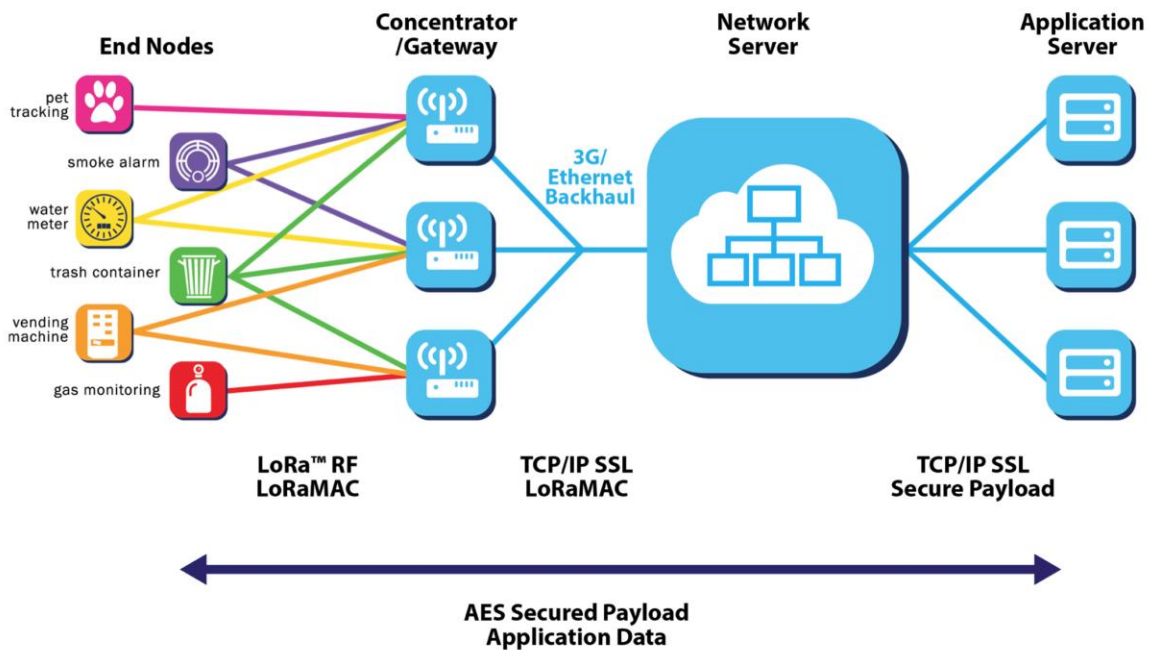


TESTOPSTELLING KPN LoRAWAN

Ontwerp en realisatie van een KPN LoRaWAN testopstelling



Bachelorscriptie
Esat Karaer

TESTOPSTELLING KPN LoRAWAN

Het ontwerpen en realiseren van een KPN LoRaWAN testopstelling

Opdrachtgever:
Bedrijfsbegeleider:
Functie bedrijfsbegeleider:
E-mailadres bedrijfsbegeleider:

Croonwolver&dros B.V. te Dordrecht
Peter Withagen
Hoofd Engineering
Peter.Withagen@croonwolverendros.nl

Naam student:	Esat Karaer
Studentnummer:	0893024
E-mailadres:	esatkaraer@outlook.com
School E-mailadres:	0893024@hr.nl
Klas:	TI4A
Modulenaam:	Afstudeeropdracht
Modulecode:	TINAFS02
Onderwijsinstelling:	Hogeschool Rotterdam – CMI
Opleiding:	Technische Informatica – Voltijd
Datum van voltooiing:	20 juni 2018
Versie:	1

VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie 'Het ontwerpen en realiseren van een KPN LoRaWAN testopstelling'. In deze scriptie omschrijf ik mijn onderzoek over het ontwerpen en realiseren van een KPN LoRaWAN testopstelling. Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Technische informatica aan de Hogeschool Rotterdam en in opdracht van stagebedrijf Croonwolter&dros te Dordrecht. In de periode van februari 2018 tot en met juni 2018 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze scriptie.

Bij deze wil ik graag mijn collega's bedanken die mij hebben ondersteund tijdens dit onderzoek en de interesse die zij hebben getoond in mijn afstudeeropdracht. In het bijzonder wil ik mijn bedrijfsbegeleider, de heer Peter Withagen, en Innovatie Manager, de heer Koen van Agtmaal, bedanken voor hun begeleiding en de belangstelling die zij toonden in mijn afstudeeropdracht. Tot slot wil ik graag mijn vrienden, Oguz Bozdere en Ahmed Çinktas, peerstudenten, Niek Eichner en Chinji Hoe, en de afstudeercommissie bedanken voor hun feedback en adviezen.

Esat Karaer

Dordrecht, 19 juni 2018

SAMENVATTING

Croonwolter&dros werkt op TBI holding niveau samen met een startup bedrijf om IoT projecten te doen. Het nadeel hiervan is dat bepaalde technische kennis niet bij Croonwolter&dros en TBI komt maar bij de startup blijft. De afdeling T-AI van Croonwolter&dros wil zelf over de technische kennis beschikken. Het uiteindelijk doel van dit project is om een testopstelling op te zetten op de afdeling. Met deze testopstelling kan er geëxperimenteerd worden met LoRaWAN en verschillende sensoren. De data die vanuit de sensoren komen worden ook gekoppeld aan industriële machines. Hieruit is een centrale hoofdvraag opgesteld: "Hoe kan ik een relevante testopstelling maken voor Waterschap Limburg met behulp van KPN LoRaWAN?"

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden zijn er vier onderzoeksmethodieken gebruikt: interviews, toegepast onderzoek, deskresearch en veldonderzoek.

Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat er voor een LoRaWAN testopstelling voor Waterschap Limburg een programmeerbare node nodig is. Verder moet er een KPN LoRaWAN abonnement worden aangeschaft. Dit kan direct via KPN of via SimPoint voor kleine projecten. Een andere optie is om de gratis KPN ontwikkelaars portaal te gebruiken. Dit portaal is beperkt in functionaliteit ten opzichte van een KPN of SimPoint abonnement en is bruikbaar voor een bepaalde tijd. Ook is er een applicatie server nodig die moet voldoen aan de eisen die zijn gesteld door KPN. Tenslotte moet er een OPC-UA server opgezet worden voor een koppeling met industriële machines.

Op basis van de implementatie onderzoek die gedaan is wordt aanbevolen om te gaan testen met externe sensoren zodat er getest kan worden in het veld, bij voorkeur in de werkgebieden van Waterschap Limburg. Op dit moment kan de applicatie server alleen data van een aantal sensoren verwerken. Voor specifieke toepassingen moet er een specifieke applicatie server gerealiseerd worden, zodat alle sensoren of de sensoren die nodig zijn geïmplementeerd worden. Tenslotte moet de OPC-UA opgezet worden zodat het direct kan samenwerken met systemen van Croonwolter&dros. Voor de scope van dit project is alleen de koppeling gemaakt met LoRa nodes en is er niet gefocust op het ontwerp van de server.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
Inhoudsopgave	5
Figuren- en tabellenlijst	7
Definities en Afkortingen	8
1 Inleiding	9
1.1 Het bedrijf	9
1.2 Aanleiding	10
1.3 Doelstelling	10
1.4 Leeswijzer	10
2 Theoretisch kader	11
2.1 LoRaWAN™	11
2.1.1. LoRaWAN™: Netwerk Architectuur	11
2.1.2. LoRaWAN device klassen	12
2.1.3. Frequentie restricties	13
2.2 LoRa	13
2.2.1. Spreading factors	13
2.3 Open Platform Communications (OPC)	14
2.3.1. OPC Classic	14
2.3.2. OPC Unified Architecture	15
3 Methodiek	16
3.1 Wat is 'relevant' voor waterschap Limburg?	16
3.1.1. Interviews	16
3.2 Wat is de systeemarchitectuur van de testopstelling?	16
4 Afbakening	17
5 Resultaten	18
5.1 Nodes	18
5.1.1. ED1608	19
5.2 netwerk server	25
5.2.1. KPN LoRa netwerk	25
5.2.2. GeoLocation	25
5.2.3. Dekking KPN LoRa	26
5.2.4. Gebruik Developers portal	27
5.3 Applicatie server	28

5.3.1.	API	28
5.3.2.	Website & Testdata.....	29
5.3.3.	OPC-UA Server	31
5.3.4.	Database	33
5.4	Acceptatietest.....	33
6	Conclusie.....	34
6.1	Wat is 'relevant' voor Waterschap Limburg?.....	34
6.2	Wat is de systeemarchitectuur van de testopstelling?	34
6.3	Wat is de dekking van KPN in de werkgebieden van Waterschap Limburg?	34
6.4	Hoe kan ik een complexe meting omzetting naar een gebeurtenis?.....	34
7	Obstakels	35
8	Aanbevelingen	36
9	Bibliografie	37
10	Bijlage 1: Interview Peter Withagen.....	38
11	Bijlage 2: Interview Elia van Gestel	39
12	Bijlage 3: Interview Tim KPN Forum	40
13	Bijlage 4: Koopadvies.....	41
14	Bijlage 5: Acceptatietest	45

FIGUREN- EN TABELLENLIJST

Figuur 1: Organogram TBI Holdings B.V.....	9
Figuur 2: LoRAWAN Architectuur.....	11
Figuur 3: Klasse A node met twee tijdvensters voor het ontvangen.....	12
Figuur 4: Spreading factors Lora	13
Figuur 5: Voorbeeld van een use case met de verbinding tussen opc clienten en server.....	14
Figuur 6: Overzicht Testopstelling	18
Figuur 7: Kandidaten voor de node in deze testopstelling	19
Figuur 8: Ed1608 node	19
Figuur 9: ED1000 & Atmel ICE.....	20
Figuur 10: ED1608 Software architectuur	20
Figuur 11: Flowchart langzame node.....	22
Figuur 12: FLOWCHART intelligente NODE	23
Figuur 13: FLOWCHART rapportage NODE	24
Figuur 14: Afwijking Geolocation.....	25
Figuur 15: LoRa dekking kpn	26
Figuur 16: Nieuwe node toevoegen kpn developer portal	27
Figuur 17: KPN ontwikkelaars portaal node overzicht	27
Figuur 18: FLOWCHART API.....	28
Figuur 19: Overzicht nodes op de website	29
Figuur 20: Algemene informatie node	29
Figuur 21: grafiek test data Langzame Node	30
Figuur 22: test data Intelligente node.....	30
Figuur 23: test data Rapportage node	31
Figuur 24: FLOWCHART OPCUA Server.....	32
Figuur 25: Prosys OPC UA test client.....	33
Figuur 26: Code-First Entity Framework.....	33
Figuur 27: berichten Rapportage node	35

DEFINITIES EN AFKORTINGEN

LoRa	Low Power Long Range
LoRaWAN	Low Power Long Range Wide-Area Network
Internet of Things	Het Internet der dingen is een concept waarbij alledaagse voorwerpen zijn verbonden met het internet.
OPC UA	Open Communications Protocol Unified Architecture
Backhaul	Verbinding tussen twee van uw netwerkknooppunten(KPN)

1 INLEIDING

1.1 HET BEDRIJF

Op 1 januari 2017 zijn Croon en Wolter & Dros juridisch gefuseerd tot Croonwolter&dros. Beide bedrijven zijn meer dan 140 jaar oud en zijn samen goed voor 280 jaar ervaring in de techniek. Beide bedrijven maken deel uit van Croonwolter&dros is met een omzet van 550 miljoen en 3000 werknemers het grootste in elektrotechniek, werktuigbouwkunde, automatisering en informatisering gespecialiseerde bedrijf in Nederland. Croonwolter&dros is een dochterbedrijf van Techniek, Bouw en Infra(TBI). TBI is een holding en voert daarom zelf geen werkzaamheden uit, maar doet dat via dochterbedrijven. TBI-ondernemingen vanuit verschillende vakgebieden werken samen en delen kennis op vijf marktgeoriënteerde groepen: Vastgoed, Wonen, Utiliteit, Technologie en Mobiliteit. TBI heeft gemiddeld 5500 medewerkers en realiseerde bedrijfsopbrengsten van €1.573 miljoen in 2016 [1].



FIGUUR 1: ORGANOGRAFIE TBI HOLDINGS B.V.

Dit onderzoek wordt gerealiseerd binnen de afdeling T-AI (Technische Automatisering en Informatisering). T-AI richt zich op het ontwerp, de engineering, realisatie en de instandhouding van automatiseringsoplossingen in verschillende markten, zoals Industrie, Infra, Utiliteit en Marine & Offshore. De focus van de afdeling ligt op projecten met een hoge factor aan automatiseringscomponenten [2].

1.2 AANLEIDING

Het idee van Internet of Things (IoT) binnen TBI is gestart door onderzoek te doen naar problemen van een interne klant: Materiaal Dienst Bergambacht (MDB). MDB is een leverancier van bouwmaterialen en heeft een uitgebreid dienstenpakket van materieel zoals kranen en bouwlichten [3]. Door de risicovolle materialen van MDB te voorzien van sensoren en deze te koppelen aan een data platform kan de faalkosten gereduceerd worden. Nieuwe technieken in het kader van IoT maken dit mogelijk. Op dit moment werkt Croonwolver&dros op TBI holding niveau samen met een startup bedrijf om IoT projecten te doen. Het nadeel hiervan is dat bepaalde technische kennis niet bij Croonwolver&dros en TBI komt maar bij de startup. De afdeling T-AI wil zelf over de technische kennis beschikken.

1.3 DOELSTELLING

De uiteindelijke doelstelling is om een testopstelling op te zetten op de afdeling. Met deze testopstelling kan er geëxperimenteerd worden met LoRaWAN en verschillende sensoren. De data die vanuit de sensoren komen worden ook gekoppeld aan industriële machines. Ook wordt er een korte onderzoek gedaan naar verschillende sensoren en andere componenten van de testopstelling. Verder worden er use cases die tijdens interviews en brainstorm sessies te voren komen getest. Uit de hiervoor genoemde oplossing is een centrale hoofdvraag opgesteld: "Hoe kan ik een relevante testopstelling maken voor Waterschap Limburg met behulp van KPN LoRaWAN?"

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden, zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- ☐ Wat is 'relevant' voor Waterschap Limburg?
- ☐ Wat is de systeemarchitectuur van de testopstelling?
- ☐ Wat is de dekking van KPN in de werkgebieden van Waterschap Limburg?
- ☐ Hoe kan ik een complexe meting omzetting naar een gebeurtenis?

Waterschap Limburg is een van de weinige bedrijven die willen investeren in LoRaWAN. Het opzetten van een LoRaWAN testopstelling waarbij use cases van Waterschap Limburg worden gesimuleerd moet ervoor zorgen dat er meer ervaring wordt opgeemaakt met LoRaWAN. Als bedrijven in de toekomst LoRaWAN willen gebruiken voor bepaalde toepassingen kan Croonwolver&dros laten zien dat ze ervaring hebben. Dit zorgt voor vertrouwen en zekerheid bij een potentiële klant.

1.4 LEESWIJZER

In het volgende hoofdstuk, hoofdstuk 3, wordt er een theoretisch kader gegeven op de werking van de componenten van de testopstelling. In hoofdstuk 4 worden de onderzoeksmethodieken die gebruikt zijn nader toegelicht. Hoofdstuk 5 geeft omschrijving van de afbakening van het project. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van het onderzoek behandeld. Vervolgens komen de conclusies en het antwoord op de hoofdvraag in hoofdstuk 7 aan bod. Daarna volgen in hoofdstuk 8 de obstakels die zijn ondervonden tijdens de uitvoering van het onderzoek. Tot slot volgen in hoofdstuk 9 de aanbevelingen.

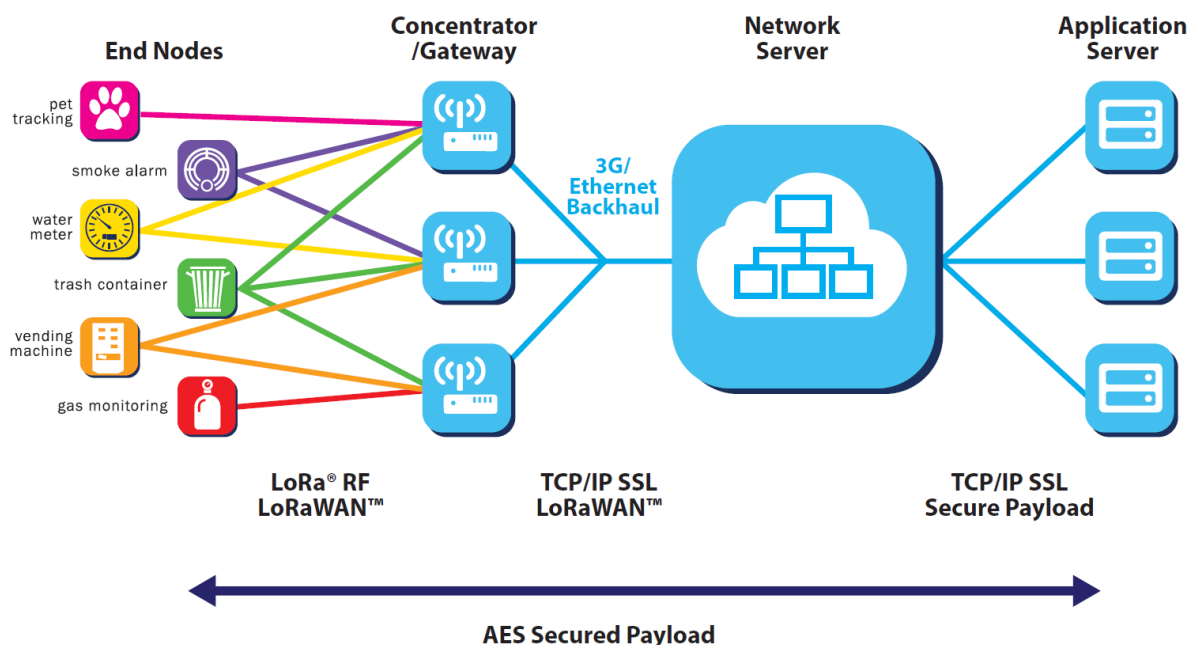
2 THEORETISCH KADER

2.1 LoRaWAN™

Long-Range Wide-Area Network (LoRaWAN™) is een relatief nieuw *Low-Power Wide-Area Network* (LPWAN) protocol. LPWANs zijn ontworpen om het gat tussen korte afstand netwerken en netwerken met een hoge bandbreedte te dichten. Mobiele netwerken zoals GSM, UMTS en LTE bieden wel draadloze communicatie op lange afstand, maar hebben als gevolg een hoog stroomverbruik. Bij IoT toepassingen is het essentieel dat apparaten voor lange periodes functioneren door middel van goedkope zendontvangers met een laag stroomverbruik [4].

2.1.1. LoRaWAN™: NETWORK ARCHITECTUUR

Een LoRaWAN netwerk heeft een twee-laags sternetwerk [5]. Een schematische diagram van deze netwerk topologie is gegeven in figuur 2. LoRaWAN netwerken worden beheerd door een netwerk operator die het mogelijk maakt om LoRaWAN devices te verbinden aan het netwerk. Deze devices worden ook wel nodes genoemd. De LoRaWAN netwerk server werkt alleen als koerier: data dat ontvangen wordt, doorgeven aan de server van de gebruiker. De componenten in een LoRaWAN netwerk kunnen verdeeld worden in vier onderdelen. Hieronder worden deze onderdelen nader uitgelegd.



FIGUUR 2: LORAWAN ARCHITECTUUR

End devices

End devices, ook wel nodes genoemd, vormen de basis van een LoRaWAN netwerk. Nodes die geschikt zijn voor LoRaWAN communicatie zijn meestal sensoren met een laag stroomverbruik. Deze nodes verzenden af en toe kleine hoeveelheden data naar de netwerk server. LoRaWAN berichten kunnen verdeeld worden in twee soorten: uplinks en downlinks. Uplinks zijn berichten die vanuit de nodes naar de LoRaWAN netwerk server worden verstuurd. Downlink berichten zijn berichten die van de LoRaWAN netwerk server naar de nodes worden verstuurd. LoRaWAN nodes communiceren overigens met gateways door middel van een communicatie model dat deel uitmaakt van de LoRaWAN protocol, dat gebaseerd is op LoRa [5].

Gateways

Gateways vormen de brug tussen de nodes en de netwerk server. Gateways zijn verantwoordelijk voor het versturen van de LoRaWAN berichten naar de LoRaWAN netwerk server. LoRaWAN berichten kunnen door meerdere gateways ontvangen worden. Een gateway kan tot 15.000 nodes ondersteunen en is verbonden met de netwerk server via een internet connectie [5].

De netwerk server

De netwerk server ontvangt alle berichten die door de gateways zijn doorgestuurd. De netwerk server controleert of de node bekend is binnen het netwerk. Berichten die binnenkomen bij de netwerk server worden ontcijfert en gecontroleerd op duplicaten. Duplicaten ontstaan wanneer een frame door meerdere gateways worden ontvangen. Voor elke node moet er minimaal één applicatie server bekend zijn, waarheen de berichten moeten worden doorgestuurd [5].

Applicatie server

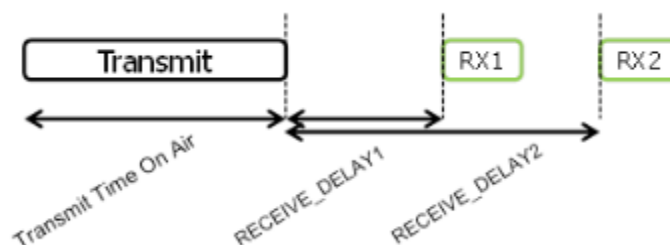
De applicatie server ontvangt de berichten van de nodes die gekoppeld zijn aan een applicatie. De server interpreteert deze berichten en laat de data zien. Applicatie servers kunnen aanvragen doen voor een downlink bericht naar de netwerk server. Deze aanvragen worden in een wachtrij gestopt en worden verzonden wanneer een node open staat voor binnenkomende berichten. De gateway dat de laatste uplink het sterkst heeft ontvangen wordt aangewezen om de downlink bericht te sturen [5].

2.1.2. LORAWAN DEVICE KLASSEN

LoRaWAN nodes hebben drie operationele klassen: klasse A, B en C. Klasse A vormt de basis van LoRaWAN nodes. Alle LoRaWAN nodes moeten minimaal aan de basisfunctionaliteiten van deze klasse voldoen.

Klasse A

Dit is de standaard klasse van LoRaWAN nodes. Een klasse A node bepaalt zelf wanneer er een frame met sensor data wordt gestuurd. Nadat een frame is verstuurd, worden er twee tijdvensters geopend waarin de node data kan ontvangen. Alleen in deze tijdsvensters kan een klasse A node data ontvangen.



FIGUUR 3: KLASSE A NODE MET TWEE TIJDVENSTERS VOOR HET ONTVANGEN

Klasse B

Klasse B nodes hebben de mogelijkheid om meerdere tijdvensters te openen voor het ontvangen van data, bovenop de twee tijdvensters die na het verzenden van een frame worden geopend. Deze extra tijdvensters worden geopend volgens een tijdschema. Dit tijdschema wordt vooraf bepaald door de LoRa netwerk server.

Klasse C

Klasse C nodes staan continue open voor ontvangen, behalve als het aan het zenden is. Deze klasse wordt gebruikt voor nodes waarbij stroomverbruik geen belangrijke rol speelt.

2.1.3. FREQUENTIE RESTRICTIES

LoRaWAN werkt in de licentie vrije gratis ISM band. "ISM band" staat voor *industrial, scientific and medical radio band*. In Europa is dit de 868 MHz band en in de Verenigde Staten de 915 MHz band.

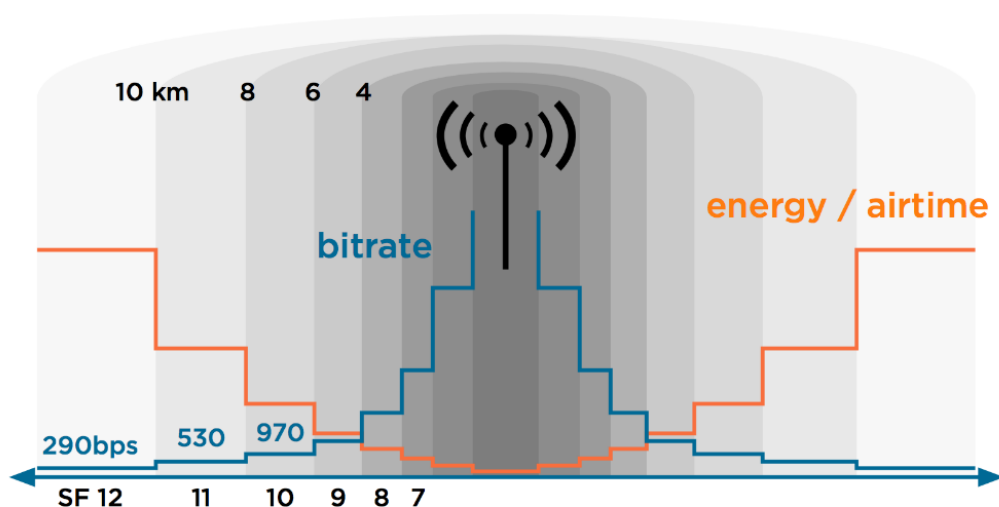
2.2 LORA

LoRaWAN is gebaseerd op LoRa, dat de fysieke laag van de communicatie tussen nodes en gateways omschrijft. LoRa biedt een goedkope langeafstand communicatie techniek voor het verzenden van data en maakt gebruik van een Chirp Spread Spectrum(CSS) modulatie techniek. CSS is een spread spectrum modulatie techniek en is in de jaren 1940 ontwikkeld voor radio applicaties. Het werd vooral gebruikt door het leger en applicaties die een beveiligde communicatie middel nodig hadden. In de laatste twintig jaar is het aantal data communicatie applicaties die CSS gebruiken aanzienlijk gegroeid. Dit komt door de relatief lage energie kosten en robuustheid van deze modulatie techniek.

Deze robuustheid komt onder andere doordat CSS geen last heeft van het doppler effect. [6] Het doppler effect is de toename of afname van de frequentie wanneer de zender en ontvanger naar elkaar of van elkaar bewegen. Bij draadloze datacommunicatie kan het doppler effect ontvangst van het signaal belemmeren [7].

2.2.1. SPREADING FACTORS

LoRa berichten worden gestuurd met een zogeheten spreading factor. De spreading factor kan variëren van SF7 tot SF12 en staat voor de afweging tussen datasnelheid en afstand. Een hogere spreading factor geeft een langere afstand, maar moet op het gebied van datasnelheid wat inleveren. Deze afweging is in figuur 4 afgebeeld. LoRaWAN kan met Adaptive Data Rate(ADR) automatisch de beste spreading factor vinden voor het versturen van de frame. De netwerk server houdt toezicht op de karakteristieken van de uplink communicatie en verzend de beste spreading factor terug naar de node [5].



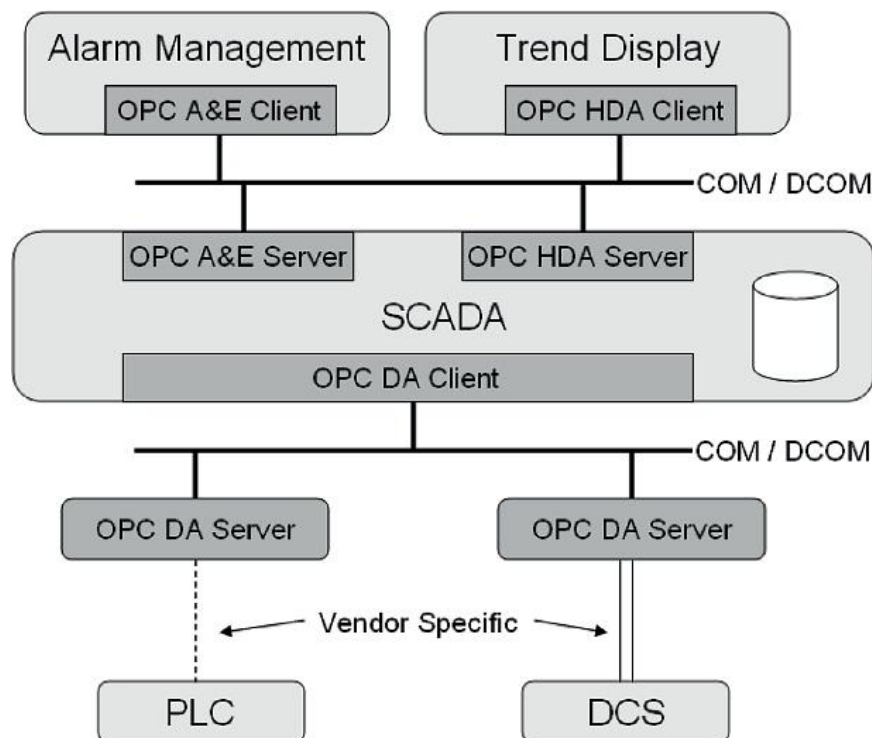
FIGUUR 4: SPREADING FACTORS LORA

2.3 OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS (OPC)

2.3.1. OPC CLASSIC

De uitwisseling van data met een standaard is steeds belangrijker voor de samenwerking van verschillende systemen. Open Platform Communication(OPC) is voor een lange tijd de basis voor deze samenwerking. In 1996 is de OPC foundation opgezet als een vereniging zonder winstoogmerken en werd de eerste OPC specificatie werd uitgebracht, OPC Data Access(OPC DA) [8]. De OPC specificatie is gebaseerd op de Microsoft Windows technologie en maakt gebruik van de Component Object Model(COM) voor de uitwisseling van data tussen software componenten [9]. Uit de verschillende eisen van industriële applicaties zijn er uiteindelijk drie belangrijke OPC specificaties ontwikkeld: OPC Data Access, OPC Alarms & Events(OPC A&E) en OPC Historical Data Access(OPC HDA). Deze drie specificaties worden later nader toegelicht.

OPC maakt gebruik van een client-server methode voor de uitwisseling van data. De OPC server is de bron van de data die vanuit apparaten, zoals programmable logic controllers(PLC's), distributed control systems(DCS's) en andere besturingsapparaten worden gehaald en maakt deze data beschikbaar voor OPC clients. Een OPC client kan de data van de OPC server openen en gebruiken via een interface. In figuur 5 is een voorbeeld use case te zien van het gebruik van OPC clients en servers.



FIGUUR 5: VOORBEELD VAN EEN USE CASE MET DE VERBINDING TUSSEN OPC CLIENTEN EN SERVER

OPC Data Access

De OPC Data Access(OPC DA) interface maakt het mogelijk om variabelen met proces data te lezen, schrijven en monitoren. De primaire use case van OPC DA is het verplaatsen van real-time data van PLC's, DCS's en andere besturingsapparaten naar human machine interfaces(HMI's) en andere weergave clients. OPC DA is de belangrijkste OPC interface. 99% van de applicaties die de OPC technologie gebruiken, zijn OPC DA. Andere OPC interfaces worden meestal naast OPC DA gebruikt [10].

OPC Alarm & Events

De OPC Alarms & Events(OPC A&E) interface maakt het mogelijk om meldingen van gebeurtenissen(events) en alarmen(alarms) te ontvangen. Gebeurtenissen worden als een afzonderlijke melding vermeld bij de OPC client. Alarmen zijn notificaties die de client informeren over een verandering van de status van een proces. Een voorbeeld van zo een status kan het niveau van een voorraadtank zijn. Een verandering van deze status kan voorkomen wanneer een maximum niveau wordt overschreden of wanneer het niveau onder een minimumniveau is gedaald. In de meeste gevallen moeten deze alarmen geverifieerd worden. Deze verificatie kan ook via de OPC A&E interface gedaan worden [10].

OPC Historical Data Access

Zoals eerder vermeld geeft OPC Historical Data Access(OPC HDA) toegang tot real-time data dat constant veranderd. OPC DA geeft toegang tot data dat al is opgeslagen. Op een uniforme wijze kan OPC HDA historische data archieven ophalen van simpele applicaties zoals seriële data loggers tot complexe Supervisory Control And Data Acquisition(SCADA) systemen [10].

2.3.2. OPC UNIFIED ARCHITECTURE

OPC Unified Architecture(OPC UA) is voortgekomen uit de wens om bestaande OPC Classic specificaties te vervangen zonder verlies van enige functionaliteit of prestatie. OPC UA omzeilt de huidige beperkingen van de COM en DCOM gebaseerde specificaties die hiervoor zijn omschreven. Dit maakt OPC UA platformonafhankelijk. OPC UA is gebaseerd op OPC Classic en maakt dus ook gebruik van een client-server concept(zie 2.3.1 OPC Classic).

In het volgende hoofdstuk wordt de project methodiek behandeld. Hierin staat hoe de deelvragen zijn behandeld.

3 METHODIEK

Om de deelvragen te beantwoorden zijn de volgende onderzoeksmethodieken gebruikt:

1. interviews
2. toegepast onderzoek(implementatie onderzoek)
3. deskresearch
4. veldonderzoek

Om deelvraag 1 is er gebruik gemaakt van interviews. Deelvraag 2 is beantwoord doormiddel van toegepast onderzoek en deskresearch. Voor deelvraag 3 is er gebruik gemaakt van deskresearch en interviews en in deelvraag 4 is er gebruik gemaakt van veldonderzoek en toegepast onderzoek.

3.1 WAT IS 'RELEVANT' VOOR WATERSCHAP LIMBURG?

Om er achter te komen wat relevant is voor waterschap is er gebruik gemaakt van interviews met de opdrachtgever. De eisen en de use-cases van de testopstelling bepalen de relevantie voor Waterschap Limburg.

3.1.1. INTERVIEWS

De interviews zijn deels gestructureerd. Dit houdt in dat er een aantal vragen zijn voorbereidt en op basis van de antwoorden, vervolgvragen zijn gesteld. Sommige vragen zijn tussendoor in informele gesprekken gesteld. Om de kwaliteit en betrouwbaarheid van de interviews te beschermen, zijn de interviews samengevat en teruggestuurd naar de geïnterviewde voor goedkeuring.

De volgende personen zijn op deze manier geïnterviewd:

1. Peter Withagen(Hoofd Engineering, opdrachtgever, bedrijfsbegeleider), om de opdracht verder te specificeren, use-cases op te stellen en om de relevantie voor Waterschap Limburg te bepalen.

3.2 WAT IS DE SYSTEEMARCHITECTUUR VAN DE TESTOPSTELLING?

Om de systeemarchitectuur van de testopstelling te ontwerpen en te realiseren is er gebruik gemaakt van interviews, deskresearch en implementatie(toegepast) onderzoek.

Voor deze deelvraag zijn er interviews afgenomen door middel van een telefoongesprek, dat achteraf bevestigd is via e-mail, en via persoonlijke berichten op het KPN forum. Deze interviews zijn gestructureerd en hebben een bepaalde volgorde.

De volgende personen zijn op deze manier geïnterviewd:

1. Tim (KPN Forum Community Manager <https://zakelijkforum.kpn.com/members/tim-227>), specifieke vragen over KPN LoRa heb ik via berichten op het forum gesteld.
2. Elian van Gestel(Medewerker SimPoint), contact opgenomen op aanwijzen van KPN. SimPoint levert KPN LoRa abonnementen voor kleine bedrijven en voor test projecten.

Voor het onderzoeken van de hardware die benodigd is, is er gebruik gemaakt van desk research. Voor de deskresearch is er gebruik gemaakt van verschillende databases en zoekmachines zoals: Google, IEEE Xplore Digital Library, Google Scholar en Researchgate.

Bij de implementatie onderzoek is er gericht op het beschrijven, bespreken en aanbevelen van de implementatie van de testopstelling.

KPN heeft over het hele land LoRa gateways staan. Om te kijken of de werkgebieden van Waterschap Limburg ook gedekt zijn is er desk research gedaan. De belangrijkste bron hierbij was de KPN website. Het omzetten van een complexe meting naar een gebeurtenis is onderzocht door middel van implementatie onderzoeken.

In het volgende hoofdstuk wordt het project afgebakend door middel van de MoSCoW methode. Hierin staat welke onderdelen in het project prioriteit hebben en welke onderdelen minder van belang zijn.

4 AFBAKENING

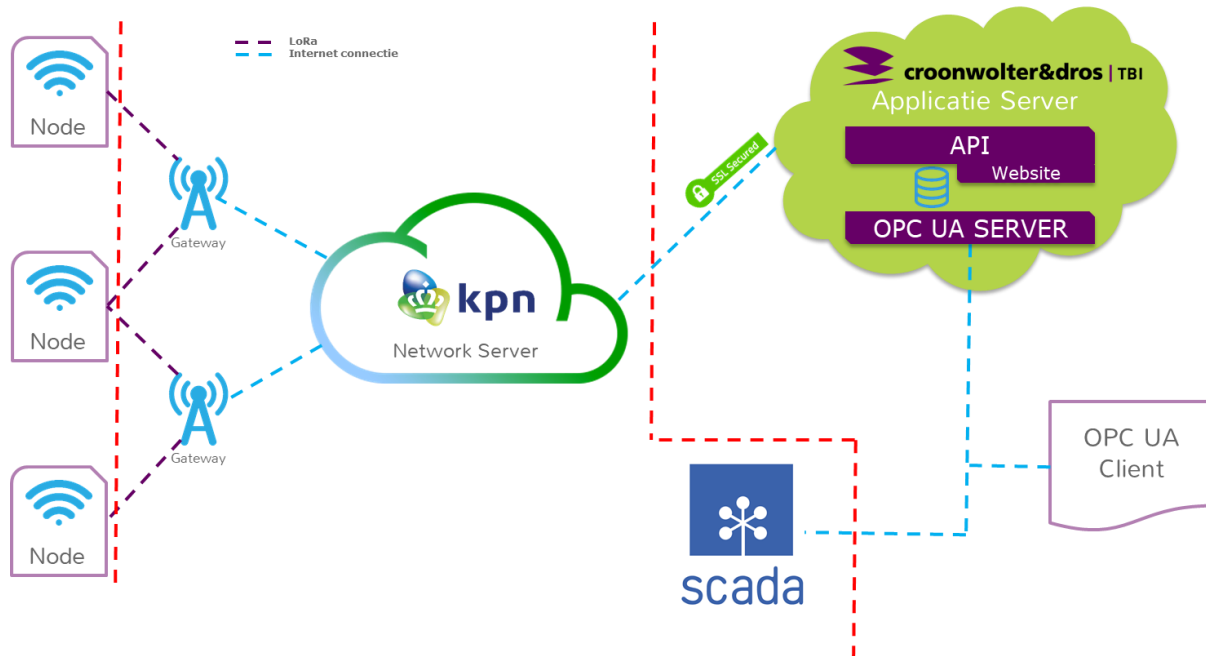
Dit project is afgebakend doormiddel van de MoSCoW methode. MoSCoW is een letterwoord en staat voor [11]:

- **Must** have's zijn eisen die onvoorwaardelijk nodig zijn voor een bruikbaar product.
- **Should** have's zijn eisen die wel belangrijk zijn, maar niet noodzakelijk voor een bruikbaar product.
- **Could** have's zijn eisen die alleen worden voldaan, als er tijd over is.
- **Won't** have's zijn eisen die buiten de scope van dit project vallen en niet worden gedaan.

MoSCoW	Omschrijving
M	Er wordt advies gegeven over de keuze in sensoren voor de testopstelling.
M	Er wordt advies gegeven over de benodigdheden en voorwaarden van het data platform.
M	Er wordt een ontwerp van de hele testopstelling gemaakt. (Database, Software, Firmware)
M	De nodes worden geprogrammeerd op basis van de use cases van Waterschap Limburg.
M	De applicatie server heeft een Web API die de data pakketten van de KPN netwerk server kan verwerken.
M	De applicatie server heeft een OPC-UA server waarin de data van de sensoren worden vrijgegeven voor OPC-UA clients.
M	De use cases van Waterschap Limburg worden getest en gerapporteerd.
S	Er is een OPC cliënt gerealiseerd waarmee sensor data worden opgevraagd.
S	De sensor data is gevisualiseerd.
C	De sensoren zijn getest in de werkgebieden van Waterschap Limburg.
W	Er is advies gegeven over andere LPWAN technologieën.
W	De verzamelde data worden verwerkt zodat er conclusies uit worden getrokken.

5 RESULTATEN

De resultaten van het onderzoek worden van links naar rechts in de schematische tekening afgebeeld in figuur 6 uitgewerkt. In de tekst wordt er ook verwezen naar de deelvragen waar de resultaten bij horen. Alles wat binnen de rode stippellijnen valt, is in handen van derde partijen en kan dus niet verandert worden op hardware en software niveau.



FIGUUR 6: OVERZICHT TESTOPSTELLING

5.1 NODES

Uit de interviews (zie Bijlage 1) met de opdrachtgever en stagebegeleider, Peter Withagen, is voortgekomen dat er een aantal eisen zijn aan de nodes;

1. De node moet LoRa berichten kunnen sturen
2. De node moet configureerbaar en programmeerbaar zijn
3. De node moet een behuizing hebben
4. De node moet zoveel mogelijk plug en play zijn, aansluiten en het werkt

Zoals de hoofdvraag duidt wordt er een testopstelling gemaakt voor Waterschap Limburg met behulp van KPN LoRaWAN. Daarom moeten de nodes LoRa berichten kunnen sturen. De nodes moeten ook behuizing hebben, omdat Waterschap Limburg vaak buitenshuis werkt. Een behuizing voor de bescherming van de sensoren zijn daarom essentieel. De afdeling Technische Automatisering en Informatisering (TAI) bij Croonwolver&dros is vooral bezig met industriële applicaties. Tot nu toe is er nog nooit gewerkt met embedded systemen zoals LoRa nodes. Daarom wil het bedrijf nodes gebruiken die plug en play zijn. Uit de interviews met de opdrachtgever en stagebegeleider zijn er ook een aantal use-cases gemaakt. Op basis van deze use-cases is gebleken dat de nodes programmeerbaar moeten zijn om deze use-cases te kunnen realiseren.

KPN heeft ook een aantal eisen voor de nodes die gekoppeld worden aan de KPN LoRa netwerk. De nodes moeten door de LoRa Alliance gecertificeerd zijn. Op de website van LoRa Alliance is een lijst met alle nodes die gecertificeerd zijn. Deze lijst is daarom ook gebruikt om een koopadvies op te zetten.

Uit de eisen die hierboven zijn uitgewerkt is er een koopadvies gemaakt voor Croonwolter&dros. Bij het koopadvies is er gekeken naar de uitrusting van de nodes. Zoals het aantal sensoren, batterij capaciteit, IP-waarde van de behuizing en de bovengenoemde eisen. Veel sensoren op de markt voldoen aan de eisen, maar bieden niet de mogelijkheid om zelf te programmeren. Ook de levertijd van sensoren valt vaak tegen. Sommige bedrijven willen dat er een minimaal aantal wordt afgenomen. Bij het selecteren van de node is er niet gekeken naar de nauwkeurigheid van de sensoren.

Uit 4 mogelijke kandidaten(zie figuur 7) voor de node in deze testopstelling is er uiteindelijk gekozen voor de ED1608-Full van 1M2M in Vleuten. 1M2M ontwikkelt deze nodes en werkt samen met MCS in Rotterdam voor het verkopen en onderhouden. De ED1608 heeft veel sensoren en voldoet aan alle andere bovengenoemde eisen. In bijlage 4 is een compleet overzicht te vinden van de andere nodes die gevonden zijn. Er zijn drie ED1608 nodes besteld om meerdere testen tegelijk te kunnen uitvoeren. Door meerdere testen uit te voeren kunnen er meer use-cases gesimuleerd en getest worden.

Node	MCS1608 Full	EG-IoT-4281	ESM5K	EWATCH AMBIANCE
LoRa	Ja	Ja	Ja	Ja
Programmeerbaar	Ja	Nee	Nee	Nee
Waterdicht	Ja	Ja	Ja	Nee
Uitrusting sensoren(aantal)	Goed(6)	Slecht(2)	Gemiddeld(4)	Gemiddeld(4)
LoRa Alliance Certified(KPN)	Ja	Ja	Ja	Ja
Plug&Play	~	Ja	Ja	Ja

FIGUUR 7: KANDIDATEN VOOR DE NODE IN DEZE TESTOPSTELLING

5.1.1. ED1608

Hardware

De ED1608(figuur 8) maakt gebruik van de Atmega128 microcontroller en heeft een 128KB programmeerbare flashgeheugen. De temperatuur en luchtvochtigheid wordt gemeten met de HTU21. De nauwkeurigheid van de luchtvochtigheid sensor is $\pm 2\%$ op 25°C . De temperatuur wordt gemeten met een nauwkeurigheid van $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ op 25°C . De barometrische druk, ook wel luchtdruk genoemd, wordt met de MPL3115A2 waargenomen. De nauwkeurigheid is $\pm 0.4 \text{ kPa}$ op 25°C . Om zijn locatie te bepalen maakt de ED1608 gebruik van een L76 GPS&GLONASS module. De L76 heeft een nauwkeurigheid tot 2,5m. Voor de coördinatie van de ED1608 wordt er gebruik gemaakt van een 3-assige, digitale magnetometer. Met de MAG3110 kan men bepalen of de node recht op staat of omgekeerd is. Om beweging te kunnen detecteren maakt de ED1608 gebruik van een ultra-low-power 3-assige accelerometer. Deze accelerometer kan gebruikt worden om beweging te detecteren.



FIGUUR 8: ED1608 NODE

De ED1608 wordt geprogrammeerd met een Atmel-ICE (zie rechts in figuur 9) en kan gemonitord worden met behulp van de ED1000 flash tool (zie links in figuur 9). De Atmel-ICE is een ontwikkelingstool voor debuggen en programmeren van AVR en SAM microcontrollers die gebaseerd zijn op ARM® Cortex®-M. De ED1000 is, net als de node, ontwikkeld door 1M2M. De ED1000 komt met een tool en kan gebruikt worden voor het monitoren van de seriële output van de node. Ook kan er toezicht gehouden worden op het batterij verbruik van de node. Ten slotte kan de ED1000 de firmware updaten op de ED1608 via een directe LoRa verbinding. Hiermee kan een applicatie op meerdere ED1608 nodes tegelijk geflasht worden.

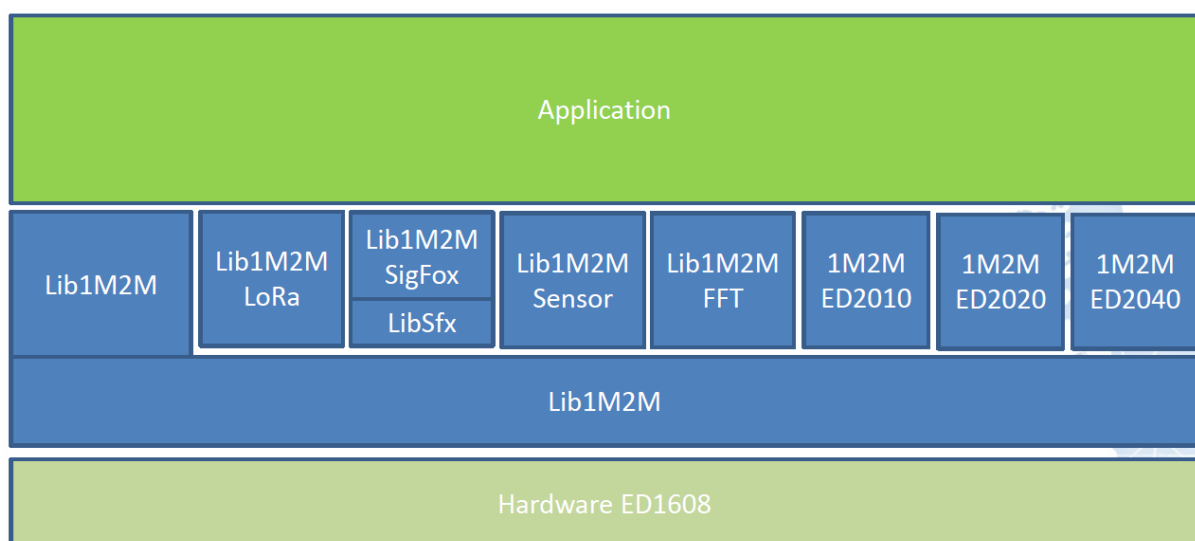


FIGUUR 9: ED1000 & ATMEL ICE

Software

Uit gesprekken met 1M2M is er gekozen om de programmeercursus te nemen voor de ED1608. Deze cursus heeft gezorgd voor een goede basis en een snelle start bij het programmeren van de nodes. De software voor de ED1608 is geschreven in C. De IDE dat gebruikt wordt is Atmel Studio 7.0. De keuze voor deze IDE is gemaakt naar aanleiding van de ontwikkelaars van de node. Tijdens de programmeercursus zijn er een aantal opdrachten uitgevoerd en is een voorbeeld project uitgelegd. De nodes die geprogrammeerd zijn voor dit onderzoek zijn dan ook gebaseerd op dit voorbeeld project.

Voor het programmeren van de nodes zijn er een aantal restricties. De bibliotheken voor de sensoren, de LoRa module en GPS module zijn afgeschermd. Dat houdt in dat er alleen maar header files beschikbaar zijn. De sensoren mogen daarom ook nooit direct aangesproken worden en alleen via deze bibliotheken. Ook het gebruik van interface zoals de seriële poorten of de I2C bus zonder bibliotheek is verboden. In figuur 10 is te zien dat de applicaties die geschreven worden voor de ED1608 altijd gebouwd worden op de aangeleverde bibliotheken.



FIGUUR 10: ED1608 SOFTWARE ARCHITECTUUR

Programmeren

Uit de interviews met Peter Withagen (Bijlage 1) zijn er drie use-cases opgesteld die gebaseerd zijn op use-cases van Waterschap Limburg. Zo wordt deze testopstelling relevant voor Waterschap Limburg. Uit deze use-cases zijn drie soorten sensoren geprogrammeerd.

1. Een node met langzaam wijzigende signalen. Deze node verzendt na een vooraf bepaalde vaste tijd een actuele meetwaarde.
2. Een intelligente node die wacht op een bepaalde gebeurtenis en dan pas een meting start. Een voorbeeld van een gebeurtenis kan een temperatuur dat boven een bepaalde waarde heen gaat. Ook kan deze intelligente node bijhouden hoelang deze gebeurtenis aanhoudt en een rapport hiervan maken.
3. Een rapportage node. Deze node maakt een rapport van de waardes die de afgelopen 24 uur zijn opgemeten. Denk hierbij aan de maximum en minimum temperatuur van de dag.

In eerste instantie was ervoor gekozen om een andere soort node te programmeren in plaats van de rapportage node. Deze node zou detecteren welke verdieping een lift staat doormiddel van de luchtdruk en acceleratie. Voor het testen is gebruik gemaakt van de lift in het pand van Croonwolter&dros in Dordrecht. Het idee was om de luchtdruk op te meten wanneer er geaccelereerd wordt, wanneer de lift beweegt dus. Helaas is de accelerometer niet nauwkeurig genoeg configureerbaar. Een andere manier is om de luchtdruk constant te meten. Dan maakt het dus niet uit of de lift beweegt of niet. Deze manier is weer niet efficiënt genoeg. Het constant meten van de luchtdruk vergt veel energie, waardoor de batterij snel opdraait.

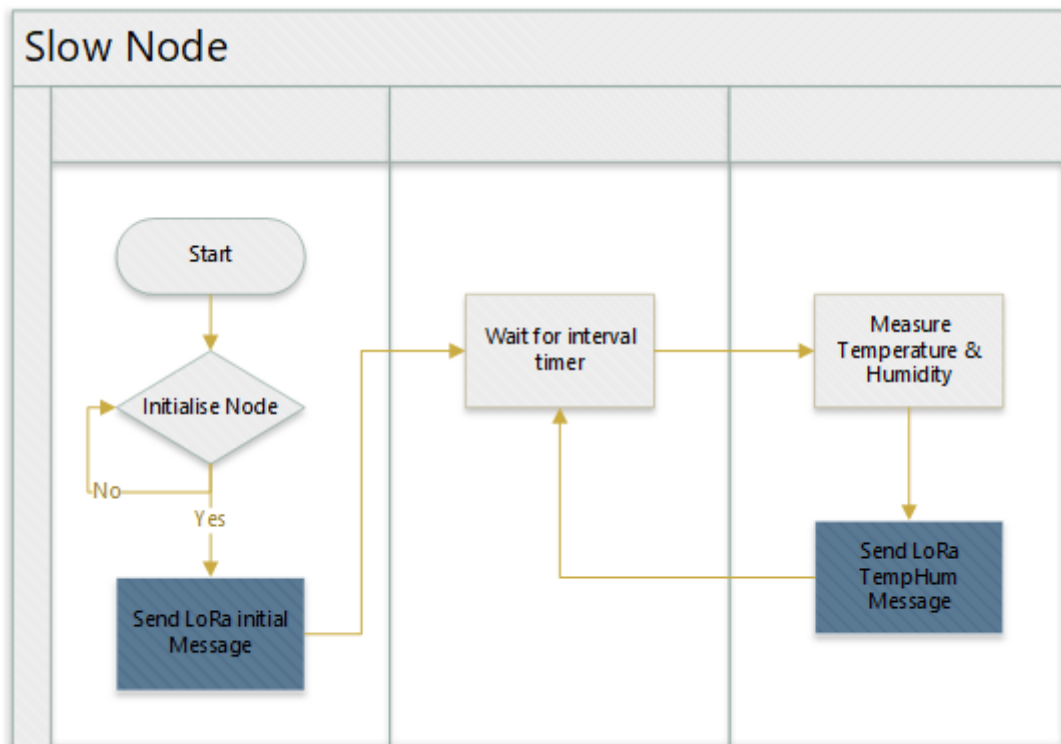
Alle nodes zijn gebaseerd op een basis project. Het basis project bevat een initialisatie functie. Deze functie bepaalt de locatie van de node. Nadat de locatie is bepaald en verstuurd is naar de server wordt de rest van de code uitgevoerd. De berichten die verstuurd worden gebouwd door middel van een zogenaamde bericht bouwer dat gebaseerd is op de bericht bouwer van het voorbeeld project dat aangeleverd is door de ontwikkelaars van de node. Voor dit project zijn er 5 verschillende berichten gemaakt: een initialisatie bericht, een TempHum bericht voor de langzame node, een Triggerstart en Triggerreport bericht voor de intelligente sensor en een rapportage bericht voor de rapportage node. In de volgende hoofdstukken worden de drie verschillende nodes en de bijbehorende berichten verder uitgelegd.

NODE 1: DE LANGZAME-NODE

De locatie van deze node is in het kantoor van Croonwolter&dros in Dordrecht. De langzame node is een simpele node die de kamertemperatuur elk uur meet. Deze interval is alleen te wijzigen via de code. Het configureren van de nodes is niet opgenomen in de scope van dit onderzoek. Na het meten van de temperatuur wordt een bericht gemaakt met de volgende variabelen:

1. MsgID: dit is de identificatie code van het bericht. Met deze code kan de server onderscheid maken tussen de verschillende berichten
2. Temp: De temperatuur op 2 decimalen nauwkeurig
3. Hum: De luchtvochtigheid

In figuur 11 is de werking van de langzame node in een flowchart afgebeeld.



FIGUUR 11: FLOWCHART LANGZAME NODE

NODE 2: DE INTELLIGENTE-NODE

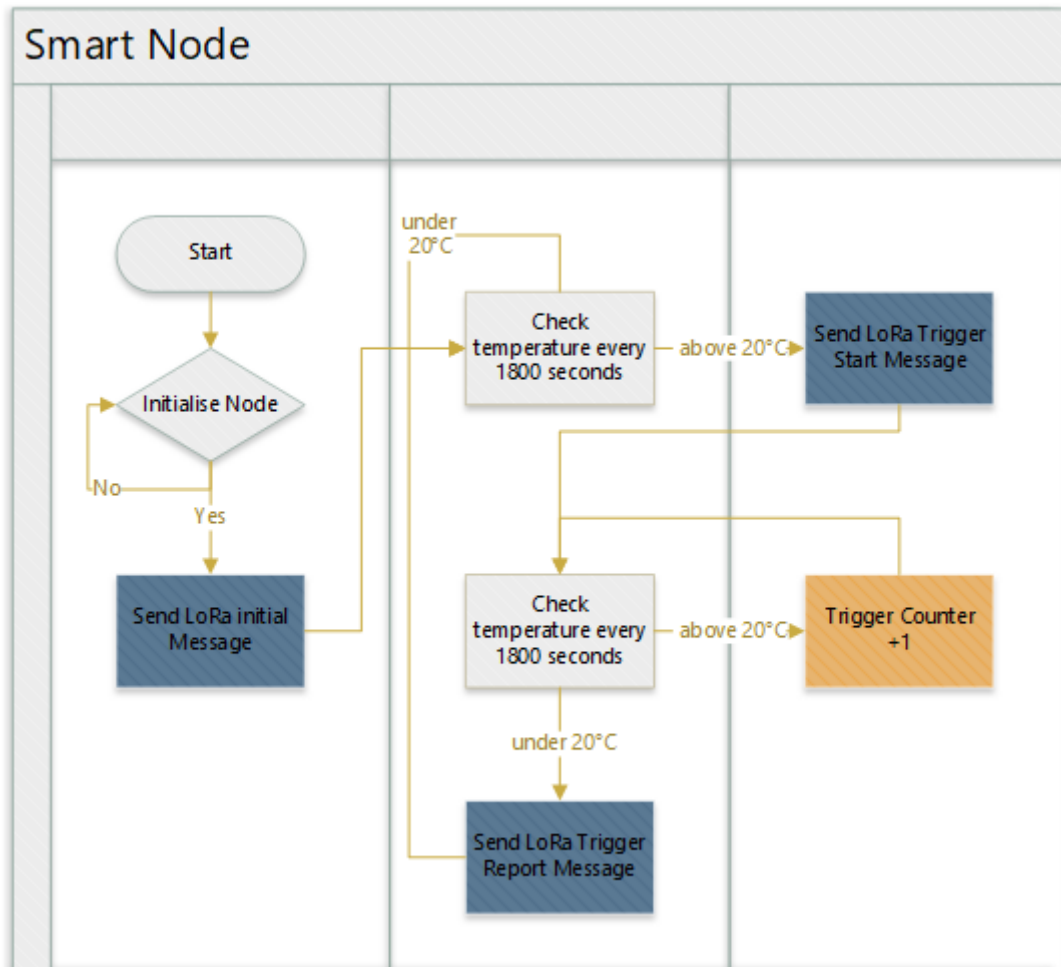
De intelligente node bevindt zich buiten op een balkon. De intelligente node controleert de temperatuur elke 30 minuten. Als de temperatuur boven de 20°C is wordt er een Triggerstart bericht gestuurd naar de server. Volgens de KNMI wordt in de weerkunde een dag met een maximumtemperatuur van 20°C of hoger een warme dag genoemd [12]. Daarom is er gekozen voor een drempelwaarde van 20°C.

De Triggerstart bericht bevat de volgende variabelen:

1. MsgID: dit is de identificatie code van het bericht. Met deze code kan de server onderscheid maken tussen de verschillende berichten
2. Triggersensor: Dit is de sensor waarop gecontroleerd word, in dit geval is dat de temperatuur
3. Triggervalue: Dit is de waarde dat een gebeurtenis veroorzaakt
4. Triggerinterval: Dit is de interval waarde van het meten van de temperatuur

Zolang de temperatuur boven de 20°C is, wordt er elke 30 minuten een teller bijgehouden. Deze teller houdt bij hoeveel intervallen de temperatuur boven de 20°C is gebleven. Als de temperatuur onder 20°C komt wordt er een Triggerreport bericht gemaakt. Een Triggerreport bericht bevat in ieder geval alle variabelen van de Triggerstart bericht. Er komt alleen 1 belangrijke variabele bij: Triggercount. De Triggercount is het aantal 30 minuten dat de temperatuur boven de 20°C is gebleven.

In figuur 12 is de werking van de intelligente node in een flowchart afgebeeld.



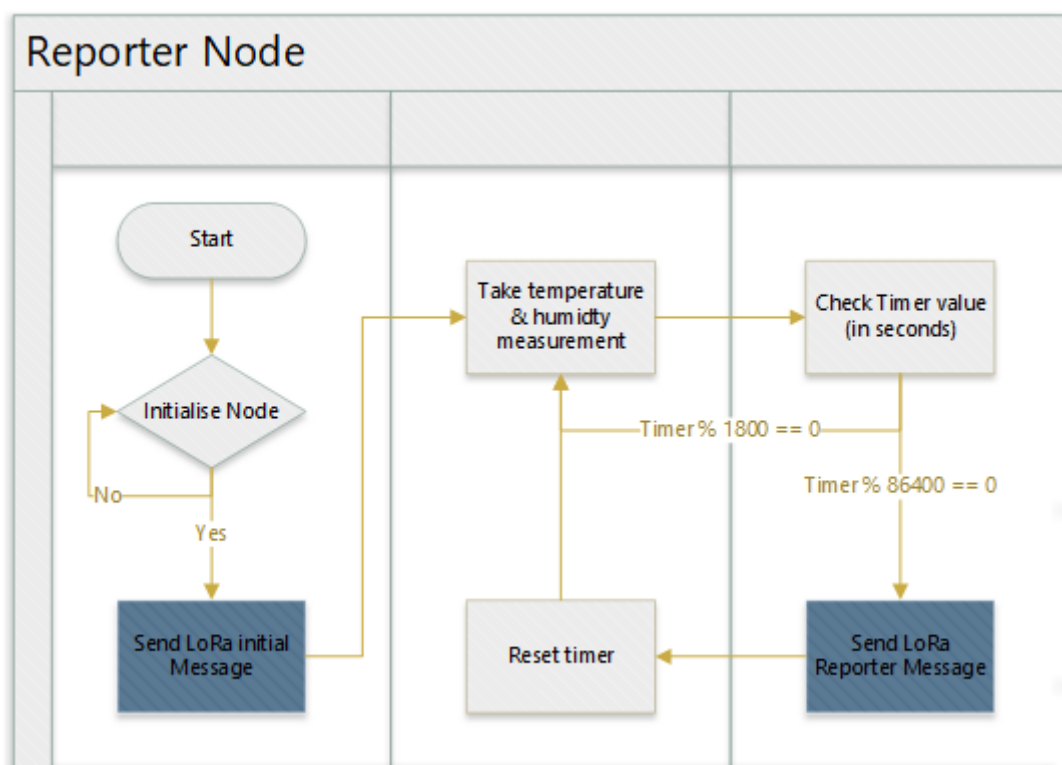
FIGUUR 12: FLOWCHART INTELLIGENTE NODE

NODE 3: DE RAPPORTAGE-NODE

De rapportage node bevindt zich op het zelfde balkon als de intelligente node. De rapportage node maakt een rapportage van de maximum temperatuur, minimum temperatuur, maximum luchtvochtigheid en de minimum luchtvochtigheid van de afgelopen 24 uur. De rapportage bericht heeft de volgende variabelen:

1. MsgID: dit is de identificatie code van het bericht. Met deze code kan de server onderscheid maken tussen de verschillende berichten
2. MaxTemp: De maximum temperatuur
3. MinTemp: De minimum temperatuur
4. MaxHum: De maximum luchtvochtigheid
5. MinHum: De minimum luchtvochtigheid

In figuur 13 is de werking van de rapportage node in een flowchart afgebeeld.



FIGUUR 13: FLOWCHART RAPPORTAGE NODE

VERSTUREN VAN BERICHTEN

De berichten worden in de node omgezet naar hexadecimale waarden en worden in een array van 16 bytes gezet. Deze array wordt na het omzetten naar een string gestuurd naar de netwerk server. Voordat de netwerk server deze data kan ontvangen moeten de nodes eerst aangemeld worden op het netwerk. Dit kan op twee manieren: Activation-By-Personalisation(ABP) en Over-The-Air-Activation(OTAA). Elke node krijgt een aantal sleutels om te kunnen aanmelden op een netwerk server:

1. DevEUI: Unieke identificatie code van de node
2. AppEUI: Unieke identificatie code van de applicatie
3. APPKey: Applicatie sleutel
4. APPSKey: Sessie sleutel
5. NwkSKey: Netwerk sessie sleutel
6. DevADDR: Node adres binnen het netwerk

ABP maakt gebruik van de DevADDR, APPSKey en NwkSKey. OTAA maakt gebruik van de DevEUI, APPKey en AppEUI. In het volgende hoofdstuk wordt verder uitgelegd hoe een node wordt aangemeld. De langzame node is aangemeld met ABP en de andere twee nodes zijn aangemeld met OTAA. ABP is niet gepast voor oplossingen met meerdere nodes en is gelimiteerd in beveiliging. Dit komt doordat de sleutels altijd statisch zijn. Voor testdoeleinden is er toch een node aangemeld met ABP.

5.2 NETWORK SERVER

5.2.1. KPN LoRA NETWORK

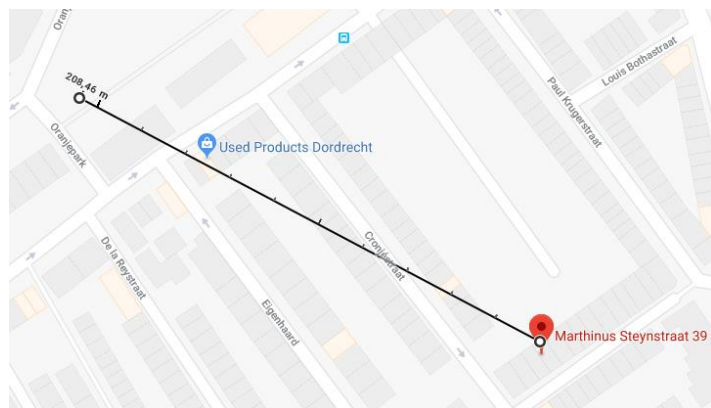
De volgende stap in de testopstelling is de netwerk server. Nodes sturen de berichten met sensordata via de gateways van KPN naar de netwerk server. Voordat er gebruik gemaakt kan worden van de KPN LoRa netwerk moet er een abonnement aangeschaft worden. Uit eerdere samenwerking is er een overzicht gevonden voor de kosten van het gebruik van de server. Op basis van deze lijst is er contact opgenomen met KPN via het KPN LoRa forum. Uit een interview met Tim (zie bijlage 2) is gebleken dat voor de schaal van dit project beter gebruik gemaakt kan worden van een prepaid account bij een leverancier van KPN: SimPoint. Bij het aanschaffen van een abonnement krijgt de gebruiker een Thingpark account. Ook kan er gebruik gemaakt worden van de KPN LoRa ontwikkelaars portaal. De ontwikkelaars portaal biedt gratis toegang tot het KPN LoRa netwerk op een aantal voorwaarden:

1. De NwkSKey en AppSKey wordt gegenereerd door KPN
2. Het portaal mag alleen gebruikt worden voor test doeleinden, commercieel gebruik is niet toegestaan
3. Het gebruik is gelimiteerd; accounts worden na 6 maanden gesloten
4. Het aantal berichten dat verstuurd mag worden is beperkt tot 6 per dag

Uiteindelijk is gekozen om gebruik te maken van de ontwikkelaarsportaal als start van dit project. Er wordt voldaan aan de voorwaarden en heeft geen invloed op de werking van de testopstelling. Er hoeft ook niet nagedacht worden over de ontcijfering van de data. Dit wordt automatisch gedaan door de ontwikkelaars portaal.

5.2.2. GEOLOCATION

Gateways worden ook gebruikt om GeoLocation mogelijk te maken. GeoLocation wordt gebruikt om de locatie van de node te bepalen door middel van triangulatie. Berichten worden naar meerdere gateways verstuurd, zoals in het theoretische kader is verteld. Elke gateway ontvangt het bericht op verschillende tijden, deze verschillen zijn op de nanoseconde schaal. De KPN netwerk server kan vanuit deze tijdsverschillen berekenen



FIGUUR 14: AFWIJKING GEOLOCATION

wat locatie is van de node die het bericht heeft verstuurd. Deze techniek is gebaseerd op de tijd dat nodig is voor het versturen van een bericht. Hierdoor is de nauwkeurigheid van de locatie erg

afhankelijk van omgevingsfactoren. De nodes die in dit project gebruikt zijn hebben een nauwkeurigheid van 200 meter (zie figuur 14) gegeven. Natuurlijk heeft dit grotendeels te maken met de omgevingsfactoren waarin de nodes zich bevinden.

5.2.3. DEKKING KPN LoRa

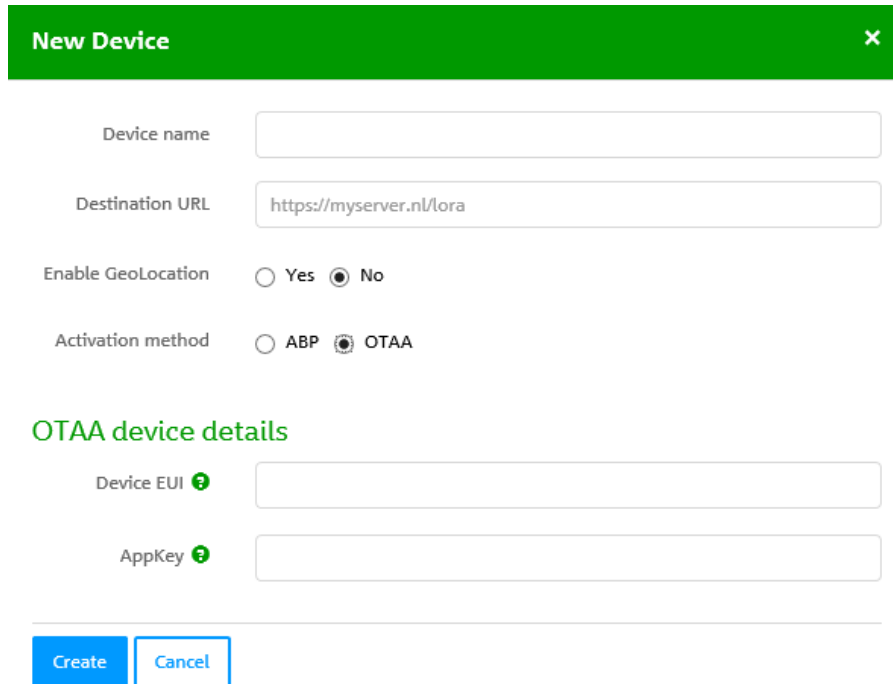
Op de KPN website is een kaart met de LoRa-dekking te vinden (zie figuur 15) [13]. Helaas is deze LoRa-dekking gebaseerd op een theoretisch model en kan dus afwijken van de realiteit. KPN claimt hard te werken aan de verdichting van het LoRa-netwerk.



FIGUUR 15: LORA DEKKING KPN

5.2.4. GEBRUIK DEVELOPERS PORTAL

De eerste stap na het registreren en aanmelden voor het KPN ontwikkelaars portaal is het toevoegen van een node aan het netwerk. Nieuwe nodes moeten handmatig aangemeld worden door middel van een formulier(zie figuur 16). Hierbij wordt onder andere gevraagd naar een naam voor de node en het webadres van de applicatieserver. Ook kan er gekozen worden om GeoLocation te gebruiken. Verder kan er aangegeven worden op welke manier de node aangemeld moet worden op het netwerk. Als er wordt gekozen voor OTAA moet ook de Device EUI en de AppKey meegegeven worden.



FIGUUR 16: NIEUWE NODE TOEVOEGEN KPN DEVELOPER PORTAL

Na het toevoegen van nodes is op het beginscherm een lijst te zien met de toegevoegde nodes(zie figuur 16). Hier staat de informatie die is ingevoerd bij het aanmaken van de node. Ook is de status van de node te zien doormiddel van een groen vinkje of een rode kruis. Als de data die verstuurd is door de node succesvol doorgestuurd is naar de applicatie server is de status een groen vinkje. Als het bericht niet verstuurd is, dan komt er een rode kruis te staan. In veel gevallen betekent dit dat de applicatie server onbereikbaar is of geen antwoord geeft.

#	Name	Device EUI	Destination	Count unreachable	GeoLocation	Status
1 to 3 of 3						
1	ED1608 S...	0059AC0000180953	https://www.esatkaraer.nl/api/	0	No	✖ Edit
2	ED1608 S...	0059AC0000151A9C	https://www.esatkaraer.nl/api/	0	No	✓ Edit
3	ED1608...	0059AC0000151BE1	https://www.esatkaraer.nl/api/	0	No	✓ Edit

FIGUUR 17: KPN ONTWIKKELAARS PORTAAL NODE OVERZICHT

5.3 APPLICATIE SERVER

De berichten, ook wel uplinks genoemd, die binnenkomen bij de netwerk server van KPN worden doorgestuurd naar een vooraf doorgegeven applicatie server van de gebruiker. De applicatie server moet aan een aantal voorwaarden voldoen voordat het gebruikt mag worden.

1. De server moet een geldig SSL certificaat hebben
2. De server moet HTTPS POST berichten kunnen ontvangen, verzenden en verwerken
3. De server moet SHA-256 HEX handtekeningen kunnen controleren en genereren

De laatste twee eisen zijn alleen geldig als er gebruik gemaakt wordt van KPN Thingpark. Bij de ontwikkelaars portal is een geldig SSL certificaat en HTTPS POST ontvangen en verwerken genoeg.

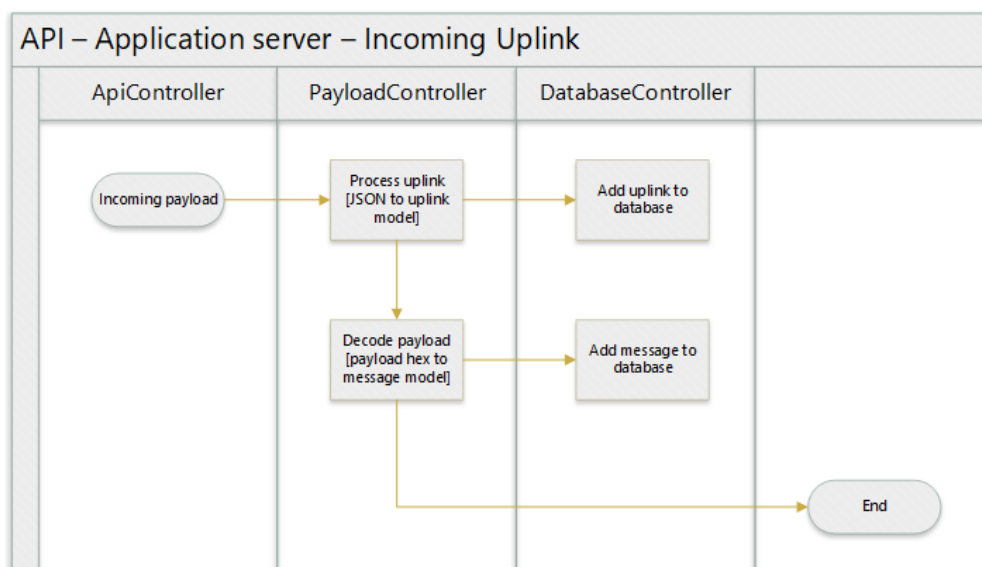
Voor de server is gekozen voor een ASP.NET Core applicatie. De ASP.NET Core applicatie kan op elke besturingssysteem gedraaid worden en is geschreven in C#. Een doelstelling van dit onderzoek was om de ervaring en kennis binnen het bedrijf te houden. Croonwolter&dros gebruikt voor andere informatisering projecten ook C#. Dit sluit dus goed aan bij de applicatie server die voor de testopstelling wordt gebruikt.

De applicatie server kan verdeeld worden in een aantal onderdelen:

1. De API: hier komen de uplinks vanuit de netwerk server binnen als JSON
2. De website: hier is de sensordata visueel te zien
3. De database: alle uplinks worden onverwerkt en verwerkt opgeslagen in de database. Verwerkte uplinks worden in de code 'Messages' genoemd en bevatten alleen de sensordata
4. OPC-UA server: Dit is een server voor industriële toepassingen. Een OPC-UA client zoals een SCADA systeem kan hiermee verbinden voor data.

5.3.1. API

De API kan alleen maar HTTPS POST berichten ontvangen. De berichten worden omgezet naar een Uplink object. Dit object wordt opgeslagen in de database. De uplink bevat ook een veld waarin het bericht dat in de node gegeneerd is in zit. Dit bericht wordt eerst omgezet naar een Message object. Daarna wordt ook dit object opgeslagen in de database. In figuur 18 is een flowchart afgebeeld van de API.



FIGUUR 18: FLOWCHART API

5.3.2. WEBSITE & TESTDATA

De website is volgens de project afbakening in hoofdstuk 5 geen must have. Toch zijn er een aantal pagina's gemaakt om de sensor data te kunnen visualiseren. De startpagina van de website bevat een aanklikbaar overzicht met alle nodes in de database. Bij het klikken van een node wordt er de specifieke detail pagina geopend.

DevEUI	Company	Description	Node Type
0059AC0000180953	Croonwolter&dros	Slow Node - Croonwolter&dros office temperature node. This node will send a message every hour.	Slow
0059AC0000151A9C	Croonwolter&dros	Smart Node - Esat Home balcony temperature node. This node is waiting for a trigger, in this case a temperature above 20, and will send a message when this trigger occurs. When the temperature goes below 20, it will sent another message with the time it has been above 20.	Smart
0059AC0000151BE1	Croonwolter&dros	Report Node - Esat Home Balcony Report node. This node sends a daily report message with the max temp, min temp, max hum and min hum. Barometric values are not included yet.	Reporter

FIGUUR 19: OVERZICHT NODES OP DE WEBSITE

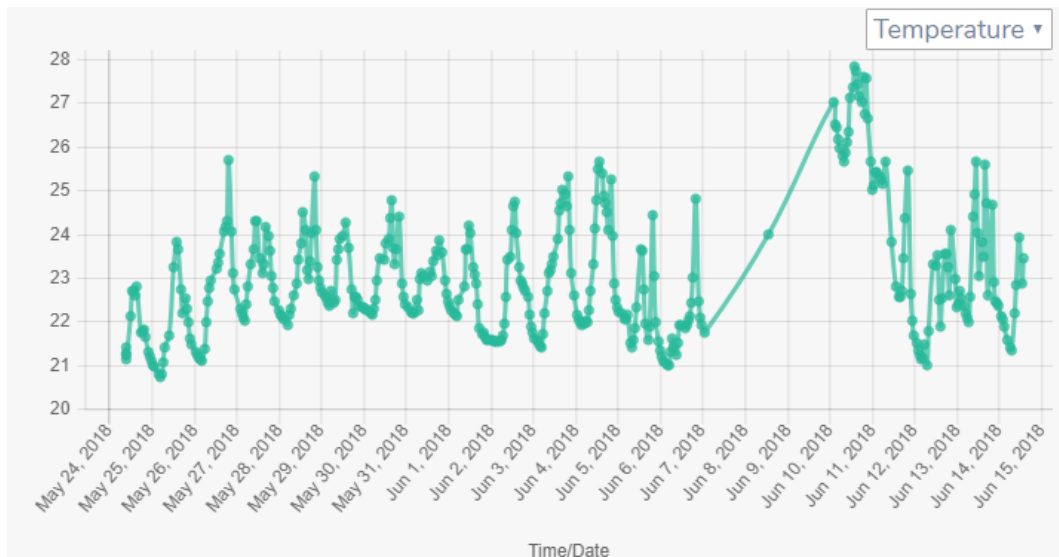
Op de detail pagina staat er meer informatie over de node en kan ook de berichten die vanuit deze nodes zijn verstuurd te zien. In de linker kolom staat algemene informatie over deze node(zie figuur20). De rechter kolom is dynamisch en past zich aan op de type node. In het overzicht in figuur 19 is te zien dat elke node een type heeft.

0059AC0000180953		
Device EUI:	0059AC0000180953	ABP Network ID:
Description:	Slow Node - Croonwolter&dros office temperature node. This node will send a message every hour.	ABP Network Key:
		ABP App Key:
		OTA App EUI:
Company:	Croonwolter&dros	OTA App Key:
Device type:	Slow	Sigfox Network ID:
Active:	True	ABP PAC Code:
Last seen:		
Active keys:	sfx, ota, ABP(auto)	
ABP Device Address		

FIGUUR 20: ALGEMENE INFORMATIE NODE

LANGZAME NODE

Voor de langzame node is er gebruik gemaakt van een grafiek voor de data visualisatie(zie figuur 21). Hiervoor is de bibliotheek ChartJS gebruikt. ChartJS is een opensource javascript bibliotheek en maakt het gemakkelijk om data in een grafiek te verwerken. In deze grafiek is de temperatuur te zien op de y-as in Celsius graden tegenover de tijd in dagen. Door middel van het selectie vakje rechtsboven in figuur 21 kan er gekozen worden tussen temperatuur en luchtvochtigheid.



FIGUUR 21: GRAFIEK TEST DATA LANGZAME NODE

INTELLIGENTE NODE

Voor de intelligente node is er een simpele lijst gemaakt van de berichten die binnenkomen(zie figuur 22). De kolommen van links naar rechts zijn: datum en tijd, type bericht, gebruikte sensor, drempel waarde, tijd interval tussen metingen in seconde en tenslotte het aantal intervallen dat de waarde van de sensor boven de drempel waarde was. Als voorbeeld wordt de data in het rode vierkant in figuur 22 gebruikt. Op maandag 11 juni om 11:41:55 is een temperatuur boven de 20°C gemeten. Op dezelfde dag om 22:42:54 is de temperatuur weer onder de 20°C gedaald. Op deze dag was de temperatuur dus $1800 * 22 = 39600$ seconden boven de 20°C, oftewel 11 uur lang. Wat ook te herleiden is uit de tijden van de berichten. Om 11:41:55 ging de temperatuur boven de 20°C en om 22:42:54 weer eronder.

Mon 11 Jun 2018 22:42:54	TriggerReportMsg	Temperature	20	1800	22
Mon 11 Jun 2018 11:41:55	TriggerStartMsg	Temperature	20	1800	0
Sun 10 Jun 2018 22:40:45	TriggerReportMsg	Temperature	20	1800	27
Sun 10 Jun 2018 09:09:32	TriggerStartMsg	Temperature	20	1800	0
Sun 10 Jun 2018 00:38:46	TriggerReportMsg	Temperature	20	1800	31
Sat 09 Jun 2018 09:07:23	TriggerStartMsg	Temperature	20	1800	0
Fri 08 Jun 2018 23:36:32	TriggerReportMsg	Temperature	20	1800	26
Fri 08 Jun 2018 05:34:55	TriggerStartMsg	Temperature	20	1800	0
Fri 08 Jun 2018 05:04:52	TriggerReportMsg	Temperature	20	1800	44

FIGUUR 22: TEST DATA INTELLIGENTE NODE

RAPPORTAGE NODE

Tenslotte is er voor de rapportage node ook een simpele lijst gemaakt met data(zie figuur 23). De kolommen zijn van links naar rechts de datum, maximum temperatuur, minimum temperatuur, maximum luchtvochtigheid, minimum luchtvochtigheid.

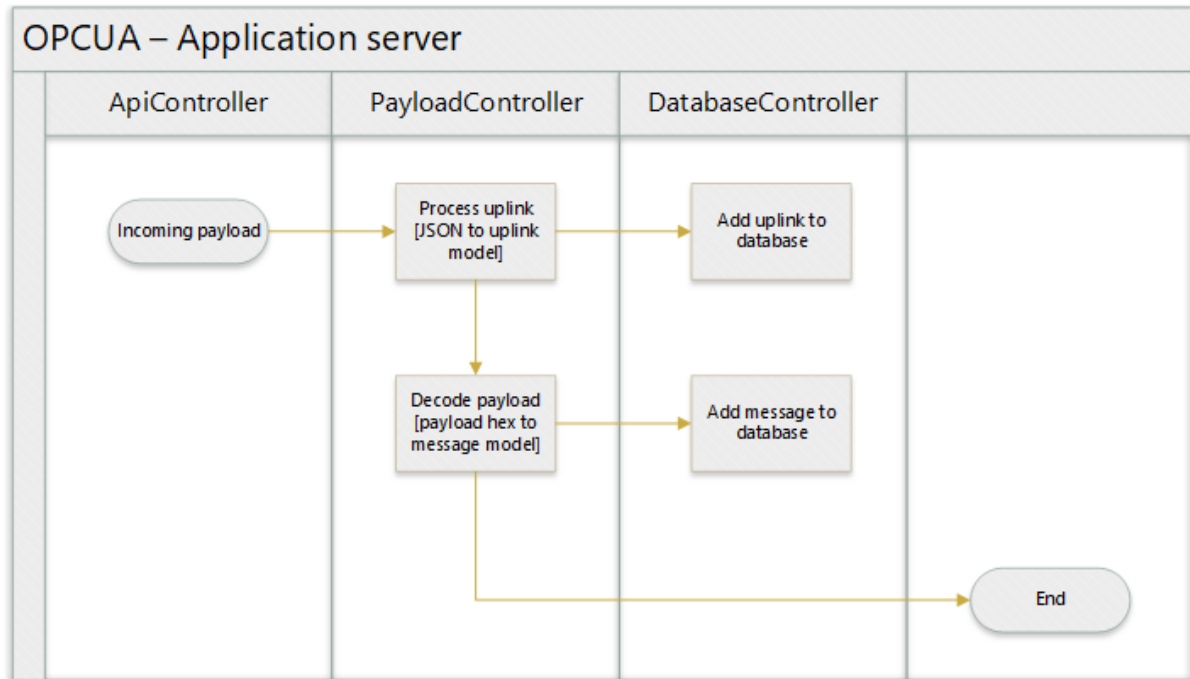
13 Wed Jun 2018	20.75	14.75	72.75	63.25
12 Tue Jun 2018	25.25	16.25	72.75	61.25
11 Mon Jun 2018	26.75	15.75	73.25	60.75
10 Sun Jun 2018	27.25	17.75	76.25	63.25
09 Sat Jun 2018	27.75	18.75	76.75	63.25
08 Fri Jun 2018	30.25	19.25	75.75	59.75
06 Wed Jun 2018	29.75	14.25	76.25	61.75
05 Tue Jun 2018	24.75	16.75	76.25	66.75
04 Mon Jun 2018	27.25	16.75	78.75	64.75
03 Sun Jun 2018	28.75	15.75	80.75	64.25
02 Sat Jun 2018	20.25	15.75	82.25	74.75
01 Fri Jun 2018	27.25	18.25	76.75	65.75
31 Thu May 2018	29.25	19.75	78.75	62.25

FIGUUR 23: TEST DATA RAPPORTAGE NODE

5.3.3. OPC-UA Server

De OPC-UA server is een vrij nieuwe protocol. Op GitHub is een lijst te vinden met verschillende OPC-UA bibliotheken in verschillende programmeertalen [14]. Om de kwaliteit van de server te waarborgen is er gekozen voor een originele bibliotheken van de uitvinders van OPC-UA; de OPC Foundation. Deze bibliotheken zijn openbaar en helemaal vrij voor aanpassingen. Er is weinig documentatie is over de werking van de bibliotheek beschikbaar [15]. Het enige wat te vinden is aan documentatie zijn een aantal handleidingen hoe de voorbeeldprojecten opgestart kunnen worden. Daarom is er voor gekozen om een basis voorbeeld project te gebruiken. Het basis project is zoveel mogelijk ongewijzigd gehouden. Wijzingen aan bepaalde functionaliteiten, zonder te weten wat ze doen, kan ervoor zorgen dat de server niet meer werkt.

Als basis project voor de OPC-UA server is er op aanraden van een bijdrager aan de OPC-UA bibliotheken op GitHub voor gekozen om de 'Reference' server te gebruiken [16]. In dit project is de klasse 'ReferenceNodeManager' het belangrijkste. Hierin zit de 'CreateAddressSpace' functie waarin de objecten voor de OPC-UA server aangemaakt. Objecten kunnen variabelen bevatten van bepaalde sensoren of actuators. De 'ReferenceNodeManager' is overgenomen en veranderd naar de 'NodeManager'. Deze klasse is op een paar functies na hetzelfde als de 'ReferenceNodeManager'. In figuur 24 is een flowchart afgebeeld van de OPC UA server.



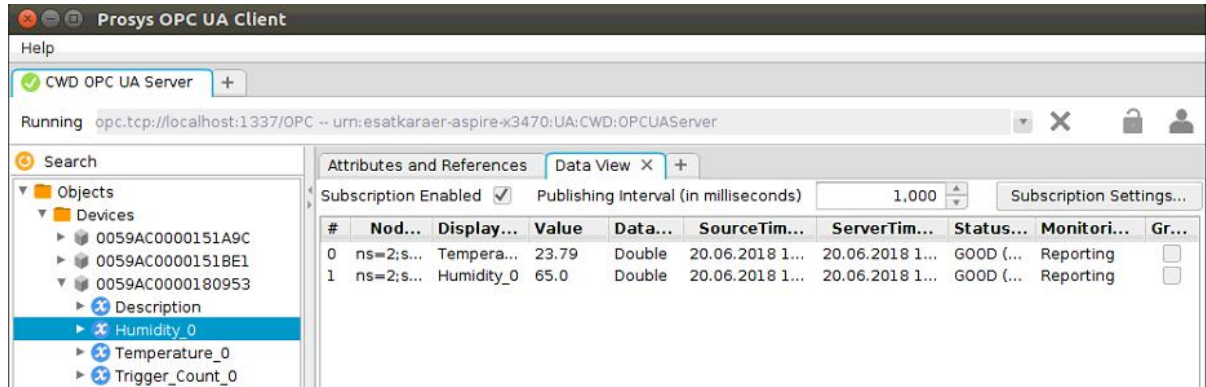
FIGUUR 24: FLOWCHART OPCUA SERVER

De OPC-UA server is verbonden met de MSSQL database. Er worden objecten gemaakt voor elke node in de database. De bijhorende sensordata wordt toegevoegd aan de node. Deze data kan met een OPC-UA client opgevraagd worden. Ook is er een MSSQL database luisteraar gemaakt. Deze luisteraar controleert of er nieuwe sensor data is toegevoegd of aan de database. Op het moment dat er nieuwe data binnenkomt worden de waardes van de OPC server ook ververs.

Zoals in het theoretisch kader wordt omschreven implementeert een OPC-UA server alle voorgaande OPC protocollen(zie 2.3 Open Platform Communications (OPC)). De nodes van de testopstelling kunnen gebruikt worden voor drie van deze protocollen: OPC-DA voor de langzame node, OPC-AE voor de intelligente node en OPC-HDA voor de rapportage node. Voor dit project wordt er alleen maar OPC-DA (zie OPC Data Access) gebruikt, omdat de koppeling van OPC-UA in het algemeen wordt onderzocht. Het onderzoeken en testen van verschillende soorten koppelingen en hoe dit wordt gedaan is niet binnen de scope van dit project.

TESTEN

Voor het testen van de OPC-UA server is gebruik gemaakt van een gratis OPC-UA client van Prosys [17]. De client is verbonden met de OPC-UA server van de testopstelling. In figuur 25 is de OPC-UA client met daarin de aangemaakte objecten te zien. Variabelen van de objecten kunnen naar de 'Data View' gesleept worden voor visualisatie van de test data.

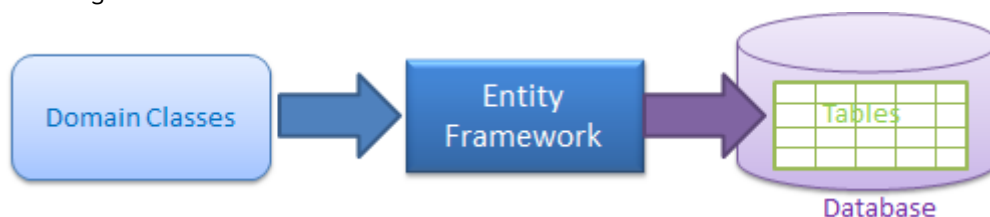


FIGUUR 25: PROSYS OPC UA TEST CLIENT

5.3.4. DATABASE

In eerste instantie werd er voor de database MySQL gebruikt. Na het implementeren van de OPC-UA server is gebleken dat een database luisteraar voor C# alleen mogelijk is met MSSQL. Ook is er gekeken naar NoSQL databases. NoSQL databases worden vaak gebruikt voor Big Data applicaties en IoT. Helaas biedt MongoDB ook geen database luisteraar mogelijkheden. Microsoft heeft een officiële "SQLDependencyClass" die de mogelijkheid biedt om een database te controleren op wijzigingen.

De database is genereerd door Entity Framework van ASP.NET. De Entity Framework kan door middel van C# modellen database tabellen genereren. Dit wordt ook wel de Code First manier genoemd. Zoals de naam suggereert wordt er vanuit code een database gegenereerd. In figuur 26 is dit proces schematisch afgebeeld.



FIGUUR 26: CODE-FIRST ENTITY FRAMEWORK

5.4 ACCEPTATIETEST

De testen worden uitgevoerd op basis van een acceptatie test. De acceptatie test is te vinden in bijlage 5.

6 CONCLUSIE

Uit dit onderzoek is te concluderen dat er voor een relevante testopstelling voor Waterschap Limburg met behulp van KPN LoRaWAN een programmeerbare node nodig. De node moet een goede uitrusting aan sensoren hebben en LoRa berichten kunnen sturen. De ED1608-Full node voldoet aan deze eisen. De relevantie van de testopstelling wordt bepaald door de use-cases van de nodes. Dankzij programmeerbare nodes kan een testopstelling relevant worden gemaakt voor meerdere klanten van Croonwolter&dros. Er moet ook een applicatie server worden geïmplementeerd. De applicatie server moet voldoen aan de eisen die KPN stelt voor een applicatie server. De koppeling met een industriële protocol als OPC-UA speelt ook een grote rol bij de relevantie van de testopstelling, omdat klanten van Croonwolter&dros vooral bestaat uit bedrijven in de industriële sector.

6.1 WAT IS 'RELEVANT' VOOR WATERSCHAP LIMBURG?

De relevantie van de testopstelling wordt bepaald door de use-cases van de nodes. Door de programmeerbaarheid van de nodes kan een testopstelling relevant worden gemaakt voor elke kant van Croonwolter&dros. Het gebruik van een industriële protocol als OPC-UA speelt ook grote rol bij deze relevantie. De klanten van Croonwolter&dros zijn vooral bedrijven uit de industriële wereld.

6.2 WAT IS DE SYSTEEMARCHITECTUUR VAN DE TESTOPSTELLING?

De systeemarchitectuur bestaat uit de ED1608 nodes die data sturen naar de KPN LoRa netwerk server. Deze data wordt weer doorgestuurd naar de applicatie server. In de applicatie server wordt de data gevisualiseerd op een webpagina. De data wordt ook opgenomen in de OPC-UA server. De node is gekozen op bepaalde eisen van de opdrachtgever. De LoRa netwerk server is een niet-commerciële ontwikkelaars portaal met beperkingen die geen invloed hebben op het onderzoek. De applicatie server is opgezet in C# ASP.NET met de medewerkers van Croonwolter&dros in gedachte. De OPC-UA server is ook in C# geschreven.

6.3 WAT IS DE DEKKING VAN KPN IN DE WERKGEBIEDEN VAN WATERSCHAP LIMBURG?

De werkgebieden van Waterschap Limburg zijn op basis van de dekkingkaart van KPN gedekt en erg goed. Helaas is dit wel de theoretische dekking en kan dus afwijken van de realiteit. KPN geeft tevens wel aan niet gedekte locaties zo snel mogelijk te dekken als dit wordt aangegeven.

6.4 HOE KAN IK EEN COMPLEXE METING OMZETTING NAAR EEN GEBEURTENIS?

Bij de intelligente node wordt een simpele temperatuur controle omgezet naar een gebeurtenis. Wanneer de temperatuur boven een bepaalde niveau stijgt, is dit een gebeurtenis. Hoelang dit het geval wordt ondertussen ook bijgehouden. Nadat de temperatuur weer onder dit niveau daalt, wordt er een rapportage gemaakt van deze data.

7 OBSTAKELS

Zoals elk project heeft dit project ook wat obstakels ondervonden tijdens de uitvoering. In dit hoofdstuk worden deze obstakels omschreven.

De ED1608 heeft geen real-time clock(RTC). Dit betekent dat er geen accurate timing is bij de metingen. Hierdoor ontstaan er dus ook onnauwkeurige meetmomenten in de data. De rapportage node stuurt elke 24 uur een bericht. Dit wordt bij de ED1608 gedaan door middel van een teller die elke seconde wordt opgehoogd. Wanneer de teller 86400(aantal seconde in een dag) is wordt er een bericht gestuurd. In figuur 27 zijn een aantal rapportage berichten te zien. Het eerste bericht wordt op 12 juni om 16:12 verstuurd. De volgende dag wordt er om 16:14 een bericht gestuurd. Dat is een afwijking van 2 minuten per dag, soms zelfs 3 minuten.

6/17/2018, 4:23 PM	SF12	↑	UplinkFrameRe...	04d7e6334c06060000000000...
6/16/2018, 4:21 PM	SF12	↑	UplinkFrameRe...	04dae9304906060000000000...
6/15/2018, 4:19 PM	SF12	↑	UplinkFrameRe...	04d8ea335306060000000000...
6/14/2018, 4:16 PM	SF12	↑	UplinkFrameRe...	04d5e2334606060000000000...
6/13/2018, 4:14 PM	SF12	↑	UplinkFrameRe...	04d5e1364906060000000000...
6/12/2018, 4:12 PM	SF12	↑	UplinkFrameRe...	04d8ea324906060000000000...

FIGUUR 27: BERICHTEN RAPPORTAGE NODE

De ED1608 node heeft helaas geen volledige documentatie. De bibliotheken van de node zijn ook afgeschermd. Dit maakt het moeilijk om de werking van de code helemaal te begrijpen. De ontwikkelaars van de node zijn via een forum en e-mail bereikbaar voor vragen.

Het regelen van de applicatieserver bij Croonwolter&dros heeft langer geduurd dan verwacht. Dit is opgelost door een eigen server op te zetten en hiermee te testen.

De OPC-UA server van de OPC Foundation heeft geen documentatie op internet. Het verschil met de node is dat de OPC Foundation wel open-source projecten heeft. Vragen kunnen via GitHub gesteld worden.

8 AANBEVELINGEN

Ten eerste beveel ik te gaan testen met externe sensoren zodat er getest kan worden in het veld, bij voorkeur in de werkgebieden van Waterschap Limburg. Zo kan de dekking in de werkgebieden ook getest worden. Verder moet er ook getest worden met een betaalde KPN LoRa abonnement. Het ontwikkelaars portaal ontvangt niet alle berichten die worden gestuurd. Dit komt door de beperkingen van het portaal, die overigens wel duidelijk en bekend zijn. Er is ook nog niet getest met downlinks. Doormiddel van downlinks kunnen de nodes op afstand geconfigureerd worden. Zo kan de interval tijd tussen twee metingen veranderd worden, maar ook de drempelwaarde van de intelligente node.

Op dit moment heb ik een algemene applicatie server opgezet. Als een node wordt geprogrammeerd voor andere use-cases kan de applicatie server nog steeds data ontvangen en verwerken, zonder dat het crasht. Op dit moment kan de applicatie server alleen data van een aantal sensoren verwerken. Voor specifieke toepassingen moet er een specifieke applicatie server gerealiseerd worden, zodat alle sensoren of de sensoren die nodig zijn geïmplementeerd worden.

Tenslotte moet de OPC-UA opgezet worden zodat het direct kan samenwerken met systemen van Croonwolter&dros. Voor de scope van dit project is alleen de koppeling gemaakt met LoRa nodes en is er niet gefocust op het ontwerp van de server.

9 BIBLIOGRAFIE

- [1] TBI Holdings B.V., Jaarverslag 2016, Rotterdam, 2016.
- [2] Croonwolver&dros, „Afstudeerstage TAI,” [Online]. Available: <https://werkenbijcroonwolverendros.nl/vacatures/afstudeerstage-tai-a0t58000004dypqaau/>.
- [3] MDB, „Waarom MDB?,” [Online]. Available: <https://www.mdb.nl/over-ons/waarom-mdb>. [Geopend 22 maart 2018].
- [4] N. Blenn en F. Kuipers, „LoRaWAN in the Wild: Measurements from The Things Network,” Delft University of Technology, Delft, 2017.
- [5] LoRa Alliance, Inc., „LoRaWAN™ 1.1 Specification,” Beaverton, 2017.
- [6] Semtech Corporation, „AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics,” Semtech Corporation, 2015.
- [7] J. Petäjäjärvi, K. Mikhaylow, M. Pettissalo, J. Janhunen en J. Linatti, „Performance of a low-power wide-area network based on LoRa technology: Doppler robustness, scalability, and coverage,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 13, nr. 3, 2017.
- [8] N. K. Verma, T. Sharma, S. Maurya, D. J. Singh en A. Salour, „Real-time monitoring of Machines using Open Platform Communication,” *IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM)*, pp. 124-129, 2017.
- [9] OPC Foundation, „OPC Classic,” OPC Foundation, [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-classic/>. [Geopend 3 april 2018].
- [10] W. Mahnke, S.-H. Leitner en M. Damm, *OPC Unified Architecture*, Berlin: Springer, 2009.
- [11] H. van Vliet, „Agile methods,” in *Software Engineering: Principles and Practice*, Wiley, 207, p. 59.
- [12] KNMI, „Uitleg over warme dagen,” KNMI, [Online]. Available: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/warme-dagen>. [Geopend 2018 juni 13].
- [13] KPN, „Connectiviteit via het LoRa-netwerk,” [Online]. Available: <https://www.kpn.com/zakelijk/grootzakelijk/internet-of-things/lora-netwerk.htm>. [Geopend 2018 maart 15].
- [14] GitHub, „List of Open Source OPC UA Implementations,” [Online]. Available: <https://github.com/open62541/open62541/wiki/List-of-Open-Source-OPC-UA-Implementations>. [Geopend 2018 april 25].
- [15] OPCFoundation, „Official OPC UA .Net Standard Stack and Samples from the OPC Foundation,” GitHub, [Online]. Available: <https://github.com/OPCFoundation/UA-.NETStandard>. [Geopend 2018 april 25].
- [16] M. K47S, „Base Server #443,” GitHub, [Online]. Available: <https://github.com/OPCFoundation/UA-.NETStandard/issues/443>. [Geopend 2018 mei 10].
- [17] Prosys, „OPC UA Client,” Prosys, [Online]. Available: <https://www.prosysopc.com/products/opc-ua-client/>. [Geopend 2018 mei 25].

10 BIJLAGE 1: INTERVIEW PETER WITHAGEN

Geïnterviewde: Peter Withagen

Interviewer: Esat Karaer

Locatie: Bunsenstraat 125, Croonwolver&dros B.V.

1. Welke functionaliteiten moet de node minimaal aan voldoen?

De sensor moet ten eerste programmeerbaar zijn. Om een 'smart' node te maken. Verder willen we gebruik maken van KPN LoRa, dus de node moet compatibel zijn met LoRa. De wens is om LoRa sensoren te kunnen koppelen aan een SCADA systeem op vergelijkbare wijze als via een PLC. Hiervoor dient OPC-UA gebruikt te worden. Er zijn 3 varianten beschikbaar:

- Direct Access (DA): bruikbaar voor langzaam wijzigende signalen. Periodiek wordt een actuele meetwaarde verstuurd
- Alarm/Event (AE): intelligente sensor die een functioneel bericht verstuurt in geval van alarm of event
- Historie (HDA): rapportje van afgelopen 24 uur

2. Wat houdt een intelligente sensor precies in?

Een intelligente sensor bepaalt zelf wanneer er metingen worden gedaan. Een voorbeeld van een Waterschap Limburg use-case is een overstromende put. De node moet kunnen detecteren wanneer een put overstroomt en beginnen met het meten van de hoeveelheid water dat overstort. Bij het einde van de overstort moet de node uitrekenen hoeveel er is overgestort en een hier een bericht van maken en opsturen naar een server.

3. Kan ik een raspberry pi gebruiken voor OPC UA?

Jouw opdracht is om een OPC UA Server te maken. Dit zou je moeten kunnen doen vanuit verschillende systemen, dus ook lokaal.[Visuele uitleg OPC UA, zie bijlage] Dit[3] is een standaard OPC server waarbij de data uit de PLC naar de OPC server wordt gestuurd. Een OPC client, bijvoorbeeld een SCADA systeem, kan deze data weer uitlezen en gebruiken. Nu zijn er al PLC's met OPC UA, de server is dan op de PLC.[4] Nu willen we dat de LoRa node data in OPC UA komt[5].

4. Wat maakt, in jouw ogen, de testopstelling relevant voor Waterschap Limburg?

De koppeling met een industrieel protocol zoals OPC UA maakt deze opdracht relevant voor veel van onze klanten, en niet alleen Waterschap Limburg. Normaal gesproken wordt bij een LoRaWAN applicatie de data gestuurd naar een webserver die de data weer opslaat in een database. Daarna wordt er vooral Big Data applicaties opgedaan. Deze opdracht slaat de brug tussen IoT en de conventionele industriële automatisering.

11 BIJLAGE 2: INTERVIEW ELIAN VAN GESTEL

Geïnterviewde: Elian van Gestel

Interviewer: Esat Karaer

Locatie: Telefonisch(Bevestigd via E-mail) & E-Mail

Datum: 23-02-2018 14:15

1. **Op de website zie ik wat prijzen van abonnementen voor KPN LoRa. Zijn dit de enige kosten of komen er nog eventuele aansluitkosten bij?**

De prijzen op de website zijn de enige kosten. Er komen dus geen eventuele aansluitkosten bij.

2. **Hoe gaat het toevoegen van devices in zijn werking. Krijgen we toegang tot een administrator paneel of iets dergelijks?**

Nee, wij voegen de devices voor jullie toe aan het netwerk. We hebben een aantal gegevens nodig voor dit proces. Dat betekent dus dat jullie geen toegang krijgen tot een administrator paneel of backend.

3. **Wordt er nog iets gedaan met de data bij jullie, zoals het ontcijferen van de berichten?**

Nee, SimPoint werkt als 'doorgeefluik'. Berichten die binnenkomen van jullie devices worden onaangetast doorgestuurd naar de applicatie server van de klant of gebruiker.

4. **Waarom zouden we via SimPoint een KPN abonnement nemen in plaats van een directe samenwerking met KPN?**

KPN verwijst kleine bedrijven of kleine projecten zoals proof of concept naar SimPoint. De prijzen van KPN zijn veel hoger, maar op grotere schaal voordeliger. Verder biedt KPN ook maatwerk mogelijkheden.

5. **Ik had nog een technische vraag: Hoe wordt de data verstuurd naar de applicatie server van de klant of gebruiker?**

De data kan op 2 verschillende manier worden verstuurd. JSON en XML. De klant kan bij het doorgeven van de device gegevens ook aangeven welke manier de data verstuurd moet worden.

6. **Welke gegevens zijn er nog meer nodig om een device aan het netwerk aan te sluiten?**

De volgende gegevens zijn nodig:

- Type KPN LoRa databundel
- Aantal aansluitingen
- Type abonnement: ABP of OTAA keys?
- DevEUI's van de devices
- URL van de application server
- Het format waarop je de data aangeleverd wil hebben: JSON of XML.
- Om wat voor toepassing het gaat: stilstaand, langzaam bewegend of snel bewegend device

12 BIJLAGE 3: INTERVIEW TIM KPN FORUM

Geïnterviewde: Tim

Interviewer: Esat Karaer

Locatie: KPN LoRa Forum

Datum: 23-02-2018

1. Ik heb van een van u collega's een overzicht gekregen met de kosten voor KPN LoRa. Kloppen deze prijzen nog of is het veranderd?

De prijzen zijn volgens mij nog altijd hetzelfde. Let wel op dat KPN direct levert aan grote partijen met minimaal honderden devices als afname. De kleine klanten / persoonlijke gebruikers, zoals ik mij jou voorstel, verwijzen we door naar onze reseller Simpoint. Je kunt daar op de site de prijzen bekijken: <http://www.simpoint.com/lora/>

2. In dit overzicht zijn er kosten voor "setting up client". Wat houdt dit precies in?

KPN brengt veel opstartkosten in rekening, het aanleveren van een persoonlijk Thingpark account. wij zijn duurder dan onze partner Simpoint daarin. Maar bij een groot aantal devices, zijn er maatwerk oplossingen mogelijk en is KPN dan weer goedkoper. Mijn advies: bestel bij Simpoint!

3. Hoe ver staan jullie op dit moment met Geolocation, werkt dit overal?

Geolocation is nu overal actief en werkt overal waar voldoende gateways zijn. Er zijn enkele meldingen ontvangen waar het nog niet voldoende werkt, daar zullen we aan blijven werken.

4. Hoe verloopt het proces als er een LoRa abonnement wordt genomen?

Gezien je in de eerste instantie voor een kleine afname gaat, adviseer ik om de vraag bij Simpoint neer te leggen, ik weet niet precies wat voor proces zij aanhouden.

13 BIJLAGE 4: KOOPADVIES

Volledige Excel sheet: [Testopstelling KoopAdvies V2.xlsx](#)

Sensor+LoRa van MCS			
Product	MCS1608-Full	MCS1608-Basic	MCS1608-Radio-Only
Prijs	€ 129,95	€ 100,05	€ 82,80
Accelerometer	✓	✓	✗
Battery	✓	✓	✓
Gauss-Detector	✓	✗	✗
GPS Receiver	✓	✓	✗
Extra I/O Poorten	✓	✗	✓
IPEX/U.FL (external antenna)	✗	✗	✗
LED RED	✓	✓	✓
LED GREEN	✓	✗	✗
LED ORANGE	✓	✗	✗
3-P Connector	✓	✓	✓
Option 5V +5V I/O	✓	✗	✓
Barometer	✓	✗	✗
Option Flash(?)	✓	✗	✗
Magnetometer	✓	✗	✗
OneWire	✓	✗	✓
OneWire Sensor	✗	✗	✗
Power I/O	✓	✗	✓
Temperature	✓	✗	✗
Humidity	✓	✗	✗
Bluetooth	✓	✗	✗
Processor	✓	✓	✓
LoRa	✓	✓	✓
Sigfox	✓	✓	✓
Waterproof	IP67	IP67	IP67
Battery	8800mAh	8800mAh	8800mAh
Programmeerbaar	✓	✓	✓
Configureerbaar	✓	✓	✓

Sensor+LoRa van Delmation												
Features	EG-IoT-4281	ERS+CO2	ERS	ELT-1	ESM5K	ARF81708A	ARF81808A	RHF15001	LoRa-custom			
Prijs(ex)	€	185,00	€	268,00	€	120,00	€	110,00	€	110,00	€	79,00
Accelerometer	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Beweging(PIR)	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Lichtsensor	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Battery	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gauss-Detector	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
GPS Receiver	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Extra I/O Poorten	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
IPEX/U.FL (external antenna)	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
LED RED	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
LED GREEN	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
LED ORANGE	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
3-P Connector	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Option 5V +5V I/O	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Barometer	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Magnetometer	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
OneWire	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
OneWire Sensor	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Power I/O	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Temperature	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Humidity	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
NFC	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Bluetooth	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Processor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LoRa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SIGFOX	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Waterproof	IP67	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Programmeerbaar	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Configureerbaar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

LoRa sensor modules geheel naar uw wens ontwikkeld.

Sensor+LoRa Others														
Column3	Decentlab	Komd AIO Sensor	FMLR IoTMultiSensorHub	RS186 - 455-0002	EWATCHH	Ambiance	Idosens Solo Sensor	Landstec Temp&Hum Sensor	WYRES LO RA WYH-OTAG-001	NKE 50-70-007				
Prijs(ex)	Unknown	Unknown	€	130.00	Unknown	€	142.00	€	109.00	€	50.00	Unknown	€	144.00
Accelerometer	✗	✓		✓	✗		✗		✓		✗	✓		✗
Beweging(PIR)	✗	✗		✗	✗		✓		✓		✗	✗		✗
Distance Sensor	✗	✗			✗		✗		✗		✗	✗		✗
Lichtsensor	✗	✓		✓	✗		✓		✓		✗	✓		✓
Battery	✓				✓		✓		✓		✓	✓		✓
Gauss-Detector	✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗	✗		✗
GPS Receiver	✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗	✗		✗
Extra I/O Poorten	✗	✗		✓	✓		✓		✗		✗	✓		✗
IPEX/U.FL (external antenna)	✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗	✗		✗
LED RED	✗	✗		✗	✓		✓		✗		✗	✗		✗
LED GREEN	✗	✗		✗	✓		✓		✓		✗	✗		✗
LED ORANGE	✗	✗		✗	✓		✓		✗		✗	✗		✗
3-P Connector	✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗	✗		✗
Option 5V +5V I/O	✓	✓		✓	✓		✓		✗		✗	✗		✗
Barometer	✓	✗		✓	✗		✗		✗		✗	✗		✗
Magnetometer	✗	✗		✓	✗		✗		✓		✗	✗		✗
OneWire	✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗	✗		✗
OneWire Sensor	✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗	✗		✗
Power I/O	✗	✓		✓	✗		✓		✗		✗	✗		✗
Temperature	✓	✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓
Humidity	✓	✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓
NFC	✗	✗		✓	✗		✗		✗		✗	✗		✗
Bluetooth	✗	✗		✗	✓		✗		✗		✗	✗		✗
Processor	✓	✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓
LoRa	✓	✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓
SIGFOX	✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗	✗		✗
Waterproof	IP67	IP30		IP67			IP20		IP40		IP54			IP54
Programmeerbaar	✗	✗		✓	✗		✗		✗		✗	✗		✗
Configureerbaar	✗	✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓

Product	Type component	Prijs	Wel/Niet gebruiken	Aantal nodig CWD	Totaal	Waarvoor c.q. opmerking	Waarom wel/niet	Alternatief
ITolks Sensor MCS1 608 Full LoRa node	Sensor (End-Node)	€ 113,00	Wel	6	€ 678,00	3 stuks nodig om goed te kunnen testen. Meer is welkom, + 3 voor T	Beste test sensor met een goede kwaliteit-prijs verhouding. Programmeerbaar/Configureerbaar	Universale LoRa sensor voor temperatuur, vocht, licht, acceleratie en optioneel PIR (beweging). € 111 ex.
Atmel Programmer	Programmer	€ 469,00	Wel	2	€ 938,00	Prijs n.i.b.		
ED1000	OTA Flasher/Debugger	€ 375,00	Wel	2	€ 750,00			
Programmeertraining	Training(p/p)	€ 500,00	Wel	6	€ 3.000,00	Bij 6 personen komen de trainers naar CWD om de training te geven.	Ruud Schellekes van IM2M roodde deze training sterk aan	
					€ 5.346,00			
					KPN Simpoint prepaid			
Activation costs per key	Eenmalige kosten	€ 5,00	Wel	1	€ 5,00			
LoRa Bundle "Often"	Prepaid (1 jaar geldig)	€ 16,30	Niet	1	€ -	109.500 uplink, 1 jaar geldig, 300 berichten p/dag, circa 4 berichten p/uur p/sensor		
LoRa Bundle "Often with Geo-location"	Prepaid (1 jaar geldig)	€ 18,75	Wel	1	€ 18,75			
					Totaal: € 23,75			
Pakket		Totaal						
KPN Simpoint Prepaid	€ 23,75							
Nodes(MCS)	€ 5.366,00							
Totaal	€ 5.389,75							

14 BIJLAGE 5: ACCEPTATIETEST

ACCEPTATIE CRITERIA						
		Kritisch		Test Resultaat		
Nr.	Acceptatie Criteria Omschrijving	Ja	Nee	Goed	Slecht	Commentaar
Nodes						
1	De node kan doormiddel van de initialisatie functie een locatie doorsturen.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Langzame node stuurt de temperatuur en luchtvochtigheid na een interval van 60 minuten.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.1	Intelligente node controleert de temperatuur elke 60 minuten.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.2	Intelligente node stuurt een triggerstart bericht wanneer de temperatuur boven de 20°C komt.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.3	Intelligente node stuurt een triggerreport bericht wanneer de temperatuur weer onder de 20°C valt.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	De rapportage node stuurt elke 24 uur een rapportage bericht.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Netwerk Server (KPN Developers portal/KPN ontwikkelaars portaal)						
5	De ED1608 nodes kunnen toegevoegd worden aan de ontwikkelaars portaal van KPN.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	De ontvangen berichten zijn de traceren in de debugger.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Het portaal kan de data doorsturen naar de applicatie server.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Applicatie Server						
8.1	De server kan API post berichten ontvangen.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.2	De server kan ontvangen berichten omzetten naar leesbare data.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.3	De server kan de leesbare data opslaan in de database.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.1	De toegevoegde nodes zijn zichtbaar op de website.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.2	Gedetailleerde informatie van de node is te zien op de detail pagina.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.3	De berichten die door een bepaalde node verstuurd zijn, zijn te zien op de detail pagina.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.4	Data van de langzame node is te zien in een grafiek.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.5	Data van de intelligente node is te zien in een tabel.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.6	Data van de rapportage node is te zien in een tabel.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	De OPC-UA server kan verbinding maken met de database.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	De OPC-UA server kan objecten creëren vanuit de nodes in de database.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	De OPC-UA server kan database veranderingen opvangen.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	De OPC-UA server kan de waardes van de nodes verversen wanneer er nieuwe data is toegevoegd aan de database.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	