolume en de duur daarvan uitgewisseld moet worden.

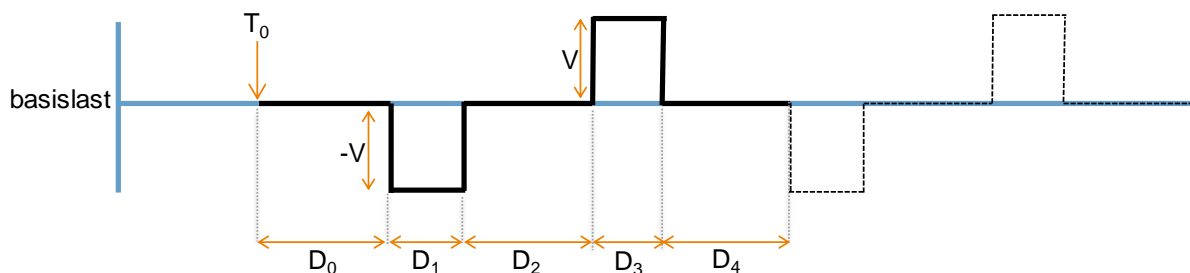


Figuur 25: Locatie Energy flexibility interface(EFI) binnen de keten

De informatie die uitgewisseld wordt bevat informatie over:

- Wanneer kan er afgeschakeld/opgeschakeld worden?
- Hoeveel kan er afgeschakeld worden?
- Hoelang kan er afgeschakeld worden?
- Wat is het effect van inschakelen na afgeschakeld te zijn?
- Wanneer kan er weer afgeschakeld worden?

Om deze informatie op een logische manier uit te wisselen, is de volgende aanpak bedacht:



T_0 = Start tijdstip
 V = Volume kWh
 D_x = duration x, duur van een periode
 P = Price, prijs van volume koop/verkoop

Figuur 26: Flexibiliteitsmodel

Het figuur beschrijft een algemeen flexibiliteitsmodel. Dit model is van toepassing op verschillende schaalniveaus: een individuele cel, een machinekamer, en de gehele installatie. Daarnaast is het ook van toepassing op andere vormen van flexibiliteit, zoals vrieshuizen, vorkheftrucks of gemalen. Voor de leesbaarheid wordt in de rest van het hoofdstuk machinekamer gebruikt.

De basis van de grafiek is de basislast: het verwachte elektriciteitsgebruik van de machinekamer (of een onderdeel daarvan). Flexibiliteit wordt daarmee gedefinieerd als opzettelijke afwijking van deze

basislast. De grafiek beschrijft wat er gebeurt als (een deel van) de machinekamer wordt afgeschakeld:

- Starttijdstip van de flexibiliteit (T_0).
- Vanaf wanneer kan er afgeschakeld worden (D_0)
- Hoeveel volume betreft dit (V)
- Voor hoelang is dit volume beschikbaar (D_1)
- Wat gebeurt er nadat de machinekamer weer ingeschakeld wordt (D_2)
- Hoeveel meer wordt er geconsumeerd als er ingeschakeld wordt (V)
- En voor hoelang wordt er meer geconsumeerd (D_3)
- Hoelang duurt het voordat er weer nieuwe flexibiliteit beschikbaar is (D_4)

Daarnaast is het belangrijk voor de aggregator om te weten vanaf welke prijs de flexibiliteit ingezet mag worden (P).

Op elk moment zijn er meerdere varianten van dit flexibiliteitsmodel mogelijk, omdat er meerdere machinekamers en koelcellen zijn en elk van die koelcellen verschillende producten kunnen bevatten met bijbehorende eisen qua afschakelen. Dit betekent dat er meerdere modellen uitgewisseld moeten worden. Een voorbeeld van deze mogelijkheden is weergegeven in onderstaande tabel, waarbij het starttijdstip (T_0) voor elk van de varianten hetzelfde is:

	Variant 1 (id=1)	Variant 2 (id=2)	Variant 3 (id=3)	...
D_0	$D_0 = 0$ minuten $V = 0$	$D_0 = 60$ minuten $V = 0$	$D_0 = 120$ minuten $V = 0$	
D_1	$D_1 = 60$ minuten $V = -100$ kWh	$D_1 = 120$ minuten $V = -50$ kWh	$D_1 = 60$ minuten $V = -100$ kWh	
D_2	$D_2 = 60$ minuten $V = 0$	$D_2 = 60$ minuten $V = 0$	$D_2 = 60$ minuten $V = 0$	
D_3	$D_3 = 70$ minuten $V = +100$ kWh	$D_3 = 180$ minuten $V = +50$ kWh	$D_3 = 70$ minuten $V = +100$ kWh	
D_4	$D_3 = 360$ minuten $V = 0$	$D_3 = 300$ minuten $V = 0$	$D_3 = 240$ minuten $V = 0$	
$D_{...}$	

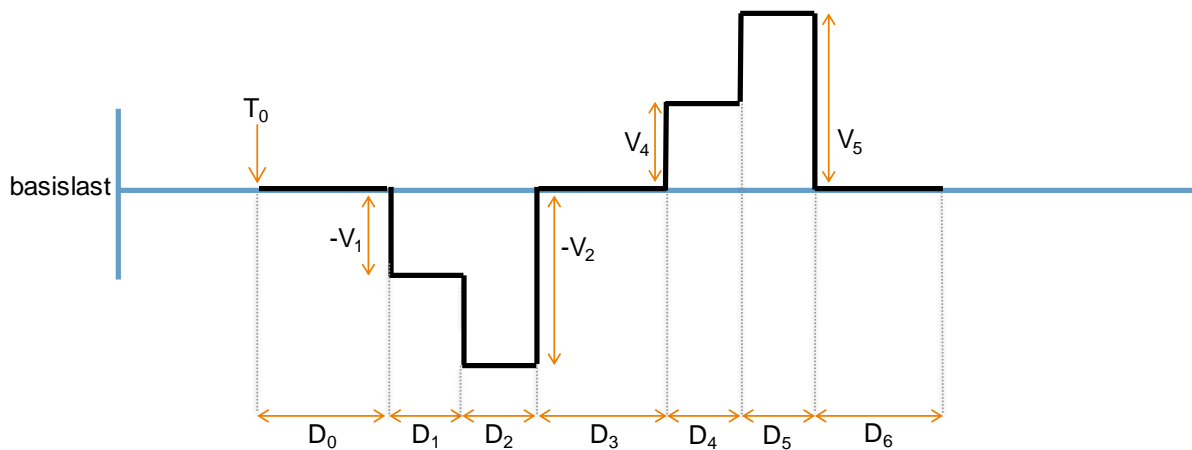
Tabel 9: Varianten flexibiliteitsmodel om verschillende flexibilitieopties te communiceren

Indien de aggregator een bepaalde variant wil inzetten, dient de aggregator van de variant (id) door te geven die gealloceerd wordt aan de flexibiliteitontsluiter. Daarbij moet ook aangegeven worden op welk tijdstip deze variant ingezet moet worden.

Allocatie	Waarde
Identificer	VANACHT1-MK3-XYZ
Tijd	20-09-2017 15:00:00

Tabel 10: Stuursignaal: Allocatie vanuit aggregator die gecommuniceerd wordt naar flexibiliteitontsluiter

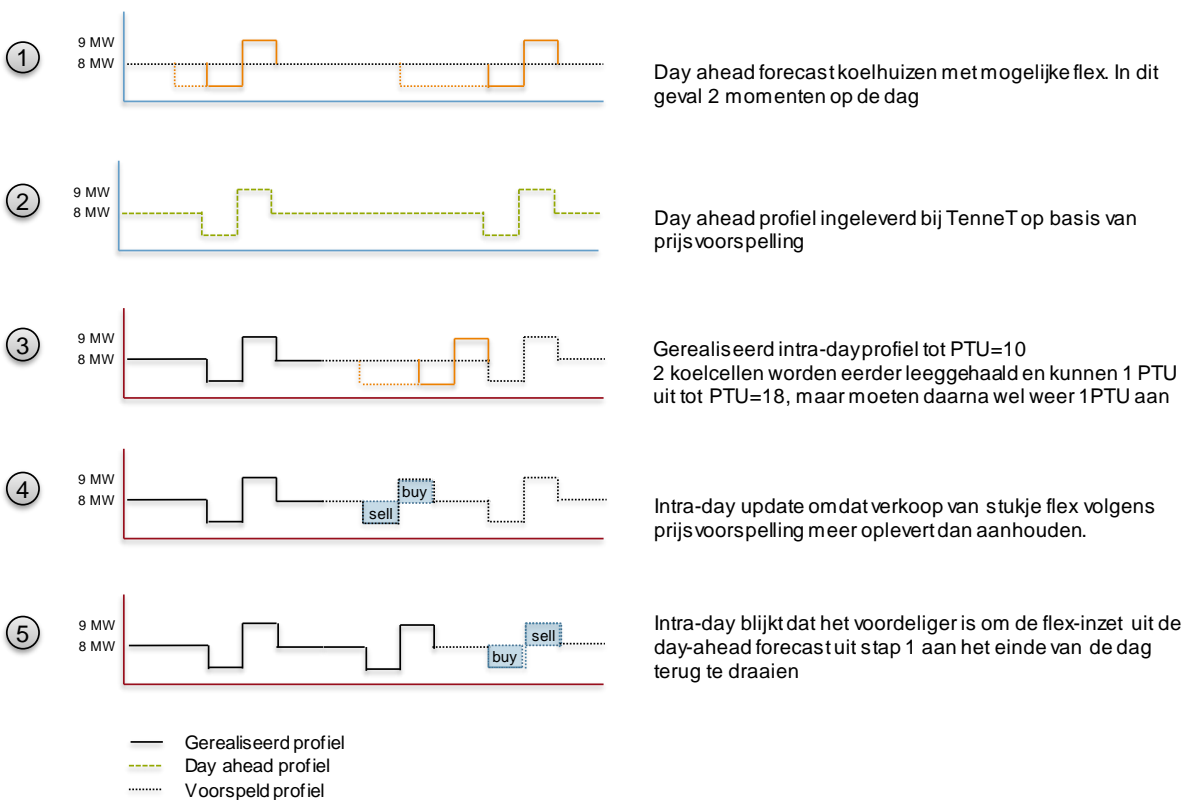
Daarnaast is het in werkelijkheid zo dat de energieconsumptie niet van het ene op het andere moment naar nul gaat als er afgeschakeld wordt: dit gebeurt gecontroleerd (in stappen), waardoor ook het consumptieprofiel getrapt naar nul (of een kleine hoeveelheid i.v.m. bijvoorbeeld verlichting die ingeschakeld blijft). Daarmee wordt de interface als volgt uitgebreid:



Figuur 27: Model van getrapte flexibiliteit

Figuur 27 geeft per Duration (D_x) het bijbehorende Volume (V_x) aan; daar waar de volumes niet in het figuur getekend zijn, is het betreffende volume nul ten opzichte van de basislast (zie ook de bovenstaande tabel).

Dit soort varianten kunnen meerdere keren op de dag van toepassing zijn. Een fictief voorbeeld van handel met deze beschreven flexibiliteit op een willekeurige dag, waarbij de voorspelde basislast hier als een horizontale lijn wordt weergegeven, zou als volgt kunnen zijn:

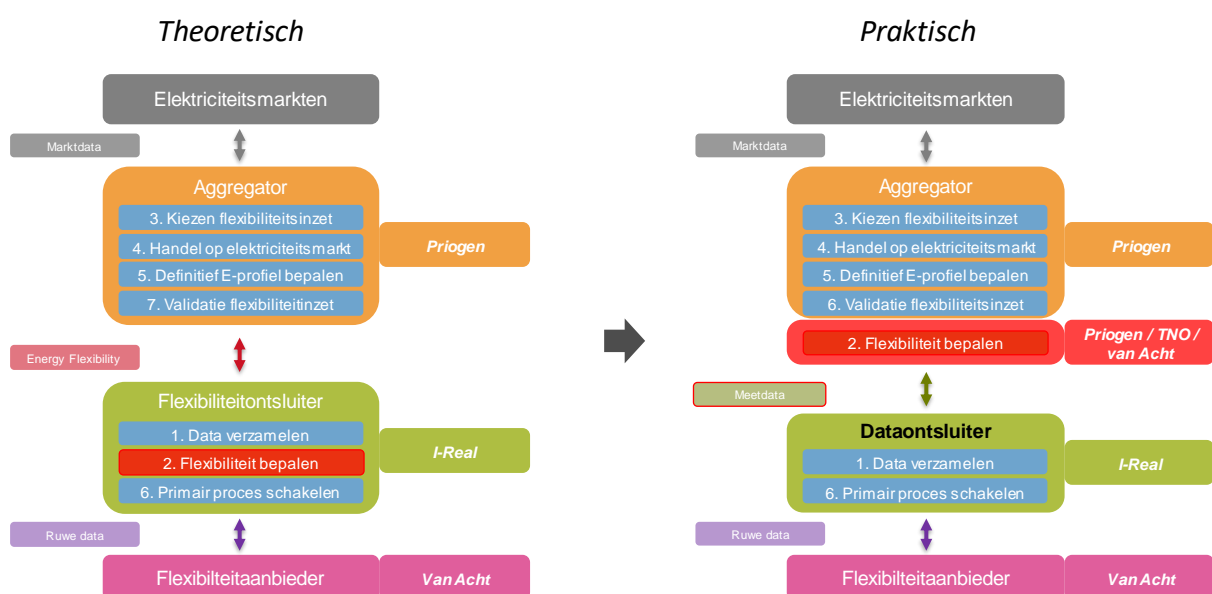


Figuur 28: Voorbeeld optimalisatie op de day-ahead en intraday markten

4.3.1 Praktische invulling Energy Flexibility Interface

Tijdens het project bleek de praktische invulling van de beschreven EFI-interface tussen de aggregator en de flexibiliteitontsluiter een uitdaging. Dit kwam doordat de voorgestelde rollen en de toewijzing van die rollen aan de partijen in het consortium verschilden met dat wat op papier het meest logisch leek. Dit kwam voornamelijk doordat voor het bepalen van de flexibiliteit van een koelhuis een statistisch model ontwikkeld moest worden. Dit model moet uitspraken doen over de voorspelde basislast en het gedrag van de koelinstallatie bij af- en opschakelen. De statistische kennis was bij Priogen aanwezig, maar zonder uitgebreide kennis van het koelproces kon dit model niet gemaakt worden.

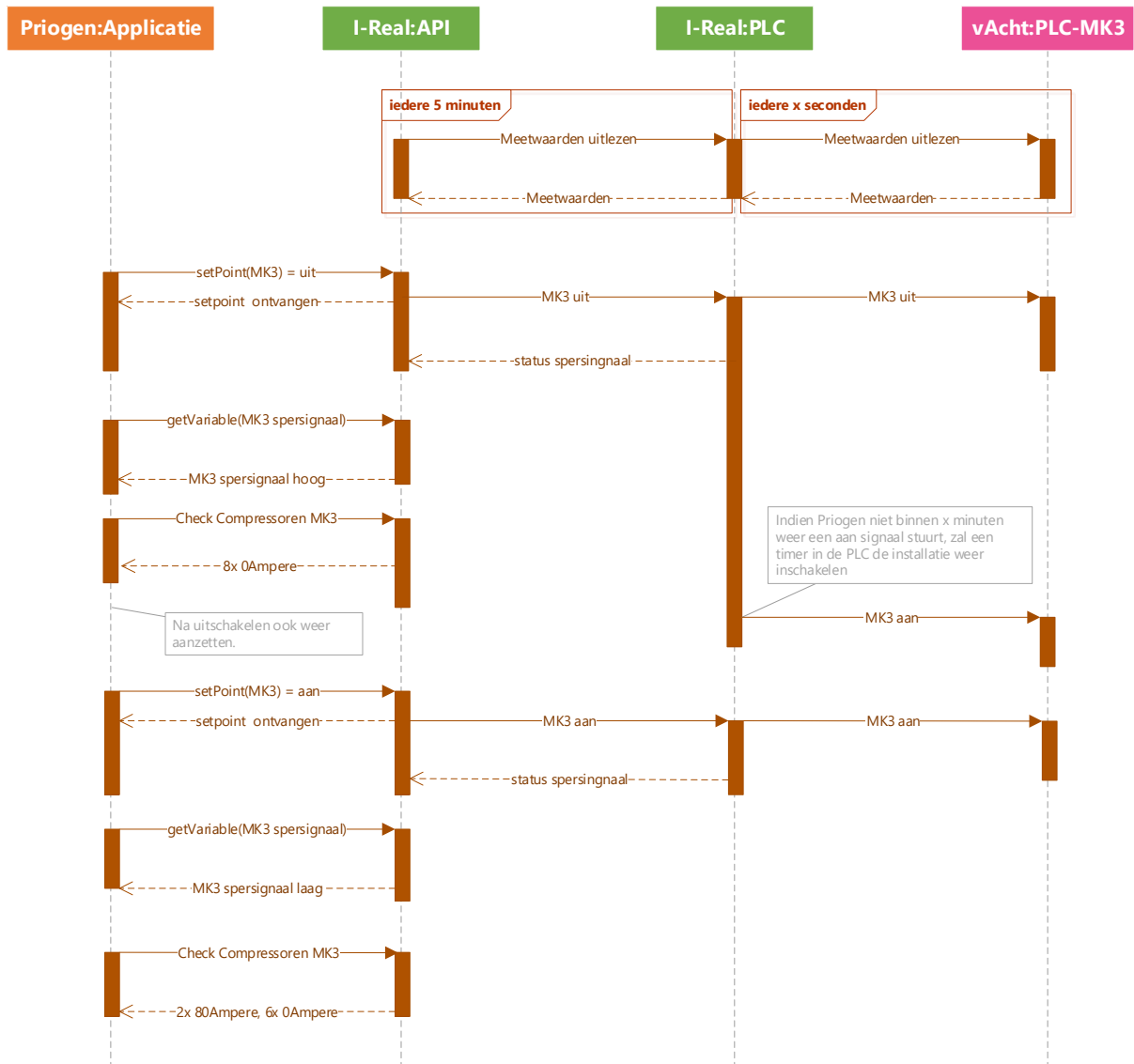
Om de waarde van de flexibiliteit van een koelhuis toch te kunnen bepalen is de eerdergenoemde rol- en taakverdeling losgelaten. Dit is geïllustreerd in onderstaand figuur.



Figuur 29: Verandering van taken en rollen van de partijen in het consortium (in rood)

Priogen heeft zich samen met TNO en Van Acht bekwaam gemaakt in het koelproces, waardoor we in staat waren de flexibiliteit van het koelhuis te bepalen. Dit had tot consequentie dat de eerdergenoemde generieke 'flexibiliteit-stekker' en 'flexibiliteit-stopcontact', ofwel EFI, niet gebruikt en gevalideerd wordt in deze opzet, omdat Priogen dit op basis van meetdata moest gaan doen. Desalniettemin ligt er nu wel een interfacebeschrijving om op een schaalbare manier flexibiliteit van een primair proces te ontsluiten. Daarnaast veranderde de rol van de Flexibiliteitontsluiter in een Dataontsluiter: het op een logische manier ontsluiten van de ruwe meetgegevens van de koelinstallatie in meetdata voor bepaling van de flexibiliteit.

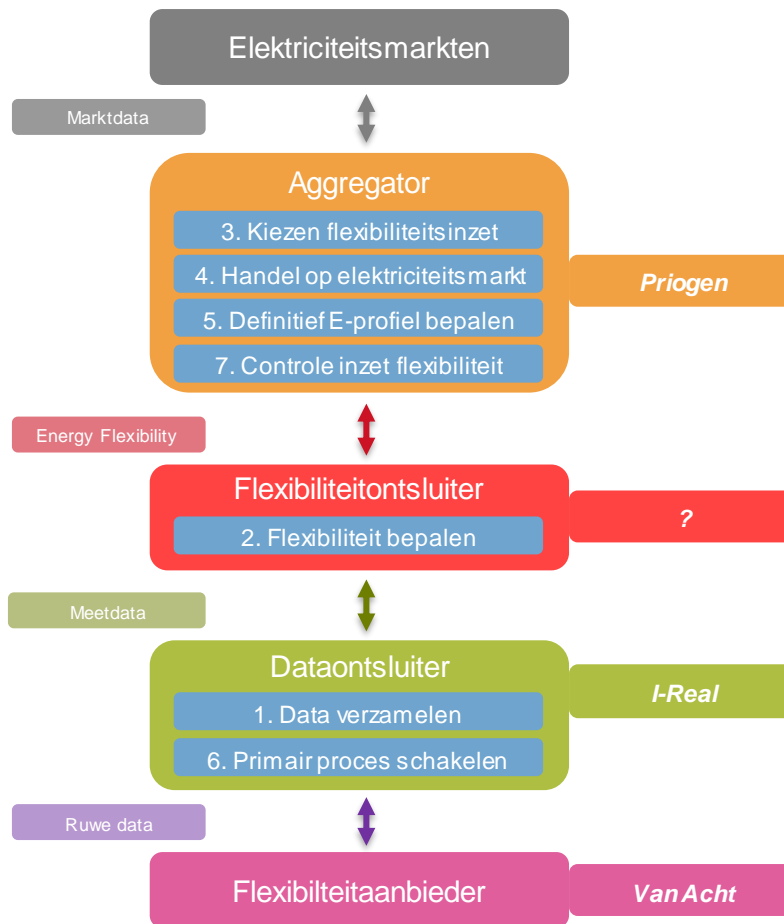
De communicatie tussen Priogen en i-Real is verder uitgewerkt in onderstaand sequencediagram. Daarin staat ook beschreven hoe de ruwe data uit de PLC's van Van Acht gekopieerd worden naar de PLC van i-Real, die ze beschikbaar maakt via hun Realm2M API. De API biedt vervolgens de mogelijkheid om via een spersignaal een volledige machinekamer uit te schakelen.



Figuur 30: UML Sequencediagram voor het versturen van het spersignaal door Priogen

4.3.2 De missende rol

Nadere analyse van de praktisch gekozen oplossing laat zien dat er eigenlijk een rol mist in het consortium: de rol die de taak heeft om op basis van (gestandaardiseerde) meetdata een statistisch model te vullen om de flexibiliteit van een proces te bepalen. Dit is geïllustreerd in onderstaand figuur:



Figuur 31: Rollen en taken voor ontsluiten van flexibiliteit op een schaalbare manier

De vraag is welke marktpartij deze rol kan invullen. Deze moet immers verstand hebben van het koelproces, statistiek en IT om flexibiliteit op een schaalbare manier te ontsluiten.

4.4 Integreren van de flexibilitetskeden binnen de huidige wetgeving

Om de energietransitie te faciliteren en meer aanbod gestuurde afname te creëren is het integreren van de flexibilitetskeden binnen de huidige wetgeving van groot belang. De primaire doelen van de huidige wetgeving zijn gericht op betrouwbaarheid, betaalbaarheid en duurzaamheid. De Europese Unie heeft verschillende richtlijnen opgesteld om de liberalisering van de elektriciteitsmarkten te faciliteren. Zij definiëren hierbij geen marktmodel maar creëren ruimere doelstellingen om een open en eerlijke toegang voor alle participanten te realiseren. Omdat de Europese unie geen marktmodel definieert, staat het de nationale overheden vrij om eigen regelgeving te ontwikkelen binnen de Europese richtlijn. Dit leidt tot verschillen tussen landen, en deze verschillen belemmeren de integratie van nieuwe richtlijnen en dus ook de schaalbaarheid. Door Europese directives probeert de Europese Unie richting te geven aan veranderingen, in November 2016 presenteerde de Europese unie het “clean energy for all Europeans” directive, ook wel “winter package” genoemd³. Dit laatste directive is vooral gericht op het faciliteren van keuzevrijheid bij de klant en DSO’s meer mogelijkheden geven om systeembalans te handhaven. De vraag die centraal staat is hoe de belangen van huidige rollen veranderen en of nieuwe toetreders open en eerlijk kunnen concurreren.

³ Zie bijvoorbeeld [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-16-334 en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-334_en.htm)

Rol	Huidig belang	Nieuw belang	Verdienkans aanbieden Flexibiliteit
Kleinverbruiker	Prijs, Kwaliteit	Prosumer	Lagere energierekening
Grootverbruiker	Prijs, kwaliteit, contractant regelvermogen	Duurzame stroom tegen marginale kostprijs. Kostenvoordeel halen uit het aanbieden van systeemdiensten zoals regelvermogen	Lagere energierekening. Participeert in energieservice
Leverancier	Planning, handelsmarge, verbruiksgegevens, klantrelatie	Leverancier van nood- en regelvermogen aan verbruikers. Systeemhandhaving op regionaal/ grootstedelijk niveau	Aggregator services
Distributeur	Wettelijk monopolie, distributiecapaciteit	Leverancier van distributie capaciteit	Open access infrastructuur services, uitstellen grid investeringen
Meetverantwoordelijke	Meetinrichting	Metten op contractbasis	
TSO	Systeembalans	Systembalans	
Producent	Contractant nood- en regelvermogen	Elektriciteitsproductie	
Overheid	Beschikbaarheid, prijssystematiek, emissiereductie afspraken	Emissiereductie afspraken. Nieuwe wetgeving	Beschikbaar houden van nood- en regelvermogen
Programma-verantwoordelijke	Matching van vraag en aanbod ten behoeve van balanshandhaving		

Tabel 11: Veranderende rollen en verantwoordelijkheden door integratie flexibiliteit

De netwerken zijn tot op heden gehandhaafd als monopolies, terwijl de liberalisering vooral nadruk legt op het toestaan van concurrentie op productie en levering. Dit geeft meer vrijheid van keuze aan de klant;

- Dynamische contractprijs, vaste prijs of spot gerelateerd
- Vrije keuze leverancier en/of aggregator
- Mogelijkheid tot eigen opwek
- Aanbieden energiediensten
- Toegang tot data

Deze mogelijkheden leiden tot een ontrafeling en herschikking van de waardeketen. Binnen Energie 6.0 ligt de focus op de industriële toepassing van flexibiliteit. Van Acht kan binnen de categorie grootverbruikers geplaatst worden in de bovenstaande tabel. De Nederlandse wetgeving is in vergevorderd stadium van liberalisatie voor industriële grootverbruikers zoals Van Acht.

- Dynamische contractprijs
 - Van Acht heeft hierin een vrije keuze en optimaliseert tegen een spotprijs.
- Vrije keuze leverancier en of aggregator
 - Hier is het antwoord gecompliceerder. Van Acht heeft vrije keuze van leverancier en omdat hij grootverbruiker is kan hij ook contracten hebben met meerdere leveranciers of aggregators. Echter omdat Van Acht en vele andere de eigen programmaverantwoordelijkheid heeft ondergebracht bij zijn huidige leveranciers is er geen gelijk speelveld voor de andere aggregators/leveranciers. De wetgeving maakt het mogelijk om de programmaverantwoordelijkheid onder te brengen bij een onafhankelijke derden partij, echter de praktijk wijst uit dat deze ontwikkeling zich nog in beginfase bevindt.
- Mogelijkheid eigen opwek
 - De Nederlandse wetgeving stimuleert deze ontwikkeling met diverse subsidiemaatregelen.
- Aanbieden energieservices
 - Energie 6.0 is een duidelijk voorbeeld dat deze mogelijkheden zich volop aan het ontwikkelen zijn. Energie 6.0 draagt dan ook bij aan het verkrijgen van inzichten en uitdagingen die nodig zijn om een schaalbare flexibiliteitsmarkt te ontwikkelen. De focus binnen dit project ligt op het ontsluiten voor de day-ahead, intraday en onbalansmarkt. Op deze markten faciliteert de regelgeving al participatie door flexibiliteetaanbieders. De meest recente Europese directive “winter package” legt specifiek de nadruk op het delegeren van systeembalans naar beheerders van het distributienet. Het lokaal balanceren van vraag en aanbod versnelt de energietransitie en de integratie van duurzame opwek. Het inkopen van “ancillary/balancerings” diensten door TSO’s is een additionele inkomstenbron voor de zeer grote opwek- en afname-installaties van ons land. De TSO’s zijn actief bezig om de technische voorwaarden voor participatie te verlagen en zo meer participanten toe te laten. Echter, de minimale voorwaarden zijn vaak nog te hoog voor kleinere industriële afnemers als Van Acht. De aansporing door de Europese Unie om deze diensten ook meer lokaal te laten plaatsvinden door deze verantwoordelijkheid ook bij DSO’s te leggen, kan potentieel een aantrekkelijke inkomstenbron zijn voor aggregators en flexaanbieders zoals Van Acht.
- Toegang tot data
 - De grootverbruikers binnen Nederland vallen onder de categorie telemetrie aansluiting. Dit betekent dat de energieconsumptie per 15 min (PTU) wordt vastgelegd. Hierdoor is bekend hoeveel elektriciteit werd afgenomen of opgewekt op elk moment van de dag. De meeste verbruikers zijn nog slechts bekend met de eenmalig meterstandopname per jaar. De slimme meter gaat hier verandering in brengen voor de kleinverbruiker. Hierdoor wordt het afname profiel per PTU inzichtelijk.

De toegang tot data en de vrijheid van eigen programmaverantwoordelijkheid is voor kleinverbruikers nog niet ingevoerd. De Europese Unie streeft ernaar om deze wijzigingen zo snel mogelijk uit te rollen. Hierdoor zou eventueel nog meer flexibiliteit ontsloten kunnen worden.

We kunnen concluderen dat de invoering van de regelgeving voor het ontsluiten van flexibiliteit op de day-ahead, intraday en onbalans markt voor de grootverbruiker zich niet meer in de beginfase bevindt, maar zich meer naar een volwassen fase aan het ontwikkelen is. De grootste uitdagingen op

nationaal niveau bevinden zich meer op praktische invulling dan beperkingen in de regelgeving. De ontwikkelingen met betrekking tot de “ancillary/balance” diensten op DSO-niveau zijn echter nog niet in deze fase beland. Op dit vlak zijn de eerste onderzoeksresultaten van subsidieprojecten binnen en wordt de richting van de wetgeving bepaald. De AFM ondersteunt het uitgangspunt van het wetsvoorstel voortgang energietransitie (V.E.T.) waarin een duidelijke rolverdeling wordt gedefinieerd voor de taken van de netwerkbedrijven en commerciële partijen. Hierin spreekt de AFM zich duidelijk uit om energiebesparingsdiensten en de taken van aggregators, partijen die vraag en aanbod van energie op elkaar afstemmen, aan marktpartijen over te laten. Deze richting in de wetgeving ondersteunt de business case van flexaanbieders en aggregators.

5 Business case

De complete business case is uitgewerkt in bijlage 7: Business case.pdf

5.1 Business case Priogen

Dit hoofdstuk is verder uitgewerkt in bijlage 7.

5.2 Ervaring en resultaten Energie 6.0

Uit Energie 6.0 is duidelijk naar voren gekomen dat aannames en daadwerkelijke ervaringen soms significant kunnen afwijken. In paragraaf 5.2.1 zullen we kort de aannames aanstippen die overeenkomen met de ervaringen van Energie 6.0. De focus zal echter liggen op de aanname over het aanleveren van flexibiliteitsprofielen door I-Real. Gedurende het project is duidelijk naar voren gekomen dat dit complexer is dan vooraf aangenomen. Vervolgens zullen we de implicaties van de complexiteit op de business case van Priogen toelichten in paragraaf 5.3.

5.2.1 Aanneerolverdeling Energie 6.0

De aanname binnen het project Energie 6.0 was erop gebaseerd dat elke consortiumpartner een gedeelte van de keten zou afdekken. De rolverdeling was als volgt:

- Van Acht, flexaanbieder
- I-Real, Flexibiliteitontsluiter
- Priogen, flexibiliteit vermarkter/aggregator
- TNO, toepassen eerdere ervaringen en focus op standaardisatie

De nadruk binnen de aanvraag lag op de commerciële haalbaarheid en schaalbaarheid van flexibiliteit in koel- en vrieshuizen. Hoewel de vele verschillende systemen en interfaces binnen het project als risicofactor benoemd zijn, werd de operationele haalbaarheid als een gegeven aangenomen. Gedurende het project zijn we erachter gekomen dat het ontsluiten van data, en vervolgens aansturen van installaties, binnen een bestaande organisatie significant complexer is gebleken dan aangenomen. In hoofdstuk 2 is dit nader toegelicht. De moeilijkheden van flexibiliteitontsluiting hebben echter serieuze implicaties voor de rol van Priogen als aggregator.

5.2.2 Implicaties van de veranderende rol van Priogen

De aggregatorrol van Priogen is in de aanvraag vooral toegespitst op:

1. Koppeling met de interface van I-Real
2. Koppeling met de wholesale markt
3. Ontwikkeling van een voor algoritme de optimalisatie van de beschikbare flexibiliteitsprofielen

Door de complicaties van data ontsluiting en beperkte aansturingmogelijkheden van de fysieke installaties verandert de rol van Priogen binnen Energie 6.0 echter. In plaats van aangeleverde flexibiliteitsprofielen waarden en optimaliseren binnen de wholesale markten is de data-analyse capaciteit van Priogen gebruikt om verbanden en patronen binnen de verzamelde data te herkennen. Deze analyse van ad-hoc data is arbeidsintensief en dus kostbaar. De vraag die beantwoordt dient te worden was of de flexibiliteitanalyse gestandaardiseerd kan worden? En zo ja, op welk niveau binnen de organisatie. Uit de resultaten van hoofdstuk 3 blijkt dat op basis van verschillende tests een flexibiliteitsprofiel gedefinieerd kan worden. Deze profielen kunnen ook door Priogen gewaardeerd en geoptimaliseerd worden binnen de verschillende markten day-ahead, intraday en onbalans. De vervolgvraag is meer in lijn met de oorspronkelijke subsidie aanvraag; Is

het aanbieden van een totaal dienstenpakket van levering, prijsvoorspelling en benutten van onbalans een commercieel aantrekkelijk en schaalbaar model voor een aggregator?

5.3 Conclusie en aanbevelingen Energie 6.0 op business case Priogen.

De ervaringen en onderzoeksresultaten van het Energie 6.0-project hebben geleid tot nieuwe inzichten. Sommige aannames uit de aanvraag dienen herzien te worden, andere aannames zijn juist bevestigd. In het geval van aanpassingen zijn deze uiteraard ook doorgerekend in de business case van Priogen. De ervaringen leiden echter ook tot aanbevelingen voor geïnteresseerden in de ontwikkeling van de flexibiliteitmarkt of voor eventueel vervolgonderzoek.

Energie 6.0 onderzoekt het creëren van een schaalbare geïntegreerd systeem dat het elektriciteitsgebruik automatisch optimaliseert binnen de opgegeven productie-eisen van de gebruiker. Belangrijke elementen binnen deze onderzoeksstelling zijn: interoperabiliteit van systemen, schaalbaarheid en een duidelijke rolverdeling

5.3.1 Interoperabiliteit van systemen

Om een schaalbaar systeem te creëren voor waardering en optimalisatie van flexibiliteitsprofielen is een hoge mate van automatisering een vereiste. De complexiteit komt voort uit het feit dat verschillende systemen en interfaces aan elkaar gekoppeld moeten worden. De belangrijkste interface is de RealM2M API van I-Real voor het uitlezen van real-time meetdata en het besturen van de installaties. Deze API is door I-Real ontwikkeld en eerder toegepast in watermanagement door gemalen. Doordat deze software al in een eerdere fase was ontwikkeld en toegepast, was er geen sprake van kinderziektes. De connectie met deze API was dan ook relatief eenvoudig.

Een tweede interface die van belang is voor de optimalisatie van flexibiliteitsprofielen is de interface met de wholesale markt. De flexibiliteitprofielen dienen namelijk uitgedandeld te worden op de day-ahead, intraday of onbalans markt. Tevens dient het totale energieconsumptieprofiel genomineerd te worden. Aangezien Priogen al jarenlang actief is binnen de Europese wholesale markten was de interface naar de wholesale markt ook geen enkele beperking. Eventuele nominaties voor Van Acht of het uithandelen van flexibiliteitprofielen konden met relatief kleine aanpassingen eenvoudig geïntegreerd worden binnen bestaande procedures.

Het optimalisatie-algoritme op basis van de ontvangen data en de marktprijzen diende echter volledig vanaf nul opgebouwd te worden. Hierbij moesten enkele uitdagingen met betrekking tot data en communicatie overwonnen worden;

- Datakwaliteit
 - De datakwaliteit was zeker in het begin instabiel. Het systeem had vaak te maken met inconsistentie en nul-waarden. Hoewel de kwaliteit verbeterde gedurende het project is er toch voor gekozen om data cleaning in eigen beheer te nemen. Hierbij worden bepaalde metingen uitgefilterd om de voorspellende waarde van de metingen te verhogen.
- Data granulariteit
 - Niet alle beschikbare metingen hebben dezelfde granulariteit. Om naar een hoger aggregatieniveau te komen zou mogelijk informatie verloren kunnen gaan. In onze ogen is dit op het moment verwaarloosbaar.
- Communicatie frequentie

- Binnen Energie 6.0 vormt de communicatie frequentie een mogelijk risico. Het uitlezen van sommige metingen komt met een vertraging van 2-7 min. Vanwege de aanwezigheid van een bestaande infrastructuur kan deze belemmering slechts tegen hoge kosten worden verholpen. Deze vertraging vormt een risico voor onbalansoptimalisatie. Aangezien deze real-time optimalisatie extreme prijzen probeert te benutten is een snelle terugkoppeling van besturingsacties en installaties status van enorm belang.

5.3.2 Schaalbare oplossing

Standaardisatie is een belangrijke randvoorwaarde voor een schaalbare oplossing. Standaardisatie verlaagt de kosten en vervolgens helpt dit weer meer potentiële flexibiliteit te ontsluiten. Is het huidige algoritme, ervaring en ontwikkelde interfaces schaalbaar? Het korte antwoord is ja. Er zijn slechts beperkte belemmeringen aan de technische kant van de hierboven beschreven interfaces en algoritme. Het probleem binnen Energie 6.0 ligt bij het ontsluiten van de data als inputparameter. Het betreft hier niet de prijsdata van de wholesale markt maar het omzetten van de metingen bij Van Acht naar flexibiliteitsprofielen. De complexiteit om data metingen beschikbaar maken heeft zeker impact gehad op het verloop van Energie 6.0, maar deze complexiteit is niet van invloed op de schaalbaarheid voor Priogen. Het vertalen van de metingen in een flexibiliteitsprofiel heeft wel invloed op de business case. Binnen Energie 6.0 is gebleken dat I-Real niet over de data-analyse capaciteiten beschikt om meerdere analyses van ruwe data uit te voeren om tot een propositie te komen. De benodigde manuren vanuit Priogen voor deze analyses zijn niet in de originele business case meegenomen. De ervaring van Energie 6.0 heeft tot de volgende vervolgvraagstukken geleid:

1. Zijn de veelvuldige analyses een eenmalig exercitie?
2. Wat is de potentiële flexibiliteitswaarde ten opzichte van de gemaakte kosten?

Ad. 1

Binnen Energie 6.0 zijn vele analyses uitgevoerd. In hoofdstuk 3 staan de resultaten gedetailleerd beschreven van de verschillende analyses en testen. Om de vraag te beantwoorden of de doorlooptijd voor een volgende locatie significant korter is moeten we verschil maken in de verschillende manieren van aansturing. Directe aansturing op de elektriciteitsconsumptie is significant eenvoudiger dan de benodigde analyses voor indirecte aansturing. De data-analyse capaciteiten en dus ook de manuren nodig om de verbanden te leggen tussen het onderliggende bedrijfsproces en de energieconsumptie is beduidend hoger dan bij directe aansturing. Op basis van de ervaringen van Energie 6.0 is Priogen van mening dat de initiële focus moet liggen op directe aansturing. Deze aansturing is eenvoudiger en goedkoper te realiseren.

Ad 2.

In de originele business case zijn aannames gemaakt over de waarde van flexibiliteit. Deze waarde was voornamelijk gebaseerd op de mogelijkheid elektriciteitsconsumptie te verschuiven van uren met een hoge prijs naar uren met een lage prijs. Deze aanbod gestuurde optimalisatie maakt de integratie van een hoger percentage duurzame opwek mogelijk. Twee belangrijke aspecten zijn in de aannames onderschat;

1. Load shifting kan slechts met een beperkte tussenperiode
2. De overshoot reduceert de flexibiliteitswaarde in de onbalans optimalisatie significant

Priogen heeft als doelstelling een totaalpakket aan optimalisatiemogelijkheden aan te bieden: day-ahead, intraday en onbalans. De verschillende markten brengen verschillende mogelijkheden met

zich mee. De oorspronkelijke aannames waren te simplistisch, aangezien de energiebehoefte en de temperatuurstijging een kortere reactietijd hebben dan vooraf aangenomen. Hierdoor is loadshifting over een grote tussenperiode uitgesloten en beperkt tot opeenvolgende uren. Aangezien opeenvolgende uren een kleiner prijsverschil hebben, wordt de flexibiliteitswaarde hierdoor negatief beïnvloed. Ook op de onbalansmarkt was de aanname te simplistisch. De reactietijd en overshoot waren niet meegenomen in de onbalans optimalisatie aanname. De overshoot die veroorzaakt wordt door het opstarten van de installaties reduceert de waarde van flexibiliteit significant aangezien onbalansprijzen in opvolgende PTUs sterk gecorreleerd zijn. Priogen verwacht dat de lagere flexibiliteitswaarde een negatief effect zal hebben op de schaalbaarheid. Meer partijen zijn namelijk geïnteresseerd indien de terugverdiëntijd van de investeringen korter is.

5.3.3 Duidelijke rolverdeling

In het hoofdstuk “flexibiliteitsinterface” beschrijft TNO de rol van Flexibiliteitontsluiter. De ervaring uit Energie 6.0 geeft aan dat deze rol op dit moment ontbreekt in de markt. Binnen Energie 6.0 is deze rol vervuld door Priogen. Priogen is echter gericht op schaalbaarheid door automatisering. De organisatie is niet ingericht om arbeidsintensief analysewerk te verrichten. Voorwaarde voor Priogen om dit als een schaalbaar businessmodel uit te rollen is dan ook het “flexibiliteitstekker” en “flexibiliteitstopcontact” model van TNO, waarbij Priogen verantwoordelijk is voor optimalisatie van flexibiliteit en de koppeling tussen de flexibele aanbieder en de wholesale markt.

5.3.4 Bijgewerkte business case

Dit hoofdstuk is verder uitgewerkt in bijlage 7.

5.4 Business case I-Real

Binnen het Energie 6.0 heeft I-Real de verantwoordelijkheid voor het ontsluiten van de koelinstallatie, het meten van het energieverbruik en het aanleveren van de data aan de overige partners. Ook het uiteindelijk ontvangen van de spersignalen en het daadwerkelijk stoppen van de installaties behoort tot de verantwoordelijkheden van I-Real. Deze rol is in het project gedefinieerd als “Flexibiliteitontsluiter”.

5.4.1 Specialisaties I-Real

Het koppelen van de installatie en het vergaren van meetdata is een van de kerncompetenties van I-Real. Middels de telemetriesystemen H2gO (watersector) en RealM2M (energie en verkeer) zijn inmiddels vele duizenden objecten aangesloten. Het overgrote deel van deze objecten wordt direct ontsloten en er is daarbij direct toegang tot de PLC of ander controller. Ook zijn deze systemen vaak al geschikt voor of voorbereid op het koppelen met een scada-/telemetriesysteem. Zo zijn ze vaak al voorzien van een buffer voor meetdata en kunnen ze alarmen versturen naar het telemetriesysteem.

Het inzichtelijk maken van energiestromen is ook een kerncompetentie en wordt vaak gerealiseerd door het leveren en (laten) plaatsen van stroomtransformatoren en deze te koppelen aan een PLC of datalogger. In dit project zijn ook diverse energiestromen in kaart gebracht middels nieuwe stroomtransformatoren. Samen met een schakelmechanisme voor het gepland laten opladen van de vorkheftrucks zijn deze aangesloten op de PLC's.

5.4.2 Ervaringen en resultaten

Zoals ook in hoofdstuk 2.3 te lezen is, heeft het opstellen van het meetplan een aanzienlijke tijd gekost. Het koppelen met de PLC's van de koelinstallatie bleek ook lastiger dan vooraf was voorzien. De ervaringen die in dit project zijn opgedaan zullen wel bijdragen aan toekomstige implementaties

omdat nu beter inzichtelijk is hoe dit traject moet worden uitgevoerd en welke informatie wel of niet noodzakelijk/relevant is.

Hieronder volgen enkele concrete voorstellen voor verbetering om eenvoudiger een volgend koelhuis te kunnen aansluiten op het systeem:

5.4.2.1 Opstellen meetplan

Het opstellen van het meetplan bleek geen sinecure te zijn, maar is wel van essentieel belang. Door direct in het begin een grondige inventarisatie te maken samen met de huisinstallateur, kan hier al tijd worden bespaard. Vooral de overdracht van het installatieplan wordt hierdoor eenvoudiger aangezien de installateur al direct vanaf het begin betrokken is. Het opstellen van een meetplan blijft echter maatwerk en dient op projectbasis plaats te vinden.

5.4.2.2 Koppeling koelinstallatie

Bij Van Acht is gekozen voor een PLC naar PLC-koppeling. Dit is de op één na handigste manier, de voorkeur zou altijd uit moeten gaan naar directe koppeling. De belangrijkste reden hiervoor is de betrouwbaarheid van de data uitwisseling; er is immers een schakel minder in de keten. Een voordeel van een PLC naar PLC-koppeling zou kunnen zijn dat de interface naar RealM2M hetzelfde blijft en alleen de koppeling naar de PLC van de koelinstallatie hoeft te worden aangepast. De flexibiliteit van RealM2M is echter dusdanig, dat dit voordeel waarschijnlijk minimaal is en mogelijk zelf negatief. Vooral als er meer 'standaard' koelsystemen worden gekoppeld verdwijnt dit voordeel. Direct koppelen kan bovendien een mogelijk kostenvoordeel opleveren doordat er minder hardware nodig is.

5.4.2.3 Snelheid data

In het Energie 6.0 project is gekozen om een 'pull' systeem toe te passen voor het ophalen van de data uit o.a. de PLC's van de koelinstallaties. Ook ontsluiting naar de overige partijen gebeurt op basis van een 'pull' mechanisme. Voor betere sturing is het nodig dat data sneller bij de Aggregator/Flexvermarkter aanwezig is. Hierdoor kunnen zij immers optimaal gebruikmaken van de aanwezig flexibiliteit. De snelheid kan verhoogd worden door in plaats van een 'pull' systeem een 'push' systeem toe te gaan passen. Data wordt hierbij op tijd- of eventbasis doorgestuurd. Vooral vanuit de PLC naar RealM2M voorziet I-Real hiertoe goede mogelijkheden.

5.4.2.4 Flexibiliteitontsluiter

Het bepalen van de beschikbare flexibiliteit op basis van de beschikbare data is een rol waarvan is gebleken dat deze niet past bij de ambities van I-Real noch van Priogen. Deze data-analyses vereisen veel kennis van de lokale installaties en zijn daarmee eigenlijk altijd maatwerk. Bovendien zijn hiervoor bepaalde vakdisciplines nodig welke I-Real op dit moment onvoldoende beschikbaar heeft. Doordat I-Real een projectorganisatie is en dus veel met maatwerk te maken heeft, zou dit in de toekomst, als er voldoende capaciteit is, wel tot de mogelijkheden behoren.

5.4.3 Bijgewerkte business case

Dit hoofdstuk is verder uitgewerkt in bijlage 7.

5.5 Business case product (flexontsluiten koelhuizen)

Deze paragraaf geeft een overzicht van de business case voor het ontsluiten van flexibiliteit in koelhuizen.

5.5.1 Gezamenlijke business case

Binnen het project is duidelijk geworden dat de rol van flexibiliteitontsluiter binnen het project miste. Deze rol is door Priogen overgenomen, maar dit zorgt voor een probleem binnen de analyse: de business case voor elke schakel in de keten valt niet meer afzonderlijk te bepalen. Immers, de hypothetische flexibiliteitontsluiter in toekomstige projecten zal ook bepaalde kosten en winstverwachtingen hebben. Omdat deze rol mist is het bijvoorbeeld niet mogelijk om op een realistische manier in te schatten hoe de opbrengsten verdeeld worden tussen Priogen, Van Acht en de flexibiliteitontsluiter.

Daarom is er voor gekozen om de business case te analyseren vanuit het oogpunt van het product als geheel. Hierbij wordt geen expliciet onderscheid meer gemaakt tussen (externe) opbrengsten van verschillende partijen, maar worden de totale kosten en opbrengsten geaggregeerd. Hierdoor kan bepaald worden of de business case voor flexibiliteitsontsluiting van koelhuizen levensvatbaar is onder huidige omstandigheden. Dit gebeurt in paragraaf 5.5.2.

Zoals eerder vermeld hebben koelhuizen minder flexibiliteit dan bijvoorbeeld vrieshuizen. Daarnaast is bestaande bouw minder kosteneffectief dan het implementeren van flexibiliteit in nieuwe installaties. Binnen Energie 6.0 is dus gekozen voor een 'moeilijk' alternatief. Dit heeft als voordeel dat een goede business case betekent dat alle 'makkelijke' alternatieven ook een goede business case hebben, en dat er diverse manieren en omstandigheden zijn waarop de business case kan verbeteren. Deze mogelijke verbeteringen worden besproken in paragraaf 5.5.3.

5.5.2 Analyse business case

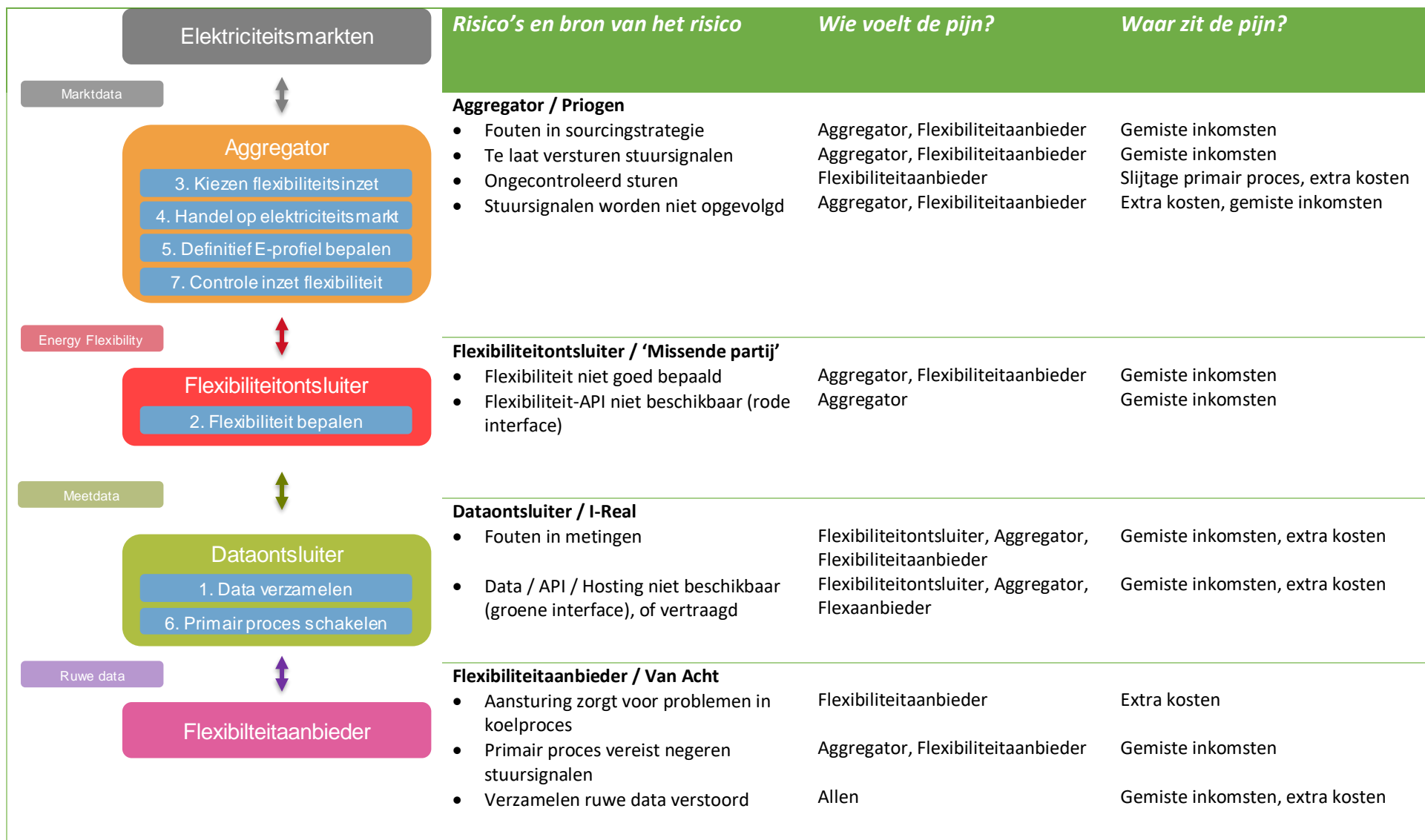
Dit hoofdstuk is verder uitgewerkt in bijlage 7.

6 Governance

6.1 Business

Vanuit een business perspectief dienen er goede afspraken gemaakt te worden in de keten om de verantwoordelijkheden en risico's van de partijen netjes af te dekken.

Als we de taken uit paragraaf 4.1 erbij pakken zijn de volgende risico's van toepassing:



Op basis van bovenstaande tabel kan geconcludeerd worden dat in de meeste gevallen de partijen aan het begin en eind van de keten het meeste last hebben van risico's die in de keten aanwezig zijn: de flexaanbieder met extra kosten door impact op het primaire proces of gemiste inkomsten door niet (goed) vermarkten van de flexibiliteit en de aggregator met gemiste inkomsten en/of extra kosten. Daarmee is de impact voornamelijk financieel, al kan de Flexibiliteitaanbieder ook last hebben van slijtage van de onderdelen van het primaire proces (wat zich doorvertaalt in kosten op lange termijn).

Deze analyse pleit voor een robuuste technische invulling van de communicatieketen tussen de flexibiliteitaanbieder en de aggregator. De volgende sectie gaat daar verder op in.

Contractueel zijn er ook een aantal oplossingen om de financiële risico's in de keten af te dekken.

T.a.v. het niet opvolgen van stuursignalen heeft de aggregator het meeste last, omdat pas achteraf duidelijk is dat deze een suboptimale portfolio probeerde te verhandelen. Voor de flexibiliteitaanbieder betekent dit vaak alleen een hogere energieprijs op dat moment.

Als oplossing zou de aggregator rekening kunnen houden met het feit dat niet alle stuuracties altijd opgevolgd kunnen worden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door vast te leggen dat een x aantal keer per jaar dit stuursignaal genegeerd mag worden, zonder extra implicaties; mocht daaroverheen gegaan worden dan volgt een vooraf vastgelegde boete.

Deze aanpak is verreweg het simpelst, omdat er meer partijen in de keten zijn en er anders ge-audit moet worden welke partij het stuursignaal niet goed doorgegeven heeft, of – in geval van de flexibiliteitaanbieder – genegeerd heeft.

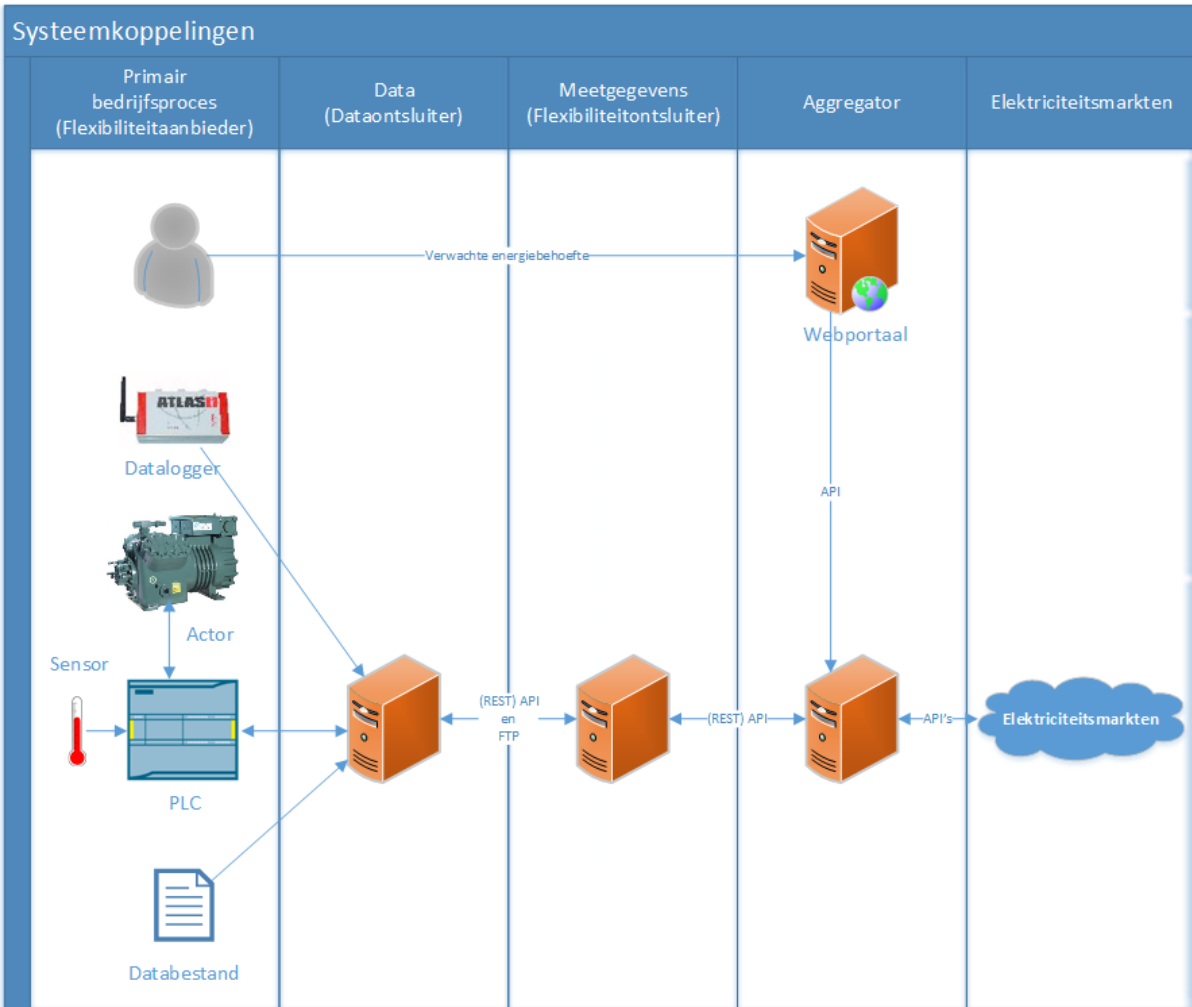
Deze oplossing werkt ook voor het foutief bepalen van de flexibiliteit (ongeacht de oorzaak) en is verreweg het gemakkelijkst te implementeren.

Indien men een fijnmaziger verantwoordelijkheidsmodel wil nastreven is logischerwijs de flexibiliteitontsluiter verantwoordelijk. Aangezien deze afhankelijk is van de dataontsluiter en flexibiliteitaanbieder voor goede data, is hier ook een goede auditfunctie nodig om te achterhalen waar bepaalde fouten zijn ontstaan.

6.2 Technisch

6.2.1 Overzicht van de rollen

In de keten tussen Flexibiliteitaanbieder <-> Dataontsluiter <-> Flexibiliteitontsluiter <-> Aggregator zitten verschillende koppelingen. Allereerst zullen de technische aspecten van de verschillende rollen worden toegelicht, waarna de koppelingen tussen de partijen worden beschreven. In onderstaande afbeeldingen zijn de rollen en de onderlinge koppelingen schematisch weergegeven.



Flexibiliteitsaanbieder

Dit is de gebruiker van de (elektrische) energie en aanbieder van flexibiliteit aan de Aggregator. Hier zijn de sensoren en actoren aanwezig voor het meten van het energieverbruik, de parameters voor het primaire proces en het sturen van het energieverbruik. Doorgaans wordt dit geheel gemonitord en bestuurd door middel van PLC's en dataloggers.

Dataontsluiter

De rol van Dataontsluiter omvat onder andere het inwinnen van de (ruwe) meetwaarden uit de sensoren en het tijdelijk afschakelen van (delen van) installaties ten behoeve van het verschuiven van energieverbruik (flexibiliteit). Daarnaast biedt de Dataontsluiter de meetgegevens via een uniforme interface aan de Flexibiliteitontsluiter en biedt het diezelfde Flexibiliteitontsluiter de mogelijkheid om de installatie af te schakelen. De taak van de Dataontsluiter is hierbij om samen met de Flexibiliteitsaanbieder te kijken waar meetgegevens beschikbaar zijn en hoe deze ontsloten kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld door te koppelen met de PLC die het proces meet en bestuurt, het bijplaatsen van sensoren en dataloggers of het inlezen en verwerken van bestanden met meetresultaten uit applicaties van derden.

Flexibiliteitontsluiter

Zij analyseert de data en bepaalt waar flexibiliteit mogelijk is. Deze flexibiliteit wordt, middels de methodiek zoals besproken in hoofdstuk 4.3, aangeboden aan de Aggregator. Tevens wordt aan de Aggregator een API aangeboden voor het gebruiken van flexibiliteit.

Aggregator

Op basis van de verwachte energiebehoeften van de Flexibiliteitaanbieder, de flexibiliteit die beschikbaar is en de prijzen van de energiemarkt, zal de Aggregator bepalen op welk moment welke flexibiliteit wordt ingezet. Om flexibiliteit in te zetten wordt de interface met de Flexibiliteitontsluiter gebruikt. Hiermee kan de status van het proces worden gecontroleerd en kan de installatie worden afgeschakeld.

6.2.2 Overzicht van de technische koppelingen

Tussen de verschillende rollen zitten interfaces. De belangrijkste zullen hier toegelicht worden.

Flexibiliteitaanbieder <-> Dataontsluiter

Deze koppeling zelf bestaat feitelijk weer uit diverse andere koppelingen. Zo wordt er een koppeling gerealiseerd met de PLC's van het primaire proces en/of dataloggers en kunnen aanvullend nog bestanden worden ingelezen.

De koppelingen met de PLC's en dataloggers gebeuren vaak via een protocol van de leverancier of een open protocol (zoals Modbus-TCP/IP, Modbus-RTU, IEC 60870-5-104, DNP3, etc).

Databestanden kunnen waarschijnlijk het beste via (s)FTP aangeboden worden aan de Dataontsluiter.

Belangrijke uitgangspunten en aandachtspunten hierbij zijn:

- Alle data wordt uitgewisseld via afgeschermd, beveiligde netwerken. Hiermee wordt bedoeld dat er gebruikt wordt gemaakt van een VPN bij vaste internetverbindingen of een APN bij mobiele internetverbindingen. Alle PLC's en datalogger zijn dus afgeschermd van het internet en hebben hier ook geen toegang toe;
- Voor het uitwisselen van databestanden is het ook aan te raden om van een beveiligde FTP-server gebruik te maken, een zogenaamde SFTP-server. Hiermee wordt data versleuteld verstuurd van de Flexibiliteitaanbieder naar de Dataontsluiter. Doorgaans staan deze bestanden niet in hetzelfde netwerk als de PLC's en dataloggers. De bestanden staan vaak in een kantoor netwerk, terwijl de PLC's en dataloggers in een zogenaamd procesnetwerk zitten dat afgeschermd is van het kantoor netwerk. De VPN /APN uit het vorige punt is alleen bedoeld voor het procesnetwerk;
- Voor het gebruik van de SFTP-server, zie ook de adviezen die genoemd staan bij de koppeling tussen Dataontsluiter en Flexibiliteitaanbieder;
- De stuurcommando's die gedaan worden vanuit de Dataontsluiter dienen niet rechtstreeks de actoren aan te sturen, maar moeten door de PLC's als een 'verzoek tot' worden gezien. Op basis van de regels van het primaire bedrijfsproces kan het PLC-programma dan bepalen of het verzoek kan worden uitgevoerd of niet. Deze aanpak zorgt voor een hoge mate van bedrijfszekerheid en minimaliseert de kans op schade in het bedrijfsproces. Voorbeeld: in het geval van een koelhuis, kan de PLC van de koelinstallatie besluiten een koelcel niet uit te zetten omdat de temperatuur boven een kritisch grens is gekomen. Een ander voordeel van deze aanpak is dat de Dataontsluiter minder kennis nodig heeft van het bedrijfsproces;

- Voor de snelheid van de totale keten is het wenselijk als de PLC's en dataloggers data 'pushen' naar de Dataontsluiter. Dit betekent dat er op bepaalde events of met een bepaald interval data verstuurd wordt naar de Dataontsluiter, het initiatief hiertoe ligt dan bij de PLC of datalogger. Het alternatief is dat de Dataontsluiter met enige regelmaat data uitleest uit PLC's en dataloggers, maar vaak zorgt dit voor meer overhead in de datacommunicatie omdat er ook gegevens worden verstuurd die niet gewijzigd zijn. De extra overhead kan ervoor zorgen dat er minder vaak data kan worden uitgelezen en/of dat er meer communicatiekosten zijn.

De risico's en mitigerende maatregelen bij deze koppeling zijn als volgt:

- Wegvallen data-/netwerkverbinding tussen Flexibiliteitaanbieder en Dataontsluiter. De gevolgen hiervan zijn dat de Aggregator geen actueel inzicht meer heeft en dat stuurcommando's niet meer uitgevoerd of ongedaan gemaakt kunnen worden. Hiervoor zijn een aantal maatregelen mogelijk en afhankelijk van de eisen die de Flexibiliteitaanbieder en Aggregator stellen aan de betrouwbaarheid kan hierin een keuze gemaakt worden. Tot de mogelijke maatregelen behoren onder andere een redundante verbinding of een heartbeat. Bij deze laatste oplossing wordt van beide kanten actief gecontroleerd of de verbinding nog in stand is en wordt teruggevallen op een 'veilig' scenario zodra de storing geconstateerd wordt;
- Data die ontvangen wordt van Flexibiliteitaanbieder is onjuist/onbetrouwbaar. Indien er onjuiste of onbetrouwbare data wordt ontvangen kunnen de Aggregator en Flexibiliteitontsluiter geen of zelfs verkeerde beslissingen maken. Om dit te voorkomen dient de Dataontsluiter validatieregels toe te passen op de meetwaarden die binnenkomen. Waarden die onbetrouwbaar zijn kunnen dan gekenmerkt worden en bij het versturen worden weggefilterd.

Dataontsluiter <-> Flexibiliteitontsluiter

De meetwaarden die door de Dataontsluiter verzameld worden dienen aan de Flexibiliteitontsluiter te worden aangeboden voor analyse. Op basis van hiervan kan de beschikbare flexibiliteit bepaald worden. Tevens dient er een mogelijkheid geboden te worden om de flexibiliteit uit te nutten door middel van het versturen van stuurcommando's. Omdat de analyses altijd achteraf gedaan worden en een grote dataset nodig hebben, is hier een koppeling middels .csv-bestanden de meest voor de hand liggende. De dataontsluiter exporteert dan periodiek de meetwaarden als een .csv-bestand en biedt deze aan Flexibiliteitontsluiter aan. Daarnaast dient er een (REST) API te zijn voor het verkrijgen van actuele waarden en het versturen van de stuurcommando's.

Belangrijke uitgangspunten en aandachtspunten hierbij zijn:

- Data uitwisseling vindt uitsluitend plaats via beveiligde verbindingen. In het geval van een export kan ook hier weer SFTP gebruikt worden, waarbij de server zowel bij de Dataontsluiter, de Flexibiliteitontsluiter of een vertrouwde derde geplaatst kan worden;
- De (REST) API dient minimaal van HTTPS voorzien te zijn. Verder dient de aanbieder van de API ervoor te zorgen dat er duidelijk documentatie beschikbaar is over de mogelijk commando's (end points), opties, status- en foutcodes, formaat van de verzoeken en antwoorden, etc;
- Zorg naast bovenstaande beveiligde verbindingen ook voor voldoende aanvullende beveiligingsmaatregelen. Het is aan te sterk raden om tenminste een firewall toe te passen

die alleen die poorten vrijgeeft die strikt noodzakelijk zijn. Beter is echter om een firewall toe te passen die daarnaast ook alleen verkeer van bekende afzenders accepteert (whitelisting);

- Pas authenticatie en autorisatie toe. Hierbij is het advies om voor iedere gebruiker of instantie, die toegang tot de SFTP-server of API moet hebben, een eigen gebruikersaccount aan te maken en deze alleen die rechten te geven die noodzakelijk zijn. Individuele gebruikersaccount komt het verantwoordelijkheidsgevoel te goede omdat eventuele fouten of misbruikt tot een individu te herleiden zijn. Gebruikers zijn dan minder snel geneigd om hun account te delen met anderen. Door alleen de noodzakelijk rechten toe te kennen worden vergissingen, fouten door onkunde en misbruik voorkomen.

De risico's en mitigerende maatregelen bij deze koppeling zijn als volgt:

- Voor de (REST) API dient er een duidelijk scenario te zijn waarop teruggevallen kan worden als deze koppeling niet beschikbaar is. Zo dient er bijvoorbeeld te worden afgesproken wat de Dataontsluiter moet doen als een stuurcommando te lang actief is. Hierbij dient gedefinieerd te worden hoe lang een stuurcommando maximaal mag duren en wat er gedaan moet worden als er geen actie is ondernomen door de Flexibiliteitontsluiter;
- Ditzelfde geldt voor de Flexibiliteitontsluiter. Hier dient een duidelijk plan te zijn wat er gedaan moet worden op het moment dat een stuurcommando niet uitgevoerd kan worden of een lopend stuurcommando niet ongedaan kan worden gemaakt; De implementatie van een 'heartbeat', een mechanisme waarbij er op regelmatige basis data uitgewisseld wordt, zodat beide partijen weten dat de verbinding nog in stand is en alle lopende opdrachten nog valide zijn, zou hierbij kunnen ondersteunen;
- Bij de dataexport via SFTP zijn gering c.q. al ondervangen bij de Dataontsluiter. Uitval van deze verbinding kan natuurlijk wel voor problemen zorgen, maar niet zo snel als tussen de Flexibiliteitaanbieder en Dataontsluiter. Reden hiervoor is de lagere frequentie van data uitwisselen. Een actieve controle en een passende SLA zouden hier voldoende zijn.

Flexibiliteitontsluiter <-> Aggregator

De beschikbare flexibiliteit die is vastgesteld moet aan de Aggregator worden aangeboden. De meest voor de hand liggende oplossing hiervoor is dat de Aggregator een (REST) API ter beschikking stelt waarmee Flexibiliteitontsluiter de flexibiliteit kan aanleveren.

Omgekeerd, voor de stuurcommando's, kan de Flexibiliteitontsluiter het beste een (REST) API ter beschikking stellen. Op die worden gegevens altijd 'gepusht' naar de ontvangende partij. Dit maakt het mogelijk om data op event-basis te versturen en voorkomt daarmee dat de andere partij continu moet vragen om data (pollen).

Voor deze koppeling gelden in basis dezelfde uitgangspunten en aandachtspunten die ook gebruikt worden bij de koppeling tussen de Dataontsluiter en Flexibiliteitontsluiter.

Qua risico's en maatregelen kan deze koppeling ook vergeleken worden met die koppeling.

Overige koppelingen

Verder zijn er nog de koppelingen tussen de Aggregator en de elektriciteitsmarkten en tussen de Flexibiliteitaanbieder en de Aggregator. Dit zijn doorgaans bestaande koppelingen en vallen ook buiten de scope van dit project. Om die reden zijn ze hier niet verder beschreven.

7 Conclusies & aanbevelingen

Energie 6.0 heeft veel inzichten en ervaringen gebracht. Het heeft aangetoond dat sommige aannames uit de subsidie aanvraag te simplistisch waren en dat sommige juist complexer werden ingeschat dan ze uiteindelijk bleken te zijn. In dit laatste hoofdstuk worden op basis van de onderzoeksdoelstelling en de projectrisico's de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd.

In het algemeen is tijdens dit project gebleken dat het voor koelhuizen een stuk complexer is om waarde uit flexibiliteit te halen. De oorzaak hiervan ligt voor een deel aan het bedrijfsproces zelf:

- Het bedrijfsproces is veel moeilijker te voorspellen dan bijvoorbeeld een vrieshuis of het laden van accu's. De dynamiek t.a.v. wat er op een bepaald moment in een koelhuis zit is hoog. Voor een groot deel komt dit doordat deze dynamiek indirect afhankelijk is van het weer en het product. Daardoor weet men 's ochtends vaak niet wat er 's avonds in de koelcellen staat.
- Het proces heeft veel parameters die de kwaliteit van het koelproces en daarmee het product bepalen, zoals temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂ gehalte. Uitschakeling van dit proces heeft impact op al deze parameters. Daarnaast worden er verschillende producten in de koelcellen opgeslagen, ieder met een eigen bandbreedte waarbinnen deze gekoeld moeten worden. Het ene product in koelcel A heeft 5 °C bandbreedte, terwijl het andere product in koelcel B een bandbreedte heeft van 1 °C. Dit beperkt de flexibiliteit.
- De koelprocessen waar de meeste economische waarde in zit, zijn niet flexibel. Inkoelen is hier een voorbeeld van: op het moment dat er een product in een koelcel gezet wordt en ingekoeld wordt (en de meeste energie verbruikt) dient dit niet onderbroken te worden in verband met de productkwaliteit. Daardoor is er in bepaalde perioden geen of weinig flexibiliteit beschikbaar.

Vrieshuizen en accu's hebben deze problemen met voorspelbaarheid, en beperkingen t.a.v. beschikbaarheid van flexibiliteit, veel minder of zelfs niet. Daar kan veel gemakkelijker een bandbreedte bepaald waarbinnen het proces moet blijven, zonder dat het product daaronder leidt.

Behalve de bepaling van de hoeveelheid flexibiliteit van koelhuizen lag de focus binnen Energie 6.0 op interoperabiliteit, standaardisatie en rolverdeling bij het schaalbaar ontsluiten van flexibiliteit. Zijn deze voorwaarden aanwezig bij "het creëren van een schaalbare geïntegreerd systeem dat het elektriciteitsgebruik automatisch optimaliseert binnen de opgegeven productie-eisen van de gebruiker. Waarbij een totaalpakket aan diensten neergezet wordt omtrent energieprijvoorspelling en het benutten van onbalans"? Deze aspecten worden in de volgende paragrafen toegelicht.

7.1 Interoperabiliteit

7.1.1 Data metingen

Belangrijk om te constateren is dat binnen Energie 6.0 wordt gewerkt binnen een bestaande situatie. De huidige regelsystemen in het koelhuis zijn nooit ontworpen om specifiek energieverbruik te meten en te kunnen sturen; om dit te kunnen, moeten er aanpassingen worden gemaakt aan het systeem. Het bedrijf heeft een 'organische groei' doorgemaakt, dit heeft tot gevolg dat bijvoorbeeld niet alle technische installatietekeningen bijgewerkt zijn en het labelen van de aansluitingen in verdeelkasten niet optimaal is. Deze zaken brengen extra kosten met zich mee, maar zijn echter ook makkelijk te reduceren door een goede inventarisatie vooraf van een flexibel aanbieder.

Een moeilijker te overkomen belemmering zijn de vele verschillende hardware installaties en softwaresystemen. Binnen Energie 6.0 is gekozen om te focussen op 1 van de 3 machinekamers en slechts gedeeltelijke aanpassingen te maken voor de andere machinekamers. De keuze voor koelinstallatie MK3 is genomen omdat er één generieke PLC (merk Siemens) gebruikt wordt voor het gehele proces. Alle sensoren en actuatoren zijn aangesloten op de PLC. Naast de standaard sensoren, zoals temperatuurmetingen in de koelcellen, zijn bij MK3 ook stroommetingen aanwezig per individuele compressor. Dit maakt deze installatie zeer geschikt voor dit project.

Om een goed beeld te krijgen van het energieverbruik per installatie c.q. per onderdeel van het bedrijf, zijn extra energiemeters geplaatst. Tevens is het pulscontact van de hoofdmeter aangesloten op een datalogger zodat ook het totaalverbruik inzichtelijk gemaakt kon worden. De data van de energiemeters en datalogger worden verzameld door twee centraal geplaatste PLC's. Deze PLC's zijn geplaatst bij de twee grootste koelinstallaties MK2 en MK3. Om goed inzicht te krijgen in het functioneren van de koelinstallaties is gekozen voor een koppeling op PLC-niveau met de koelinstallaties. Op die manier was het niet nodig om nieuwe sensoren te plaatsen en bovendien zou dit in een later stadium ook gebruikt kunnen worden voor het afschakelen van (delen) van de koelinstallatie. In deze toepassing wordt er een tweede PLC geplaatst, welke vervolgens dan via een bussysteem gekoppeld wordt met de reeds bestaande PLC. De tweede PLC zorgt voor het inwinnen van de meetwaarden en voor tijdelijke opslag. Van de leverancier van de koelinstallatie is slechts toestemming en een kleine aanpassing nodig. De nieuwe PLC kan grotendeels een standaard programma bevatten.

De koppeling tussen de twee PLC's bij MK3 bleek in eerste instantie niet altijd stabiel te werken, het resultaat was veel nulwaarden in de database van RealM2M. Door het toevoegen van extra bewaking in de PLC-software is dit probleem verholpen. Bij de tussenmeters was gerekend met een kWh resolutie van 0,1 kWh, maar met een meetfrequentie van 1 minuut bleek dat dit een te lage resolutie op te leveren. Reden is dat sommige delen van de installatie overgedimensioneerd waren waardoor er een sterk resolutieverlies optrad. Dit is opgelost door uit de tussenmeters andere registers te gaan uitlezen dan initieel bedacht. Er bleken namelijk ook 64bits Wh waarden uit de meter gehaald te kunnen worden waardoor de resolutie weer op een aanvaardbaar niveau kwam te liggen. Dit betekende wel voor een gedeelte een verandering van het PLC-programma en een aanpassing van de inrichting in RealM2M.

Zoals uit het bovenstaande blijkt brengt het aanbrengen van additionele metingen en sturingsmogelijkheden redelijk wat uitdagingen met zich mee. Echter kan er ook geconcludeerd worden dat er een significant leereffect is. Een voordeel van koelhuizen is dat de werkwijze vaak gestandaardiseerd kan worden, waardoor de kosten voor het meetplan, de installatiekosten en de kosten voor het koppelen gereduceerd kunnen worden. Hoe meer klanten worden aangesloten op het systeem, hoe voordeliger deze kosten worden.

7.1.2 Flexibiliteitanalyse

Om een schaalbaar systeem te creëren voor waardering en optimalisatie van flexibiliteitsprofielen is een hoge mate van automatisering een vereiste. De complexiteit komt voort uit het feit dat verschillende systemen en interfaces aan elkaar gekoppeld moeten worden. De belangrijkste interface is de RealM2M API van I-Real voor het uitlezen van real-time meetdata en het besturen van de installaties. Deze API is door I-Real ontwikkeld en eerder toegepast in watermanagement met gemalen. Doordat deze software al in een eerdere fase was ontwikkeld en toegepast was er geen sprake van kinderziektes. De connectie tot deze API was dan ook relatief eenvoudig.

Een tweede interface die van belang is voor de optimalisatie van flexibiliteitsprofielen is de interface met de wholesale markt. De flexibiliteitsprofielen dienen namelijk uitgehandeld te worden op de day-ahead, intraday en/of onbalansmarkt. Tevens dient het totale energieconsumptieprofiel genomineerd te worden. Aangezien Priogen al jarenlang actief is binnen de Europese wholesale markten was de interface naar de wholesale markt ook geen enkele beperking. Eventuele nominaties voor Van Acht of het uithandelen van flexibiliteitsprofielen konden met relatief kleine aanpassingen eenvoudig geïntegreerd worden binnen bestaande procedures.

Het optimalisatiealgoritme op basis van de ontvangen data en de marktprijzen diende echter compleet gebouwd te worden. Hierbij moesten enkele uitdagingen met betrekking tot data en communicatie overwonnen worden;

- Datakwaliteit
 - De datakwaliteit was zeker in het begin instabiel. Het systeem had vaak te maken met inconsistentie en nulwaarden. Hoewel de kwaliteit verbeterde gedurende het project is er toch voor gekozen om data cleaning in eigen beheer te nemen. Hierbij worden bepaalde metingen uitgefilterd om de voorspellende waarde van de metingen te verhogen.
- Data granulariteit
 - Niet alle beschikbare metingen hebben dezelfde granulariteit. Om naar een aggregatieniveau te komen zou mogelijk informatie verloren kunnen gaan. In onze ogen is dit op het moment verwaarloosbaar.
- Communicatie frequentie
 - Binnen Energie 6.0 vormt de communicatie frequentie een mogelijk risico. Het uitlezen van sommige metingen komt met een vertraging van 2-7 min. Vanwege de bestaande infrastructuur kan deze belemmering slechts tegen hoge kosten worden verholpen. Deze vertraging vormt een risico voor onbalansoptimalisatie. Aangezien deze real-time optimalisatie extreme prijzen probeert te benutten is een snelle terugkoppeling van besturingsacties en installaties status van enorm belang.

7.2 Schaalbaarheid

Standaardisatie is een belangrijke randvoorwaarde voor een schaalbare oplossing. Standaardisatie verlaagt de kosten en vervolgens helpt dit weer meer potentiële flexibiliteit te ontsluiten. De complexiteit om datametingen beschikbaar te maken hebben zeker impact gehad op het verloop van Energie 6.0, echter is deze complexiteit niet van invloed op de schaalbaarheid voor Priogen. Het vertalen van de metingen in een flexibiliteitsprofiel heeft wel invloed op de business case. Om schaalbaarheid te bereiken dient de doorlooptijd voor een volgende locatie significant korter te zijn. De verschillende manieren van aansturing hebben hier een directe invloed op. Directe aansturing op de elektriciteitsconsumptie is significant eenvoudiger dan de benodigde analyses voor indirecte aansturing. De data-analyse capaciteiten en ook de manuren nodig om de verbanden te leggen tussen het onderliggende bedrijfsproces en de energieconsumptie zijn beduidend hoger dan bij directe aansturing. Op basis van de ervaringen van Energie 6.0 raden we dan ook aan initieel de focus te leggen op directe aansturing. Deze aansturing is eenvoudiger en goedkoper te realiseren, mits deze goed in te passen is in het onderliggende bedrijfsproces.

In de originele business case zijn aannames gemaakt over de waarde van flexibiliteit. Deze waarde was voornamelijk gebaseerd op de mogelijkheid elektriciteitsconsumptie te verschuiven van uren met een hoge prijs naar uren met een lage prijs. Deze aanbod-gestuurde optimalisatie maakt de

integratie van een hoger percentage duurzame opwek mogelijk. Twee belangrijke aspecten zijn in de aannames onderschat;

1. Load shifting kan slechts met een beperkte tussenperiode
2. De overshoot reduceert de flexibiliteitswaarde in de onbalans optimalisatie significant

Energie 6.0 had als doelstelling een totaalpakket aan optimalisatiemogelijkheden aan te bieden: day-ahead, intraday en onbalans. De verschillende markten brengen verschillende mogelijkheden met zich mee. De oorspronkelijke aannames waren te simplistisch, de energiebehoefte en de temperatuurstijging hebben een kortere reactietijd dan aangenomen. Hierdoor is loadshifting over een grote tussenperiode uitgesloten en beperkt tot opeenvolgende uren. Aangezien opeenvolgende uren een kleiner prijsverschil hebben, wordt de waarde van flexibiliteit hierdoor negatief beïnvloed. Ook op de onbalans markt was de aanname te simplistisch. De reactietijd en overshoot waren niet meegenomen in de onbalans optimalisatie aanname. De overshoot die veroorzaakt wordt door het opstarten van de installaties reduceert de waarde van flexibiliteit significant, aangezien onbalansprijzen in opvolgende PTU's hoog gecorrigeerd zijn. Priogen verwacht dat de lagere waarde van flexibiliteit een negatief effect zal hebben op de schaalbaarheid. Meer partijen zijn namelijk geïnteresseerd indien de terugverdiendtijd van de investeringen korter is.

7.3 Duidelijke rolverdeling

Binnen Energie 6.0 zijn de rol van Aggregator, Data ontsluiters en Flexaanbieder ingevuld door respectievelijk Priogen, I-Real en Van Acht. Aanvankelijk leek dit een juiste en complete rolverdeling. Echter, tijdens het project is gebleken dat de rol van Flexibiliteitontsluiter mist in deze keten.

De ervaring uit Energie 6.0 geeft aan dat de flexibiliteitontsluiter, de rol die ruwe data om kan zetten in een flexibiliteitsprofiel, op dit moment ontbreekt in de markt. Binnen Energie 6.0 werd deze rol uiteindelijk vervuld door Priogen. Priogen is echter gericht op schaalbaarheid door automatisering. De organisatie is niet ingericht om arbeidsintensief analyzewerk te verrichten. Voorwaarde voor Priogen om dit als een schaalbaar businessmodel uit te rollen is dan ook het "flexibiliteitstekker" en "flexibiliteitstopcontact" model van TNO. Daarbij is Priogen dan verantwoordelijk is voor de flexibiliteit optimalisatie en de koppeling met de flexibilitetaanbieder en de wholesale markt. Verder kan de rol van Flexibiliteitontsluiter efficiënter uitgevoerd door iemand met kennis van het domein, in dit geval het koeldomein. Om deze reden is het aan te raden dat de flexibiliteitontsluiter zijn taak van flexibiliteit bepalen uitvoert voor meerdere stakeholders in het domein. Een branchevereniging kan hierin bijvoorbeeld een rol spelen.

7.4 Huidige regelgeving en richting

We kunnen concluderen dat de invoering van de regelgeving voor het ontsluiten van flexibiliteit op de day-ahead, intraday en onbalans markt voor de grootverbruiker zich niet meer in de beginfase bevindt, maar meer naar een volwassen fase aan het ontwikkelen is. De grootste uitdagingen op nationaal niveau bevinden zich meer op praktische invulling dan beperkingen in de regelgeving. De ontwikkelingen met betrekking tot de "ancillary/balance" diensten op DSO-niveau zijn echter nog niet in deze fase beland. Op dit vlak zijn de eerste onderzoeksresultaten van subsidieprojecten binnen en wordt de richting van de wetgeving bepaald. De AFM ondersteunt het uitgangspunt van het wetsvoorstel voortgang energietransitie (V.E.T.), waarbij een duidelijke rolverdeling wordt gedefinieerd voor de taken van de netwerkbedrijven en commerciële partijen. Hierin spreekt de AFM zich duidelijk uit om energiebesparingsdiensten en de taken van aggregators, partijen die vraag en aanbod van energie op elkaar afstemmen, aan marktpartijen over te laten. Deze richting in de wetgeving ondersteunt de business case van flexaanbieders en aggregators.

8 Financiële realisatie

In onderstaand overzicht wordt de financiële realisatie ten opzichte van de begroting weergegeven. De gerealiseerde kosten worden in onderstaand overzicht weergegeven. Voor I-Real en Priogen zijn in de bijlage de accountantsverklaringen bijgevoegd.

Partner	Kostentype	Loonkosten		Machine en apparatuurkosten		Verbruikte materialen en hulpmiddelen		Aan derden verschuldigde kosten		Demonstratie		Totaal kosten		Totaal subsidie		Percentage gerealiseerd	
		Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Realisatie	Begroot	Kosten	Subsidie
I-Real	Industrieel	€ 30.570	€ 18.000	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 11.775	€ 12.000	€ -	€ -	€ 42.345	€ 30.000	€ 29.642	€ 21.000	141%	141%
	Experimenteel	€ 43.470	€ 48.000	€ -	€ 300	€ -	€ -	€ 6.250	€ 6.250	€ -	€ -	€ 49.720	€ 54.550	€ 22.374	€ 24.548	91%	91%
	Demonstratie	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 222.274	€ 304.280	€ 222.274	€ 304.280	€ 144.478	€ 197.782	73%	73%
Priogen	Industrieel	€ 76.695	€ 63.360	€ -	€ -	€ 435	€ -	€ 11.775	€ 12.000	€ -	€ -	€ 88.905	€ 75.360	€ 62.234	€ 52.752	118%	118%
	Experimenteel	€ 83.655	€ 74.880	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 6.250	€ 6.250	€ -	€ -	€ 89.905	€ 81.130	€ 40.457	€ 36.508	111%	111%
	Demonstratie	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 280.146	€ 249.400	€ 280.146	€ 249.400	€ 182.095	€ 162.110	112%	112%
Van Acht	Demonstratie	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 30.315	€ 30.000	€ 30.315	€ 30.000	€ 19.705	€ 19.500	101%	101%
Totaal		€ 234.390	€ 204.240	€ -	€ 300	€ 435	€ -	€ 36.051	€ 36.500	€ 532.734	€ 583.680	€ 803.609	€ 824.720	€ 500.984	€ 514.200	97%	97%