

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT

Masterthesis

Verzamelen Fysiologische Gegevens bij Hartpatiënten met
Smartphone

PROMOTOR :

dr. Kris AERTS

PROMOTOR :

Mevr. Julie VRANKEN

Niels Guilliams, Robin Verhoeven

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT



KU LEUVEN

Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



KU LEUVEN

2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT

Masterthesis

Verzamelen Fysiologische Gegevens bij Hartpatiënten met
Smartphone

PROMOTOR :

dr. Kris AERTS

PROMOTOR :

Mevr. Julie VRANKEN

Niels Guilliams, Robin Verhoeven

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT



KU LEUVEN

VOORWOORD

Het uitgangspunt van dit onderzoek kwam vanuit het standpunt van de hartpatiënten. Het is belangrijk dat deze patiënten actief en voldoende revalideren om succesvol hun gezondheid te verbeteren. Om dit doel te bereiken ontstond het idee om dit te doen via een applicatie op de smartphone, aangezien deze slimme apparaten in staat zijn om veel nuttige gegevens te verzamelen.

Dit onderzoek leek voor ons de beste manier om in contact te komen met de werkvloer, de wereld voorbij de schoolmuren. Wij zijn met volle overtuiging aan dit onderzoek begonnen in de hoop ons steentje bij te kunnen dragen aan de maatschappelijke gezondheid. De aanleiding om voor dit onderwerp te kiezen kwam mede door onze persoonlijke interesse voor het ontwikkelen van applicaties en anderzijds uit het feit dat we zelf vaak actief bezig zijn met sporten (fitness, wandelen, fietsen). Ons persoonlijke leven leek een ideaal vertrekpunt om van start te kunnen gaan met dit gedurfde project.

Tijdens dit project of onderzoek is onze algemene kennis als ingenieur toegenomen. Wij hebben niet allen inzichten mogen vergaren op het gebied van keuzes maken maar ook op het gebied van rekening houden met verschillende standpunten. Tijdens de ontwikkeling van dit project is voor ons duidelijk geworden wat er van een ingenieur verwacht wordt. Zo is het duidelijk geworden dat het belangrijk is academisch verantwoorde keuzes te maken en deze op voldoende wijze toe te lichten. Daarnaast is ook onze kennis als ontwikkelaar toegenomen door de impact van dit project. Omgaan met kritiek en kunnen luisteren naar feedback is ook zeker een factor die voor ons belangrijk was. Dankzij de goede begeleiding zijn wij ene stap vooruit gegaan.

Dit project was nooit in zijn huidige staat geraakt zonder de professionele begeleiding van onze promotors. Ten eerste willen wij graag dr. Kris Aerts bedanken voor de ondersteuning in het vergaren van extra inzicht. Ook bedanken wij dr. Kris Aerts voor het meermaals nalezen van onze thesis en daarbij waardevolle constructieve kritiek te geven. Verder willen wij ook het hele team van de Mobile Health Unit van UHasselt bedanken. Zij hebben ons voldoende begeleid dankzij de waardevolle meetings. Daarnaast zouden wij graag een extra bedankwoord uit willen schrijven voor onze externe promotor Valerie Storms. Wij bedanken mevrouw Storms voor de begeleiding gedurende de beginfase van het onderzoek. Wegens gezondheidsredenen heeft ze tot onze spijt echter moeten afhaken, wij wensen haar overigens nog veel beterschap toe. Als laatste willen wij mevrouw Julie Vranken bedanken om meermaals met ons in gesprek te gaan en daarbij een duidelijk kader te scheppen voor dit project. Ook heeft zij de begeleiding van de externe promotor zo goed als ze kon overgenomen.

Het was een unieke ervaring om met deze toffe mensen samen te werken. Wij kunnen alvast zeggen dat we dit onderzoek met volle overtuiging afsluiten en met een positief gevoel terugkijken naar de ervaringen die wij opgedaan hebben.

INHOUD

INLEIDING	11
LITERATUURSTUDIE	13
De hartpatiënt	13
Authenticatie	14
Session Based	14
SSL/TLS	15
API Keys	15
API Token	16
Security Assertion Markup Language (SAML)	18
Extensible Access Control Markup Language (XACML)	18
Oauth1.0 en OAuth 2.0	18
OpenIDConnect	19
Vergelijking	20
Autorisatie	21
Hartslagmeting	21
Elektrocardiografie (ECG)	22
Fotoplethysmografie (PPG)	23
Gekozen methode	26
Hoogtedata	26
Gps	26
Hoogtemeter	27
Hoogtedata	28
Het kiezen van een geschikte methode	28
Implementatie van hoogtedata	29
WGS84 en EGM96	29
Park applicatie versus Standalone applicatie	30
Kaarten API	31
MATERIALEN EN METHODE	33
Login	33
Hoofdscherm met kaart	34
Activiteit met gps	34
Locatieservice	35

Activiteit zonder gps	36
Dataverwerking.....	37
Lijst met activiteiten	39
Meting zonder gps	39
Meting met gps.....	40
Details van de activiteit bekijken	41
Meting zonder gps	42
Meting met gps.....	43
Health tracks.....	46
Menu.....	47
RESULTATEN EN DISCUSSIE	48
Nauwkeurigheid	48
Hartslagmeting.....	48
Stappenteller.....	48
Gps	48
Hoogte	52
Snelheid	53
Gebruiksvriendelijkheid.....	54
CONCLUSIE.....	57
VERDER ONDERZOEK	61

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1: Vergelijking authenticatie protocollen.....	20
Tabel 2: Hartslagmeting op eenzelfde testpersoon in verschillende omstandigheden.....	25
Tabel 3: Vergelijkingscriteria hartslagmeting met smartphone of wearable (specifieke sensor)	25
Tabel 4: Meetresultaten stappenteller, zelfde proefpersoon, andere activiteiten	48

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1: Voorbeeld JWT header.....	16
Figuur 2: Voorbeeld JWT payload	16
Figuur 3: Voorbeeld JWT signature.....	17
Figuur 4: Weergave JWT werking	17
Figuur 5: Basiswerking OAuth protocol	19
Figuur 6: ECG Diagram, voorbeeld van elektrische signalen afkomstig van het hart.	22
Figuur 7: Voorbeeld ECG diagram, x-as seconden, y-as millivolt.....	22
Figuur 8: Voorbeeld PPG signaal, x-as tijd in seconden, y-as hoeveelheid reflectie	Fout!

Bladwijzer niet gedefinieerd.

Figuur 9: Illustratie van satelliet signalen die elkaar snijden	26
Figuur 10: Klokkfouten op ontvangen signalen	27
Figuur 11: EGM96 geoïde toont de afwijking van het zeeniveau ten opzichte van WGS84.....	30
Figuur 12: Schema van het scenario gebruikt om in te loggen.....	33
Figuur 13: Beginscherm na het inloggen	35
Figuur 14: Detailweergave real-time hartslagmeting.....	37
Figuur 15: Schema bewaren en uploaden van data	38
Figuur 16: Lijst met uitgevoerde activiteiten (zonder GPS)	39
Figuur 17: Lijst met uitgevoerde activiteiten (met GPS)	40
Figuur 18: Detailweergave meting zonder GPS	42
Figuur 19: Detail weergave activiteit zonder GPS met geselecteerde datapunt.....	43
Figuur 20: Details van een geselecteerde activiteit.....	44
Figuur 21: Schema van toevoegen hoogtedata aan locaties	45
Figuur 22: Menustructuur van de applicatie.....	47
Figuur 23: Gps-gegevens met slechte instellingen	49
Figuur 24: Gps-gegevens met goede instellingen	49
Figuur 25: Vergelijkingen berekende snelheid (blauw) en snelheid uit gps (rood).....	50
Figuur 26: Ruwe snelheidsdata	50
Figuur 27: Resultaat van Hampel-filter (rood) t.o.v. het origineel (blauw)	51
Figuur 28: Resultaat van de moving average filter (rood) t.o.v. originele data (blauw)	51
Figuur 29: Boven het resultaat van de exponentiële filter (rood) en originele data (blauw), onder zonder exponentiële filter	52
Figuur 30: Route met hoogtegegevens	52
Figuur 31: Route met hoogtedata in de stad Brugge	53

ABSTRACT

De revalidatie van een hartpatiënt gebeurt meestal in een gecontroleerde omgeving in het ziekenhuis. Veel patiënten kijken hier tegenop: enerzijds omdat ze zich moeten verplaatsen en anderzijds omdat de oefeningen meestal repetitief zijn en als klinisch ervaren worden. Aangezien de sessies dikwijls niet verplicht zijn, zal het niet verbazen dat er regelmatig sessies worden overgeslagen wat een negatieve invloed heeft op het herstel van de patiënt.

Om dit probleem aan te pakken moet de drempel om actief te revalideren omlaag. Dit kan worden bereikt door de patiënt zelf een locatie te laten kiezen met vrijere activiteiten. Om het revalidatieproces op te kunnen volgen, moet de patiënt een applicatie gebruiken die fysiologische gegevens zoals hartslag, snelheid en afstand registreert. Deze gegevens worden doorgestuurd naar de fysioloog die zo de voortgang van de patiënt kan monitoren.

De applicatie die hiervoor gebouwd werd, slaagt erin om alle belangrijke parameters op te nemen met voldoende precisie. Zo wordt de hartslag opgemeten met een externe sensor en worden gps-gegevens gecombineerd met gevalideerde kaarten en hoogtemetingen. Dit alles wordt aan de hand van geavanceerde authenticatie doorgestuurd naar een server beheerd door het ziekenhuis.

De huidige versie kan de gegevens enkel opslaan. De artsen kunnen hun patiënten nog niet opvolgen. Een belangrijke vervolgstap is dan ook de ontwikkeling van een dergelijk artsenplatform, maar dit lag buiten de scope van deze masterproef.

ABSTRACT IN ENGLISH

The rehabilitation of a heart patient mostly happens in a controlled environment in the hospital. Many patients are not enthusiastic about this: on one hand because they must transport to the hospital and on the other hand because the practices are experienced as repetitive and clinical. Since the sessions are often not obligated, it is not surprising that some sessions are skipped, which does not benefit the health of the patient.

To address this problem, the threshold to rehabilitate must be lowered. This can be achieved by letting the patient choose a location with activities that allow more freedom. To be able to follow up the rehabilitation process, the patient must use an application that can register physiologic parameters like heart rate, speed and distance. This data will be send to the physiologist, who can monitor the advancements of the patient in this way.

The application that was purpose-built for this, succeeds to gather all important parameters with decent precision. The heart rate is measured with an external sensor and the GPS-data is combined with validated maps and height-measurements. All this data is send to a server in control of the hospital with the aid of advanced authentication.

The current version of the application is only able to save data and connect to a server. It is not possible for the doctors to access the data in the hospital. This is an important aspect that will have to be realized, but it was out of the scope of this project.

INLEIDING

Het doel van dit project is om fysiologische gegevens van hartpatiënten te registreren met een smartphone. Deze gegevens kunnen vervolgens worden doorgestuurd naar de database van het ziekenhuis, waar deze worden geanalyseerd. Dit maakt het mogelijk om patiënten op een locatie naar keuze te laten revalideren, bijvoorbeeld een natuurgebied, in plaats van een revalidatiesessie in het ziekenhuis waar ze soms een grote verplaatsing voor moeten maken. Uiteindelijk moet dit de drempel om te gaan revalideren verlagen.

Aangezien het over hartpatiënten gaat, is het belangrijk dat de juiste fysiologische gegevens worden verzameld. Met behulp van snelheid, stappenteller, afstand en hoogteverschillen kan er een schatting worden gemaakt van hoeveel moeite een activiteit kost. Verder wordt ook de hartslag geregistreerd. De verzamelde gegevens worden beveiligd doorgestuurd naar het platform van het ziekenhuis. Vervolgens kunnen er overeenkomsten worden gevonden tussen het inspanningsniveau en de hartslag die vertellen hoe het met de conditie van de patiënt is gesteld. De bedoeling is om zoveel mogelijk van deze gegevens vast te leggen met een smartphone, aangezien dit een apparaat is dat de meeste mensen hebben. De hartslag kan worden gemeten met een polsband die via bluetooth verbinding maakt met de smartphone.

Dit project zorgt ervoor dat hartpatiënten beter kunnen revalideren. Lang niet alle patiënten volgen namelijk alle revalidatiesessies van het ziekenhuis. Door hen de optie te geven om zelfstandig op een locatie naar keuze een activiteit te doen, wordt de drempel om te revalideren verlaagd. Ze moeten bijvoorbeeld geen grote verplaatsing meer doen naar het ziekenhuis en ook de activiteit zelf is minder eentonig dan bijvoorbeeld op een hometrainer te zitten.

In dit onderzoek wordt de applicatie besproken. Ten eerste worden er een aantal keuzes voor het verzamelen van data uitgelegd. Daarna wordt de werking van de applicatie beschreven, soms met een blok code om een bepaalde functie toe te lichten. Vervolgens worden de resultaten besproken: er wordt nagegaan hoe precies en betrouwbaar de gemeten resultaten zijn door middel van testen en door te vergelijken met andere methodes.

LITERATUURSTUDIE

In het eerste hoofdstuk gaat men aan de slag met de gekregen onderzoeksvraag. In dit hoofdstuk gaat men op zoek naar informatie over de belangrijke delen die van toepassing zijn op het onderzoek. Daarnaast worden de belangrijkste keuzes doorheen dit onderzoek uitgelegd en voldoende toegelicht.

De hartpatiënt

Een eerste aspect in dit onderzoek is de hartpatiënt zelf. Om van start te kunnen gaan is er een duidelijk beeld nodig wat een hartpatiënt doorstaan heeft, welke beweging en gegevens belangrijk zijn voor deze patiënt.

Onder hartpatiënt kan men een patiënt verstaan die herstelt van eender welke operatie aan het hart. De verschillende aandoeningen en operaties liggen buiten het doelgebied van dit onderzoek en zullen daarom niet behandeld worden. Echter kan er een algemeen beeld geschetst worden van de aard van de ingreep en de revalidatie achteraf [1].

Een hartpatiënt wordt verondersteld na de operatie zo veel mogelijk te rusten om het hart de tijd te geven te herstellen. De lengte van dit herstel hangt van patiënt tot patiënt af. Na het herstel zal in het ziekenhuis van start gegaan worden met revalidatie. Dit houdt in dat de patiënt samen met een toegewezen fysiotherapeut enkele kleine lichte oefeningen zal doen die een inspanning van de patiënt vereisen. Hoe langer men in het ziekenhuis verblijft, hoe zwaarder de inspanningen worden.

In het voorlaatste stadium zal de patiënt verwacht worden om oefeningen verder te zetten in de revalidatiezaal van het ziekenhuis. In deze zaal staan een aantal toestellen die een fysieke inspanning mogelijk maken zoals wandelen, lopen, fietsen, etc. Deze revalidatiesessies zullen tijdens het verblijf van de patiënt in het ziekenhuis zo goed als elke dag plaatsvinden.

In het laatste stadium zal de patiënt uit het ziekenhuis ontslaan worden omdat zijn of haar toestand stabiel is. In dit stadium zal van de patiënt verwacht worden dat hij of zij vanuit thuis revalideert. Typisch gebeurt dit in de eerste paar maanden door 3 of 4 keer per week naar het ziekenhuis te komen en met de fysioloog verder aan de slag te gaan en enkele oefeningen te doen.

Omdat de revalidatie vaak maandenlang in dezelfde binnen omgeving gehouden wordt is de ontwikkeling van een applicatie die het mogelijk maakt ook buiten te revalideren noodzakelijk. Hiervoor is een onderzoek naar de juiste aanpak en fysiologische gegevens nodig.

In dit onderzoek is nagegaan welke gegevens belangrijk zijn voor een hartpatiënt door contact op te nemen met de revalidatiearts. Een eerste belangrijke parameter is de hartslag. Deze moet gedurende de hele inspanning opgemeten worden voor verdere evaluatie. De evaluatie van de hartslag gebeurt door de revalidatiearts. Als de arts ziet dat de hartslag relatief laag blijft dan kan de inspanning van de patiënt verhoogd worden. In tegenstelling, als de arts ziet dat de hartslag van de patiënt te lang te hoog blijft dan moet de inspanningsgraad van de oefening verlaagd worden.

Naast hartslag is het ook belangrijk een relatieve inspanningsgraad te weten van de beweging. Deze inspanningsgraad kan zoals hierboven vermeld is, gebruikt worden om te bepalen of de patiënt de volgende training een lagere inspanning, dezelfde inspanning of een hogere inspanning moet leveren.

Authenticatie

Uit vorige aspect blijkt dat het belangrijk is om persoonlijke gegevens en gemeten data van elke patiënt te bewaren. Deze gegevens worden door het medisch personeel en door de gebruiker zelf bekeken, een buitenstaander mag hier dus geen toegang tot verkrijgen. Volgens de Europese wetgeving omtrent privacy zijn dit gevoelige gegevens en moet hier voorzichtig mee omgesprongen worden [2].

Om het probleem van privacy op te lossen is er onderzoek gedaan naar de juiste methode voor authenticatie. De definitie van authenticatie stelt dat authenticatie een proces is waarbij er nagegaan wordt of de gebruiker, dit kan een computer of applicatie zijn, daadwerkelijk is wie hij beweert te zijn. Daarnaast wordt er tijdens de authenticatie ook gecontroleerd of de server effectief de gewenste server is [3].

Toegepast op dit onderzoek is authenticatie dus noodzakelijk om na te gaan welke gebruiker of patiënt toegang heeft tot welke gegevens en bovendien om na te gaan of de applicatie die met de server wil verbinden ook toegang mag krijgen tot de data. Men kan dus twee delen van authenticatie onderscheiden, nl. op basis van de gebruiker en op basis van de applicatie

Sinds het ontstaan van internet en gegevensverwerking zijn er allerhande protocollen voor authenticatie ontwikkeld. In dit onderzoek zijn een aantal veelgebruikte protocollen vergeleken en is het meest toepasbare protocol gekozen. Men kan acht protocollen onderscheiden, namelijk: *session based* authenticatie, *SSL/TLS*, *API Keys*, *API Tokens*, *Security Assertion Markup Language (SAML)*, *Extensible Access Control Markup Language (XACML)*, *Oauth* en *OpenIDConnect* [4].

Session Based

De *session based* methode is veruit de oudste methode voor authenticatie. Deze methode maakt gebruik van onderliggende cookies. Een cookie is een klein stuk data dat van de server naar de gebruiker gestuurd wordt. Deze cookie wordt vervolgens lokaal bij de gebruiker bewaard en heeft een levensduur die bepaald wordt door de server. In het geval van een *session based* authenticatie zal de server al het zware werk overnemen.

Deze methode werkt op basis van een loginpagina waar de gebruiker zijn of haar gebruikersnaam en wachtwoord kan ingeven. Deze gegevens worden vervolgens naar de server gestuurd en worden gecontroleerd op geldigheid. Dit kan door op te zoeken in een database. Eenmaal deze gegevens als juist geïdentificeerd zijn, gaat de server een *session id* uitsturen. Deze *session id* wordt bij de gebruiker bewaard in de vorm van een cookie. Dit id wordt bij verdere communicatie tussen gebruiker en server gebruikt om elke stap te authentifieren [5].

Deze methode kent enkele voor- en nadelen. Een voordeel is dat dit gemakkelijk te implementeren is, het enige wat er moet gebeuren is dat de server een id genereert en dat de gebruiker dit overneemt voor verder communicatie. Daarnaast is deze methode ook makkelijk combineerbaar met andere protocollen. Het grote nadeel aan deze methode is de veiligheid. Het is mogelijk voor een aanvallen om de data bewaard in *session* variabelen of cookies te stelen [4].

SSL/TLS

SSL of Secure Sockets Layer is een cryptografische laag die toegevoegd kan worden aan eender welke applicatie of server. Deze laag is tegenwoordig verplicht indien er gegevens tussen gebruiker en server uitgewisseld worden cfr. de Europese privacywetgeving [2]. Dit protocol zorgt ervoor dat webpagina's omgezet kunnen worden naar *https* (http secure). In tegenstelling tot het session based protocol biedt SSL enkel encryptie aan en geen extra login authenticatie.

SSL kan geïmplementeerd worden op basis van een SSL-certificaat. Dit certificaat is een klein databestand dat een cryptografische sleutel bevat voor encryptie van het verkeer tussen server en gebruiker. Concreet werkt dit simpelweg door een SSL-certificaat aan te kopen, te installeren op de server en via een regel in de configuratie van de server elk http-verzoek om te leiden naar https [6].

SSL/TLS biedt dus als voordeel dat het snel en makkelijk te implementeren is, komt er op neer dat het certificaat enkel geïnstalleerd moet worden op de server en enkele instellingen aan de configuratie moeten gewijzigd worden. Daarnaast heeft SSL/TLS ook als voordeel dat het naast andere protocollen te gebruiken is. Echter heeft dit protocol ook enkele nadelen. Zo bevatte SSL een aantal lekken waardoor de beveiliging niet meer optimaal verliep om deze reden wordt het voornamelijk enkel nog gebruikt als encryptie.

API Keys

Een volgend veelgebruikte protocol is een API-sleutel. Onder API-sleutel verstaat men een klein bestand of een token die aan de gebruiker gegeven wordt om na te gaan of verbinding met de server geauthentiseerd is.

Een API-sleutel wordt meestal door de server gegenereerd en aan de gebruiker doorgegeven voor opslag. Elke gebruiker krijgt een verschillende sleutel. Deze sleutel bevat typisch een hele reeks aan tekens die samen een lange onleesbare string vormen. Deze string is best zo lang mogelijk voor extra beveiliging. Indien de gebruiker verbinding wil maken met de server zal de server deze sleutel gaan controleren op echtheid.

API Keys hebben als voordeel dat ze duurzaam zijn. Concreet wil dit zeggen dat een API Key bijna nooit verandert, hierdoor zullen services gekoppeld aan deze key blijven werken. Daarnaast hebben API Keys ook een grote entropie. Omdat een API Key uit een hele reeks van random gegenereerde tekens bestaat, ligt de entropie hoger dan bij een standaard wachtwoord. Ook is het de bedoeling dat deze API Key op een veilige plaats wordt bewaard. Door dit te doen is het moeilijker om de key te achterhalen en blijft de gebruiker veilig.

Echter zijn er ook enkele nadelen aan het gebruik van API Keys. In eerste instantie is het moeilijk autorisatie in dit protocol te implementeren. Indien men dit toch doet zal de entropie van de API Key dalen. Een tweede nadeel is het feit dat een API Key niet meer aan te passen is eenmaal deze gemaakt is. Indien er informatie wijzigt en de API Key toch aangepast moet worden dan moet de 'oude' key verwijderd worden en moet er een nieuwe API Key aangemaakt worden. Dit proces vergt extra tijd.

API Token

Om verder te kunnen gaan met de uitleg over hoe een API Token werkt, moet er eerst nagegaan worden wat zo een API Token effectief is. Onderzoek vertelt dat een API Token bestaat in de vorm van een *JSON Web Token (JWT)* [7].

Een JWT heeft standaard drie delen en ziet er als volgt uit: *header.payload.signature*. Merk op dat de drie delen van elkaar gescheiden worden door een punt. Elk van deze drie delen bevat specifieke informatie nodig voor verdere communicatie.

Eerst wordt de header ontleed. Een header bestaat typisch uit twee delen: het type van de token en welk algoritme dat gebruikt werd om de token te vercijferen. Indien men spreekt van een JWT-token zal het type dus ook JWT zijn. De keuze van algoritme om te vercijferen is vrij breed en kan bijvoorbeeld SHA256, RSA of HMAC zijn. Eens deze keuzes in de header bewaard zijn, wordt de header gecodeerd via *Base64*. Deze codeertechniek zet een bepaalde input om naar binaire data gerepresenteerd in 64 bits. Een voorbeeld van zo een ongecodeerde header is in onderstaande figuur weergegeven.

```
{
  "alg": "HS256",
  "typ": "JWT"
}
```

Figuur 1: Voorbeeld JWT header [8]

Het volgende deel van een JWT-token is de *payload*. Deze bevat een aantal gegevens die opgedeeld kunnen worden in drie categorieën: *registered claims*, *public claims* en *private claims* [7]. Een registered claim bevat een aantal vast gedefinieerde parameters. Deze parameters zijn niet verplicht maar bevatten informatie over de token zelf, bijvoorbeeld levensduur, onderwerp, van wie de token is, etc. Deze gegevens worden gedefinieerd aan de hand van sleutels die bestaan uit drie letters. Deze zijn verplicht en geven meestal een naam aan de JWT-token. Als laatste zijn er de public claims. Deze bevatten informatie die door gebruiker en server uitgewisseld worden. Een voorbeeld van een payload is weergegeven in onderstaande figuur. Ook dit deel van de token wordt op het einde gecodeerd met *Base64*.

```
{
  "sub": "1234567890",
  "name": "John Doe",
  "admin": true
}
```

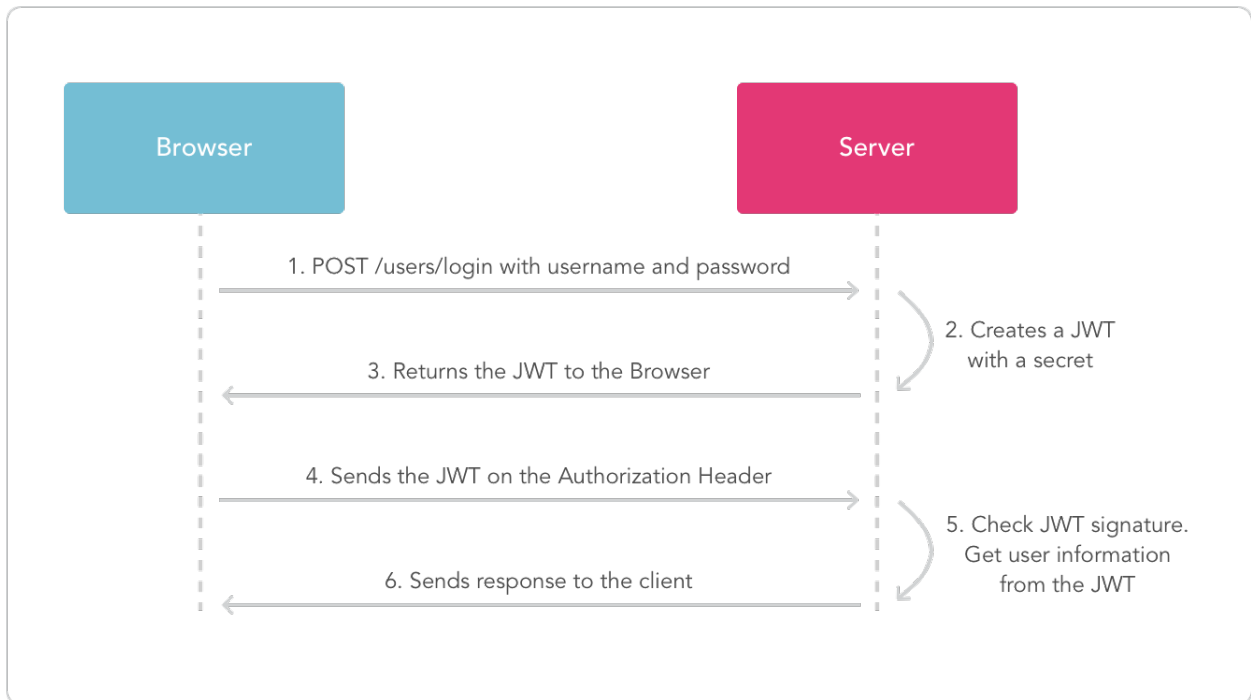
Figuur 2: Voorbeeld JWT payload [8]

Het einde van een JWT-token bevat de handtekening of *signature*. Deze handtekening dient om na te gaan of de JWT-token aangepast is tijdens de transmissie. Dit wordt gedaan door de gecodeerde header en gecodeerde payload samen in het gespecificeerde *hashing* algoritme te steken en dit te versleutelen met een sleutel. Belangrijk is dat deze sleutel enkel gekend is door gebruiker en server. Een voorbeeld van hoe dit in werkelijkheid gebeurd is weergegeven op onderstaande figuur.

```
HMACSHA256(  
  base64UrlEncode(header) + "." +  
  base64UrlEncode(payload),  
  secret)
```

Figuur 3: Voorbeeld JWT signature [8]

De volgende stap is nagaan hoe een JWT token werkt. Om dit uit te leggen kan onderstaande figuur gebruikt worden.



Figuur 4: Weergave JWT werking [8]

Typisch wordt de communicatie aan de hand van JWT-tokens gestart bij de gebruiker. Volgens de afbeelding is dit een browser, maar dit kan ook een applicatie zijn. De gebruiker logt in op zijn of haar toestel met de juiste gebruikersnaam en wachtwoord. Deze gegevens worden via een standaard *POST-request* doorgestuurd naar de server. De server zal de ontvangen gegevens vergelijken met de database en nagaan of de gebruiker gekend is of niet.

Enmaal de gebruiker de toestemming heeft om in te loggen zal de server een JWT-token genereren met een geheime sleutel. Deze token zal vervolgens naar de gebruiker gestuurd worden en de server veronderstelt dat de gebruiker deze token bewaard. De JWT zal dus nooit op de server zelf bewaard worden.

Indien de gebruiker gegevens naar de server wil versturen of wil ontvangen zal de JWT-token verzonden moeten worden in een authenticatie header. Deze header maakt deel uit van een http- of https-verzoek en kan opgevraagd worden door de server. De server zal in de volgende stap deze header gaan controleren, de token uit de header halen en deze decoderen met behulp van de sleutel. Indien de gegevens overeenkomen zal het verzoek toegestaan worden.

API Tokens hebben volgens onderzoek niet echt nadelen en worden in de praktijk zeer vaak gebruikt. De voordelen aan API Tokens zijn dat ze stateless zijn, dit wil zeggen dat er geen informatie wordt bewaard op de server in verband met de token of dat er geen sessies of cookies aangemaakt worden met deze gegevens. Daarnaast hebben API Tokens ook een beperkte levensduur. Dit is een veelvoorkomende techniek en zorgt ervoor dat de token altijd up to date blijft [9].

Security Assertion Markup Language (SAML)

Naast API Tokens en API Keys bestaan er nog enkele meer geavanceerde protocollen, een eerste is SAML. SAML is ontwikkeld in 2001 en is tegenwoordig een open standaard voor *single sign-on* (SSO). SSO betekent concreet dat de gebruiker in kan loggen op één service met een bepaalde gebruikersnaam en wachtwoord. De betreffende service zal dan connecteren met andere services zodat de gebruiker automatisch met deze services kan verbinden zonder opnieuw in te loggen [10].

Ondanks dat SAML relatief oud is, wordt het nog vaak gebruikt voor authenticatie. Daarnaast maakt SAML gebruik van de eXtensible Markup Language (XML). Dit is een taal voor de opmaak van documenten. Deze taal zorgt ervoor dat documenten een welbepaald formaat krijgen en gelezen kunnen worden door heel veel systemen.

Naast het voordeel van SSO en XML heeft SAML ook enkele nadelen. SAML is voornamelijk alleen bedoeld voor authenticatie en veel minder voor autorisatie, federatie en delegatie. Daarnaast is SAML een relatief oud concept.

Extensible Access Control Markup Language (XACML)

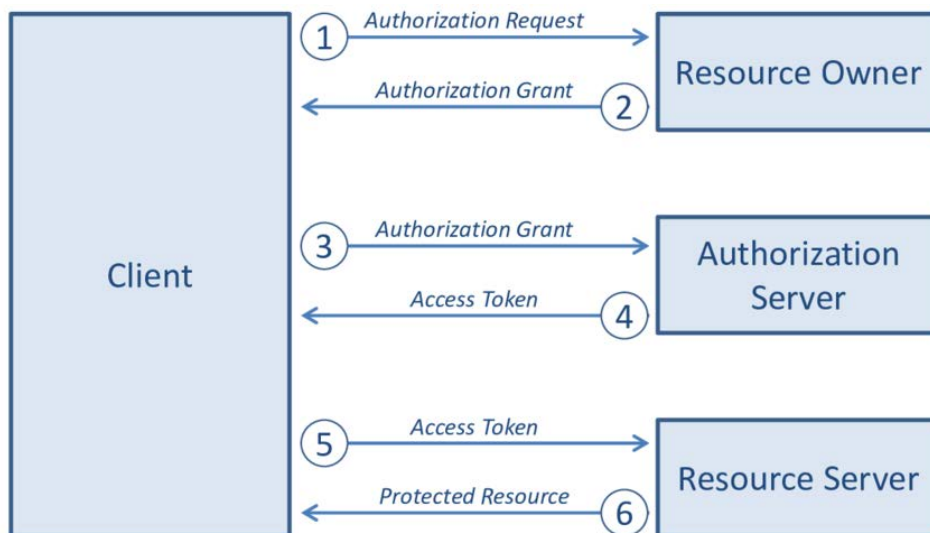
Naast SAML bestaat er ook XACML. Dit protocol is voornamelijk bedoeld voor autorisatie. XACML gebruikt net zoals SAML ook XML om een gestructureerd protocol te vormen. Echter, in tegenstelling tot SAML biedt XACML enkel autorisatie aan en kan dit protocol dus niet alleen gebruikt worden [11].

Ondanks bovenstaande gegeven is het wel mogelijk SAML en XACML in combinatie te gebruiken in een web service. Door de combinatie kan een veiliger systeem ontwikkeld worden.

OAuth1.0 en OAuth 2.0

OAuth of *Open Authorization framework* is een veelgebruikte methode voor authenticatie bij grotere bedrijven. Dit protocol is relatief uitgebreid en moeilijk te implementeren wegens de complexiteit van het protocol. De bedoeling van dit protocol is om ervoor te zorgen dat een gebruiker op meerdere manieren in kan loggen. Een simpel voorbeeld is wanneer de gebruiker naar een bepaalde webpagina surft waar hij of zij kan inloggen met Facebook, Google of andere websites.

Dit werkt op basis van *access tokens*, deze tokens worden door de opgevraagde service verzonden naar de gebruiker. Onderstaande figuur geeft de basis werking van OAuth weer.



Figuur 5: Basiswerking OAuth protocol

De verbinding wordt gestart bij de gebruiker die op een bepaald platform probeert in te loggen met een login van een ander platform. Dit verzoek zal via het eerste platform naar het tweede platform verzonden worden. Op het tweede platform zal de gebruiker een eenmalige token en eenmalige sleutel krijgen. Deze informatie wordt naar de gebruiker gestuurd en daar bewaard. Vervolgens zal software bij de gebruiker deze informatie doorsturen naar een autorisatie server. Deze server gaat bij de juiste instantie nagaan of de gebruiker effectief is wie hij of zij beweert te zijn. Indien alle gegevens kloppen zal de autorisatie server een access token versturen. Deze token heeft een langere geldigheidsduur en moet bij elke request van gebruiker naar server verzonden worden. Indien deze token niet juist is zal er geen toegang verleend worden.

OAuth kent twee versies: OAuth 1.0 en OAuth 2.0. OAuth 1.0 heeft een andere werking en bevat meer overhead. Zo zal bij OAuth 1.0 een *request token* aangevraagd worden aan de *serviceprovider*. Deze request token kan achteraf ingewisseld worden bij de authenticatie provider voor een permanente access token [12]. Echter is bij OAuth 1.0 elke communicatie met de server versleuteld, deze versleuteling veroorzaakt de overhead.

In tegenstelling tot bovenstaande heeft OAuth 2.0 veel minder overhead. OAuth 2.0 maakt geen gebruik van sleutels en signatures. Door het schrappen van de signatures is echter wel dataencryptie nodig, dit kan door SLL/TLS. Echter is OAuth 2.0 geen volwaardig authenticatie protocol, OAuth 2.0 is ontwikkeld voor *delegated access control*.

OpenIDConnect

Het laatste protocol, OpenIDConnect, biedt naast OAuth 2.0 een extra laag. OpenIDConnect is ontwikkeld om te voldoen aan een volwaardige SSO-federatie zodat de gebruiker veilig kan inloggen op een bepaalde service en de gegevens doorgegeven kunnen worden naar andere services.

OpenIDConnect wordt tegenwoordig gebruikt voor vele sociale media platformen waaronder Facebook, Google, etc. De werking van OpenIDConnect verloopt nagenoeg analoog met de werking van OAuth 2.0. Zo worden er opnieuw request en access token aangevraagd aan de serviceprovider als de gebruiker inlogt. Naast deze tokens maakt OpenIDConnect ook gebruik van ID-tokens. Deze tokens bevatten extra

informatie over de gebruiker en worden typisch uitgevoerd in de JWT-vorm zoals enkele paragrafen eerder beschreven werd.

Vergelijking

Om een uiteindelijke keuze te kunnen maken moet er gekeken worden naar voor- en nadelen van elk protocol. In dit onderzoek maakt men gebruik van een tabel om aan te geven welke voor- en nadelen elk protocol heeft. Onderstaande tabel toont de verschillende voor- en nadelen.

Tabel 1: Vergelijking authenticatie protocollen

Protocol	Voordelen	Nadelen
Session Based	Gemakkelijk te implementeren Cookies Combineerbaar met andere protocollen	Cookies Niet schaalbaar Niet 100% veilig
SSL/TLS	Gemakkelijk te implementeren Combineerbaar	SSL Leaks Enkel encryptie
API Keys	Grote entropie Keys zijn duurzaam Er is onafhankelijkheid	Moeilijk om aan te passen (nieuwe keys maken) Geen controle over veilige opslag bij de gebruiker
API Tokens	Stateless Schaalbaar Beperkte levensduur JWT leveren structuur	Niet gekend
SAML	XML	Oud Enkel authenticatie
XACML	Combineerbaar met SAML XML	Complex Voornamelijk autorisatie
OAuth 1.0	Zeer veilig Geen TLS nodig	Overhead door signatures Complex
OAuth 2.0	Geen overhead	TLS nodig
OpenIDConnect	Volwaardige SSO Authenticatie Autorisatie Veilig	Complex Voornamelijk sociale media

Uit bovenstaande tabel is af te leiden dat een session based aanpak niet voldoende is voor dit onderzoek. Daarnaast kan men zien dat ook SSL/TLS niet voldoende is. Echter is er wel voor gekozen om SSL/TLS te implementeren en de server waar de connectie mee gemaakt wordt te herschrijven naar https aan de hand van een volwaardig SSL-certificaat. API Keys zouden van toepassing kunnen zijn in dit onderzoek maar API Keys hebben te veel nadelen in verband met controle en veiligheid [13].

API Tokens lijken echter een goede keuze voor dit onderzoek, door de weinige nadelen en handige structuur is dit protocol aantrekkelijk. SAML en XACML werden in dit onderzoek niet gekozen omwille van hun ouderdom en complexiteit. Daarnaast is het echter niet nodig dat single sign-on gebruikt wordt in dit onderzoek. De gebruiker moet enkel met zijn of haar persoonlijke profiel inloggen op de medische applicatie en hoeft geen gegevens van andere services te gebruiken. Daarnaast is er ook voor gekozen om geen connectie met sociale media te maken omdat dit over gezondheid en gevoelige data gaat. Om deze redenen is OAuth 1.0, OAuth 2.0 en OpenIDConnect niet gekozen.

Het uiteindelijke protocol dat voor verdere ontwikkeling gekozen werd is API Tokens. De implementatie van dit protocol zal in volgend hoofdstuk nader uitgelegd worden.

Autorisatie

In vorige sectie is besproken welk protocol gebruikt wordt voor authenticatie. Daarnaast is het belangrijk om na te denken over autorisatie. Concreet wordt autorisatie gebruikt om na te gaan of het proces dat verbinding wil maken, dit kan een computer of applicatie zijn, daadwerkelijk verbinding mag maken en welke rechten dit proces dan toegewezen krijgt. Zo is het bijvoorbeeld tijdens de autorisatie mogelijk om beheerders te onderscheiden van reguliere gebruikers.

Dit onderzoek richt zich op drie verschillende doelgroepen, elke doelgroep heeft een ongekend aantal gebruikers. De drie doelgroepen die men onderscheiden zijn de patiënten, de hulpverleners en het medische personeel van het ziekenhuis.

Om na te gaan of autorisatie in dit onderzoek belangrijk is moet men kijken naar de functie van elke doelgroep. In eerste instantie zijn er de patiënten die gebruik zullen maken van de applicatie om hun eigen gegevens te kunnen raadplegen en om nieuwe gegevens aan te kunnen maken. Deze gebruikers hebben standaardrechten nodig en mogen geen data van andere patiënten kunnen zien. Daarnaast zal de doelgroep van de hulpverleners ook toegang nodig hebben tot deze gegevens. Echter is het voor hun niet belangrijk om dezelfde applicatie te gebruiken of om de gegevens te kunnen bekijken. Een hulpverlener zou enkel verwittigd moeten worden indien er zich een noodsituatie voordoet. Dit probleem kan opgelost worden door de ontwikkeling van een extra applicatie die meldingen van de huidige applicatie ontvangt. In onze applicatie is er voor deze doelgroep dus geen autorisatie vereist. De laatste doelgroep is het medisch personeel van het ziekenhuis. Deze doelgroep heeft als functie de gegevens van alle patiënten te kunnen bekijken en te beoordelen. Echter zal het medisch personeel geen gebruik maken van een applicatie maar van een online platform waar alle data op te zien is.

Uitgaande van bovenstaande gegevens is het dus niet nodig om autorisatie te implementeren. Elke gebruiker die de applicatie gebruikt heeft enkel toegang tot zijn of haar eigen gegevens.

Hartslagmeting

In vorige secties is besproken geweest welk protocol gebruikt wordt om de gegevens te authenticeren en autoriseren. In deze sectie wordt besproken hoe de gegevens opgemeten worden en meer bepaald hoe de hartslag gemeten kan worden.

Een hartslagmeting kan op twee verschillende manieren gebeuren, namelijk op basis van electrocardiografie (ECG) of op basis van fotoplethysmografie (PPG). Deze technieken zullen in

onderstaande paragrafen kort toegelicht worden. Met deze informatie zal men nagaan welke hartslagmetingmethode toegepast kan worden in dit onderzoek.

Elektrocardiografie (ECG)

Deze techniek maakt gebruik van elektrische signalen uitgezonden door het hart. Deze elektrische signalen kunnen gemeten worden met behulp van elektrodes, deze elektrodes hebben de typische vorm van *pads* die tegen de huid kunnen gekleefd worden. De gebruiker zal een klein toestel rond zijn/haar borst bevestigd krijgen met behulp van een elastische band. Samen met deze band zullen enkele elektrodes op de huid bevestigd worden.

Het meten van een hartslag gebeurt door elektrische signalen die het hart uitstuurt op te vangen. De elektrodes vangen deze signalen op en sturen dit door naar de transmitter. Om elektrische signalen op te kunnen vangen is er echter wel vocht nodig, dit kan afkomstig zijn van water of van zweet.

De transmitter is in de meeste gevallen het enige deel van de hele sensor dat losgekoppeld kan worden. Deze bestaat meestal uit een relatief klein kastje en bevat een aantal elektronische componenten waaronder een microprocessor, een batterij en een Bluetooth-module. De microprocessor houdt binnenkomende elektrische signalen van de elektrodes in het oog. Op onderstaande figuur is een voorbeeld van een ecg-sigitaal te zien.



Figuur 6: ECG Diagram, voorbeeld van elektrische signalen afkomstig van het hart.

Op figuur 1 zijn een aantal golven te zien. In het eerste geval kan men een P-golf onderscheiden. Deze golf ontstaat door contractie van het atrium. Vervolgens kan men het QRS-complex terugvinden. Dit wordt veroorzaakt door depolarisatie van de hartspier. De laatste golf is de T-golf, deze wordt veroorzaakt door de ventrikels die terug naar hun rusttoestand keren [14].

Onderstaande figuur toont een gestandaardiseerd ecg-diagram. Dit diagram wordt verkregen door de binnenkomende data van de sensor te normaliseren en uit te zetten op een grafiek.



Figuur 7: Voorbeeld ECG diagram, x-as seconden, y-as millivolt

Op de x-as is het aantal seconden weergegeven en op de y-as kan men het aantal millivolt van de elektrische puls terugvinden. De kleinste vakjes hebben een grootte van 0,04 seconden en de grote vakjes hebben een grootte van 0,2 seconden. Dit betekent dat er in één minuut 300 grote vakjes

voorkomen. Het elektrische signaal wordt gemeten in millivolt, waarbij 10 millimeter overeenstemt met 1 millivolt. Aan de hand van deze grafiek is het mogelijk een hartslag met het oog af te leiden door te kijken naar de afstand tussen het R-R interval. Als de afstand tussen twee R pieken bijvoorbeeld één groot vakje is (0,2 seconden) dan zal de hartslag 300 slagen/minuut zijn.

Het signaal afkomstig van de sensor wordt dus zoals op bovenstaande manier beschreven is, omgezet door de microprocessor in het toestel. Deze genormaliseerde data wordt vervolgens doorgestuurd naar de applicatie waar de verwerking verder kan gaan. De applicatie zal uit de ontvangen data een hartslag halen door naar het R-R interval te kijken. Dit is uitgelegd in bovenstaande paragraaf.

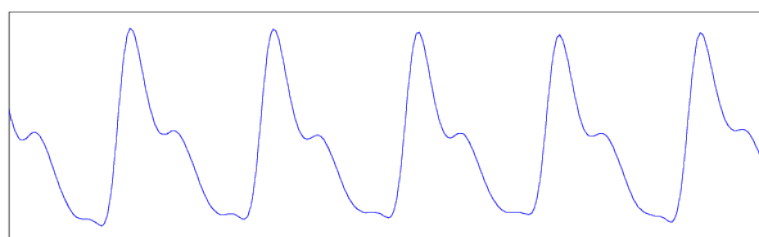
Fotoplethysmografie (PPG)

PPG of fotoplethysmografie is een veelgebruikte techniek voor het meten van fysiologische gegevens zoals hartslag en bloeddruk. Deze techniek steunt op het meten van kleine subtiele veranderingen in weefsel aan de oppervlakte van de menselijke huid. Deze verschillen zijn te wijten aan de doorstroming van bloed in de huid en de cellen [15].

PPG wordt gemeten met behulp van het aanbrengen van een lichtbron en een sensor op de menselijke huid. Er bestaan twee methodes voor het meten van PPG-signalen. De eerste methode is de transmissie methode. In deze methode zal de lichtbron aan de ene kant van het weefsel geplaatst worden en de sensor aan de andere kant, bijvoorbeeld rond een vinger. Bij het in werking treden van het apparaat zal de lichtbron een continue lichtstroom creëren. Een deel van het uitgezonden licht zal zich door het weefsel verplaatsen en aan de andere kant opgevangen worden door de sensor. Deze sensor berekent dan de hoeveelheid opgevangen licht. Indien de hoeveelheid bloed in het weefsel verandert zal er meer of minder licht doorgelaten worden. Dit komt onder meer door de absorberende eigenschappen van hemoglobine in menselijk bloed [16], maar we gaan in deze studie niet verder in op hoe dit precies werkt.

De tweede methode is de reflectiemethode. Bij deze methode zullen lichtbron en sensor aan dezelfde kant van het weefsel geplaatst worden, bijvoorbeeld vinger en smartphone. Deze techniek, zoals de naam al suggereert, steunt op de reflectie van licht door het weefsel. Het reflecterende licht wordt opgevangen door de sensor. De veranderingen in het reflecterende licht zijn opnieuw te wijten aan de eigenschappen van hemoglobine in het bloed.

Beide methodes verwerken de data opgevangen door de sensor op een analoge manier. De sensor zal alle subtiele veranderingen in het licht opvangen en weergeven. Op deze data zullen een aantal filters en berekeningen uitgevoerd moeten worden voor een nauwkeurig en leesbaar PPG-beeld verkregen kan worden. Een voorbeeld van een PPG-signaal is weergegeven op onderstaande figuur.



Figuur 8: Voorbeeld PPG signaal, x-as tijd in seconden, y-as hoeveelheid reflectie [14, p.4]

Methode 1: Smartphonecamera

Een veelgebruikte methode om een hartslagmeting uit te voeren is met behulp van een smartphonecamera. Het werkingsprincipe van deze methode steunt op de PPG-reflectiemethode vermeld in bovenstaande sectie. De camera van de smartphone zal fungeren als sensor en de zaklamp als lichtbron.

Bij het uitvoeren van deze meting zal aan de gebruiker gevraagd worden zijn/haar vinger op de camera aan de achterkant van de smartphone te plaatsen. Eenmaal dit gebeurd is, zal de applicatie de smartphone aansturen en kan de meting beginnen. De gebruiker zal merken dat de zaklamp van de smartphone aan gaat. Deze zaklamp is nodig om een hartslag te kunnen meten. Zonder toegewezen lichtbron kunnen kleine veranderingen in het menselijk weefsel niet waargenomen worden.

De hartslagmeting zal gedurende enkele seconden lopen. Het is noodzakelijk tijdens de meting de binnenkomende gegevens voortdurend te filteren en te berekenen om een werkelijke hartslag te verkrijgen. Afhankelijk van de applicatie of implementatie zal er al dan niet een gemiddelde hartslag berekend worden over een bepaalde metingstijd.

Methode 2: Wearable of sensor

De tweede methode voor het meten van een hartslag steunt ook op de PPG-reflectiemethode. Bij deze methode is opnieuw een smartphone nodig. In tegenstelling tot bovenstaande methode wordt er voor de meting geen gebruik gemaakt van de hardware van de smartphone, maar zal een speciaal ontworpen toestel de functie van de smartphone overnemen. Dit toestel maakt verbinding met de smartphone via bluetooth en stuurt de gemeten data veilig door.

Het uitzicht en de werking van dit metingstoestel verschilt van fabrikant tot fabrikant. Echter is het mogelijk een algemene werking te omschrijven die toepasbaar is in alle gevallen. Elk toestel is uitgerust met een sensor en een lichtbron. Het type sensor en het type lichtbron varieert van toestel tot toestel. De gebruiker zal het toestel bevestigen op zijn/haar huid, in de meeste gevallen rond de pols of rond de borst. Bij het starten van de hartslagmeting zal de lichtbron op het toestel aangezet worden. De gebruiker zal vaak kunnen zien dat de intensiteit van het licht regelmatig verandert. Dit verschijnsel is te wijten aan het feit dat het toestel zoekt naar een ideale intensiteit waarmee de meting kan gebeuren. Na de plaatsing van het toestel zal er gedurende enkele seconden gezocht worden naar een hartslag. Eenmaal deze gevonden is, kan de meting beginnen.

De meting gebeurt analoog aan bovenstaande methode. Het weerkaatsende licht op het menselijke weefsel zal opgevangen worden door de sensor. Het toestel zal zelf de gegevens van de sensor filteren, er enkele berekeningen op toepassen en op deze manier een effectieve hartslag doorsturen naar de smartphone.

Resultaten

In onderstaande tabel zijn enkele meetgegevens te zien. Voor deze metingen is steeds dezelfde testpersoon gebruikt.

Tabel 2: Hartslagmeting op eenzelfde testpersoon in verschillende omstandigheden.

Activiteit	Handmatig [bpm]	Android [bpm]	iOS [bpm]	MioAlpha2 [bpm]
Rust	78	77	75	75
Lopen	143	142	145	141
Trap op/af	94	93	94	92

Bovenstaande tabel toont vier verschillende metingen: een handmatige meting, een meting met een Android smartphone namelijk een UMI Touch, een meting met een iOS smartphone namelijk een iPhone 6s en een meting met de MioAlpha2 (sporthorloge). Bij de handmatige meting is de hartslag gedurende een minuut lang gemeten via de hals. Voor de meting met de smartphones is steeds dezelfde applicatie gebruikt.

Zoals bovenstaande tabel aangeeft is er nagenoeg geen verschil tussen een meting met smartphone en een meting met een wearable. Ook smartphones onderling vormen geen enkel verschil. Merk op dat tijdens de meting gebruik gemaakt is van smartphones met relatief goede camera's, met name boven de 12MP. Uit de tabel kan men afleiden dat er een verschil van ongeveer 5 bpm optreedt tussen de metingen onderling onafhankelijk van de activiteit.

Vergelijking

In het laatste stadium wordt een vergelijking gemaakt tussen bovenstaande aangehaalde methodes. Zowel de methode met de smartphonecamera als de methode met een wearable of sensor worden met elkaar vergeleken. De vergeleken aspecten zijn toepasbaar in deze studie.

Tabel 3: Vergelijkingscriteria hartslagmeting met smartphone of wearable (specifieke sensor)

Criterium	Smartphone	Wearable
Nauwkeurigheid	Goed	Goed
Kostprijs	Enkel smartphone	Smartphone + wearable
Gebruiksvriendelijkheid	Middelmatig	Goed
Responstijd meting	5 – 15 seconden	3 – 5 seconden
Continue meting	Neen	Ja

Indien men kijkt naar de nauwkeurigheid van beide methodes zien we dat er geen verschil optreedt. De verschillen tussen beide methodes zijn gemiddeld ± 5 bpm en kunnen verwaarloosd worden. De kostprijs is een volgend belangrijk aspect en zoals duidelijk is uit de tabel is de methode met de smartphone goedkoper aangezien hier geen extra toestel voor nodig is. De gebruiksvriendelijkheid van beide methodes is echter wel anders. Zo is de methode met de smartphone veel minder gebruiksvriendelijk aangezien de gebruiker de smartphone in de hand moet houden tijdens de meting en zo weinig mogelijk mag bewegen. De responstijd van beide methodes is opnieuw verschillend. Zo zal de methode met de smartphone een langere tijd nodig hebben om een hartslag vast te kunnen stellen. Deze tijd is afhankelijk van de gebruiker. Indien deze perfect stil zit zal de meting sneller gebeuren dan bij beweging. Een wearable zit in de meeste gevallen gefixeerd en bekijkt een breder oppervlak waardoor de hartslag sneller vastgesteld kan worden.

Gekozen methode

In bovenstaande paragrafen zijn beiden methodes toegelicht. Uit verder onderzoek blijkt dat een ECG in de meeste gevallen slechts een klein verschil in nauwkeurigheid toont tegenover PPG. Ondanks het kleine verschil blijft ECG de meest nauwkeurige en betrouwbare methode. Deze methode wordt daarom ook het vaakst toegepast tijdens en na de operatie van een hartpatiënt.

Ondanks bovenstaande informatie is in dit onderzoek toch gekozen voor de PPG-methode. Er is voor deze methode gekozen omdat de sensor die voor dit onderzoek gebruikt werd opgelegd werd door de vragende partij. De gebruikte sensor is dus de Mio Alpha 2. Uit onderzoek blijkt dat dit een vrij nauwkeurige en betrouwbare sensor is en bovendien is deze sensor makkelijker te hanteren voor een gebruiker. Een ecg-sensor moet typisch rond de borst gedragen worden en veroorzaakt vaak ongemakkelijkheden tijdens een inspanning.

Hoogtedata

De hartslag meten is al een goede indicatie voor de intensiteit van een activiteit. Deze gegevens kunnen verder worden aangevuld met hoogtedata waardoor bijvoorbeeld duidelijk wordt hoeveel moeite een patiënt heeft om een helling op te lopen. Hieruit volgt dat het essentieel is om over betrouwbare hoogtedata te kunnen beschikken. Deze hoogtedata kan afkomstig zijn van verschillende bronnen. In deze studie zullen er drie methodes beschreven en vergeleken worden, namelijk

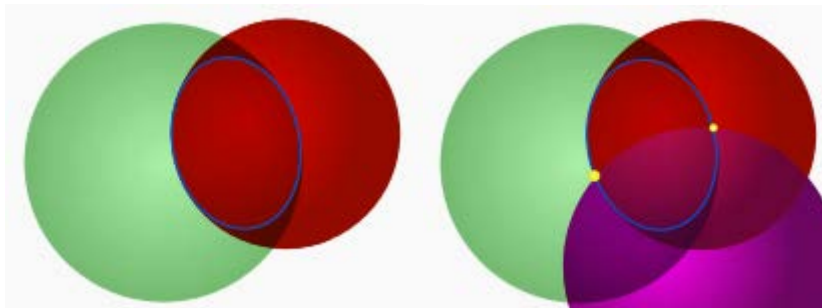
- data die komt van een gps-sensor,
- de altimeter
- en anderzijds een constante dataset afkomstig van speciaal uitgeruste satellieten.

Deze drie methodes zijn relatief goedkoop en toegankelijk voor normale gebruikers.

Gps

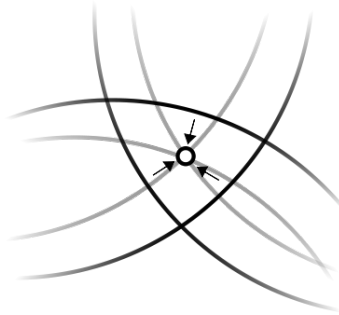
De meest voor de hand liggende bron van hoogtedata is de gps. De gegevens worden real-time gegenereerd, wat dus betekent dat de bron zo goed als altijd beschikbaar is zonder internetverbinding.

Om aan locatiebepaling te doen zijn er minstens drie satellieten nodig [17][18]. Op de onderstaande figuur worden de signalen die ontvangen werden voorgesteld door een gekleurde bol. De positie van de satellieten is bekend, waardoor de positie van de bol dus geweten is. Door nauwkeurig te meten op welk tijdstip het signaal wordt ontvangen kan ook de afstand tot de satelliet worden berekend, wat gelijk is aan de straal van de bol. De signalen van twee satellieten snijden elkaar in een cirkel. Met behulp van een derde signaal is het mogelijk om twee punten te bepalen. Aangezien de positie van de aarde ten opzichte van de satellieten ook bekend is, is het mogelijk om een van de twee punten uit te sluiten. Slechts een enkel punt zal namelijk op het oppervlak van de aarde liggen.



Figuur 9: Illustratie van satelliet signalen die elkaar snijden [18]

Dit is echter het ideale geval waarbij er geen storingen zijn en de klok van de ontvanger zeer precies is. In de praktijk zullen er afwijkingen zijn op de tijd, waardoor er nog een vierde satelliet nodig is om afwijkingen in de tijd te berekenen. De afwijking in tijd vertelt hoe groot het verschil is tussen de tijd van de satelliet en de ontvanger. Met dit extra gegeven is het mogelijk om de juiste positie van de satellieten te berekenen waar er anders een afwijking zou zijn die zorgt voor lagere precisie. Op figuur 5 op de volgende pagina zijn deze afwijkingen voorgesteld door de zwarte lijnen. ertussen ligt een gebied waar de ontvanger zich ergens bevindt, maar de nauwkeurigheid is laag. De grijze lijnen zijn gecorrigeerd en geven een veel nauwkeurigere locatie.



Figuur 10: Klokfouten op ontvangen signalen [17]

In het beste geval is er een nauwkeurigheid van ongeveer een tiental meter haalbaar met een gps. Dit is de nauwkeurigheid wat de positie op het aardoppervlak betreft. De hoogte is nog gevoeliger voor storingen in de satelliet signalen, omdat de aarde de satellieten blokkeert die nodig zijn om een nauwkeurige hoogtebepaling te doen. Hierdoor is de nauwkeurigheid lager dan die van de horizontale positie. De situatie verslechtert nog indien er meer satellieten geblokkeerd worden door bijvoorbeeld gebouwen of bergen, waardoor afwijkingen over honderd meter mogelijk zijn.

Hoogtemeter

De hoogtemeter is een ander apparaat dat hoogte kan bepalen. Het bestaat uit een precieze luchtdrukmeter die zeer kleine verschillen in luchtdruk kan waarnemen. Aangezien de luchtdruk afneemt met 1 millibar per 8,2 meter is het mogelijk om hoogteverschillen te bepalen. Door een bepaalde druk te ijken op een bepaalde hoogte is het mogelijk om nauwkeurig hoogte te bepalen.

Een hoogtemeter heeft verschillende voordelen ten opzichte van een gps. Ten eerste is het betrouwbaarder aangezien het niet afhankelijk is van externe signalen die kunnen wegvallen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om in een diepe kloof een betrouwbare hoogtemeting te doen. Daarnaast is de meting meestal nauwkeuriger. Waar de nauwkeurigheid bij de gps afhangt van de stand van de satellieten en hun aantal, heeft de hoogtemeter altijd dezelfde nauwkeurigheid.

Er zijn ook enkele nadelen verbonden aan het gebruik van een hoogtemeter. De meting is bijvoorbeeld afhankelijk van het weer. Bij slecht weer is de luchtdruk lager waardoor de hoogtemeter opnieuw moet worden gekalibreerd. Het is dus nodig om af en toe te controleren of de hoogtemeter nog de juiste hoogte aangeeft door bijvoorbeeld te vergelijken met een topografische kaart. Ook kan de hoogtemeting fouten bevatten wanneer de weersomstandigheden snel veranderen. Een ander nadeel van een hoogtemeter is de prijs. Een gps is standaard ingebouwd in de hedendaagse smartphones, waar een hoogtemeter een apart apparaat is dat al snel meer dan honderd euro kost.

Hoogtedata

Een derde mogelijkheid om aan hoogtegegevens te komen, is door gebruik te maken van de gps-locatie en daar vervolgens betrouwbare hoogtedata aan toevoegen uit een dataset. Deze methode heeft enkele voordelen ten opzichte van de voorgaande methodes. De data is altijd hetzelfde, wat dus betekent dat ze betrouwbaar is en niet gekalibreerd moet worden. Een tweede belangrijk voordeel is dat de hoogtedata niet per se tijdens de activiteit geregistreerd moet worden. Het is mogelijk om aan de hand van de geregistreerde gps-coördinaten de data achteraf toe te voegen. Nog interessanter is dat het ook mogelijk is om hoogtedata voor de activiteit te weten te komen aan de hand van een uitgestippelde route. Dit maakt het mogelijk om op voorhand de moeilijkheidsgraad van de route in te schatten.

Het kiezen van een geschikte methode

Aangezien de revalidatie applicatie specifieke vereisten heeft, kan de meest geschikte methode geselecteerd worden. In de onderstaande tabel worden de verschillende methodes met elkaar vergeleken. Hoogtebepaling met enkel gps valt al meteen af omdat de nauwkeurigheid simpelweg te laag is om relevant te zijn in het kader van revalidatie. Het is namelijk nodig om over betrouwbare data te beschikken om een inschatting te kunnen maken van de intensiteit van de inspanning. Vervolgens valt de hoogtemeter af. Hoewel deze wel betrouwbare hoogtedata kan aanleveren, zijn de hoge kost en de lagere gebruiksvriendelijkheid de belangrijkste nadelen die maken dat het geen geschikte optie is. Ook de implementatie van een hoogtemeter in de applicatie is zeer moeilijk aangezien er verschillende fabrikanten zijn en sommige hoogtemeters zelfs niet eens over connectiviteit beschikken.

Tabel 3: Vergelijking tussen de drie besproken methodes

	Gps	Hoogtemeter	Hoogtedata
Beschikbaarheid	Afhankelijk van satellieten	Altijd beschikbaar	Afhankelijk van satellieten indien niet vooraf bepaald
Nauwkeurigheid	Slecht en variabel	Goed indien gekalibreerd	Goed en onafhankelijk van externe factoren
Kost	Laag, geïntegreerd in smartphone	Extern apparaat, hoog	Laag, geïntegreerd in smartphone
Gebruik interne opslag	Geen	Geen	Geen indien gebruik server/hoog indien offline
Registratie tijdens activiteit	Ja	Ja	Is mogelijk, maar kan ook toegevoegd worden na de activiteit
Gebruiksvriendelijk	Ja	Nee, kalibratie nodig, extra apparaat	Ja
Implementatie in app	Makkelijk, direct uit gps	Moeilijk tot onmogelijk, extern apparaat	Vereist werk

Implementatie van hoogtedata

Nu de meest geschikte methode is gekend, moet er nog onderzoek gedaan worden naar waar de data vandaan komt en hoe ze geïmplementeerd moet worden.

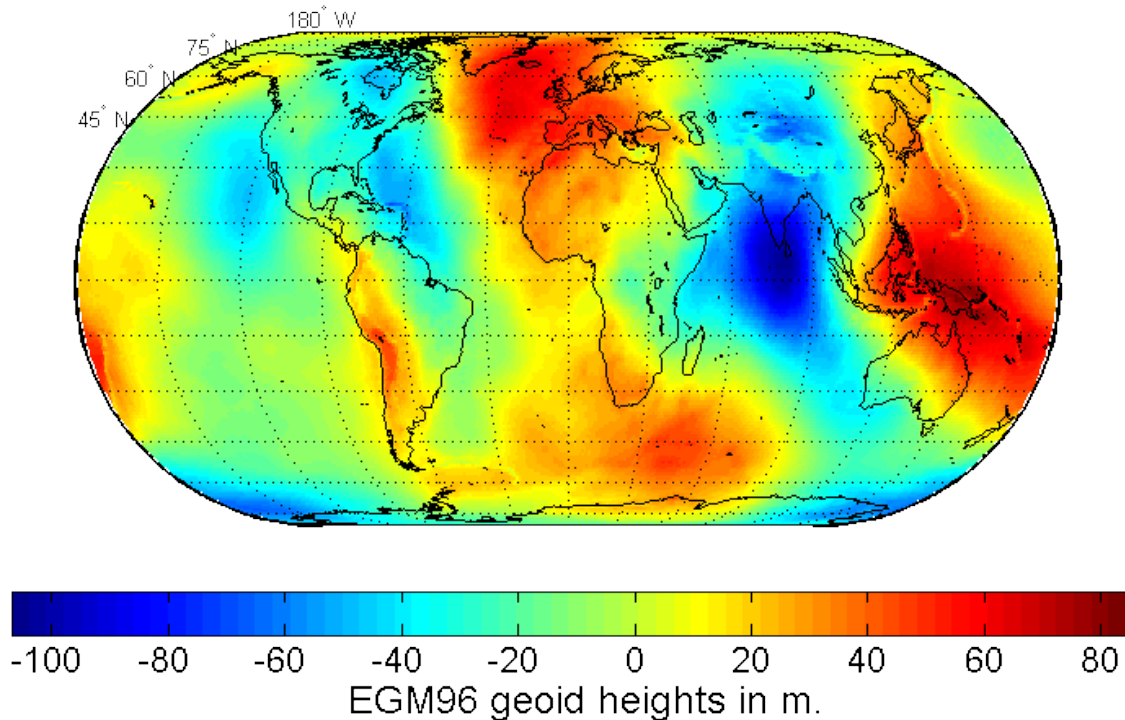
Na veel opzoekwerk bleek de SRTM-data de meest geschikte bron te zijn. SRTM staat voor *Shuttle Radar Topography Mission* en is een internationaal project dat als doel had om hoogtedata te verzamelen voor het grootste deel van de wereld [19][20]. De dekking van de data gaat van 56° zuid tot 60° noord. De resolutie bedraagt 1 boogseconde wat overeenkomt met ongeveer 30 meter, terwijl de hoogte zelf een resolutie van 1 meter heeft. Voor een gebied van 30 op 30 meter bedraagt de hoogte dus dezelfde waarde, wat betekent dat er kleine afwijkingen in dit gebied kunnen voorkomen. Deze data is vrij te gebruiken wat het uitermate geschikt maakt voor dit project.

De data is beschikbaar in bil-bestanden van 3601 op 1801 cellen. Deze bestanden bevatten de hoogtedata in binair formaat in de vorm van signed integers van 16 bits met de little endian byte order, wat betekent dat de bytes moeten worden omgewisseld om de juiste waarde te krijgen. Een enkel bestand bevat de data voor 1 op 1 graad.

WGS84 en EGM96

Om de hoogtedata in de bestanden te begrijpen, moeten er eerst twee referentiesystemen worden uitgelegd. Ten eerste is er het World Geodetic System of WGS waarbij 84 staat voor het jaar waarin het systeem werd vastgelegd. Dit is het huidige coördinatensysteem wat gebruikt wordt voor locatiegegevens. In feite is het een ellipsoïde die de vorm van de aarde zo goed mogelijk benadert, de aarde is namelijk licht afgeplat door haar rotatie.

Wanneer er wordt uitgegaan van de WGS84 ellipsoïde, ontstaan er problemen met de hoogte. De Noordzee zou bijvoorbeeld op 40 meter hoogte liggen [21]. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door verschillen in zwaartekracht over de aarde. Een continent heeft bijvoorbeeld meer zwaartekracht dan een zee. Op de onderstaande figuur is te zien dat de zwaartekracht rond Europa relatief hoog is, waardoor er water wordt aangetrokken. De Noordzee ligt dus hoger dan andere delen van de zee. Deze afwijkingen in de zwaartekracht worden voorgesteld in het Earth Gravitational Model of EGM waar 96 opnieuw voor het jaar staat.



Figuur 11: EGM96 geoide toont de afwijking van het zeeniveau ten opzichte van WGS84 [22]

De SRTM-data gebruikt het WGS84 coördinatensysteem voor de horizontale locatie. De hoogte werd al reeds gecorrigeerd met de EGM96 geoid, waardoor deze meteen de hoogte boven het lokale zeeniveau representeert. De data afkomstig uit de dataset is dus onmiddellijk bruikbaar.

Park applicatie versus Standalone applicatie

Tot nu toe werden de verschillende methodes om fysiologische gegevens te verzamelen toegelicht. Al deze delen moeten samenkomen in een enkele applicatie die in contact staat met het ziekenhuis. In de beginfase van het project was het de bedoeling om een bestaande applicatie uit te breiden zodat deze geschikt zou worden voor revalidatiedoelinden. Deze bestaande applicatie wordt ontwikkeld door Regionaal Landschap Kempen en Maasland en werkt alleen in het Nationaal Park Hoge Kempen. De applicatie is in staat om informatie te geven over flora en fauna, kan routes genereren en geeft aan waar er bezienswaardigheden zijn in het park.

Het lijkt interessant om hierop verder te bouwen en extra functionaliteit in deze bestaande applicatie te integreren, zoals het opnemen van fysiologische gegevens en die terugkoppelen naar het ziekenhuis. Toch werd er beslist om een aparte applicatie te ontwikkelen voor revalidatie. Een eerste reden hiervoor is de terugkoppeling naar het ziekenhuis die een aparte login vereist. Dit betekent dat een hartpatiënt bij twee verschillende diensten is ingelogd, die van de Park-applicatie en het ziekenhuis. Dit zorgt voor onnodige overhead en data die naar twee servers wordt gestuurd. Het is dus efficiënter om het bij een enkele dienst te houden. Ten tweede is er de geografische beperking. De park applicatie werkt slechts voor een klein deel in Limburg en dat kan dus vereisen dat de patiënt een verplaatsing moet maken, wat een extra drempel kan zijn en wat we juist proberen te vermijden. Ten derde is de park applicatie vooral gericht op toerisme en niet zozeer op revalidatie. Dit maakt de applicatie onnodig zwaar voor veel mensen die ofwel enkel het revalidatie-aspect willen gebruiken of de toeristische kant. Verder is er ook een mogelijkheid op extra bugs doordat de code niet helemaal op elkaar is afgestemd.

Een standalone applicatie specifiek gebouwd voor revalidatie heeft de bovenstaande nadelen niet. Er is maar een enkele login vereist voor de terugkoppeling naar het ziekenhuis. Verder bevat de applicatie hoogtedata voor heel België, waardoor revalidatie overal mogelijk is. De patiënt kan eventueel thuis een wandeling maken zonder hiervoor een extra verplaatsing te moeten maken. Vanzelfsprekend heeft een standalone applicatie ook enkele nadelen. Routeplanning is in eerste instantie niet mogelijk, al kan dit in een later stadium wel toegevoegd worden. Ook informatie over flora en fauna zit er niet in, maar ook hier geldt dat dit kan worden toegevoegd.

Aangezien een standalone applicatie voordeliger blijkt om te realiseren, werd er voor deze optie gekozen. Als compromis is het nog altijd mogelijk om de parkapplicatie te promoten in de revalidatie-app.

Kaarten API

Vermits er dus niet gebruik zal gemaakt worden van een bestaande app, is het interessant om een geschikte leverancier van kaarten te kiezen. Een kaart maakt de applicatie veel gebruiksvriendelijker aangezien de gebruiker zijn locatie kan zien alsook de weg die hij heeft afgelegd. Een kaart maakt het dus mogelijk om de geregistreerde data beter te visualiseren en begrijpelijk te maken dan bijvoorbeeld een grafiek.

Om dit doel te kunnen realiseren, moet er gekozen worden voor een geschikte digitale provider van kaarten die liefst ook gratis is. Een eerste optie hiervoor is *OpenStreetMap*, een opensource project dat kaartdata heeft van over de hele wereld. Deze data is vrij in gebruik zolang de bron wordt vermeld. Er is echter een belangrijk nadeel aan OpenStreetMap, namelijk de beperkte capaciteit van de servers. Het is expliciet verboden om gebruik te maken van hun servers voor applicaties die veel data verbruiken. Er zijn enkele externe providers die gebruikmaken van dezelfde data, maar vaak zijn deze betalend. Een andere optie om OpenStreetMap-data te gebruiken is zelf een server opstellen, maar dit neemt tijd en hardware in beslag om te realiseren.

De tweede optie om aan kaarten te raken is de Google Maps API. Doordat Google ook de maker van Android is, betekent dit dat deze API goed geïntegreerd en makkelijk in gebruik is. Voor het laden en bekijken van kaarten is deze service volledig gratis te gebruiken voor mobiele applicaties. Doordat er een recente wijziging in de voorwaarden plaats vond, is het na 11 juni 2018 wel verplicht om een kredietkaart te registreren. Dit moet ook gebeuren wanneer er enkel gebruik gemaakt wordt van de gratis diensten, al wordt er normaal niets aangerekend. Het nadeel van deze API is dat de kaart een afbeelding is en dus geen informatie bevat over adressen, wegen en dergelijke. Google biedt hier wel diensten voor aan, maar deze zijn maar beperkt gratis bruikbaar. Het is bijgevolg niet mogelijk om bijvoorbeeld een opgenomen gps-track te verbeteren met behulp van deze informatie, maar dit is geen groot probleem omdat de nauwkeurigheid meestal hoog genoeg is.

Er zijn verder nog enkele andere providers van kaarten zoals Here Maps, Bing Maps en nog andere diensten waarvan verschillende gebaseerd op OpenStreetMap-data. Het nadeel van deze diensten is dat gratis gebruik beperkt is tot bijvoorbeeld 25000 requests per maand. Tijdens het ontwikkelen van de applicatie werden er bijvoorbeeld al 3000 requests op een maand uitgevoerd door een enkele gebruiker. Het wordt dan al snel duidelijk dat het praktisch onmogelijk is om met het gratis pakket een bruikbare applicatie te maken voor een hoger aantal gebruikers.

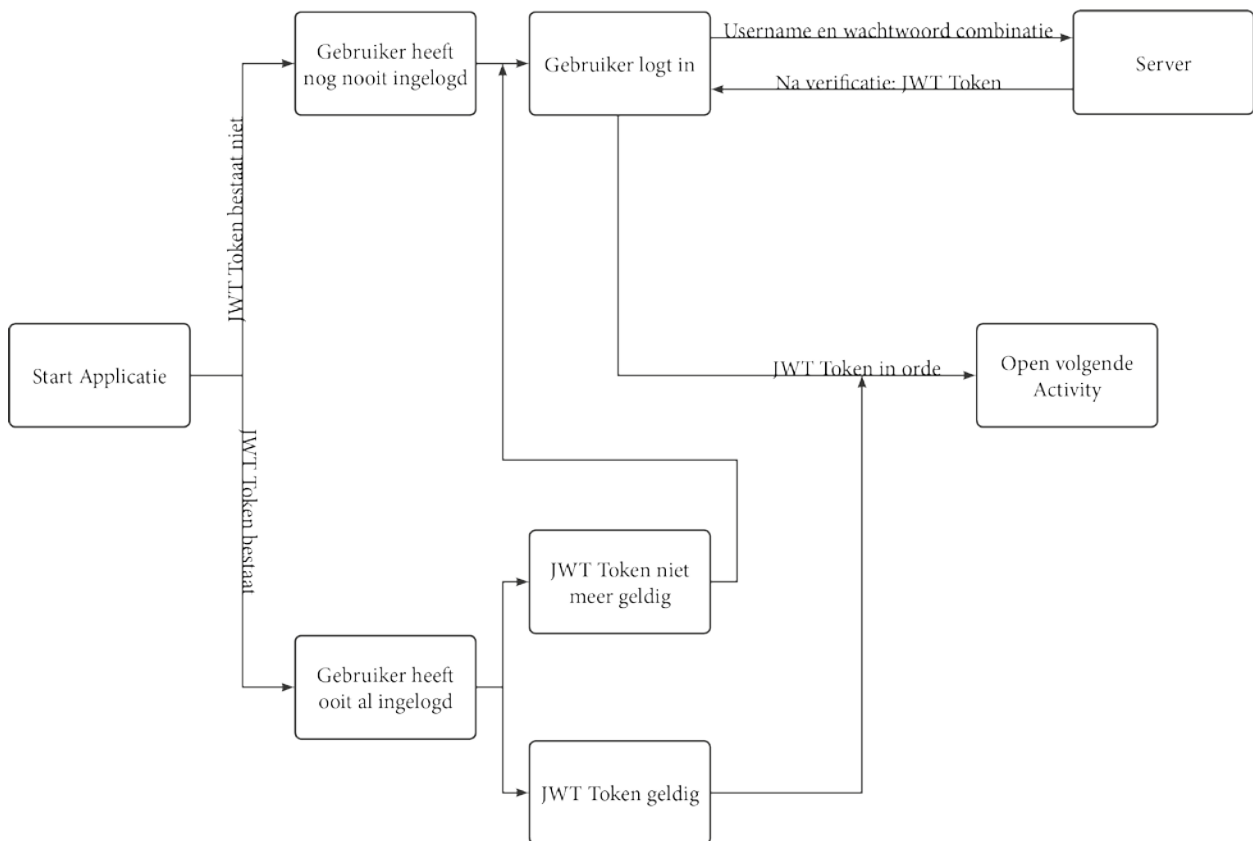
Uiteindelijk blijkt dus dat de meest voor de hand liggende keuze de OpenStreetMap-data of de Google Maps API zijn. Beide opties voorzien faciliteiten om makkelijk kaarten te integreren in een applicatie. In het geval van OpenStreetMap kan er gebruik gemaakt worden van de bibliotheek OsmDroid, die gelijkaardige methodes heeft als de Google Maps API. Beide kunnen potentieel gratis en onbeperkt gebruikt worden, wat bij de andere opties niet het geval is. Aangezien de Google Maps API al een server voorziet met onbeperkt verbruik, is dit de meest interessante oplossing, aangezien ze het snelst geïmplementeerd kan worden.

MATERIALEN EN METHODE

Onderstaand hoofdstuk behandelt de ontwikkeling van de eigenlijke applicatie en webserver. Deze ontwikkeling is opgedeeld in verschillende logische stappen van start- tot eindpunt.

Login

Bij het openen van de applicatie zal een eerste activiteit geopend worden waarbij de gebruiker moet inloggen. Bij deze activiteit horen twee scenario's: de gebruiker heeft nog nooit ingelogd of de gebruiker heeft ooit al eens ingelogd. Om de stappen uit te kunnen leggen zal onderstaand schema gebruikt worden. Dit schema geeft de verschillende scenario's weer.



Figuur 12: Schema van het scenario gebruikt om in te loggen

Wanneer de gebruiker de applicatie opent, zal er op de achtergrond gekeken worden of er al een JWT-token bestaat. Indien deze token niet bestaat gaat de applicatie ervan uit dat de gebruiker nog nooit heeft ingelogd. In dit scenario zal de gebruiker gevraagd worden om gebruikersnaam en wachtwoord in te geven. Een voorbeeld van het scherm dat de gebruiker te zien krijgt is weergegeven op onderstaande figuur. Dit scherm heeft twee invulvakken, eentje voor de gebruikersnaam en eentje voor het wachtwoord. Daarnaast bevat dit scherm een knop om in te loggen en een knop indien de gebruiker zijn of haar wachtwoord vergeten is.

Tijdens het inloggen zal de gebruikersnaam en het wachtwoord op de achtergrond doorgestuurd worden naar de server. De verbinding met de server gebeurt zoals in de literatuurstudie aangegeven is aan de hand van https. Op de server staat een *restfull* php script om de inloggegevens na te kijken. De

gegevens worden vergeleken met het bijhorende database-record. Indien de gebruiker bestaat zal het wachtwoord vergeleken worden met de hash die in de database zit. Indien dit overeenkomt zal de server een JWT-token aanmaken met een levensduur van één jaar. Dit wil zeggen dat na één jaar de gebruiker terug opnieuw zal moeten inloggen. De applicatie zal de ontvangen JWT-token lokaal bewaren en gebruiken voor verdere communicatie. De gebruiker is nu ingelogd en zal doorgestuurd worden naar het volgende scherm.

Indien de gebruiker na het inloggen de applicatie volledig afsluit en nadien terug heropent zal de applicatie zien dat er een JWT-token op de smartphone bewaard is. De applicatie zal de JWT-token decoderen aan de hand van Base64 en zal nagaan of de levensduur van deze token nog in orde is. Men onderscheidt twee gevallen: de token is vervallen of de token is nog geldig. Indien de token vervallen is zal deze verwijderd worden en zal de gebruiker opnieuw moeten inloggen. Indien de token nog geldig is zal de gebruiker meteen doorgestuurd worden naar het volgende scherm, op de achtergrond zal de applicatie verbinding proberen maken met de server. Indien een verbinding opgesteld kan worden zal de JWT token vernieuwd worden en kan de nieuwe token bewaard worden op de smartphone. Dit principe is vooral handig zodanig dat de gebruiker niet verplicht is opnieuw in te loggen nadat de token vervallen is.

Hoofdscherm met kaart

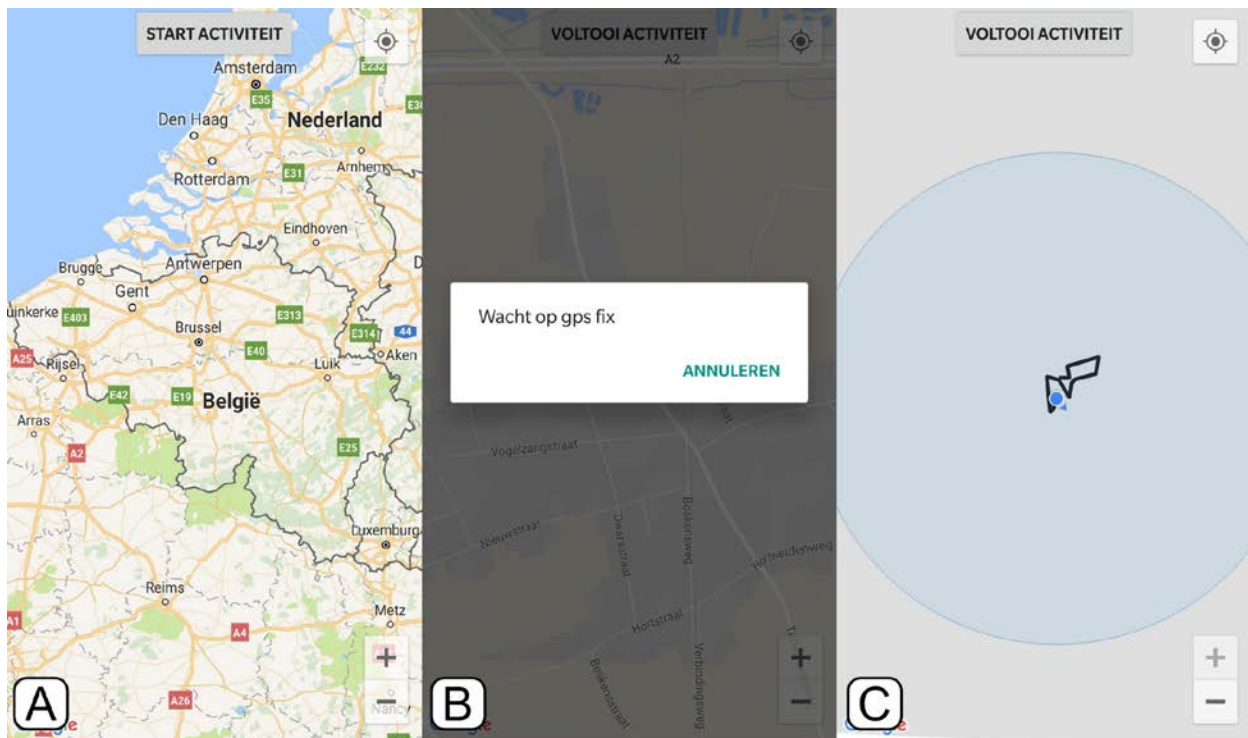
Wanneer de gebruiker inlogt, krijgt deze scherm A uit figuur 13 te zien. De huidige locatie van de gebruiker staat op de kaart aangeduid indien de locatie aanstaat. Door op de knop 'start activiteit' te drukken, kan er een activiteit worden opgenomen. De gebruiker krijgt bij het drukken op deze knop een extra melding met de vraag of hij of zij een meting met gps of zonder gps wil doen.

Tijdens het inladen van deze activiteit zal op de achtergrond een connectie met de server gemaakt worden indien de gebruiker beschikt over internet. De applicatie bevat een lokale database waarin alle metingen zijn opgenomen. Omdat het mogelijk is een meting op te nemen zonder internetverbinding en deze meting achteraf pas door te sturen naar de server is er een functie nodig die de online database vergelijkt met de lokale database. Verdere uitleg in verband met de database en opslaan van gegevens in deze database wordt gegeven in volgende sectie.

De functie die beide databases vergelijkt is nodig om een extra laag van synchronisatie te voorzien. Deze synchronisatiestap is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat alle lokale bestanden op de server raken eenmaal de gebruiker verbinding maakt met internet. Op deze manier blijven zowel de lokale als online database met elkaar in verbinding en worden de opgemeten gegevens efficiënt bewaard. De functie zelf zal dus elk record van de lokale database vergelijken met de online database. Indien een bepaalde record niet is opgenomen in de online database zal deze aangemaakt worden en het bijhorende bestand zal op de server opgenomen worden.

Activiteit met gps

Na deze keuze wordt er eerst gewacht op een fix van de gps (B), waarna de activiteit meteen begint. Tijdens de activiteit is het mogelijk om het reeds gelopen parcours op de kaart te zien (C). Elke locatie wordt tevens opgeslagen in een GPX-bestand, samen met de tijd en de hartslag op die locatie. Door op de knop voltooi activiteit te drukken, wordt de activiteit voltooid, deze wordt lokaal en online bewaard en gelijktijdig wordt ze ook meteen getoond aan de gebruiker in een nieuwe activiteit met alle berekende details. Deze activiteit komt later aan bod.



Figuur 13: Beginscherm na het inloggen

Wanneer deze activiteit wordt gestart, wordt er eerst gecontroleerd of de nodige permissies aanstaan om de applicatie correct te laten werken. Zo is er toegang tot de opslag en locatie nodig. Indien de permissies worden geweigerd, wordt de applicatie gesloten met een melding die vertelt dat de permissies nodig zijn om de applicatie te laten werken. Daarnaast zal de applicatie ook nagaan of er een verbinding via bluetooth gemaakt is met een Mio Alpha, deze verbinding is nodig om een hartslagmeting uit te kunnen voeren. Vervolgens wordt ook gecontroleerd of de gps is geactiveerd. Wanneer deze uit staat wordt er aan de gebruiker gevraagd om ze aan te zetten. Ook bij het starten van een activiteit wordt dit gevraagd indien de gps uitstaat.

De kaart zelf is een *MapView*. Door gebruik te maken van de functie *getMapAsync* van dit object kan er een *Google Map*-object worden verkregen. Dit object is de eigenlijke kaart waaraan tracks, markers en dergelijke kunnen worden toegevoegd. De functie *setMyLocationEnabled* maakt het mogelijk om de huidige locatie te zien op de kaart die dan wordt aangeduid met een blauwe bol.

Locatieservice

Om de activiteit zelf te registreren, wordt er gebruik gemaakt van een service die naar updates van de locatie luistert. Deze service moet actief blijven tot de gebruiker deze stopt. Om dit te bereiken moet er gebruik gemaakt worden van een *foreground* service. Het verschil met een gewone service is dat er hier een permanente notificatie wordt getoond die de gebruiker laat weten dat de applicatie actief is.

Volgens de Android documentatie zal een foreground service bijna nooit gestopt worden, ook niet als er weinig werkgeheugen is. De praktijk werkt anders, aangezien de service toch werd gestopt waardoor er een corrupt bestand achterbleef. De oorzaak van dit probleem is de soms agressieve batterijoptimalisatie die ingebouwd is in Android of door de fabrikant van de smartphone. De voorlopige oplossing is om deze optimalisatie indien mogelijk uit te schakelen in Android en anders de applicatie vast te pinnen in het multitask-venster van Android. Om dit probleem echt op te lossen moet de

applicatie op de *whitelist* worden gezet door de fabrikant van het toestel, maar dit gebeurt vaak enkel bij populaire applicaties.

Wanneer de service werkt, gaat deze luisteren naar locatie updates. Indien er een update is, wordt die locatie samen met het tijdstip van de meting doorgestuurd naar de kaart via een broadcast. Deze vernieuwt vervolgens de track op de kaart.

Indien er niet wordt gecontroleerd op slechte resultaten van de locatieservice, kunnen er verschillende problemen ontstaan zoals extreem hoge snelheden en een totale afstand die veel te lang is door het heen en weer springen van de gps-locatie. Om dit te voorkomen zit er in de service een filter die slechte resultaten negeert. Zo wordt er bijvoorbeeld een minimale afstand en tijd tussen twee metingen ingesteld die de voorgaande problemen grotendeels vermijdt.

GPX

Zoals eerder werd vermeld, wordt de activiteit opgeslagen in gpx-formaat. Dit is een bestandsformaat dat vaak gebruikt wordt bij het opnemen van locatiegegevens en maakt gebruik van xml. Bij het begin van een activiteit zal de locatieservice een nieuw bestand aanmaken. Telkens wanneer er een locatie update plaatsvindt die aan de voorwaarden voldoet, zal deze worden toegevoegd aan het bestand. Wanneer de service stopt, wordt het bestand correct afgesloten. Indien er te weinig punten zouden zijn om een redelijke route te verkrijgen, wordt het bestand verwijderd. Dit voorkomt bijvoorbeeld dat activiteiten die de gebruiker per ongeluk start voor een korte tijd bewaard worden.

Indien de service wordt afgesloten door bijvoorbeeld de agressieve batterijoptimalisatie die eerder werd vermeld en de `onStop` functie niet wordt aangeroepen, blijft er een corrupt bestand over. Dit is geen probleem aangezien bij het inlezen van dit corrupte bestand, meteen een nieuwe file wordt gegenereerd met de juiste syntax. Deze herstel-functie wordt aangeroepen wanneer de xml-parser faalt.

Activiteit zonder gps

Bij deze keuze zal de gebruiker niet verplicht worden om met gps te verbinden. De nodige permissies in verband met opslag en bluetooth zullen echter wel gecontroleerd worden. Indien de gebruiker deze activiteit start zal enkel de hartslag en het aantal stappen binnen een bepaald tijdsinterval opgemeten worden. De gebruiker krijgt het scherm op onderstaande figuur te zien. Dit scherm toont de huidige hartslag, deze meting gebeurt real-time. Daarnaast kan de gebruiker aan de hand van het menu aan de bovenkant de connectie via bluetooth beheren. Verder kan de gebruiker onderaan het scherm extra informatie zien: hoe lang de huidige activiteit al aan het lopen is en hoeveel stappen hij of zij momenteel al gezet heeft. Helemaal onderaan op het scherm bevindt zich een knop om de activiteit te stoppen.



Figuur 14: Detailweergave real-time hartslagmeting

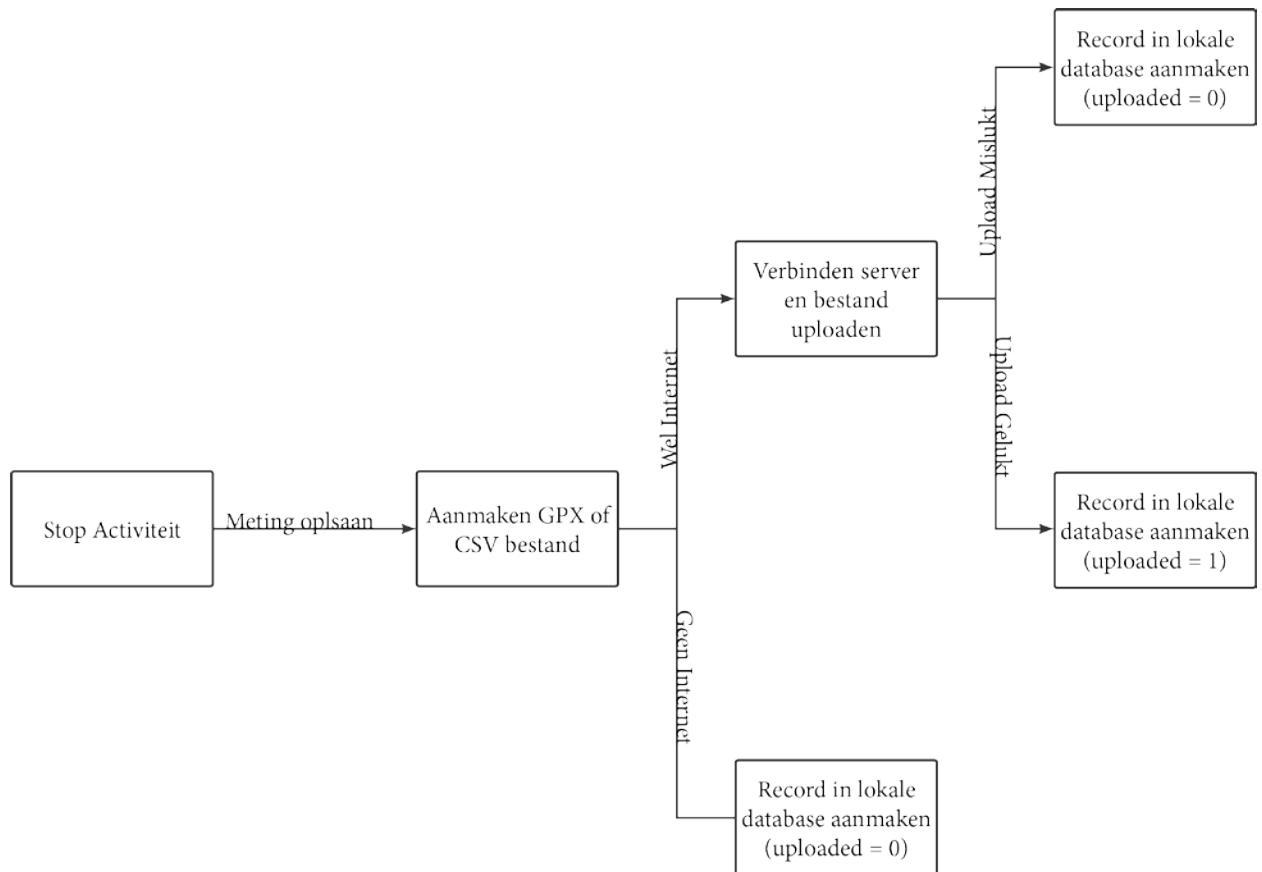
Tijdens deze meting wordt de hartslag elke seconde opgemeten en bewaard in een tijdelijke lijst. Om de meting op de achtergrond mogelijk te kunnen maken is er zoals in bovenstaande sectie gebruik gemaakt van een foreground service. In deze service zit de delegatie van de bluetooth connectie. De service zal bij elke waarde, afkomstig van de Mio Alpha, een *broadcast* uitsturen. Deze broadcast kan door de gehele applicatie op eender welk moment opgevangen worden.

Omdat een hartslag in enkele seconden tijd al snel een veel hogere of veel lagere waarde kan bevatten is er in de applicatie gewerkt met een tijdelijke lijst van metingen per seconde. Aan het einde van deze activiteit zal deze lijst omgezet worden naar een resultaat met metingen per minuut. Dit is nodig omdat een hartslagmeting per seconde al snel veel data kan bevatten en dit zal de nodige opslagruimte aanzienlijk doen toenemen. Het omzetten van deze meting gebeurt door het gemiddelde te nemen van 60 metingen en dit gemiddelde vervolgens te bewaren in een csv-bestand samen met de datum en tijd.

Dataverwerking

Beide metingen in vorige secties worden niet alleen in de vorm van bestanden op de smartphone bewaard maar ook in de vorm van records in een lokale database. Daarnaast zal de applicatie ook gebruik maken van een online database en uploadstelsel.

Onderstaand schema toont de werking van dit opslagsysteem. In de eerste stap zal de applicatie een nieuw gpx- of csv-bestand aanmaken. Het aanmaken van deze bestanden gebeurt zoals in bovenstaande secties beschreven is. Na het aanmaken van dit bestand zal dit lokaal op de smartphone bewaard worden.



Figuur 15: Schema bewaren en uploaden van data

Eenmaal het bestand aangemaakt is zal de applicatie nagaan of er internetverbinding mogelijk is. Indien dit niet het geval is zal er een nieuwe record in de lokale database aangemaakt worden. In onderstaande figuur is de structuur van deze lokale database weergegeven. Zoals duidelijk is op deze figuur bevat deze database vijf velden. Een eerste veld bevat de id van de record, dit is de primaire sleutel en bevat een getal dat automatisch eentje hoger gaat per record. Een tweede veld bevat de datum en tijd waarop de meting gestart is, deze *timestamp* is bovendien ook hetzelfde als de bestandsnaam. Het derde veld bevat het aantal stappen dat tijdens de meting opgenomen is. Als voorlaatste bevat elke record een integer die enkel 0 of 1 kan zijn, deze integer geeft aan of het bestand in de online database en op de server is opgenomen. Indien dit niet het geval is zal deze waarde dus 0 zijn. Het laatste veld geeft aan of het bestand zich op de smartphone zelf bevindt. Zo is het dus mogelijk dat een bestand enkel op de server te vinden is, meer uitleg volgt in een komende paragraaf.

Indien de applicatie toegang heeft tot internet zal er een verzoek naar de server gestuurd worden. Dit verzoek krijgt, zoals in de literatuurstudie vermeld, een JWT-token als authenticatieheader mee. Naast deze header bevat het verzoek enkele parameters in een JSON-string. Deze parameters bevatten het aantal stappen dat de gebruiker gezet heeft, de gebruikersnaam en bestandstype. Daarnaast bevat de request ook het nodige bestand. Eenmaal de server deze request ontvangen heeft, gaat er gecontroleerd worden of de JWT-token geldig is. Indien dit niet het geval is mag het bestand niet geüpload worden en zal er een foutmelding verstuurd worden. Indien de JWT-token wel geldig is zal de server controleren of de nodige mappen aangemaakt zijn. Zo zal elke gebruiker zijn of haar eigen map op de server krijgen waarin alle bestanden te vinden zijn. Eenmaal alles in orde is zal er een nieuwe record in de online database aangemaakt worden en zal het bestand op de server opgenomen worden.

Het implementeren van zowel een online als lokale database is noodzakelijk in dit onderzoek. Aan de hand van deze databases is het snel en eenvoudig mogelijk om na te gaan welke activiteiten zich op de server bevinden en welke niet. Daarnaast vormt het gebruik van deze database ook een extra stap voor opslag van bijkomende data die gebruikt kan worden in verder onderzoek.

De online database bevat records met vier velden, een id, een username, een timestamp en het aantal stappen. In de laatste stap de applicatie op de achtergrond nagaan of het uploaden van het bestand gelukt is. Indien dit het geval is zal er een nieuwe record in de lokale database opgenomen worden; deze keer met een 1 in het uploadveld. Na het voltooien van de activiteit wordt de gebruiker doorgestuurd naar het volgende scherm. In onderstaande sectie wordt die uitvoerig besproken.

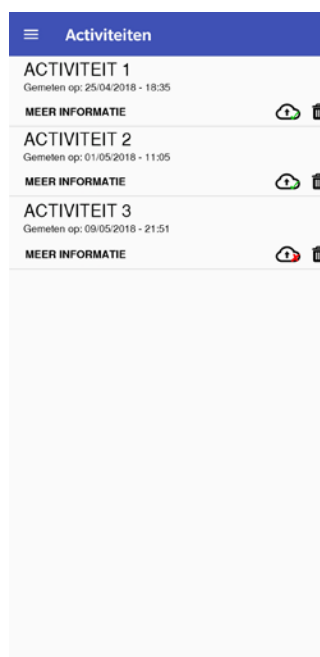
Lijst met activiteiten

Omdat deze activiteit gebruik maakt van twee verschillende types van activiteiten is het noodzakelijk deze activiteiten in verschillende lijsten weer te geven. Echter zijn de basisprincipes achter beide lijsten hetzelfde.

Het aanmaken van beide lijsten gebeurt op basis van de lokale database. Uit eerder vermelde gegevens kan men halen dat deze database alle records van alle metingen bevat. Deze database geeft daarnaast ook aan of de bestanden die bij dit record horen zich op de smartphone bevinden of niet.

Meting zonder gps

De eerste lijst bevat de metingen zonder gps. Dit zijn dus de metingen waar enkel een hartslag en een aantal stappen mee is opgenomen. Deze lijst toont enkel de basisgegevens van de meting omdat het niet nuttig is uitgebreide informatie te tonen bij elke record. De lijst is gesorteerd zodat de meest recente meting bovenaan staat. Alle metingen waarvan er geen bestand op de smartphone te vinden is, staan onderaan.



Figuur 16: Lijst met uitgevoerde activiteiten (zonder GPS)

Meting met gps

Wanneer een activiteit werd opgenomen, verschijnt die in de lijst met de andere activiteiten, zoals is te zien op de onderstaande figuur. De gebruiker kan een eerdere activiteit bekijken om te zien of er bijvoorbeeld voortgang is. Elke activiteit heeft een thumbnail van een kaart met de route. Ernaast staan de titel en twee knoppen om de activiteit te openen of de verwijderen. Indien op de knop verwijder wordt gedrukt komt er eerst nog een dialoog met de vraag of de gebruiker zeker is.



Figuur 17: Lijst met uitgevoerde activiteiten (met GPS)

De lijst is opgebouwd uit een listview met fragmenten. Het gebruik van een fragment maakt het mogelijk om een zelfgemaakt lijstitem te maken dat herbruikbaar is. Ieder lijstitem bevat een ImageView en een Mapview die gebruikt worden voor de thumbnail. Indien er nog geen afbeelding van de activiteit bestaat, wordt er gebruik gemaakt van de MapView voor de thumbnail. De MapView wordt gebruikt om een Google Map-object op te halen waaraan een track kan worden toegevoegd. Deze track wordt asynchroon opgehaald en toegevoegd wanneer ze compleet is uitgelezen. Indien de Google Map vervolgens klaar is met het laden van de kaart, wordt er een afbeelding gegenereerd van de kaart met de track. Wanneer het lijstitem dan opnieuw wordt getoond na bijvoorbeeld buiten beeld gescrold te zijn, wordt de afbeelding gebruikt. Deze wordt asynchroon opgehaald en toegevoegd aan de ImageView.

Door de lijst op deze manier op te bouwen is ze snel en responsief in gebruik. Indien er enkel gebruik zou worden gemaakt van MapViews, zouden er regelmatig haperingen ontstaan door het asynchroon ophalen van het Google Map-object dat enkele grafische shaders gereedmaakt om de kaart te tonen. Nu wordt er enkel een Google Map opgehaald indien er geen afbeelding van een activiteit voorhanden is, wat bij normaal gebruik niet vaak het geval is. Het enige nadeel van deze methode is dat er extra opslagruimte benodigd is voor de afbeeldingen, maar aangezien een afbeelding slechts ongeveer 10 kilobyte groot is, is dit geen groot probleem.

In eerste instantie was het de bedoeling om met twee soorten fragmenten te werken, een met een MapView en een ander met een ImageView. Deze aanpak zou minder geheugen gebruiken omdat er dan minder grafische elementen in gebruik zijn. In de praktijk bleek deze aanpak echter voor problemen te zorgen wanneer een MapView-fragment werd vervangen door een ImageView-fragment. Zo werd het onmogelijk om op de knoppen te drukken hoewel het uitzicht van de lijst wel in orde was. Ook de knoppen van andere elementen in de lijst, vooral boven het item dat werd vervangen, werkten niet meer. Dit is de reden dat er werd gekozen voor een iets minder geheugenvriendelijke aanpak, die wel als bijkomend voordeel heeft dat er minder lay-outs worden opgebouwd. De reden voor het ongewenste gedrag van de eerste versie van de lijst werd misschien veroorzaakt door layouts die op elkaar lagen en elkaar dus blokkeerden, maar door tijdsgebrek werd dit niet verder onderzocht.

Details van de activiteit bekijken

Naast de weergave van de lijsten uit bovenstaande sectie is het ook mogelijk om de details van een activiteit weer te geven. Deze details zijn opnieuw onderverdeeld in twee groepen, de metingen zonder gps en de metingen met gps. Opnieuw gebruiken beide systemen een aantal basisprincipes die voor beide hetzelfde zijn.

Zo heeft elke activiteit een menu bovenaan. Met dit menu kan de gebruiker kiezen om de meting te verwijderen. Bij het drukken op deze knop zal de melding uit onderstaande figuur te zien zijn. Deze melding geeft aan of de gebruiker de meting enkel lokaal of lokaal én online wil verwijderen.

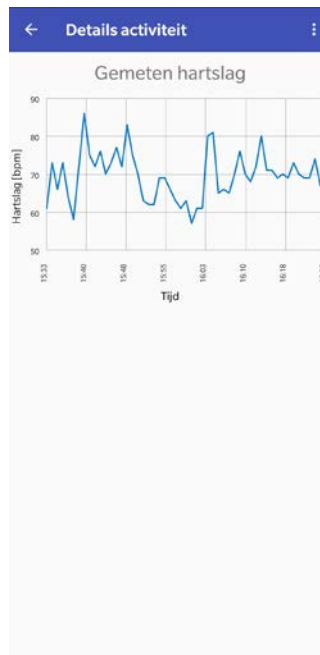
Bij het lokaal verwijderen van de meting zal enkel het bestand op de smartphone verwijderd worden en zal op de achtergrond de bijhorende record uit de database aangepast worden. Deze record zal een update krijgen en zal een 0 krijgen in het veld waar bijgehouden wordt of de metingen op de smartphone staat of niet.

Indien de meting enkel lokaal verwijderd wordt zal de gebruiker de meting nog steeds in de lijst uit vorige sectie kunnen zien. Echter zal bij het openen van deze activiteit gevraagd worden of de gebruiker het bestand van de server wil downloaden. Bij het downloaden van dit bestand zal de gebruiker een laadbalk te zien krijgen die de voortgang weergeeft. De verbinding met de server gebeurt opnieuw doormiddel van het verzenden van de JWT-token als authenticatie header en de aangevraagde resource als JSON-string. Eenmaal de download voltooid is, wordt de lokale database opnieuw geüpdatet en zal de meting op de smartphone bewaard worden. De gebruiker kan nu de details van de meting bekijken.

Wanneer de gebruiker ervoor kiest om de meting lokaal en online te verwijderen zal de applicatie eerst overgaan tot het verwijderen van het lokale bestand en de lokale record in de database. Daarna zal de applicatie op de achtergrond verbinding maken met de server. De JWT token en extra informatie in een JSON-string zullen doorgestuurd worden. De extra informatie is noodzakelijk om na te gaan welk bestand verwijderd moet worden en in welke map deze zich bevindt. Indien de gebruiker gemachtigd is zal de server eerst het bestand trachten te verwijderen. Indien het verwijderen van dit om een of andere reden niet lukt zal de record in de online database ook niet verwijderd worden en zal de applicatie op de hoogte gebracht worden dat het verwijderen mislukt is. Indien de applicatie de volgende keer tijdens het opstarten opnieuw synchroniseert zal de niet overeenkomstige record terug lokaal toegevoegd worden. Door dit te doen kan de gebruiker de niet verwijderde activiteit terug in de lijst zien en kan hij of zij opnieuw proberen deze te verwijderen.

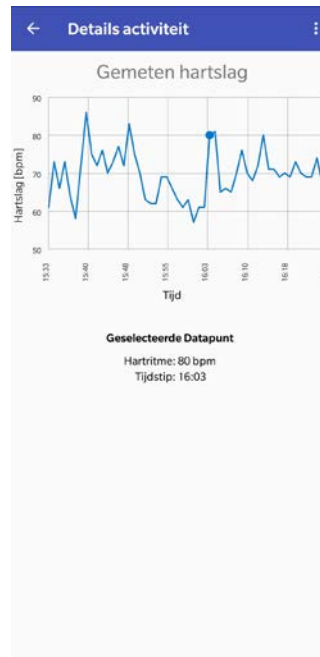
Meting zonder gps

Wanneer de gebruiker de details van een meting zonder gps wil weergeven drukt hij of zij op de activiteit in de lijst. Hierna wordt het scherm op onderstaande figuur geopend. Dit scherm bevat een grafiek waarin de hartslagmeting te zien is. Op de y-as van deze grafiek is de gemeten hartslag in slagen per minuut weergegeven. Op de x-as bevindt zich het tijdstip van de meting. Omdat het niet nuttig is om de assen een volledig bereik te laten weergegeven is ervoor gekozen om de assen af te stellen op de dataset die er in hoort. Zo zal de y-as, waar de hartslagen op getoond worden, het minimum en maximum uit de dataset nemen en deze twee waardes als grenzen instellen. Om gebruiksvriendelijkheid te verbeteren is het mogelijk de grafiek in of uit te zoomen en te bewegen naar links of naar rechts.



Figuur 18: Detailweergave meting zonder GPS

Naast de weergave van een hartslag op de grafiek kan de gebruiker ook op de grafiek drukken. Bij het drukken op de grafiek zal het geselecteerde datapunt vetgedrukt op de grafiek aangeduid worden. Naast deze aanduiding zal de gebruiker het beeld op onderstaande figuur te zien krijgen. Dit beeld geeft weer dat er een extra infoveld geopend wordt waarop de gebruiker kan zien wat de effectieve hartslag op een bepaald tijdstip was.



Figuur 19: Detail weergave activiteit zonder GPS met geselecteerde datapunt

Meting met gps

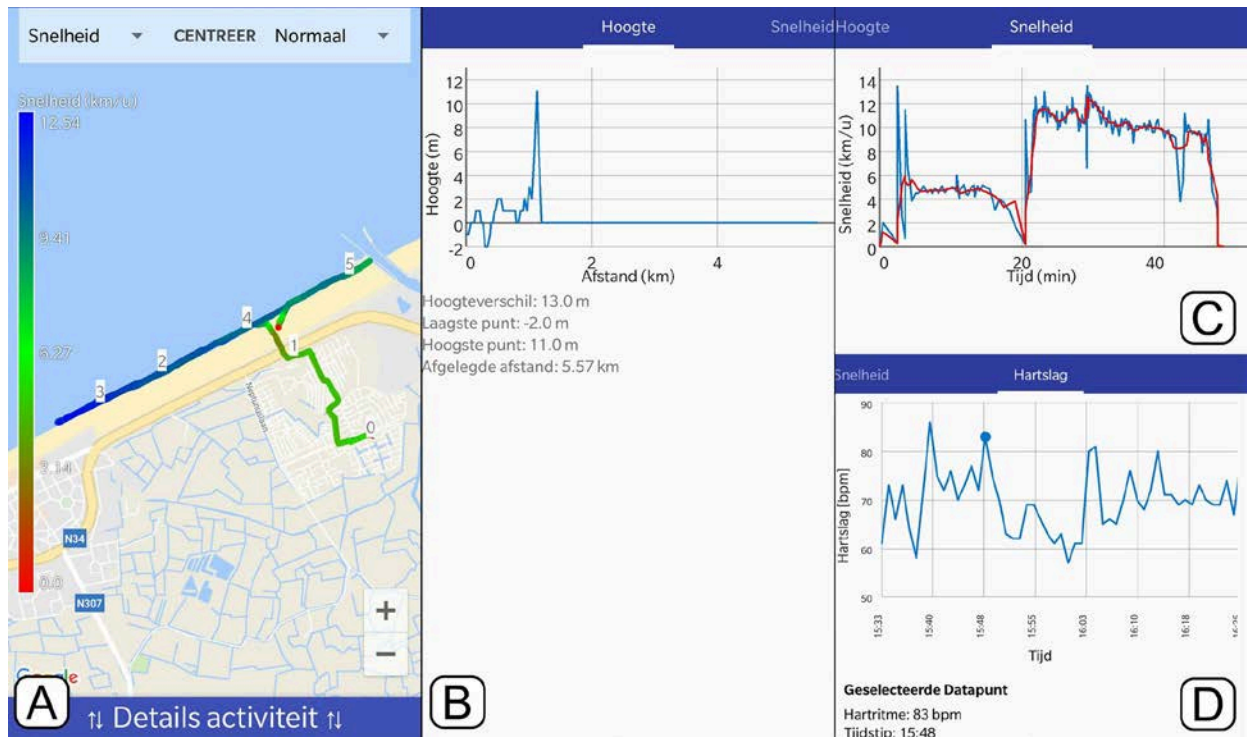
De applicatie maakt het mogelijk om de uitgevoerde activiteiten in detail te bekijken. Na het voltooiën van een activiteit komt de gebruiker bijvoorbeeld direct op het scherm in figuur 20 uit, namelijk een kaart met de gelopen route op. Deze route heeft ook een bepaalde kleur over zich die overeenkomt met snelheid, hoogte of hartslag. Automatisch wordt altijd de snelheid als eerste getoond. Met behulp van de spinner linksboven kan er ook voor de andere opties worden gekozen. De legende links geeft weer welke kleur overeenkomt met welke waarde. Verder kan het type map gekozen worden en de centreerknop kan gebruikt worden om de route terug in beeld te krijgen.

Wanneer deze functie, het kleuren van de route met behulp van data, wordt vergeleken met populaire fitness applicaties, wordt het duidelijk dat deze feature niet zo vanzelfsprekend is. Runtastic heeft een vergelijkbare feature, maar deze functie werkt maar gedeeltelijk gratis [23]. Indien men alle gegevens op de kaart wil kunnen bekijken moet men een abonnement hebben. Een andere app, Runkeeper, biedt deze functie dan weer helemaal niet aan [24].

Ook hier is de basis van deze Android-activity een MapView met een track. In dit geval werd rotatie uitgezet zodat de kompas-knop niet in de weg zou zitten. Om de track een kleur te geven die overeenkomt met de data is er een TileProvider nodig aangezien het onmogelijk is om een track direct een kleurengradiënt te geven. Een TileProvider is een object dat een laag over een Google Map kan genereren. Wanneer een provider wordt toegevoegd aan een Google Map, gaat de Google Map de tegels vragen voor het gebied dat in beeld is. Aangezien het even kan duren voordat de tegel is gegenereerd, wordt de track ook als gewone PolyLine toegevoegd, zodat er altijd een track zichtbaar is, maar soms niet gekleurd.

De TileProvider krijgt een dataset van locaties met hun hoogte of snelheid mee, alsook de minimum en maximumwaarde van deze datasets. Deze gegevens worden gebruikt om een overlay te genereren. Eerst worden er punten tussen de locaties berekend om het kleurverloop beter te maken. Daarna wordt de

track in stukjes berekend met een kleur tussen de minimum- en maximumwaarde in. Deze stukjes worden tenslotte op een Canvas getekend, waarna er een bitmap van wordt gemaakt die wordt doorgegeven aan de Google Map.



Figuur 20: Details van een geselecteerde activiteit

Wanneer de gebruiker op 'Details activiteit' klikt, wordt er gedetailleerde informatie in grafieken getoond over snelheid, hoogte en hartslag. De sectie bestaat uit een ViewPager met drie fragmenten met elk een grafiek. De snelheid-grafiek wordt opgebouwd met de data afkomstig van de gps. Met behulp van de locatie en hun tijdstippen kan de snelheid berekend worden door de afstand te delen door de tijd.

Voor de grafiek met de hoogte wordt er gebruik gemaakt van de locatiegegevens. Tussen elk paar punten wordt de afstand berekend zodat er voor ieder punt een afstand tot het vertrekpunt is. De afstand wordt berekend met de volgende formules [25]:

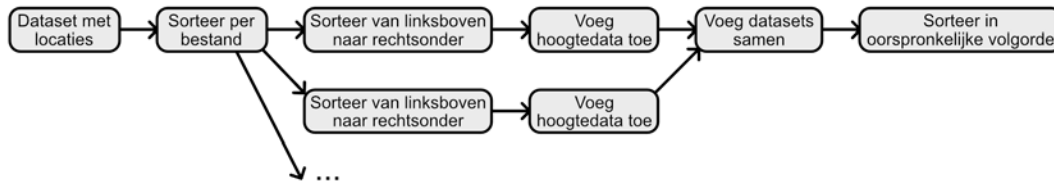
$$a = \sin^2\left(\frac{A_{lat} - B_{lat}}{2}\right) + \cos(A_{lat}) * \cos(B_{lat}) * \sin^2\left(\frac{A_{lon} - B_{lon}}{2}\right) \quad (1)$$

$$c = \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1 - a}) \quad (2)$$

$$d = R * c \quad (3)$$

In de eerste formule staan A en B voor twee coördinaten waarbij het subscript aanduidt of de latitude of longitude wordt gebruikt. Het resultaat hiervan wordt gebruikt in de tweede formule, die gebruik maakt van de Java-functie atan2. Dit is een functie die twee coördinaten kan omzetten naar het polaire stelsel en geeft de hoek als resultaat. De derde formule gebruikt deze uitkomst samen met de straal R van de aarde om de afstand te berekenen.

Daarna worden de locaties doorgegeven aan een aparte klasse die de hoogtedata kan uitlezen. Deze klasse werkt volgens het schema uit de onderstaande figuur. De hoogtedata zelf bestaat uit gecomprimeerde bestanden die telkens een beperkt gebied beslaan. Dit betekent dat een route verschillende bestanden nodig kan hebben om de hoogtedata te bepalen. De locaties worden dus eerst gesorteerd per bestand. Daarna moeten de locaties per bestand van linksboven naar rechtsonder gesorteerd worden. Dit maakt het mogelijk om het bestand maar een keer te doorlopen voor alle punten met behulp van de methode skipBytes. Wanneer de hoogtes zijn toegevoegd aan de locaties, worden deze opnieuw gesorteerd zodat ze in hun oorspronkelijke volgorde staan. Dit is nodig om de grafiek juist te tekenen en om de TileProvider correct te laten werken.



Figuur 21: Schema van toevoegen hoogtedata aan locaties

Filteren van de snelheid

De snelheidsdata bevat veel ruis door afwijkingen op de locatie. Over het algemeen heeft de ruis een hoge frequentie ten opzichte van het eigenlijke snelheidsprofiel. Om het resultaat te verbeteren wordt er gebruik gemaakt van drie soorten filters samen met nog een extra voorwaarde.

De ruwe data wordt eerst gefilterd met een Hampel-filter [26]. Dit soort filter is uitermate geschikt om extreme uitschieters te verwijderen uit de data. De filter gebruikt hiervoor een window met een bepaalde breedte die in dit geval zeven punten bedraagt. Het middelste punt is het punt waar het om gaat. Vervolgens wordt de mediaan en standaardafwijking op het window berekend. Wanneer deze bekend zijn, wordt de waarde van het middelste punt vergeleken met de mediaan. Indien de waarde meer dan een halve keer de standaardafwijking verwijderd ligt van het gemiddelde, wordt de waarde vervangen door het gemiddelde. Normaal wordt drie keer de standaardafwijking gebruikt voor dit soort filter, maar in dit geval werd een kleinere waarde genomen zodat de ruis effectiever wordt onderdrukt. Een nadeel van deze minder conservatieve filter is dat er potentieel minder detail in het resultaat overblijft. Zoals in de resultaten is te zien is dit echter geen groot probleem.

Na de Hampel-filter gaat de data door een moving average filter met een window van 5 punten [27]. Voor ieder punt in de dataset wordt het gemiddelde van dat punt met de 4 omliggende punten berekend. Dit gemiddelde vervangt de waarde van het punt. Het resultaat van deze filter is een verdere onderdrukking van de ruis met behoud van voldoende detail in de snelheid.

Ten laatste gaat de data door een exponentiële filter [28]. Dit soort filters worden vaak gebruikt om ruis uit het signaal te halen en wordt ook wel een smoothing-filter genoemd. De formule voor deze filter is als volgt:

$$o_t = o_{t-1} + \alpha * (i_t - o_{t-1}) \quad (1)$$

Hierbij staat o voor de uitgang, i voor de ingang en α voor de smoothing-factor. De waarde van α hangt van de periode af en wordt als volgt berekend:

$$\alpha = 1 - e^{\frac{-\Delta T}{\tau}} \quad (2)$$

Hierbij is ΔT gelijk aan het tijdsverschil tussen het huidige en voorgaande punt en τ aan een tijdsconstante. In dit geval is τ gelijk aan 5 seconden, wat ervoor zorgt dat voldoende detail behouden blijft. Het handige bij deze filter is dat de tijdsintervallen niet gelijk moeten zijn, α kan voor ieder punt berekend worden. Dit is nuttig omdat de gps soms tijdstippen overslaat.

Ten laatste werd er ook nog een extra voorwaarde ingesteld, namelijk dat indien de snelheid lager is dan een halve kilometer per uur ze wordt behouden. Dit voorkomt dat bij lage gemiddelde snelheden de stukken waar de gebruiker stilstaat worden weg gefilterd.

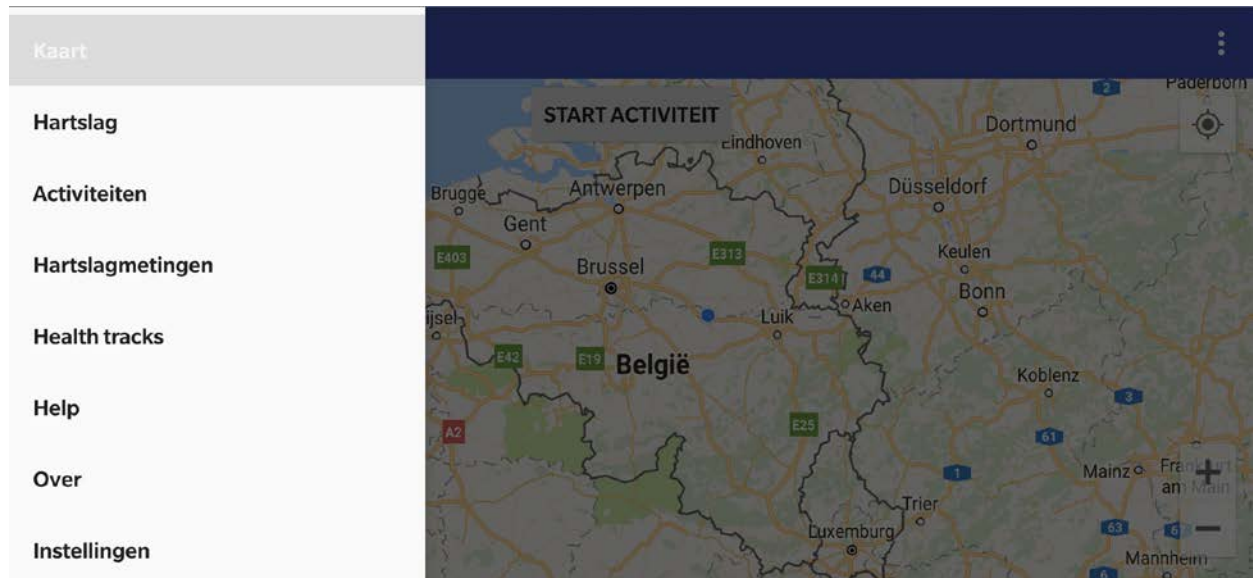
Health tracks

Om de patiënt op weg te helpen, werd de sectie health tracks in de applicatie geïntegreerd. Deze sectie bevat een lijst die gelijkaardig is opgebouwd als de lijst met de activiteiten. Het verschil is dat de routes in dit geval in categorieën werden ingedeeld zodat een patiënt een track van het gepaste niveau kan kiezen. De health track kan op de kaart worden getoond, zodat de patiënt met behulp van zijn locatie de route probleemloos kan volgen.

Het is eveneens mogelijk om details van een health track te weten te komen door op de knop *meer* te duwen. Dit opent een vergelijkbare interface als bij een activiteit, met het verschil dat er in dit geval enkel hoogtedata beschikbaar is. Dit laat de patiënt toe om te zien of de track veel hoogteverschillen heeft en hoe groot deze zijn. Ook de afstand wordt aangeduid.

Menu

Wanneer de gebruiker op het menu-item drukt, verschijnt er een menu met een aantal opties die gebruikt kunnen worden om naar een ander deel van de applicatie te navigeren. Dit deel van de interface is op de onderstaande afbeelding te zien. De opties kaart, hartslag, activiteiten, hartslagmetingen en health tracks maken deel uit van een enkele Android-activity. Dit zijn allemaal fragmenten in een viewpager. Dit heeft als voordeel dat de applicatie kan draaien en wisselen tussen verschillende vensters zonder dat de input van de gebruiker verdwijnt. De optie help, over en instellingen openen een aparte Android-activity.



Figuur 22: Menustructuur van de applicatie

RESULTATEN EN DISCUSSIE

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de applicatie besproken. Men onderscheidt drie grote onderdelen: nauwkeurigheid, snelheid en gebruiksvriendelijkheid.

Nauwkeurigheid

In dit onderzoek kan men een aantal factoren onderscheiden waar de nauwkeurigheid bekeken kan worden. Er kunnen drie onderdelen apart bekeken worden op basis van hun nauwkeurigheid, de hartslagmeting, de stappenteller en de gps.

Hartslagmeting

Zoals in de literatuurstudie besproken is, werd er in dit onderzoek gebruik gemaakt van de Mio Alpha 2. De nauwkeurigheid van deze sensor staat beschreven in de literatuurstudie. Het is daarnaast ook belangrijk om de nauwkeurigheid van deze sensor te bekijken binnen in de applicatie.

Omdat er gebruik gemaakt wordt van een rechtstreekse bluetooth verbinding en deze verbinding de gemeten resultaten niet aanpast, kan men zeggen dat de nauwkeurigheid van de sensor even accuraat blijft binnen de applicatie zelf. De nauwkeurigheid hangt dus louter af van de sensor en niet van de applicatie.

Stappenteller

De nauwkeurigheid van de stappenteller werd live getest door een testpersoon bepaalde activiteiten uit te laten voeren en tijdens de activiteit het aantal stappen te laten tellen door een waarnemer. In onderstaande tabel zijn deze testresultaten weergegeven.

Tabel 4: Meetresultaten stappenteller, zelfde proefpersoon, andere activiteiten

Activiteit	Tijdsduur	Werkelijk aantal stappen	Gemeten aantal stappen
Wandelen [~ 3km/u]	1 min	68	71
Wandelen [~ 5km/u]	1 min	93	105
Lopen [~ 10km/u]	1 min	206	217
Autorit	30 min	0	0

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat de stappenteller relatief goed werkt. Er worden kleine afwijkingen weergegeven tegenover het originele resultaat. Deze afwijkingen zijn te wijten aan het feit dat kleine trillingen ook geregistreerd kunnen worden door de stappenteller. Zo zal de stappenteller bijvoorbeeld een stap registreren wanneer de gebruiker met de hand de smartphone op en neer heft. Dit is een veelvoorkomend probleem en kan helaas niet opgelost worden met de accelerometer.

Gps

De gps wordt gebruikt om locatie en snelheid te meten. Om de nauwkeurigheid te beoordelen wordt er gebruik gemaakt van enkele opgenomen activiteiten.

Locatie

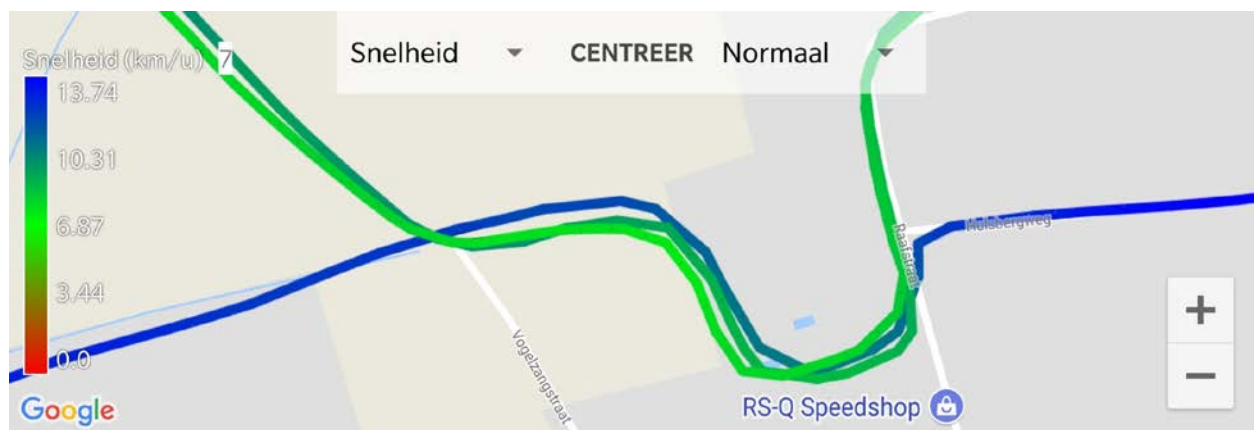
De locatiegegevens worden gebruikt om de route op de kaart aan te geven. Er werd gekozen voor een interval van minstens vijf seconden en een afstand van minstens tien meter tussen twee opeenvolgende metingen. Beide voorwaarden moeten voldaan zijn om een nieuw punt toe te voegen aan de dataset.

Op de onderstaande figuur is een slecht voorbeeld te zien. Het tijdsinterval was hier maar een seconde en er werd geen minimale afstand ingesteld. Bijgevolg werd er dus continu gemeten. Het is onmiddellijk duidelijk dat de positie heen en weer springt en soms zelfs in cirkels draait. Uiteindelijk zal dit resulteren in een te lange totale afstand, wat ook invloed heeft op de snelheid. De precisie van de gps is wel in orde, de afwijkingen ten opzichte van het echte pad bedragen ongeveer tien meter.



Figuur 23: Gps-gegevens met slechte instellingen

Indien de juiste tijds- en afstandsintervallen worden ingesteld, wordt het onderstaande resultaat bekomen. Hoewel deze figuur iets minder is ingezoomd, is er een drastisch verschil in kwaliteit te zien. Het heen en weer springen is verdwenen en er worden ook geen cirkels meer gemaakt. Hieruit volgt dat ook de afstand en snelheid betrouwbaarder zullen zijn.

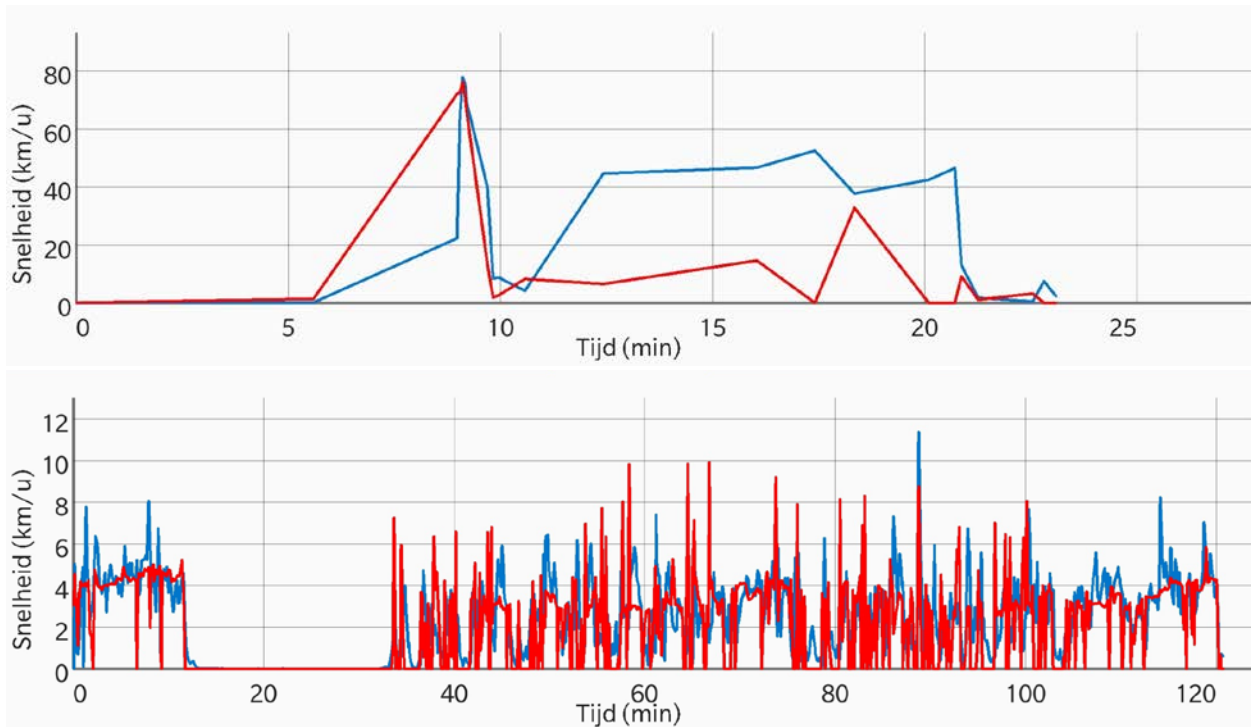


Figuur 24: Gps-gegevens met goede instellingen

Snelheid

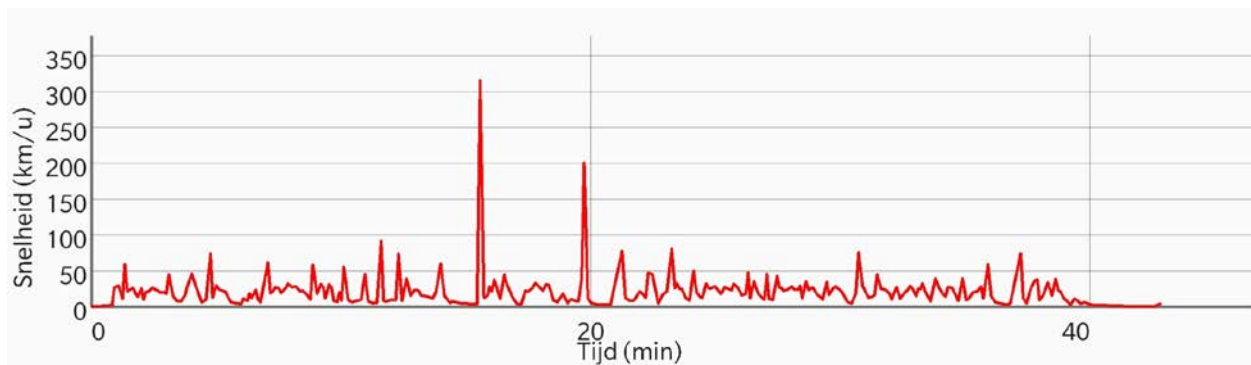
De snelheid wordt berekend met behulp van de locatie en de tijdstippen waarop deze geregistreerd werden. Het is ook mogelijk om de snelheid rechtstreeks uit de gps te halen, maar zoals de onderstaande figuur laat zien, is deze data niet zo bruikbaar. De snelheid is over het algemeen te laag in het bovenste geval. In andere situaties zijn de resultaten vergelijkbaar met de berekende snelheid, al

lijken er vaker pieken op te treden. Dit betekent dat er geen voordelen zijn bij het gebruik van de snelheid uit de gps.



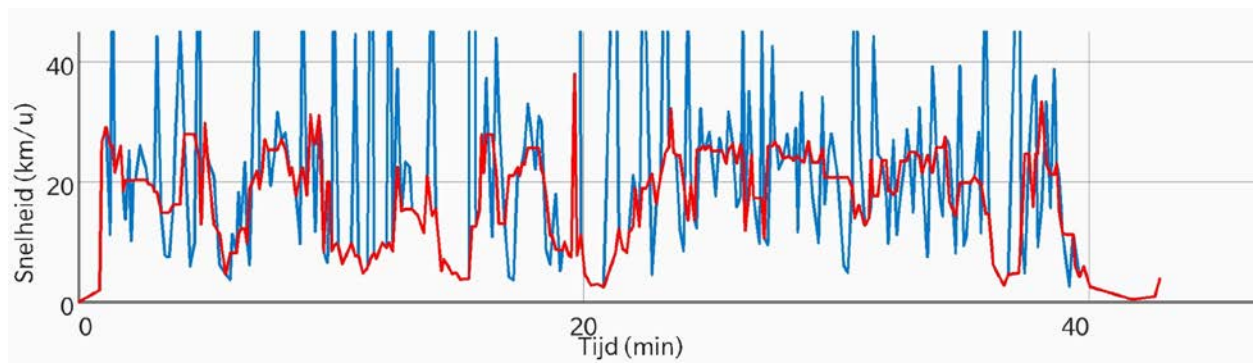
Figuur 25: Vergelijkingen berekende snelheid (blauw) en snelheid uit gps (rood)

De snelheid bevat veel ruis zoals te zien is op de onderstaande figuur. Wetende dat deze data afkomstig is van een fietstocht, is het meteen duidelijk dat pieken tot zelfs boven 300 kilometer per uur onrealistisch zijn. Met behulp van een Hampel-filter, moving average filter en een exponentiële filter is het mogelijk om de data te verbeteren.



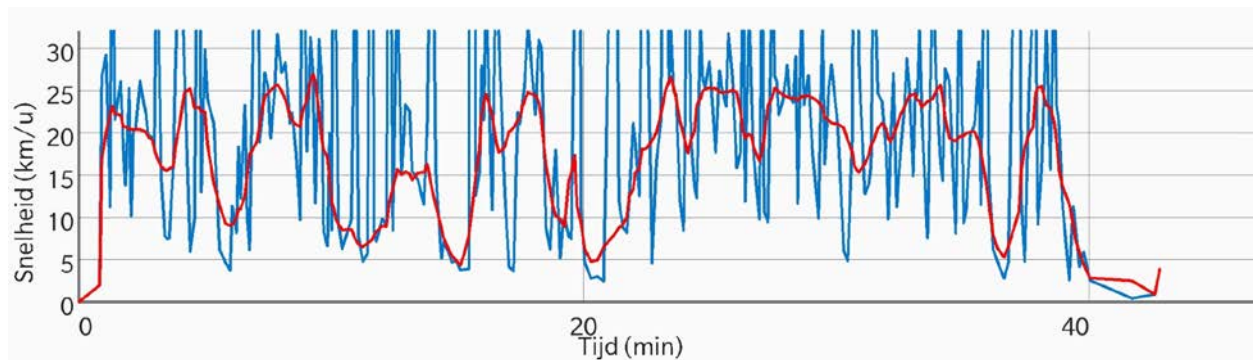
Figuur 26: Ruwe snelheidsdata

De onderstaande figuur toont het resultaat van de Hampel-filter. De extreme pieken werden succesvol verwijderd terwijl er nog veel detail overblijft zoals de stop rond minuut vijf.



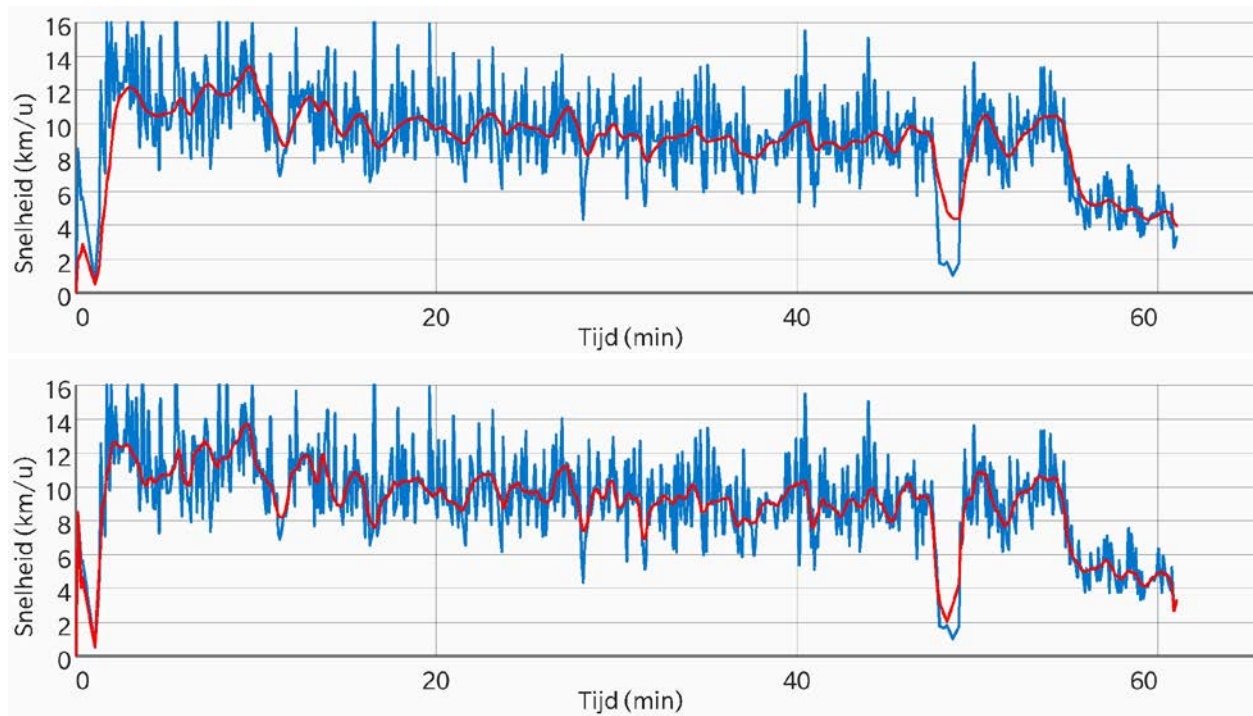
Figuur 27: Resultaat van Hampel-filter (rood) t.o.v. het origineel (blauw)

Vervolgens gaat de data door de moving average filter. Het resultaat is een verdere verbetering van het signaal. Er zijn minder pieken aanwezig en het verloop van de curve is zachter. Dit resultaat is hetgeen dat aan de gebruiker wordt getoond en dat ook voor de track op de kaart wordt gebruikt.



Figuur 28: Resultaat van de moving average filter (rood) t.o.v. originele data (blauw)

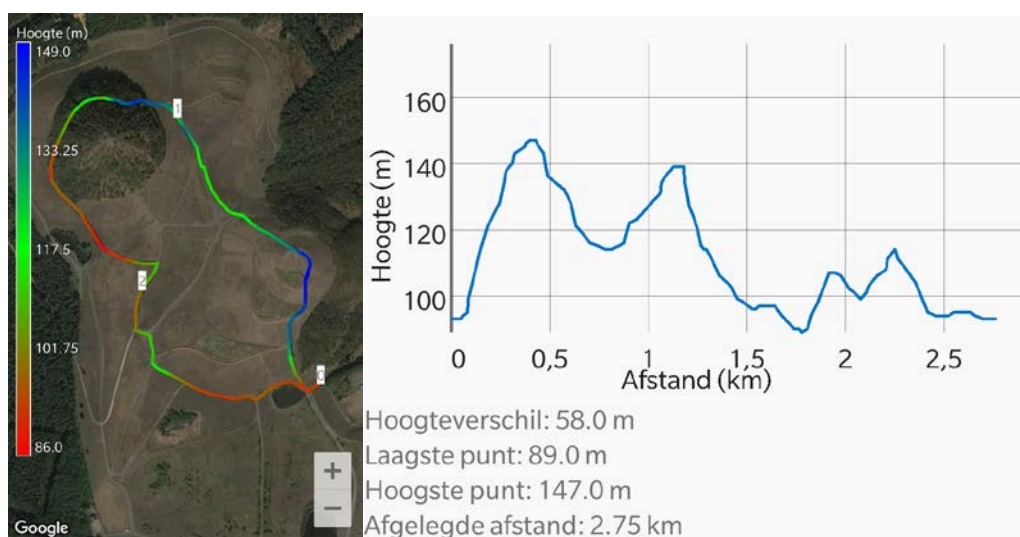
In eerste instantie was het de bedoeling om een exponentiële filter te gebruiken om ruis weg te werken. Hoewel deze filter daartoe in staat is, bleek het resultaat minder gedetailleerd te zijn dan gewenst. De onderstaande figuur toont een grafiek van een loopsessie met rond minuut 50 een korte stop. Het is duidelijk dat de exponentiële filter deze stop te veel uit het signaal filtert zonder echt een meerwaarde te bieden voor het verloop van de rest van de curve. Daarom werd besloten om deze filter niet te gebruiken voor de snelheidsdata.



Figuur 29: Boven het resultaat van de exponentiële filter (rood) en originele data (blauw), onder zonder exponentiële filter

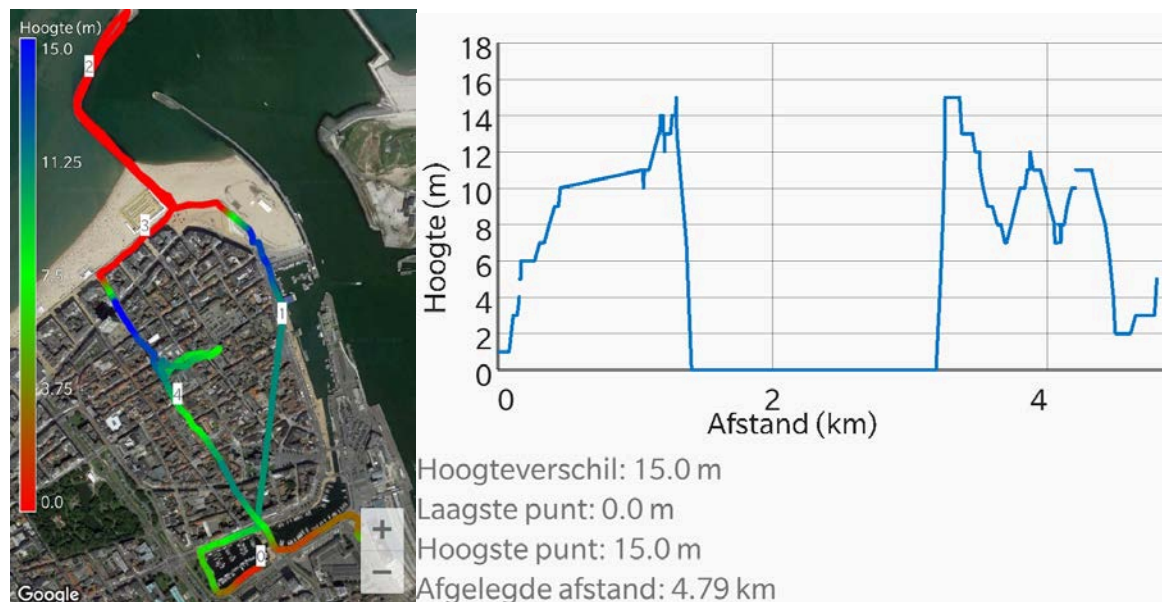
Hoogte

Buiten snelheid wordt ook de hoogte van een route opgehaald. Op de onderstaande figuur staat een voorbeeld van een route op een mijnterril die duidelijke hoogteverschillen heeft. De zuidelijke top heeft een hoogte van ongeveer 158 meter. De ruwe hoogtedata die in de applicatie wordt gebruikt geeft op dezelfde plek een hoogte van 149 meter. Doordat de data werd gefilterd met een moving average filter werd het verloop van de curve iets vloeiender, maar ging er wat detail verloren waardoor de hoogte uiteindelijk op 147 meter uitkomt. Deze afwijking van 11 meter is een stuk beter als de afwijking van een ingebouwde gps, die vaak een onzekerheid van meer dan 40 meter heeft.



Figuur 30: Route met hoogtegegevens

Een tweede voorbeeld wordt weergegeven in de onderstaande figuur. Deze route werd opgenomen in Brugge, waardoor de verwachte hoogte ongeveer gelijk moet zijn aan nul. De grafiek toont echter een ander beeld, met hoogtes tot 15 meter boven de zeespiegel. De kaart toont wat hier aan de hand is, de hoogste hoogtes worden namelijk opgemeten naast enkele appartementsgebouwen. Dit is een beperking aan de hoogtedata afkomstig van een satelliet. Wanneer er bijvoorbeeld een gebouw of een bos staat registreert de satelliet niet de hoogte van de grond maar van deze objecten die ertussen staan. Dit resulteert dan in een hoogte die iets overschat wordt.



Figuur 31: Route met hoogtedata in de stad Brugge

In het algemeen is de voorgedefinieerde hoogtedata afkomstig van satellieten betrouwbaarder dan die van de gps. In bepaalde situaties wordt de hoogte overschat door de aanwezigheid van bomen of gebouwen, wat resulteert in een afwijking in de orde van een tiental meters. Enkel in steden met veel hoogbouw is een afname van betrouwbaarheid te verwachten, maar dit geldt eveneens voor de gps door het aantal zichtbare satellieten dat afneemt. In de meeste gevallen zijn de hoogte en vooral de hoogteverschillen in de applicatie dus betrouwbaar.

Snelheid

Om een indruk te krijgen van hoe goed de applicatie werkt op een budgettelefoon, werd er gebruik gemaakt van een Acer Liquid E2 uit 2013. Dit apparaat heeft 1 gigabyte RAM en een Mediatek MT6589 soc. Deze soc was in nieuwstaat ongeveer 10 tot 20 keer trager dan de Snapdragon 835 uit de smartphone die gebruikt werd om de applicatie te ontwikkelen. Aangezien de smartphone intensief werd gebruikt, is het prestatieniveau maar ongeveer de helft van het origineel, zoals blijkt uit de benchmark 3D-Mark [29].

Een eerste belangrijke factor om na te gaan of de applicatie snel werkt is door na te gaan wat de opstartsnelheid is. Het is niet de bedoeling dat de gebruiker een aantal seconden moet wachten tot de applicatie geopend is. Zoals eerder vermeld gebeuren er een aantal stappen op de achtergrond bij het openen van de applicatie. Om deze stappen uit te voeren is er geen internetverbinding nodig en is er ook geen bluetoothconnectie nodig. De applicatie opent dus relatief snel, één tot twee seconden afhankelijk van de hardware van de smartphone.

Een tweede factor waar snelheid een rol speelt is de snelheid van de Bluetooth verbinding. Deze verbinding is zoals eerder vermeld een BLE verbinding en bevat een standaard connectie. Er zit afhankelijk van de smartphone een kleine vertraging op het opstellen van de connectie tussen Mio Alpha en smartphone. Deze vertraging komt door het dat er gewerkt wordt met bluetooth low energy.

Daarnaast speelt de snelheid van de datatransmissie bij het gebruik van bluetooth ook een grote rol. Aangezien de applicatie maximaal één keer per seconde een hartslagmeting uitvoert is hier geen enkele vertraging op te merken. Het is duidelijk dat tijdens het gebruik van de applicatie de gegevens in real time opgehaald worden.

Een volgende factor waar snelheid belangrijk is, is bij het uploaden en downloaden van bestanden tussen applicatie en server. Echter is deze snelheid niet rechtstreeks van belang aangezien alle connecties met de server op de achtergrond gebeuren. De applicatie zal zoals eerder vermeld op de hoogte gebracht worden wanneer de server een antwoord gegeven heeft, omdat dit op de achtergrond gebeurt, hoeft de applicatie dus niet te wachten en kan de verwerking doorgaan. Daarnaast hangt de snelheid van upload en downloaden voornamelijk af van de sterkte van de verbinding, bij slechte verbinding zal de applicatie er logischerwijs ook meer tijd over doen om te uploaden of te downloaden.

Vervolgens speelt snelheid ook een rol bij het laden en verwerken van de gegevens. Deze gegevens zijn afkomstig van zowel de hartslagmeting als de gps data. Zoals eerder beschreven zitten deze gegevens verwerkt in csv of gpx bestanden. Deze bestanden moeten volledig uitgelezen en bewerkt worden om een activiteit te kunnen zien. Tijdens het gebruik van de applicatie zullen nooit alle bestanden tegelijk uitgelezen worden, er zal hoogstens één enkel bestand per keer uitgelezen moeten worden. De snelheid van uitlezen hangt af van de grootte van dit bestand. We kunnen echter zien dat bij grote bestanden, bijvoorbeeld metingen van 24 uur, nagenoeg geen enkele vertraging optreedt. Snelheid is dus ook hier geen limiterende factor.

Een laatste factor waar snelheid een rol speelt is bij het laden en verwerken van de kaart. Uit de testen met de hierboven vermelde smartphone blijkt dat de applicatie feilloos werkt en ongeveer hetzelfde aantal frames per seconde (25) geeft als de originele Google Maps applicatie bij het bekijken van een kaart. De lijst met activiteiten vertoont een relatief klein aantal haperingen, maar is goed bruikbaar. Ook het bekijken van de details van een activiteit gaat vlot doordat het uitlezen van bestanden en de zware berekeningen op de achtergrond gebeuren.

Gebruiksvriendelijkheid

Een laatste criterium om de uitgewerkte applicatie te beoordelen is gebruiksvriendelijkheid. Dit criterium kan beoordeeld worden op basis van de verschillende stappen die een gebruiker moet zetten om tot een bepaald resultaat te komen of om een bepaalde actie uit te kunnen voeren.

In deze applicatie is het duidelijk dat gebruiksvriendelijkheid primeert. Alle nodige acties zijn verwerkt in een menu dat met één enkele druk meteen geopend kan worden. Dit menu geeft toegang tot de basisactiviteiten van de applicatie. Daarnaast start de applicatie na het inloggen meteen op met het startscherm waar de kaart op zichtbaar is. De gebruikte kaart is een standaard Google Maps kaart en is gekend door de meeste gebruikers. Het is mogelijk deze kaart te bedienen met de vingers zoals elke

standaard applicatie dit doet. Naast de kaart is er ook een duidelijke knop om meteen een activiteit te starten.

Naast een handige interface maakt deze applicatie ook gebruik van de nodige tips en visuele feedback. Zo worden er regelmatig meldingen weergegeven op het scherm zelf om aan te geven of een actie al dan niet voltooid is.

Daarnaast zijn de opgemeten activiteiten ook weergegeven in visueel handige lijsten. Wanneer de gebruiker op een lijst druk kan hij of zij meteen alle gegevens in een handige layout bekijken. De opgemeten gegevens zijn bovendien verwerkt in grafieken en kaarten om het begrijpen van de data te vergemakkelijken.

CONCLUSIE

In dit hoofdstuk worden alle voorgaande aspecten van het onderzoek nog even kort samengevat. Daarnaast biedt dit hoofdstuk een concreet beeld of de realisatie van de onderzoeksvraag met succes voltooid is.

Ten eerste heeft men een duidelijk beeld kunnen van de doelgroep van dit onderzoek. De doelgroep bestaat uit hartpatiënten. Onderzoek toont aan dat dat eender welke hartoperatie een relatief zware ingreep vereist en dat de patiënt al snel enkele maanden aan het revalideren is. Deze revalidatie gebeurt tegenwoordig nog steeds in dezelfde sportzaal in het ziekenhuis zelf samen met een fysioloog. Om het voor de patiënt interessanter te maken is er in dit onderzoek een applicatie ontwikkeld die het mogelijk maakt de patiënt op te volgen als hij of zij buiten het ziekenhuis revalideert. Men is dus op zoek gegaan naar de verschillende aspecten die belangrijk zijn bij revalidatie.

Uit de literatuurstudie blijkt dat het noodzakelijk is om na te gaan welke gegevens bijgehouden moeten worden. Men kan terugvinden dat het noodzakelijk is om een hartslag op te meten en dit in combinatie met de intensiteit van een inspanning. Deze gegevens zijn noodzakelijk voor de revalidatiearts om de patiënt te kunnen beoordelen en zijn of haar toestand te kunnen evalueren.

Ten tweede kan men aan de hand van de literatuurstudie ook nagaan welke beveiligingsmaatregelen getroffen zijn om de data afkomstig van de gebruiker te beveiligen. Conform de Europese privacywetgeving kan men zien dat beveiliging een belangrijk aspect was in dit onderzoek. Men heeft persoonsgegevens op verschillende manieren kunnen beveiligen. Een eerste manier was door het invoeren van een SSL-certificaat. Dit certificaat zorgt ervoor dat de verbinding tussen applicatie en server voldoende beveiligd en versleuteld wordt. Daarnaast is het ook belangrijk om na te gaan dat de gebruiker effectief toegang mag krijgen tot de server, dit aspect noemt men authenticatie.

Authenticatie is in dit onderzoek geïmplementeerd op basis van API Tokens. Dit is typisch een stuk onleesbare data dat aangeeft dat de gebruiker geauthentiseerd is. Men kan in dit onderzoek lezen dat dit uitgevoerd is op basis van JSON web tokens. Deze worden door de server opgesteld, bevatten een aantal gegevens en worden enkel door de applicatie bewaard. Indien de applicatie verbinding wil maken met de server wordt deze token mee doorgestuurd, de server zal dan controleren of de applicatie gemachtigd is. Kortom authenticatie is met succes in de applicatie geïmplementeerd.

Ten derde kan men met de ontwikkelde applicatie ook gegevens opmeten. Deze gegevens kunnen gemeten worden op twee manieren: een hartslagmeting zonder gps of een hartslagmeting met gps. Omdat deze metingen voldoende nauwkeurig moeten gebeuren is er onderzoek gedaan naar de juiste methode. Zo kan men aan de ene kant de hartslagmeting onderscheiden en aan de andere kant de gps meting.

Indien men de hartslagmeting bekijkt kan men uit de literatuurstudie afleiden dat er twee methodes zijn om zo een meting uit te voeren, namelijk electrocardiografie (ECG) en fotoplethysmografie (PPG). Uit onderzoek blijkt dat de ECG methode betrouwbaarder is en nauwkeurigere resultaten toont dan PPG. Echter is in dit onderzoek gebruik gemaakt van PPG. Deze keuze is gemaakt door het feit dat de

vragende partij een PPG sensor ter beschikking stelde. De gebruikte sensor is de Mio Alpha 2 en maakt verbinding met de applicatie aan de hand van bluetooth.

Men kan uit de resultaten afleiden dat de connectie met bluetooth geen enkel effect heeft op de meting zelf daarnaast kan men ook zien dat de snelheid van meten niet wordt beïnvloed door de bluetoothconnectie. In deze applicatie gebeurt er ongeveer elke seconde een hartslagmeting, maar de effectieve data wordt per minuut bewaard op zowel de smartphone als online. Men kan (in)zien dat deze gekozen werkwijze vereist was om opslagruimte te besparen. Indien de metingen per seconde worden bewaard zal de opslagruimte nodig voor de bestanden enorm snel toenemen. Omdat een hartslag op enkele seconden tijd een vrij groot verschil kan vertonen met een vorige hartslag is ervoor gekozen om elke te seconden te meten en een gemiddelde per minuut op te slaan.

Buiten het meten van de hartslag wordt ook de locatie gebruikt om nuttige informatie te verzamelen. Met behulp van de locaties van een activiteit wordt de hoogte bepaald. Onderzoek toont dat hoogtedata afkomstig van gps onbetrouwbaar is en onnauwkeurige resultaten weergeeft. Om deze reden werd er gekozen om gebruik te maken van NASA-data. Deze data heeft een hogere nauwkeurigheid in vergelijking met de gps. Deze hoogte wordt achteraf gebruikt om de intensiteit van een activiteit weer te geven.

Ook afstanden en snelheden kunnen met behulp van de locatiedata berekend worden. Aangezien de snelheid zeer veel ruis vertoont in zijn ruwe vorm, is het essentieel om deze data te filteren. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van twee soorten filters, namelijk een Hampel-filter die extreme pieken kan verwijderen en een moving average filter. Het resultaat is een realistisch snelheidsprofiel dat genoeg details vertoont.

Om al deze verzamelde gegevens behapbaar te maken voor de gebruiker, wordt er gebruik gemaakt van grafieken en kaarten die deze data in een aantrekkelijke manier kunnen voorstellen. Om kaarten te tonen werd er gebruik gemaakt van de Google Maps API, die toestaat dat er gratis onbeperkt gebruik gemaakt kan worden van de kaarten van Google. Aan deze kaarten kan een gekleurde track worden toegevoegd waarbij de kleur een van de fysiologische parameters voorstelt. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om stukken met een hoge hartslag te zien en deze te linken aan de snelheid of hoogteverschillen.

In het laatste aspect van dit onderzoek heeft men een concreet beeld weergegeven in verband met de algemene nauwkeurigheid, snelheid en gebruiksvriendelijkheid van de applicatie. Men kan zien dat de nauwkeurigheid van de applicatie afhangt van drie onderdelen: de hartslagmeting, de stappenteller en de gps-meting. Uit de resultaten is af te leiden dat de nauwkeurigheid van de hartslagmeting enkel bepaald wordt door de nauwkeurigheid van de sensor zelf. De sensor stuurt ogenblikkelijke hartslagen door en deze worden door de applicatie opgevangen en bewaard. Daarnaast blijkt uit de resultaten dat de stappenteller een relatief goede representatie weergeeft van het aantal stappen gezet tijdens een activiteit. Deze teller toont echter kleine verwaarloosbare afwijkingen die te wijten zijn aan bewegingen veroorzaakt door de gebruiker. Vervolgens kan men afleiden uit de resultaten dat de gps-meting en met name de hoogtemeting vrij nauwkeurig is. De hoogtedata is afkomstig van NASA-data en kan in sommige gevallen exact bepaald worden tot op de meter nauwkeurig. Er kunnen echter wel afwijkingen

optreden indien er bos of bebouwing aanwezig is, maar nog steeds is de data dan enkele malen nauwkeuriger dan de ingebouwde gps.

Ook kan men uit de resultaten afleiden dat de snelheid van de applicatie geen problemen vormt. Met snelheid kan men verstaan de opstarttijd, de tijd om een meting te starten en de tijd om een meting op te slaan. De gebruiker zal geen enkel probleem ondervinden in verband met snelheid, Omdat in dit onderzoek alle zware activiteiten op de achtergrond gebeuren. De applicatie zal op eender welke Android smartphone, waarin bluetooth en gps aanwezig zijn, kunnen werken. Er zullen kleine verschillen in snelheid zijn tussen de verschillende smartphones onderling, dit is te wijten aan de hardware van de smartphone.

Als laatste is de gebruiksvriendelijkheid van deze applicatie een belangrijk aspect. Men kan uit de resultaten afleiden dat er voldoende aandacht besteed geweest is aan de gebruiksvriendelijkheid van deze applicatie. Het is op het eerste zicht vrij duidelijk voor de gebruiker wat er gedaan moet en kan worden. Er is voldoende zorg gedragen om de gebruiker feedback te geven bij elke actie die hij of zij doet, dit gebeurt aan de hand van kleine meldingen onderaan op het scherm. Daarnaast bevat elk scherm of elke activiteit een duidelijk overzicht van alle aanwezige acties. De gebruiker kan met behulp van enkele drukken snel een nieuwe activiteit opnemen of zijn of haar gegevens bekijken.

Ten slotte kan men stellen dat de onderzoeksvraag, of het mogelijk is om hartpatiënten buiten te laten revalideren, positief beantwoord kan worden. De applicatie die nodig is om dit te verwezenlijken is met succes ontwikkeld en vereist enkel nog implementatie aan de kant van het ziekenhuis. Deze applicatie kan op nagenoeg elke Android smartphone werken.

VERDER ONDERZOEK

Dit laatste hoofdstuk behandelt verder onderzoek, de mogelijkheden met de ontwikkelde applicatie en een eventuele aanzet tot uitbreidingen.

Zoals in de conclusie duidelijk is, heeft deze applicatie een aantal belangrijke basisaspecten. In verder onderzoek kan er gezocht worden naar uitbreidingen op deze applicatie. Mogelijkheid tot implementeren van andere sensoren of mogelijkheid tot opnemen van andere data behoort tot de mogelijkheden.

Daarnaast kan er met behulp van dit onderzoek verder ontwikkeling gedaan worden naar een applicatie die kan gebruikt worden door de hulpverlener. Een belangrijk aspect is hulp verlenen aan personen in nood. De ontwikkelde applicatie in dit onderzoek kan gebruikt worden om de hulpdiensten te verwittigen indien er zich een noodgeval voordoet. Dit zou handig kunnen zijn in levensbedreigende situaties.

Vervolgens kan men op basis van dit onderzoek ook een online platform ontwikkelen die het medische personeel toegang geeft tot gegevens van de patiënten. Dit platform maakt het mogelijk voor de fysioloog snel na te gaan welke voortgang de patiënt gemaakt heeft. Samen met de ontwikkeling van dit platform kan men ook onderzoek doen naar dataverwerking. Onder dataverwerking verstaat men het automatisch verwerken van data op basis van *machine learning*. Dit maakt het mogelijk om bepaalde trends in de gezondheid van een patiënt te detecteren.

Kortom kan met op basis van dit onderzoek verdere uitbreidingen en onderzoeken uitvoeren in de medische sector. Tegenwoordig hebben steeds meer mensen een smartphone ter beschikking en zou deze smartphone gebruikt kunnen worden voor andere medische doeleinden.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Hartstichting. [Online]. Available: <https://www.hartstichting.nl/hart-en-vaatziekten/behandelingen/hartrevalidatie>
- [2] Algemene informatie AVG, Autoriteit Persoonsgegevens. [Online]. Available: <https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/avg-europese-privacywetgeving/algemene-informatie-avg>
- [3] Authentication, Margaret Rouse, februari 2015. [Online]. Available: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/authentication>
- [4] Service Oriented Architecture (SOA) en Cloud Computing, Kris Aerts; SOACL – 3465 [Cursus]
- [5] Yjvesa Balaj, “Token-Based vs Session-Based Authentication: A Survey”, Market Technologies Inc, september 2017
- [6] L. Scientiae, “Everything You Wanted to Know about SSL Certificates”, 8 januari 2013. [Online]. Available: <https://luxsci.com/blog/everything-you-wanted-to-know-about-ssl-certificates.html>
- [7] JSON Web Token (JWT), 12 juni 2015, OAuth Working Group. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/pdf/draft-ietf-oauth-json-web-token-32.pdf>
- [8] JSON Web Tokens, Auth0. [Online]. Available: <https://jwt.io>
- [9] C. Sevilleja, “The Ins and Outs of Token Based Authentication”, 21 januari 2015. [Online]. Available: <https://scotch.io/tutorials/the-ins-and-outs-of-token-based-authentication>
- [10] M. Rouse, “SAML (Security Assertion Markup Language)”, TechTarget, januari 2008. [Online]. Available: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/SAML>
- [11] M. Rouse, “XACML (Extensible Access Control Markup Language)”, TechTarget, September 2005. [Online]. Available: <https://searchcio.techtarget.com/definition/XACML>
- [12] S. Peyrott, “Refresh tokens: When to Use Them and How They Interact with JWTs”, 7 oktober 2015. [Online]. Available: <https://auth0.com/blog/refresh-tokens-what-are-they-and-when-to-use-them/>
- [13] K. Sandoval, “API Keys & Security: Why API Keys are not enough.”, Nordic APIS, 30 oktober 2015. [Online]. Available: <https://nordicapis.com/why-API-Keys-are-not-enough/>
- [14] P. Davey, “ECG”, Medicine, United Kingdom, 2014
- [15] J. N. Jensen, M. Hannemose, “Camera-based heart rate monitoring”, M.S. thesis, Dept. Applied Mathematics and Computer Science, Technical Univ. of Denmark, 2800 Kongens Lyngby, Denmark, 2014.

- [16] Aymen A. Alian, M.D., Associate Professor of Anesthesiology, Kirk H. Shelley, M.D., Ph.D., Professor of Anesthesiology, "Photoplethysmography", Yale University School of Medicine, New Haven, CT USA, 2014.
- [17] Global positioning system, 20 maart 2018. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Global_positioning_system
- [18] Accuracy of GPS data, 20 maart 2018. [Online]. Available: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Accuracy_of_GPS_data
- [19] USGS EarthExplorer, 2 februari 2018. [Online]. Available: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- [20] Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), 23 maart 2018. [Online]. Available: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTMVF>
- [21] World Geodetic System, 24 maart 2018. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System#WGS84
- [22] EGM96, 24 maart 2018. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/EGM96>
- [23] Runtastic; <https://www.runtastic.com/>
- [24] Runkeeper; <https://runkeeper.com/>
- [25] Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points, Chriss Veness; <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
- [26] Hampel, matlab documentation; <https://nl.mathworks.com/help/signal/ref/hampel.html>
- [27] Moving average, Greg Stanley; <https://gregstanleyandassociates.com/whitepapers/FaultDiagnosis/Filtering/Moving-Average-Filter/moving-average-filter.htm>
- [28] Exponential filter, Greg Stanley; <https://gregstanleyandassociates.com/whitepapers/FaultDiagnosis/Filtering/Exponential-Filter/exponential-filter.htm>
- [29] 3DMARK; <https://benchmarks.ul.com/3dmark-Android>

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Verzamelen Fysiologische Gegevens bij Hartpatiënten met Smartphone

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT**
Jaar: **2018**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Guilliams, Niels

Verhoeven, Robin

Datum: **4/06/2018**