

Stageproject Spatial IoT

Digital twins in stedelijke context en het
Azure Digital Twins platform



GEO SOLUTIONS
unleashing location data

DANKWOORD

Ik wil van deze gelegenheid gebruikmaken om mijn oprechte waardering en dankbaarheid uit te spreken aan de personen die een cruciale rol hebben gespeeld tijdens mijn stageproject. Hun inzet, expertise en begeleiding waren van onschatbare waarde voor het succes van mijn stageproject.

Ten eerste wil ik mijn dank uitspreken aan Sven Vanderhaegen, Willem Schoors en Stine Van Asbroeck van Geo Solutions voor hun technische begeleiding en advies. Hun diepgaande kennis en inzicht hebben me geholpen bij het navigeren door de uitdagingen van dit project.

Daarnaast wil ik graag mijn dank uitspreken aan mijn stagebegeleider van de Thomas More hogeschool, Michaël Cloots. Ik waardeer zijn constructieve feedback en ondersteuning tijdens dit stageproject.

Ten slotte wil ik mijn dank uitspreken aan alle andere collega's, medestudenten, vrienden en familie die me hebben bijgestaan. Niet enkel tijdens dit project, maar ook tijdens de afgelopen 4 jaren van het bachelortraject. Jullie aanmoediging, positieve energie en bereidheid om te helpen waren van onschatbare waarde voor het voltooien van mijn opleiding.

NIET-TECHNISCHE SAMENVATTING

Digital twins spelen een belangrijke rol in stedelijke context en worden gezien als waardevolle instrumenten voor het begrijpen, plannen en beheren van steden. Ze bieden de mogelijkheid om virtuele omgevingen te creëren waarin stadsplanning, ontwerp en beheer gesimuleerd en geoptimaliseerd kunnen worden. Door real-time gegevens te integreren, zoals verkeersstromen, energieverbruik en luchtkwaliteit, kunnen stadsplanners en beleidsmakers diepgaande inzichten krijgen en de effecten en impact van verschillende scenario's en beslissingen evalueren.

Digital twins stellen steden in staat om complexe problemen aan te pakken, zoals het optimaliseren van energieverbruik, het verminderen van verkeerscongestie, het verbeteren van de luchtkwaliteit en het vergroten van de leefbaarheid. Ze bieden ook een platform voor betrokkenheid van belanghebbenden en participatie van burgers, waardoor transparantie, samenwerking en vertrouwen tussen de gemeenschap en beleidsmakers worden bevorderd.

Hoewel het gebruik van zogenaamde "Urban Digital Twins" nog in een vroeg stadium is, is het potentieel ervan enorm. De vraag ernaar zal toenemen en ze zullen bijdragen aan duurzamere, veerkrachtigere en inclusievere stedelijke omgevingen waarin het welzijn en de behoeften van de gemeenschap centraal staan.

Het stageproject is een basis voor het verkennen en beheren van dergelijke urban digital twins. Het onderzoekt de functionaliteiten, flexibiliteit en schaalbaarheid van het Azure Digital Twins platform, een Cloud gebaseerd platform is voor het ontwerpen, beheren en analyseren van digital twin omgevingen. Daarnaast werd een methode ontwikkeld voor het integreren van een statisch OGC-standaard gebaseerd object binnen een dynamische omgeving om een nauwkeurige weergave van de stad te creëren.

INHOUD

Dankwoord	I
Niet-technische samenvatting	II
1. Inleiding en doelstellingen	1
1.1. Belang van 'urban Digital Twins'	1
1.2. Projectdoelstellingen	2
1.3. Leeswijzer	2
2. OGC standaard	3
3. Azure Digital Twins platform	4
4. Projectaanpak	5
4.1. Plan van aanpak	5
4.1.1. Analysefase	6
4.1.2. Realisatiefase	6
4.2. Projectteam	6
4.3. Technologieën	8
5. Use Case	9
5.1. Implementatie	11
5.1.1. Digital Twin Model/Graph	15
5.1.2. Digital Twin Services	17
5.1.3. Visualisatie	17
6. Conclusie	20
7. Aanbevelingen	21
8. Referenties	22

1. INLEIDING EN DOELSTELLINGEN

Het stageproject is ontstaan vanuit de toenemende interesse en vraag naar digital twins in stedelijke omgevingen, zogenaamde 'Urban Digital Twins'. Door de groeiende complexiteit en uitdagingen waarmee steden worden geconfronteerd is er een stijgende vraag naar geavanceerde technologieën die kunnen helpen bij het doorbreken van data-silo's binnen een stad en het plannen, ontwerpen, en beheren van steden op een efficiënte en duurzame manier. Ook Geo Solutions ziet bij zijn klanten een duidelijke vraag naar digital twin oplossingen.

De concepten en principes van digital twins zijn de afgelopen jaren steeds duidelijker geworden. De digital twin is een virtuele representatie van een fysieke entiteit die real-time gegevens en modellen gebruikt om inzichten te genereren. Hoewel momenteel vaak toegepast op kleine schaal, kan dit concept ook toegepast worden op een grotere schaal, namelijk deze van een stad.

1.1. BELANG VAN 'URBAN DIGITAL TWINS'

Digital twins spelen een steeds grotere rol in stedelijke context en worden gezien als een waardevol instrument voor het begrijpen, plannen en beheren van steden.

Een van de belangrijkste voordelen van digital twins in stedelijke context is de mogelijkheid om een virtuele omgeving te creëren waarin stedelijke planning, ontwerp en beheer kunnen worden gesimuleerd en geoptimaliseerd. Door real-time gegevens te integreren, zoals verkeersstromen, energieverbruik, luchtkwaliteit, en andere relevante informatie, kunnen stadsplanners en beleidsmakers een diepgaand inzicht krijgen in de werking van een stad en de mogelijke effecten van verschillende scenario's en beslissingen.

Digital twins stellen steden in staat om complexe problemen aan te pakken. Met behulp van simulaties en voorspellende modellen kunnen steden bijvoorbeeld het energieverbruik optimaliseren, verkeerscongestie verminderen, de luchtkwaliteit verbeteren, en de leefbaarheid in de stad vergroten om zo bij te dragen aan een meer duurzame en veerkrachtige stedelijke ontwikkeling.

Bovendien bieden digital twins een platform voor betere betrokkenheid van belanghebbenden en participatie van burgers. Door middel van visuele weergaven en interactieve tools kunnen stedenbouwkundigen en beleidsmakers de effecten van verschillende beleidsbeslissingen communiceren en stakeholders betrekken bij het besluitvormingsproces. Dit bevordert transparantie, samenwerking en het versterken van het onderlinge vertrouwen tussen de gemeenschap en de beleidsmakers.

Het gebruik van een urban digital twin is in Vlaanderen nog volop in ontwikkeling. Al zijn er in Vlaanderen wel reeds enkele projecten hieromtrent lopende. Zo is de stad Brugge, in samenwerking met onderzoekscentrum IMEC, gestart met het opzetten van een digital twin die het zal toelaten om de impact van maatregelen, bijvoorbeeld op vlak van luchtkwaliteit en verkeersstromen, te simuleren (Brugge, 2020).



Hoewel er al vooruitgang is geboekt, bevindt het gebruik van digital twins in stedelijke context zich nog in een vroeg stadium. Er zijn nog uitdagingen te overwinnen, zoals de integratie van verschillende datasystemen, de bescherming van privacy, beveiliging en het waarborgen van de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de gegevens. Bovendien vereist de brede acceptatie van digital twins samenwerking tussen verschillende belanghebbenden, waaronder stadsplanners, beleidsmakers, technologieleveranciers en de gemeenschap.

Niettemin is het potentieel van urban digital twins enorm. Met voortdurende technologische ontwikkelingen en groeiende bewustwording van de voordelen ervan, zal het gebruik van digital twins naar verwachting blijven groeien en de steden van de toekomst vormgeven. Het biedt een veelbelovende mogelijkheid om duurzamere, veerkrachtigere, en inclusievere stedelijke omgevingen te creëren waarin het welzijn en de behoeften van de gemeenschap centraal staan.

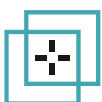
1.2. PROJECTDOELSTELLINGEN

De projectdoelstellingen werden als volgt gedefinieerd:

- Integratie van een statisch OGC-standaard gebaseerd object binnen een dynamische omgeving. Het primaire doel was om de OGC-standaard te integreren binnen de omgeving om zo een nauwkeurige weergave van de stad te kunnen maken en dynamische data te kunnen koppelen met een statisch object.
- Verkennen van de mogelijkheden, voordelen en beperkingen van het Azure Digital Twins platform. Het doel was om te onderzoeken en evalueren hoe het Azure Digital Twins platform kan gebruikt worden als basisinfrastructuur voor het creëren en beheren van digital twins op stedelijke schaal. De betrachting was om de functionaliteiten, flexibiliteit en schaalbaarheid van het platform te begrijpen en te beoordelen.

1.3. LEESWIJZER

Deze projectnota behandelt de verschillende aspecten van het stageproject. Hoofdstukken 2 en 3 geven een introductie tot de belangrijkste kernbegrippen. Daarbij zoomt hoofdstuk 2 in op de OGC standaard en de rol ervan in de context van een digital twins. In hoofdstuk 3 wordt het Azure Digital Twins platform toegelicht, inclusief de mogelijkheden en functies die het biedt voor het creëren van digital twins. Hoofdstuk 4 beschrijft het plan van aanpak en de methodologie die is toegepast in het stageproject, samen met de gebruikte tools en technologieën. Hoofdstuk 5 stelt de use case van het project voor en bespreekt de implementatie en de behaalde resultaten. Het bevat informatie over de praktische uitvoering van het stageproject. Tot slot worden in hoofdstukken 6 en 7 enerzijds de belangrijkste bevindingen en conclusies samengevat en anderzijds aanbevelingen gedaan voor mogelijke vervolgstappen en verbeteringen op basis van de opgedane ervaring en resultaten.



2. OGC STANDAARD

Het Open Geospatial Consortium (OGC) is een internationale organisatie die zich richt op het ontwikkelen en bevorderen van open standaarden voor georuimtelijke gegevens en diensten. Deze standaarden stellen verschillende systemen en platformen in staat om naadloos met elkaar samen te werken en georuimtelijke gegevens uit te wisselen.

CityGML is een van deze standaarden en definieert een conceptueel model en uitwisselingsformaat voor de representatie, opslag en uitwisseling van virtuele 3D stadsmodellen. Het vergemakkelijkt de integratie van stedelijke geodata voor een verscheidenheid aan toepassingen voor smart cities en urban digital twins, waaronder stads- en landschapsplanning, Building Information Modeling (BIM), mobiele telecommunicatie, rampenbeheer, 3D-kadaster, toerisme, voertuig- en voetgangersnavigatie, autonoom rijden en rijassistentie, facility management en energie-, verkeers- en milieusimulaties (OGC, 2023). Het doel van CityGML is te komen tot een gemeenschappelijke definitie van de basiselementen, attributen, en relaties van een 3D stadsmodel. Dit is vooral van belang met het oog op het kosteneffectieve en duurzame onderhoud van 3D stadsmodellen, waardoor het mogelijk wordt om dezelfde gegevens in verschillende toepassingsgebieden te hergebruiken.

CityJSON is een op JSON gebaseerde subset van het OGC CityGML datamodel (OGC, 2021). Het doel van CityJSON is een alternatief te bieden voor de GML-codering van CityGML, die complex kan zijn om te lezen en te manipuleren. CityJSON wil gebruiksvriendelijk zijn voor zowel het lezen als het creëren van datasets. Het is ontworpen specifiek voor developers zodat tools en API die het ondersteunen snel gebouwd kunnen worden. CityJSON is een community standaard die ontwikkeld werd buiten OGC, maar die wel als OGC standaard werd opgenomen. Een CityJSON object, ook CityObject genoemd, vertegenwoordigt een 3D-stadsmodel van een bepaald gebied en kan verschillende types bevatten zoals gedefinieerd in het CityGML datamodel (CityJSON, 2021).



3. AZURE DIGITAL TWINS PLATFORM

Azure Digital Twins is een Platform as a Service (PaaS) aanbieding van Microsoft die gebruikers in staat stelt om volledige digitale modellen van omgevingen te creëren, variërend van gebouwen en steden tot fabrieken en energienetwerken (Microsoft, 2023). Met behulp van Azure Digital Twins kunnen gebruikers nauwkeurige digitale representaties van de fysieke wereld maken.

Binnen Azure Digital Twins worden digitale entiteiten gedefinieerd, die personen, plaatsen en objecten in de fysieke omgeving beschrijven. Deze entiteiten worden gemodelleerd met behulp van de Digital Twins Definition Language (DTDL) en omvatten eigenschappen, gebeurtenissen, opdrachten, onderdelen en relaties. Gebruikers kunnen hun eigen modelsets ontwerpen of gebruikmaken van bestaande DTDL-ontologieën.

Het is mogelijk om het digital twins platform te verbinden met IoT Hub apparaatdubbels om real-time gegevens te ontvangen. Dit stelt gebruikers in staat om, vanuit verschillende bronnen, real-time informatie te verzamelen en te verwerken binnen de digital twin architectuur.

De mogelijkheden van Azure Digital Twins gaan verder dan alleen het creëren van digitale modellen. Het biedt gebruikers ook de mogelijkheid om aangepaste, verbonden oplossingen te bouwen die aansluiten bij hun specifieke domeinexpertise. Met het platform kunnen gebruikers op een schaalbare en veilige manier elke gewenste omgeving creëren. Het biedt de mogelijkheid om assets, zoals IoT-apparaten en bestaande bedrijfssystemen, te verbinden via een robuust gebeurtenissysteem, waardoor dynamische bedrijfslogica en gegevensverwerking kunnen worden ingebouwd.

Bovendien biedt Azure Digital Twins de mogelijkheid om query's uit te voeren op de live-uitvoeringsomgeving, waardoor gebruikers waardevolle informatie kunnen verzamelen en specifieke vragen kunnen beantwoorden.

Via de ingebouwde 3D Scenes Studio is het mogelijk om de omgeving te visualiseren met behulp van 3D-modellen en kan een interactieve 3D omgeving gecreëerd worden waarin de operationele gegevens van de digital twin kunnen opgevolgd worden. Het is ook mogelijk om interactieve elementen toe te voegen aan de visualisatie.

Bovendien maakt Azure Digital Twins het mogelijk om gegevens te delen met andere Azure-services, waardoor gebruikers geavanceerde analyses kunnen uitvoeren op de gegevens van de digital twin en waardevolle inzichten kunnen genereren.



4. PROJECTAANPAK

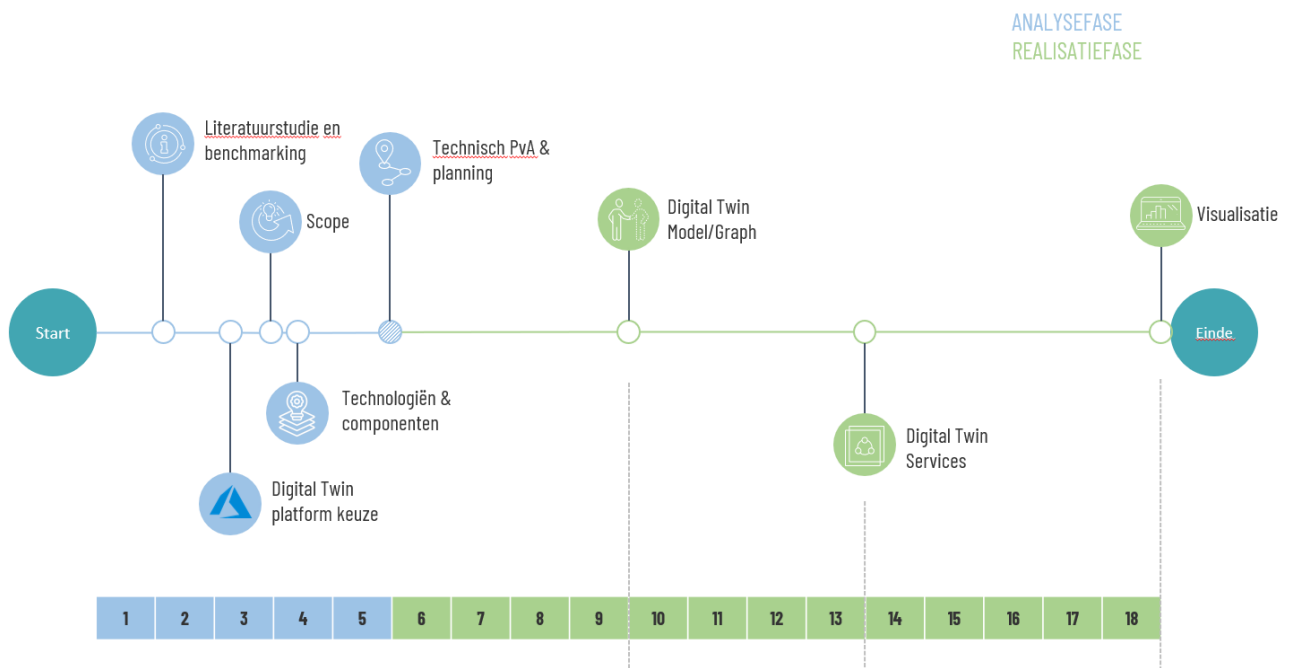
4.1. PLAN VAN AANPAK

Het stageproject werd gestructureerd en stap voor stap uitgewerkt over een periode van 18 weken. Hiervoor werd een plan van aanpak opgemaakt en planning uitgezet waarin de verschillende projectfases gedetailleerd werden uitgezet (Figuur 1).

Het proces werd opgedeeld in 2 fasen, zoals weergegeven in blauw en groen op Figuur 1:

1. Analysefase (blauw)
2. Realisatiefase (groen)

De fasen worden hieronder, in secties 4.1.1 en 4.1.2, verder toegelicht.



Figuur 1: Processchema



4.1.1. Analysefase

Tijdens de analysefase werd er op 2 sporen gewerkt:

INHOUDELIJK SPOOR

De inhoudelijke verkenning startte met een literatuurstudie naar het onderwerp. Hierin werd nagegaan hoe de OGC-standaard is opgebouwd en hoe een cityGML en cityJSON bestand zich onderling verhouden. Daarnaast werd ook een benchmarking gedaan van het begrip 'digital twin'. Er werd nagegaan hoe deze momenteel in de praktijk gebruikt wordt en wat de evoluties hierin zijn. Ook werd nagegaan wat de nieuwigheden en ontwikkelingen in de toepassingen van de digital twin zijn.

Aan de hand van deze verkenning werd een inhoudelijke scope bepaald voor het realisatietraject van dit project.

TECHNISCH SPOOR

Het technisch spoor van de analysefase bestond eruit het Azure Digital Twin platform te verkennen en de mogelijkheden hiervan te ontdekken. Op basis hiervan werd een architectuur uitgetekend die de basis vormt voor de realisatiefase.

4.1.2. Realisatiefase

Na de analysefase werd gestart met de realisatiefase die werd opgedeeld in drie grotere blokken die stap voor stap werden uitgewerkt:

1. Digital Twin Model/Twin Graph: In deze fase werden de modellen opgemaakt en werd de twin graph opgebouwd
2. Digital Twin services: In deze fase lag de focus op het verbinden van verschillende services
3. Visualisatie: Als laatste werd de visualisatie opgemaakt. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de geïntegreerde Azure 3D-scène viewer.

4.2. PROJECTTEAM

Het projectteam werd samengesteld uit onderstaande personen om een vlotte voortgang van het project te verzekeren (Figuur 2).

Het projectteam werd aangestuurd door de projectmanager **Sven Vanderhaegen**, tevens ook de stagementor. Zijn rol bestond eruit om de scope te bewaken en de kennis die uit de stageopdracht voortkwam te laten doorstromen binnen de organisatie.

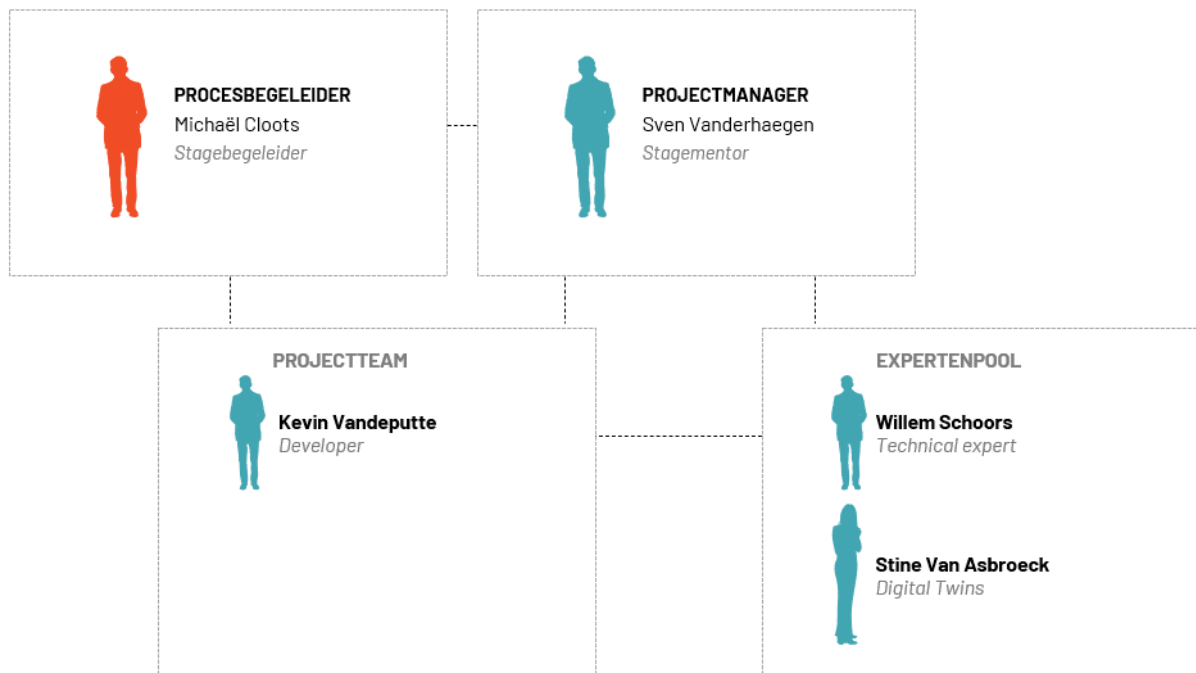
Michaël Cloots, de stagebegeleider vanuit Thomas More, stond in voor de procesbegeleiding en fungeerde als contactpersoon voor praktische vragen ivm het stageproces.

Daarnaast werd er ook een expertenpool opgericht met daarin **Willem Schoors** en **Stine Van Asbroeck**. Zij stonden in voor de technische ondersteuning bij de opdracht.



Het project zelf werd uitgevoerd door **Kevin Vandeputte** als enige developer. Hij stond in voor de inhoudelijke en technische uitwerking van het hele stageproject.

Projectteam



Figuur 2: Projectteam organigram

Om de communicatie binnen het projectteam te stimuleren, iedereen op de hoogte te houden, en de kennisdeling te bevorderen werd er een wekelijks overlegmoment ingericht met de teamleden zodat iedereen doorheen het proces op de hoogte was van het project en er snel feedback verzameld kon worden over de vooruitgang.

4.3. TECHNOLOGIEËN

Tijdens het project zijn verschillende tools en technologieën gebruikt om de digital twin omgeving op te zetten. De belangrijkste elementen waren:

- Azure Digital Twins:

Het Azure Digital Twins platform werd gebruikt als basisinfrastructuur voor het creëren en beheren van de digital twin omgeving.

- Programmeertalen:

Het stageproject werd ontwikkeld in Python. Er werden enkele libraries en packages gebruikt. Hieronder worden enkele van de belangrijkste opgesomd:

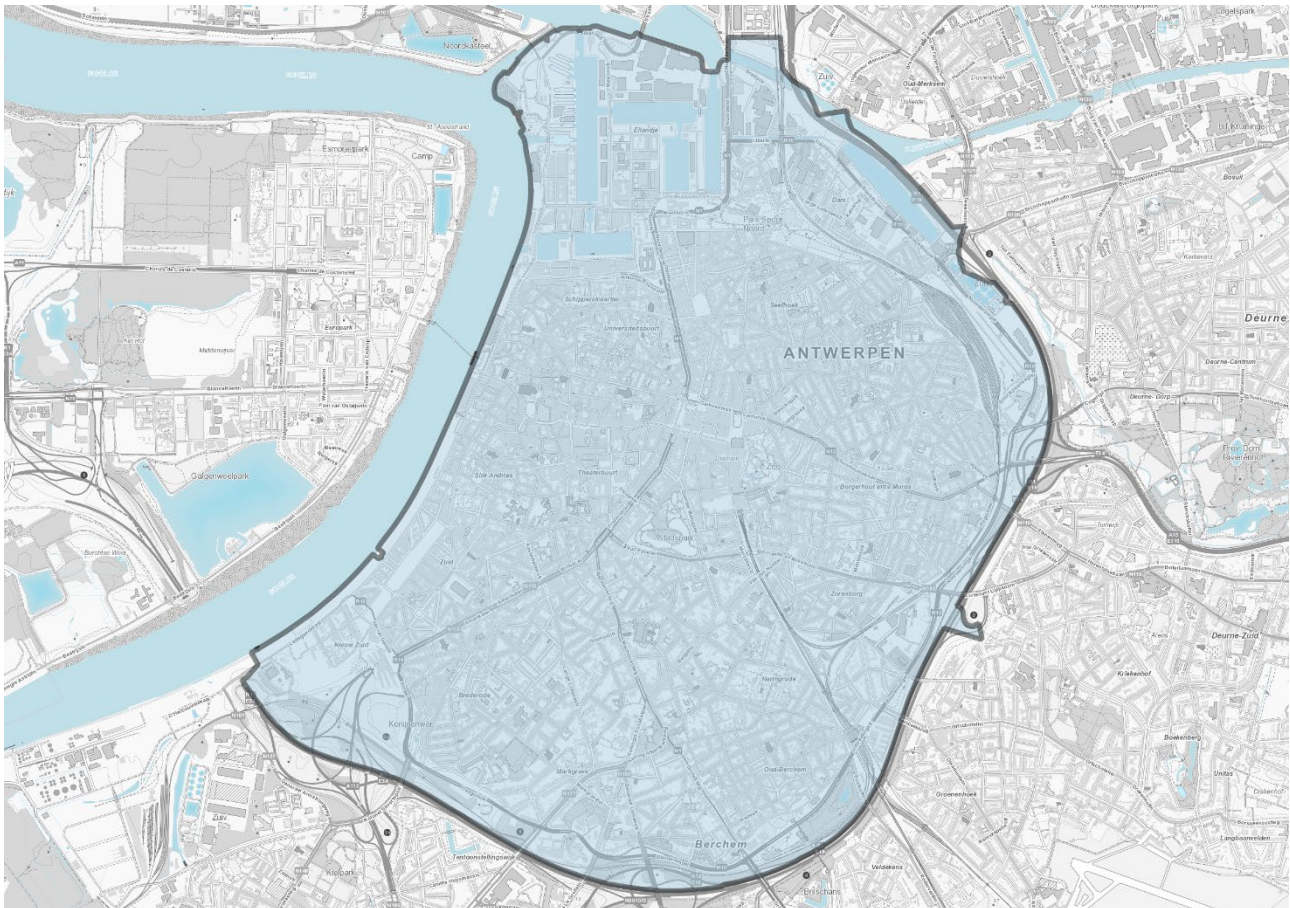
- Azure Python SDK: dit is een essentiële library die werd gebruikt voor het beheren en integreren van verschillende Azure-services. Met deze SDK konden Azure-services worden aangemaakt, geconfigureerd en beheerd worden binnen de Python-omgeving. Het bood een reeks functies en hulpmiddelen voor interactie met Azure-resources.
- Cjio: met deze package konden CityJSON bestanden worden gemanipuleerd.
- PyMongo: deze library werd gebruikt voor het werken met MongoDB instantie.

Naast deze elementen werden ook andere tools (bijvoorbeeld Blender) gebruikt om de nodige functionaliteit te ontwikkelen en data-transformaties uit te voeren.



5. USE CASE

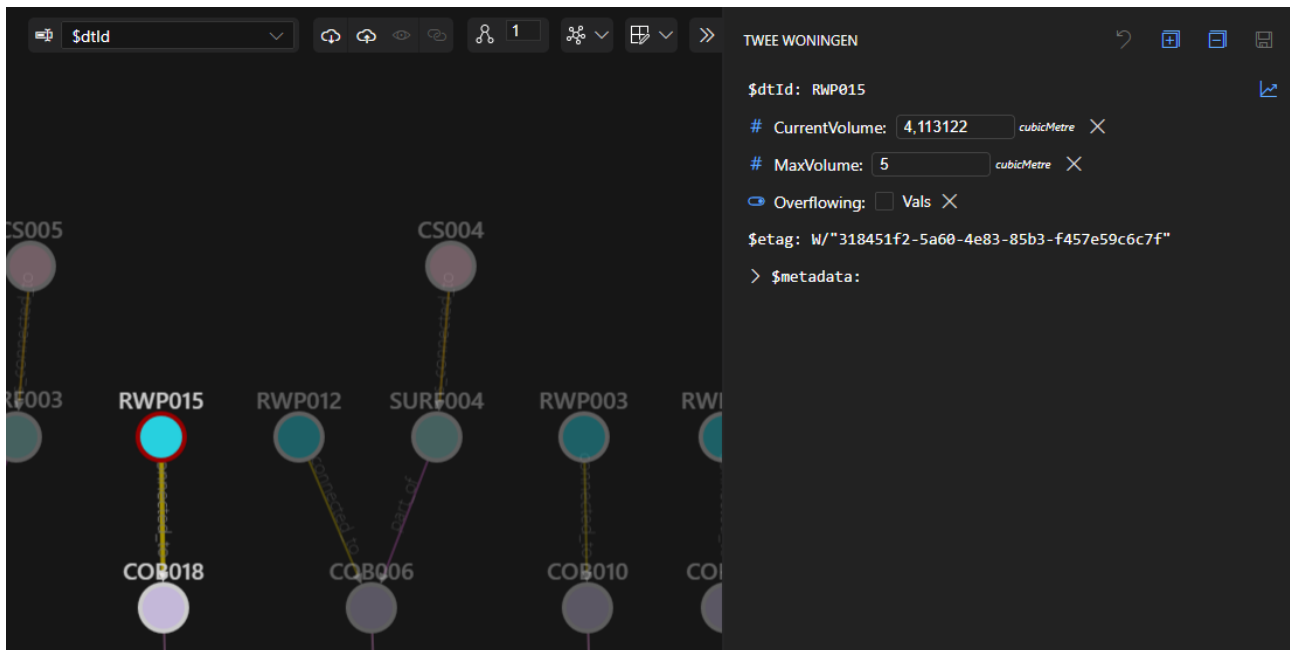
Als use case werd een digital twin ontwikkeld voor het centrum van Antwerpen. De stad Antwerpen stelt via hun Open Data Portaal geografische data ter beschikking onder de Antwerpse gratis opendata licentie (Stad Antwerpen, 2023). Via het portaal is brondata te vinden die opgemaakt is volgens de OGC standaard.



Figuur 3: Projectgebied

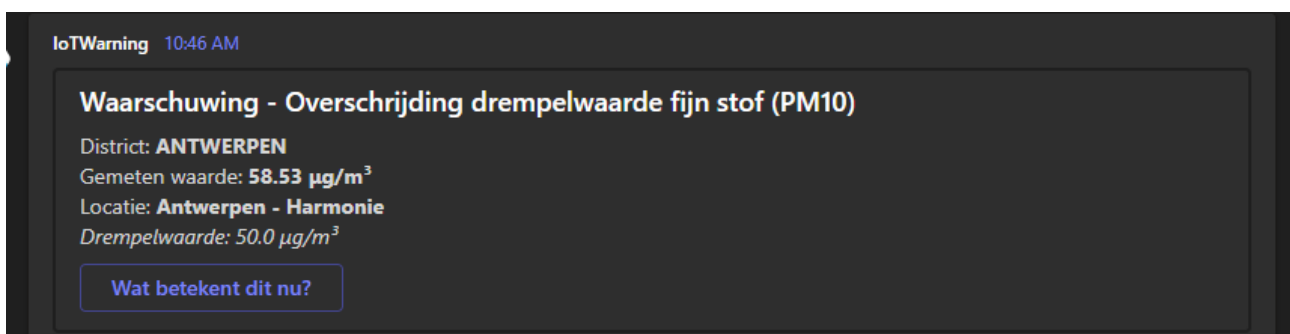
Daarnaast werden er externe gegevensbronnen toegevoegd om dynamische gegevens aan de digital twin toe te voegen. Zo werden weerdata en luchtkwaliteitsgegevens opgehaald van openbare API's en geïntegreerd in de digital twin. Vervolgens werd deze inkomende data gebruikt om enkele gebeurtenissen in gang te zetten.

Zo wordt tijdens regenval het statische 3D stadsobject gebruikt om de dakoppervlakte te bepalen en op basis daarvan het afstromende regenwatervolume te bepalen dat wordt doorgegeven aan een geconnecteerde regenwaterput (Figuur 4). Water uit de regenwaterput wordt dan weer gebruikt door het huishouden dat gekoppeld is aan het gebouwobject. Op die manier wordt aangetoond dat het mogelijk is om statische objecten niet alleen te integreren, maar ook een toegevoegde waarde te laten zijn binnen een dynamische omgeving.

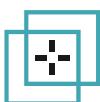


Figuur 4: Illustratie van een regenwaterput in de twin graph

Daarnaast wordt ook bij overschrijding van bepaalde luchtkwaliteitsdrempels een waarschuwing gegenereerd via Microsoft Teams (Figuur 5). Dit toont de mogelijkheden tot integratie van het Azure platform aan met andere services, ook als deze zelf niet tot de Azure omgeving behoren.

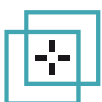


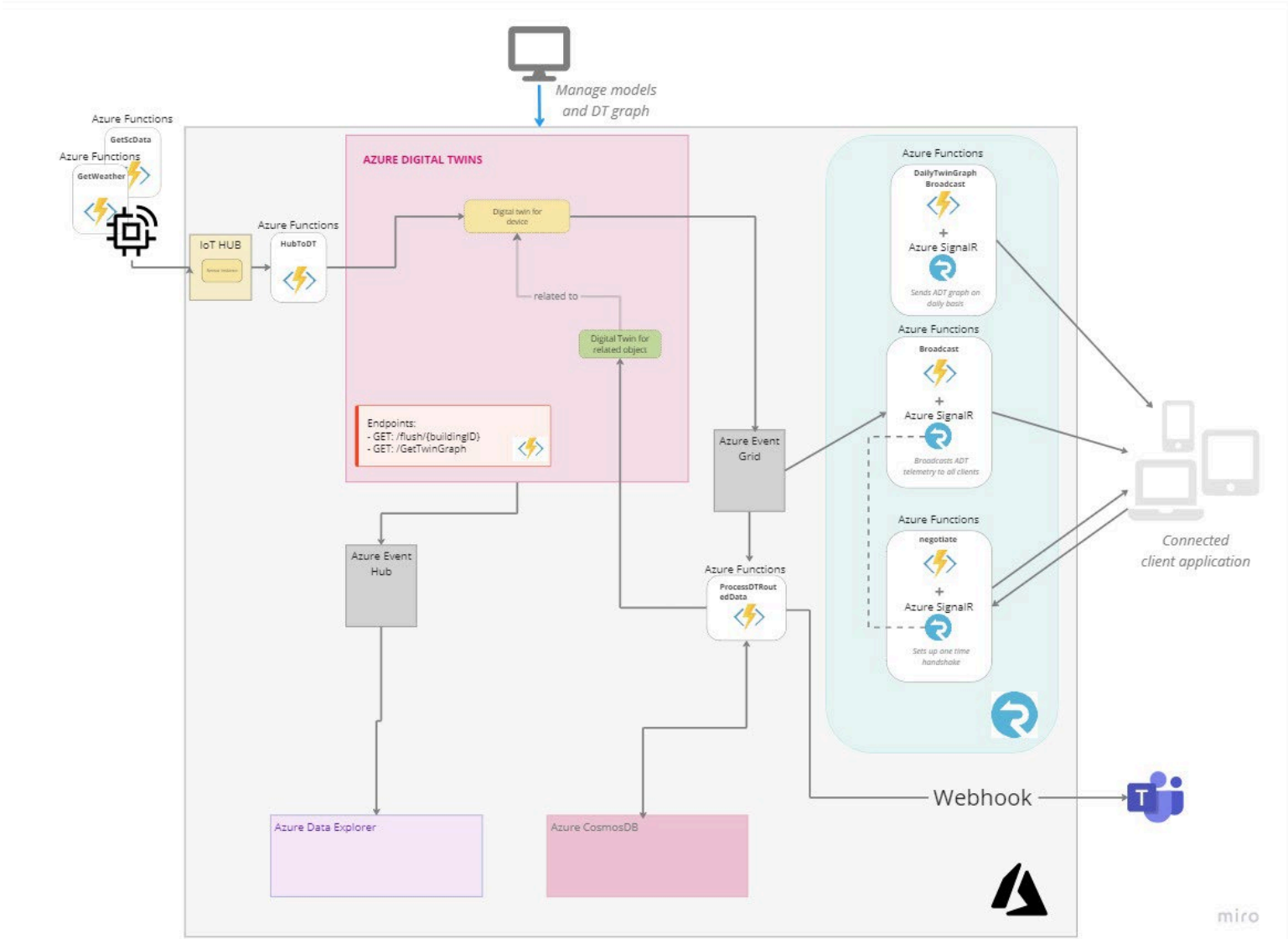
Figuur 5: Illustratie van een Teams melding bij overschrijden van luchtkwaliteitsdrempelwaarde



5.1. IMPLEMENTATIE

Onderstaande Figuur 6 geeft de volledige geïmplementeerde architectuur en functionaliteit van de digital twin voor de stad Antwerpen weer.





Figuur 6: Architectuur stageproject

We lichten kort de werking toe.

Er zijn 2 functies verantwoordelijk voor het ophalen van de inkomende data: 'GetWeather' en 'GetScData'. Deze functies spreken openbare API's aan en verzenden een telemetrie-bericht naar de IoT hub waar het toekomt bij een bepaald device (Figuur 7).

Devices > vlinder13 > Telemetry

■ Stop □ Show system properties 🗑 Clear events {} Simulate a device ↑ Customize Content Type

Telemetry

You can monitor telemetry that the device sends to the IoT hub

Consumer group ⓘ \$Default

Specify enqueue time ⓘ

☐ No

Use built-in event hub

☒ Yes

Receiving events...

Mon May 29 2023 17:15:04 GMT+0200 (Central European Summer Time):

```
{
  "body": {
    "Temperature": 19.07,
    "RelativeHumidity": 49,
    "Rainfall": 0,
    "AirPressure": 1024,
    "WindDirection": 30,
    "Windspeed": 5.66,
    "timestamp": "2023-05-29 17:14:38"
  },
  "enqueueTime": "Mon May 29 2023 17:15:04 GMT+0200 (Central European Summer Time)"
}
```

Figuur 7: Telemetrie bericht voor 'vlinder13'

Via een Event Trigger op de IoT hub wordt deze wijziging in de IoT Hub doorgegeven aan de 'HubToDT'-functie die ervoor zorgt dat de overeenkomende twin wordt geüpdatet, zoals getoond in Figuur 8.

TWIN GRAPH MODEL GRAPH

\$dtId

TWEE WONINGEN

\$dtId: vlinder13

AirPressure: 1024 X

> Location: X

Name: vlinder13 X

Rainfall: 0 millimeterPerHour X

RelativeHumidity: 49 percent X

StationId: ex1x0Tct3b6ChsN X

Temperature: 19.07 degreeCelsius X

timestamp: 2023-05-29 17:14:38 X

WindDirection: 30 degreeOfArc X

Windspeed: 5.66 kilometrePerHour X

\$etag: W/"0423b979-d890-4a25-ba62-61b0377c0d14"

> \$metadata:

Figuur 8: update van de twin



Iedere wijziging binnen de twin graph wordt gedetecteerd door een Event Grid en Event Hub. De Event Hub zorgt ervoor dat de staat van de twin wordt opgeslagen in de 'data history explorer'. Hier wordt een volledige geschiedenis bijgehouden van de twin zoals getoond in Figuur 9.

Id	ModelId	Key	Value	Rela
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	WindDirection	30	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	timestamp	2023-05-29T17:14:38.0000000Z	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Rainfall	0	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	RelativeHumidity	49	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Windspeed	5.66	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	AirPressure	1024	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Temperature	19.07	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Windspeed	5.36	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	timestamp	2023-05-29T17:00:05.0000000Z	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	WindDirection	32	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Rainfall	0	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	AirPressure	1024	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	RelativeHumidity	48	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Temperature	19.21	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Temperature	19.21	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	RelativeHumidity	48	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Rainfall	0	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	AirPressure	1024	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Windspeed	5.36	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	WindDirection	32	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	timestamp	2023-05-29T17:00:05.0000000Z	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Temperature	19.21	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Rainfall	0	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	timestamp	2023-05-29T16:50:53.0000000Z	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Windspeed	4.63	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	WindDirection	20	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	AirPressure	1024	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	RelativeHumidity	48	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Rainfall	0	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	AirPressure	1024	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	WindDirection	19	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	Windspeed	4.92	
vlinder13	dtmi:com:adt:geosolutions:WowStation;1	timestamp	2023-05-29T16:45:08.0000000Z	

Figuur 9: Data history voor 'vlinder13'



De Event Grid zorgt voor twee zaken. Enerzijds wordt de 'ProcessDTRoutedData' functie uitgevoerd. Deze functie bevat de logica die ervoor zorgt dat er, indien nodig, een waarschuwing wordt uitgezonden of de regenwaterputten worden aangevuld.

Daarnaast wordt ook de 'broadcast' functie uitgevoerd. Deze stuurt de twin updates door naar de SignalR-service. De SignalR service is een service die het toevoegen van realtimefunctionaliteit aan toepassingen via HTTP vereenvoudigt. Dankzij deze realtimefunctionaliteit kunnen via de service inhoudsupdates worden gepusht naar verbonden clients. De 'broadcast' functie stuurt in real-time de statusveranderingen van de twins door.

Naast deze dataflow werden nog enkele functies ontwikkeld. Voor een uitgebreidere beschrijving van de interne werking van het project wordt verwezen naar de repository van dit project (Vandeputte, 2023). Hier is alle code en technische documentatie terug te vinden.

We lichten hieronder wel kort de stappen toe die werden gevolgd om de hele architectuur uit te werken en operationeel te maken.

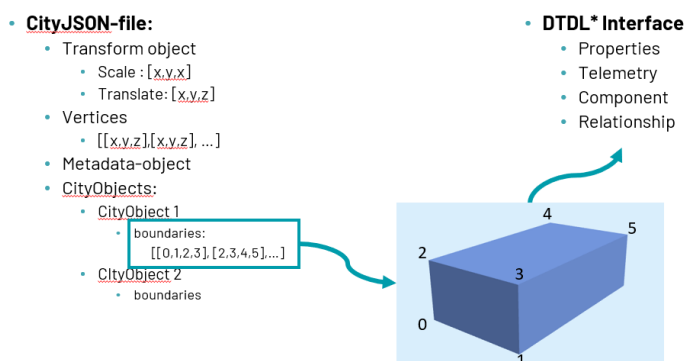
5.1.1. Digital Twin Model/Graph

De eerste stap in het ontwikkelen van het project was het opzetten van de zogenaamde Twin Graph. Deze twin graph is een visuele weergave van de objecten en hun onderlinge relaties. Om tot een twin graph te komen moeten volgende stappen doorlopen worden:

1. Opmaken van de modellen in de DTDL language
2. Opzetten van de twin graph

Een van de moeilijkheden van dit stageproject was het omzetten van een OGC gestandaardiseerd object naar een compatibel DTDL-model. De OGC standaard heeft een vrij complex datamodel waarbij veel arrays aanwezig zijn die de vorm en exacte ligging van het object bepalen. Dit is niet eenvoudig te vertalen naar een compatibel DTDL-model vanwege de beperkingen in de DTDL. Zo mogen properties geen 'array' als type meekrijgen.

Ook kunnen voor grote en complexe gebouwen de arrays in het CityJSON model heel erg lang worden. Hierdoor lopen we ook tegen de limieten aan van het DTDL-model voor het opslaan van strings. Er diende dus een alternatieve methode gevonden te worden om de OGC standaard te kunnen integreren in de digital twin (Figuur 11).



*Digital Twin Definition Language

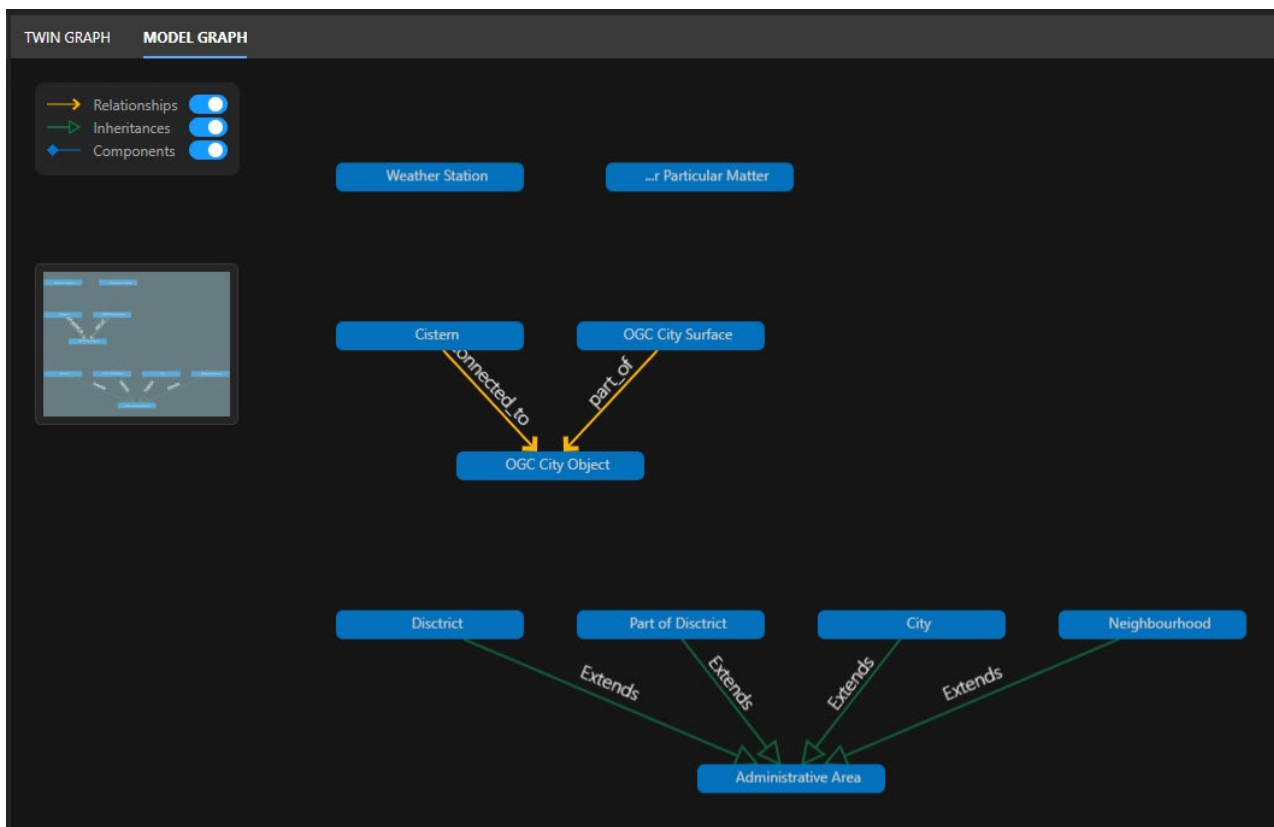
Figuur 10: Schematische weergave van de omzetting van een OGC-object naar een DTDL-model



Er werd gekozen om de CityJSON bestanden op te slaan in een Azure CosmosDB instantie voor MongoDB. De implementatie in MongoDB geeft betere ophaaltijden dan wanneer de CityObjecten in een SQL-database zouden opgeslagen worden (Staring, 2020).

Door het opslaan van de objecten in een MongoDB kon het DTDL-model voor de CityObjecten sterk vereenvoudigd worden en werd enkel een 'ID' meegenomen als property. Via deze 'ID' kan het juiste object uit de databank worden opgehaald om de nodige informatie op te zoeken.

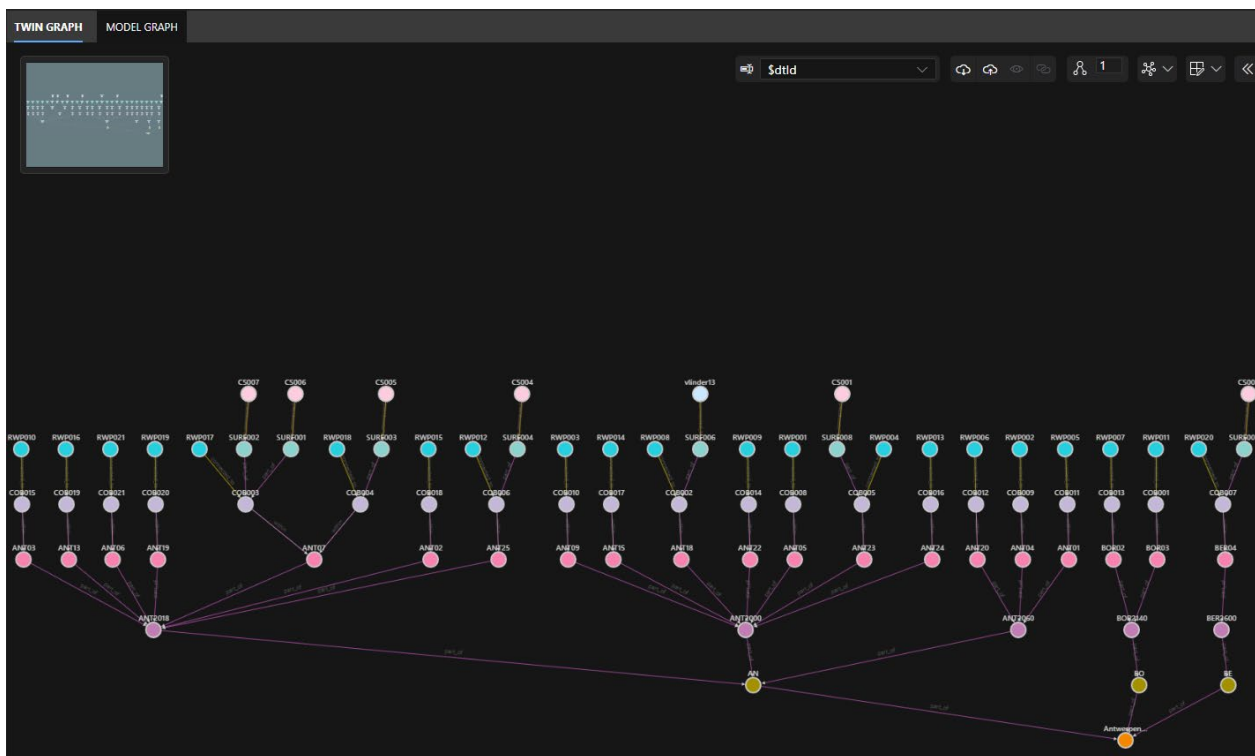
Naast een model voor de CityObjecten werden nog enkele modellen opgemaakt. Figuur 12 volgt de model graph met een overzicht van de opgemaakte modellen en hun onderlinge relaties.



Figuur 11: Model Graph



Als alle modellen opgemaakt zijn kan de Twin Graph opgemaakt worden. Deze ziet er uit zoals getoond in Figuur 13.



Figuur 12: Twin Graph

5.1.2. Digital Twin Services

De volgende stap in de implementatiefase was het opzetten van de overige digital twin services. Volgende stappen werden ondernomen:

1. Ophalen van inkomende data en doorsturen naar de digital twin
2. Verwerken van veranderingen binnen de digital twin
3. Opzetten van de 'data history connection'
4. Opzetten van API's en uitgaande datastream

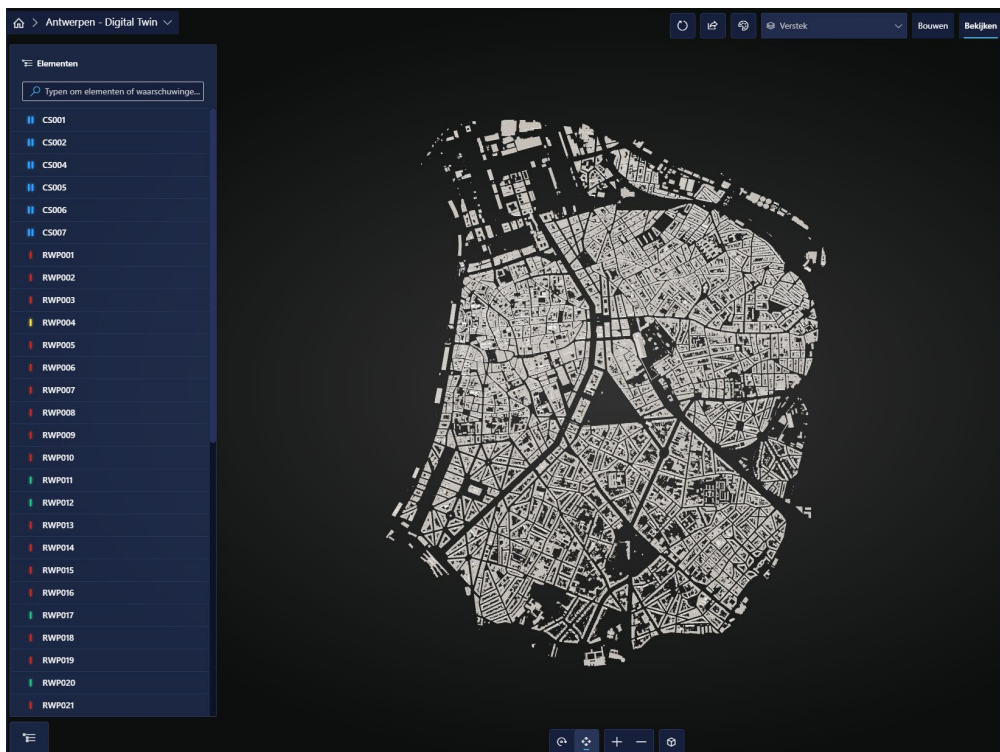
Dit is een vrij technisch proces. De stappen en code hiervoor zijn terug te vinden in de repository van het project (Vandeputte, 2023).

5.1.3. Visualisatie

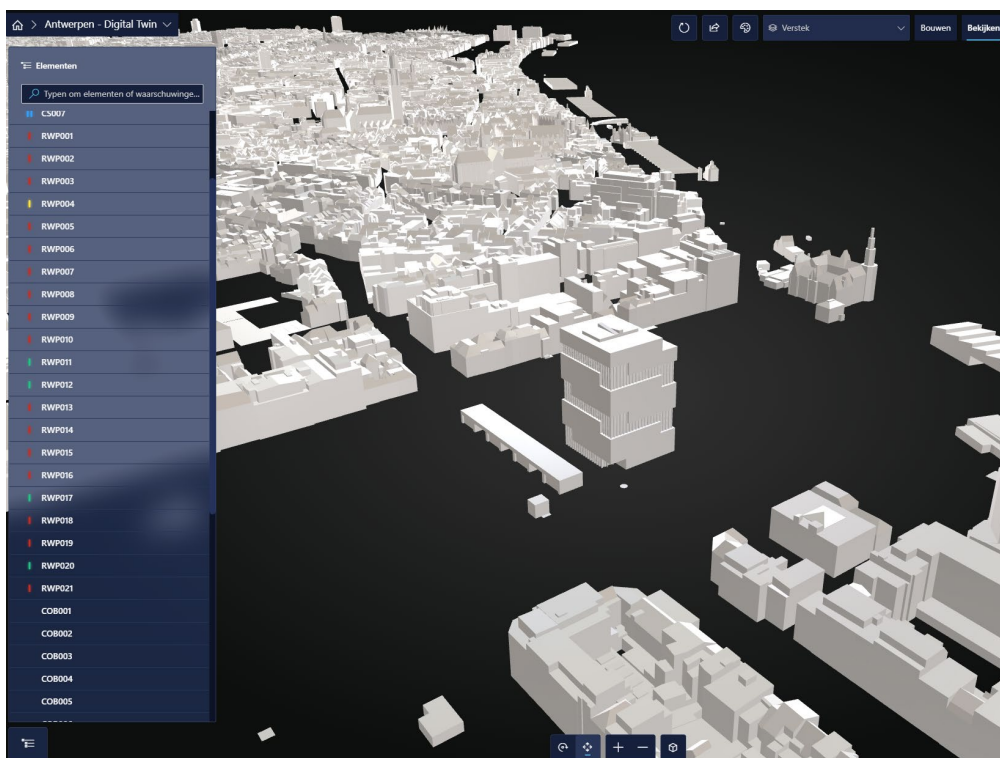
De visualisatie werd opgemaakt in de interne Azure 3D Scenes Studio. Hiervoor moet een 3D-model opgeladen worden. Dit model werd opgemaakt in Blender. Via Blender was het mogelijk om de OGC gestandaardiseerde bestanden in te laden en om te zetten naar een formaat dat compatibel is met de 3D-scène viewer. Aan het model dienen dan handmatig de twins gekoppeld te worden die in de twin graph zijn gedefinieerd. Vervolgens kan gedrag gekoppeld worden aan de elementen.



In Figuur 14 tot en met Figuur 16 volgen enkele screenshots van de visualisatie.

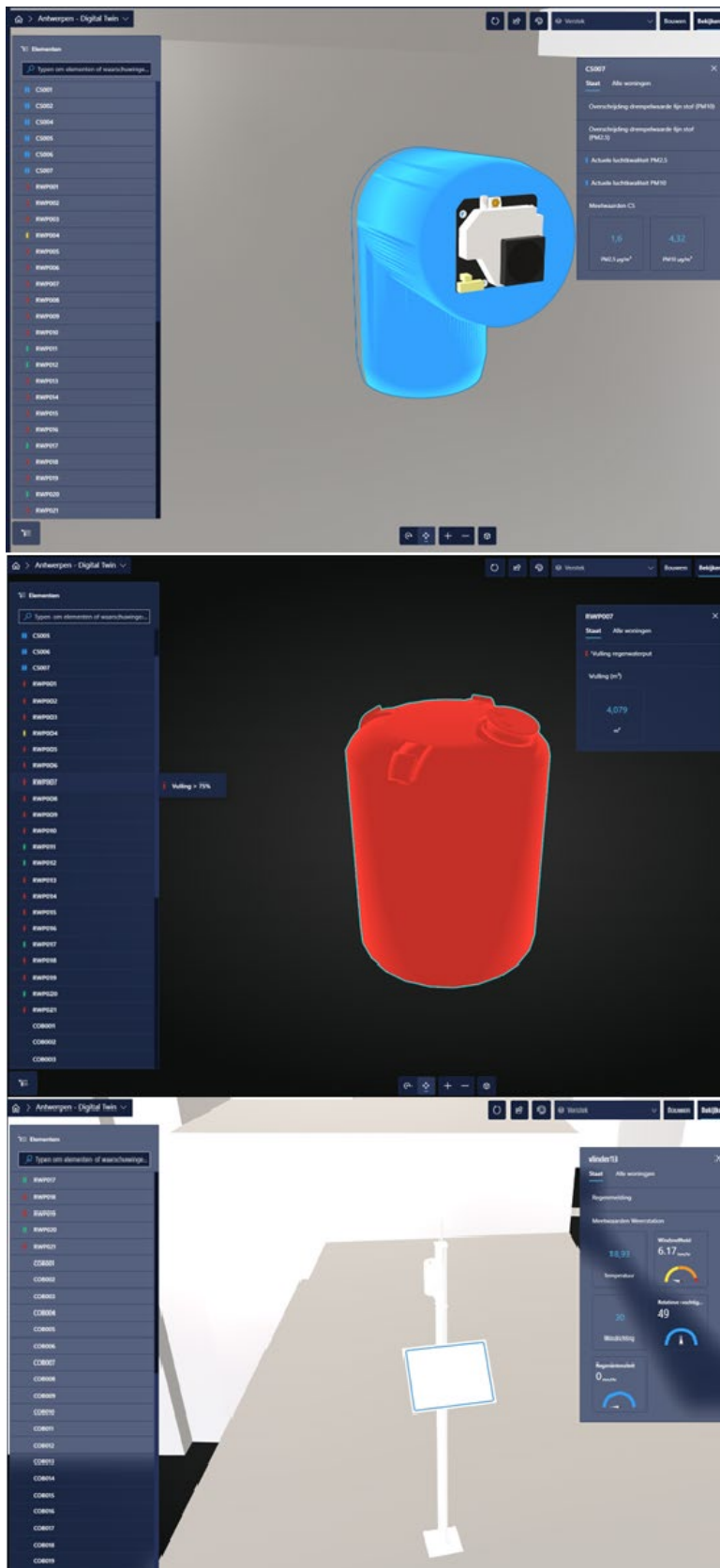


Figuur 13: Overzicht projectzone (bovenaanzicht)



Figuur 14: Detailniveau van de OGC-standaard bestanden. In de voorgrond ziet men het MAS Antwerpen.





Figuur 15: Staat van twin objecten. Boven: Luchtkwaliteitssensor. Midden: regenwaterput. Onder: weerstation.



6. CONCLUSIE

Het stageproject kan als succesvol worden beschouwd, aangezien de gestelde doelstellingen zijn behaald en de functionaliteiten van het Azure Digital Twins platform zijn onderzocht.

De integratie van een statisch OGC-standaard gebaseerd object binnen een dynamische omgeving is mogelijk en de gekozen aanpak, waarbij de objecten werden opgeslagen in een MongoDB, werkt naar behoren, maar voegt wel een extra laag van complexiteit toe die niet in elke use case nodig zal zijn. Het is dus essentieel om de toegevoegde waarde van de OGC-standaard gebaseerde objecten zorgvuldig te analyseren voor elke specifieke use case.

Als de use case geen directe toegang tot de CityObjecten vereist, kan ervoor gekozen worden om de bestanden ongewijzigd op te slaan zonder de noodzakelijke gegevensconversie voor opslag in een MongoDB-instantie. Als dit wel vereist is, is de gekozen aanpak in dit project voldoende performant om snel aan de slag te gaan en verder te werken.

Het Azure Digital Twins platform is krachtig en veelzijdig. De naadloze integratie met andere Azure-services maakt het eenvoudig om op te zetten en te koppelen. Bovendien is de beschikbare documentatie uitgebreid, waardoor kostbare tijd bespaard wordt. Daarnaast ondersteunt het platform meerdere programmeertalen, waardoor gebruikers er direct mee aan de slag kunnen zonder nieuwe programmeertalen te moeten leren.

De geïntegreerde 3D-scène viewer bevindt zich nog in een vroeg ontwikkelingsstadium en heeft op dit moment beperkingen. Zo moeten 3D-modellen apart worden geladen en beheerd en zijn ze niet dynamisch gekoppeld aan de twins in de twin graph. Dit betekent dat elke wijziging in de twin graph ook moet worden doorgevoerd in het 3D-model en vice versa. Bovendien moet telkens een nieuwe scène worden aangemaakt om het nieuwe 3D-model te laden, omdat het in zijn geheel moet worden geladen in de omgeving. Naast deze huidige beperkingen heeft het wel als groot voordeel dat er al een heel aantal functionaliteiten als plug-and-play beschikbaar zijn. Zo kan gedrag, hoewel beperkte variatie mogelijk is, vrij eenvoudig gekoppeld en gevisualiseerd worden. Ook mag men verwachten dat er in de komende jaren verdere ontwikkeling zal plaatsvinden en dat de functionaliteiten enkel zullen toenemen.



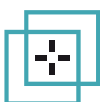
7. AANBEVELINGEN

Hoewel het project ten einde is, lijkt het nog maar het begin van de ontwikkeling hiervan. Er zijn nog verschillende mogelijkheden voor uitbreiding van het project, zoals:

- Het ontwikkelen van een op maat gemaakte client applicatie. Dit zou helpen om de functionaliteiten van de ingebouwde viewer objectief af te wegen ten opzichte van een eigen applicatie. Hoewel we tijdens het project beperkingen hebben gevonden in de huidige viewer, kan het ontwikkelen van vergelijkbare functionaliteiten vanaf een blanco canvas een uitdaging zijn.
- Het koppelen van een model inventaris. Tijdens het project lag de focus op de dataflow die in, door, en uit de digital twin stroomt. Echter, de interactie met een model ontbreekt. De binnenkomende meetgegevens zouden bijvoorbeeld gevoed kunnen worden aan een luchtkwaliteitsmodel dat de effecten meteen modelleert. Aangezien deze modellen niet vrij beschikbaar zijn, lijkt het aangaan van een partnerschap met een externe partij, die eigenaar is van deze modellen, een noodzaak.

Deze uitbreidingen zullen de complexiteit van de use case, maar ook van de kennis vergroten. Daarnaast zijn er nog enkele aanbevelingen op het vlak van kennisopbouw en -overdracht:

- De ontwikkelingen van het Azure Digital Twins platform moeten worden opgevolgd. Het platform is volop in ontwikkeling dus het is belangrijk op de hoogte te blijven van de nieuwe mogelijkheden en verbeteringen die relevant kunnen zijn voor toekomstige implementaties van urban digital twins.
- De documentatie en 'lessons learned' kunnen verder uitgebreid worden. Ook het creëren van een kennisdatabank om de overdracht van kennis te vergemakkelijken en best practices te definiëren en te delen is aangewezen. Dit zal inzichten vastleggen en helpen bij het verspreiden van de opgedane kennis binnen Geo Solutions.



8. REFERENTIES

Brugge, 2020. Stad Brugge ontwikkelt digitale tweeling. <https://www.brugge.be/stad-brugge-ontwikkelt-digitale-tweeling> (Geraadpleegd op: 28 mei 2023)

CityJSON, 2021. CityJSON Specification 1.0.3. <https://www.cityjson.org/specs/1.0.3/> (Geraadpleegd op 29 mei 2023)

Microsoft, 2023. Wat is Azure Digital Twins. <https://learn.microsoft.com/nl-NL/azure/digital-twins/overview> (Geraadpleegd op 29 mei 2023)

OGC, 2021. CityJSON Community Standard 1.0. <https://docs.ogc.org/cs/20-072r2/20-072r2.html> (Geraadpleegd op 29 mei 2023)

OGC, 2023. CityGML. <https://www.ogc.org/standard/citygml/> (Geraadpleegd op 29 mei 2023)

Stad Antwerpen, 2023. Opendata portaal Antwerpen. <https://portaal-stadantwerpen.opendata.arcgis.com/> (Geraadpleegd op 29 mei 2023)

Staring, K., 2020. Combination of CityJSON with PostgreSQL, MongoDB and GraphQL Master thesis, TU Delft, 139 pp.

Vandeputte, K., 2023. Repository stageproject - Spatial IoT met CityJSON. <https://git.geosolutions.be/geosolutions/data-cluster/internships/spatial-iot-in-cityjson>.

