

Auteur Drs.ir P.M.D. (Martijn) Kruijsse, Haagse Hogeschool

# Brains4Buildings: Slimme, data-gedreven gebouwen

*Gebouwen zijn niet langer uitsluitend afnemers van energie uit een openbaar net, maar zijn ook steeds meer te zien als een energieleverancier en als dempende factor in de totale keten van energie voorziening. In het introductieartikel in editie 1 van TVVL magazine 2023 is het gebruik van data in dat verband in de breedte toegelicht. Met behulp van data is daarnaast ook nog veel te verbeteren aan optimalisatie van het energieverbruik van het gebouw zelf. Slimme, data-gedreven gebouwen, worden daarmee steeds meer een integrale schakel bij het oplossen van duurzaamheidsvraagstukken.*

Het project Brains4Buildings Energy Systems (B4B) is een project, waarin de potentie van een optimale positionering van gebouwen in die energievoorziening wordt onderzocht, gelijktijdig met onderzoek naar besparingsmogelijkheden binnen het gebouw. Er wordt daarbij op 4 vlakken onderzoek gedaan naar mogelijkheden om gebouwen te verslimmen en daarmee te verduurzamen. Het hebben en gebruiken van data speelt op al deze vlakken een essentiële rol.

De 4 onderzoeksvragen zijn:

- 1. Verspilling voorkomen:** Hoe kan met behulp van data energieverpilling worden voorkomen met behulp van (automatische) foutdetectie op gebouw-installaties.
- 2. Gebouwflexibiliteit, vraag en aanbod van energie slim balanceren.** Hoe kan data-gestuurd het gebouw op de juiste momenten energie genereren? Wat zijn geschikte regelstrategieën?
- 3. Feedback mogelijkheden:** Hoe kan, met gebruik van data, het gebouw energie-efficiënter geregeld worden, gebruikmakend van gebruikersfeedback over comfortbeleving.

- 4. Integratie van data van op systeemniveau:** Hoe kunnen gebouwen efficiënter datagedreven worden aangestuurd door het oplossen van interoperabiliteitsknelpunten. Waarbij gebruik gemaakt wordt van het integreren en/of optimaliseren van (bestaande) technische systemen van de verschillende gebouw automatiseringssystemen, met behulp van data.

Dit zijn ook de 4 werkpakketten (WP's) waarop onderzoek wordt gedaan. Alle bevindingen worden uiteindelijk zoveel mogelijk gedeeld in een learning communities (WP5). Het project is nog niet afgerond, maar vooruitlopend op de concrete resultaten wordt in dit artikel de potentie van de op het gebruik van data gebaseerde mogelijkheden uiteengezet.

## Kansen

Zelfs in de modernste utiliteitsgebouwen wordt 10-30% van de energie verspild door slecht werkende installaties en onverwacht gedrag van gebruikers terwijl de kwaliteit van het binnenmilieu onvoldoende is en de operationele kosten hoog zijn.



Figuur 1: Overzicht van deelnemers aan B4B.

Aan de andere kant bieden slimme meters, gebouwbeheersystemen en Internet of Things (IoT) de mogelijkheid om grote hoeveelheden data te verzamelen "waar je iets mee moet kunnen".

Het gebruik van deze gegevens is op diverse gebieden kansrijk: bijvoorbeeld om energieverbruik te verminderen, comfort te verhogen, flexibel in te spelen op gebruikersgedrag en lokale energievraag en energieaanbod, en om te besparen op kosten voor installatieonderhoud.

Maar de feitelijke toepassing van datagedreven oplossingen is onderontwikkeld en wordt nog nauwelijks toegepast. Hoe kan je die toepassing nu faciliteren? Voor het real-time analyseren en gebruiken van grote hoeveelheden data zijn Machine Learning en Kunstmatige Intelligentie nodig.

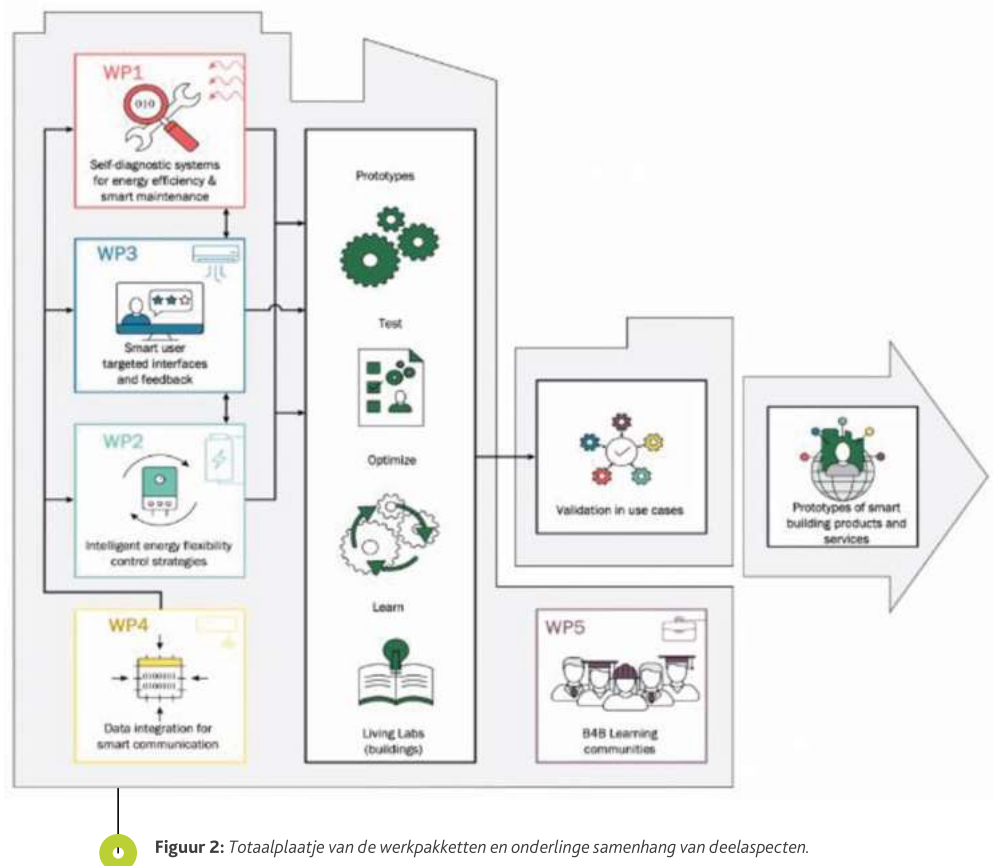
Echter, huidige modellen en algoritmen zijn nog niet snel en efficiënt genoeg om gebouwen echt 'slimmer' te maken, en de implementatie is daarom op dit moment een omslachtige en tijdrovende exercitie.

Gezien de complexiteit is samenwerking van partijen in de hele waardeketen en een open-source benadering een must om tot opschalbare en geïntegreerde oplossingen te komen en tot systeeminnovatie breed in de installatiesector.

### Welke partijen doen mee aan het onderzoek?

Deelname aan het project vindt plaats vanuit vrijwel alle geledingen in de markt. De hele bouwketen is daarmee (bewust) betrokken bij dit project. De projectpartners bestaan uit kennisinstellingen, installatiebedrijven, energieadviesbureaus, platform & interface-ontwikkelaars, gebouw-eigenaren en -beheerders, technologieleveranciers en branche-netwerkorganisaties, zie figuur 1.

Per werkpakket zijn logische combinaties van deelnemers gekozen bij de uitvoering van het onderzoek. Het lectoraat "Energy in Transition" (EiT) van de Haagse Hogeschool is bijvoorbeeld betrokken in werkpakket 2, dat zich richt op de energie-flexibiliteit van gebouwen.



Figuur 2: Totaalplaatje van de werkpakketten en onderlinge samenhang van deelaspecten.

### Structuur van het onderzoeksproces

In figuur 2 wordt de structuur van het onderzoek weergegeven. Daarin wordt de samenhang en interactie van de verschillende werkpakketten aangegeven.

Data integratie (WP 4) staat daarbij centraal en wordt toegepast in WP 1 t/m 3.

De output betreft prototypes van software plug-in, data gestuurde en gebruikersgerichte interfaces en methoden, richtlijnen en standaarden voor data-integratie voor smart building infrastructuur.

Het prototypes en methoden worden ontwikkeld in een aantal living-labs, waarin real-life experimenten uitgevoerd worden met de installaties en de GBS. Daarnaast zijn er ook use-cases waarin de bedrijven betrokken in het project zelf werken aan de ontwikkeling van nieuwe (deel)producten.

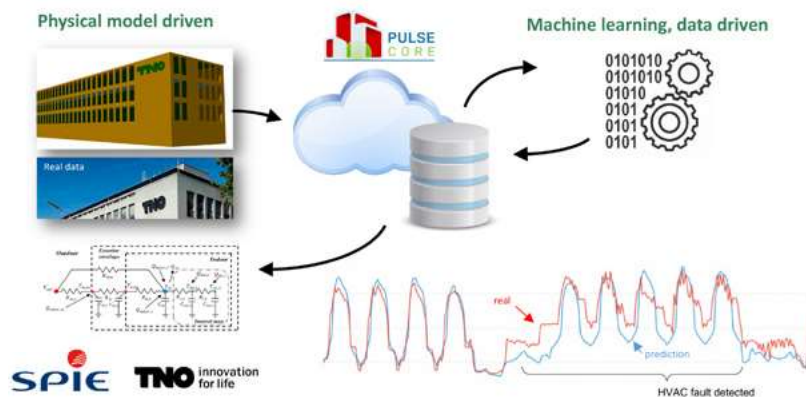
De visualisering van de werkpakketten 1, 2 en 3, met een korte tekstuele omschrijving ziet er dan uit zoals in Figuur 2 is weergegeven.

Werkpakket 1: Verspilling voorkomen

Binnen dit werkpakket worden onder andere slimme diagnosesystemen ontwikkeld om op een geautomatiseerde manier fouten op te sporen in gebouwinstallaties en daarmee energieverliezen te verminderen.

Met deze Digital Twin-aanpak wordt een digitaal simulatiemodel vergeleken met het fysische gebouwmodellen. In het voorbeeld wordt voor dit proces een data-gedreven model gebruikt voor het voorspellen van de energieprestatie van een HVAC-installaties. Met het vergelijken van de voorspellingen met de gemeten data kan je fouten signaleren.

WP 1(a): Fysische modellen en data gedreven modellen voor fault detection



Figuur 3: Ontwikkelen van foutdiagnose met behulp van digital twin-aanpak.

Een tweede mogelijkheid voor automatische foutdetectie vormt implementatie van de 4S3F-methode voor geautomatiseerde diagnose van fouten in bijvoorbeeld luchtbehandelingskasten, warmteopwekking, koudeproductie. Waarbij S staat voor "symptomen" en "F" voor fouten. Bij deze methode worden statistische analyses gebruikt waarmee de waarschijnlijkheid wordt bepaald dat er sprake kan zijn van een optredende fout.

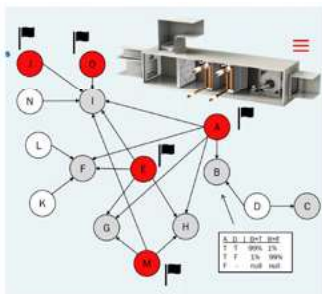
Simpel gezegd wordt getracht op basis van gedetecteerde afwijkingen/fouten, bijvoorbeeld in de energiebalans of operationele status, een diagnose te stellen waar een fout zou kunnen zijn opgetreden in een installatie. Dus het systeem probeert diagnose te stellen aan de hand van symptomen. Bijvoorbeeld als symptoom I, F, en G samen optreden is er meer kans dat onderdeel E stuk is (dan bijvoorbeeld onderdeel M of O).

WP 1(b): Geautomatiseerde foutendiagnose m.b.v. Machine Learning als onderdeel van FDD

Afwijkingen/fouten, energiebalans en bedrijfstoestand als input voor diagnoses

Implementatie van 4S3F methode voor geautomatiseerde diagnoses:

- Diagnostic bayesian networks worden gebruikt om diagnoses te stellen waarbij domein kennis wordt gebruikt bij de definitie van de relaties.
- Belangrijke inputs van het proces:
  - Gedetecteerde afwijkingen/fouten
  - Energiebalans
  - Operationele status
- Technieksorten: Luchtbehandelingskasten, warmteopwekking, koude productie



Figuur 4: Fundamenteel-theoretisch benadering van foutdiagnose.

Werkpakket 2: Gebouwflexibiliteit, vraag en aanbod slim balanceren

Doel hierbij is om slimme besturingsmodellen te ontwikkelen om de energieflexibiliteit (warmte, koude en elektriciteit) binnen gebouwen te benutten en/of te vergroten. Kosten optimalisatie, CO<sub>2</sub>-uitstoot, comfort of maximale inzet van lokale bronnen worden meegenomen in regel-strategieën en algoritmes.

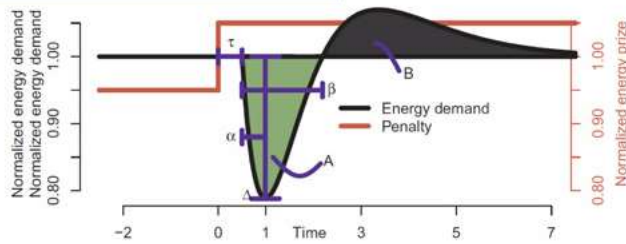
De invulling van deze modellen vindt vooral plaats door het ontwikkelen van analytische, zelflerende systemen voor MPC (Model Predictive Control).

Voorbeelden en/of pijlers van dergelijke oplossingen zijn:

- Gebruikmaken van "natuurlijke accupaciteit" (bijvoorbeeld thermische massa) bij het bepalen van inschakelmomenten van energieopwekkers (bijvoorbeeld warmtepompen)
- Gebruik maken van de day-ahead energie-marktprijzen en op basis hiervan slimme draaitijden voor bijvoorbeeld een warmtepomp kiezen. Een lage energieprijis geeft dan een verwacht energieoverschot aan, en het juist dan gebruiken van de energie draagt bij aan stabiliseren van vraag- en aanbod.
- Gebruikmaken van EV-accu-capaciteit van een aanpalende parkeergarage voor teruglevering of juist afnemen van elektrische energie. Ook dit draagt bij aan stabiliseren van vraag en aanbod.



## Flexibility characteristics



$\tau$  (Time): The delay of seeing an effect on the energy demand.

$\Delta$  (Power): The maximum change in demand following the penalty change.

$\alpha$  (Time): The time it takes from the start in change in demand until it reaches the lowest level.

$\beta$  (Time): The total time of decreased energy demand.

A (Energy): The total amount of decreased energy demand.

B (Energy): The total amount of increased energy demand.

Figuur 5: Flexibiliteit icm vraagsturing met behulp van beprijzing (penalty).

### Werkpakket 3: Gebruikers feedback ten behoeve van energie-efficiënt gebruik van installaties

Doel is om gebruikersinterfaces (voor eindgebruikers en facility managers) te ontwikkelen, om een energiezuinig en gezond binnenmilieu te waarborgen en om de gebruiker aan te zetten tot energiezuinigheid en flexibiliteit. Dit vereist een interface voor feedback in beide richtingen.

In werkpakket 3 wordt onderzoek gedaan naar het verzamelen en verwerken van gebruikersfeedback waarbij onderzocht wordt hoe hiermee de installaties geoptimaliseerd kunnen worden met behoud van comfort en met het stimuleren van energie-awareness bij de gebruikers.

Wat betreft het verzamelen van feedback van gebruikers en comfort is in het kader van het project is in de zomer van 2022 is een pilotstudie uitgevoerd in een bestaand kantoorgebouw van Spie. Gebruikersfeedback werd verzameld met zowel losstaande stemkastjes als QR-codes geplaatst op tafels in de kamers. Dit heeft al aantal interessante inzichten opgeleverd over het beste gebruikersinformatie verzameld kan worden, onder andere dat stemkastjes werden het meest gebruikt werden, en dat er zwakke relatie is tussen het ervaren van binnenklimaat en de verwachte beleving op basis van CO<sub>2</sub>-meetgegevens.

### Werkpakket 4: Oplossen (data) interoperabiliteits knelpunten

Binnen dit werkpakket wordt gewerkt aan de realisatie van dataconnectiviteit tussen

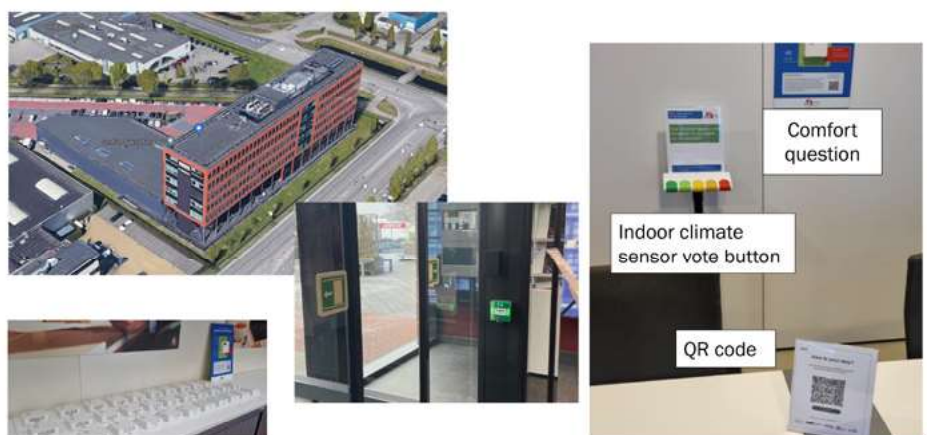
applicaties, de veiligheid van de gegevens, het ethisch gebruik en de standaardisatie. Er wordt onderzoek gedaan naar systeemintegratie op API-niveau en niet op het dataniveau van individuele systemen van verschillende fabrikanten.

Op het vlak van data-integratie is er een eerste overzicht gegeneerd voor een referentie-architectuur. Doel van de ontwikkeling van zo'n architectuur is om te komen tot een "gids voor bedrijven, verkopers en gebruikers voor het bouwen van hun systemen:

- Hoe sla je data op?
- Hoe label je data?
- Hoe zit het met het eigenaarschap?
- Hoe ga je om met security & privacy?

Dit moet uiteindelijk leiden tot schaalbare oplossingen voor groeiend aanbod databronnen en gebruikers.

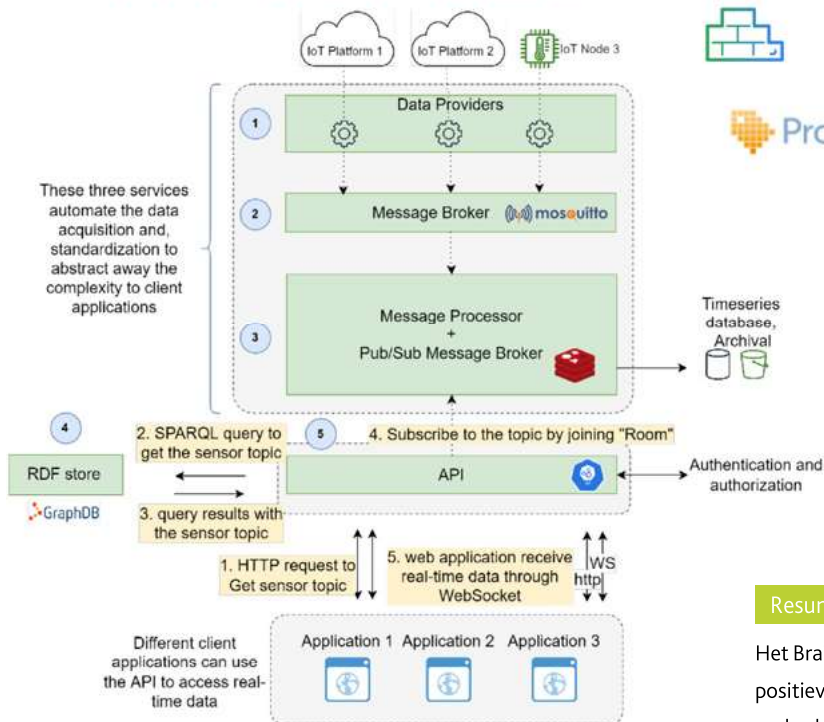
### WP 3: Collecting real-time subjective comfort data



Figuur 6: Vormen van interfacing tbv gebruikersfeedback.

## WP 4: Data integratie

## Referentie-architectuur



## #generate-my-metadata-schema



**Brick**  
A uniform metadata schema for buildings



**Project Haystack**

Figuur 7.

## Resume

Het Brains4Buildings (B4B) onderzoek richt zich op de positieve rol die gebouwen kunnen spelen als integraal onderdeel van de landelijke energievoorziening. Waarbij verslimming van gebouwen bijdraagt aan zowel het leveren van energie aan het openbare net als het op gunstige tijdstippen gebruiken van energie uit dat net. Beide mechanismes dragen positief en actief bij aan het stabiliseren van het energienet.

Gelijktijdig worden de mogelijkheden onderzocht om gebouwen energie-efficiënter en gebruikersvriendelijker te maken met behulp van data die dan toch al grotendeels beschikbaar zijn.

Overall wordt daarmee een bijdrage geleverd aan de verduurzaming. Het verzamelen en het gebruiken van data, zowel van gebruikers als uit het energienet, is in volle gang en zijn de pijlers voor succes.

Over de resultaten van het onderzoek zal in de komende 2 jaar in TVVL Magazine verder worden gepubliceerd.

## Werkpakket 5: delen van ervaringen, learning communities

Tot slot de learning community: Het leren, ontwikkelen en delen van kennis gebeurt op diverse manieren. De consortiummeetings zelf zijn belangrijk ontmoetingsmomenten voor het bespreken van de voortgang maar zeker ook voor de uitwisseling van kennis tussen bedrijven, onderzoekers en studenten.

Daarnaast wordt gewerkt aan een education platform, een digitale learning community onder andere samen met de DGBC en het project TransACT, waarin ook TVVL participeert. Inmiddels is ook gestart binnen het project B4B met maandelijkse webinars, waarin echt de diepte wordt ingegaan op basis van tussenresultaten van het B4B onderzoek. Zie bijvoorbeeld een 3-tal LinkedIn-posts van Mirjam Hamelink met een samenvatting van tussentijdse onderzoeksresultaten (kijk voor de info op haar LinkedIn-pagina:

- [Ervaring met gebruikersinterface](#)
- [Resultaten foutdetectie](#)
- [Resultaten data-integratie](#)

Volledige lijst met rapporten en artikelen is terug te vinden op de website van het onderzoek:

[www.brains4buildings.org](http://www.brains4buildings.org)

## Over de auteur:

Drs.ir. P.M.D. (Martijn) Kruijsse is verbonden aan het Lectoraat Energy in Transition (EiT) aan de Haagse Hogeschool, en is voorzitter van redactieraad van TVVL Magazine.