

Afstudeeronderzoek Sensorwise

EEN ONTWERP VAN EEN MEETSYSTEEM VOOR GEVELS

MARIJN VUIJK

MJM Vuijk

66274

23-09-2021

SAMENVATTING

Gezondheid, welzijn en milieu zijn belangrijke thema's die zeker tegenwoordig veel aandacht krijgen. Isolatie in gebouwen is kernpilaar wanneer het gaat om gezondheid en welzijn van mensen binnenshuis. De materialen die hiervoor gebruikt worden en in welke mate deze worden toegepast heeft effect op de uitstoot van energie en broeikasgassen. Dit zijn punten die terugkomen in het thema milieu.

Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een systeem wat bewijs kan genereren dat ecologische isolatiematerialen hetzelfde of beter kunnen presteren op het milieuvlak. Daarnaast biedt dit onderzoek een handvat om verdere onderzoeken in gezondheid en welzijn van mensen binnenshuis te kunnen ondernemen. Om dit systeem te ontwerpen is de onderzoeksvraag opgesteld: 'Hoe kan het dynamische gedrag van vocht en temperatuur worden gemeten en gelogd in gevels van woningen zodat er conclusies kunnen worden getrokken over ideale omstandigheden om welzijn en comfort binnenshuis te verbeteren?' Hierbij wordt vooral gekeken naar de technische oplossing van deze vraag.

Om een systeem passend bij deze vraag te ontwerpen is er systematisch ontworpen volgens het V-Model. Een steeds diepere exploitatie van het systeem vormt het ontwerp waarna het systeem van onderdeel tot volledig systeem getest wordt.

Het systeem wat ontworpen is, bestaat uit tien lokale meetsystemen die elk acht sensoren bevatten die verdeeld zijn door de gevel van een woning. Zo kan het transport van vocht en temperatuur bepaald worden door de kritieke delen van een gevel. Naast transport kan dit systeem vocht- en temperatuurbuffers meten. Er is echter meer onderzoek en testen nodig om te bepalen dat systeem zijn doel volledig behaald. Dit vormt tevens de basis voor de aanbevelingen. Niet alleen het systeem verder ontwikkelen is van belang, de integratie opzoeken tussen verschillende werkvelden als gezondheidszorg, materiaalkunde en techniek is van belang. De maatschappelijke waarde die mogelijk gehaald kan worden met dit systeem als basis kan zeer mooi zijn.

VOORWOORD

Hierbij presenteer ik u mijn scriptie: 'Het meetsysteem Sensorwise'. Het systeem is ontworpen voor het subsidieproject Sensorwise waar de twee bedrijven, Hoedemakers en Isohlas, en de kennisinstelling Centre of Expertise BioBased Economy aan gebonden waren. Deze scriptie is geschreven als afstudeeropdracht van de opleiding Engineering aan de HZ University of Applied Sciences.

Het afstudeerproces is een bijzonder leerproces voor mij geweest. Tegenslagen brachten veel problemen met zich mee maar tevens veel leermomenten. Ik heb een berg aan kennis opgedaan tijdens het onderzoek en het schrijven van de scriptie. Veel facetten van de opleiding kwamen terug in mijn onderzoek echter zijn er ook nieuwe vaardigheden ontwikkeld.

Als eerste wil ik Jasper Sluis en Willem Böttger MSc bedanken voor de opdracht en de begeleiding binnen het bedrijf. Tevens wil ik Mathijs Bontje MSc bedanken voor alle hulp tijdens ons eens per twee weken woensdag avond meeting. Dank voor de essentiële stappen die we samen hebben gezet. Natuurlijk verdient Judith Mollenbrok MSc ook een grote dank voor haar adviezen en commentaren wat betreft de tekst en opbouw van dit document. Mijn vriendin, Rachelle Baljeu BSc, verdient ook een vermelding, zij heeft mij enorm geholpen en zij heeft goed druk gezet op momenten dat ik juist het tegenovergestelde deed.

Als laatste wil ik ir. Willem Haak MTD bedanken, als SLC, als adviseur en als reddingsboei. Wanneer ik door de bomen het bos niet meer kon zien heeft u de sleutelrol gespeeld in het verduidelijken en ophelderen van problemen.

Het was veel, het was zwaar, maar het was een geweldig leerzaam proces.

Marijn Vuijk

LEESWIJZER

Het eerste hoofdstuk van dit document is de Inleiding. In de inleiding wordt het probleem bekeken en worden passende hoofd- en deelvragen opgesteld. Het Theoretisch Kader vormt het tweede hoofdstuk en zal de theoretische basis leggen die benodigd is voor het ontwerp. Het derde hoofdstuk is Methode. Hier wordt beschreven welke methodieken er gebruikt worden voor dit ontwerp. Hoofdstuk vier, de Resultaten, beschrijft de weergave van de resultaten van het onderzoek. In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek beschreven. Na de resultaten komt hoofdstuk vijf, de Discussie. Hierin worden de resultaten geïnterpreteerd. Als laatste komt hoofdstuk zes Conclusies en Aanbevelingen. In dit hoofdstuk wordt het onderzoek geconcludeerd en worden er aanbevelingen gegeven voor mogelijk verder onderzoek.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	1
Voorwoord	2
Leeswijzer	3
Lijst van figuren	1
Lijst van tabellen.....	1
Lijst van vergelijkingen	1
1. Inleiding	1
1.2 Achtergronden bedrijven	2
Centre of Expertise Biobased Economy	2
Isovlas	2
Hoedemakers bouw en ontwikkeling.....	2
1.3 Probleemstelling.....	3
Deelvragen.....	3
1.4 Doelstelling.....	4
2. Theoretisch kader	5
2.1 Temperatuur bepalen.....	5
Mechanisch meten	5
Blackbody straling	5
Elektrische weerstandthermometer	5
Elektrisch potentiaal thermometers	6
Transistors en diodes.....	6
2.2 Vochtigheid bepalen.....	7
Gravimetrische methode.....	7
Permittiviteit.....	7
Weerstand	7
2.3 Luchtvochtigheid	8
2.4 Comfortabele en Gezonde temperatuur en luchtvochtigheid.....	8
2.5 Bouwmaterialen, traditioneel, HSB, ecologisch	9
Thermische geleidbaarheid λ (Lambda)	9
Specifieke warmte	9
Traditionele bouw	9
Houtskeletbouw	9
Ecologische keuzes maken	10
2.6 Subsidieregeling	11
3. Methode.....	12

3.1 Ontwerpmethodes	12
3.2 Gekozen methodiek	12
3.3 Conceptueel model	13
Datavergaring	13
Dataverwerking	14
3.4 Tools	14
Software	14
3.5 Hardware	14
3.6 Testplan	15
4. Resultaten.....	16
4.1 Systeem	16
Eisen	16
Ontwerp.....	16
Swimlane diagram systeem.....	18
4.2 Subsystemen	18
Mainserver	18
Lokaal meetsysteem.....	19
Subsystem voeding.....	19
4.3 Componenten.....	19
Ontwerp mainserver componenten.....	19
Ontwerp Lokaal meetsysteem componenten.....	20
Hardware & Software: Communicatie	22
Hardware: Lokaal meetsysteem circuit en diagrammen	22
Software	22
4.4 Testen	24
Testlog Sensorwise	24
4.5 Proefopstelling meetsysteem.....	25
4.6 Kosten.....	27
BOM.....	27
5. Discussie	28
6. Conclusie	30
7. Aanbevelingen.....	31
7.1 Microniveau.....	31
7.2 Mesoniveau	31
7.3 Macroniveau.....	31
Referenties	32

Bijlage	36
Code mainserver	36
Code lokaal meetsysteem	39
Swimlane diagram system.....	44
Spanningsverlies calculator	45
Keuzematrix communicatieprotocollen	46
Template Testplan volgens IEEE 829	47

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Seebeck effect & voltage.....	6
Figuur 2: V-Model VDI2206 [39].....	12
Figuur 3: Aangepast V-Model voor project Sensorwise	13
Figuur 4: Conceptueel model	13
Figuur 5: Systeembeschrijving.....	Error! Bookmark not defined.
Figuur 6: Functieboom	17
Figuur 7: Systeem diagram	17
Figuur 8: Substelsiem Mainserver	18
Figuur 9: Functieboom Substelsiem Meetsysteem	19
Figuur 10: Volgorde keuzes componenten	20
Figuur 11: RLV Nauwkeurighedsgrafieken SHT31 & SHT35 [56]	21
Figuur 12: Temperatuur nauwkeurighedsgrafieken SHT31 & SHT35 [56]	21
Figuur 13: Verloop software lokaal meetsysteem	23
Figuur 14: Schematische weergave proefopstelling	25

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Eigenschappen isolatiemateriaal.....	10
Tabel 2: Sensoren	21
Tabel 3: Data proefopstelling	26
Tabel 4: BOM.....	27
Tabel 5: Begroting	27

LIJST VAN VERGELIJKINGEN

Vergelijking 1 [11].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 2	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 3 [11].....	5
Vergelijking 4 [15].....	5
Vergelijking 5 [16].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 6 [16].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 7 [16].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 8 [16, p. 7].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 9 [18].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 10 [18].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 11 [18].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 12 [18].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 13	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 14	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 15 [22].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 16 [23].....	Error! Bookmark not defined.
Vergelijking 17	10

1. INLEIDING

Mensen zijn warmbloedig wat betekend dat het lichaam op een constante warme temperatuur moet blijven. Het lichaam produceert hierbij een overvloed aan warmte. Deze warmte dient afgevoerd te worden om zo oververhitting te voorkomen. Dit gebeurt via zweten, door vochtafzetting via poriën in de huid kan vocht verdampen waardoor lokaal de temperatuur van het lichaam daalt. Luchtvochtigheid en temperatuur blijken belangrijke factoren te zijn als het gaat om comfort van de mens. Dit proces kan alleen plaats vinden wanneer de luchtvochtigheid niet te hoog is. Een te hoge luchtvochtigheid zorgt er dus voor dat het lichaam slecht kan koelen, hierdoor kan een gevoel van discomfort naar boven komen. Naast het discomfort is een hoge luchtvochtigheid ook een broedplaats voor bacteriën en schimmels in de omgeving. Uit een onderzoek gepubliceerd in Indoor Air blijkt dat schimmelgroei tot dertien keer zo groot is bij 100% RLV dan bij een RLV van 85% [1]. Tevens wordt er aangewezen dat mogelijk tot half van de hoeveelheid in de lucht zwevende bacteriën te liëren zijn aan constant hoge RLV-waardes. Een te lage luchtvochtigheid kan echter ervaren worden als niet comfortabel, volgens een Deens onderzoek uit 2006 is bijvoorbeeld een correlatie te zien tussen lage luchtvochtigheid en irritatie aan de ogen door uitdroging [2].

Een Duits onderzoek is gedaan naar hoeveel tijd mensen in huis doorbrengen. Dit resulteerde in een gemiddelde tijd van 15.7 uur per dag, ofwel 65.4%. Dit komt overeen met andere westerse landen zoals de VS en Canada, waar inwoners respectievelijk 15.6 en 15.8 uur per dag gemiddeld in huis doorbrengen [3]. In dit onderzoek wordt niet meegerekend de tijd die bijvoorbeeld op kantoor wordt doorgebracht. Dit is dan wel niet thuis maar alsnog binnen de muren van een gebouw.

Om een beter natuurgetrouw beeld te krijgen van gezondheid, comfort en het gedrag van vocht- en temperatuurtransport tussen binnen en buiten is het Centre of Expertise BioBased Economy (later te benomen als CoEBBE) een onderzoek gestart. Dit onderzoek, genaamd Sensorwise, is een samenwerking tussen twee bedrijven en een kennisinstelling. Namelijk Isovlas, Hoedemakers bouw en ontwikkeling en het CoEBBE. Deze samenwerking bracht de mogelijkheid om een, door de staat gefinancierde, subsidie te ontvangen.

1.2 Achtergronden bedrijven

Centre of Expertise Biobased Economy

Het COEBBE is een expertisecentrum (een samenwerkingsverband tussen HZ University of Applied Sciences en Avans Hogeschool) voor bedrijven, overheden en instituten die onderzoek doen of willen doen in biobased oplossingen op vraagstukken. Deze oplossingen komen voort uit de transitie van fossiele- naar ecologische grondstoffen. De onderzoeksvraagstukken worden door lectoren die aangesloten zijn via een lectoraat aan het COEBBE opgesteld. Binnen deze lectoraten kunnen dan verschillende onderzoeken per vraagstuk opgesteld en uitgevoerd worden, dit is in combinatie met (docent-)onderzoekers en studenten. De vier lectoraten die op het moment van schrijven zijn aangesloten bij het COEBBE zijn als volgt:

- Biobased Bouwen
- Biobased Products
- Biobased Energy
- Marine Biobased Specialities

Naast de resultaten die behaald worden uit de gedane onderzoeken door de lectoraten wordt er ook gekeken naar het produceren van onderwijsmateriaal dat zal worden gebruikt om de toekomstige studenten een handvat te geven als het gaat om de biobased beroepspraktijk. Het COEBBE is opgericht in 2012 en heeft haar hoofdkantoor gelegen op de Lovensdijkstraat 63 te Breda, Noord-Brabant [4].

Isovlas

Isovlas is een isolatiefabrikant voor woning en utiliteitsbouw. Waar veel isolatiefabrikanten gebruik maken van minerale wol isolaties, produceert Isovlas het gelijknamige isolatiemateriaal Isovlas, gemaakt van houtvlas. Wat Isovlas als isolatiemateriaal zo bijzonder maakt is dat het niet alleen zeer goed isoleert op temperatuur en geluid, het vochtregulerend is maar het ook nog volledig Cradle to Cradle is met een positieve CO₂ footprint. Dit wil zeggen dat, wanneer er gekeken wordt naar de complete levensloop van het product, er meer CO₂ wordt opgenomen dan dat er tijdens productie en gebruik wordt uitgestoten. Dit is absoluut niet te zeggen voor minerale wol materialen. Naast de CO₂ footprint is het zoals eerder gezegd een Cradle to Cradle product aangezien Isovlas geproduceerd wordt van restvezels van de linnenindustrie. Hierdoor wordt er bij de productie van het materiaal gebruik gemaakt van het 'afval' van een andere industrie. Het bedrijf bestaat al meer dan 20 jaar en blijft hard bezig met innoveren en ontwikkelen. Zo ontving het bedrijf eerder al de Gouden Appel, de prijs voor het meest innovatieve bedrijf van Nederland. Isovlas is gevestigd aan de Moergestelseweg 30A te Oisterwijk, Noord-Brabant.

Hoedemakers bouw en ontwikkeling

Bouwen is beleven, dat is de slogan van Hoedemakers. Het Brabantse bouwbedrijf, opgericht in 1931 en uitgegroeid tot een middelgroot bedrijf. Hoedemakers is een innoverend bouwontwikkelaar dat zich specialiseert in planontwikkeling, nieuwbouw en vastgoedonderhoud. Wat Hoedemakers vooral onderscheid is het streven naar een fijnere en betere leefomgeving. Dit wordt bijvoorbeeld gedaan door het pilotproject Healty Home. Dit pilotproject bevindt zich midden in de wijk De Grote Wielen te Rosmalen. Twee woningen heeft Hoedemakers ter beschikking gesteld voor innovatie. Eén van de woningen wordt gebouwd volgens Nul Op de Meter-eisen [5], de ander is gebouwd vanuit een gezond en ecologisch perspectief. Met deze woningen wil Hoedemakers een directe en concrete stap zetten naar een betere leefomgeving voor haar klanten. Hoedemakers zal in dit onderzoek de testwoningen faciliteren en speelt hierbij dus een essentiële actor. Het bedrijfspan is gevestigd aan De Grote Elst 40 te Rosmalen, Noord-Brabant.

1.3 Probleemstelling

Het hedendaagse probleem bij veel huizen: Uw huis is niet genoeg geïsoleerd ofwel energiezuinig. Een oplossing voor dit probleem is vrij voor de hand liggend, pas meer isolatie toe op kritische delen zoals het dak en/of de gevel. Uit deze gedachte komt direct de volgende vraag: Wat voor isolatie?.

De meest voor de hand liggende oplossing is kijken naar de meest gebruikte isolatiematerialen. Minerale isolatiematerialen worden het meest gebruikt (35-60%), kunststof isolatiematerialen staan op de tweede plaats qua gebruik (30-55%) en ecologische isolatiematerialen worden nog maar amper gebruikt (0-5%) [5].

Een mogelijke oorzaak van het amper gebruik van ecologische isolatie materialen is het gebrek aan kennis op het technisch vlak. Een andere oorzaak kan zijn dat gebruikers niet weten dat er andere keuzes zijn voor isolatie materialen dan minerale en/of kunststof isolatie materialen.

Wanneer er gezocht wordt naar een mogelijke oplossing om te zorgen dat het aandeel biologische isolatie materialen groter wordt binnen de isolatiemarkt, kan er gekeken worden naar 'unique selling points' ofwel USP's. Verwacht wordt dat ecologische isolatie materialen namelijk superieure hygroscopische en thermische eigenschappen hebben boven synthetische isolatie materialen. Deze eigenschappen zorgen er voor dat de isolatie beter geschikt is in dynamische omstandigheden. De isolatie werkt dan als een buffer voor warmte en vocht [6]. Om deze hypothese te beantwoorden dient er echter meer onderzoek te worden gedaan naar de hygro-thermische eigenschappen van ecologische isolatie materialen in woningen.

Sensorwise heeft als doel het bewijzen van de aannamen dat ecologische bouwmaterialen een verbetering zijn voor het leefklimaat binnenshuis. Om dit te kunnen bewijzen dient er data gegenereerd te worden. Deze data moet gemeten en gelogd worden zodat de data geanalyseerd kan worden.

Hoofdvraag

Wat is het systeem dat het dynamische gedrag van relatieve luchtvochtigheid en temperatuur kan meten en loggen in gevels van woningen zodat er conclusies kunnen worden getrokken over ideale omstandigheden om welzijn en comfort binnenshuis te verbeteren?

Deelvragen

De deelvragen zijn onderverdeeld volgens de vier kwadranten beschreven in 'Het ontwerpproces in de praktijk' geschreven door J. Timmers en M. van der Waals [7]. Dit is gedaan om zo een duidelijke afbakening te maken van de verschillende aspecten van dit onderzoek en ontwerp. De vragen zijn niet gelijk uitgespreid over de loop van het onderzoek maar zijn wel dekkend. Volledige dekking wordt gezien als een belangrijker punt dan gelijkmatige verdeling, met dekking als basis zijn de volgende vragen opgesteld.

1. Technische vragen

- 1.1. Wat voor meetmethodes worden er gebruikt voor het meten van temperatuur in gevels?
- 1.2. Wat voor meetmethodes worden er gebruikt voor het meten van vocht(transport) in gevels?
- 1.3. Wat voor systeem kan data uitlezen en opslaan?

2. Mens vragen

- 2.1. Hoe kan de data die gegenereerd wordt door het systeem, gepresenteerd worden aan de eindgebruiker?
- 2.2. Hoe moet de installateur het systeem installeren en hoe kan er worden gezorgd dat de installatie soepel verloopt?

3. *Markt vragen*

- 3.1. Wat is de kostprijs per meeteenheid en per meetsysteem?
- 3.2. Wat zijn eigenschappen van het systeem die het interessant maken om dit systeem toe te passen buiten dit project om?

4. *Milieu vragen*

- 4.1. Wat zijn de richtlijnen met betrekking op e-waste en hoe wordt er gezorgd dat het ontwerp aan deze richtlijnen voldoet?

1.4 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is het ontwerpen van een meetinstrument die de vraag van Sensorwise kan vervullen. Voor dit onderzoek wordt er gekeken naar een manier van meten en loggen van de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur, dit zijn twee zeer belangrijke factoren als het gaat om binnenklimaat. Het onderzoek zal worden gedaan door gebruik te maken van deskresearch, praktisch onderzoek en testen. Als resultaat wordt er een systeem ontworpen en geproduceerd. Dit systeem moet voldoen aan de op te stellen eisen. Naast eisen staan er drie kernbegrippen centraal, kostprijs, gebruiksgemak en betrouwbaarheid. Het ontwerp zal gedaan worden volgens het V-model voor product engineering [8].

2. THEORETISCH KADER

In dit hoofdstuk zal het theoretische onderzoek wat gedaan is om de deelvragen te kunnen beantwoorden beschreven worden. Per categorie van onderzoek zijn er deelhoofdstukken gemaakt.

2.1 Temperatuur bepalen

Net als in vochtigheid kan temperatuur worden gemeten met behulp van sensoren. Ook hierbij zijn er veel verschillende manieren om dit te doen. Kort zal er worden ingegaan op verschillende methodes, echter zal er dieper in worden gegaan op de elektronische meetmethodes.

Mechanisch meten

Temperatuur kan gemeten worden door het fysiek veranderen van bepaalde stoffen. Dit wordt ook wel mechanisch meten genoemd. Een gas of een vloeistof zit hier vaak in een afgesloten container. Wanneer er een temperatuurverandering plaats vindt, verandert de stof van dichtheid of druk. Dit zorgt voor een verschuiving van een naald of een verandering van niveau in een meetbuis.

Blackbody straling

Blackbody straling, ofwel zwart-lichaam straling, refereert naar de elektromagnetische straling die elk lichaam of object met een temperatuur boven absoluut nul uitstraalt [9]. De straling is onder de het Draper-punt, 798 °K, niet zichtbaar voor het menselijke oog. Boven dit punt wordt het lichaam donkerrood en valt de geëmitteerde straling binnen het voor mensen zichtbare spectrum [10]. Infrarood thermometers maken gebruik van deze theorie. Deze thermometers zijn niet-contact meters. Dat wil zeggen dat zij op afstand van het te meten object gebruikt worden. Thermografie is een gebied binnen de wetenschap waar beelden gemaakt worden op basis van diepinfraroodstraling. Deze techniek maakt het mogelijk om bijvoorbeeld warmteverlies uit gebouwen in kaart te brengen door de gevel te filmen.

Elektrische weerstandthermometer

De naam zegt het eigenlijk al. Deze thermometer maakt gebruik van de elektrische weerstand over een bepaald stuk metaal of halfgeleider. Hierbij is de weerstand afhankelijk van de temperatuur van het materiaal waarover gemeten wordt. Als eerste zal er gekeken worden naar de metalen varianten van elektrische weerstandsthermometers. Deze worden ook wel RTD's (Resistive Temperature Detectors) genoemd. Deze thermometers bestaan uit een bepaalde lengte draad van zuiver metaal, vaak gewikkeld rond een glazen of keramische kern. Typische metalen zijn Platinum, Nickel en Koper. In het lineaire gebied van de temperatuurafhankelijke weerstandskromme van het metaal kan er door middel van de weerstandstemperatuurcoëfficiënt en vergelijking 3 een meting worden gedaan.

$$R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \Delta T)$$

Vergelijking 1 [11]

Waarbij:

R_1 de weerstand is bij punt één

R_2 de weerstand is bij punt twee

α de weerstandstemperatuurcoëfficiënt is

ΔT het temperatuurverschil is tussen T_1 en T_2

Een voorbeeld van een veelgebruikte RTD is de Pt100, dit is een sensor waarbij de weerstand 100 Ohm is bij 0 °C. Dit is de R_1 . Deze sensor wordt zo veel gebruikt binnen de industrie dat er een aparte norm voor is. Namelijk de EN 60751. Hierin staat de standaard vergelijking voor het gebruik van de Pt100:

$$R_{Pt100} = 100 + 0.385055 \cdot T$$

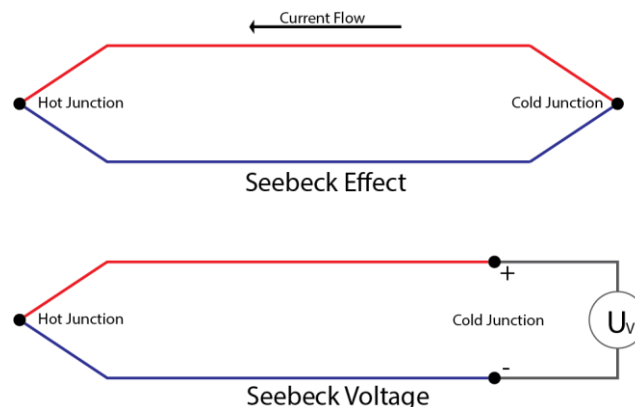
Vergelijking 2 [12]

Elektrische weerstandthermometers die gemaakt worden met halfgeleiders kunnen ingedeeld worden in twee categorieën. De NTC's (Negatieve Temperatuur Coëfficiënt) en PTC's (Positieve Temperatuur Coëfficiënt). De NTC's en de PTC's zijn inverse van elkaar en hun weerstand tegenover temperatuur verloopt exponentieel. Bij deze sensoren is slechts een klein meetbereik mogelijk. Dit komt door de zelfopwarming van de draad die in de sensor zit. Vaak worden deze thermometers gebruikt als thermische beveiliging gebruikt.

Elektrisch potentiaal thermometers

Als laatste zal er gekeken worden naar sensoren op basis van potentiaalverschil. Deze zijn op te delen in twee verschillende categorieën, de thermokoppels en de transistoren en diodes. Als eerste zal er worden ingegaan op de thermokoppels

Thermokoppels worden opgebouwd uit twee verschillende metalen (vaak draden) die aan het meetpunt samengevoegd worden (zie figuur 1). Dit wordt het warme punt of de 'Hot Junction'



genoemd. De andere kant, de 'Cold Junction', wordt als referentie gebruikt. Bij thermokoppels worden hier vaak de plus en de min kabel van het meetapparaat aan verbonden.

Figuur 1: Seebeck effect & voltage

Thermokoppels werken volgens het Seebeck-effect. Hierdoor ontstaat er een potentiaalverschil tussen de koude en de warme kant.

Transistors en diodes

Een ander veel gebruikte methode om temperatuur te meten is door gebruik te maken van halfgeleiders. In deze halfgeleiders wordt er een spanningsval gemeten over de pn-junctie. Het verval is hierbij afhankelijk van de temperatuur in de junctie. Dit wordt ook wel de junctietemperatuur genoemd. Het meest basale component wat dit kan is de diode, wat niets anders is dan twee halfgeleidermaterialen samengevoegd om een pn-junctie te creëren. Door een lage constante stroom door de diode te laten lopen, om eigen opwarming te voorkomen, kan er een verval gemeten worden van ongeveer 2 mV/°K bij silicium diodes. De constante stroombron kan gecreëerd worden door een simpele weerstand tussen de anode en de spanningsbron te plaatsten. De diode kan ook ingeruild worden voor een BJT-transistor of een MOSFET. Hierbij worden de base en collector van de BJT verbonden, bij de MOSFET zijn dat de gate en drain. Temperatuursensoren opgebouwd uit transistoren zijn vrij lineair in hun werkbereik. Nadeel is echter wel dat de temperatuur coëfficiënt hoger ligt dan bij RTD's en thermokoppels. Dat wil zeggen dat er een kleiner spanningsverschil is per eenheid temperatuurverschil. Dit kan echter worden opgelost door extra componenten zoals een versterkercircuit toe te voegen aan de schakeling [13]. Transistoren kunnen tevens verwerkt worden in IC's. Hierbij kan een versterker, ADC en communicatie interface componenten samengevoegd worden. Dit versimpelt de integratie in systemen en zorgt voor een kost efficiënte manier van temperatuur meten [14].

2.2 Vochtigheid bepalen

Binnen de betreffende gevels, en veel gevels in nieuwbouw, zijn er zeker vier verschillende materialen te vinden. Steen voor de gevels, in ieder geval één soort isolatiemateriaal, een binnenmuur, stucwerk (of vergelijkbaar) en natuurlijk lucht op verschillende locaties. Deze grote variatie in materialen zorgt voor een moeilijk meetbaar pakket. Als voorbeeld, isolatiemateriaal is veelal losse vezelachtige materialen in een pakket of mat, waar een binnenmuur vaak bestaat uit een plaat van hard geperst materiaal of een solide materiaal. Het vinden van één meetmethode is dus een lastig verhaal met zo een divers pakket aan materiaaleigenschappen. Om een beeld te krijgen van de verschillende mogelijkheden om vocht te meten is er onderzoek gedaan naar verschillende meetmethodes.

Vochtigheid in solide materialen kan worden bepaald via een aantal verschillende methodes. Deze methodes worden nu verder verklaard.

Gravimetrische methode

Deze methode is gebaseerd op het verschil in massa van een bepaald materiaal door het opgenomen vocht ten opzichte van het 'droge' materiaal. Bij deze methode dient een sample van het te meten materiaal genomen te worden waarna deze gewogen wordt. Met het 'nat' gewicht bekend moet de sample gedroogd en gewogen worden. Het verschil in gewicht is de hoeveelheid vocht wat opgenomen was in het materiaal. Deze methode is accuraat echter is het wel een destructieve vorm van testen aangezien er een sample verwijderd moet worden.

Permittiviteit

Permittiviteit is de mogelijkheid van doorstraling van een elektrisch veld door een materiaal. Anders gezegd is permittiviteit een maat van de opslagmogelijkheid van een elektrisch veld in een materiaal. De permittiviteit van het te meten materiaal verandert door het vochniveau aangezien water een zeer hoge permittiviteit heeft.

Een aantal meetmethodes maken gebruik van dit effect. Zo kan met behulp van TDR (Time Domain Reflectometry), FDR (Frequency Domain Reflectometry) of capaciteit vocht gemeten worden. Bij TDR en FDR wordt er gebruik gemaakt van meetpennen die in het te meten materiaal worden gestoken. Bij capacitef meten wordt het materiaal wat gemeten moet worden als scheidingsmateriaal gebruikt tussen de geleiders. Naast contactmetingen kan er door gebruik te maken van permittiviteit ook gemeten worden met elektromagnetische golven [15]. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een transmitter en een ontvanger waar tussen het materiaal zit.

Weerstand

Naast golfsignaal metingen (methodes hierboven beschreven), kan er ook weerstand gemeten worden. Hierbij wordt doormiddel van een dc-signaal een weerstand gemeten tussen twee contacten. De weerstand is evenredig met de hoeveelheid vocht in het te meten materiaal. Hiervoor is kalibratie van essentieel belang. Tevens dient er rekening gehouden te worden met de enkele dimensie meting die gedaan wordt. Dit wil zeggen dat de weerstand wordt gemeten over de weg van minste weerstand wat mogelijk een niet eenduidig beeld geeft over de hoeveelheid vocht in het te meten materiaal.

Bovenstaande methodes zijn allen non-destructieve methodes in de zin dat er geen samples verwijderd hoeven te worden. Echter dient er wel ruimte gemaakt te worden voor de contacten/sensoren. De bovenstaande methodes kunnen gebruikt worden als vaste installatie meetmethode.

2.3 Luchtvochtigheid

Naast metingen die worden gedaan op basis van water in vloeistof staat, kan er ook gekeken worden naar meetmethodes die juist waterdamp meten. Dit kan namelijk een indicatie geven van vochtig materiaal in de omgeving van de sensor [16]. Een voorbeeld van metingen die zo worden gedaan is de bore-method meting, deze wordt gebruikt bij het meten van het vocht in solide materialen zoals beton. Deze methode beschrijft het boren van meetgaten tot een bepaalde diepte in het te meten materiaal. In dit gat wordt dan een RLV meter gedaan, waarna het gat wordt gepropt met afsluiter. In een artikel in de Journal of Advanced Concrete Technology worden er verschillende montage technieken besproken [17]. In een case study gedaan in het Verenigd Koninkrijk, werden in twee bestaande woningen ventilatie en vochttransport gemeten doormiddel van de bore-method methode [18].

Nu zegt een bepaalde RLV niet bijzonder veel doordat de hoeveelheid vocht afhankelijk is van de dampdruk bij een bepaalde temperatuur, een betere kijk op de hoeveelheid vocht in een bepaalde hoeveelheid lucht is de Algemene Lucht Vochtigheid (ALV). Deze kan berekend worden wanneer men de temperatuur-, luchtdruk- en RLV-waardes heeft.

Deze meetmethode geeft wel slechts een indicatie en zal om absolute waardes van vocht in materiaal gekalibreerd moeten worden, mogelijk zelfs per materiaal en per omgeving.

Om RLV te kunnen meten, kunnen er twee verschillende principes gebruikt worden. Er kan op basis van weerstand of op capacitieve basis gemeten worden. Sensoren die op basis van weerstand meten, worden opgebouwd door twee contacten te scheiden door een absorberend, geleidend materiaal. Dit kan bijvoorbeeld een geleidend polymeer of een zout zijn. Wanneer het geleidend materiaal vocht opneemt uit de lucht wordt de weerstand over dat materiaal lager. De weerstand is dus omgekeerd evenredig met de hoeveelheid vocht in de lucht. Capacitieve sensoren zijn opgebouwd door twee contacten te scheiden met een hygroscopisch diëlektrica. Hierbij verandert de permittiviteit met het opgenomen vocht in de isolator. De capaciteit verandert hierbij evenredig met de RLV [19].

2.4 Comfortabele en Gezonde temperatuur en luchtvochtigheid

Wat is nou comfortabel en wat is nou gezond? Om daar een antwoord op te geven, in ieder geval op het comfortabele deel, is er een norm ontwikkeld die comfortabele temperaturen omschrijft tijdens lichte werkzaamheden, dit is NEN-ISO 7730 versie 2005 [20]. Binnen deze norm wordt gewerkt met verschillende variabelen die van belang zijn om comfort uit te drukken. PMV (Predicted Mean Vote) en PP (Predicted Percentage Dissatisfied) kijken naar de testgroep. Dan wordt er nog rekening gehouden met de hoeveelheid kleding die gedragen, wordt en welke activiteit de testpersonen uitvoeren. Uit deze norm blijkt dat bij lichte werkzaamheden en licht gekleed een temperatuur van 23.5 °C en een RLV van 60% het meest comfortabel wordt gezien. Terwijl bij zwaardere kleding (winterkleding) een temperatuur van 23 °C en 40% RLV optimaal gevonden wordt [20] [21] [22]. Een belangrijke boodschap uit deze norm is dat RLV niet heel erg interessant is bij geadviseerde temperaturen en normale werkzaamheden. Zolang de RLV niet excessief hoog wordt (>70% [23]) zal er weinig discomfort ontstaan. Te lage RLV wordt tevens niet altijd gezien als oncomfortabel. Te lage RLV wordt voornamelijk oncomfortabel voor mensen die bijvoorbeeld een droge huid hebben of droge ogen. Een bodemwaarde is er dus niet precies maar om zo veel mogelijk mensen comfort te bieden wordt 40% aangegeven. Naast discomfort heeft een te lage RLV een belangrijker probleem. Lage temperaturen en een lage RLV maken overdraging van sommige virussen gemakkelijker doordat de betreffende virussen stabiel zijn bij lage RLV [24]. Een onderzoek uit 2013 gedaan door Noti et al. [25] blijkt dat bij een RLV van $\leq 23\%$ de besmettelijkheid van influenza nog ongeveer 75% was, wanneer de RLV echter $\geq 43\%$ was, bleek de besmettelijkheid slechts 15 – 22% te zijn. Uit de bovenstaande twee onderzoeken blijkt dus dat niet alleen influenza maar ook andere aerosolen virussen, zoals COVID-19,

besmettelijker zijn bij een hele lage luchtvochtigheid. Misschien is er dus niet zo zeer een minimale RLV-waarde voor comfort, maar qua gezondheid is een minimale waarde van 40% een goed idee.

2.5 Bouwmaterialen, traditioneel, HSB, ecologisch

Om een beeld te krijgen van wat er gemeten moet worden, is er een verkenning gedaan naar materialen, de eigenschappen en de ecologische impact van verschillende structuren. Lijdend in dit stuk zijn de twee verschillende opbouwen die gebouwd worden voor dit project. Om de terminologie goed op orde te hebben zal er eerst worden ingegaan op een aantal termen die belangrijk zijn wanneer het gaat over bouwmaterialen.

Thermische geleidbaarheid λ (Lambda)

De lambda waarde van een materiaal wordt vaak uitgedrukt in [W/mK] en geeft de warmtegeleiding in een materiaal aan. Materialen met een lage λ -waarde isoleert warmte beter dan een materiaal met een hoge λ -waarde [26].

Specifieke warmte

Deze waarde duidt op de hoeveelheid energie die nodig is om één kilogram materiaal één graden Kelvin te laten stijgen. De eenheid van specifieke warmte is [J/kgK]. Een hoge waarde geeft aan dat een materiaal veel energie kan opslaan voordat het materiaal een graden Kelvin stijgt [27].

Traditionele bouw

Wat wordt er verstaan onder traditionele bouw? Traditioneel bouwen is het lokaal opmetselen van het buitenblad en het binnenblad. Hierbij is het binnenblad dragend en gescheiden van het buitenblad door een spouw. Tevens worden verdiepingsvloeren over het algemeen gerealiseerd door gebruik te maken van beton [28].

Houtskeletbouw

Zoals de naam het al zegt wordt HSB opgebouwd uit een houten skelet. Dit gebeurt over het algemeen centraal en wordt als bouwpakket naar de bouwplaats verplaatst. Door van tevoren het bouwpakket al te voorzien van isolatiemateriaal en mogelijk zelfs al een buitenblad, kan er heel snel lokaal worden opgebouwd. Een andere optie is het wel hebben van een gemetseld buitenblad. Het buitenblad wordt dan lokaal gemetseld na constructie van HSB-wanden [29].

Om inzicht te krijgen in wat voor materialen er als hoofdisolatie toegepast kunnen worden. Is er een klein overzicht gemaakt met een aantal veelvoorkomende materialen. Wanneer er meerdere varianten zijn van een materiaal, is er gekozen voor de variant die wordt toegepast als gevelisolatie. Dit is gedaan om een beter beeld te krijgen van de materialen in de vorm die ook gemeten dient te worden.

Eigenschappen Isolatiemateriaal

Vezel	Dichtheid ρ [kg/m ³]	Specifieke warmte c [J/kgK]	Thermische geleiding λ [W/mK]
Cellulose (gerecycled papier)	30 - 60	2000	0,039
Glaswol	20	1030	0,038
Steenwol	40 - 150	850	0,038
Houtvezelplaat.	160	1800	0,045
PIR/PUR	30 - 40	1450	0,025
EPS	15 - 30	1300	0,036
XPS	20 - 40	1500	0,034
Kalkhennep	275	1600	0,06
Hennepvezel	25 - 40	1700	0,04
Schapenwol	20	1800	0,039
Houtvezelisolatie	60	2000	0,036

Tabel 1: Eigenschappen isolatiemateriaal

In de bovenstaande tabel zijn gegevens verwerkt van verschillende fabrikanten en informatiebronnen. Waar nodig zijn er gemiddelden genomen om een helderder beeld te kunnen schetsen. Vooral bij de c en λ waardes zijn gemiddelden genomen, bij deze waardes waren er meerdere gerapporteerde waardes. Hierbij zijn de waardes opgeteld en gedeeld door de aantal verschillende waardes (zie vergelijking 17).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$$

Vergelijking 3

Wat kan er worden afgeleid uit tabel 2? Ten eerste, de lambda waarde van een materiaal geeft de weerstand van energieverloop aan. Ten tweede, de specifieke warmte geeft aan hoeveel energie er opgeslagen kan worden in het materiaal zelf. Hierbij is de massa van het materiaal van essentieel belang. Om een voorbeeld te geven, een betonnen blok isoleert niet door zijn lambda waarde maar door zijn massa en zijn specifieke warmte. Een voordeel van een isolatiemateriaal met een lage lambda waarde is dus logisch gezien een goede keuze, echter kan ook een overweging zijn om te kijken naar juist de massa en specifieke warmte. Zeker bij een grote temperatuurdaling, bijvoorbeeld van overdag naar s' nachts, kan een materiaal met een hoge massa en een hoge specifieke warmte de warmte juist opslaan om op koele momenten uit te stralen. Zo wordt een materiaal als warmtebuffer gebruikt.

Ecologische keuzes maken

Naast isolatiewaardes is in deze tijden de ecologische voetafdruk van een materiaal van groot belang. De bouwsector omvat 32% van de wereldwijde energieconsumptie en 19% van de wereldwijde CO₂-uitstoot [30] [31]. Dit geeft weer dat deze sector een groot aandeelhouder is van alle door mens geproduceerde uitstoot en energieconsumptie. Hier kunnen zijn mogelijk grote winsten mogelijk als het gaat om uitstoot- en energiereductie. Een idealistisch beeld zou dus kunnen zijn, materialen die een lage ecologische voetafdruk hebben maar wel hun werk fantastisch vervullen. Om dit te beoordelen wordt er niet alleen gekeken naar de eigenschappen van het materiaal in zijn gebruikperiode maar juist over zijn gehele levenscyclus. Dit wordt een LCA, Life Cycle Analysis, genoemd. Wanneer deze tool samen gebruikt wordt met de eigenschappen van het materiaal kunnen er onderbouwde keuzes gemaakt worden welke materialen gekozen moeten worden. Een kanttekening bij het kiezen volgens dit principe, sommige materialen zijn vrij nieuw. Hierbij is industriële opschaling nog niet toegepast waardoor de productie vaak veel energie en/of grondstoffen kost. Door gespecialiseerde processen en machines te ontwikkelen die op industriële schaal kunnen produceren kan dit mogelijk (deels) worden opgelost.

Om keuzes gemakkelijker te maken worden er databanken en normen opgesteld. Eén van die databanken in Nederland is NIBE, wat staat voor het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie. NIBE heeft naast zijn eigen ontwikkelde milieuklasse ook een duurzaam keurmerk in het leven geroepen, het zo gehete DUBOkeur. Het keurmerk moet het mogelijk maken om juiste keuzes van materialen direct zichtbaar te maken. Hierbij krijgen alleen de materialen die de meest duurzame keuzes zijn, het keurmerk. Lang niet altijd kunnen er materialen worden toegepast die dit keurmerk dragen. Om toch een verantwoorde keuze te maken, kan er gekeken worden naar de milieuclassificatie van NIBE. Dit is een relatief klasse systeem waarbij schaduwkosten het uitgangspunt zijn. Schaduwkosten zijn de economische waarden die de maatschappij legt op uitstoot [32].

2.6 Subsidieregeling

KIEM-subsidies bestaan om kennisoverdracht tussen MKB en kenniscentra te versnellen. Een KIEM-project heeft als eis dat het fundamenteel en industrieel onderzoek is. Om te zorgen dat tussen de twee partijen een actieve samenwerking plaatst vindt, is er nog een eis. Deze eis zegt dat er een percentage van het gesubsidieerd bedrag door het private bedrijf ingelegd moet worden naast het gesubsidieerde bedrag. Hiervan dient in ieder geval de helft in liquide middelen te zijn [33]. In totaal is er een gesubsidieerd bedrag van €19.999 euro beschikbaar gesteld.

3. METHODE

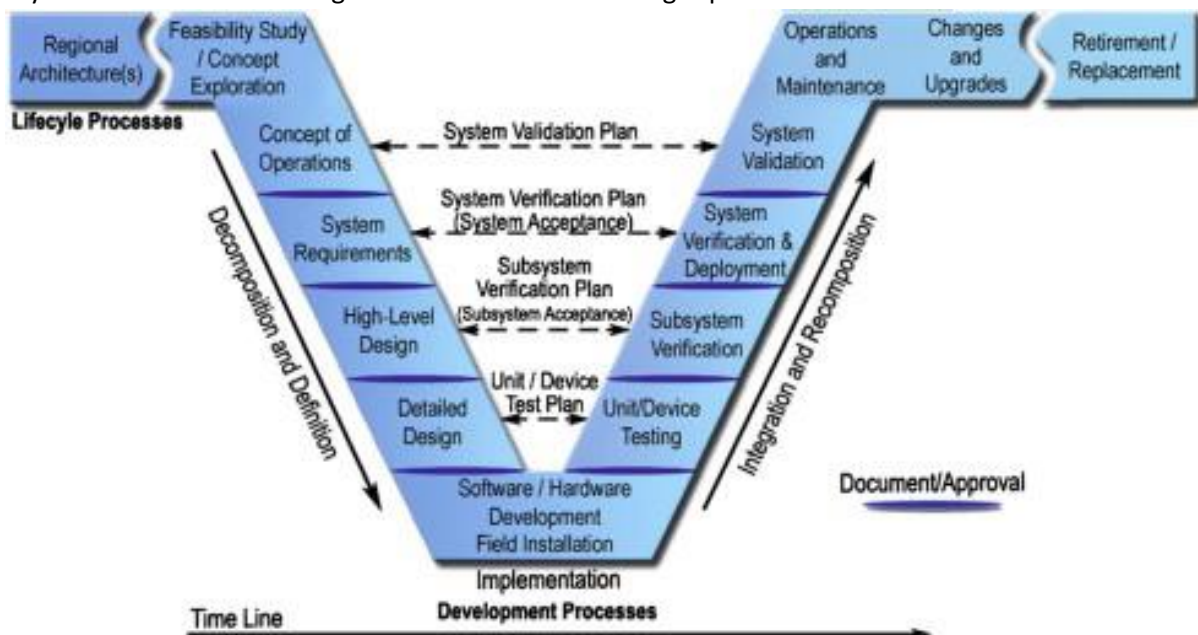
3.1 Ontwerpmethodes

Om het ontwerpproces systematisch in te richten, zal er gebruik gemaakt worden van een bewezen methodiek. Welke methodiek passend is voor dit ontwerp zal worden onderzocht.

Een veelgebruikte techniek is de Watervalmethode, ontwikkeld in 1970 [34] [35]. Hierbij wordt het proces chronologisch doorlopen. De originele methode bevatte geen ruimte voor iteraties. Meer recentere variaties van de Watervalmethode bevatten vaak wel iteratieslagen om zo te kunnen reflecteren op het ontwikkeld werk. In Timmers & van der Waals [7] wordt een methode beschreven waarbij het ontwerpproces opgedeeld wordt in fases. Elke fase heeft een convergerend en divergerend deel met als slot een op te leveren product. Een andere methode is de Agile methode. Hierbij wordt elke stap volledig iteratief gedaan en is elke stap opgebouwd als 'mini-projecten'. Deze methode is ontwikkeld in 2001 en werd grootgebracht in 'The Manifesto for Agile Software Development' [36]. Een bekende afgeleide van deze methode is Scrum [37]. Hierbij wordt het proces opgehakt in op te leveren blokken en deze worden in korte sprints van een aantal weken geproduceerd. Binnen systemengineering is er tevens nog een bekende methode, het V-Modell, ontwikkeld door de VDI (Verein Deutsche Ingenieure) [38]. Hierbij wordt er steeds fysiek dieper gekeken naar het ontwerp waarna er vanaf het kleinste onderdeel terug naar boven wordt gekeken doormiddel van testen.

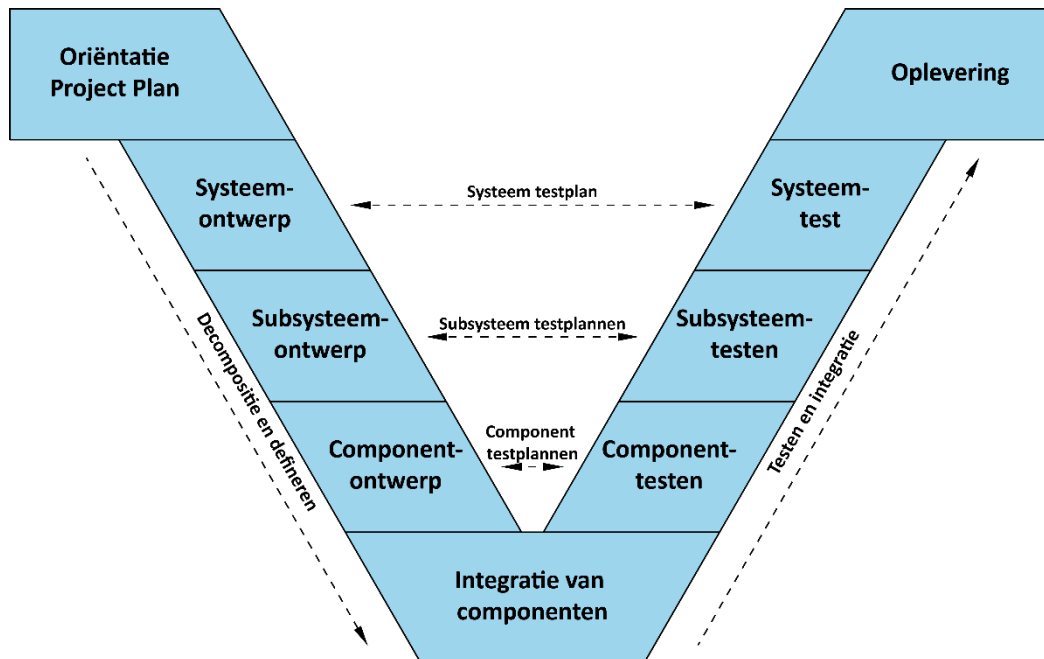
3.2 Gekozen methodiek

De gekozen methodiek voor dit onderzoek is het V-Model [8]. Hiervoor is gekozen om de kwaliteit van het systeem te versterken aangezien het V-Model focus legt op verificatie en validatie.



Figuur 2: V-Model VDI2206 [39]

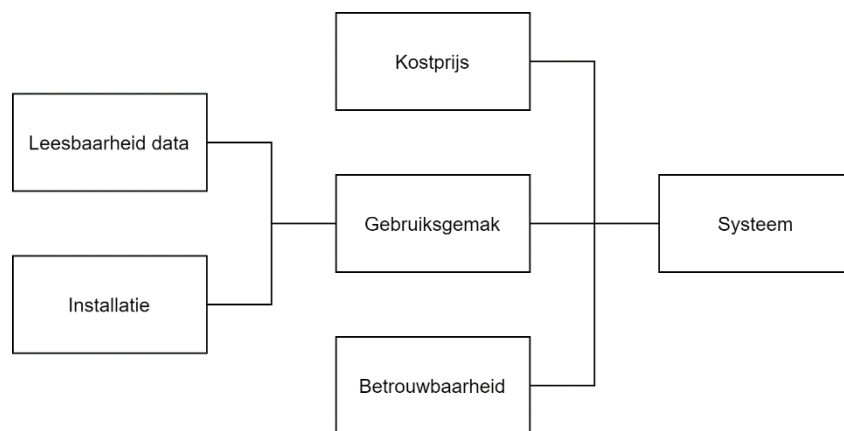
In figuur 2 is een uitgebreide vorm van het V-Model zichtbaar. Door overbodige niveaus en niet passende omschrijving is er een aangepast model gemaakt wat toegankelijker en meer passend is bij dit onderzoek. Hierbij is de kern van het model hetzelfde gebleven. Het aangepaste model is zichtbaar in figuur 3. Deze versie zal het leidende model zijn tijdens dit onderzoek.



Figuur 3: Aangepast V-Model voor project Sensorwise

3.3 Conceptueel model

Voor het onderzoek is een conceptueel model geproduceerd. Hierin worden verwachte relaties tussen oorzaken en gevolgen gevisualiseerd. Dit model is hieronder te zien.



Figuur 4: Conceptueel model

Datavergaring

Aan het begin van het onderzoek (linkerkant van het V-model) is er vooral desk- en fieldresearch gedaan. De deskresearch is gedaan door verschillende databanken te gebruiken zoals researchgate en Google Scholar. De fieldresearch werd gedaan door gebruik te maken van tools en programma's, deze worden verderop genoemd bij 'Tools gebruikt in het onderzoek'. Op deze manier kon er een beeld worden geschetst van de mogelijkheden van onderdelen binnen het systeem. Naast desk- en fieldresearch zijn er, zoals in de alinea hierboven benoemd, testen gedaan op de verschillende onderdelen van het systeem. Dit werd gedaan om zo op specifieke onderdelen te kunnen testen en stapsgewijs steeds grotere en complexere systemen te testen en valideren. Deze testen volgden allemaal dezelfde volgorde, dit is beschreven in het stuk 'Testplan'.

Dataverwerking

Om de data die vergaard was te documenteren zijn er verschillende documenten bijgehouden met daarin bevindingen dan wel resultaten. Deze zijn samengevoegd en gesimplificeerd tot resultaten te zien in het hoofdstuk 'Resultaten'.

De uitgevoerde testen zijn bijgevoegd in het hoofdstuk 'Testen' in de bijlage.

3.4 Tools

Software

Trello

Om stappen in een project te volgen en te zorgen dat mijlpalen gehaald worden zijn tools ontwikkeld. Een voorbeeld daarvan is Trello [46]. Dit is een online timemanagement en mijlpalen tool. Door activiteiten en nodige stappen in borden, lijsten of kaarten kan er duidelijk en overzichtelijk projectbewaking plaatsvinden.

Ontwerpen en modelleren

CAD-modellen zijn getekend in Autodesk Inventor [47] en Autodesk Fusion 360 [48]. Circuits en bekabelingsdiagrammen zijn getekend in KiCad [49]. Voor illustraties is Adobe Illustrator [50] gebruikt. De diagrammen en organogrammen zijn gemaakt in draw.io [51].

Programmeren

Het gros van het programmeren is gedaan in Microsoft Visual Studio Code [52], hierin is zowel de code geschreven voor de lokale meetsystemen als de code voor de servers. VS Code is hierbij aangevuld met plug-ins om C++ en Python3 te ondersteunen. Tevens is de plug-in Platform IDE [53] toegevoegd om een verbeterde integratie te hebben met embedded systems. Naast VS Code wordt er op de servers Thonny Python IDE [54] gebruikt. Hierin draaien de programma's om mogelijk op afstand te kunnen debuggen.

Standaard programma's

Documenten zijn opgemaakt in Microsoft Word. Voor spreadsheets en dataverwerking is Microsoft Excel gebruikt.

3.5 Hardware

Voor het ontwikkelen van het systeem zijn een aantal standaard apparaten gebruikt. Zo is er gebruik gemaakt van een lab-voeding, verschillende multimeters, oscilloscopen, soldeerstations, hand- en elektrisch gereedschap en een 3D printer.

3.6 Testplan

Volgens het V-Model zijn per niveau testplannen nodig om het ontwerp te kunnen valideren. Deze verificatie is zichtbaar aan de rechterkant van het V-Model en gaat van component naar systeemniveau. De testplannen worden hierbij gebruikt om stapsgewijs te valideren dat componenten, subsystemen en het systeem an sich naar specificaties werkt. Om een handvat te hebben hoe dit plan in zijn werk gaat is er gekozen om de norm IEEE 829 [55] te volgen. Hierin wordt een format beschreven die gevalideerd en bekend is. De structuur is als volgt:

1. Identificatie
2. Introductie
3. Wat wordt er getest?
4. Onderdelen die getest worden
5. Onderdelen die niet getest worden
6. Aanpak
7. Slagen/falen criteria
8. Test pauzeren en voortzetting criteria
9. Oplevering
10. Taken
11. Omgevingseisen
12. Verantwoording
13. Benodigde training
14. Planning
15. Risico's en onvoorziene gebeurtenissen
16. Goedkeuring

Om te zorgen dat elk testplan dezelfde lay-out heeft is er een template gemaakt waarin alle testplannen zijn opgemaakt. Deze is te vinden in de bijlage. De losse testplannen worden opgeleverd in een zip-map genaamd testplannen_sensorwise.zip.

4. RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van het ontwerp. De opbouw van dit hoofdstuk volgt de opbouw van de linkerkant van het V-Model. Er zal begonnen worden met het systeem waarna de subsystemen en de componenten besproken worden.

4.1 Systeem

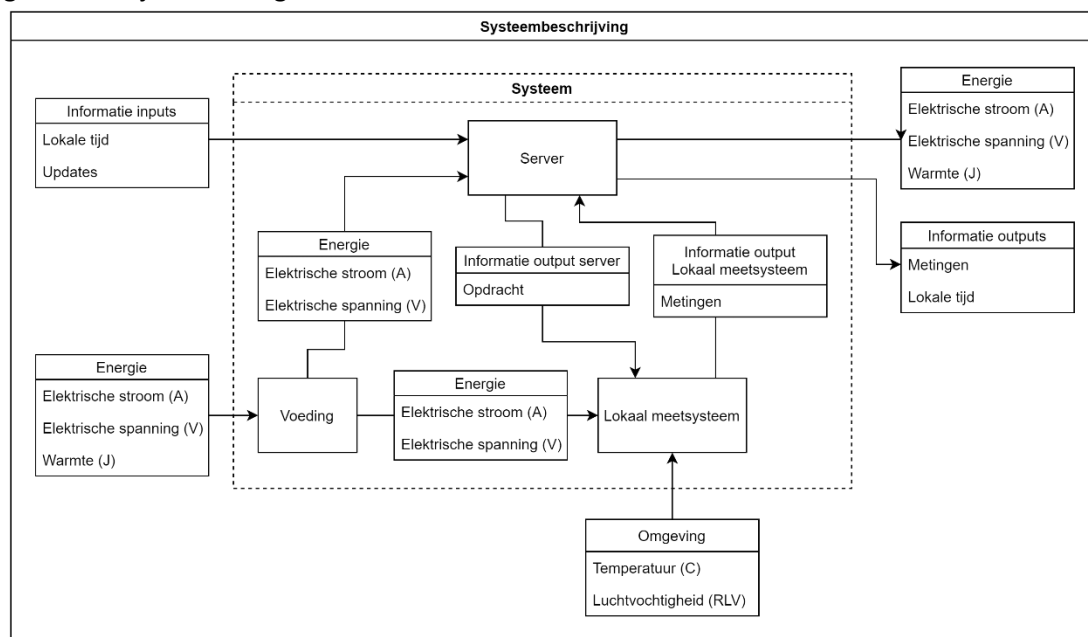
Als eerst zal het systeem als geheel besproken worden. Hierin worden de specificaties en functies beschreven.

Eisen

1. Het systeem moet worden toegepast in twee verschillende woningen, NOM en NUL woning.
2. Het systeem zorgt voor automatische datalogging over een later te bepalen frequentie.
3. Het systeem moet te installeren zijn tijdens of net na de bouw van de huizen.
4. Het doel van het systeem is het meten van het transport van luchtvochtigheid en temperatuur door de gevels van de woningen.
5. Het systeem moet de data in gangbare bestanden aankunnen leveren, zodat gebruikers gemakkelijk de data kunnen verwerken.

Ontwerp

Figuur 5 is er een schematische beschrijving van het systeem. In deze visualisatie zijn de stromen mee genomen die als input en als output gelden bij gebruik van het systeem. Hierin is zichtbaar dat aan de input kant energie en informatie nodig is. De output van het systeem is zowel energie als informatie. Materialen worden in dit systeem niet verwerkt, deze worden als statisch gezien waardoor deze niet meegenomen zijn in dit diagram.



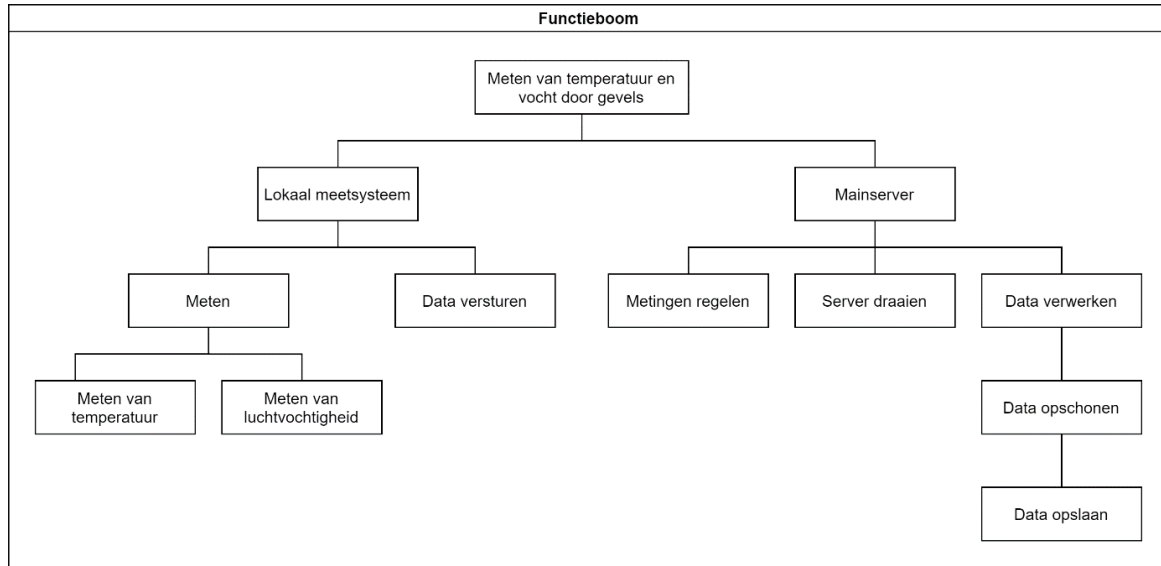
Figuur 5: Systeembeschrijving

Functieboom

Een systeem kan niet ontworpen worden zonder functie. De functies van een ontwerp kunnen worden bepaald door gebruik te maken van een functieboom. Hierin wordt hiërarchisch weerlegt wat het ontwerp doet. Voor dit ontwerp is een functieboom ontworpen die het systeem en de subsystemen illustreert. In figuur 4 is te zien hoe de functieboom voor dit ontwerp eruitziet.

Het diagram laat zien dat het systeem wordt opgebouwd uit twee hoofdfuncties. Deze worden verder verdeeld in sub-functies. Sommige sub-functies worden dan nog verder verdeeld om duidelijker te krijgen wat hiermee bedoeld wordt.

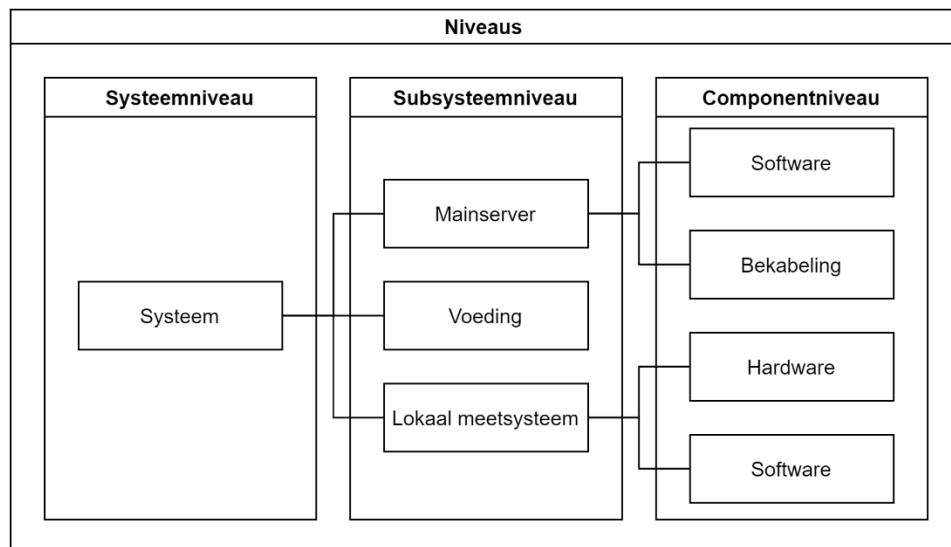
In de linker tak van de functieboom is het lokaal meetsysteem te zien. Dit systeem zal op elke meetlocatie aangebracht worden als 'slave' waarbij de Mainserver als 'master' fungeert. De rechtertak



Figuur 6: Functieboom

beschrijft de Mainserver. Hiervan uit worden er dataverzoeken gedaan evenals dataopslag en verwerking. De Mainserver zorgt tevens voor de connectie tussen de data en de gebruiker op afstand.

Vanuit de functieboom kunnen de subsystemen ontworpen worden. Deze zijn terug te vinden in het onderstaande diagram.



Figuur 7: Niveaus in systeem

De drie subsystemen die samen het systeem maken zijn zichtbaar in het diagram hierboven. Twee van deze subsystemen zijn verder verdeeld in elk twee componentgroepen. De volgorde hoe de subsystemen gepresenteerd worden in dit hoofdstuk is als volgt:

1. Substysteem Mainserver

2. Substelsiem Lokaal meetstelsiem
3. Substelsiem Voeding

Dit is een andere volgorde dan in het diagram staat, echter is deze volgorde logischer vanuit het ontwerppectief.

Swimlane diagram stelsiem

In de bijlage is het volledige stelsiem beschreven als diagram volgens het Swimlane model. Dit is door ruimte restrictie niet in dit hoofdstuk toegevoegd

4.2 Substelsiemen

Mainserver

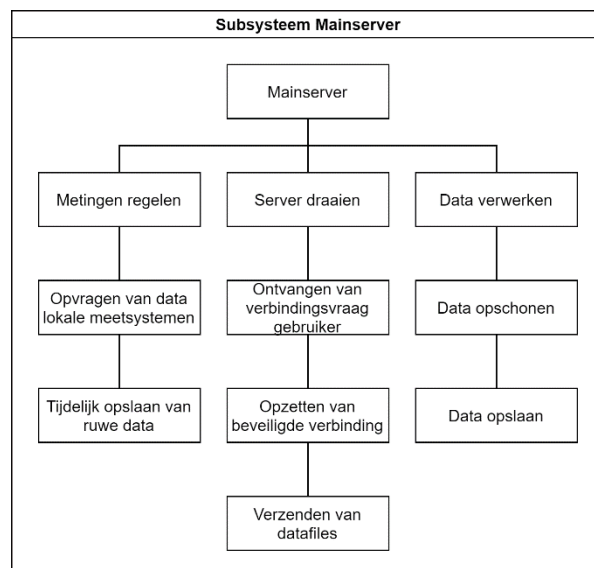
Zoals beschreven in de functieboom van het stelsiem, kunnen de functies van de Mainserver worden onderverdeeld in drie sub functies. Metingen regelen, server draaien en data verwerken. Er zijn drie verschillende sub functies hiervoor bepaald om acties en componenten beter te kunnen scheiden. Dit is te zien in figuur 8.

In dit diagram is te zien dat de drie sub functies verder ontwikkeld zijn in stappen die daarbij horen. Met dit diagram kunnen er opties worden gezocht naar mogelijkheden om de sub functies te vervullen.

Keuzemogelijkheden voor Mainserver

Om de lokale meetstelsiemen aan te sturen, uit te lezen, de data te verwerken en een connectie naar de buitenwereld open te zetten, zal er iets van een computer met een aantal eisen gekozen moeten worden. De eisen zijn hiervoor opgesteld waarmee gezocht werd naar de mogelijkheden.

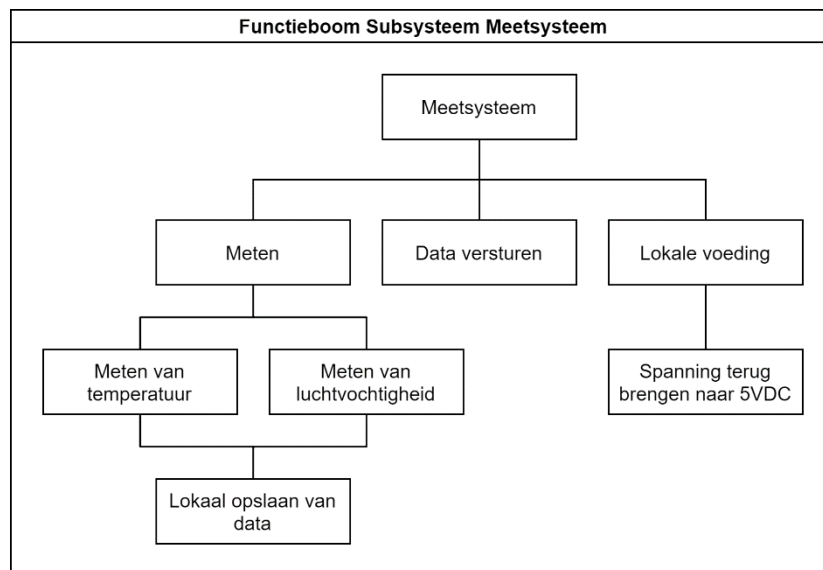
1. De computer moet meerdere seriële verbindingen aankunnen
2. De computer moet verbinding kunnen maken met het internet
3. De computer moet lokale opslag hebben waar periodiek data van afgehaald kan worden
4. Op de computer moet een geschreven programma draaien die de functies uit de functieboom vervuld.



Figuur 8: Substelsiem Mainserver

Lokaal meetsysteem

Het subsysteem Lokaal meetsysteem is verdeeld in drie functies, waarbij twee functies onderliggende functies hebben ter verduidelijking. In figuur 9 is te zien hoe de functieboom van het subsysteem Lokaal meetsysteem er uit ziet.



Figuur 9: Functieboom Substelsysteem Meetsysteem

Net als bij het subsysteem Mainserver kan er door gebruik te maken van de functieboom gezocht worden naar mogelijkheden om de functies te kunnen vervullen. Om dit subsysteem op te kunnen bouwen is de eerste stap het opstellen van eisen.

1. Het subsysteem moet te installeren zijn binnen de afmetingen van een Ubbink muurrooster ($\approx 48 \times 103\text{mm}$ [h x b])
2. Het subsysteem moet op alle cruciale locaties in de gevel (alle overgangen van materialen en midden in het isolatiepakket)
3. Het subsysteem bevat een lokale voeding die de componenten van de juiste spanning voorziet

Substelsysteem voeding

Het gehele systeem wordt centraal gevoed. Dit is gerealiseerd door een AC naar DC schakelende voeding als basis te gebruiken. Aangezien er gebruik wordt gemaakt van lage DC-spanning over lange kabels (maximaal 25 meter) dient er rekening gehouden te worden met spanningsverlies. Hiervoor is een Excel programma geschreven om spanningsverval te berekenen in kabels. Deze is te vinden in de bijlage. Er is gekozen voor een 12V systeem, hierbij blijft de spanning boven de grenswaarde van de lokale voeding en tegelijkertijd hoeft de spanningsregelaar niet onnodig veel vermogen te dissiperen. Om de efficiëntie van het systeem te verhogen, zijn er drie paren voedingskabels aangebracht. Dit zijn alle drie getwiste paren om interferentie te verminderen.

4.3 Componenten

Ontwerp mainserver componenten

Hardware & software

Uit onderzoek is gebleken dat de Raspberry Pi 3B (later te noemen als RPi) aan alle eisen voldoet. Tevens is hier veel naslag werk van, wat installatie en programmering vereenvoudigd.

Hierbij fungeert de RPi als Mainserver. Deze draait een aangepaste vorm van Raspbian als OS. Om aan de functies te kunnen voldoen die opgesteld zijn in de functieboom zal er een keuze gemaakt moeten worden voor de connectie naar buiten. Twee opties waren zeer interessant, namelijk Virtual Network Computing (VNC) en Secure SHell (SSH). De eerste heeft als voordeel dat er een bureaublad op afstand zichtbaar kan zijn. Dit kan zeker in eerdere stadia van ontwikkeling handig zijn om fouten te kunnen debuggen. Bij SSH gaat alles via commandline interface wat zeer compact is maar kan lastiger zijn voor niet ervaren gebruikers. SSH is echter als gebruiker op een Windows PC zeer ingewikkeld om op te zetten. Dit is geprobeerd echter kosten dit dermate veel tijd om onder de knie te krijgen dat VNC geprefereerd wordt. De betreffende aanbieder van deze service is realVNC, zij hebben niet alleen een applicatie voor RPi en PC, maar ook voor mobiele platformen. Dit biedt een extra laag aan debug mogelijkheden door snel te kunnen controleren of de server draait en/of een reset moet worden uitgevoerd.

Om veiligheid van data te garanderen, worden voor alle passwords een generator gebruikt. Deze genereert sleutels van 16 tekens lang gevormd uit verschillende leestekens, hoofd en kleine letters. Een voorbeeld hiervan is de volgende sleutel: FaD&#gnfBn+C"=#P. Naast een beveiligingssleutel is de verbinding voor een basis versie van realVNC beveiligd met een 128 bit AES-sleutel.

Het schrijven van het programma dat de data ophaalt en verwerkt is gedaan in Python3. Hiervoor is gekozen door de simpliciteit van de taal als het gaat om verschillende functies in één programma te integreren. Python heeft praktische functies ingebouwd die gebruikt kunnen worden voor zowel seriële communicatie als het schrijven van databestanden voor lokale opslag. De geschreven code is terug te vinden in de bijlage.

Bekabeling

Het component bekabeling heeft overlapping met het component hardware van het subsysteem Lokaal meetsysteem. Dit aangezien het de verbindende factor is tussen de twee subsystemen mainserver en Lokaal meetsysteem. Om een fysieke laag te kunnen kiezen, moet het communicatieprotocol bepaald zijn. Hiervoor zijn verschillende veel gebruikte protocollen tegen elkaar weggezet. Dit is zichtbaar in de keuzematrix die is bijgevoegd in de bijlage. De uiteindelijke keuze is gevallen op RS485 voor de simpele bekabeling, stabiliteit en afstand. RS485 is een bekend protocol en ziet toepassingen in PLC's en voertuigelektronica. Tevens wordt RS485 gebruikt als fysieke laag in het DMX512 systeem. Dit is de standaard in licht en effecten aansturingen. RS485 werkt door differentiaal spanning. Hierbij kijkt de ontvanger naar het verschil in spanning tussen de twee signaallijnen in plaats van het spanningsverschil tussen een signaallijn en ground. Dit zorgt ervoor dat ook op grotere afstanden (en dus meer spanningsverlies), er genoeg verschil is om een hoog of laag signaal te onderscheiden. De bekabeling zal doormiddel van een RS485 naar USB module verbonden worden met de usb-poorten van de RPi.

Ontwerp Lokaal meetsysteem componenten

Vanuit het systeem diagram (Figuur 7) is te zien dat dit subsysteem onderverdeeld is in twee componentengroepen, Software en Hardware. Aangezien de groep Software afhankelijk is van Hardware, wordt deze als eerste ontworpen. De logische volgorde van hardware keuzes is te zien in figuur 8.



Figuur 10: Volgorde keuzes componenten

Hardware: Sensoren

De sensoren zijn hierbij bepalend aangezien zij een specifieke spanning nodig hebben en zij kunnen een bepaald communicatieprotocollen nodig hebben. Om een keuze te maken welke sensoren er

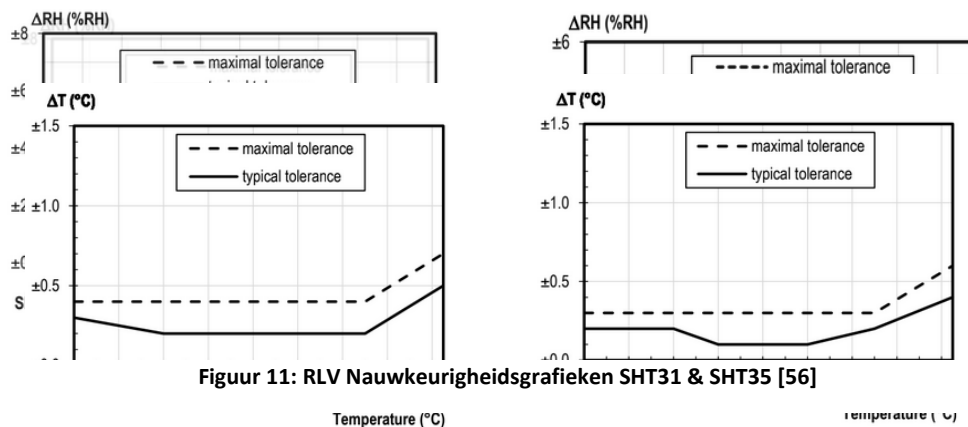
gebruikt diende te worden is er deskresearch gedaan naar de verschillende gangbare sensoren die aan te sturen zijn met behulp van gangbare microcontrollers. Leidend in de keuze is de nauwkeurigheid van zowel temperatuur- en RLV-metingen.

Sensors

Name	Connection/mounting	Communication	Accuracy Temperature (Typical)	Accuracy RH (Typical)	Resolution	Price indication	Notes
DS18B20	TO92	One wire	0,50	-	0,06	3,50	
10k Thermistor NTC	Small bulb	Voltage dependend	0,25	- depends on ADC		4,00	
BME280	Breakoutboard	I2C	1,00	3%	0,01	15,00	3.3V
BME680	Breakoutboard	I2C/SPI	1,00	3%	0,01	18,00	
DHT22	Breakoutboard	One wire	0,50	2%	0,10	6,00	
MCP9808	Breakoutboard	I2C	0,25	-	0,06	6,00	
SHT31-D	Breakoutboard	I2C	0,20	2%	0,01	8,00	
SHT35-D	Breakoutboard	I2C	0,15	1,5%	0,01	12,00	
SHTC3	Breakoutboard	I2C	0,25	2%	0,01	12,00	
Si7021	Breakoutboard	I2C	0,30	3%	0,06	8,50	
TMP102	Breakoutboard	I2C	0,50	-	0,06	6,00	
TMP36	TO92	Voltage dependend	0,50	-	0,01	2,00	

Tabel 2: Sensoren

Zichtbaar in de bovenste tabel is dat de twee groene sensoren (SHT31-D en de SHT35-D) beide in aanmerking komen voor gebruik. Zowel de groene als de gele sensoren vallen binnen de eisen van ISO 7730 [28]. De keuze om te kijken naar de groene sensoren is gemaakt op basis van superieure specificaties. Wanneer de nauwkeurigheid van deze sensoren worden vergeleken in de datasheet van de fabrikant, wordt zichtbaar dat de sensoren zeer gelijk zijn. De RLV-nauwkeurigheid van de SHT35 is met 1,5% een half procent beter dan die van de SHT31. Dit geldt voor het normale gebruiksgebied van 0 tot 80% RLV. Boven de 80% neemt de nauwkeurigheid van de SHT35 af naar 2% bij 100% RLV, dit is vergelijkbaar met de SHT31. Met een temperatuurnauwkeurigheid van 0.1 °C tussen de 20 en 60 °C is de SHT35 iets nauwkeuriger dan de SHT31, die heeft namelijk een nauwkeurigheid van 0.2 °C tussen de 0 en 90 °C. De nauwkeurigheid van de SHT35 neemt af naar 0.2 °C bij 0 °C. Bij de SHT31 loopt de nauwkeurigheid af naar 0.3 °C bij -40 °C. Hysteresis, herhaalbaarheid en drift zijn allen gelijk en nagelezen kunnen worden in de datasheet [56].



Figuur 11: RLV Nauwkeurighedsgrafieken SHT31 & SHT35 [56]

Figuur 12: Temperatuur nauwkeurighedsgrafieken SHT31 & SHT35 [56]

Alhoewel de SHT35 een nauwkeurigere sensor is in zowel temperatuur als RLV, is de keuze gevallen op de SHT31. Deze keuze wordt onderbouwd door economisch besluit. De SHT31 is met een indicatieprijs van 8 euro/stuk, 33 procent goedkoper dan de SHT35¹. Mouser Electronics biedt de SHT31 en de SHT35

¹ Deze prijs is gebaseerd op breakoutboard versies van de sensor. Vergeleken bij verschillende verkopers en daarvan een gemiddelde genomen.

ook aan als losse sensor, hiervan zijn de prijzen €4,33 en €7,56 respectievelijk op het moment van schrijven. De sensoren zijn in China besteld. Op het moment van bestellen was de SHT35 met een prijs van €7,30 per stuk, 5 euro duurder dan de SHT31.

Hardware: Microcontroller

Een aantal eisen ontstonden uit de keuze om de SHT31 als sensor te gebruiken, ten eerste werkt de SHT31 op 5VDC en ten tweede werkt de communicatie door middel van I2C.

De meetsystemen zitten in de gevels voor geruime tijd dus 'semi' permanente montage in de vorm van soldeer tussen bekabeling, componenten en microcontroller is van belang. Dit maakt dat de microcontrollers pin-out niet in de 'standaard' vorm van experimenteerbord is, maar in de vorm van soldeerpad's. Zo kunnen er stabiel verbindingselementen worden gesoldeerd aan de microcontroller zonder dat er mogelijk verbindingselementen los gaan zitten.

Met alle eisen en wensen voor dit component komt de uiteindelijke keuze op terecht op een Arduino Pro Mini 5V. In het specifiek de RobotDyn Pro Mini 5V @ 16Mhz. Door de compacte vormgeving is de Pro Mini zeer geschikt voor dit systeem.

Hardware & Software: Communicatie

De gekozen sensoren werken via het communicatieprotocol I2C. Een eis in dit protocol is het hebben van een vast adres op de I2C bus. Standaard worden de SHT31 sensoren geleverd met twee mogelijke adressen. De keuze wordt gemaakt door de adres-pin naar ground te trekken of deze floating te laten. Met deze mogelijkheid zijn er nog steeds maar twee mogelijke adressen, dat zijn te weinig mogelijkheden voor de acht benodigde sensoren. De oplossing voor dit probleem is een I2C multiplexer. Simpel gezegd is dit een IC die schakelt tussen I2C kanalen op aanvraag van de microcontroller. De passende multiplexer voor dit subsysteem is de TCA9548A. Deze werkt op 5VDC en kan met één I2C adres acht verschillende I2C apparaten aanspreken.

Een ander essentieel onderdeel in communicatie is de module die de verbinding tussen de Mainserver en de microcontroller mogelijk maakt. In het componentontwerp Bekabeling van het subsysteem Mainserver is de keuze om RS485 te gebruiken toegelicht. De module die toepasbaar is om RS485 als fysieke laag te gebruiken in het systeem is gebouwd op een IC van Maxim Integrated, de MAX485 [57]. Deze modules zijn al opgebouwd met de benodigde afsluitweerstand en kan zo worden aangesloten op de TX- en RX-kanalen van de microcontroller.

Hardware: Lokaal meetsysteem circuit en diagrammen

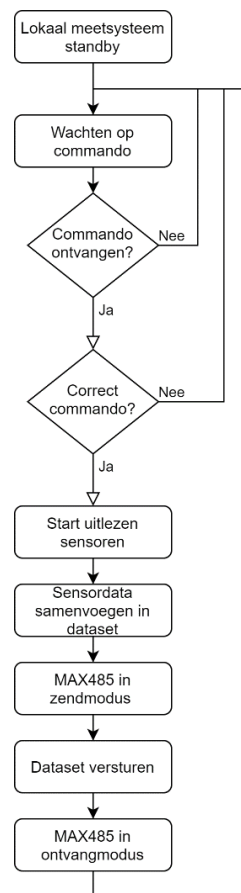
De componenten en modules die beschreven zijn hierboven zijn samengevoegd in een schematische weergaven van het subsysteem op de experimenteer printplaat. Deze schema's zijn bijgevoegd in de bijlage.

Software

De microcontroller is geprogrammeerd in Arduino, een variatie op C++. Deze taal is speciaal ontwikkeld voor microcontrollers op ontwikkelborden. Zo kan er gemakkelijker hardware aangesproken worden en worden een aantal variabelen anders genoemd.

De software geschreven voor dit subsysteem kan verdeeld worden in vier onderdelen. Namelijk het zoeken en wachten op de seriële bus naar het juiste commando, het wisselen van sensoren via de multiplexer, het uitlezen van de sensordata en het versturen van de data als geheel pakket. Deze onderdelen zijn verwerkt in de software door gebruik te maken van functies. De software is terug te vinden in de bijlage.

Figuur 11 is een schematische weergave van het chronologisch verloop van de software.



Figuur 13: Verloop software lokaal meetsysteem

4.4 Testen

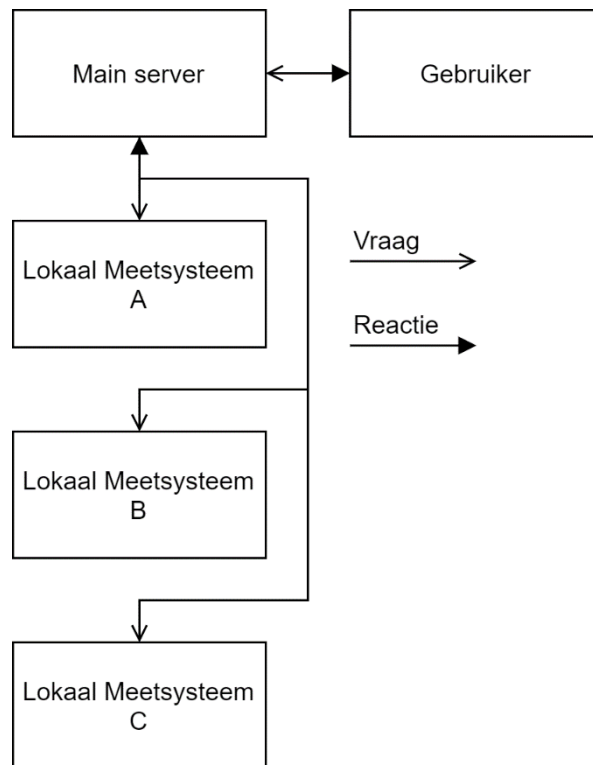
Testlog Sensorwise

Test	Resultaten	Goedkeuring
Componenten	• Arduino Pro Mini gedraagt zich naar behoren. Programmeren en draaien van seriële testcode werkt naar behoren. • SHT31D via I2C uitgelezen met de MCU, temperatuur en vochtigheid wordt uitgelezen. • TCA9548A eerst getest met twee SHT31D's, adres 0 geeft de eerste SHT31D, adres 1 geeft de tweede SHT31D. Werkt naar behoren. Test met acht sensoren geeft zelfde resultaat. • LM7805 spanningsregulator geeft een uitgangsspanning tussen 4.8VDC en 5.1VDC wat acceptabel is aangezien er geen analoog kanaal gebruikt wordt.	Goedgekeurd
Bekabeling	• Arduino wordt gebruikt als LED schakelaar. Door commando over de TXD en RXD poort te sturen, schakelt de Arduino de LED aan of uit. Commando werkt, Arduino reageert en LED schakelt. De Arduino wordt nu gebruikt om data opgeslagen op de MCU zelf door te sturen naar de seriële monitor op de PC. Bericht ontvangen. Bekabeling werkt naar behoren.	Goedgekeurd
Dataverwerking	• Data wordt via de terminal geïnjecteerd in het datavewerkingsprogramma. Data wordt gecontroleerd en opgeslagen naar behoren. Foutieve data wordt geïnjecteerd (NaN en niet-getal tekens), data wordt opgeschoond door programma.	Goedgekeurd
Voeding	• Voeding wordt getest met 15 meter bekabeling, gemeten spanning is 12.2VDC op uitgang voeding. Uitgang 15 meter kabel is 10.9VDC, spanningsverval is 1.3VDC. Dit komt goed genoeg overeen met calculator (te vinden in bijlage scriptie). Tevens valt dit ruim boven de minimale 7VDC nodig om een stabiele 5VDC te krijgen bij het lokale meetsysteem. Voeding werkt naar behoren.	Goedgekeurd
Lokaal meetsysteem	• Lokaal meetsysteem wordt via seriële monitor aan PC getest. Werkt naar behoren. Lokaal meetsysteem reageert op adrescommando en reageert zoals gewenst met acht sensoren,	Goedgekeurd
Mainserver	• VNC server werkt naar behoren. Resetten kan op afstand, verbinding is veilig en stabiel. Data downloaden is mogelijk.	Goedgekeurd
Systeem	• Volledige systeem draait test en werkt naar behoren. Resultaten zichtbaar in stuk Proefopstelling in scriptie.	Goedgekeurd

4.5 Proefopstelling meetsysteem

De proefopstelling is opgebouwd uit één tak van het totale meetsysteem. Hierbij zijn drie lokale meetsystemen in een daisychain achter elkaar gezet met als server een RaspberryPi 3B+. De server is hierbij op het lokale netwerk aangesloten en wordt via een VNC-verbinding aangesproken vanuit de gebruiker. Bij de eerste test zijn de waarden veelal hetzelfde. Dit komt doordat de meetsystemen in dezelfde ruimte aanwezig zijn. De tweede test bewijst dat het meetsysteem verschillende waarden aangeeft bij verschillende temperaturen en RLV-waardes door een paar sensoren buiten te plaatsen.

De schematische testopstelling ziet er als volgt uit:



Figuur 14: Schematische weergave proefopstelling

De proefopstelling op het werkblad ziet er als volgt uit:



Resultaat van deze test is beschikbaar als bijgevoegd bestand. Voor deze test is het systeem ingesteld op elk kwartier een meting te doen, beginnend op het hele uur. Het CSV-bestand wordt opgebouwd door op elke regel een nieuwe set te schrijven. Bij de eerste set wordt de tijd toegevoegd waarop deze metingen zijn gedaan. De kolom worden opgebouwd door letter+[T+RLV]_n, waarin de letter aangeeft om welk meetsysteem het gaat, T de temperatuur in Celsius is, RLV de luchtvochtigheid en _n de sensornummering is. Hieronder een voorbeeld van een uur meten met drie sensorsets.

A	21.47	61.30	21.42	61.53	21.32	61.84	21.31	62.15	21.57	62.69	21.60	60.67	21.33	62.39	21.49	60.91	14	0
B	21.21	63.19	21.13	62.26	20.98	62.42	21.23	62.14	21.33	61.62	21.17	61.83	21.36	62.89	21.20	62.24		
C	21.48	62.10	21.43	62.03	21.37	60.76	21.21	61.88	21.24	62.14	21.16	62.88	21.16	61.63	21.43	62.54		
A	21.52	61.36	21.46	61.53	21.32	61.93	21.34	62.15	21.59	62.72	21.61	60.72	21.35	62.45	21.50	60.94	14	15
B	21.24	63.26	21.13	62.40	20.95	62.48	21.23	62.36	21.34	61.74	21.16	61.97	21.39	63.05	21.22	62.39		
C	21.50	62.19	21.46	62.05	21.35	60.89	21.24	61.97	21.24	62.28	21.21	62.97	21.13	61.78	21.44	62.62		
A	21.53	61.45	21.47	61.60	21.32	62.03	21.32	62.28	21.59	62.80	21.61	60.76	21.36	62.53	21.50	61.04	14	30
B	21.24	63.34	21.10	62.48	20.95	62.59	21.20	62.33	21.34	61.79	21.16	62.03	21.37	63.08	21.19	62.44		
C	21.49	62.27	21.46	62.18	21.35	60.91	21.23	62.04	21.25	62.36	21.18	62.99	21.15	61.82	21.41	62.69		
A	21.52	61.56	21.44	61.79	21.32	62.07	21.35	62.40	21.59	62.94	21.57	60.99	21.36	62.65	21.49	61.16	14	45
B	21.27	63.42	21.14	62.59	20.97	62.65	21.25	62.41	21.33	61.84	21.16	62.09	21.36	63.20	21.22	62.50		
C	21.49	62.35	21.47	62.23	21.35	61.01	21.24	62.11	21.27	62.39	21.18	63.05	21.18	61.86	21.43	62.73		

Tabel 3: Data proefopstelling

4.6 Kosten

BOM

Component	Aantal
SHT31-D	160
TCA9548A	20
RobotDyn Pro Mini 5V	20
MAX485	20
LM7805	20
Condensatoren	40
12V Voeding	2
Raspberry Pi 3B	2
USB RS485 module	8
RJ45 connector	32
UTP-kabel	≈200 meter
4 aderig shielded kabel	68 meter
Stannol Sn99Cu1	100 gram
Experimenteer PCB	20

Tabel 4: BOM

Om bescherming te bieden aan de betrokken partijen en hun gemaakte kosten en uurlonen zal er niet specifiek worden ingegaan op de geboekte kosten. In tabel 5 is te zien hoe de financiële middelen zijn gebruikt.

Begroting

Specificatie naar activiteiten	Totale kosten			%	Cofinanciering			%	Subsidie		%
Projectactiviteiten	€	26.389		84,20%	€	11.340	100,00%		€	15.049	75,25%
Materiële kosten	€	4.950		15,80%	€	-	0,00%		€	4.950	24,75%
Totaal	€	31.339		100,00%	€	11.340	36,18%		€	19.999	63,82%

Tabel 5: Begroting

In dit overzicht is te zien dat slechts een deel van de gemaakte kosten materiële kosten zijn. Dit heeft vooral te maken met het feit dat dit een onderzoek is. Hierbij worden veel uren gemaakt in de onderzoeken van het probleem en het verwerken van resultaten. Wanneer de materiële kosten worden gedeeld door twee (aangezien er twee systemen zijn), komt dit uit op €2475 per systeem. In deze kosten zitten de onderdelen die in de BOM verwerkt zijn alsmede de materiële kosten die gemaakt zijn tijdens installatie (isolatiemateriaal, installatiebuis etc).

5. DISCUSSIE

Dit onderzoek werd uitgevoerd door leemte in de literatuur als het gaat om toegepast onderzoek op temperatuur en vochttransport in (bestaande of nieuwbouw) huizen. Hierbij zijn mogelijkheden ontdekt en toegepast als het gaat om praktische methodes om inzichten te krijgen in het gedrag van vocht en temperatuur door gevels. Om dit te bereiken is er systematisch ontworpen via het V-Model.

Om validiteit in dit onderzoek te garanderen, wordt er gerefereerd naar de methoden van onderzoek en uitvoering in dit onderzoek. Door gebruik te maken van testplannen volgens IEEE standaard 829, het V-Model, betrouwbare bronnen zoals wetenschappelijke artikelen, vakboeken, normen en andere handvatten, kan er validiteit aangetoond worden. Tevens is er kennis gewonnen van externe, zo zijn er timemanagement en projectmanagement adviezen verkregen van een projectmanager en kennis van metingen in gebouwen is verkregen van een docent-onderzoeker van Avans.

Hoewel zowel de onderdelen als de geschreven code vrijwel hetzelfde zullen zijn onder uitvoerders van dit onderzoek, zijn de resultaten van metingen misschien wel totaal verschillend. Waar tijdens dit onderzoek veel problemen ontstonden na de integratie van alle systemen in de woningen, hoeft dat bij een ander niet of nauwelijks te gebeuren. De problemen die ontstonden kunnen worden verdeeld in twee delen: foutief aangelegde bedrading en niet verwachte ruis.

De eerste problemen ontstonden toen er opgemerkt werd dat de bedrading niet volgens afspraak was aangelegd. Dit zorgde ervoor dat een groot deel van de lokale meetsystemen aangepast moesten worden om deze andere vorm van bekabeling te kunnen accepteren. Naast de fouten die zijn gemaakt tijdens het trekken van de kabels, waren er tevens verkeerde kabels gebruikt. Afsproken was minimaal FTP echter werd er UTP gebruikt, mogelijk door kostendrukking vanuit de onderaannemer of gemak. Dit is waarschijnlijk een grote veroorzaker van punt twee, de niet verwachte ruis. De hoeveelheid en lengtes kabels die door de gevels van de huizen liepen, heeft waarschijnlijk gezorgd voor een groot antenne-netwerk waar het systeem niet tegen bestand is.

Naast externe problemen zijn er ook een aantal keuzes gemaakt in het ontwerp wat de snelheid van productie en debuggen niet ten goede kwam. De keuze om de PCB's niet te bestellen maar te maken uit proto-board was een keuze die ervoor zorgde dat er aan de ene kant direct aanpassing gedaan konden worden. Aan de andere kant zorgde dit ook voor meer werk en meer fouten. Tevens is de kostenbesparing door de kabels in-huis te maken die de sensoren met de meetsystemen verbonden, niet gerechtvaardigd. De extra tijd die nodig was om dit te doen koste uiteindelijk meer uit het budget dan wanneer er geprefabriceerde kabels werden ingekocht.

De keuze die gemaakt is om het systeem op een RS485 netwerk te laten werken lijkt een modulaire oplossing, die stabiel en praktisch op te bouwen is. Tevens lijkt de keuze om de mainserver te ontwerpen in een Python omgeving veel kansen te bieden voor uitbereiding van systeemgrote en mogelijkheden van data-analyse en verwerking.

Wat betreft mankracht, het overgrote deel van het onderzoek is gedaan door de onderzoeker. Aangezien in dit project slechts twee personen betrokken waren, de projectleider en de onderzoeker, was het vinden van steun op technisch vlak af en toe een uitdaging. Er is een onderschatting gemaakt hoeveel tijd het kost om alleen een volledig systeem te ontwikkelen, te debuggen, te integreren en tekstueel te verwerken. Onderbouwing hiervoor, zeker in de eerste gedeeltes, is het niet kunnen sparren met collega's wat mogelijk betere keuzes waren. Hierdoor werd het vallen en opstaan en verliep niet alles soepel.

Het huidige ontwerp wordt gezien als een juiste basis waar verder op ontwikkeld kan worden. Op het gebied van ruisonderdrukking, bedrading en modulariteit van sensoren zijn punten te scoren wanneer het gaat om toepasbaarheid in verschillende situaties. Met deze drie punten verbeterd kan dit systeem zeer interessant worden om in diverse situaties in te zetten.

Informatie uit de literatuur blijkt schaars wanneer het gaat over meetsystemen die de RLV en temperatuur in gevels meten. Om dit gat op te vullen lijkt dit systeem een mogelijke oplossing.

6. CONCLUSIE

In dit onderzoek is gezocht naar een methode om een antwoord te krijgen op de vraag of ecologische bouwmaterialen beter voor het binnenklimaat in woningen zijn. Om deze methode te vinden is er een systematisch ontwerptraject doorlopen.

De resultaten van het onderzoek geven aan dat temperatuursverloop door gevels goed te meten is. Sensoren zijn in overvloed verkrijgbaar en vallen qua nauwkeurigheid binnen de gestelde normen voor het meten van binnenklimaat. Vocht in gevels is lastiger te meten. Lab opstellingen maken het mogelijk om nauwkeurig vocht te meten in een materiaal, dit is echter niet mogelijk in gevels van woningen. Door verschillende materialen verspreid door de doorsnede is het tevens lastig om één meettechniek te gebruiken. De structuren en fysieke eigenschappen van de materialen zijn daarvoor te divers. Luchtvochtigheidssensoren maken het echter wel mogelijk om het effect van vochttransport in de vorm van verdampt vocht te bepalen.

Het volledige systeem werkt volgens de uitgevoerde testen. Resultaten van deze testen laten zien het opvragen van data vlot verloopt en dat de data correct opgeschoond worden. Mogelijke fouten die ontstaan op componentniveau worden opgeschoond alsmede mogelijke communicatieproblemen. De communicatie tussen gebruiker en server verloopt soepel en is toegankelijk.

Noodzaak om correct te isoleren en ventileren blijkt uit de resultaten van het onderzoeken van de literatuur. Dit verhoogt het comfort en zorgt voor een gezonder binnenklimaat.

Uit dit systematische ontwerptraject is gebleken dat er zeker mogelijkheden zijn als het gaat om vocht en temperatuur transport door gevels te meten. Het systeem voldoet aan de vraag om luchtvochtigheid en temperatuur te meten door een gevel. Een belangrijke vraag blijft echter wel, 'Wat is het effect van ecologische materialen tegenover traditionele materialen op vocht- en temperatuurtransport?'. Dit kan echter niet zomaar worden beantwoord. Hiervoor is veel data nodig en mogelijk andere sensoren. Met veel data en juiste interpretaties van de data kan dit systeem een tool worden om indicatie te geven welke materialen in gevels gezondheid en comfort binnenshuis verbeteren.

7. AANBEVELINGEN

7.1 Microniveau

Advies voor vervolgonderzoek op microniveau zou kunnen zijn het verbeteren van de drie punten beschreven in de discussie, ruisonderdrukking, bedrading en modulariteit. Tevens kijken naar verschillende testscenario's te produceren om de toepasbaarheid van de gebruikte sensoren te bewijzen. Hierbij wordt bedoeld het bewijzen van toepasbaarheid en nauwkeurigheid om vochttransport te meten met RLV-sensoren door verschillende materialen. Dit is namelijk niet in dit onderzoek gedaan door beperkingen in tijd en lab-opstellingen.

7.2 Mesoniveau

Op mesoniveau zijn er ook aanbevelingen. Zo kunnen er vervolgonderzoeken worden opgestart die dit onderzoek als basisnemen. Hierbij kan gedacht worden aan integrale onderzoeken waar objectieve en subjectieve data wordt gemeten van testpersonen naast de fysische gegevens waarin deze testpersonen zich bevinden. Dit zou kunnen worden opgezet door verschillende onderzoeksgroepen en/of lectoraten met velden als Gezondheidszorg, Verzekeringsmarkt, Microbiologie, Bouwkunde, Materiaalkunde, etc. In zo'n multidisciplinair onderzoek zou bijvoorbeeld een (deel) wijk als proeftuin opgezet kunnen worden. Door het meten van alle facetten zouden punten als zorgkosten gedrukt kunnen worden aangezien er meer kennis voor preventie aanwezig is. Op technisch vlak zou zo'n onderzoek kunnen uitwijzen dat bewoners zich beter voelen bij het gebruik van ecologische materialen door de mogelijke hygrothermische buffer.

7.3 Macroniveau

Verder uitgezoomd zou dit op macroniveau betekenen dat er punten gescoord kunnen worden op milieuvlak. Door ecologische materialen toe te passen kan de uitstoting over het leven van het materiaal naar beneden gaan. Tevens gaat de benodigde energie om woningen naar beneden wanneer er beter geïsoleerd wordt. Op alle schalen zijn er mogelijk punten te halen met dit onderzoek als basis. Zeker wanneer de zoekvelden vergroot worden en integrale onderzoeken worden opgezet waarbij samenwerking en kennisdeling centraal staan.

“ The important thing is not to stop questioning. Curiosity has its own reason for existing. ”

- *Albert Einstein*

REFERENTIES

- [1] K. Dannemiller, C. Weschler and J. Peccia, "Fungal and bacterial growth in floor dust at elevated relative humidity levels," *Indoor Air*, vol. 27, no. 2, pp. 354-363, 2017.
- [2] P. Wolkoff and K. S. Kjærgaard, "The dichotomy of relative humidity on indoor air quality," *Environment International*, vol. 33, pp. 850-857, 2007.
- [3] S. Brasche and W. Bischof, "Daily time spent indoors in German homes – Baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants," *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 208, no. 4, pp. 247-253, 20 07 2005.
- [4] Centre of Expertise Biobased Economy, "Onderzoek," COEBBE, 2018. [Online]. Available: <https://www.coebbe.nl/about-us/onderzoek/>. [Accessed 20 11 2018].
- [5] RVO Nederland, "Nul op de meter," 5 2015. [Online]. Available: https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.rvo.nl%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FNul%2520op%2520de%2520Meter_A4_Brochure.pdf&pdf=true. [Accessed 20 11 2018].
- [6] RVO, "Energie labels van woningen, 2010 - 2019," Rijksoverheid, 13 8 2020. [Online]. Available: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0556-energie-labels-woningen>. [Accessed 12 11 2020].
- [7] W. Hagens, R. Bogers and E. Putman, "Isolatiematerialen en gezondheid, een verkenning," RIVM, Bilthoven, 2016.
- [8] M. Lawrence, A. Shea, P. Walker and P. De Wilde, "Hygrothermal performance of bio-based insulation materials," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Construction Materials*, vol. 166, no. 4, pp. 257-263, 5 Maart 2013.
- [9] J. Timmers and M. van der Waals, *Het ontwerpproces in de praktijk*, Amsterdam: Pearson Education, 2009.
- [10] European Union, "Directive 2007/51/EC," *Official Journal of the European Union*, pp. 13-15, 2007.
- [11] Koninklijke PBNA, "Basiskennis voor de technici," A. Huson, Arnhem, 1999.
- [12] A. Höfler, "How does a gas filled thermometer (gas-in-metal) work?," *tec-science*, 3 5 2019. [Online]. Available: <https://www.tec-science.com/thermodynamics/temperature/how-does-a-gas-filled-thermometer-gas-in-metal-work/>. [Accessed 10 09 2020].
- [13] A. Höfler, "Blackbody radiation," *Tec Science*, 22 2 2019. [Online]. Available: <https://www.tec-science.com/thermodynamics/temperature/black-body-radiation/>. [Accessed 16 9 2020].
- [14] Swinburne University, "Blackbody Radiation," Swinburne University, [Online]. Available: <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/B/Blackbody+Radiation>. [Accessed 16 9 2020].
- [15] IEC, 60751:2008, Geneva, 2008.

- [16] S. Kasap, "Thermoelectric Effects in Metals," in *Thermoelectric Effects in Metals: Thermocouples*, Saskatchewan, Department of Electrical Engineering, University of Saskatchewan, 2001, p. 2.
- [17] C. Nave, "Fermi Level," Department of Physics and Astronomy, Georgia State University, 1 2006. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/Fermi.html#c1>. [Accessed 20 10 2020].
- [18] S. Stuijk, "Sensors and Actuators: Sensor Physics," Department of Electrical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2011. [Online]. Available: <http://www.es.ele.tue.nl/education/SensorsActuators/sensors.php>. [Accessed 23 10 2020].
- [19] G. Klysz and J. Balayssac, "Determination of volumetric water content of concrete using ground-penetrating radar," *Cement and Concrete Research* 37, 2007.
- [20] HV Technologies, "The Basics of Time Domain Reflectometry (TDR)," HV Technologies, 18 10 2018. [Online]. Available: <https://hvtechnologies.com/blog/basics-time-domain-reflectometry-tdr>. [Accessed 03 09 2020].
- [21] W. Hong, J. Yu, S. Kim and J. Lee, "Dynamic Cone Penetrometer Incorporated with Time Domain Reflectometry (TDR) Sensors for the Evaluation of Water Contents in Sandy Soils," *Sensors*, vol. 19, no. 18, 2019.
- [22] L. Pel and B. Erich, "Moisture Content Measurement of Porous Materials," [Online]. Available: <https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.porousmedia.nl%2Fncmr%2Fcollege%2FVochtmeten.pdf&pdf=true>. [Accessed 03 09 2020].
- [23] "Construction of time-domain reflectometry (TDR) sensor for measuring soil-water content," *International Journal of Sustainable Agricultural Technology*, no. 2, pp. 14-20, 2006.
- [24] National Cooperative Highway Research Program, "Instrumentation for Measurement of Moisture," vol. 138, 1973.
- [25] J. Granja, M. Azenha, C. de Sousa, R. Faria and J. Barros, "Hygrometric assessment of internal relative humidity in concrete: Practical application issues," *Journal of Advanced Concrete Technology: Materials, Structures and Environment*, no. 12, pp. 250-265, 2014.
- [26] N. Campbell, T. McGrath, S. Nanukuttan and S. Brown, "Monitoring the hygrothermal and ventilation performance of retrofitted clay brick solid wall houses with internal insulation: Two UK case studies," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 7, pp. 163-179, 2017.
- [27] J. Kuusela, "Capacitive Humidity Sensors," Metropolia University of Applied Sciences, 12 5 2015. [Online]. Available: <https://wiki.metropolia.fi/display/sensor/Capacitive+Humidity+Sensors>. [Accessed 24 10 2020].
- [28] EN-ISO, 7730:2005, Brussels: CEN, 2005.
- [29] M. Fountain, G. Brager and R. de Dear, "Expectations of indoor climate control," *Energy and Buildings*, pp. 179-182, 1 2 1996.

- [30] K. van der Linden, A. C. Boerstra, A. K. Raue and S. R. Kurvers, "Thermal indoor climate building performance characterized by human comfort response," *Energy and Buildings*, pp. 737-744, 7 4 2002.
- [31] ANSI/ASHRAE, 55-2010, Atlanta, US: ASHREA, 2010.
- [32] P. Wolkoff, "Indoor air humidity, air quality, and health - An overview," *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 221, pp. 376-390, 2018.
- [33] J. Noti, F. M. Blachere, C. M. McMillen, W. G. Lindsley, M. L. Kashon, D. R. Slaughter and D. H. Beezhold, "High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs," *PLoS ONE*, vol. 8, no. 2, p. e57485, 2013.
- [34] Khan Academy, "What is thermal conductivity?," Khan Academy, 2015. [Online]. Available: <https://www.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/specific-heat-and-heat-transfer/a/what-is-thermal-conductivity>. [Accessed 12 10 2020].
- [35] C. Nave, "Specific Heat," 9 11 2016. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/spht.html>. [Accessed 12 10 2020].
- [36] Livios, "Traditionele bouwtechniek," Livios, [Online]. Available: <https://www.livios.be/nl/bouwinformatie/woonwijzer/bouwen/bouwtechnieken/traditionele-bouwtechniek/>. [Accessed 12 10 2020].
- [37] Architect Direct, "Houtskeletbouw versus traditioneel bouwen," 27 4 2020. [Online]. Available: <https://www.architectdirect.nl/verbouwen/houtskeletbouw-versus-traditioneel-bouwen/>. [Accessed 12 10 2020].
- [38] United Nations, "FCCC/CP/2015/L.9," in *Paris Agreement*, Paris, 2015.
- [39] GABC, "What the Paris Climate Agreement means for the Building Sector," in *LAC Regional Meeting GABC*, Lima, 2016.
- [40] Nibe, "Wat is het DUBOkeur product?," 8 4 2019. [Online]. Available: <http://www.dubokeur.nl/files/DUBOkeurproductuitleg.html>. [Accessed 25 10 2020].
- [41] NWO, "Subsidieregeling 2017," 30 1 2019. [Online]. Available: <https://www.nwo.nl/nwo-subsidieregeling>. [Accessed 25 10 2020].
- [42] D. Hughey, "The Traditional Waterfall Approach," University of Missouri-St. Louis, 9 11 2009. [Online]. Available: <https://www.umsi.edu/~hugheyd/is6840/waterfall.html>. [Accessed 28 10 2020].
- [43] I. Graessler and J. Hentze, "The new V-Model of VDI 2206 and its validation," *Automatisierungstechnik*, vol. 68, no. 5, pp. 312-324, 2020.
- [44] I. Graessler, "A new V-model for interdisciplinary product engineering," Technische Universität Ilmenau, 9 2017. [Online]. Available: https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.db-thueringen.de%2Fservlets%2FMCRFileNodeServlet%2Fdbt_derivate_00039409%2Film1-2017iwk-063.pdf&fname=ilm1-2017iwk-063.pdf&pdf=true. [Accessed 20 11 2018].

- [45] C. Zheng, M. Bricogne, J. L. Duigou and B. Eynard, "Survey on mechatronic engineering: A focus on design methods," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 28, no. 3, pp. 241-257, 2014.
- [46] Atlassian, *Trello*, Atlassian, 2020.
- [47] Autodesk Inc., *Inventor Professional 2020*, Autodesk, 168.
- [48] Autodesk Inc., *Fusion 360*, Autodesk, 2.0.8560.
- [49] KiCad Developers Team, *KiCad*, KiCad, 5.0.2.
- [50] Adobe Inc., *Illustrator*, Adobe Inc., 24.1.
- [51] diagrams.net, *Draw.io*, diagrams.net, 13.3.5.
- [52] Microsoft, *Visual Studio Code*, Microsoft, 1.48.2.
- [53] PlatformIO Labs, *PlatformIO IDE*, PlatformIO Labs, 2.1.3.
- [54] Thonny, *Thonny Python IDE*, Thonny, 3.2.1.
- [55] *IEEE Standard for Software and System Test Documentation*, 2008.
- [56] Sensirion, "Digital Humidity Sensor SHT3x (RH/T)," Februari 2019. [Online]. Available: https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.sensirion.com%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fcustomers%2Fsensirion%2FDokumente%2F2_Humidity_Sensors%2FDatasheets%2FSensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital.pdf&pdf=true. [Accessed 10 7 2020].
- [57] Maxim Integrated, "MAX485," Maxim Integrated, 20 5 2020. [Online]. Available: <https://www.maximintegrated.com/en/products/interface/transceivers/MAX485.html>. [Accessed 25 10 2020].

BIJLAGE

Code mainserver

```
import csv
import re
import string
import schedule
import time
from datetime import datetime

import serial

baudrate = 9600 # baudrate of serialbus

# defining serial port, baudrate and timeout in case of seasing
serial_abc = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', baudrate, timeout=10)
serial_abc.close()
serial_de = serial.Serial('/dev/ttyUSB1', baudrate, timeout=10)
serial_de.close()
serial_fgh = serial.Serial('/dev/ttyUSB2', baudrate, timeout=10)
serial_fgh.close()
serial_ij = serial.Serial('/dev/ttyUSB3', baudrate, timeout=10)
serial_ij.close()

time.sleep(0.5)

def serialcommfunction(ser, designator_command): # function for serial commun
ication
    ser.open() # open serial port
    time.sleep(1)
    ser.reset_input_buffer() # reset input buffer
    # write command to serial bus
    ser.write(str(designator_command).encode('UTF-8'))
    ser.flush()
    # read response from serial bus, decoded and striped of excess characters
    serresponse = ser.readline(500).decode('UTF-8', 'ignore').strip()
    print(serresponse)
    time.sleep(0.1)
    ser.close()
    return serresponse

def responsefilter(response): # filtering data
    response = re.sub(r'^0-9|.', '0', response, 1)
    response = re.sub(r'^0-9|.', '', response)
    response = re.sub(r'NaN', '0', response) # replacing possible NaN with 0
    response = re.sub(r' ', '0', response)
    return response
```

```

def run_task(): # main task
    today = time.strftime("%Y%m%d")
    now = datetime.now()
    current_time = now.strftime("%H:%M")
    current_time_list = current_time.split(":")

    dataFile_sensorwise = 'data' # creating name for csv file
    dataFile_sensorwise += str(today)
    dataFile_sensorwise += 'SensorWiseGezondeWoning'
    dataFile_sensorwise += '.csv'

    # sending command and recieving datalist
    sensorwise_list_A = serialcommfunction(serial_abc, 'a')
    sensorwise_list_B = serialcommfunction(serial_abc, 'b')
    sensorwise_list_C = serialcommfunction(serial_abc, 'c')

    sensorwise_list_D = serialcommfunction(serial_de, 'd')
    sensorwise_list_E = serialcommfunction(serial_de, 'e')

    sensorwise_list_F = serialcommfunction(serial_fgh, 'f')
    sensorwise_list_G = serialcommfunction(serial_fgh, 'g')
    sensorwise_list_H = serialcommfunction(serial_fgh, 'h')

    sensorwise_list_I = serialcommfunction(serial_ij, 'i')
    sensorwise_list_J = serialcommfunction(serial_ij, 'j')

    sw_list_clean_A = responsefilter(
        sensorwise_list_A.split("||") # filtering list
    )
    sw_list_clean_A.extend(current_time_list)
    sw_list_clean_A.insert(0, "A") # adding designator in front of list
    sw_list_clean_B = responsefilter(sensorwise_list_B).split("||")
    sw_list_clean_B.insert(0, "B")
    sw_list_clean_C = responsefilter(sensorwise_list_C).split("||")
    sw_list_clean_C.insert(0, "C")

    sw_list_clean_D = responsefilter(sensorwise_list_D).split("||")
    sw_list_clean_D.insert(0, "D")
    sw_list_clean_E = responsefilter(sensorwise_list_E).split("||")
    sw_list_clean_E.insert(0, "E")

    sw_list_clean_F = responsefilter(sensorwise_list_F).split("||")
    sw_list_clean_F.insert(0, "F")
    sw_list_clean_G = responsefilter(sensorwise_list_G).split("||")
    sw_list_clean_G.insert(0, "G")
    sw_list_clean_H = responsefilter(sensorwise_list_H).split("||")
    sw_list_clean_H.insert(0, "H")

```

```

sw_list_clean_I = responsefilter(sensorwise_list_I).split("||")
sw_list_clean_I.insert(0, "I")
sw_list_clean_J = responsefilter(sensorwise_list_J).split("||")
sw_list_clean_J.insert(0, "J")

# creating compound list of data
data_list_sensorwise = [sw_list_clean_A] + \
    [sw_list_clean_B] + [sw_list_clean_C] \
    + [sw_list_clean_D] + [sw_list_clean_E] \
    + [sw_list_clean_F] + [sw_list_clean_G] \
    + [sw_list_clean_H] + [sw_list_clean_I] + [sw_list_clean_J]
print(data_list_sensorwise)

with open(dataFile_sensorwise, 'a') as csvFile: # appending data to csv f
ile
    writer = csv.writer(csvFile)
    writer.writerow(data_list_sensorwise)

# defining tasks, time is in minutes, so every 15 minutes
schedule.every().hour.at(':00').do(run_task)
schedule.every().hour.at(':15').do(run_task)
schedule.every().hour.at(':30').do(run_task)
schedule.every().hour.at(':45').do(run_task)

while True:
    schedule.run_pending()
    time.sleep(30) # wait 30 seconds before checking if task should start

```

Code lokaal meetsysteem

```
/*
  Name:          main.ino
  Last modified: 26-10-2020
  Author:        Marijn Vuijk
*/

#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_SHT31.h>

#define TCAADDR 0x70

const int delayBetweenSens = 0;    //delay between reading different sensors for stability
const int directionControlPin = 3; //pin for controlling the MAX485 transceiver direction

char designatorNodeChar = 'a'; //designator char for the different nodes
bool data = false;
char command;

String dataToSend;

float sht31_0T, sht31_1T, sht31_2T, sht31_3T, sht31_4T, sht31_5T, sht31_6T, sht31_7T; //declaring sensor variables
float sht31_0H, sht31_1H, sht31_2H, sht31_3H, sht31_4H, sht31_5H, sht31_6H, sht31_7H;

Adafruit_SHT31 sht31_0 = Adafruit_SHT31(); //initialising sensors
Adafruit_SHT31 sht31_1 = Adafruit_SHT31();
Adafruit_SHT31 sht31_2 = Adafruit_SHT31();
Adafruit_SHT31 sht31_3 = Adafruit_SHT31();
Adafruit_SHT31 sht31_4 = Adafruit_SHT31();
Adafruit_SHT31 sht31_5 = Adafruit_SHT31();
Adafruit_SHT31 sht31_6 = Adafruit_SHT31();
Adafruit_SHT31 sht31_7 = Adafruit_SHT31();

void tcaselect(uint8_t i) //multiplexer function
{
  if (i > 7)
    return;
  Wire.beginTransmission(TCAADDR);
  Wire.write(1 << i);
  Wire.endTransmission();
}

void sendData() //data gathering and composing data string
```

```

{
    delay(5);
    tcaselect(0);
    sht31_0T = sht31_0.readTemperature();
    sht31_0H = sht31_0.readHumidity();

    dataToSend = sht31_0T; //composing dataset from sensor according to temp/h
um|...
    dataToSend += "|";
    dataToSend += sht31_0H;
    dataToSend += "||";
    //delay(delayBetweenSens);

    tcaselect(1);
    sht31_1T = sht31_1.readTemperature();
    sht31_1H = sht31_1.readHumidity();

    dataToSend += sht31_1T;
    dataToSend += "|";
    dataToSend += sht31_1H;
    dataToSend += "||";
    //delay(delayBetweenSens);

    tcaselect(2);
    sht31_2T = sht31_2.readTemperature();
    sht31_2H = sht31_2.readHumidity();

    dataToSend += sht31_2T;
    dataToSend += "|";
    dataToSend += sht31_2H;
    dataToSend += "||";
    //delay(delayBetweenSens);

    tcaselect(3);
    sht31_3T = sht31_3.readTemperature();
    sht31_3H = sht31_3.readHumidity();

    dataToSend += sht31_3T;
    dataToSend += "|";
    dataToSend += sht31_3H;
    dataToSend += "||";
    //delay(delayBetweenSens);

    tcaselect(4);
    sht31_4T = sht31_4.readTemperature();
    sht31_4H = sht31_4.readHumidity();

    dataToSend += sht31_4T;
    dataToSend += "|";

```

```

dataToSend += sht31_4H;
dataToSend += "||";
//delay(delayBetweenSens);

tcselect(5);
sht31_5T = sht31_5.readTemperature();
sht31_5H = sht31_5.readHumidity();

dataToSend += sht31_5T;
dataToSend += "|";
dataToSend += sht31_5H;
dataToSend += "||";
//delay(delayBetweenSens);

tcselect(6);
sht31_6T = sht31_6.readTemperature();
sht31_6H = sht31_6.readHumidity();

dataToSend += sht31_6T;
dataToSend += "|";
dataToSend += sht31_6H;
dataToSend += "||";
//delay(delayBetweenSens);

tcselect(7);
sht31_7T = sht31_7.readTemperature();
sht31_7H = sht31_7.readHumidity();

dataToSend += sht31_7T;
dataToSend += "|";
dataToSend += sht31_7H;
dataToSend += "||";

digitalWrite(directionControlPin, HIGH); //setting the MAX485 module to tr
ansmit mode
delay(100);
Serial.println(dataToSend); //writing the datastring to the serialbus
data = false;
delay(100);
digitalWrite(directionControlPin, LOW); //setting the MAX485 module to rec
ieve mode
}

void setup()
{
    pinMode(directionControlPin, OUTPUT);
    digitalWrite(directionControlPin, HIGH);
    delay(5);

```

```

Serial.begin(9600);
Serial.println("Starting the program...");
delay(50);

tcselect(0); //used to startup the sensors
if (!sht31_0.begin())
{
    Serial.println("sht31_0 not starting...");
}
tcselect(1);
if (!sht31_1.begin())
{
    Serial.println("sht31_1 not starting...");
}
tcselect(2);
if (!sht31_2.begin())
{
    Serial.println("sht31_2 not starting...");
}
tcselect(3);
if (!sht31_3.begin())
{
    Serial.println("sht31_3 not starting...");
}
tcselect(4);
if (!sht31_4.begin())
{
    Serial.println("sht31_4 not starting...");
}
tcselect(5);
if (!sht31_5.begin())
{
    Serial.println("sht31_5 not starting...");
}
tcselect(6);
if (!sht31_6.begin())
{
    Serial.println("sht31_6 not starting...");
}
tcselect(7);
if (!sht31_7.begin())
{
    Serial.println("sht31_7 not starting...");
}
digitalWrite(directionControlPin, LOW);
}

void loop()
{

```

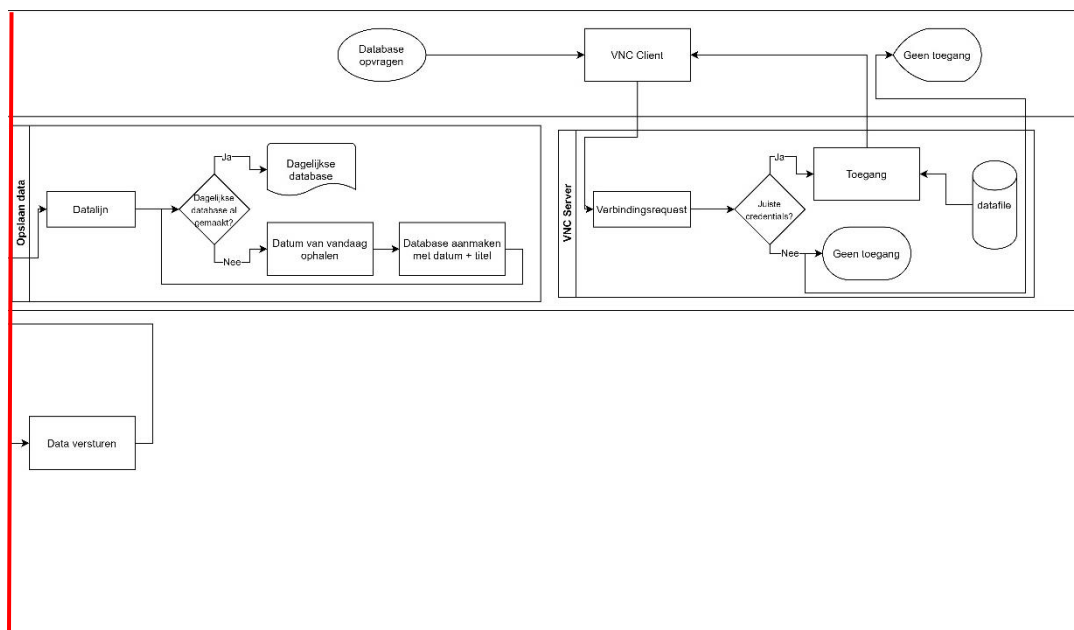
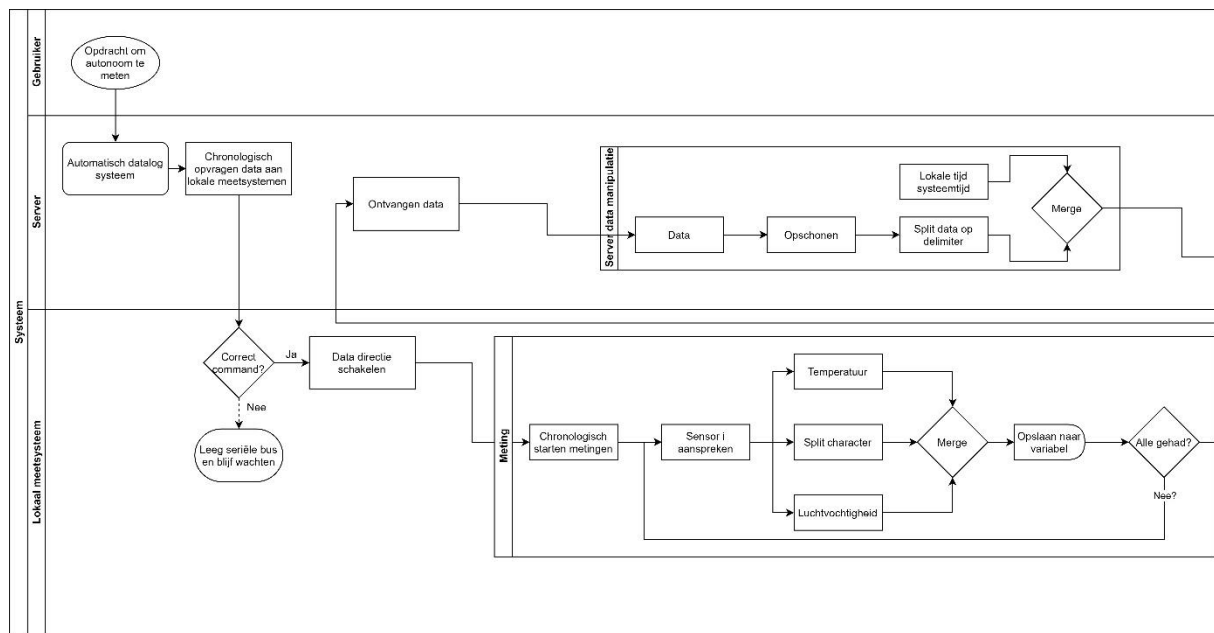
```
if (Serial.available() > 0) //listen for serialcommand
{
    command = Serial.read();

    if (command == designatorNodeChar)
    {
        data = true;
    }
    command = 'z';
}

if (data == true)
{
    sendData();
    data = false;
}

delay(5);
}
```

Swimlane diagram system

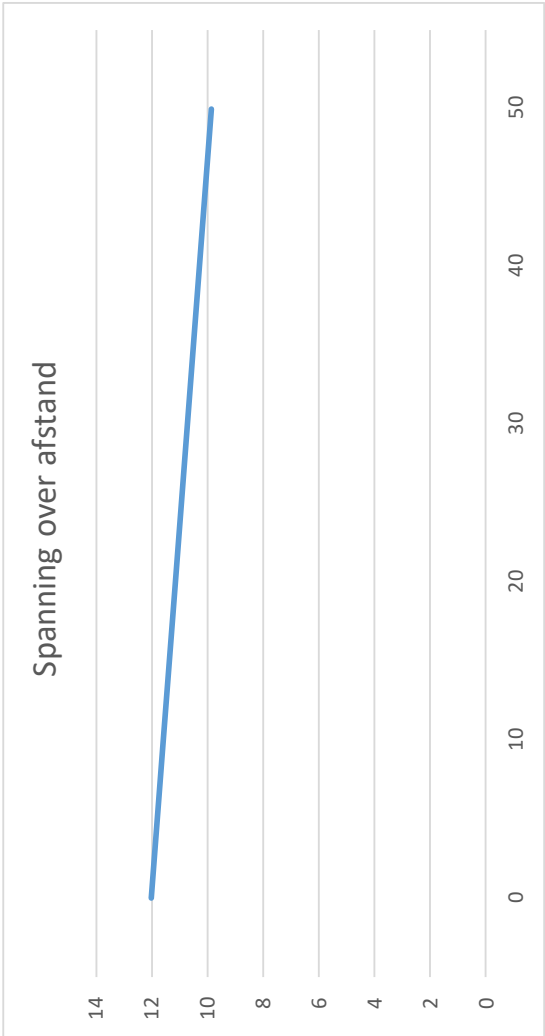


Spanningsverlies calculator

Spanningsverval in kabel

Diameter kabel (mm)	0.5106
Diameter (meter)	0.0005106
Radius (meter)	0.0002553
Oppervlakte	4.09526E-07
Aantal geleiders	2
Lengte 0	0
Lengte 10	10
	20
	30
	40
Lengte 50	50
ρ	1.75E-08
Stroom (A)	0.5

Weerstand $R = \rho \cdot l / a$	0	0.854647	1.709293	2.56394	3.418586	4.273233
Spanningsverlies	0	0.427323	0.854647	1.28197	1.709293	2.136616
Spanning	12	11.57268	11.14535	10.71803	10.29071	9.863384



Keuzematrix communicatieprotocollen

Keuzematrix communicatie server - meetsysteem bedraad

	Protocol:	USB	RS232	RS485	I2C	SPI	Ethernet/IP
Eigenschappen:	Essentie:	Universal Serial Bus	RS232	RS485	IIC	Serial Peripheral Interface	Ethernet/Internet
Interface	-	Serieël	Serieël	Serieël	Serieël	Serieël	Serieël
Aansluiting	0	4 aderig, 2 data	3 aderig, 2 data (half Duplex)	2 aderig (half Duplex)	2 aderig	4 aderig	8 aderig, 4 data
Type	-	Asynchroon	Asynchroon	Asynchroon	Synchroon	Synchroon	Asynchroon
Afstand (meters)	+++		5 150 (9600 baudrate)		1200 10 (9600 baudrate)		3
Data rate (bij maximale lengte)	+	480Mbit	9,6Kbit	100Kbit	9,6Kbit	10Mbit	1Gbit
Complexiteit		+		0 +		0 -	--
Adressering	++	Software	Software	Software	Hardware	Hardware	Software
Voordelen		Veel gebruikt	Maximale afstand	Maximale afstand	Meerdere masters	Snelheid	Veel gebruikt
		Connectoren zijn gestandaardiseerd					Connectoren zijn gestandaardiseerd
		Snelheid		Snelheid over afstand	Flow control		Snelheid
				Simpliciteit van bekabeling			
Nadelen		Maximale afstand	Vaste data rate	Vaste data rate	Maximale afstand	CS lijn nodig	8 aderig
						Maximale afstand	

Template Testplan volgens IEEE 829

TESTPLAN TEMPLATE IEEE 829

1. Identificatienummer

2. Introductie

Dit testplan is opgesteld om een deel van, dan wel het gehele, systeem te testen onder vooraf beschreven omstandigheden. Uitkomsten uit deze test kan doorslaggevend zijn in verder verloop van het ontwerp.

3. Wat wordt er getest?

In deze test zal er getest worden op de volgende punten:

-

4. Onderdelen die getest worden

In deze test zal er getest worden op de volgende punten:

-

5. Onderdelen die niet getest worden

In deze test worden de volgende punten niet meegenomen:

-

6. Aanpak

7. Slagen/Falen criteria

-

8. Test pauzeren en voortzetting criteria

-

9. Opleveringen

Bij dit testplan zal een testlog worden bijgeleverd. Hierin staan de bevindingen van de test. Naast een testlog zal er een samenvatting van de bevindingen worden bijgeleverd.

10. Taken

Alle taken worden volbracht door de ontwerper van het systeem. Om kwaliteit te garanderen worden opzetten en uitkomsten gepubliceerd.

11. Omgevingseisen

12. Verantwoordingen

Alle verantwoording ligt bij de ontwerper van het systeem.

13. Benodigde training

14. Planning

15. Risico's en onvoorziene gebeurtenissen

16. Goedkeuring

Goedkeuring vindt plaats wanneer de eisen zijn behaald. Dit wordt empirisch plaats waardoor zowel de tester als de ontwerper goedkeuring kunnen geven.