

# Een op ontologie gebaseerde aanpak voor data-analyse van gebouwautomatisering

*Er is steeds meer vraag naar automatiseringssystemen voor gebouwen, omdat ze een belangrijke rol spelen bij het oplossen van de bestaande problemen in verband met de opwarming van de aarde. Tegelijkertijd moeten de gebouwen voldoen aan de verwachtingen van de gebruiker wat betreft comfort en bruikbaarheid. De succesvolle toepassing van een efficiënte en duurzame gebouwexploitatie gaat gepaard met de integratie van meerdere en heterogene databronnen. De grote complexiteit van de gegevens blijft echter een grote uitdaging. Om deze problemen aan te pakken is de toepassing van ontologieën populair geworden bij het modelleren, beheren en analyseren van gegevens door het harmoniseren van verschillende databronnen en het efficiënt bevragen van gegevens. Voor een succesvolle toepassing zijn passende ontologieën nodig om bouwgegevens te creëren en te accumuleren via gestandaardiseerde metadataschema's.*

Er zijn tal van ontologieën ingevoerd, die gestandaardiseerde metadata leveren om de kennis van gebouwen weer te geven met termen in formele en gedeelde conceptualisering. Zoals besproken in Pitroni et al., gebruiken verschillende gemeenschappen afzonderlijke termen, wat resulteert in 40 metadataschema's die verschillende normen hebben vastgesteld. [1] Building Topology Ontology (BOT) biedt topologische concepten van bouwcomponenten door relaties te definiëren tussen subcomponenten: locatie, gebouw, opslag, ruimte en element. [2] De Smart Applications REference (SAREF) was bedoeld om met het vastleggen van generieke sensoren en slimme apparaten de interoperabiliteit tussen IoT-oplossingen van verschillende fabrikanten mogelijk te maken. [3] Het dekt echter niet op efficiënte wijze de diversiteit van apparaten en uitrusting in gebouwen. Brick streeft naar een gestandaardiseerde ontologie voor fysieke, logische en virtuele activa in gebouwen en de relaties daartussen. [4] Het wordt vaak gebruikt en toont uitbreidbaarheid en interoperabiliteit met andere bestaande schema's. Bestaande schema's zijn sterke kandidaten om bouwgegevens te digitaliseren, maar zijn echter beperkt tot het beschrijven van bouwconcepten, waarbij logica (bv. regelgebaseerde automatisering) wordt genegeerd.

Een voorstelling van een ontologie voor gebouwautomatisering die gericht is op kamerautomatisering is: a) de bestaande schema's worden hergebruikt, b)

er wordt een nieuw schema gecreëerd om bewegingen weer te geven die door automatiseringssystemen en user commando's worden getriggerd, en c) deze schema's worden geïntegreerd. Met het ontologiemodel wordt het ontwerp, de implementatie en het gebruik van een semantische benadering voor de exploitatie van gebouwautomatiseringsdata onderzocht.

De motivatie van dit werk is het omzetten van bestaande databronnen van een relationele database naar een model gebaseerd op het Resource Description Framework (RDF). Hiermee kunnen ingenieurs en onderzoekers met meerdere databases werken, wat verdere analyse mogelijk maakt. Zodra de gegevens in RDF-formaat zijn opgeslagen in een grafiekdatabase, zijn ze gemakkelijk toegankelijk op het web met behulp van een querytaal (bv. SPARQL). Om de toepassing van het RDF-datamodel te demonstreren, worden in verschillende scenario's gebouwgegevens zoals commerciële gebouwautomatiseringssystemen (bv. KNX), weerstations en kamerbewakingssensoren (bv. temperatuur, vochtigheid) meegenomen voor: a) het opsporen van anomalieën van regelgebaseerde zonweringsautomatiseringssystemen door na te gaan of het automatiseringssysteem naar behoren werkt, b) het volgen van gebruikersactiviteiten in de zonweringsbesturing in automatische en handmatige modus, c) het identificeren van invloedrijke factoren die de voorkeur van de gebruiker beïnvloeden.

De voorgestelde ontologie wordt hierna in detail geïllustreerd en de bruikbaarheid van het voorgestelde model wordt geëvalueerd in case scenario's.

## Ontologie

De voorgestelde ontologie beoogt de volgende informatie te combineren:

- Topologische gebouwconcepten
- Apparatuur, apparaten en hun fysieke locatie in een gebouw, en de logische relaties daartussen
- Regelgebaseerde logica van automatiseringssystemen en feitelijke bewegingen
- Databronnen

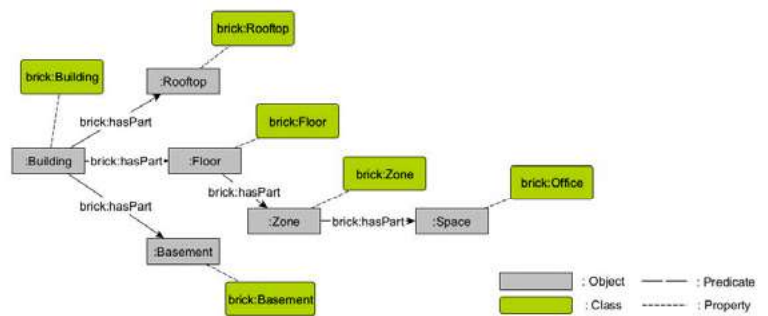
Volgens de ontologieontwikkelingsgids werd hergebruik van bestaande ontologieën overwogen. [5] Het toepassingsgebied omvat bewegingen die door automatiseringssystemen en user commando's in gang worden gezet. De prefixes (voorvoegsels) van de hergebruikte ontologieën staan in Tabel 1.

| Prefix | Namespace                                   |
|--------|---------------------------------------------|
| brick  | https://brickschema.org/schema/Brick#       |
| bot    | https://w3id.org/bot#                       |
| owl    | http://www.w3.org/2002/07/owl#              |
| qudt   | http://qudt.org/schema/qudt/                |
| rdf    | http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns# |
| rdfs   | http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#       |
| skos   | http://www.w3.org/2004/02/skos/core#        |
| tag    | https://brickschema.org/schema/BrickTag#    |
| unit   | http://qudt.org/vocab/unit/                 |
| xsd    | http://www.w3.org/2001/XMLSchema#           |

Tabel 1: Prefixes en namespaces (voorvoegsels en naamruimtes).

### Gebouwstructuur

In de voorgestelde ontologie vormen bekende concepten zoals kelder, dak en verdieping de basisstructuur van het gebouw. Bij elke verdieping horen verschillende ruimtes om de binnendelen van het gebouw te beschrijven. Ruimtes worden gespecificeerd in subklassen (bijv. kantoor). Een verdieping in een gebouw heeft bijvoorbeeld oostelijke en zuidelijke zones en kantoren in de oostelijke zone. De elementen worden gekoppeld om de hiërarchische gebouwstructuur te vormen door gebruik te maken van de relaties bot:hasStorey, bot:containsZone of bot:hasSpace. Apparaten en apparatuur kunnen rechtstreeks worden toegewezen aan kelder, dak, verdieping, zone en ruimte door de relaties brick:hasLocation of brick:isLocationOf te gebruiken. Dan kunnen de toestellen en apparatuur op dezelfde plaats gemakkelijk worden afgeleid.



Figuur 1: Structurele modellering van een gebouw.

### Apparatuur en toestellen

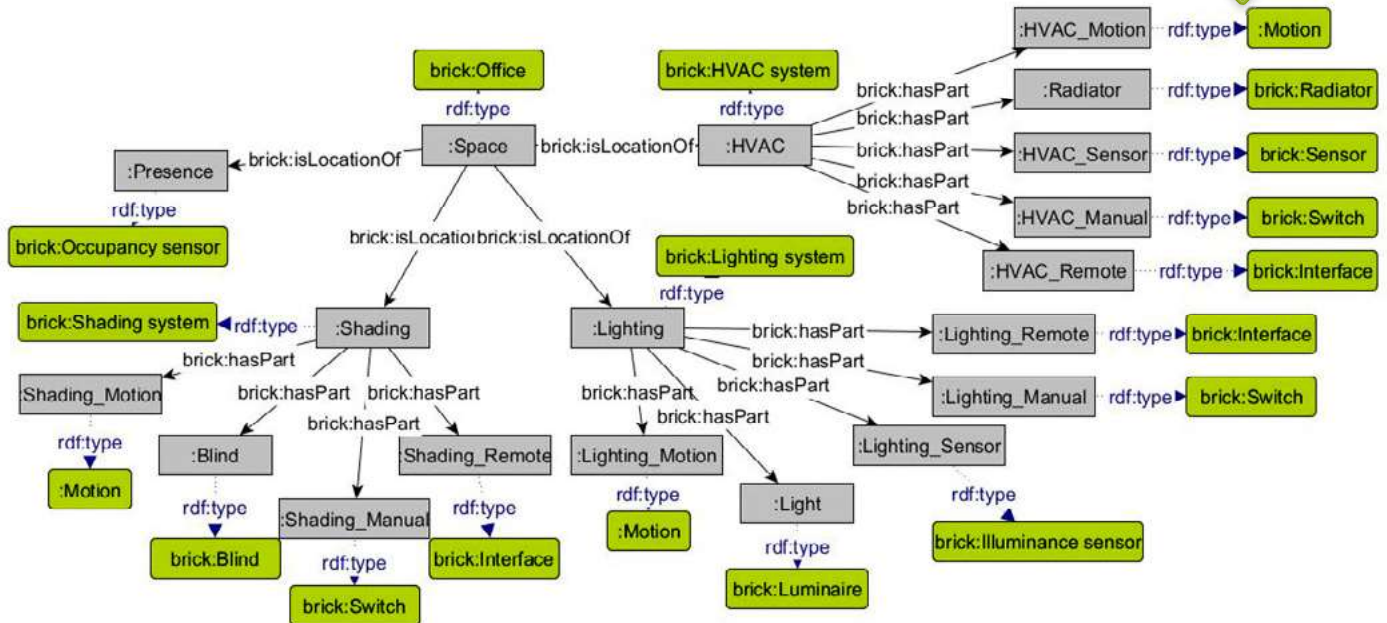
Apparatuur en toestellen worden toegewezen aan doellocaties. Elk kantoor heeft 4 systemen: zonwering, verlichting, HVAC en bezetting. Elk systeem, behalve bezetting, bestaat uit 4 componenten.

- Doelobject: wanneer een actuator een commando ontvangt, produceert hij een beweging naar het doelobject (bv. jaloezie, licht).
- Sensor: om het binnenklimaat te meten. Elke sensor behoort tot een overeenkomstig systeem.
- Handmatige besturing: handmatige input geproduceerd door een gebruiker via een handmatig object (bv. schakelaar).
- Besturing op afstand: input geproduceerd op afstand vanaf een toestel (bv. pc, mobiele apparaten).
- Beweging: daadwerkelijke beweging getriggerd door regels of user commando's. Bewegingsklassen worden in alinea Beweging in detail toegelicht.



Figuur 2: Een kamer met binnenklimaat bewakingsapparatuur.

**Figuur 3:** Bewakingssystemen voor het binnenklimaat.



Elke kamer heeft een licht, een jaloezie en een radiator als doelobject (Figuur 2). De status van doelobjecten wordt bewaakt: licht (lichtvermogen), jaloezie (jaloeziepositie, jaloeziehoek), radiator (temperatuur gemeten via thermostaat, positie radiatorkraan). In elke kamer bevinden zich sensoren om het binnenklimaat te meten.

- Verlichting: verlichtingssensoren op bureau en plafond
- HVAC: temperatuur-, CO<sub>2</sub>- en vochtigheidssensoren
- Bezigting: bezettingssensoren

User commando's worden afzonderlijk bewaakt, afhankelijk van het type apparaat (fysieke schakelaar of externe interface zoals pc, app, enz.). Een setpoint (bv. de gewenste radiatortemperatuur) wordt beschouwd als een commando.

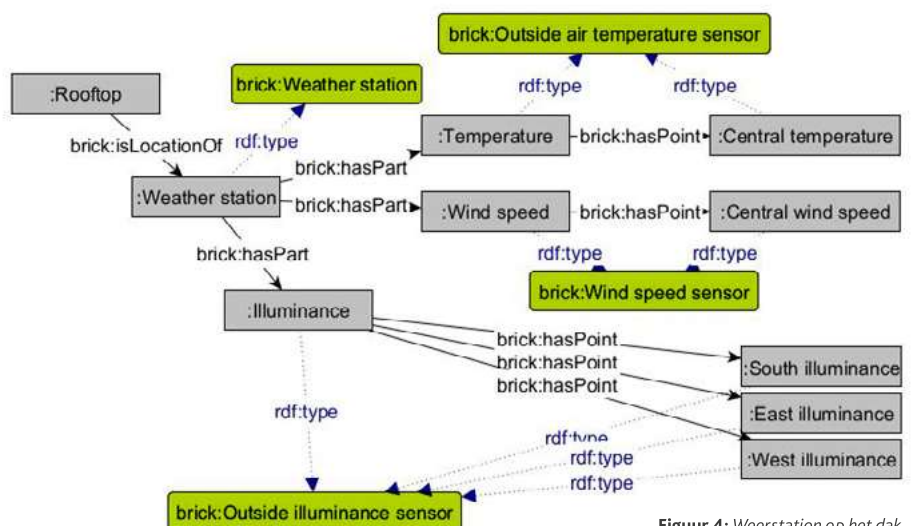
- Verlichting: licht aan/uit, dimmen
- Zonwering: jaloezie omhoog/omlaag, lamellenstand
- HVAC: gewenste radiatortemperatuur

De kamer in Figuur 2 wordt beschreven als een ontologie zoals geïllustreerd in Figuur 3.

Het weerstation op het dak bestaat uit verschillende soorten sensoren zoals afgebeeld in Figuur 4. Temperatuur-, verlichtings- en windsnelheidssensoren zijn opgenomen in de ontologie. Andere sensoren (bv. windrichting, luchtdruk) zouden flexibel kunnen toegevoegd worden. Aangezien systemen en apparaten verschillen, kunnen andere concepten worden toegevoegd indien aanvullende kenmerken gewenst zijn.

### Beweging

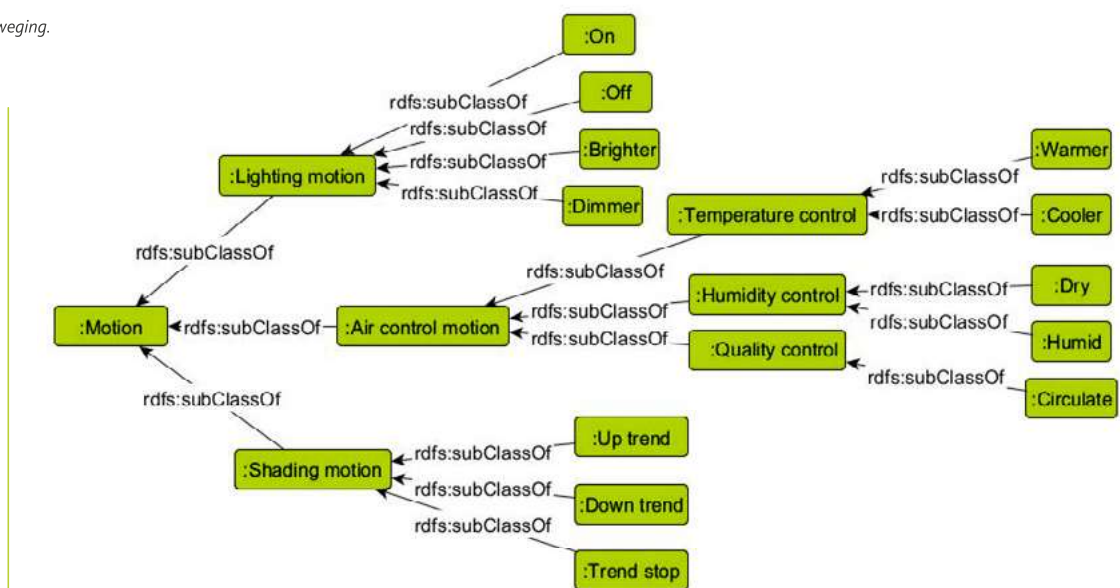
Hoewel er verschillende pogingen zijn gedaan om op regels gebaseerde algoritmen in de gebouwautomatisering te beschrijven [8], [12], bestaat er geen ontologie om bewegingen van een actuator te definiëren. Er is een ontologie gecreëerd om bewegingen van verlichting, zonwering en HVAC-systemen uit te drukken. Twee factoren initiëren een trigger naar een actuator: regel en commando. Een als motion class gedefinieerd object verwijst naar bewegingen die getriggerd worden door regels van automatiseringssystemen of user



**Figuur 4:** Weerstation op het dak.



Figuur 5: Ontologie van de beweging.



commando's. Vergelijkbaar met bestaande ontologieën heeft deze een hiërarchische structuur. Zoals getoond in Figuur 5 is de beweging gedefinieerd als de topklasse met subklassen die specifieke soorten bewegingen definiëren: zonwering, verlichting en luchtregeling.

Door gebruik te maken van de bewegingsontologie en bestaande ontologieën worden relaties tussen beweging en regel of commando in een ruimte weergegeven. Een voorbeeld van relaties wordt gegeven in de alinea over zonweringssystemen.

### Databronnen

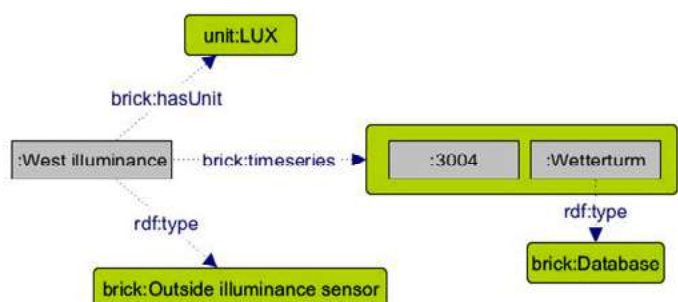
Aangezien het de bedoeling was een ontologie te ontwerpen om de toegang tot relationele databanken te vergemakkelijken, wordt de informatie van de databronnen in de ontologie weergegeven. Als tijdreeksdata heeft elk datapunt ten minste een tijdstempel en een kenmerk. Indien gegevens van een object beschikbaar zijn in een relationele database, bevat het object databroninformatie: databasenaam en primaire sleutel. Voor de databeschrijving wordt informatie over het type eenheid (bv. Celsius, lux) toegevoegd. Zoals te zien in Figuur 6, worden bijvoorbeeld gegevens over de lichtsterkte buitenshuis verzameld via een weerstation. Het wordt opgeslagen in een database genaamd *Wetterturm*. De verlichtingssensor heeft de eigenschappen databron en de eenheid (lux).

Hoewel de broninformatie wordt vereenvoudigd met databasenaam, primaire sleutel en eenheidstype, kan ook een beschrijving op laag niveau, zoals het IP-adres, worden opgenomen.

### Voorbeeld: Zonweringssysteem

In dit deel worden de relaties in de up-trend motion in zonweringstelsels beschreven. Zoals getoond in Figuur 7, ontvangt Up-trend van een zonweringssysteem in een kamer inputs van commando's: (Push button up) en een lichtsterktesensor op het dak. Hij is geconfigureerd om de beweging te activeren afhankelijk van de lichtsterkte buiten.

Wanneer aan de voorwaarden is voldaan, opent het automatiseringssysteem de jaloezie. Tegelijkertijd worden commando's als inputs beschouwd. Een enkel commando input verandert de positie van de jaloezie. Dit betekent dat een gebruiker niet alleen met een handschakelaar of een interface op afstand een beweging in gang kan zetten, maar ook een beweging kan onderbreken die door het automatiseringssysteem in gang werd gezet. Als de beweging wordt geïnitieerd, wordt deze overgebracht naar het doelobject (jaloezie). Tegelijkertijd wordt de fysieke positie of status van het doelobject bewaakt. Als een object gegevens heeft, heeft het een eigenschap *brick:timeseries* om te verwijzen naar de database en een unieke sleutel die wordt gebruikt in een relationele database. De gegevens over het zonweringssysteem in een kamer worden opgeslagen in twee verschillende databases: *:imedas* en *:Wetterturm* bij het onderzochte gebouw.



Figuur 6: Databroninformatie van de verlichtingssensor.

In dit deel worden verschillende nuttige toepassingen geïntroduceerd op basis van de voorgestelde ontologie in automatiseringssystemen voor zonwering. Aangezien een gebruiker niet regelmatig op het werk aanwezig is, worden in elke toepassing verschillende doelkantoren en -periodes gebruikt.

## Huidig gebouw & zonweringautomatisering

Twintig kantoren op de eerste of tweede verdieping in hetzelfde gebouw worden bewaakt. Elk kantoor heeft 40 of 41 kanalen (b.v. sensoren, commando's) voor real-time monitoring. Elk kantoor heeft een verschillend aantal gecontroleerde kanalen. Ongeacht de verschillende aantallen zijn de gegevens gemakkelijk toegankelijk op basis van de ontologie.

De lichtsterkte buiten en de windsnelheid worden alleen gebruikt als configuratiewaarden in automatiserings-systemen voor zonwering. Wanneer de lichtsterkte buiten kleiner is dan 1001 lux of de windsnelheid meer dan 10 m/s bedraagt, zet het automatiseringssysteem de jaloeziepositie op 0 (open). Evenzo verandert de jaloeziepositie in 100 (dicht) wanneer de lichtsterkte buiten groter is dan 25.000 lux.

## Anomaliedetectie van automatiseringssysteem voor zonwering

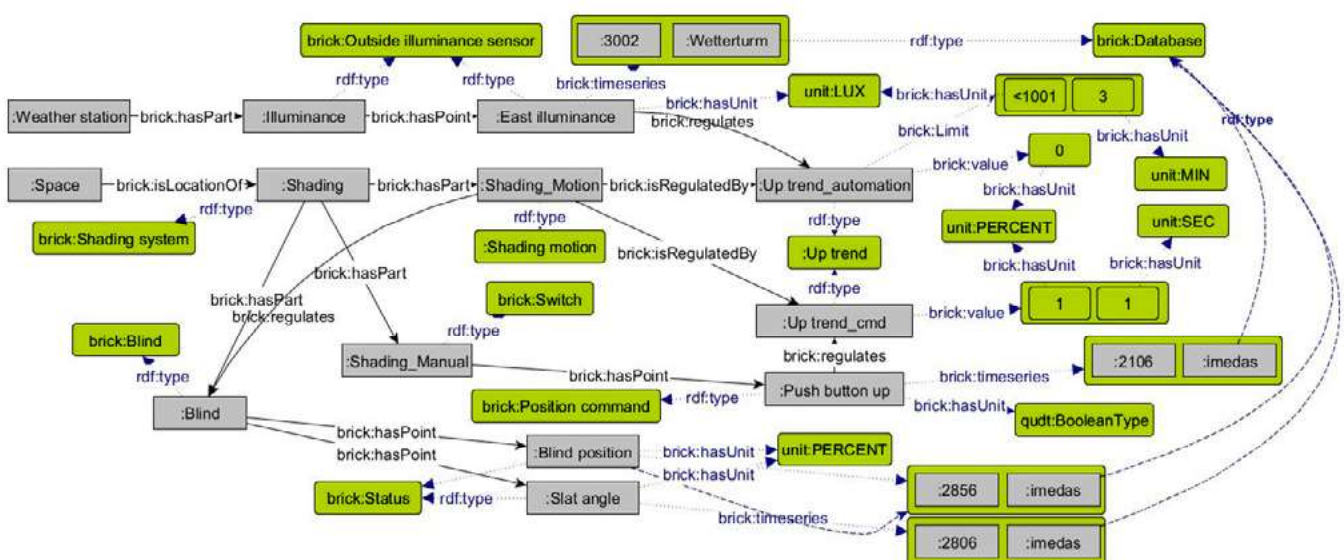
Van 2 tot 6 juli werden twee kantoren (E2, E3) in oostelijke richting en twee kantoren (S2, S3) in zuidelijke

richting gecontroleerd. Indien aan de configuratievoorwaarde is voldaan, wordt de positie van een jaloezie door het automatiseringssysteem gewijzigd. Aangezien er geen sterke wind was, was alleen de lichtsterkte buiten van invloed. Hier worden anomalieën gedefinieerd als onregelmatige gedragingen van automatiseringssystemen voor zonwering, hoewel de automatiseringsmodus aan de configuratievoorwaarden voldeed.

De acties, die door de automatiseringssystemen in kantoor E2 en E3 in gang werden gezet waren identiek. Ook de kantoren S2 en S3 meldden identieke automatiseringsoperaties. Terwijl de Down-trend motion (het sluiten van de jaloezieën) in kantoren op het oosten werd geconfigureerd met 25.000 lux, werden de jaloezieën in kantoren op het zuiden gesloten wanneer de lichtsterkte buiten hoger was dan 35.000 lux. De lichtsterkte trigger voor het openen van de jaloezieën was voor beide gevels identiek met 1000 lux.

Het kostte evenveel tijd om de operatie in kantoren op het zuiden en oosten uit te voeren. Behalve op 5 en 6 juli in kantoor E2 en E3 tussen 5.21 en 5.25 uur was er over het algemeen ongeveer 5 minuten vertraging. Ondanks de vertraging betekent dit dat het automatiseringssysteem naar behoren werkt zoals het is geconfigureerd.

Aangezien de ontologie beschrijvende informatie bevat, waaronder relevante elementen, databroninformatie en configuratiewaarden in elk kantoor, kan deze gemakkelijk worden opgehaald met behulp van een SPARQL zoals geschreven in Frag. 1 en Frag. 2. Figuur 9 illustreert de voorbeeldkantoren E2 en S2 in het zonweringautomatiseringssysteem.



**Figuur 7:** Up-trend motion in zonweringsysteem getriggerd door automatiseringssysteem (lichtsterkte buiten) of gebruiker (handmatige schakelaar)

### Zonweringcontrole in automatische en handmatige modus

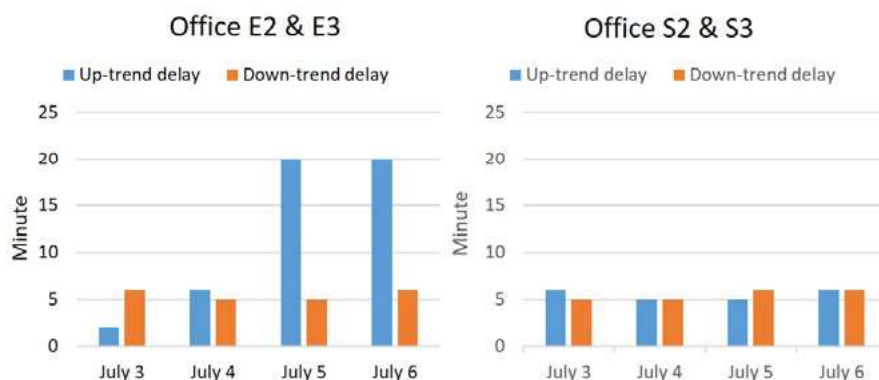
Het binnenklimaat en het gedrag van de gebruikers werden gedurende de maand juli (10 dagen) gecontroleerd. In dit deel worden twee gebruikers van kantoor E1 op het oosten en kantoor S1 op het zuiden en hun kantoren beschreven met het oog op zonweringsystemen. Terwijl de zonweringsautomatisering in E1 actief was en de positie van de jaloezie door het automatiseringssysteem werd bestuurd zoals het tijdens de waargenomen periode is geconfigureerd, was het zonweringsysteem in kantoor S1 inactief (handmatige modus), zodat het zonweringsautomatiseringssysteem de positie van een jaloezie en de lamellenhoek niet veranderde, ongeacht de configuratie.

Beide gebruikers waren vaak aanwezig op kantoor en brachten gemiddeld meer dan vier uur op het werk door. Ze veranderden de positie van een jaloezie in hun kantoor als ze aanwezig waren.

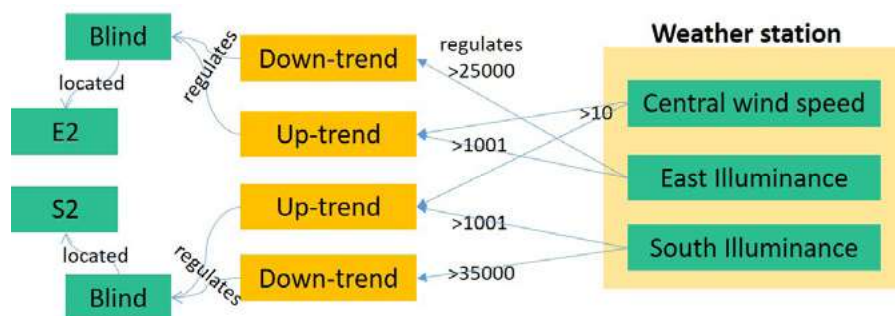
Zoals besproken in [9] en [10] zijn er verschillende mogelijke redenen waarom de automatiseringssystemen faalden:

a) sensorstoringen, b) problemen met de besturingslogica en c) langere tijd voor notificaties en vertragingen. Met de data kon niet worden vastgesteld of er een sensorstoring was opgetreden, maar konden alleen de besturingslogica en de vertragingproblemen worden vastgelegd.

Op 3 juli veranderde het automatiseringssysteem volgens de configuratie de positie van de jaloezie en de stand van de lamellen toen de gemeten lichtsterkte buiten om 13.12 uur hoger was dan 25.000 lux. Evenzo werden de posities volgens de configuratie gewijzigd wanneer de lichtsterkte buiten lager was dan 1001 lux om 19.40 uur. Het lijkt erop dat de besturingslogica goed werkt. Wat de vertraging betreft: het automatiseringssysteem had 2 minuten



Figuur 8: Waargenomen vertraging bij het doorgeven van commando's vanaf 2 tot en met 6 juli.



Figuur 9: Opgehaalde resultaten van E2 en S2.

nodig voor de Down-trend motion en 6 minuten voor de Up-trend motion. De gegevens van kantoor E1 op 3 juli zijn weergegeven in Figuur 10. Bovendien was het licht uit en stond er die dag geen harde wind.

De gebruiker in kantoor S1 drukte op 1 juli op de jaloezieknop om de jaloezie te openen en te sluiten omdat het automatiseringssysteem niet actief was. Een commando van een fysieke knop werd zonder vertraging rechtstreeks naar de jaloezie-actuator gestuurd (Figuur 11).

```

1 SELECT ?office ?stat ?db ?key
2 WHERE {
3   ?office rdf:type/rdfs:subClassOf* brick:Office .
4   ?blind a brick:Blind .
5   ?blind brick:hasLocatoIn ?office .
6   ?blind brick:hasPoint ?stat .
7   ?stat a brick:Status .
8   ?stat brick:timeseries ?uid .
9   ?uid brick:hasTimeseriesId ?key .
10  ?uid brick:storedAt ?db .
11 }

```

Frag. 1. SPARQL-query om de status van jaloezieën en hun gegevensbroninformatie te verkrijgen.

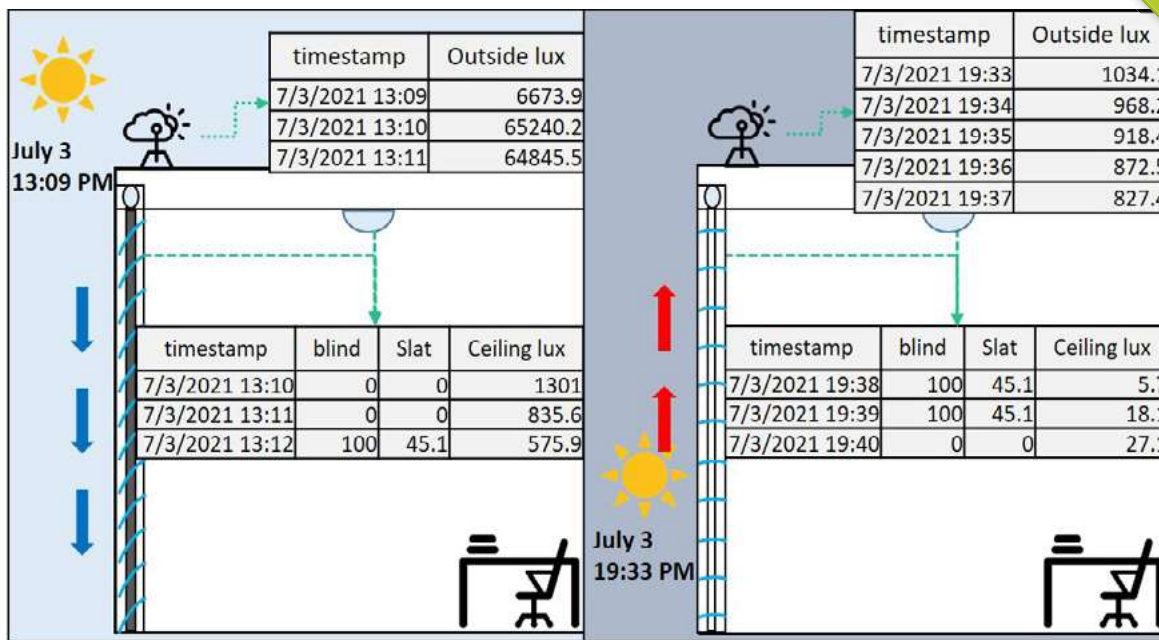
Frag. 2. SPARQL-query om configuratieparameters en gerelateerde databroninformatie te verkrijgen.

```

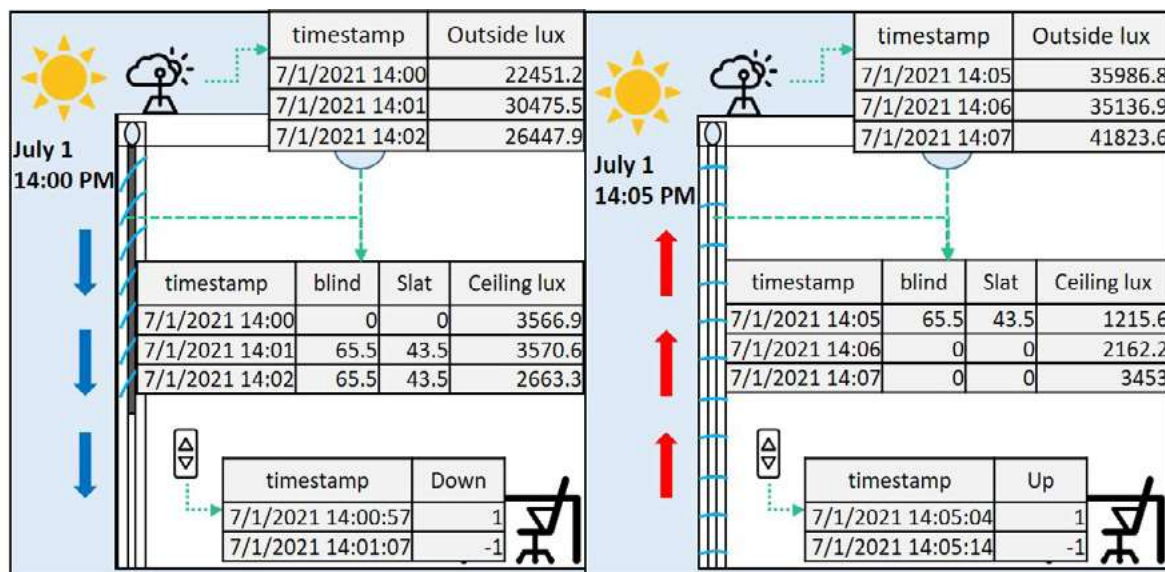
1 SELECT DISTINCT
2   ?office ?motion ?point ?db
3   ?key ?val WHERE {
4     ?sys brick:hasLocation ?office .
5     ?sys brick:hasPart ?elem .
6     ?elem a mo:Shading_Motion .
7     ?elem brick:isRegulatedBy ?motion
8     .
9     ?motion brick:isRegulatedBy
10    ?point .
11    ?point brick:timeseries
12    ?timeseriesid .
13    ?timeseriesid brick:hasTimeseriesId ?key .
14    ?timeseriesid brick:storedAt ?db .
15    ?point brick:hasUnit ?punit .
16    ?motion brick:Limit ?limit .
17    ?limit brick:hasUnit ?lunit .
18    ?limit brick:value ?val .
19    FILTER (?punit =
20    ?lunit)
21 }

```





Figuur 10: Bewaking van de zonweringsautomatisering in kantoor E1.



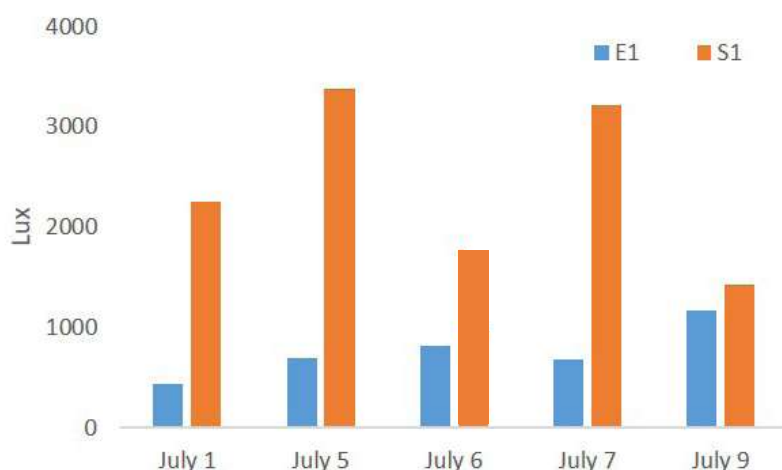
Figuur 11: Bewonersgedrag gemonitord in kantoor S1.

Beide gebruikers waren in hun kantoor op 1, 5, 6, 7 en 9 juli. Bij vergelijking van het verlichtingsniveau binnenshuis, gemeten aan het plafond toen beide gebruikers in hun kantoor waren, gaf de gebruiker van S1 de voorkeur aan een helderder binnenmilieu dan de instellingen van het automatische systeem aangeven. Gedurende vijf dagen was het gemiddelde 759 lux in kantoor E1 en 2409 lux in kantoor S1. Behalve op 9 juli, zoals blijkt uit Figuur 12, is er een duidelijk verschil tussen bureau E1 en S1. Als het automatiseringssysteem in kantoor S1 actief was, zou het niet aan de verwachtingen van de gebruiker voldoen. De resultaten suggereren:

- De besturingslogica van de automatisering werkt naar behoren.
- Automatisering notificaties waren vertraagd.
- Gecentraliseerde automatiseringssystemen konden niet voldoen aan de comforteisen van de gebruiker.

#### Identificatie van factoren die de voorkeur van de gebruiker beïnvloeden

Zoals vermeld in het vorige punt was het automatiseringssysteem in het op het zuiden gelegen kantoor S1 niet actief en veranderde de gebruiker de stand van de jaloezie afhankelijk van persoonlijke comfortvoorkeur. Met een empirische analyse zijn de andere factoren onderzocht die verband houden met de voorkeur van de gebruiker.



**Figuur 12:** Gemeten gemiddelde lichtsterkte binnenshuis in kantoor E1 (met automatische modus) en S1 (met handmatige modus).

Hoewel het automatiseringssysteem voor zonwering wordt geconfigureerd met buitenshuis factoren (lichtsterkte en windsnelheid), wordt aangenomen dat binnenklimaatgerelateerde factoren bepalend zijn voor de voorkeur van de gebruiker, aangezien de gebruiker de zonwering opent of sluit op basis van het binnenklimaat en niet van het buitenklimaat. Om invloedrijke factoren in kantoor S1 te ontdekken, worden gegevens over het binnenklimaat (bv. lichtsterkte op bureau of plafond) geëxtraheerd. Sensoren en statussen van objectgegevens zijn gemakkelijk toegankelijk door SPARQL te gebruiken om gerelateerde elementen en databroninformatie op te halen, zoals weergegeven in Frag. 3. Daarna worden de gegevens gefilterd op basis van de aanwezigheid van de gebruiker op het werk om de persoonlijke voorkeur voor het binnenklimaat van de gebruiker af te leiden.

Het binnenklimaat van kantoor S1 in juli werd gecontroleerd toen de gebruiker aan het werk was. De totale lengte van de waargenomen periode (tijdstempels) is 9218 minuten. Tijdens zijn aanwezigheid stuurde hij 21 keer een Up-trend commando en 20 keer een Down-trend commando voor de jaloezie in het kantoor. Deze 41 commando's omvatten onderbrekingen van het automatiseringssysteem en commando's na de onderbreking. De gegevens over het binnenklimaat zijn gelabeld als Up-trend toen

de stijgende beweging werd geïnitieerd. Toen de neerwaartse beweging werd geïnitieerd, zijn de gegevens gelabeld als Down-trend. De overige 9177 tijdstempels zijn gelabeld als "None". Voordat een model wordt getraind om invloedrijke factoren binnenshuis te identificeren, is voorbewerking nodig om onevenwichtige data op te schonen. Er zijn veel technieken [11] geïntroduceerd om dit probleem aan te pakken, zoals over-/undersampling. De oversampling-techniek wordt toegepast om de minderheidsklasse (aangeduid als Up-trend, Down-trend) te vergroten en met de meerderheidsklasse (aangeduid als "None") in evenwicht te brengen. De gegevens met Up-trend en Down-trend labels werden gedupliceerd om hetzelfde aantal gegevens in elk label te passen. Na voorbewerking is de gemanipuleerde lengte van de tijdstempels 18354 (9177 gelabeld als None, 9177 gelabeld als Up-trend of Down-trend). Op basis van de verwerkte gegevens wordt een logistisch regressiemodel toegepast om te voorspellen wanneer de gebruiker een commando verzendt.

Eerst worden twee afzonderlijke modellen voor Up-trend en Down-trend classificaties getraind. Om na te gaan of het buiten- of het binnenklimaat meer invloed heeft op het gedrag van de gebruiker, worden de modellen alleen met buiten- of binnenklimaatfactoren getraind. Voor de evaluatie wordt 70% van de gegevens willekeurig geselecteerd in een training-set en de resterende 30% in een test-set. Het lichtsterkteniveau en de windsnelheid worden gebruikt voor buitenklimaatmodellen. Het resultaat alleen met externe factoren staat in Tabel 3. Hoewel de buitenklimaatfactoren in het automatiseringssysteem voor zonwering worden gebruikt als configuratiewaarden, verklaart dit het gedrag van de gebruiker niet effectief.

**Frag. 3.** SPARQL-query om binnenklimaatgerelateerde elementen en hun databroninformatie te verkrijgen.

```

1 SELECT ?system ?elem ?db ?key
2 WHERE {
3   ?system brick:hasLocation :S1 .
4   ?system brick:hasPart ?part .
5   ?part brick:hasPoint ?elem .
6   ?elem brick:timeseries ?uid .
7   ?uid brick:storedAt ?db .
8   ?uid brick:hasTimeseriesId ?key .
9   {?elem rdf:type/rdfs:subClassOf*
10    brick:Sensor} UNION
11   {?elem rdf:type/rdfs:subClassOf*
12    brick:Status}

```

| Model          |          | Up-trend | Down-trend |
|----------------|----------|----------|------------|
| Coëfficiënt    | Wind     | -0,0052  | 0          |
|                | Illum.   | -0,0004  | -0,0003    |
| Nauwkeurigheid | Training | 0,57     | 0,49       |
|                | Testen   | 0,57     | 0,49       |

**Tabel 3:** Resultaten met buitenshuis factoren.



Het kantoor S1 heeft 12 binnenklimaatfactoren beschikbaar. Om de belangrijke variabelen te vinden, wordt een kenmerkselectie toegepast. Bij Up-trend motion zijn het verlichtingsniveau gemeten op een bureau en de stand van de jaloezielamellen de invloedrijke factoren onder 12 binnenklimaatfactoren. Bij Down-trend motion zijn het verlichtingsniveau gemeten op een bureau en het plafond en de instelling van de jaloezie van belang. De resultaten van de beste modellen staan in Tabel 4.

Uit de empirische analyse wordt het volgende afgeleid voor de gebruiker in kantoor S1: in Up-trend (openen van de jaloezie) en Down-trend (sluiten van de jaloezie) zijn het verlichtingsniveau binnenshuis en de instelling van de jaloezie (positie en lamellenstand) sterker gerelateerd aan de comfortvereisten dan andere binnenfactoren.

| Model          |                 | Up-trend | Down-trend |
|----------------|-----------------|----------|------------|
| Coefficient    | lux(bureau)     | -0,0172  | -0,0001    |
|                | lux(plafond)    | -        | -0,0021    |
|                | Jaloezie pos.   | -        | -1,1478    |
|                | Lamellenpositie | -0,0018  | -          |
| Nauwkeurigheid | Training        | 0,85     | 0,78       |
|                | Testen          | 0,86     | 0,79       |

Tabel 4: Resultaten met binnenshuis factoren.

### Conclusie

Om meerdere en heterogene gegevensomgevingen te integreren, werd er een ontologie gebouwd voor de analyse van gebouwautomatiseringsdata. Het beschrijft expliciet de relaties tussen variabelen, waardoor de gegevens begrijpelijk worden voor zowel mens als machine. Hoewel er voor elke kamer een verschillend aantal kanalen en configuratiebeschrijvingen zijn, werden de gegevens en relevante informatie met de ontologie efficiënt opgehaald zonder een SPARQL-query te wijzigen. Dit artikel richtte zich op een gemakkelijke toegang tot verschillende gegevensbronnen voor verder onderzoek met verschillende mogelijke gebruiksscenario's. Wat betreft data engineering zorgt een ontologie-gebaseerde aanpak voor een efficiënte dataverwerking. Deze studie is beperkt door het kleine aantal waargenomen gegevens van de activiteiten van de gebruiker (bv. sluiten en openen van jaloezieën) als gevolg van thuiswerkende medewerkers vanwege COVID-19. In de toekomst zal op basis van de voorgestelde ontologie een schaalbaar model worden ontwikkeld met een reeks geëvalueerde methoden en vergelijkingen daartussen.

### Referenties

- Pritoni M, Paine D, Fierro G, Mosiman C, Poplawski M, Saha A, Bender J, Granderson J. Metadata Schemas and Ontologies for Building Energy Applications: A Critical Review and Use Case Analysis. *Energies*. 2021 Jan;14(7):2024.
- Rasmussen M, Pauwels P, Lefrançois M, Schneider GF, Hviid C, Karlshøj J. Recent changes in the building topology ontology. In *LDAC2017-5th linked data in architecture and construction workshop* 2017 Nov 13.
- Daniele L, den Hartog F, Roes J. Created in close interaction with the industry: the smart appliances reference (SAREF) ontology. In *International Workshop Formal Ontologies Meet Industries* 2015 Aug 5 (pp. 100-112). Springer, Cham.
- Balaji B, Bhattacharya A, Fierro G, Gao J, Gluck J, Hong D, Johansen A, Koh J, Ploennigs J, Agarwal Y, Bergès M. Brick: Metadata schema for portable smart building applications. *Applied energy*. 2018 Sep 15;226:1273-92.
- Noy NF, McGuinness DL. *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*.
- Mahdavi A, Taheri M. An ontology for building monitoring. *Journal of Building Performance Simulation*. 2017 Nov 2;10(5-6):499-508.
- Fierro G. Design of an effective ontology and query processor enabling portable building applications. University of California, Berkeley. 2019 May 10.
- Terkaj W, Schneider GF, Pauwels P. Reusing domain ontologies in linked building data: the case of building automation and control. In *8th International Workshop on Formal Ontologies meet Industry* 2017 (Vol. 2050).
- Daissaoui A, Boulmakoul A, Karim L, Lbath A. IoT and big data analytics for smart buildings: a survey. *Procedia Computer Science*. 2020 Jan 1;170:161-8.
- Giraldo-Soto C, Erkoreka A, Mora L, Uriarte I, Del Portillo LA. Monitoring system Analysis for evaluating a building's envelope energy performance through estimation of its heat loss coefficient. *Sensors*. 2018 Jul;18(7):2360.
- Hasib KM, Iqbal M, Shah FM, Mahmud JA, Popel MH, Showrov M, Hossain I, Ahmed S, Rahman O. A survey of methods for managing the classification and solution of data imbalance problem. *arXiv preprint arXiv:2012.11870*. 2020 Dec 22.
- Schneider GF, Pauwels P, Steiger S. Ontology-based modeling of control logic in building automation systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2017 Aug 23;13(6):3350-60.
- Petrova-Antonova D, Ilieva S. Digital twin modeling of smart cities. In *International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies* 2020 Aug 27 (pp. 384-390). Springer, Cham.
- Mavrokapnidis D, Katsigarakis K, Pauwels P, Petrova E, Korolija I, Rovas D. A linked-data paradigm for the integration of static and dynamic building data in Digital Twins. In *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation* 2021 Nov 17 (pp. 369-372).