



Monitoring bezoekers in het Renkumse Beekdal

Case-studie Internet of Things; Combinatie PIR-sensor, LoRa en Arduino

C.M. Goossen

rapport 340
december 2017



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Wetenschapswinkel

Monitoring bezoekers in het Renkumse Beekdal

Case-studie Internet of Things; Combinatie PIR-sensor, LoRa en Arduino

C.M. Goossen

rapport 340
december 2017

Colofon

Titel	Monitoring bezoekers in het Renkumse Beekdal
Trefwoorden	Bezoekersaantal, sensor, LoRa, Internet of Things, Renkums Beekdal
Keywords	Counting visitors, sensor, nature, LoRa
Opdrachtgever	Stichting Renkums Beekdal
Projectuitvoering	Lars Uphus, Christian Klein Gebbink, Wintia Arindina, Gersom Zomer, Wan Quanxing, Qijun Jiang, Gerrit Seigers
Projectcoördinatie	Martin Goossen
Financiële ondersteuning	Wageningen University & Research
Begeleidingscommissie	Mathieu Pinkers (Stichting Renkums Beekdal), Jaël Bergwerff (Boswachter VPR Veluwe-Rand van Staatsbosbeheer) Lèneke Pfeiffer (Wetenschapswinkel Wageningen University en Research) en Henk Janssen (Wageningen Environmental Research)

Fotoverantwoording	De foto's, kaartjes en figuren zijn vervaardigd door de auteurs of de meewerkende studenten, tenzij anders aangegeven
Vormgeving	Wageningen University & Research, Communication Services
Druk	RICOH, 's-Hertogenbosch
Bronvermelding	Verspreiding van het rapport en overname van gedeelten eruit worden aangemoedigd, mits voorzien van deugdelijke bronvermelding
ISBN	978-94-6343-226-9
DOI	https://doi.org/10.18174/428633

Wageningen, Wetenschapswinkel rapport 340

Monitoring bezoekers in het Renkumse Beekdal

Case-studie Internet of Things; Combinatie PIR-sensor, LoRa en Arduino

Rapportnummer 340

Drs C.M. Goossen

Wageningen, december 2017

Stichting Renkums Beekdal

De Stichting Renkums Beekdal is een organisatie die zich inzet om de natuurlijke gebieden van het Renkums Beekdal duurzaam te beleven, te behouden en daarnaast participatie en educatie stimuleert en voorziet in informatie.

Wageningen Environmental Research

Postbus 47
6700 AA Wageningen
T (0317) 48 07 00
E info.alterra@wur.nl

Wageningen Environmental Research (Alterra) draagt door deskundig en onafhankelijk onderzoek bij aan het realiseren van een kwalitatief hoogwaardige en duurzame groene leefomgeving en levert expertise op het gebied van het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan.

Wageningen University & Research Wetenschapswinkel

Postbus 9101
6700 HB Wageningen
(0317) 48 39 08
wetenschapswinkel@wur.nl

Maatschappelijke organisaties zoals verenigingen en belangengroepen, die niet over voldoende financiële middelen beschikken, kunnen met onderzoeksvragen terecht bij de Wageningen Wetenschapswinkel. Deze biedt ondersteuning bij de realisatie van onderzoeksprojecten. Aanvragen moeten aansluiten bij de werkgebieden van Wageningen University & Research: duurzame landbouw, voeding en gezondheid, een leefbare groene ruimte en maatschappelijke veranderingsprocessen.

Inhoud

Voorwoord	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Onderzoeksvraag	13
1.3 Doelstellingen	14
1.4 Onderzoeksproces	14
2 Methodologie	15
2.1 Inleiding	15
2.2 LoRa	15
2.3 Microchip	16
2.4 Sensor	17
2.5 Ontwerpen van de behuizing	17
2.6 Programmeren van de sensoren	18
2.6.1 Registreren van een nieuw apparaat	19
2.6.2 Programmeren van de Adafruit met Arduino	19
2.6.3 Selecteren van het Spreading Factor	19
2.6.4 Levensduur van de batterij	20
2.7 Dashboard maken	21
2.8 InfluxDB en Grafana	21
2.9 Dweet.io en freeboard.io	22
3 Implementatie	23
3.1 Inleiding	23
3.2 LoRa-gateways en antennes	23
3.3 Mogelijke locaties voor de plaatsing van sensoren	23
3.4 Het bereik van de LoRa-gateway	25
3.5 Programmeren	28
3.6 Kosten	28

4	Resultaten	29
4.1	Inleiding	29
4.2	Nauwkeurigheid PIR-sensoren	29
4.3	Een overzicht van het dashboard	30
4.4	Totaal bezoek	31
5	Conclusies en aanbevelingen	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Hoofdconclusie	33
5.3	Microchip	33
5.4	Bezoek en PIR nauwkeurigheid	33
5.5	Levensduur van de batterij	34
5.6	Bereik van de gateway	34
5.7	Visualisatie in dashboard	34
	Literatuur	35
	Bijlage 1 Locaties sensoren	37

Voorwoord

Met veel plezier is dit project uitgevoerd en met veel inzet van alle bij dit project betrokken personen. De studenten Lars Uphus, Christian Klein Gebbink, Wintia Arindina, Gersom Zomer en Wan Quanxing hebben keihard gewerkt in de korte periode van slechts 6 weken voor dit project. Technisch zijn we bijgestaan door Qijun Jiang en Gerrit Seigers, beide van de WUR. Frits Bakker, vrijwilliger bij de Stichting Renkums Beekdal, willen we bedanken voor zijn hulp bij het installeren van de gateway en antenne.

Ten slotte gaat onze dank uit naar Mathieu Pinkers, voorzitter van de Stichting Renkums Beekdal, die dit project heeft aangevraagd en de leden van de begeleidingscommissie voor hun inhoudelijke opmerkingen.

Martin Goossen
Projectleider
Wageningen Environmental Research

Samenvatting

Beheerders van natuurgebieden willen weten hoeveel bezoekers hun natuurgebieden bezoeken op bepaalde tijden en wat de ruimtelijke spreiding van de bezoekers is. Zij kunnen deze gegevens gebruiken voor het behoud en beheer van het gebied, voor promotie, voor hun beleid inzake natuur en recreatie en voor hun overleg met burgers, gemeente, provincie en bedrijven. Het probleem is dat de beheerders niet de tijd en het budget hebben om de hoeveelheid bezoekers te monitoren. De uitdaging is dan ook om deze gegevens te leveren op een nauwkeurige manier tegen zo laag mogelijke kosten. De onderzoeksvraag is:

Wat is de optimale manier om het LoRa systeem voor het tellen van de bezoekers in het natuurgebied van het Renkums Beekdal toe te passen?

Er is in dit experimenteerproject een nieuwe technologie gebruikt door passieve infrarood (PIR) sensoren te combineren met het zogenaamde LoRa netwerk om bezoekers in het natuurgebied Renkums Beekdal te monitoren. LoRa (Long Range radio) is een specifieke telecomnetwerk en verzendt gegevens op een nauwkeurige manier en tegen lage kosten. Deze techniek suggereert een groot geografisch bereik, laag energieverbruik en veilige gegevensoverdracht. In dit project is gezocht naar een optimale manier om het gebruik van deze nieuwe techniek in een natuurgebied te testen. Allereerst zijn de sensor componenten geselecteerd die moeten worden verbonden met de LoRa-gateway. De chipset Adafruit Feather M0 LoRa is geselecteerd omdat het een totaalpakket en relatief goedkoop is. De HC-SR501 PIR sensor is ook geselecteerd vanwege de prijs, overal verkrijgbaar is, en mogelijkheden biedt voor het afstellen van de gevoeligheid van de sensor. Omdat de sensoren zijn geplaatst in de openlucht, moest er ook een waterdichte en "hufterproof" kastje gemaakt worden. The Things Network (TTN) is als provider gekozen omdat het een opensource netwerk is.

Diverse stappen zijn ondernomen om het gehele dataproces van het tellen en opslaan van bezoekers te testen. De Adafruit Feather moet eerst geprepareerd worden voor het TTN netwerk door pinnen op de chipset te solderen, via een wire-bridge met LoRa te verbinden, een antenneaansluiting te solderen en een verbinding te maken met de PIR-sensor. Vervolgens is elk totaalpakket sensor geregistreerd in het TTN netwerk. De belangrijkste stap was het programmeren van de Adafruit met behulp van het Arduino IDE programma waarin de afstelling van de sensor wordt gedefinieerd. Bij de programmering zijn ook de geselecteerde Spreading Factor en het batterijverbruik opgenomen. Ten slotte is de LoRa gateway zodanig geplaatst dat het grootste bereik is gevonden. De Adafruits waren in staat om op 2.68 km afstand van de gateway nog verbinding te leggen. De hoeveelheid bos tussen de sensor en gateway en het feit dat het informatiecentrum, waar de gateway op het dak geïnstalleerd was, in een dal ligt, waren beperkende factoren. De nauwkeurigheid van de sensor is berekend voor twee sensoren: beekdal_01, gelegen aan de "Kabouterpad" en beekdal_05, gelegen ten noorden van de Keijenbergseweg, bij een kruising in de buurt van een hek en een brug over de beek. De gemiddelde nauwkeurigheid van beekdal_01 was 60 procent en loopt op tot 83% als de foute meldingen worden verwijderd. Beekdal_05 heeft een 62% gemiddelde nauwkeurigheid en maar één foute melding. Uiteindelijk hebben er drie PIR-sensors gedurende een periode van tien dagen gewerkt. Daarna moet de batterij worden opgeladen. De gemiddelde hoeveelheid bezoekers gedurende deze tien dagen was 64 bezoekers per dag.

Om de gegevens interactief te visualiseren en de gegevens op een kaart weer te geven, is het programma Grafana dashboard geselecteerd, is gebruik gemaakt van het programma InfluxDB als opslag van gegevens en is gebruik gemaakt van het programma Node-red; een tool om hardwareapparaten, API's en online diensten met elkaar te verbinden als onderdeel van the Internet of Things. Alle programma's zijn opensource, maar nogal moeilijk te installeren. Om de gegevensstroom te laten lopen is het noodzakelijk dat Node-Red altijd on-line is, want het werkt als een soort server.

De nieuwe technologie is interessant voor het tellen van bezoekers in een natuurgebied, maar de resultaten kunnen nog worden verbeterd door minder goedkoop materiaal te kopen. Nieuwe experimenten met deze techniek moeten worden ontwikkeld om de nauwkeurigheid bij het tellen te verbeteren en om de levensduur van de batterij te vergroten.

Summary

Managers of natural areas want to know how many visitors visit their natural areas at certain time slots and what the spatial spread of the visitors is. They can use these data for maintaining the area, for promotion, for their policy on nature and recreation and in their consultation with the public, municipality, province and businesses. The problem is that they don't have the time or budget to monitor the amount of visitors. The challenge is to deliver these data in an accurate way against low costs.

Counting visitors combining new technologies using passive infrared (PIR) sensors together with so-called LoRa has been developed for nature area Renkums Beekdal. LoRa (Long Range radio) is a specific telecomnetwork and transmits data in an accurate way and at low cost. This technique combines long range, low power consumption and secure data transmission. Although it offers a considerable potential, it also offers challenges. Thus, the optimal way to use this new technique in a nature area should be defined. First of all, sensor components had to be selected, which should be connected with the LoRa gateway. The Adafruit Feather M0 LoRa chipset was selected since it has complete package and is relatively cheap. The HC-SR501 PIR sensor also was selected as it is cheap, widely available, and allows for sensitivity tweaking on the sensor. As the sensors was placed in outdoor environment, a waterproof and vulnerable case also was created.

The Things Network (TTN) was chosen because it is an opensource network.

To test the data management process in order to record and save the visitors data, several steps has been done. The adafruit was prepared by connecting the TTN network with six pin using a wire bridge and also connecting it with the antenna. Then, every complete package sensor was registered in TTN network console. The most important step was programming the adafruit using Arduino IDE since it defined the data form from the sensor. The programming also included the selected spreading factor and the battery consumption. Finally, LoRa gateway was adjusted in high sensitivity. The Adafruits were able to connect over a distance of 2.68 km from the gateway, because the amount of forest in between sensor and gateway was a limiting factor. The accuracy of the sensor was calculated for two sensors: beekdal_01, located at the "Kabouterpad" and beekdal_05, located north of the Keijenbergseweg, at a crossing near a gate and a bridge over the brook. The average accuracy of beekdal_01 was 60% and it increased to 83% when the false positives are removed. However, beekdal_05 has 2% higher than beekdal_01. It has 62% average accuracy and it only has one false positive with no visitors crossing.

Finally, three PIR-sensors worked during a period of ten days. After that, the battery had to be recharged. The average amount of visitors during those ten days was 64 visitors per day.

To visualise data interactively and having the ability to show data in a map, Grafana dashboard was selected, using InfluxDB as data storage using Node-red as a programming tool for wiring together hardware devices, APIs and online services as part of the Internet of Things. All programs are opensource but rather difficult to install. However, to keep data flowing, the node-red server has to be running all the time, but this can still be improved.

The new technology is interesting for counting visitors in a nature area, but the results can be improved by buying less cheap material. New experiments with this technique have to be developed to improve the accuracy of the counting and to increase the battery life.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Wereldwijd is toerisme een van 's werelds grootste en snelst groeiende industrieën (UNWTO, 2007). De toenemende groei van het toerisme kan ook worden waargenomen in nationale parken en natuurgebieden (Juutinen et al., 2011). Toerisme draagt bij aan de regionale of lokale economieën en het verhoogt het welzijn van bezoekers (Ward & Beanland, 1995). Echter, toerisme kan ook schade toebrengen aan natuurlijke hulpbronnen. Het zoeken naar een goede balans tussen natuur en toerisme/recreatie is dus van groot belang. Om deze balans te kunnen vinden is het belangrijk om inzicht te krijgen in hoe bezoekers gebruik maken van beschermde natuurgebieden en wat de ecologische, economische en sociale effecten zijn (Miller et al., 2017). Dit geldt ook voor het Renkums Beekdal, een natuurgebied gelegen tussen de woonplaatsen Wageningen en Renkum in Gelderland. Het Renkums Beekdal is een mooi gebied om te wandelen. De parkeerplaatsen bij het informatiecentrum zijn goed bezet, vooral tijdens de weekenden. De vraag is of het Renkums Beekdal te druk bezocht wordt, zodat dit mogelijk ten koste kan gaan van de natuur en de natuurbeleving. Of is het gebruik gezoned in drukke en rustige gebieden? En wanneer is het dan druk of rustig en waar? Vragen die bezoekers en betrokken vrijwilligers, beleids- en plannenmakers hebben en ook het bestuur van Stichting Renkums Beekdal (SRB). Inzicht in de bezoekersstatistieken is dan erg belangrijk. Er zijn meer redenen waarom bezoekersstatistieken belangrijk zijn (Kajala et al., 2007):

- de kwaliteit van bezoekersinformatie verbetert de kwaliteit van het management in een natuurgebied aangezien het goed onderbouwde beslissingen ten aanzien van het beheer kan nemen;
- het beter begrijpen en beheersen van conflicten tussen verschillende soorten recreatief gebruik of gebruikers en/of tussen recreatie en andere soorten grondgebruiken;
- om veranderingen en de trends in recreatief gebruik te achterhalen;
- helpen bij het bevorderen van duurzame ontwikkeling van recreatie;
- hoogwaardige recreatie levert ook voordelen voor de toeristische sector;
- helpt de lokale, regionale, nationale en internationale politici en niet-gouvernementele organisaties in de besluitvorming.

Diverse methoden en technologieën zijn in het verleden al ontwikkeld om bezoekers te tellen (Active Living Research, 2013, Goossen & Kiers, 2015). De methoden voor het tellen van bezoekers variëren van eenvoudige handmatige tellingen door vrijwilligers tot sensoren en video-opnames die op strategische plaatsen worden geplaatst om beweging te registreren. Ook het volgen van smartphones is een methode, maar dat is omgeven door strikte wetgeving in verband met de privacy. Handmatige tellen en video-opnames hebben een hoge nauwkeurigheid, maar ze zijn arbeid intensief en relatief duur (Active Living Research, 2013). Bovendien zijn ze privacy-gevoelig. Een andere methode gebruikt Passieve InfraRode (PIR) straling als een middel voor het tellen van bezoekers. PIR (passief infrarood) sensoren detecteren verandering in binnenkomende infrarode straling wanneer een warmtelichaam passeert. PIR sensor zijn goedkoop, gemakkelijk te implementeren, en hebben een laag stroomverbruik.

1.2 Onderzoeksvraag

In natuurgebied 'Het Renkums Beekdal' in de provincie Gelderland zijn de managers van het gebied op zoek naar methoden om op een efficiënte manier het aantal bezoekers en hun ruimtelijke spreiding in het gebied te monitoren. Tot nu toe worden de bezoekers aan het informatiecentrum handmatig geteld met behulp van vrijwilligers. Dit geeft voldoende resultaten, maar het kost veel tijd en geeft geen zicht op de spreiding van bezoekers in het gebied. Daarom willen zij in een experiment nieuwe technologie toepassen die de bezoekers, effectief en nauwkeurig kunnen monitoren. Als zodanig moet een solide methode voor het meten van bezoekers in het Renkums Beekdal worden ontwikkeld. Een

solide methode betekent dat er een nauwkeurigheid van bezoekersaantal moet zijn van ongeveer 80%. Effectief betekent dat de uitvoeringskosten zo laag mogelijk moeten zijn. De kosten voor aankoop en onderhoud en de tijdsinspanning moeten minimaal worden gehouden.

In dit project is een sensing systeem als methode gekozen die gebruik maakt van het LoRaWAN-protocol (Long Range Wide Area Network). De Long Range (LoRa) telecommunicatienetwerk is een relatief nieuwe technologie die kan worden gebruikt voor het verzenden van gegevens van sensoren over een lange afstand. LoRa is één van de toonaangevende technologieën die wordt gebruikt voor het bouwen van het wereldwijde netwerk van Internet of Things (IoT) (Semtech, 2017). Hoewel de LoRa techniek een aanzienlijk potentieel biedt, biedt het ook uitdagingen voor concrete toepassingen.

De onderzoeksvraag is:

Wat is de optimale manier om het LoRa systeem voor het tellen van de bezoekers in het natuurgebied van het Renkums Beekdal toe te passen?

1.3 Doelstellingen

De doelstellingen voor dit project zijn tweeledig. Ten eerste wil de manager van het Renkums Beekdal nauwkeurige gegevens over het bezoekersaantal en spreiding in het gebied dat via een interactief systeem visueel moeten worden gemaakt. Dat betekent dus naast de hardware implementatie er ook een gebruikersvriendelijk dashboard moet worden ontwikkeld. Daarbij zijn lage kosten en gebruiksgemak de sleutelwoorden.

Daarnaast moet er een reproduceerbare systematische implementatieproces van een LoRaWAN sensing netwerk ontwikkeld worden, waardoor de bouw van soortgelijke sensing netwerken in andere natuurgebieden mogelijk is.

Voor de beantwoording van de onderzoeksvraag, ontstaan er de verschillende subdoelen:

- Kiezen van de geschikte sensor apparatuur en netwerkplatform dat geschikt is voor het systeem van LoRa
 - Toepassen en testen van het gegevensbeheer voor het opslaan en bewaren van de bezoekersaantal
 - Ontwikkel een gebruikersvriendelijke interface, die met de PC, mobiele telefoon, of tablet is verbonden
 - Definieer de nauwkeurigheid van de sensoren.
-

1.4 Onderzoeksproces

Tijdens dit project is een begeleidingscommissie ingesteld die het onderzoek intensief heeft begeleid. Deze begeleidingscommissie bestond uit de volgende personen: Mathieu Pinkers (Stichting Renkums Beekdal), Jaël Bergwerff (Boswachter VPR Veluwe-Rand van Staatsbosbeheer), Lèneke Pfeiffer (Wetenschapswinkel Wageningen University en Research) en Henk Janssen (Wageningen Environmental Research). Inhoudelijke bijdragen zijn geleverd door Qijun Jiang (Wageningen University en Research) en Gerrit Seigers (Wageningen University en Research). Het onderzoek is uitgevoerd door de studenten Lars Uphus, Christian Klein Gebbink, Wintia Arindina, Gersom Zomer, Wan Quanxing in het kader van een Academic Consultancy Training (ACT) voor hun masteropleiding Geo-Information Science.

De begeleidingscommissie is twee keer bij elkaar gekomen tijdens de projectduur van een half jaar. Tijdens deze bijeenkomsten zijn de onderzoeksopzet, en onderzoeksresultaten gedeeld. De Wetenschapswinkel WUR heeft het onderzoek gefinancierd.

2 Methodologie

2.1 Inleiding

Het studiegebied van dit onderzoek ligt in het natuurgebied van het 'Renkums Beekdal'. In het midden van het gebied is er een informatie- en bezoeker centrum, gelegen aan de Nieuwe Keijenbergseweg 170, die werd opgericht in 2015. Het Informatiecentrum Renkums Beekdal is de plek voor educatie, samenwerking en ontmoeting in de natuur. Een met inzet van veel vrijwilligers geëxploiteerd centrum dat aandacht schenkt aan alle natuur- en cultuurhistorische aspecten van het Renkums Beekdal in het bijzonder en de Renkumse Poort in het algemeen. Maar ook een centrum waar ruimte is voor het verzorgen van natuur- en milieueducatie, alsmede het geven van toeristische en recreatieve informatie. Een centrum dat een uitstekende uitvalsbasis en thuishaven vormt voor de vele tientallen vrijwilligers, die -verdeeld over diverse groepen- in het gebied actief zijn.

Op deze wijze is informatiecentrum Renkums Beekdal een groen knooppunt dat als vertrekpunt bij uitstek kan dienen voor het verkennen van en recreëren in natuur en landschap van het Renkums Beekdal en/of de Renkumse Poort. Een groen knooppunt waar door jong en oud, recreant en/of toerist BUITEN beleefd kan worden wat BINNEN is geleerd.

Het Renkums Beekdal is verbonden met andere delen van de Veluwe. Het bos bestaat voornamelijk uit eiken, beuken en berken. Naast deze bossen is het belangrijkste kenmerk van het gebied de 'Renkumse Beek' met een lengte van 13 kilometer, die wordt omringd door graslanden.

2.2 LoRa

LoRa is een Long Range, Low Power Internet of Things (IoT)-verbinding speciaal ontwikkeld om kleine hoeveelheden informatie uit te wisselen tussen objecten en systemen. LoRa is één van de toonaangevende technologieën die wordt gebruikt voor het bouwen van dit wereldwijde netwerk van Internet of Things (IoT) (Semtech, 2017). LoRa is een specificatie voor een wide-area netwerk (wan). Het is bedoeld voor apparatuur die niet constant een internetverbinding nodig heeft, maar wel af en toe wat data moet doorgeven. Het netwerk heeft een bereik van tussen de 2,5 en 15 kilometer per mast. De internetsnelheid ligt tussen de 0,3 en 50 kbit/s en de industrie claimt dat de accu bijzonder lang mee gaat. De Long Range (LoRa) kan worden gebruikt voor het verzenden van de gegevens van sensoren op een nauwkeurige manier en tegen lage kosten.

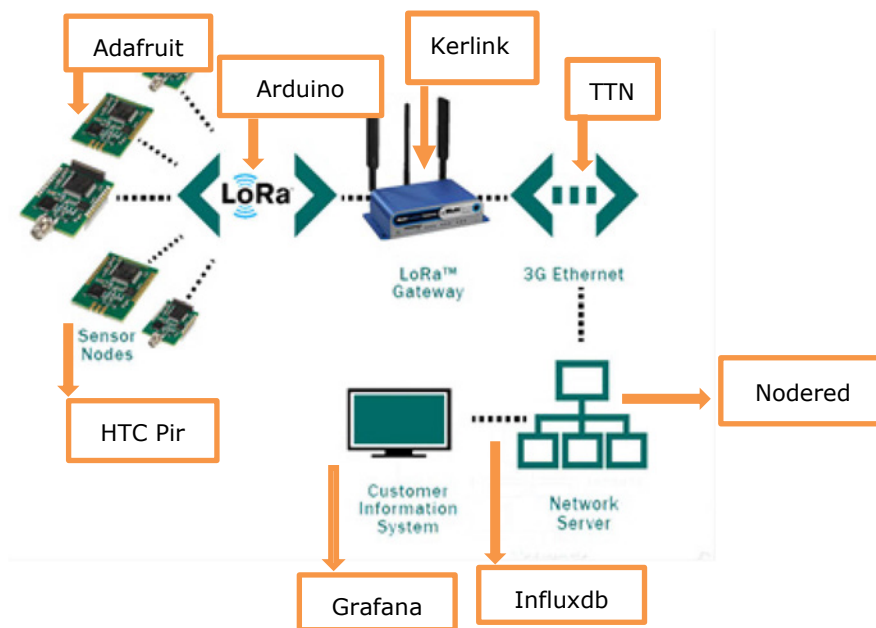
Het Zwitsers bedrijf Lorient heeft een LoRa netwerk om data op te slaan <https://www.loriot.io/>. Lorient werkt met Microsoft Azure (MQTT protocol). Het netwerk van Lorient kost € 50,- per maand en € 0,75 per sensor per maand. Ook KPN heeft een LoRa-netwerk en ze claimen dat heel Nederland gedekt is met hun gateways. De kosten van het KPN-netwerk zijn eenmalig een account van € 1495,- en € 10,- voor een sensor. Daarnaast komen er nog jaarlijkse LoRa-abonnementskosten bij van € 420,- en € 1,00 per sensor per maand.

De open source van TTN (The Things Network) bouwt aan een LoRa-netwerk en is gratis maar heeft wel randvoorwaarden met betrekking tot het versturen van aantallen berichten, het zogenoemde fairplay policy. In dit project wordt het netwerk van The Things Network (TTN) gebruikt omdat het gratis is.

Het voordeel van de LoRa techniek is dat het het grote bereik combineert met een laag energieverbruik en veilige gegevensoverdracht (Semtech, 2017). Hoewel de LoRa techniek een aanzienlijk potentieel biedt, is het nog weinig toegepast in natuurgebieden.

Figuur 1 geeft een schematische weergave van het LoRa-systeem dat in dit project is gebruikt. De sensoren (nodes) versturen hun data via LoRanetwerk naar de LoRa gateway. De LoRa gateway maakt via internet verbinding met de server. Vervolgens worden data opgeslagen en uitgelezen en gepresenteerd via een Customer Information System. De oranje blokjes in figuur 1 geven aan welke

apparatuur of programma uiteindelijk is aangeschaft/gebruikt voor dit project. Alternatieven worden in hoofdstuk 3 beschreven.



Figuur 1 Het systeem met LoRa en sensoren.

Een LoRa gateway moet eerst geregistreerd worden op de website van TTN om het systeem te laten werken.

2.3 Microchip

Voor het netwerk is een microchip nodig die wordt verbonden met een "node", in dit geval een PIR-sensor, die de informatie over het aantal bezoekers verzendt naar de LoRa gateway. De microchip wordt gevoed door een batterij. Met de vereisten in het achterhoofd moet de batterij een lange levensduur hebben, is de microchip goedkoop, makkelijk te gebruiken en te programmeren zijn. De architectuur van de Arduino-microchip past het best bij deze vereisten omdat het verschillende versies kent, klein van formaat is en een laag stroomverbruik heeft. Alle Arduino microchips bevatten een scala aan "pinnen" die gebruikt kunnen worden om sensoren van stroom te voorzien en het uitlezen van de input van sensoren.

De microchip kan gemakkelijk worden aangesloten op een pc of een externe batterij en moet een radio chip bevatten voor de connectie met LoRa. Adafruit is een bedrijf dat zich heeft gespecialiseerd op het creëren van makkelijk te gebruiken en draagbaar Arduino microchips, genaamd Feathers. De Feathers hebben diversie versies zoals een Wifi of Bluetooth chip. Eén van deze versie is de Adafruit Feather M0 LoRa, een Arduino microchip met inbegrip van een HopeRF96 LoRa radiochip. Bovendien heeft deze Feather een micro USB-aansluiting en een stekker voor een Lithium-polymeer batterij, die vanaf de USB kan worden opgeladen. Met een prijs van 40 euro is deze Feather een compleet pakket, maar ook relatief goedkoop. Om deze reden is de Adafruit Feather M0 LoRa geselecteerd.

2.4 Sensor

Er zijn verschillende sensoren beschikbaar om bezoekers te tellen zoals pyro, ultrasound, radio, seismische en inductieve sensoren. Deze worden allemaal gebruikt bij het monitoren van bezoekers (Kajala et al., 2007). Voor dit project is een vereiste dat het energieverbruik en de prijs van de sensor zo laag mogelijk moet zijn. Om deze reden vallen radio, seismische en inductieve sensoren af omdat ze relatief duur zijn en/of hoge energievereisten hebben. De opties die overblijven zijn pyro en ultrasound. Een pyrosensor registreert een verandering in de infrarode straling in de vorm van warmte die wordt uitgestraald door mens en dier. Een ultrasound sensor meet de afstand tot een object en registreert als de afstand plotseling verandert als gevolg van het voorbijkomen van een bezoeker. Het geluid van de ultrasound kan echter voor bepaalde diersoorten zeer storend zijn zoals vleermuizen. Om deze reden is uiteindelijk voor de pyrosensor gekozen, mede omdat het relatief eenvoudig te programmeren is en makkelijker waterdicht te maken is in vergelijking met een ultrasound sensor. Passieve infrarood (PIR) sensoren hebben wel een paar nadelen die moeten worden overwogen wanneer zij in het veld worden geplaatst. Uit de literatuur is bekend dat PIR-sensoren gevoelig zijn voor zon en schaduw en voor wind en vochtigheid (Arora et al., 2005). Door de wind komt de lucht in beweging en ritselen de blaadjes van struiken en bomen waarmee de luchttemperatuur verandert (Zhang et al., 2007). Dit wordt door de sensor geregistreerd, maar is dus geen bezoeker. De HC-SR501 PIR sensor werd geselecteerd vanwege de prijs (€ 3,45 per stuk), klein van stuk, overal verkrijgbaar is en mogelijkheden heeft bij het afstellen van de gevoeligheid van de sensor. De HC-SR501 PIR-sensor heeft een optie voor het wijzigen van het bereik tussen 3-7 meter. Deze sensor is echter wel gevoelig voor warmte veranderingen.

2.5 Ontwerpen van de behuizing

Vanwege de aard van dit project, moeten de sensoren buiten worden geplaatst, blootgesteld aan de weers elementen. Tegelijkertijd moeten zij relatief gemakkelijk open gemaakt kunnen worden voor het vervangen van de batterij en moet er een opening zijn voor de interne antenne. Bovendien moet het uiterlijk van de sensor zodanig zijn, dat het nauwelijks opvalt om het risico van vandalisme te beperken. Omdat de hardware (microchip, sensor, batterij) gevoelig en kostbaar is, zijn er diverse eisen gesteld aan de behuizing. En ook hier geldt het vereiste dat de kosten voor aanschaf van de behuizing zo laag mogelijk moeten zijn. De eisen waaraan de behuizing moest voldoen zijn:

- Klein, niet onnodige ruimte verspillen om de hardware te plaatsen
- Weer: Waterdicht tegen regen
- Duurzaam: Stevige buitenkant om schade te voorkomen
- Praktisch: Gemakkelijk te openen voor onderhoud
- Montage: Gemakkelijk te koppelen aan bomen of palen, maar moeilijk te verwijderen door vandalen
- Zichtbaarheid: Moeilijk te zien voor voorbijgangers, maar de zichtlijn van de sensor moet open blijven.



Figuur 2 De behuizing van de sensor.



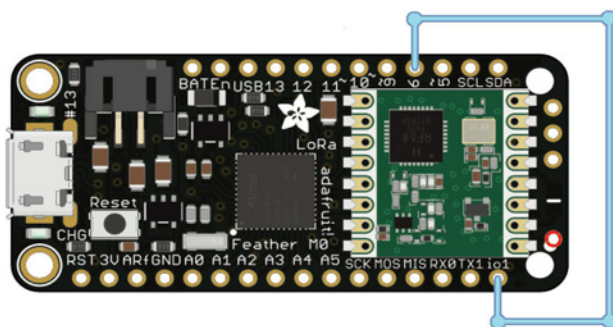
Figuur 3 Het binnenste van de behuizing.

Uiteindelijk is gekozen om de behuizing zelf te maken (figuur 2) met onderdelen en benodigdheden die werden gekocht bij de Gamma-bouwmarkt in Wageningen. De behuizing is een goedkope kabelbox, die een waterdichte rating van ip54 heeft. Het gat voor de PIR-Sensor werd geboord door een 22mm gat te zagen. De randen van dat gat zijn geschuurd en gekit. De PIR-sensor is aan de behuizing vastgemaakt met metalen haakjes en bouten. De behuizing is aangesloten op een houten plank. In de houten plank zijn gaten geboord voor bevestiging met ty-raps. De ty-raps worden gebruikt om geen gaten te hoeven boren in bomen. In de meeste gevallen is de behuizing bevestigd aan informatiepalen van Staatsbosbeheer.

De batterij en de Arduino microchip zijn gekoppeld aan het deksel met dubbelzijdig Velcro plakband (figuur 3) die het mogelijk maakt om één van deze onderdelen met gemak te inspecteren of te vervangen. De PIR-sensor is gelijmd en geschroefd aan de zijkant van de behuizing met de koepel deels naar buiten stekend. De oranje schuifregelaars om het bereik in te stellen van de PIR-sensor zijn zodoende makkelijk bereikbaar zonder de sensor te verwijderen. De lijm die wordt gebruikt voor de sensor en de bouten is een transparante kit voor kunststoffen. Het geheel is vervolgens gereinigd en met een spray donkergroen gespoten.

2.6 Programmeren van de sensoren

Voordat de Adafruit kan worden gebruikt moeten sommige aanpassingen worden gedaan. De pinnen en de microchips worden los van elkaar geleverd. Het is geen plug-and-play systeem. Dat betekent dat de pinnen aan de microchip moeten worden gesoldeerd. Dit geldt tevens voor de Wire-bridge en de antenne.



Figuur 4 Schematische voorstelling van de Adafruit M0 met de wire-bridge in blauw en de antenne-pin gemarkeerd in het rood.

Om de Adafruit te laten communiceren met het TTN-netwerk, moet het onderling verbonden worden met een wire-bridge (figuur 4). Zonder deze wire-bridge kan de Lmic library van Arduino niet bepalen of er een pakket data met succes is verstuurd naar de LoRa-gateway. Deze bepaling is van belang om een nieuw pakket te kunnen versturen die in de wachtrij staat. Deze wire-bridge kan ofwel worden gesoldeerd op de pinnen aan de achterkant van de microchip of worden vastgezet met behulp van een jumper kabel. De laatste vermindert het risico van beschadiging van de gevoelige radio-chip, maar het neemt wel meer ruimte in. Bij solderen is dit niet het geval. Er is uiteindelijk voor solderen gekozen.

Ook voor de antenne zijn er twee opties, ofwel soldeer een eenvoudige draad van 8,2 cm op de microchip (gemarkeerd in rood weergegeven in figuur 4), of verbindt de antenne aan de achterkant van de microchip. Opnieuw is voor solderen gekozen.

2.6.1 Registreren van een nieuw apparaat

Om een node/sensor te verbinden met de TTN, moet de node eerst worden geregistreerd. Daarvoor moet binnen de TTN-website een applicatie worden aangemaakt. Wanneer een node wordt geregistreerd op de website van TTN, dan wordt er een device-EUI gegenereerd, alsmede een app-key die wordt gebruikt als unieke identificatienummer voor de node in het netwerk, alsmede voor de beveiligde communicatie met de LoRa-gateway.

2.6.2 Programmeren van de Adafruit met Arduino

Voor de programmering van de Adafruit-Feather is gebruik gemaakt van Arduino IDE, die eerst gedownload is via de link: (<https://learn.adafruit.com/adafruit-Feather-M0-radio-with-Lora-radio-module/Setup>).

Vervolgens moet de Lmic-library voor de Arduino en sleepypdog worden geïnstalleerd via GitHub. De Lmic-library is een communicatietool die de transmissie regelt tussen de microchip en LoRa. Met sleepypdog kan de node tijdelijk worden uitgezet zoals bijvoorbeeld 's nachts als er geen bezoekers zijn. Een paar kleine aanpassingen moeten worden aangebracht in de Lmic-library zodat de "Spreading Factor" kan worden ingesteld. De procedure om de geregisteerde hardware te laten communiceren gebruikt de code Over The Air Activation (OTAA) die meegeleverd is met de Lmic-library. Een kort overzicht van de wijzigingen zijn:

1. The Application EUI, apparaat EUI en App-key moeten worden gewijzigd zodat ze overeenkomen met een geregistreeerde node
2. The LMIC pinout moet gewijzigd worden zodat deze overeenkomt met de adafruit M0
3. Een Interrupt-function moet worden toegevoegd wanneer de PIR wordt geactiveerd
4. Een functie wordt toegevoegd die laat zien hoever de batterij is opgeladen
5. De os_sendjob is veranderd om de batterijspanning te laten zien evenals het aantal bezoekers in plaats van de standaard ingestelde "hello world"
6. Een Sleep timer is toegevoegd aan de EV_TXCOMPLETE die ervoor zorgt dat een pakket data wordt verzonden met een ingestelde tijdsinterval. Bijgevolg, wordt TX_interval verwijderd
7. Een Led-lampje is toegevoegd. De Led knippert om aan te geven als een join is mislukt
8. Een parameter is toegevoegd om de "spreading factor" van de node te wijzigen.

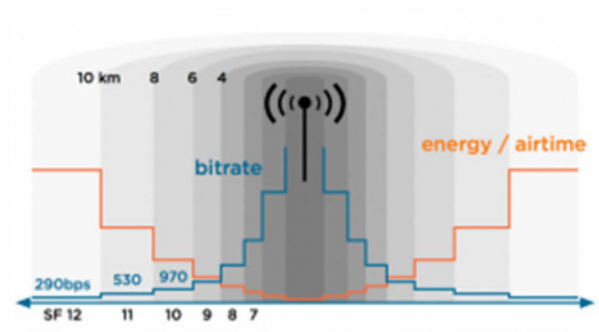
2.6.3 Selecteren van het Spreading Factor

Apparaten die zijn aangesloten op het TTN-netwerk moeten voldoen aan een zogenoemd "fair use policy", dat is een verzameling richtlijnen waarvan verwacht wordt dat alle apparaten er aan voldoen. De belangrijkste richtlijn voor dit project is de maximale zendtijd van 30 seconden per dag per node. De Facto betekent dit dat er trade-off is tussen het communicatiebereik ofwel de Spreading Factor (SF) en de temporele counting interval. Elk bericht apart verzenden kost tijd, energie en een bepaalde radiofrequentie. Een bericht verzenden via het netwerk TTN heeft een basisgrootte van 13 bytes. De sensoren die voor dit project ontwikkeld zijn, verzenden batterijspanning en bezoekerstellingen in groottes van 2 bytes resulterend in een totale payload van 15 bytes.

Tabel 1 Airtime en totaal aantal berichten toegestaan door de TTN voor elke spreading factor.

SF	Airtime (ms)	Messages a day
7	46.336	645
8	92.672	320
9	164.864	180
10	329.728	90
11	577.536	50
12	1155.072	25

Het beste is om elke sensor op de laagst mogelijke SF in te stellen, afhankelijk van de locatie van de sensor ten opzichte van de LoRa-gateway. Een lagere airtime met een lagere SF (tabel 1) geeft een toename van de levensduur van de batterij en zal de communicatie aanzienlijk sneller laten verlopen. De locatie van de sensor moet echter wel dichterbij de gateway worden geplaatst indien voor een lagere SF wordt gekozen (figuur 5). Deze afweging moet wel van tevoren bepaald worden, want het moet per sensor geprogrammeerd worden. In dit project is gekozen voor SF 9 en 10.



Figuur 5 Relatie tussen bereik/afstand, airtime en Spreading Factor.

2.6.4 Levensduur van de batterij

De levensduur van de batterij kan worden berekend door de batterijcapaciteit in mAh te delen door het gemiddelde energieverbruik. Het stroomverbruik van de Adafruit M0 heeft een vermogen van 40 mA in slaapstand, 130 mA wanneer een signaal op +20 dBm wordt verstuurd (maximumvermogen) en 300 uA tijdens de volledige slaap (Utc, 2017). De PIR-sensor heeft een slapend stroomverbruik van 60 uA en een piekstroom wanneer geactiveerd van 212uA wanneer de 5v regulator op de PIR wordt overgeslagen (Mysensor, 2014). In dit project verwachten we gemiddeld per uur 50 bezoekers te meten en willen we de gegevens iedere 15 minuten dus vier keer per uur verzenden.

Tabel 2 Gemiddelde vermogen gebruik per uur op de SF 12.

Activity	Power draw	Seconde	Totaal
Data uplink	130 mA	5	650
PIR trigger	40.212 mA	150	6032
Totaal		3600	7922

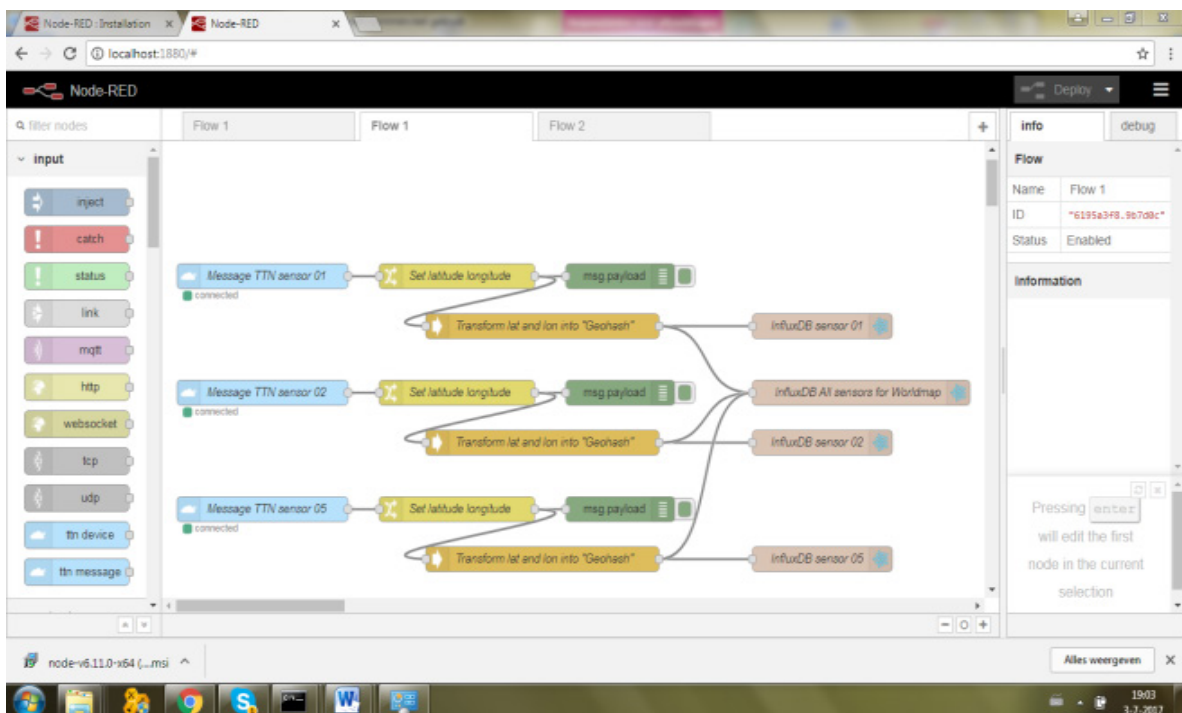
De verwachte stroomverbruik van onze sensor is $7922/3600 = 2.2$ mAh (tabel 2). Met de aangeschafte batterij van 1200 mAh, is de batterijduur dus 545 uren ofwel 22 dagen onder constante werking en juiste instelling. Na deze 22 dagen zal de batterij vervangen moeten worden door een volledig opgeladen batterij.

2.7 Dashboard maken

Gegevens kunnen worden gevisualiseerd via diverse user interfaces. Voor dit project zijn twee soorten user interfaces ontwikkeld om te onderzoeken welke het beste werkt. De eerste user interface maakt gebruik van Node-red, Dweet.io voor gegevensopslag en Freeboard.io voor visualisatie. De andere user interface is met behulp van Node-red, InfluxDB voor gegevensopslag en Grafana voor visualisatie ontwikkeld. Alle gegevens van de sensoren moeten worden opgeslagen in een databasesysteem. Een belangrijke eis is vervolgens dat de gegevens ook real-time (elke sensor meting) kunnen worden weergegeven in een gebruiksvriendelijke dashboard. Om de gegevens van alle sensoren te verzamelen in één systeem, is gebruik gemaakt van het programma Node-red. Node-red is een programmeer tool om hardwareapparaten, API's en online services onderling te verbinden. Het voorziet in een browser-gebaseerde editor waarmee datastromen van diverse nodes worden geconfigureerd. De datastroom wordt opgeslagen met behulp van JSON en gebruikt de teksteditor van JavaScript (Foundation, 2017).

2.8 InfluxDB en Grafana

In figuur 6 is de datastroom van Node-red getoond via het TTN met de opslag van de gegevens via het programma InfluxDB. Het programma InfluxDB is nodig omdat TTN de data maar 7 dagen opslaat. InfluxDB is een open-source platform om tijdreeksen van data in real-time en voor een langere tijd op te slaan. Met behulp van de SQL-taal bevat het een data-structuur die bestaat uit metingen, reeksen en punten met een ingebouwde tijdfunctie. De databases in influxDB is eenvoudig en geschikt voor verschillende gebruikers, het continu opvragen van data, opslag en metingen (Influxdata, 2017). Via InfluxDB kunnen nieuwe sensorlocaties (Node) worden toegevoegd aan het Node-red systeem waarmee de nieuwe Node direct kan worden verbonden met het TTN. De lengte- en breedtegraad van een sensorlocatie kan worden ingesteld via de Geohash. Deze Geohash is in het programma Grafana nodig om de juiste locaties op een kaart weer te geven via een "wereldkaart plugin".



Figuur 6 Node-red datastromen gebruik makend van InfluxDB en Grafana.

Nadat de gegevens zijn opgeslagen in InfluxDB, kan de visualisatie worden weergegeven met behulp van het dashboard van Grafana. Grafana is een open-source dashboard en graph creator met een webtoepassing. Met Grafana zijn tabellen en grafieken interactief te visualiseren. Met Grafana zijn aantekeningen toe te voegen aan de grafieken en bevat het verschillende soorten gegevensfilters. Andere gebruikers kunnen worden toegewezen.

2.9 Dweet.io en freeboard.io

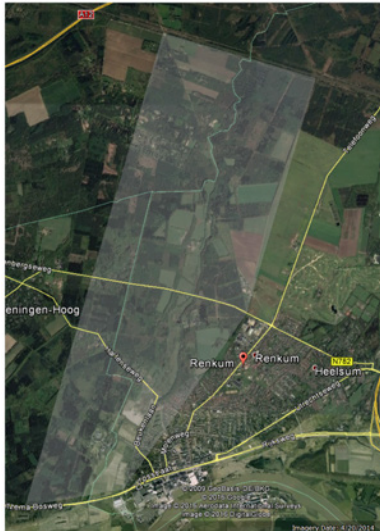
Ook het programma Dweet.io heeft een functie voor het verzenden van gegevens van TTN via de cloud met een eenvoudige HAPI web API. Dweet.io is ook een data-opslag programma en eenvoudig te programmeren via het systeem van machine-to-machine (M2M). Dweet.io slaat dus gegevens op in een database, maar het kost \$1,99/maand (dweet.io, 2017). Node-red is ook toe te passen in het dweet.io systeem.

De gegevens die zijn opgeslagen in het dweet.io systeem kunnen worden gekoppeld aan het dashboard van freeboard.io. Freeboard.io is een open source web-based dashboard service met een optioneel abonnement voor hosting. Freeboard.io kan de gegevens weergeven in verschillende soorten: historische grafiek, google kaart en HTML. Het biedt onbeperkte opslag van gegevens. Maar het dashboard is bereikbaar voor iedereen dus een specifieke toegangscode is niet vereist.

3 Implementatie

3.1 Inleiding

Het testgebied in het Renkums Beekdal is ongeveer 6 bij 2 km groot en loopt van de Rijn tot aan de spoorlijn Utrecht-Arnhem. De westelijk gelegen grens is arbitrair en is gekozen als een lijn tussen camping Dikkenberg en de grafheuvels nabij de N225. De oostelijke grens wordt gevormd door de bebouwing van het dorp Renkum en het fietspad (figuur 7).



Figuur 7 Testgebied Renkums Beekdal.

3.2 LoRa-gateways en antennes

Er zijn twee LoRa-gateways uitgetest, namelijk de Lorank8 gateway van Ideetron (€ 380,-) <https://www.ideetron.nl/lora/> en de Kerlink (€ 1500,-), beide in bezit van Wageningen Universiteit. De Lorank8 gateway kan circa 100 messages per dag per sensor aan, maar het bereik bleek zeer beperkt te zijn. De Kerlink gateway is voor dit project gebruikt.

De type antenne heeft invloed op het bereik. Een hogere dBi-waarde van de antenne geeft een groter bereik.

De antenne van John Deere <http://www.d-d-s.nl/antenna-869MHz-john-deere.htm> heeft 9dBi. Deze 869 MHz antenne is speciaal ontworpen voor de Telemetrie band op 869.000 MHz. Ideaal voor lange afstands Data transmissies. De antenne straalt omni directioneel uit en is bestand tegen alle Nederlandse weeromstandigheden. De antenne kost € 169,- plus kosten voor lengte kabel tot € 25,-. Ook de Sirio-antenne heeft 9dBi en deze is reeds in het bezit van Wageningen Universiteit. Daarom is voor de Sirio-antenne gekozen.

3.3 Mogelijke locaties voor de plaatsing van sensoren

Om het totaal aantal bezoekers per jaar te achterhalen wordt er meestal een cordon van sensoren in het gebied aangebracht. De sensoren liggen dan op de kruising van een pad/weg en de grens. In het geval van het testgebied Renkumse Beekdal zal dit erg veel sensoren vragen, omdat er zeer veel paden op een dergelijke kruising liggen. Bovendien doorkruist een aantal wegen het gebied. Deze wegen worden vooral als doorgangswegen gebruikt en veel minder als bestemmingsverkeer.

Als alternatief en om aan de vraag te voldoen om drukke en minder drukke locaties te achterhalen, is gekozen voor een zo goed mogelijke spreiding van de sensoren in het testgebied. De volgende overwegingen spelen daarbij een rol. De sensoren worden op paden geplaatst:

- Bij parkeerplaatsen (ook bij horeca) omdat deze locaties vaak een startpunt van bezoek zijn;
- Grens met bebouwing omdat deze locaties het gebruik van bewoners kan meten;
- Bij OV-haltes omdat deze locaties ook een startpunt van bezoek zijn;
- Nabij camping/hotel en bungalowparken omdat deze locaties een startpunt voor verblijfstoeristen kunnen zijn;
- Paden langs bijzonderheden, omdat deze locaties een bepaalde aantrekkingskracht voor bezoek hebben;
- Kruispunten van paden, omdat deze locaties mogelijk bezoek vanuit diverse paden kan meten;
- Paden met een bijzonderheid zoals een versmald pad, een hek, een opstapje, een brug omdat de sensor dan goed een enkel persoon kan meten;
- Paden die onderdeel zijn van een route, omdat deze locaties de populariteit van een route kan weergeven¹;
- Paden die veel gebruikt worden waarvan de data uit andere bronnen komen zoals strava, runkeeper, fietstelweek;
- Paden die in een bepaald landschapstype liggen omdat de keuze van bezoekers mogelijk daarop gericht is;
- Waarbij er een kans is dat er een wandeling/fietstocht wordt gemaakt. Dit is een inschatting op basis van algemene kennis dat een wandeling/fietstocht meestal uit een rondje bestaat en ongeveer 1,5 uur duurt.

In bijlage 1 staan mogelijke locaties voor plaatsing van de sensoren. In totaal 71 en dat is erg veel. Vandaar dat een keuze is gemaakt op basis van bovenstaande uitgangspunten. In eerste instantie is gekozen voor circa 25 locaties (figuur 8). In onderstaand schema staat weergegeven welke uitgangspunten voor de 25 locaties gelden.

Nummer	Naam	Uitgangspunt
1	NIVON-huis	Parkeerplaats, hotel, kruising, NS-wandelroute, bijzonderheid
2	Dikkenberg	Parkeerplaats, camping, fietsroute
3	Quadenoord	Parkeerplaats, camping, NS-wandelroute, fietspad
4	Everwijnsgoed	Parkeerplaats, horeca, bijzonderheid, diverse routes
5	Bennekomseweg N782	Parkeerplaats, routes, langs beek
5a	Eind pad	Bij hek en vlonderpad links
6	Bezoekerscentrum	Deur naar informatiecentrum
7	Campman	Parkeerplaats, horeca, kruising
8	Geertjesweg	Parkeerplaats, kruising
9	Koningslaan/boslaan	Parkeerplaats Oranje Nassauoord, kruising
10	Kortenburg	OV-halte, bijzonderheid (ommuurde tuin), bewoners
11	Schaapsdrift	Bewoners, fietspad
12	Beekdal	Parkeerplaats, horeca, hek, kabouterpad
12a	Beekdal	Hek achter mussennest
13	Bos N782	Kruising, brandgang
14	Grafheuvels	Bijzonderheid, kruising
15	Uitzichtpunt Doctor Hartogsweg	Bijzonderheid, kruising, fietspad
16	Kunstwerk Hartensweg	Bijzonderheid, klompenpad
17	Uiterwaarde	Klompenpad, hek
18	Vlonderpad	Bijzonderheid, versmalling, punt verleggen naar overkant
19	Arboretum Oostereng	Bijzonderheid, fietspad, kruising
20	Brug Bosbeekweg	Brug, fietspad, routes, kruising
21	Brug Paradijs	Brug, versmalling, routes
22	Bos Zuiden Dikkenberg	Kruising
23	Parallelweg	Kruising, fietspad
24	Bos	Kruising
25	Keijenbergseweg	Parkeerplaats

¹ Dit blijft weliswaar een schatting, want ook bezoekers die de route niet volgen zullen van dat pad gebruik maken



Figuur 8 Voorstel ligging sensoren.

3.4 Het bereik van de LoRa-gateway

Allereerst is het bereik van de Kerlink LoRa-gateway getest. De Kerlink is woensdag 5 april 2017 op het dak van het Forum-gebouw (35 meter hoog) geplaatst en ter plekke verbonden met internet en elektriciteit. Het Forum-gebouw staat op de campus van Wageningen Universiteit en Research en ligt hemelsbreed op 4,6 km afstand van het informatiecentrum het Renkums Beekdal. Tussen het Forum-gebouw en het Informatiecentrum ligt de Wageningse Berg en de bossen tussen Wageningen en Renkum. De bossen beginnen na het sportpark aan de Zoomweg.

Er was tot 2 km bereik tot aan de Zoomweg bij het sportpark Zoomweg, dus nog voor de bossen en de Wageningse Berg. De heuvel van de Wageningse Berg in combinatie met de bossen bleken te grote obstakels te zijn.



Figuur 9 Dak van het Forum.

Op donderdag 6 april hebben we het bereik van de LoRa-gateway getest via de "uileningang" op de zolder van het Mussennest van het Informatiecentrum Renkumse Beekdal. De antenne hing uit de uileningang. Het bereik was circa 700/900 meter bij 500 meter.



Figuur 10 LoRa-antenne hangt uit de "uileningang".

Het bereik is vervolgens verbeterd door de antenne beter te plaatsen door een paal op het dak van het Mussennest te maken waarop de LoRa-gateway en antenne vastgeschroefd is, zodat de antenne niet "hangt" maar naar de lucht wijst. De gateway is vervolgens ter plekke verbonden met internet en elektriciteit. De gateway had nog hoger geplaatst kunnen worden als de elektriciteitskabel langer was geweest. Daarnaast is er getest met diverse Spreading Factors (SF). Sensoren die in het bos of verder weg lagen van de gateway, zijn met een SF van 12 ingesteld.

De verste afstand voor een sensor die met succes met de gateway kon communiceren was dicht bij de Rijn (nr 17) op 2.68 km van de gateway met een Spreading Factor (SF) van 12 (figuur 11). In het beekdal zelf is het bereik redelijk. Langs het beekdal waar de heuvels en de bossen beginnen, vermindert het bereik sterk. Het uiteindelijke bereik was een oppervlakte van circa 4 km lang en 1 km breed ofwel een omvang van circa 4 km².



Range of LoRa Gateway in 'Renkums Beekdal'

Map showing the improved range of the Kerlink LoRa Gateway which is installed at the 'Mussennest' building near the visitor centre of the 'Renkums Beekdal'. The old LoRa range depicts the situation during a test in April 2017. The new LoRa range is the range as of June 2017.

Legend

Research Area



LoRa Gateway



Old LoRa range



New LoRa Range



Validated Sensor



Proposed Sensor Location



Service Layer Credits: Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figuur 11 Bereik (groen gebied) van de LoRa gateway op zolder Mussennest.

In dit gebied zijn, door dit bereik, uiteindelijk 10 sensoren gepland, waarmee een goede indruk kan worden verkregen van de drukte rondom het bezoekerscentrum.

Voor de zekerheid zijn er 15 setjes met sensoren aangeschaft bestaande uit de PIR-sensor, de microchip, de batterij, antenne en omhulsel. Helaas is er bij het solderen iets verkeerd gegaan, waardoor 12 setjes niet bruikbaar meer waren. De resultaten zijn dus gebaseerd op 3 setjes (tabel 3). Dit waren de beekdal_01 (nr 12 op de figuur) aan het begin van de kabouter-pad, Beekdal_00 aan het eind van het vlonderpad (nr 7 op de figuur) en beekdal_05 bij een hek ten noorden van het bezoekerscentrum (nr 28 op de figuur).

Tabel 3 Spreading factor per sensor.

Sensor naam	SF	Verzend interval (minuten)
beekdal_00	SF9	15
beekdal_01	SF10	15
beekdal_02	SF10	15

3.5 Programmeren

Allereerst moeten de gateway en alle sensoren worden geregistreerd bij TTN. Deze krijgen allemaal een unieke code die bij het programmeren gebruikt moeten worden.

Er is gekozen voor de combinatie Node-red, InfluxDB en Grafana. Dweet.io is namelijk niet gratis en slaat gegevens op in de Cloud, terwijl InfluxDB wel gratis is en bovendien worden de data lokaal opgeslagen, zodat niet "iedereen" daar bij kan en het dus veiliger is. Bovendien is er de wens om de data ook visueel op een kaart te laten zien en dat kan gemakkelijker met Grafana.

Ondanks een uitgeschreven protocol door de studenten is het toch moeilijk om voor een derde persoon alle programma's te implementeren. Een van de redenen is dat de versies van de programma's tussentijds veranderen door een update waardoor het protocol niet meer klopt. Met name het programma InfluxDB gaf problemen, waardoor de data ook niet via het programma Grafana zichtbaar waren. Op de computer van de studenten werkte het echter allemaal wel.

Aandachtspunt is ook dat het programma Node-red alleen maar functioneert en dus data registreert als de computer, die als server werkt, constant on-line is. Wanneer de computer wordt uitgezet, dan worden er geen data gegenereerd en ontstaat er een "gat" in de tellingen.

3.6 Kosten

In tabel 4 staan de totale kosten die met deze methode en met deze opzet zijn gemaakt. Ter vergelijking zijn ook de kosten via KPN weergegeven. Die zijn te verdelen in eenmalige en jaarlijkse kosten. KPN claimt een landelijke dekkinggraad voor hun LoRa, maar dat is voor dit project in dit gebied niet gecheckt. Het is dus niet onderzocht of in het Renkums Beekdal een bereik is via KPN-gateways. In het overzicht zijn niet de kosten opgenomen van installatie en eventuele bewerking van de data en rapporteren.

Tabel 4 Overzicht kosten van deze methode.

Type	Kosten
LoRa gateway van Kerlink	1500,-
Antenne	200,-
15 sensorsetjes	1500,-
Totaal	3200,-

De totale kosten zijn eenmalig € 3200,- voor deze opzet. Wel moet er nog kosten berekend worden voor het vervangen van de batterijen. Dit zou eventueel door vrijwilligers gedaan kunnen worden.

Wanneer er gewerkt wordt met KPN, dan hoeven er geen gateway en antennes aangeschaft te worden. Wel moet er een abonnement bij KPN worden afgesloten. De kosten bij KPN staan in tabel 5.

Tabel 5 Overzicht kosten via KPN.

Type	Eenmalig	Jaarlijks	Kosten
Account	1495,-		
15 sensorsetjes	1500,-		
Abonnement		420,-	
Sensor €1/p/m		180,-	
Totaal	2995,-	600,-	3595,-

De totale kosten bij KPN kost het eerste jaar € 3595,- en daarna jaarlijks € 600,-, bestaande uit abonnementskosten en versturen van data per sensor per maand van € 1,-. Het voordeel is dat via het abonnement het onderhoud en eventuele storingen door KPN gedaan en verholpen worden.

4 Resultaten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de nauwkeurigheid van de PIR-sensor, de bezoekersaantallen en de visualisatie.

4.2 Nauwkeurigheid PIR-sensoren

De nauwkeurigheid van de PIR-sensor is getest bij twee sensoren door ter plekke handmatig het aantal bezoekers te tellen en dit te vergelijken met de resultaten van de sensor. Dit waren de sensoren beekdal_01 aan het begin van de kabouter-pad. En beekdal_05 bij een hek ten noorden van het bezoekerscentrum. De gemiddelde nauwkeurigheid voor de hele middag op het Kabouterpad was 60%, dit loopt op tot 83% wanneer de foute waarnemingen zijn verwijderd. De 2.8 seconde hersteltijd van de PIR-sensor heeft duidelijk invloed in de gevallen waar er minder is geregistreerd dan de werkelijke bezoekers. In bijna al deze gevallen kwamen er meer bezoekers voorbij in een groep, terwijl de sensor dit niet goed registreerde. De foute waarnemingen verdwijnen na 15:04, wat te maken heeft met de verandering van het weer van zonnig naar bewolkt met lichte regen (tabel 6). De batterij van deze sensor duurde 6,2 dagen.

Tabel 6 Vergelijking PIR-sensor beekdal_01 met handmatige tellingen.

Tijd	Count	Honden	Mensen	Foute waarneming	Nauwkeurigheid
12:44	2	1	2	-	100%
13:00	2	-	-	2	0%
13:15	-	-	-	-	100%
13:31	1	-	-	1	0%
13:46	3	-	-	3	0%
14:02	2	2	3	-	67%
14:17	-	-	-	-	100%
14:33	-	-	-	-	100%
14:49	2	-	-	2	0%
15:04	1	-	-	1	0%
15:20	3	-	4	-	75%
15:35	5	1	9	-	56%
15:51	-	-	-	-	100%
16:06	8	3	8	-	100%
16:22	1	-	3	-	33%
16:37	4	3	4	-	100%
16:52	1	-	-	-	0%
17:08	3	-	3	-	100%

De gemiddelde nauwkeurigheid was 62% bij sensor beekdal_05 bij het hek ten noorden van het bezoekerscentrum. Ook nu is er een aantal foute waarnemingen die de nauwkeurigheid verminderen. Maar er is slechts één foute waarneming waarbij er geen bezoekers waren (tabel 7). De meeste foute waarnemingen zijn het gevolg van een overschatting van het aantal bezoekers. In de eerste drie gevallen zijn dat fietsers die door het hek gingen. Omdat het hek open werd gehouden voor de volgende fietser, blijft de bezoeker in het bereik van de sensor. Door de korte hersteltijd wordt de bezoeker dan nog een keer geteld en ontstaat er dus een overschatting. Net als op het kabouterpad zien we een onderschatting van grote groepen als gevolg van de hersteltijd.

Tabel 7 Vergelijking PIR-sensor beekdal_05 met handmatige tellingen.

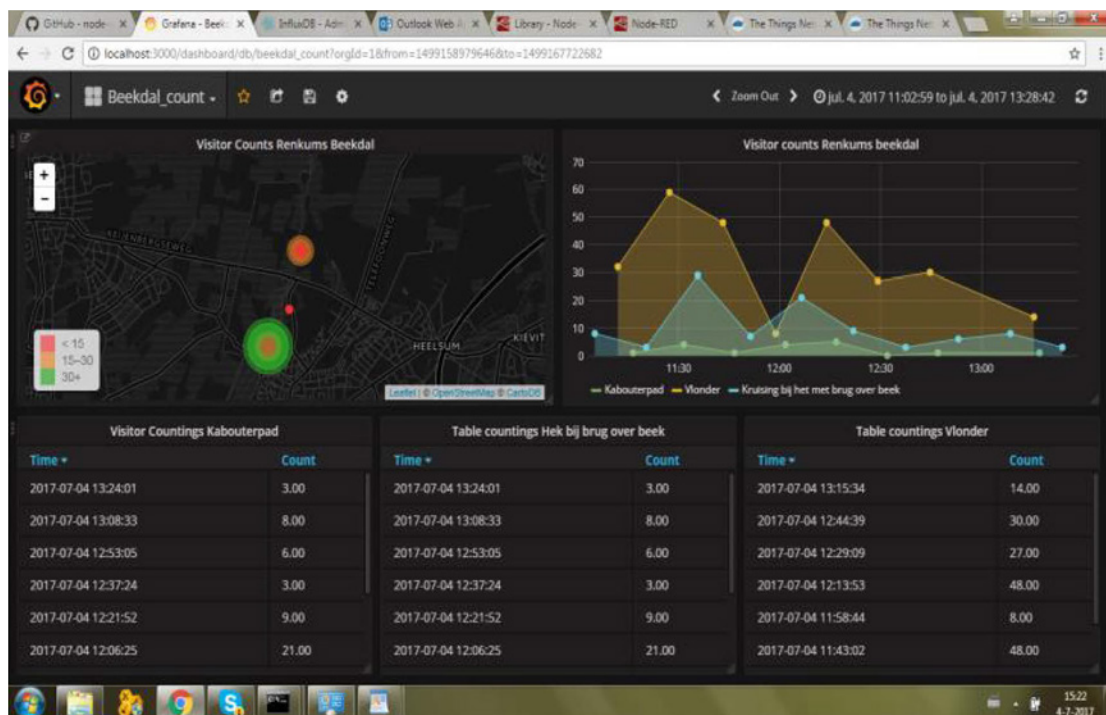
Tiid	Count	Honden	Mensen	Foute waarnemingen	Nauwkeurigheid
14:04	3	-	2	1	67%
14:19	5	-	3	2	60%
14:35	1	1	2	-	50%
14:50	6	-	3	3	50%
15:06	3	-	4	-	75%
15:22	7	-	12	-	58%
15:37	1	-	1	-	100%
15:52	1	-	-	1	0%
16:08	1	-	1	-	100%

In beide gevallen lijkt de aanwezigheid van honden geen invloed te hebben op het aantal counts van de sensoren.

Wanneer de nauwkeurigheid wordt vergeleken met andere onderzoeken dan is een nauwkeurigheid van 60% redelijk laag. In een onderzoek in Oostenrijk (Kahler & Arnberger, 2008) is de nauwkeurigheid 79% in een vergelijking tussen PIR-sensoren en video-opnamen en in Amerikaanse State Forests en National Parks (English, 2017), komt een nauwkeurigheid uit tussen de 66 en 74%. De oorzaken van de relatief lage nauwkeurigheid is dat de PIR-sensoren in het Renkums Beekdal toch behoorlijk gevoelig zijn voor zonlicht en ook de wind heeft invloed. Twee punten die ook in de literatuur al werden genoemd.

4.3 Een overzicht van het dashboard

Via de TTN account werden de gegevens verzonden naar Node-red, waar de lengte- en breedtegraad werden toegevoegd per sensor, en vervolgens doorgestuurd naar InfluxDB voor de opslag van de gegevens voor de lange termijn. Deze gegevens werden keurig in Grafana door tabellen, grafieken en kaarten, met behulp van de "wereldkaart plugin" gepresenteerd. Figuur 12 geeft een screenshot van dit Grafana-dashboard.



Figuur 12 Screenshot van interactieve dashboard interface in Grafana.

Dit dashboard is op de computer lokaal toegankelijk via <http://localhost:3000> waarop Node-red en influxDB ook lokaal zijn geïnstalleerd. De lokale host kan andere gebruikers, die Grafana hebben geïnstalleerd, toegang geven tot het dashboard en die gebruikers kunnen dan ook de data opvragen en presenteren naar hun eigen voorkeur.

De grafiek in Grafana (figuur 9) laat zien we dat de tellingen per sensor afzonderlijk worden weergegeven. Duidelijk is op de figuur de pieken te zien bij het Vlonderpad met 48 tellingen per 15 minuten. Deze wellicht foute waarnemingen worden veroorzaakt door het zonlicht.

4.4 Totaal bezoek

Uiteindelijk duurde de testfase circa 10 dagen. De batterijen waren na 10 dagen leeg bij sensor beekdal_05 en beekdal_02 en na 7 dagen bij beekdal_01. Wanneer de 60% nauwkeurigheid wordt toegepast op de oorspronkelijke data, dan zijn er op de getelde dagen in totaal 2912 personen geweest. Op zaterdag 1 juli zijn de sensoren opnieuw afgesteld en op vrijdag 7 juli was er een storing (tabel 8).

Gemiddeld zijn er dan 127 personen per dag geweest. Het is onduidelijk hoe de bezoekers het gebied precies gebruikt hebben, maar wellicht is een persoon zowel langs beekdal_01 en beekdal_02 geweest en dus twee keer geteld. Het totaal moet dan door twee gedeeld worden, waardoor er gemiddeld circa 64 personen per dag in het gebied zijn geweest in de onderzochte periode.

Tabel 8 Aantal bezoekers per dag per PIR-sensor.

Dag	Datum	Beekdal_05		Beekdal_02		Beekdal_01	
		N	60%	N	60%	N	60%
zondag	9-7-2017	56	34	85	51		
zaterdag	8-7-2017	241	145	147	88		
vrijdag	7-7-2017	0	0	0	0		
donderdag	6-7-2017	5	3	22	13	15	9
woensdag	5-7-2017	221	133	222	133	208	125
dinsdag	4-7-2017	241	145	689	413	91	55
maandag	3-7-2017	789	473	701	421	11	7
zondag	2-7-2017	263	158	267	160	261	157
zaterdag	1-7-2017	5	3	0	0	0	0
vrijdag	30-6-2017	150	90	103	62	59	35
Totaal		1971	1183	2236	1342	645	387

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Inleiding

Het veldexperiment heeft gegevens opgeleverd en de data zijn in een database opgeslagen, verwerkt en gepresenteerd. In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de waarde is van dit experiment om een dergelijke methode daadwerkelijk in het gebied en eventueel in andere gebieden toe te passen. Naast de conclusies worden er ook aanbevelingen gegeven.

5.2 Hoofdconclusie

Het antwoord op de probleemstelling is dat het LoRa systeem bruikbaar is voor het tellen van de bezoekers in het natuurgebied van het Renkums Beekdal maar niet optimaal. Dit komt enerzijds door de voorwaarden dat het zo goedkoop mogelijk moet en de beheerder weinig tijd moet kosten. De materiele kosten zijn nu eenmalig € 3200,-. Met een hogere investering kunnen de data nauwkeuriger worden en kan een meer gebruiksvriendelijke interface worden aangeschaft. Dan komen er wel jaarlijkse kosten bij. Wel blijft er altijd werk (dus tijd) in verband met het heropladen van de batterijen. Dit zou door vrijwilligers kunnen worden gedaan, maar vraagt wel om extra werkinspanning. Anderzijds zijn er nog diverse testen uit te voeren om het systeem optimaler te krijgen zoals het instellen van andere coderingen en andere apparatuur zoals andere (PIR) sensoren en zonnepaneeltjes in combinatie met de batterijen. Met extra testen kan ook onderzocht worden hoe het bereik van de Lora gateway kan worden verhoogd, eventueel in samenwerking met KPN.

5.3 Microchip

Het zelf solderen van de pinnen op de microchips is kostenbesparend, maar brengt een risico met zich mee. Het is zeer belangrijk om goede soldeermaterialen bij het solderen te gebruiken, want door het gebruik van de verkeerde materialen zijn er 12 microchips vernietigd.

5.4 Bezoek en PIR nauwkeurigheid

In totaal zijn er gemiddeld circa 64 personen per dag in het gebied geweest in de onderzochte periode. Door de beperkt aantal gebruikte sensoren is er geen voldoende informatie over de spreiding van bezoekers over het gebied.

De nauwkeurigheid van de geteste sensoren was slechts 60% wat lager is dan verwacht gezien de literatuur. Het is aan te bevelen om op meer dagen en op verschillende dagen handmatig te tellen ter controle. Vooral de foute waarnemingen door middel van wind en zonnestraling is een probleem. Deze factoren traden vooral vroeg in de ochtend op zodat de nauwkeurigheid maar 10% was. De meest nauwkeurige metingen zijn verricht op plaatsen waar bezoekers worden gedwongen om achter elkaar te lopen zoals het hek bij de sensor beekdal_05.

De wind heeft dus invloed op de tellingen door het bewegen van blaadjes. Dit kan deels worden voorkomen door de PIR-sensor te versmallen door een stukje pijp te monteren over de sensor, waardoor er een rechter/smaller gezichtsveld ontstaat en de invloed van blaadjes wellicht minder is.

Ter bestrijding van warmtegevoeligheid is het raadzaam dat de sensoren in permanente schaduw worden geplaatst. Daarnaast is het raadzaam om de sensoren zo dicht mogelijk op het pad en op een

hoogte te plaatsen dat alleen mensen worden geteld. De locaties moeten zodanig gekozen worden dat de kans zeer groot is dat er alleen wandelaars worden geteld die ook nog achter elkaar lopen, bijvoorbeeld bij een hek. Fietzers hebben invloed op de hersteltijd van de sensor. Een andere oplossing is om twee PIR sensoren te gebruiken die schuin tegenover elkaar staan. Niet alleen kan dan de richting van de wandelaar worden geregistreerd. De kans op foute waarnemingen door zonlicht en wind is dan ook kleiner. Wel stijgen dan de kosten.

5.5 Levensduur van de batterij

De levensduur van de batterij is veel korter dan de verwachte 22 dagen, namelijk 10 dagen. Ofwel de batterij was niet volledig opgeladen of de Sleepydog-library die geïnstalleerd is, gebruikt meer stroom dan 300 uA. Desalniettemin zijn 10 dagen misschien wel lang genoeg voor het testen van de sensor-netwerk, maar is veel te kort wanneer op grote schaal dit moet worden toegepast. De levensduur van de batterij kan worden verhoogd door een sterkere batterij te kopen dan de 1200 mAh batterij die nu is aangeschaft. Ook kan gedacht worden aan het installeren van een klein zonnepaneel aan de sensor. De aanschaf van een klein zonnepaneel maken de kosten wel hoger maar zijn beperkt (circa € 10,-). Wel is de kans op diefstal groter. Ten slotte kan er wellicht nog iets gewonnen worden door een andere en meer efficiënte codering, zoals de sleeping-time instellingen. Ook kan er een extra module op de Adafruit Feather worden toegevoegd, zoals een tijdsweergave. Deze module voegt het exacte tijdstip aan de node toe wanneer het geactiveerd wordt. Door deze nauwkeurige tijdsregistratie kunnen de pakketjes bijvoorbeeld eens per uur verzonden worden in plaats van het nu geïnstalleerde 15 minuten. Dit verhoogt de levensduur van de batterij terwijl er een nauwkeuriger tijdsregistratie van de wandelaars wordt verzonden.

5.6 Bereik van de gateway

Het theoretische bereik van de LoRa-gateway wordt gesteld op 20 km, maar dit is bij goede weersomstandigheden en een vlak open terrein waardoor er duidelijke zichtlijnen zijn tussen de nodes/sensoren en de gateway. Het bereik in het Renkums Beekdal is tussen de 1 en 4 km, afhankelijk van de aanwezigheid van bebouwing en heuvels. De gateway zelf was geïnstalleerd op het dak van het Mussennest, maar lag toch in een dal. Een gateway moet dus zo hoog mogelijk worden geplaatst voor het beste bereik.

De testen zijn alleen gedaan met een eenvoudige gesoldeerde draadantenne met een lengte van 8,2 cm. Er bestaan ook fabrieksmatige plug and play antennes die zijn afgestemd op het 868 mhz frequentie die wellicht een groter bereik hebben. Het is aan te raden om dergelijke antennes te testen.

5.7 Visualisatie in dashboard

Het programma Node-red is succesvol geïnstalleerd om de datastroom van TTN te transporteren naar programma's voor gegevensopslag en visualisatie. De sensorgegevens zijn via Node-red direct beschikbaar en beheersbaar op een interactieve manier. De computer waar Node-red op is geïnstalleerd werkt dan als een server. Dit betekent echter wel dat die computer altijd online moet zijn. Via Node-red worden de data voor langere tijd opgeslagen in het programma InfluxDB die weer kan worden gebruikt om de data visueel aantrekkelijk weer te geven via het programma Grafana. Al deze programma's zijn gratis te installeren. Toch is het niet gelukt om derden de programma's te laten installeren. Het is dan ook de vraag of beheerders van natuurgebieden de resultaten op een eenvoudige manier op hun computerscherm krijgen. Er bestaan ook kant en klare programma's waarbij er alleen ingelogd moet worden om de resultaten te zien via een gebruiksvriendelijke interface. Deze programma's zijn echter niet gratis.

Literatuur

Dweet.io., 2017. Getting Stored Dweets. Retrieved July 4, 2017, from <http://dweet.io/>

Foundation, J., 2017. Node-RED. Retrieved from <https://nodered.org/about/>

InfluxData, I., 2017. influxdata. Retrieved July 23, 2017, from <https://www.influxdata.com/about/>

Juutinen, A., Mitani, Y., Mäntymaa, E., Shoji, Y., Siikamäki, P., & Svento, R., 2011. Combining ecological and recreational aspects in national park management: A choice experiment application. *Ecological Economics*, 70(6), 1231–1239. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.006>

Kajala, L., Almik, A., Dahl, R., Dikšaitė, L., Erkkonen, J., Fredman, P., Jensen, F. Søndergaard, Karoles, K., Sievänen, T., Skov-Petersen, H., Vistad, O. I. and W., 2007. Visitor monitoring in nature areas – a manual based on experiences from the Nordic and Baltic countries. <https://doi.org/10.6027/TN2007-534>

Miller, A. B., Leung, Y.-F., & Kays, R., 2017. Coupling visitor and wildlife monitoring in protected areas using camera traps. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 17(May 2016), 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2016.09.007>

Mysensor, F., 2014. How do I use the interrupt. Retrieved July 4, 2017, from <https://forum.mysensors.org/topic/250/how-do-i-use-the-interrupt/6>

Active Living Research, 2013. Counting Bicyclists and Pedestrians to Inform Transportation Planning.

Semtech., 2017. What is LoRa? Retrieved from <http://www.semtech.com/wireless-rf/internet-of-things/what-is-lora/>

UNWTO [United Nations World Tourism Organization], 2007. Yearbook of Tourism Statistics. Spain. Retrieved from <http://www.bioone.org/>

Utc, P. M., 2017. Adafruit Feather M0 Radio with LoRa Radio Module.

Ward, J., & Beanland, R., 1995. Ontwikkeling van milieu-indicatoren voor het toerisme in natuurgebieden: een voorstudie. Ontvangen van <https://researcharchive.lincoln.ac.nz/handle/10182/1143>

Kahler, A. and Arnberger, A., 2008. A comparison of passive Infrared counter results with time lapse video monitoring at a shared urban recreational trail. In *Management for Protection and Sustainable Development-The Fourth International Conference on Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*. Montecatini Terme, Italy.

Zhang, Z., Gao, X., Biswas, J. and Wu, J.K., 2007, July. Moving targets detection and localization in passive infrared sensor networks. In *Information Fusion, 2007 10th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.

Arora, A., Ramnath, R., Ertin, E., Sinha, P., Bapat, S., Naik, V., Kulathumani, V., Zhang, H., Cao, H., Sridharan, M. and Kumar, S., 2005, August. Exscal: Elements of an extreme scale wireless sensor network. In *Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, 2005. Proceedings. 11th IEEE International Conference on* (pp. 102-108). IEEE.

Goossen, C.M. and Kiers, M.A., 2015. Mass mapping: state of art en nieuwe ideeën om bezoekersaantallen in natuurgebieden te meten (No. 29). *Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu*.

Bijlage 1 Locaties sensoren

Onderstaand de mogelijke locaties voor plaatsing van de sensoren, met tussen haakjes de oorspronkelijk gekozen locaties.

Paden beginnend bij Parkeerplaatsen/horeca:

1 NIVON-huis
Panoramahoeve
Koetshuis
2 Nabij camping Dikkenberg
3 NatuurcampingQuadenoord
4 Everwijnsgoed
5 Overkant Keijenbergseweg/benekomseweg N782
25 Bennekomseweg
6 Natuurinfocentrum Renkums Beekdal
Nol in 't Bosch
7 Campman/begraafplaats
8 Geertjesweg achtsprong van paden
Ommuurde tuin
9 Oranje Nassau oord kruising domeinweg/koninginnelaan
Eethuys Airborne
Scheidingslaan
Telefoonweg

Paden beginnend bij OV-haltes bus:

Grotelaan
Wagenings berg
Oranje Nassau oord
10 Kortenburg
Begraafplaats
Waterweg
Buunderkamp
Telefoonweg

Paden beginnend bij bebouwing:

Groenendaalseweg/onder de bomen
Beukenlaan/waterweg
Schaapsdrift
11 Schaapsdrift
Nieuwe Keijenbergseweg/Schaapsdrift
Zandweg/Schaapsdrift
Bennekomsweeg/Schaapsdrift
Telefoonweg

Paden langs bijzonderheden:

12 Hek kabouterpad
13 5-sprong paden NO van Everwijnsgoed
14 Grafheuvels Slingerpad
Grafheuvel Prinsenlaan
Grafheuvel Panoramaweg
b Maarten van Rossumpad
c Klompenpad Hartensepad
Klompenpad Wageningse Eng
Klompenpad Molenbeeksepad
d NS-wandeltocht Belmonte

-
- 19 Arboretum Oostereng
 - 15 Uitzichtpunt Doctor Hartogsweg
 - 16 Kunstwerk Hartenseweg
 - 17 Brug uiterwaarde renkumse beek, klompenpad
 - 18 Vlonderpad tussen molenbeek en oliemolenbeek nabij herenvijver
 - Tweede Vlonderpad tussen molenbeek en oliemolenbeek
 - Brug over molenbeek en oliemolenbeek bij Quadenoord Boschbeek
 - 20 Brug Quadenoord, bosbeekweg (incl. Fietsers)
 - Brug 2^e quadenoordse spreng
 - Brug 1e quadenoordse spreng
 - 21 Brug Paradijspreng
 - 22 6-sprong ten zuidoosten van dikkenberg
 - 23 Kruising parallelweg/wijde veldweg
 - 24 5-sprong nabij wijde veldweg

Fietsroutes

Knooppunt 80, 41, 97/11, 82, 89, 88

Mountainbikeroutes

Running Strava



Wageningen University & Research
Wetenschapswinkel
Postbus 9101
6700 HB Wageningen
T (0317) 48 39 08
E wetenschapswinkel@wur.nl

www.wur.nl/wetenschapswinkel

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

