

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

TNO-rapport

TNO 2021 R10677

TKI Smart Doors - Openbare rapportage

| | |
|-----------------|--|
| Datum | 14 april 2021 |
| Auteur(s) | Jan de Jong, Charlotte Lelieveld, Eric Cornelissen |
| Aantal pagina's | 59 (incl. bijlagen) |
| Aantal bijlagen | |
| Opdrachtgever | |
| Projectnaam | TKI Smart Doors |
| Projectnummer | TEUE116183 |

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Gegevens project..... | 3 |
| 2 | Inhoudelijk eindrapport..... | 4 |
| 2.1 | Samenvatting..... | 4 |
| 2.2 | Inleiding | 4 |
| 2.3 | Doelstelling | 6 |
| 2.4 | Werkwijze | 6 |
| 2.5 | Resultaten..... | 7 |
| 2.6 | Discussie, conclusie en aanbevelingen..... | 41 |
| 3 | Ondertekening | 44 |
| 4 | Bijlage | 45 |
| 4.1 | Varianten van het systeemproces | 45 |
| 4.2 | Marktanalyse Smart Door | 49 |
| 4.3 | PV specificaties | 52 |
| 4.4 | PV/ energieopslag | 54 |
| 4.5 | Wind- en waterdichtheid testen (werkpakket 10) | 57 |

1 Gegevens project

- Projectnummer: TEUE116183
- Projecttitel: Smart Doors
- Penvoerder en medeaanvragers: **TNO**, Weekamp Deuren B.V., Heycop systemen B.V., Deventer Profielen B.V.
- Projectperiode: 1 juni 2017 t/m 30 november 2020

Dit project is uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

2 Inhoudelijk eindrapport

2.1 Samenvatting

In de woningbouw is op energetisch gebied de schil ver ontwikkeld. Door de beperkte luchtdichtheid (ventilatieverliezen) en beperkte warmteweerstand (transmissieverliezen) is de voordeur energetisch een zwak onderdeel van het huis. In dit project is de deur geoptimaliseerd op energetisch niveau, daarnaast is een stap verder gezet door het toevoegen van slimme functionaliteiten.

Er is een Smart Door prototype ontwikkeld en getest van een voordeur met nagenoeg geen ventilatieverliezen (optimale kierdichting), contactloze vergrendeling (hoge inbraakwerendheid), hoge isolatiewaarde, energielevering en geautomatiseerde comfortfunctionaliteiten. De voordeur is draadloos te ontgrendelen en te openen door middel van een applicatie op de mobiele telefoon. In deze applicatie is de aansturing van de deur te regelen en bestaat de mogelijkheid te communiceren met de bezoeker.

In de Smart Door is een PV (fotovoltaïsch) paneel geïntegreerd waarbij de opgewerkte energie wordt opgeslagen in een accupakket en gebruikt voor aanvullende functionaliteiten zoals automatische vergrendeling, deurdranger en controlemechanisme. Uit de praktijkproeven kwam naar voren dat de capaciteit van het accupakket niet toereikend is voor het realiseren van 50 openingen per dag met de huidige afgestemde functionaliteiten. De veelheid aan extra functionaliteiten, de hoge energiebehoefte van de dranger in combinatie met een verzwaarde deur maken het gebruik van de deur als standalone product (losgekoppeld van het energienet) niet mogelijk. Voor toekomstige succesvolle markttoepassing zou er gekeken moeten worden naar de belangrijkste functionaliteiten, zoals het op afstand controleren van toegang of een koppeling met het elektriciteitsnet, waardoor er geen restricties zijn met het accupakket en als gevolg daarvan verzwakking van de deurconstructie.

Door de verzwarening van de deur en verdiepte ligging in het kozijn is er een energetisch hoogwaardige deur ontstaan, welke toepasbaar is voor de markt. De vergrendeling heeft een hoge inbraakwerendheid. Daarnaast is een beveiligde draadloze aansturing gerealiseerd via een mobiele applicatie, waardoor de deur aangestuurd kan worden.

2.2 Inleiding

In de woningbouw is op energetisch gebied de schil ver ontwikkeld. Door de beperkte luchtdichtheid (ventilatieverliezen) en beperkte warmteweerstand (transmissieverliezen) is de voordeur energetisch een zwak onderdeel van het huis. De deur wordt bij energetische verbeteringen vaak vervangen. In dit project is de energetische optimalisatie van de voordeur gerealiseerd.

De ontwikkeling van elektrische componenten en producten volgen elkaar in hoog tempo op. Dit biedt mogelijkheden voor de integratie van slimme technologieën in de voordeur. De toevoeging van elektrische componenten verhoogt de energievraag, terwijl er een grote druk ligt op energiebesparing. Daarbij worden de

PV-technologieën steeds verder ontwikkeld naar hogere opbrengst en flexibele en transparante PV-elementen. Dit biedt mogelijkheden voor integratie van PV-panelen in de deur om zo de slimme technologieën van energie te voorzien. Van energetisch zwakste schakel naar energieleverend.

Door integratie van PV-panelen in de voordeur van een woning wordt op een innovatieve manier een bijdrage geleverd aan de opschaling van zonne-energie in Nederland. Het is hierbij wel belangrijk om de oriëntatie van de deur in het oog te houden.

De partners in dit TKI-project hebben gezamenlijk een TNO MKB Technologiecluster uitgevoerd; in dit project kwam de innovatiekansen naar voren om gezamenlijk een energieleverende comfortdeur te ontwikkelen. Deze innovatiekansen heeft geleid tot project "Smart Doors", waarin het Smart Door concept verder is uitgewerkt.

Het Smart Door concept bestaat uit de volgende aspecten:

- Optimale kierdichting.
- Aanvullende functionaliteiten, zoals camera, automatische deurdranger, controle via mobiele telefoon.
- Energieleverend vermogen voor aanvullende functionaliteiten.
- Contactloos ontgrendelen.

Optimale kierdichting

Te vervangen voordeuren hebben veelal geen tot beperkte kierdichting. Bij nieuwe deuren is er na enkele jaren nog steeds een beperkte kierdichting doordat de onderzijde niet voorzien is van kierdichting (voordeuren zijn in Nederland naar binnen draaiend). Door kromtrekken en niet goed aansluiten van de sluiting kunnen rubberprofielen slecht aansluiten. Door de kierdichting om de volledige deur toe te passen is het mogelijk het luchtverlies tot het uiterste te minimaliseren. Hiervoor is samenwerking in het project met projectpartner Deventer Profielen cruciaal.

Aanvullende functionaliteiten

De voordeur krijgt aanvullende functionaliteiten ten opzichte van de traditionele deur. Deze functionaliteiten zijn erop gericht om de meerwaarde te realiseren van verhoogde veiligheid, gecontroleerde toegang van bijvoorbeeld (zorg)bezoek en langer thuis wonen voor ouderen. Door deze te integreren, ontstaat een high-end voordeur met een groot aantal opties.

Om dit te bereiken, worden functionaliteiten zoals een camera en een automatische deurdranger geïntegreerd. Samen met de functionaliteit van het openen van de deur door middel van een mobiele telefoon ontstaat de mogelijkheid tot het langer thuis wonen van zorgbehoeftigen.

Energieleverend vermogen

In dit project focussen we op de realisatie van energieopwekking en -opslag op de locatie waar deze ook gebruikt wordt. Dit betekent dat er geen energie vanuit het net zal worden gebruikt voor activatie van de aanvullende functionaliteiten. Het doel is om een standalone product te realiseren.

In dit project worden de verschillende PV-technologieën geanalyseerd voor de toepassing op de Smart Door. Flexibele, dunne folies kunnen op maat worden gemaakt. Als prominent voordeel presteren zij over het algemeen beter onder diffuus zonlicht, wat bij verticale posities en bij voordeuren met luifels vaak het geval is. Daarnaast zijn er ook veelbelovende ontwikkelingen in de transparante PV-panelen.

Contactloos ontgrendelen

Het optimaliseren van de veiligheid van de deur wordt gerealiseerd door een slotloze deurvergrendeling. Dit betekent dat er geen slot in de deur zit om de deur te ontsluiten. De deur wordt elektrisch vergrendeld en ontgrendeld, waarbij de deur geopend en gesloten zal worden met een dranger. Daarbij wordt geen gebruik gemaakt van een sleutel. Binnen dit project is de software ontwikkeld voor de ontgrendeling van de deur. Deze wordt aangestuurd door een applicatie die ontwikkeld is voor een mobiele telefoon. Samen met een geïntegreerde driepuntssluiting wordt hierdoor de veiligheid van de deur verhoogd.

2.3 Doelstelling

De doelstelling van het project is om een prototype te ontwikkelen van een voordeur met nagenoeg geen ventilatieverliezen, hoge isolatiewaarde, energielevering en geautomatiseerde comfort functionaliteiten.

2.4 Werkwijze

Allereerst is begonnen met het opstellen van de gevraagde specificaties van de deur. Gestart is met een analyse en beschrijving van het ontwerpprobleem, waarna het Programma van Eisen is opgesteld voor de Smart Door (Werkpakket 1). Door verschillende scenario's te doorlopen is de functionaliteit van de deur vastgelegd. Hierna is een businesscase uitgewerkt om het toepassingsgebied inzichtelijk te maken. Hiervoor is een marktscan uitgevoerd om inzichtelijk te maken hoe groot het marktpotentieel is (Werkpakket 1).

De specificaties en eisen zijn uitgewerkt in een deurontwerp (Werkpakket 2). Hierna zijn de functionaliteiten geanalyseerd en is er een keuze gemaakt voor de verschillende componenten: Dunne film zonnecellen, accupakket (Werkpakket 3), Luchtdichting (Werkpakket 4), Vergrendeling (Werkpakket 5). Hierna is met de partners besloten (Werkpakket 6) om het concept uit te werken in technisch detail en productietekeningen (Werkpakket 7). De beveiliging van de deur is in dit werkpakket ook verder uitgewerkt.

Hierna is een tweede Go/No go beslissing genomen. De partners hebben op basis van de uitgewerkte engineering bepaald dat deze leidt tot een positieve businesscase voor de partijen en eindgebruiker (Werkpakket 8).

Op basis van de productietekeningen is door Weekamp deuren en Heycop één proefmodel gebouwd (Werkpakket 9). Na evaluatie van de eerste realisatie zijn aanpassingen gedaan door het multidisciplinaire engineering team. Hierna zijn nog 4 deuren gemaakt die gebruikt worden voor experimenten en als showcase voor consumenten in de showroom van Weekamp. Er zijn verschillende

testprogramma's uitgevoerd op wind- en waterdichtheid, elektrisch vermogen en prestatie door Weekamp, Heycop en TNO (Werkpakket 10).

Als laatste stap is de deur getest in een pilot bij Heycop in een gecontroleerde omgeving. Hierbij is in samenwerking met de partners een programma samengesteld om de functionaliteit van de deur te testen. Daarnaast is de prestatie van de PV-cellen in deze omgeving getest. De inpassing van de deur in het kozijn en de digitale aansturing zijn hierbij getoetst.

Voor de ontwikkeling van de Smart Door komen verschillende disciplines samen; van applicatieontwikkeling, elektrische aansturing en kierafdichting tot deurfabricage. Samenwerking en afstemming is daarom cruciaal geweest voor de ontwikkeling van de Smart Door. Dit gebeurde door de vorming van technische werkgroepen en een stuurgroep. De werkgroepen bestonden uit verschillende technische experts, die door middel van werksessies en samenwerking de verschillende kennisgebieden integreerden en technische oplossingen analyseerden en uitwerkten. Daarnaast behandelde de stuurgroep strategische keuzes, integratie en planning van het project. De stuurgroep bepaalde continu de richting van het project en nam beslissingen over de volgende stap door middel van Go/No Go momenten. (Werkpakket 12).

2.5 Resultaten

Hieronder worden de resultaten per werkpakket besproken.

2.5.1 *Werkpakket 1: Opstellen specificaties*

Dit deel bestaat uit 4 onderdelen:

- Programma van eisen;
- Use cases;
- Businesscase;
- Marktanalyse.

Programma van eisen

Om na te gaan aan welke eisen een deur moet voldoen, is in deze fase een opzet gemaakt voor een programma van eisen. Dit zijn zowel functionele eisen (bijvoorbeeld uit het Bouwbesluit) als gebruikerseisen die niet in normen en regels zijn vastgelegd.

Allereerst is een MoSCoW analyse gemaakt:

Must have:

- Passend in bestaand renovatie-kozijn met minimale aanpassingen.
- Dikke deur voor maximale energetische prestatie.
- Valdorpel rondom t.b.v. kierdichting, voor scharnieren en sloten geplaatst.
- Alternatieve openingsmethode.
- Deur is handsfree te openen.
- Energieopwekking & -opslag voor minimaal 50 openingsbewegingen per dag.
- Functionaliteiten geïntegreerd in de deur.
- Communicatie vanuit luie stoel door middel van beeld & microfoon.
- Toegang van afstand te regelen.

Should have:

- Scharnieren uit zicht.
- Driepuntssluiting, meerdere sloten synchroon (mechanisch of softwarematig).

Could have:

- Slot heeft één schoot¹ (met dag- en nachtschootfunctie geïntegreerd).
- Brandwerendheid 120 minuten.

Won't have:

- Pakket-loket voor bezorger goederen.

Dit heeft geleid tot een eerste opsomming van de functionele eisen:

| Gewenst resultaat | Prestatie-indicator | Prestatie-eis |
|--|--|--|
| Het geveldeel is winddicht | Maximale luchtvolumestroom. | 6,0 m ³ /h m ² |
| | Maximale luchtvolumestroom door plaatselijke luchtlekken. | 0,1 m ³ /h per m ¹ |
| Het geveldeel is waterdicht | Maximale waterdoor- dringing na 60 s bij een bepaalde toetsingsdruk. | 600 Pa |
| De deur is thermisch isolerend | Maximale warmtedoorgang profielen/glas/panelen (U-waarde in W/m ² K). | 0,8 W/(m ² K) |
| Het geveldeel weert geluid | Minimale geluidwering lucht. | 25 dB |
| Het geveldeel is inbraakwerend | Minimale inbraak- werendheid [weerstandsklasse]. | Klasse 2 |
| De deur is brandwerend | Minimale brandwerendheid. | 120 min. |
| Het geveldeel is bestand tegen binnendringen van ratten en muizen | Maximale breedte van openingen in een uitwendige scheidingsconstructie. | 0,01 m ¹ |
| De deur biedt automatisch toegang en ontsluiting aan mensen en goederen ² | Minimale vrije breedte van de doorgang. | 0,65 – 0,90 m ¹ |
| | Maximale drempelhoogte. | 0,02 m ¹ |
| | Minimale vrije hoogte. | 2,30 m ¹ |
| | Maximale bedieningsweerstand van een deur. | 100 N of 10 Nm |

¹ Schoot zijn de delen van het slot waarmee de deur vergrendeld wordt: Dagschoot is het onderdeel dat beweegt als de kruk bewogen wordt. Nachtschoot is het "nachtslot"-gedeelte dat de deur vergrendelt.

² Na instelling van toegangverlening door de eigenaar via de applicatie.

| | | |
|------------------------|---|--|
| | Lichttoetredingsfactor van beglazing ³ | 0,5 – 0,9 LTA |
| | Minimale equivalente daglichtoppervlakte. | 0,05 m ² |
| | Minimale kijkhoek. | 60° |
| De deur levert energie | Minimale energieopwekking. | O-W 80 kWh/jaar Z 123 kWh/jaar Z-50% 70 kWh/jaar |

Scenario's

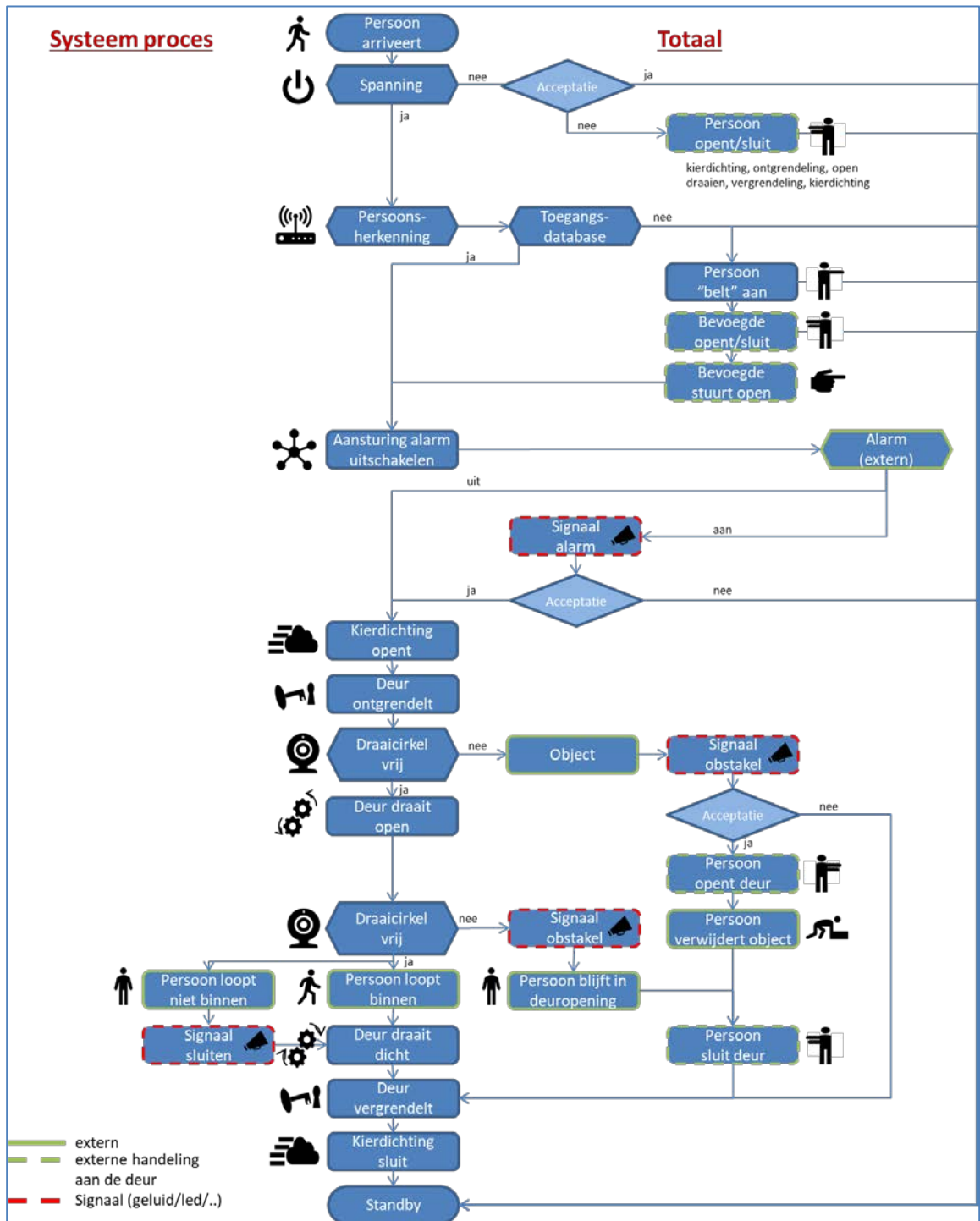
Gezamenlijk met alle partners zijn scenario's geschetst voor het gebruik van de deur. Deze scenario's geven aan welke situaties kunnen optreden bij verschillend gedrag of defecten van het Smart Door systeem. De scenario's zijn uitgewerkt in een systeemproces. In een systeemproces worden alle stappen gedetailleerd in beeld gebracht. Daarnaast worden de verschillende gewenste reacties van het systeem van de Smart Door in beeld gebracht. In Figuur 1 is het systeemproces van de Smart Door in beeld gebracht door middel van activiteitenlijnen die aangeven hoe er ingegrepen kan worden door het systeem. In de bijlage is per onderdeel en scenario een stappenplan uitgewerkt om later de deur te kunnen toetsen op alle mogelijke omstandigheden (zie bijlage 4.1). Het systeemproces is gebruikt om de software voor de aansturing te ontwikkelen.

Het systeemproces verloopt als volgt voor een particuliere woningeigenaar: Particulier woningbezitter komt thuis met de handen vol met boodschappen. De deur herkent de persoon 2 à 3 meter voor de persoon voor de deur aankomt, schakelt het alarm uit (stap 1), schakelt de kierdichting uit (stap 2) en opent automatisch de Smart Door (stap 3). De persoon loopt de woning binnen en de deur sluit automatisch (stap 4) waarna het slot vergrendelt (stap 5).

Hierbij kunnen de volgende afwijkende scenario's optreden:

- Particulier woningbezitter komt thuis, wordt herkend (Stap 1-3 worden uitgevoerd), één of meerdere personen volgen, signaal wordt gegeven, deur sluit automatisch (stap 4) en slot vergrendelt (stap 5).
- Particulier woningbezitter komt thuis, wordt herkend, stap 1 (uitschakelen alarm) weigert, signaal wordt afgegeven, persoon accepteert opening via applicatie, stap 2-5 worden uitgevoerd.
- Particulier woningbezitter komt thuis, wordt herkend, ruimte achter de deur is niet obstakelvrij, stap 1-2 worden uitgevoerd, slot ontgrendelt automatisch, signaal wordt afgegeven, persoon duwt voorzichtig deur open, stap 4-5.
- Particulier woningbezitter komt thuis, wordt herkend, stap 1-3 uitgevoerd. De persoon loopt niet de woning binnen. Signaal wordt gegeven, stap 4-5.
- Bevoegd persoon zonder activator komt aan huis. De persoon identificeert zich bij camera, stap 1-5 wordt uitgevoerd.
- Onbevoegd persoon zonder activator komt aan huis. De persoon meldt zich bij woningbezitter, waarna bij akkoord door bewoner via de applicatie stap 1-5 optreden; zo niet, dan betekent dit een weigering van de toegang.

³ LTA: de verhouding tussen binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling bij een rechte hoek: hoge LTA betekent veel lichttoetreding.



Figuur 1 Systeemproces van de Smart Door.

Businesscase

In de huidige uitvoering zal de Smart Door vooral als luxeartikel voor woningeigenaren gezien moeten worden. Bij verdere opschaling en ervaring kan de prijs aangepast worden voor een bredere toepassing.

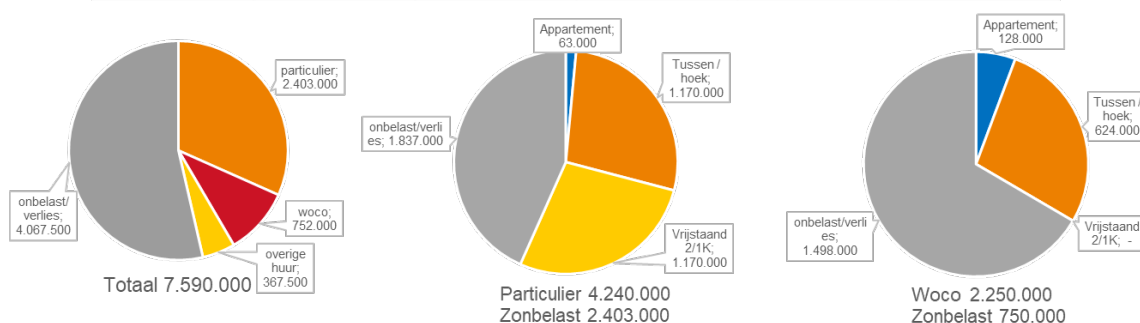
Marktanalyse voordeuren in Nederland

Om inzicht te krijgen in het marktsegment van de deur is in kaart gebracht hoeveel voordeuren in Nederland voorkomen, in welk segment deze zich bevinden en om

welke typologie het gaat (Figuur 2). In totaal zijn er ca 7,5 miljoen woningen in Nederland. In onderstaande grafiek is aangegeven of deze deuren zonbelast zijn. De oriëntatie en zonbelasting is van belang voor de opbrengst van de PV in de deur. Locaties die niet licht- of zonbelast worden (bijvoorbeeld in appartementencomplexen) komen niet in aanmerking voor plaatsing van een Smart Door.

Markten (per doelgroep, woningtype en oriëntatie)

| | Totaal | Appartement (10%) | GGB (65%) | Tussen / hoek | Vrijstaand 2/1K |
|--------------|-----------|----------------------|--------------|---------------|--------------------|
| Totaal | 3.522.500 | 253.000 | 3.269.500 | 1.946.750 | 1.322.750 |
| particulier | 2.403.000 | 63.000 | 2.340.000 | 1.170.000 | 1.170.000 |
| woco | 752.000 | 128.000 | 624.000 | 624.000 | - |
| overige huur | 367.500 | 62.000 | 305.500 | 152.750 | 152.750 |



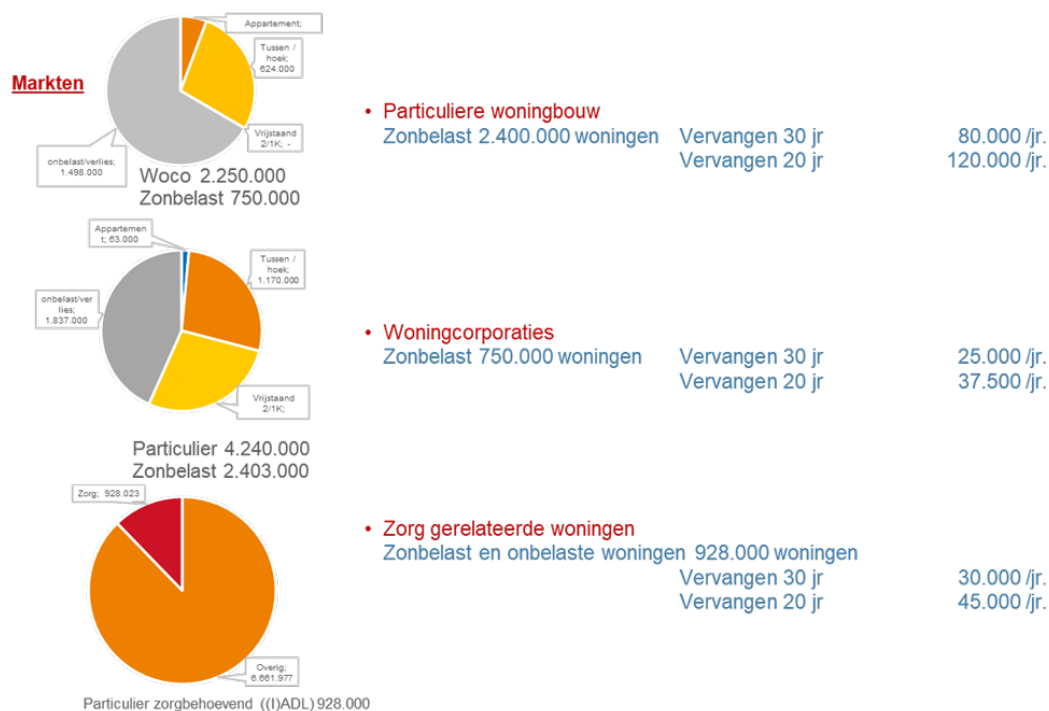
Figuur 2 Overzicht voordeuren Nederland zonbelast ⁴ ⁵.

De gemiddelde levensduur van een voordeur is 20/30 jaar. In Figuur 3 is aangegeven hoeveel deuren in de particuliere markt, woningcorporaties en zorg zonbelast zijn. Daarnaast is een overzicht gegeven hoeveel deuren per jaar vervangen kunnen worden aan het eind van hun levensduur van 20 of 30 jaar. Voordeuren die achter een portiek of in een afgesloten galerij liggen, zijn niet meegenomen in de aantallen.

Dit vervangingsproces zou versneld kunnen worden, omdat op het ogenblik de gemiddelde voordeur (houtdikte 38 mm) de zwakste schakel is in de energiehuishouding van een woning. In bijlage 4.2 is een overzicht gegeven van de gebruikte gegevens voor de marktanalyse.

⁴ [StatLine - Voorraad woningen; eigendom, type verhuurder, bewoning, regio \(cbs.nl\)](#)

⁵ [Vier op de tien huishoudens wonen in een rijtjeshuis \(cbs.nl\)](#)



Figuur 3 Vervangingsoverzicht voordeuren met zonbelaste oriëntatie⁶.

Vervanging aan het einde van de levensduur van 20 of 30 jaar leidt ertoe dat per jaar tussen de 130.000 tot 200.000 deuren in aanmerking komen om als Smart Door vervangen te worden. Daarnaast zou deze deur ook als nieuwbouwdeur kunnen worden toegepast. Deze hebben we nu niet meegenomen in de analyse, omdat de focus binnen dit project op renovatie ligt.

2.5.2 Werkpakket 2: Ontwikkeling deurconcept

De deur is geoptimaliseerd om energieverliezen tegen te gaan. De deur heeft nu een dikte van 84 mm (zie Figuur 4). Daarnaast is de waterdichting aangepast. In de deur is een los rubberprofiel geplaatst die ervoor zorgt dat de achterliggende constructie niet nat kan worden.

⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2015/18/bependingen-in-dagelijkse-handelingen-bij-ouderen>

| Dikte deur | U_p (paneel /deur) | U_d (deur incl. kozijn) |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 68 mm deur | $U_p = 0,91 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U_d = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 74 mm deur | $U_p = 0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U_d = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 84 mm deur | $U_p = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U_d = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ |

Figuur 4 Overzicht deurmaten Weekamp met bijhorende U-waarde. U_p = U-waarde deur; U_d = U-waarde deur inclusief standaard 67*114 kozijn. (Bron: Weekamp Deuren)

Communicatie en veiligheid van de softwareaansturing

Er is veel in de media te doen geweest over de veiligheid van slimme deurbellen en camera's. Hierin kwamen de opslag van data, privacyaspecten en de mogelijkheid tot hacken naar voren. Het is daarom van belang om een goed beveiligd systeem te ontwikkelen voor de opslag van de data en toegankelijkheid van de software. Om de dataveiligheid te waarborgen, is een schema ontwikkeld dat dusdanig is opgebouwd dat het niet mogelijk is om de locatie van de deur en de eigenaar aan elkaar te verbinden. De deur kan hierdoor nooit geopend worden zonder toestemming en medeweten van de eigenaar. Bij de leverancier (Weekamp) wordt opgeslagen welke deur waar geleverd is, zonder dat bekend is welke code het slot heeft. Bij de softwarebegeleider (Heycop) wordt deze code gebruikt voor de ontwikkeling van de applicatie, maar zij weten niet waar welke deur is geplaatst. Zolang deze kennis niet gecombineerd wordt, is er geen gevaar voor inbraken op afstand.

In onderstaande memo (Figuur 5) zijn de voorwaarden voor het beschermen van de privacy van de eigenaar van de deur beschreven.

De werkgroep heeft besloten om privacy en security op de volgende manier te waarborgen:

1. De leverancier van de deur kent het adres van de eigenaar van de deur maar niet de sleutels tot de software.
2. De leverancier van de software kent niet het adres van de deur, maar heeft direct toegang tot de sleutels van de software.
3. Alleen de eigenaar van de deur kan de link leggen tussen het adres en de sleutels van de software en zo het gebruik van de deur.

Y

Heycop Smart Innovation B.V.
 Archimedesbaan 12
 3439 ME Nieuwegein

Randvoorwaarden n.a.v. werkgroep 16-02-18

Naar aanleiding van de werkgroep veiligheid en privacy bij Heycop Smart Innovations 16 februari hebben is er meer inzicht in de digitale data stromen van de TKI smartdoor. Omtrent de veiligheid zijn de onderstaande randvoorwaarden geopperd:

- 1.1 Autorisatiegegevens worden alleen opgeslagen in de deur, nooit gedeeld.**
 Door de autorisatiegegevens te scheiden van communicatie wordt de digitale veiligheid significant verhoogt. Door deze scheiding is het niet mogelijk een "sleutel" toe te voegen vanaf een externe bron.

- 1.2 Autorisatie vindt alleen plaats bij de deur.**
 Omdat hierdoor een te autoriseren persoon (/telefoon) fysiek bij de deur moet zijn om aan de autorisatiegegevens toegevoegd te kunnen worden is er controle over de authenticiteit van de "sleutel". Na autorisatie kan op ieder moment de toegang door de eigenaar beperkt worden.

- 1.3 Persoonsgegevens worden gescheiden van besturingsgegevens.**
 Met betrekking tot de "Algemene verordening gegevensbescherming" die ingaat per 25 mei is er gekozen de persoonsgegevens te scheiden. Binnen deze verordening is het van belang, mocht je persoonsgegevens opslaan, dat je een goede verantwoording hebt deze op te slaan.

 Voor Heycop, met betrekking tot het onderhoud en de storingsmeldingen, is het niet te verantwoorden persoonsgegevens op te slaan.

 Voor Weekamp (in deze situatie tevens gezien als de partij voor onderhoud) is het van belang de persoonsgegevens te hebben om onderhoud te plegen aan de deur. Echter is het niet van belang de besturingsdata te hebben.

- 1.4 Communicatie "naar de deur" en "van de deur".**
 Binnen het onderwerp communicatie wordt er onderscheid gemaakt tussen "Communicatie naar de deur" en "Communicatie van de deur".

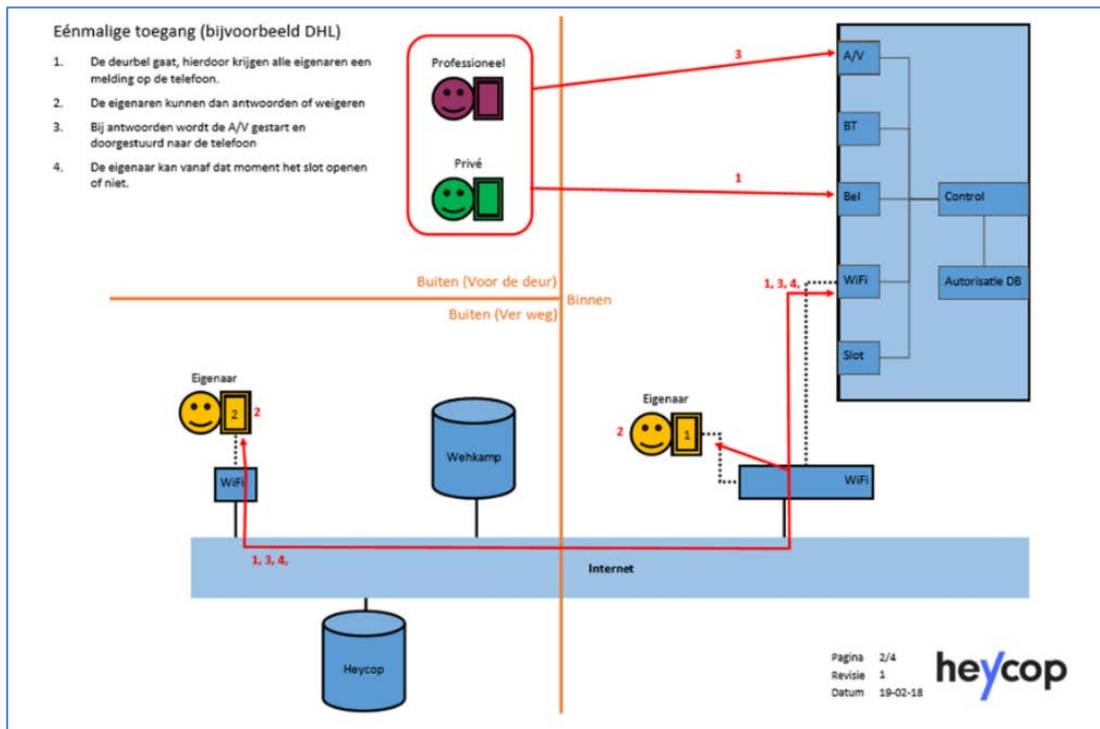
 Communicatie van de deur kent twee vormen:
 - De deur communiceert, per interval, statistische anonieme data door naar de Heycop server voor analyse ten behoeve van onderhoud en verbetertrajecten.
 - De deur communiceert met de eigenaar
 Communicatie naar de deur gaat alleen via de eigenaar. Andere partijen hebben niet de mogelijkheid naar de deur te bereiken.

 Daarnaast lijken alle scenario's op het gebied van veilig te herleiden te zijn naar vier situaties met veiligheid:
 1. Eenmalige toegang (bijvoorbeeld: Pakjesbezorger, Onderhoudsmonteur)
 2. Autorisatie (Familie, Tafeltje dekje, het schoonmaakbedrijf)
 3. Onderhoud
 4. Storing
 Deze vier scenario's zijn uitgewerkt tijdens de meeting.

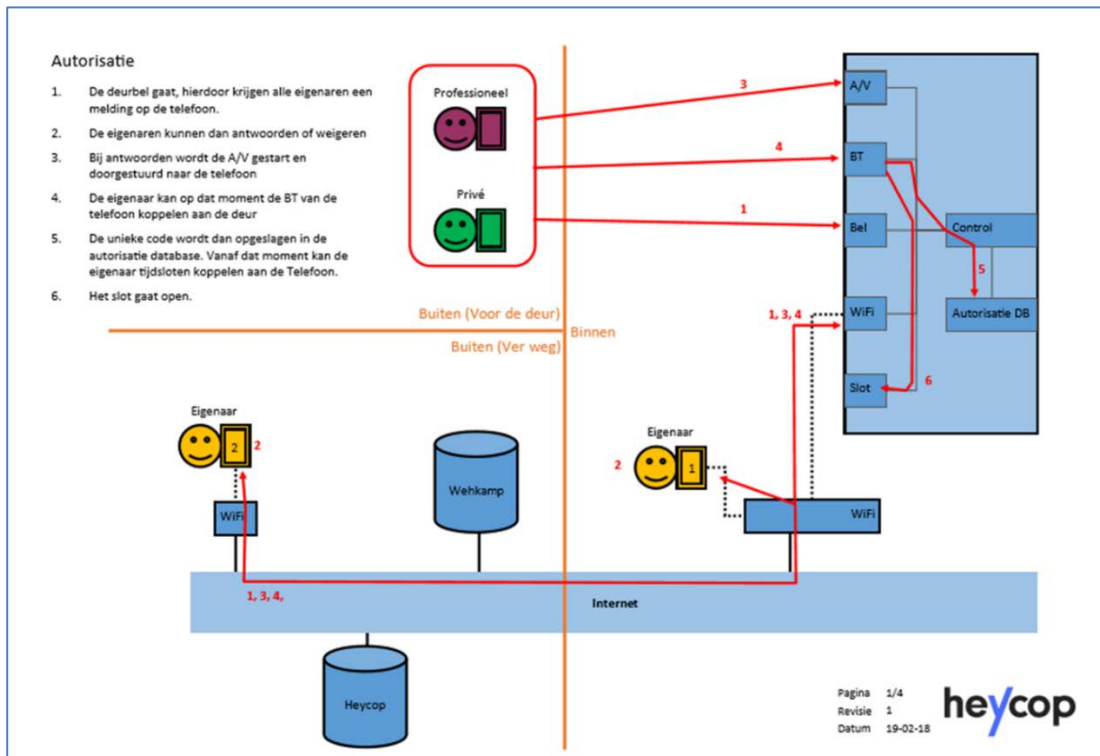
Figuur 5 Randvoorwaarden Smart Door veiligheid.

Aansturing deur

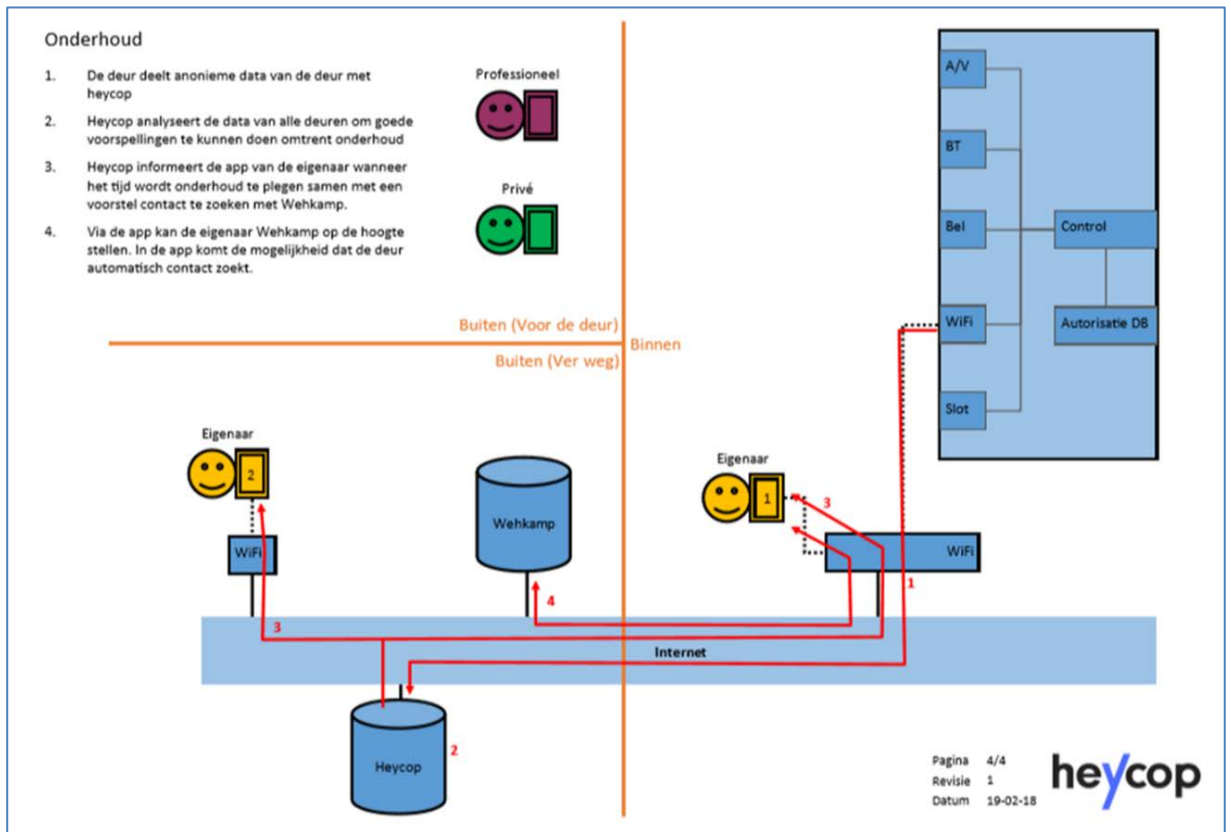
Voor de ontgrendeling en het verlenen van toegang zijn schema's opgesteld, die verder gebruikt zijn voor de ontwikkeling van de aansturingsoftware. In Figuur 6 tot en met Figuur 9 zijn deze schema's voor verschillende toegangsvarianten uitgewerkt.



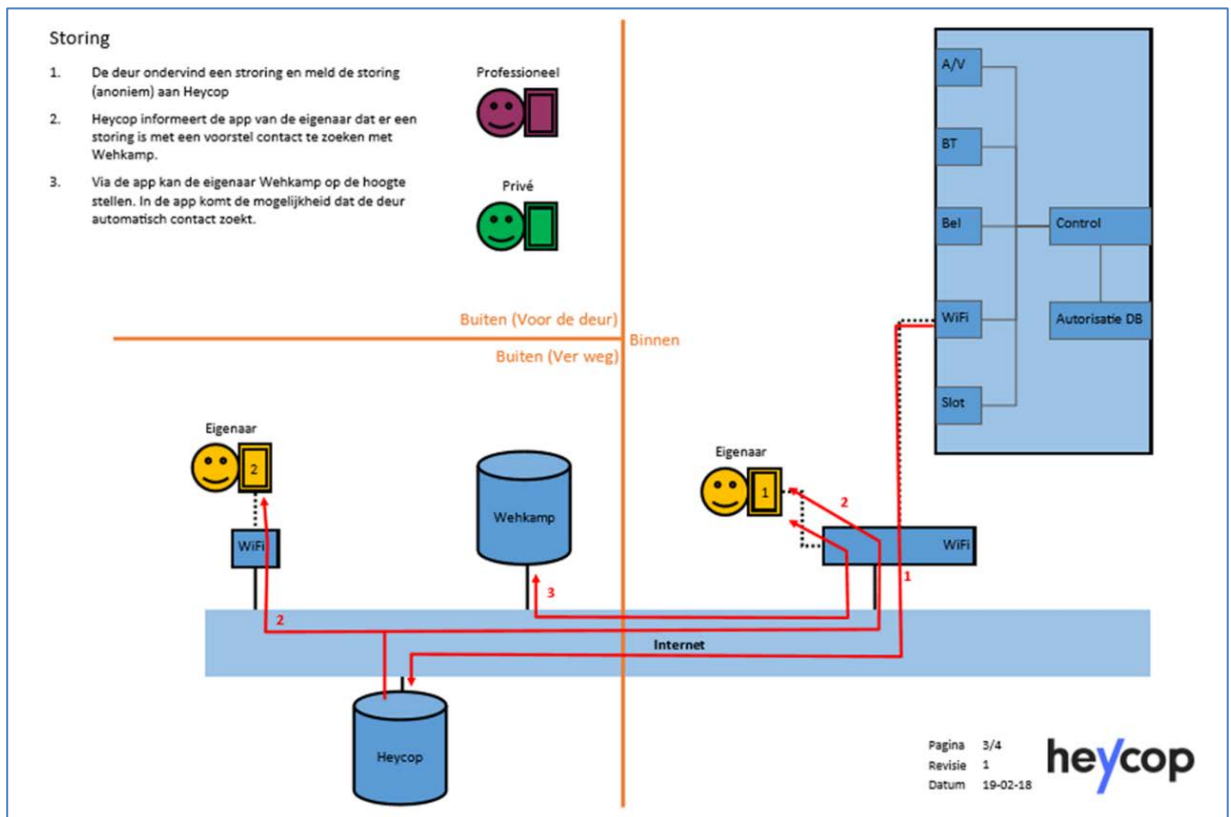
Figuur 6 Schematisch overzicht werking bij aflevering pakket.



Figuur 7 Schematisch overzicht autorisatie.



Figuur 8 Schematisch overzicht onderhoud.



Figuur 9 Schematisch overzicht storing.

2.5.3 *Werkpakket 3: Dunne film zonnecellen, accupakket*

De afdeling Solliance van TNO heeft in dit werkpakket geëvalueerd welk concept voor dunne film zonnecellen optimaal is op basis van het PvE. Hiertoe zijn de verschillende wereldwijd beschikbare dunne film PV-technologieën (a-Si, CIGS, CdTe, Perovskite) inclusief opties en incapsulatie en substraten en de verwachte ontwikkeling op dit gebied meegenomen.

De PV-panelen kunnen op twee manieren worden aangebracht:

1. PV verwerkt in het glas. Door op de buitenste ruit van dubbelglas een nieuwe ruit met geïntegreerd PV te verlijmen ontstaat een tripel-beglazing. Deze ruiten kunnen van tevoren worden ingekocht en geselecteerd aan de hand van de gekozen types en afmetingen.
2. PV-folie op de deur zelf. Dit kan door de deur te beplakken met de folie of de folie volledig te integreren in de deur. Ook kan een glasplaat worden aangebracht op de deur zelf (niet transparant).

Om een beter beeld te krijgen van welke deuren we het beste van PV kunnen voorzien, zijn er uit het assortiment van Weekamp een aantal deuren geselecteerd (Figuur 10 en Figuur 11).

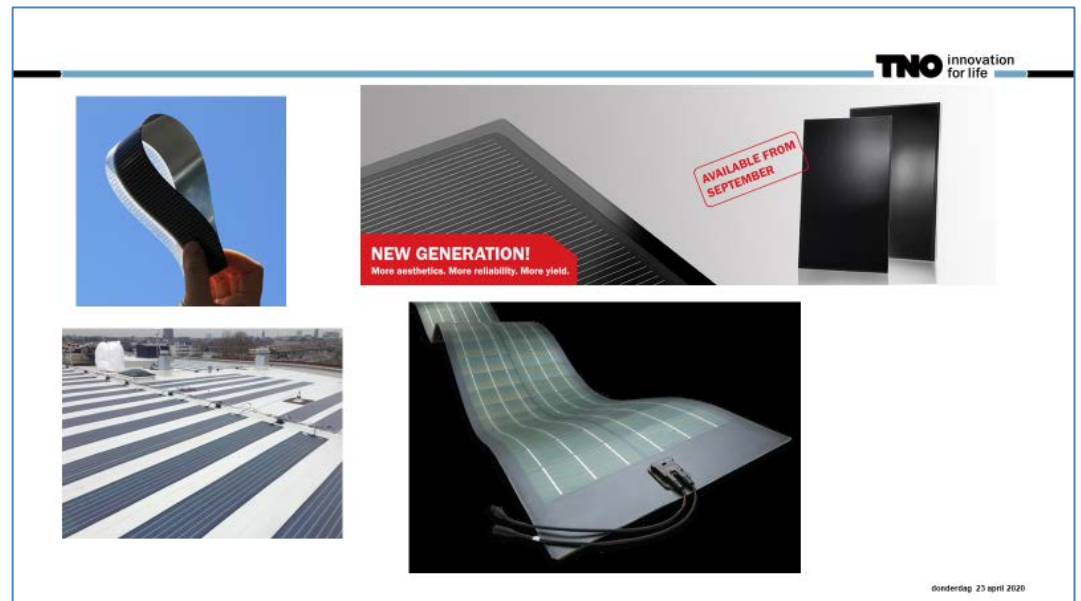


Figuur 10 PV in glas, zou ook kunnen als folie of paneel.

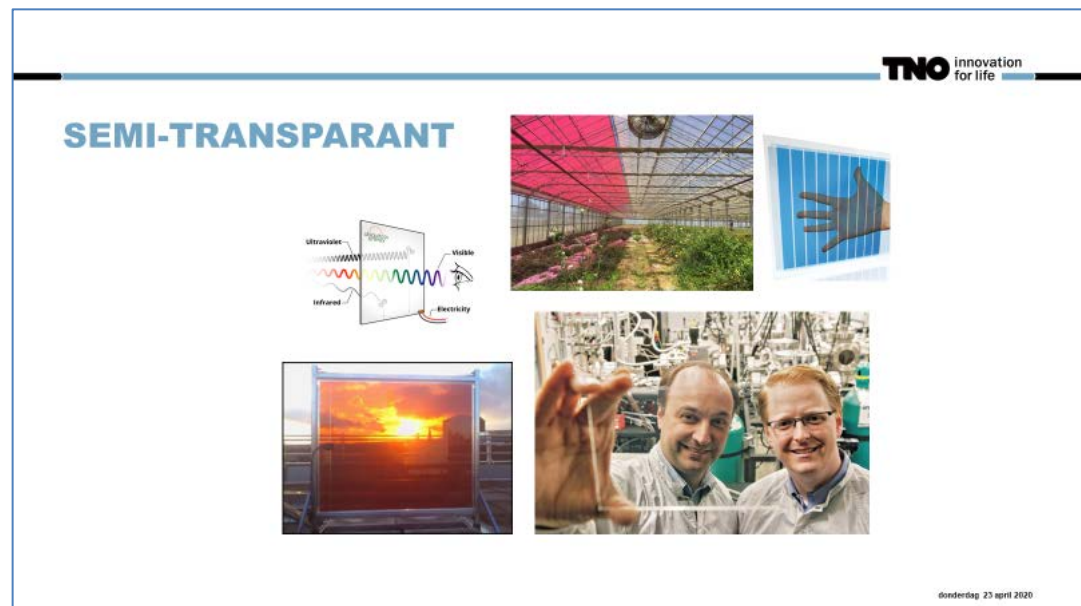


Figuur 11 PV in onder- of bovenpaneel als hardglas of als folie.

Eerst is in beeld gebracht wat de state-of-the-art is van de verschillende PV-technologieën (Figuur 12 en Figuur 13).



Figuur 12 Verschillende opties PV-folie.



Figuur 13 Verschillende opties semi-transparante PV-panelen.

Daarna is in beeld gebracht wat de energiebehoefte is van de verschillende geïntegreerde componenten. Dit komt neer op een totale dagelijkse energiebehoefte van 190 kJ, uitgaande van 50 openingen per dag. Hierbij is rekening gehouden met het tussendoor opladen van het accupakket door het PV-paneel.

Vervolgens is gekeken wat de opbrengst is van de verschillende PV-technologieën.

| Technologie | Efficiency [%] | Vermogen [Wp / m ²] | Jaaropbrengst [kWh / m ²] |
|-------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| c-Si | 20 | 200 | 160 |
| a-Si | 10 | 100 | 80 |
| CIGS | 15 | 150 | 120 |
| CdTe | 15 | 150 | 120 |
| OPV | 5 | 50 | 40 |

Figuur 14 Overzicht van verschillende PV-technologieën met opbrengst per jaar voor 0,7 m².

Omdat het plakken van een folie op de deur veel onderhoud zou kunnen vragen en gevoelig is voor beschadigingen, is gekozen voor een triple glaspaneel met daarin PV. Dit PV-paneel kan in de uitsparing van het glas van een standaard deur geplaatst worden (Figuur 10). Triple beglazing (3 lagen glas) met PV zijn op maat geleverd naar de specificatie van de opening in de deur en de plaats van de aansluiting van de PV op het accupakket. In bijlage 4.3 zijn de specificaties van het bestelde glas genoemd. In bijlage 4.4 is beschreven wat het effectieve opgewekte vermogen is bij verschillende oriëntaties van de Smart Door.

| Kompas | Hoek | Opbrengst jaarrond |
|------------------------------|--|-------------------------|
| Oriëntatie | T.o.v. horizontaal | Op basis klimaatfile NL |
| Noord | 90° | 16 kWh |
| Oost | 90° | 31 kWh |
| Zuid | 90° | 49 kWh |
| West | 90° | 33 kWh |
| Zuid | 35° | 72 kWh |
| In schaduw (jaarrond) | 90° | 8 kWh |
| First Solar FS-380 | CdTe | |
| | ca. 80 Wp | |
| | paneelafmeting 1,00 x 0,7 m | |
| | paneeloppervlak 0,7 m² | |

Figuur 15 Jaarlijkse opbrengst van de First Solar CdTe van 0,7m² voor verschillende oriëntaties, wanneer horizontaal geplaatst.



Figuur 16 Afbeelding transparant PV-paneel.

We hebben aangegeven dat er bij gebruik van 2 accu's altijd een extra accu voorradig is. De lege accu kan dan extern worden opgeladen in noodgevallen. Zowel de 2 accu's als de oplaadkabel worden in de deur ingebouwd. Het opladen van de accu's moet worden verzorgd via een laadregeling om overladen te voorkomen.

Er worden 2 accupakketten ingezet van ca. 20 mm dik – 65 mm hoog en 200 – 300 mm lang. De accupakketten zijn in twee losse kleinere sledes in de deur geïntegreerd.

KOK POWER High Discharge 3C 18650 Li ion Battery Cell 2600mah 3.7v Rechargeable Battery

US \$1.30-\$1.40 / Piece

1000 Pieces (Min. Order)

Nominal Voltage: 3.7V
Nominal Capacity: 2600mah
Type: Li-Ion
Size: 65.3*18.4
Model Number: KOK-18650-2600mAh
Place of Origin: Guangdong,China (Mainland)

6 Photos

Add to Compare [Similar Products](#)

Figuur 17 Specificaties batterij.

| | jaarsom | | | | | | | |
|----------|------------|-----|-------------------|---|--|--|--|--|
| | verhouding | | | | | | | |
| | kWh | Wh | m ² PV | 52,72 Wh/dag | | | | |
| N | 16 | 33 | 2,32 | 33 Wh/m ² /winterdag (Noord oriëntatie) | | | | |
| O | 31 | 64 | 1,20 | prestatieratio PV | | | | |
| Z | 49 | 101 | 0,76 | | | | | |
| W | 33 | 68 | 1,13 | 1,60 m ² PV nodig (Noord oriëntatie) op een gemiddelde w | | | | |
| | | | | 2 overbruggingsdagen accu | | | | |
| | | | | 0,5 accubenutting | | | | |
| | | | | 17,57 Ah - Q _{accu} | | | | |
| | | | | 6,76 aantal batterijen 2600 Ah in pack | | | | |

Figuur 18 Berekening van de benodigde batterijcapaciteit.

Een West/Zuidgeoriënteerde deur zou met 0,7 m² PV voldoende energie opwekken om te functioneren. Echter, de opbrengst zal verschillen per oriëntatie. Een veilige keuze zou zijn om de deur met een maximale PV-oppervlakte uit te voeren. Dit is echter prijstechnisch niet gunstig. Daarom wordt voor de markttoepassing gewerkt met twee deurvarianten, waarbij het PV-oppervlak voor oriëntaties van de voordeur op het noorden en oosten groter is dan voor oriëntaties op het zuiden en westen.

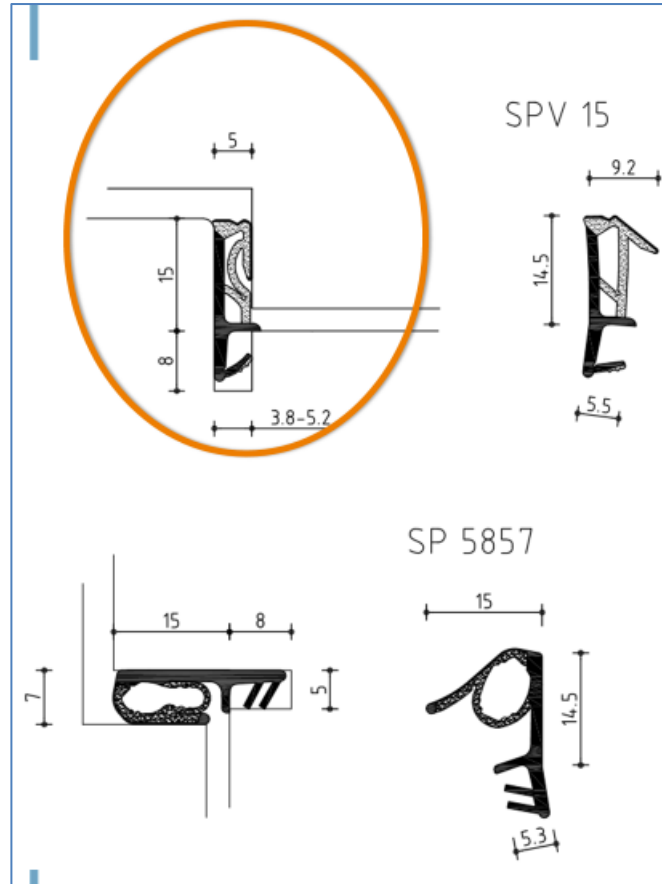
Deuren met een oriëntatie op het noorden die alleen licht belast zijn (dus geen direct zonlicht vangen) krijgen in principe te weinig energie, uitgaande van 50 keer openen en sluiten op een dag. Door de energiebehoefte van de processor aan te passen zou de opbrengst volgens de berekening voldoende moeten zijn op een donkere dag. Er is altijd de mogelijkheid van het gebruik van een reserveaccu die extern opgeladen dient te worden. Deze oplossing is alleen voor uitzonderlijke situaties.

De optie tot terug levering aan het net is geanalyseerd. Het doel van het project is een eenvoudige plaatsing van een Smart Door in de renovatiemarkt. Idealiter zal de deur eenvoudig geplaatst moeten kunnen worden met aanpassing van het huidige kozijn. Door de mogelijkheid van terug levering in het kozijn te integreren, moet er ook bekabeling naar de deur en de aansluiting in de meterkast gerealiseerd worden. Uiteraard is dit een ingrijpende aanpassing die extra expertise vereist, zoals een elektricien en stukadoor. Deze kosten komen bovenop de kosten van de deur. De huidige kostenberekening ligt al ver boven de marktprijs, daarom is gekozen voor een standalone product, een deur dat losgekoppeld is van het elektriciteitsnet, en is besloten deze optie niet verder uit te werken.

2.5.4 Werkpakket 4: Luchtdichting

Luchtdichting vindt traditioneel plaats door middel van rubberprofielen. Voor de Smart Door hebben we voor rondgaande rubbers gekozen, die in de deur zijn geïntegreerd. De aanslag in het kozijn is ter plaatse van de bovendorpel en stijlen in de sponning verwerkt. Ter plaatse van de onderdorpel is de aanslag tegen de voorkant van de aangebrachte neuslat. In principe staat de luchtdichting niet bloot aan weer en wind (water en zon), waardoor het rubber niet of nauwelijks verouderd.

Gekozen is voor een rondgaande dichting zoveel mogelijk aan de binnenzijde van de deur. Deze voldoet aan de gestelde isolatie-eisen (Figuur 19).



Figuur 19 Schematische tekening afdichtingsrubber (Deventer profielen).

2.5.5 Werkpakket 5: Vergrendeling

Er is gezocht naar bestaande sloten die elektrisch aangestuurd kunnen worden en optimale beveiliging bieden. Als niet zichtbaar is waar de sluitpenen zich bevinden, verhoogt dit de inbraakwerendheid van de deur. Er zijn verschillende typen op afstand bedienbare sloten op de (internationale) markt beschikbaar. Deze zijn alle voorzien van batterijen met een korte levensduur, die niet oplaadbaar zijn door gebruik van geïntegreerde zonnecellen. In dit werkpakket is een ontwerp ontwikkeld van een vergrendeling met automatische deurdranger. Daarbij is een softwareregeling ontworpen voor de aansturing van de deur.

Tijdens de looptijd van het Smart Door project is projectpartner Deventer Profielen onderdeel geworden van Roto. Dit gaf de mogelijkheid om samen te verkennen of een bestaand slot aangepast kon worden voor de Smart Door toepassing. Roto heeft een commercieel beschikbaar driepuntslot in het assortiment. In dit slot wordt het middelste sluitpunt elektronisch aangestuurd, waarna mechanisch het boven- en ondersluitpunt aangestuurd wordt. De afsluiting geschiedt door middel van haken en is voorzien van een dagschoot. De afstand tussen de haken kan aangepast worden naar de afmetingen van de deur. Bij een storing in het slot kan een mechanische oplossing worden aangebracht om de deur van binnenuit te openen (bijvoorbeeld met behulp van een imbusleutel).

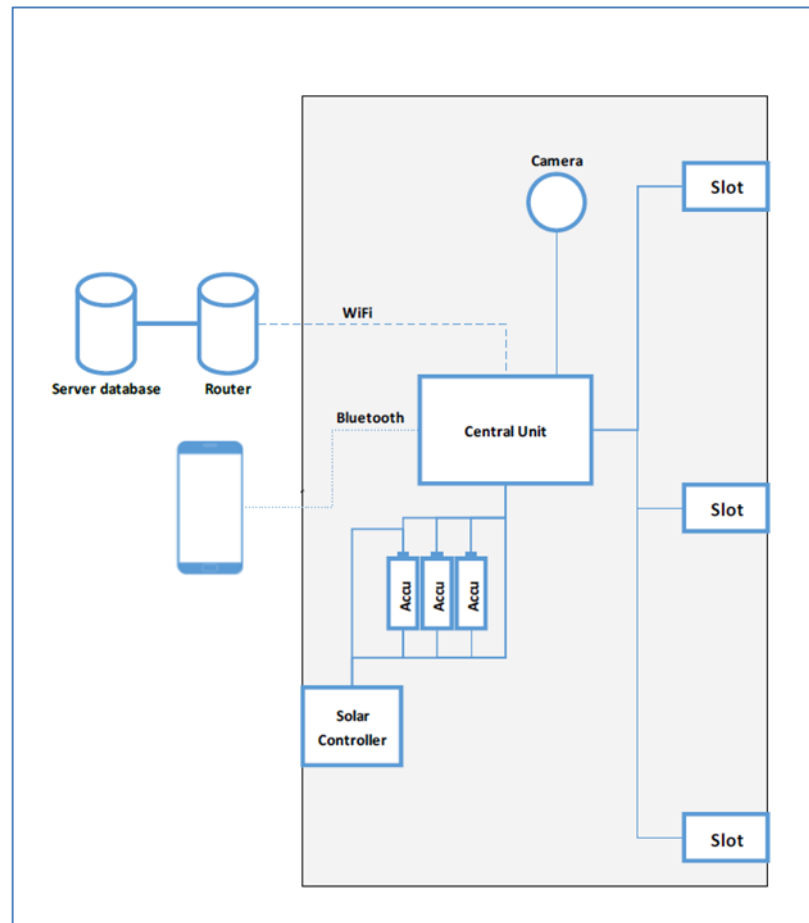
Deurdranger

In overleg met Roto is de deurdranger van het merk Brose geselecteerd. Deze werd door Roto geleverd, maar is tijdens de looptijd van het project uit het assortiment genomen. De Brose-aandrijving is echter zeer geschikt voor deze toepassing, voldoet aan alle eisen en zou in de deur moeten passen. Daarom is eerst onderzocht of deze aandrijving via een andere leverancier geleverd kan worden. Dit was helaas niet het geval. Daarom is gekozen voor een deurdranger van Roto. Deze heeft echter meer functionaliteiten dan nodig. Deze keuze is gemaakt, omdat de aansturingsoftware aangepast dient te worden. Dit is makkelijker te realiseren als de leverancier onderdeel uitmaakt van het consortium. Bij leveranciers buiten het consortium is het lastig om de broncode en aansturing openbaar te krijgen. Door de nauwe samenwerking met de Roto technici, kon de dranger aangestuurd worden door Heycop software.

De deurdranger kon niet in de deur geïntegreerd worden, omdat deze dan in contact zou komen met de luchtdichting. Daarnaast was het niet mogelijk om een deurdranger in een bestaand renovatiekozijn te integreren. Daarom is er gekozen voor een dranger die op de deur bevestigd is (Figuur 20). In Figuur 21 is een schematische weergave gegeven van de bedrading en de aansturing van de deur.



Figuur 20 Deurdranger.



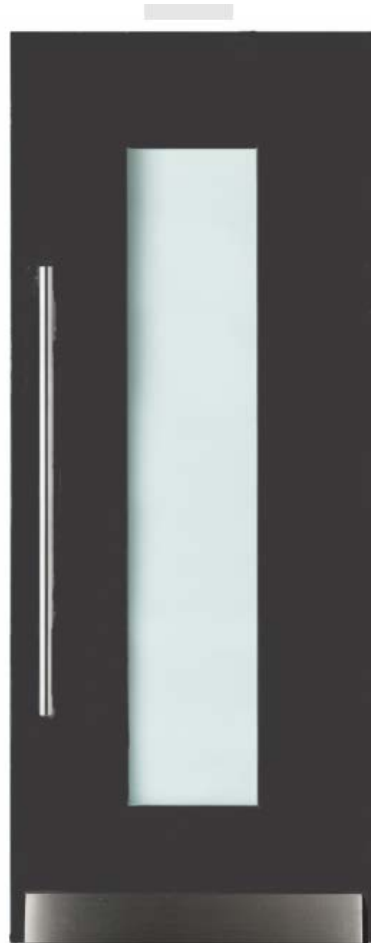
Figuur 21 Schematische weergave aansturingmodel alle elektrische functionaliteiten.

2.5.6 *Werkpakket 6: Go-no go beslissing deelaspecten*

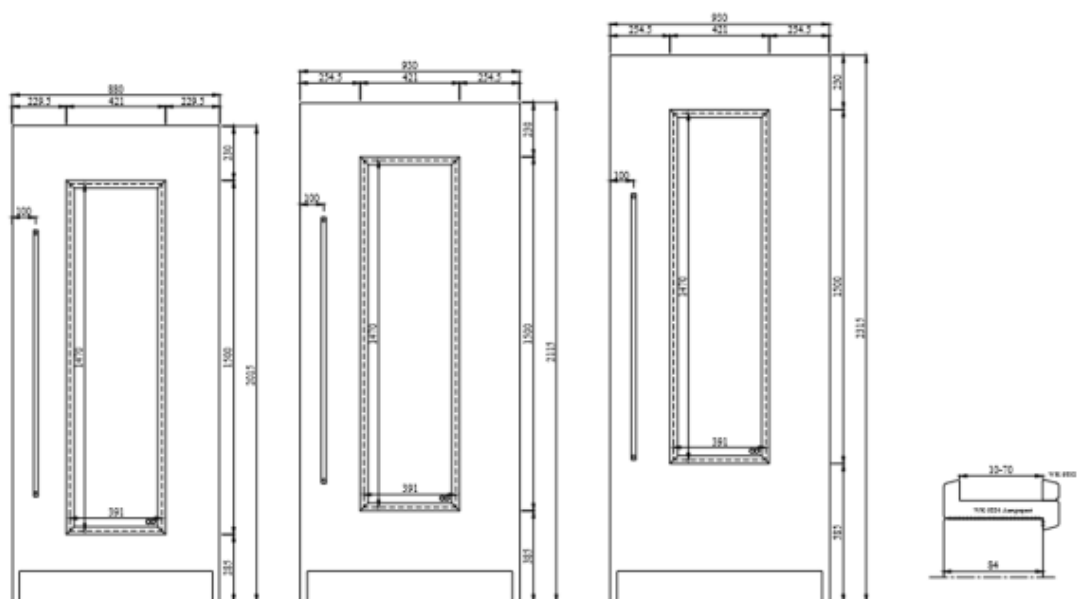
Op basis van bovenstaande resultaten is door de partners besloten om het project voort te zetten, de deur verder technisch uit te werken en een demodeur te vervaardigen.

2.5.7 *Werkpakket 7: Engineering*

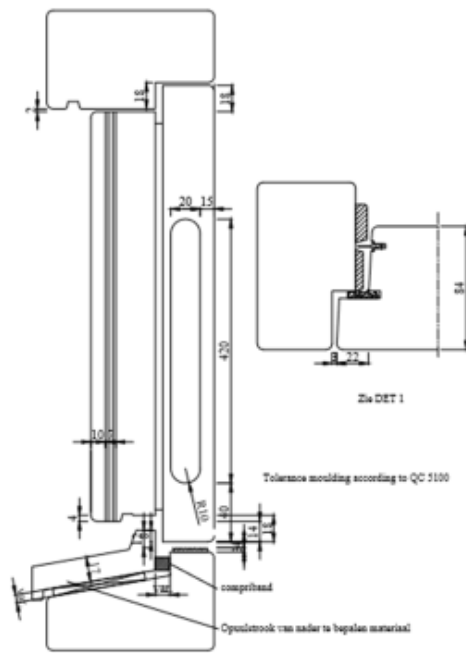
In de engineeringfase is de Smart Door uitgewerkt in technische tekeningen, waardoor duidelijk is waar alle componenten in de deur geïntegreerd zijn. Daarnaast is besloten welke materialen toegepast worden. In de tekeningen zijn bijvoorbeeld soort en maat van de luchtdichting weergegeven. Daarnaast zijn de uitsparingen voor het accupakket en de hardware in de deur geïntegreerd (Figuur 24).



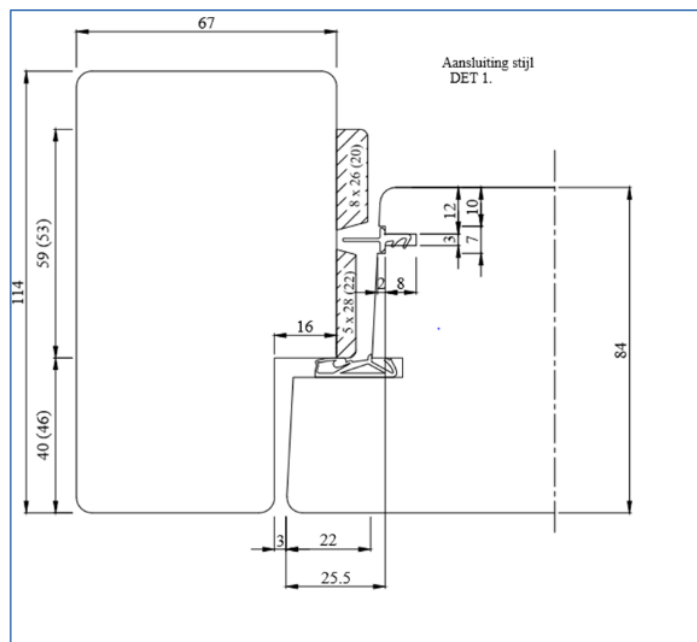
Figuur 22 Ontwerp van de deur (vooraanzicht) (Weekamp).



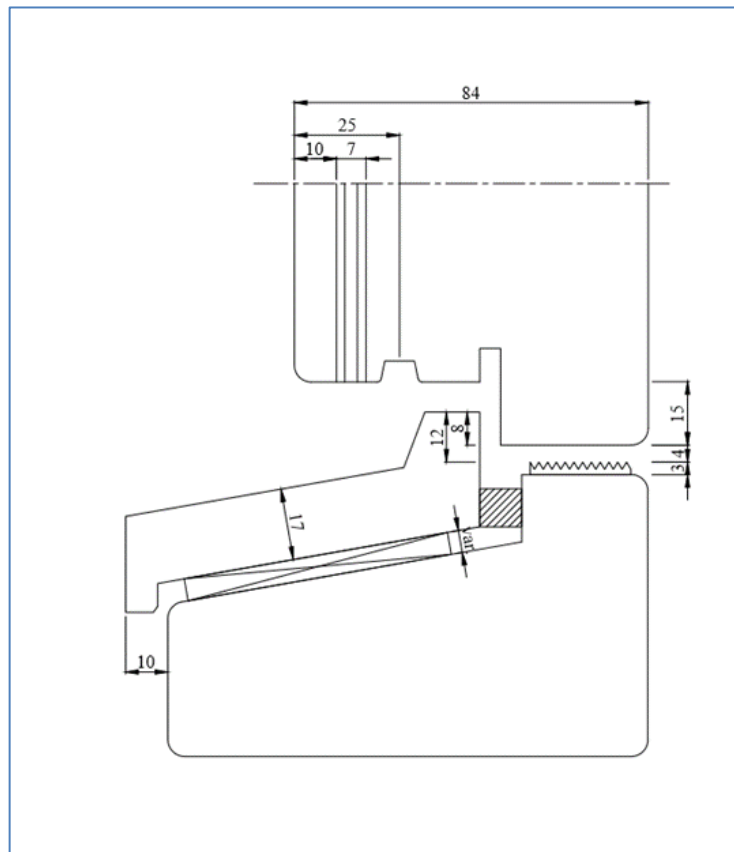
Figuur 23 Varianten van de deuren. In deze afmetingen moeten alle functionaliteiten passen (Weekamp).



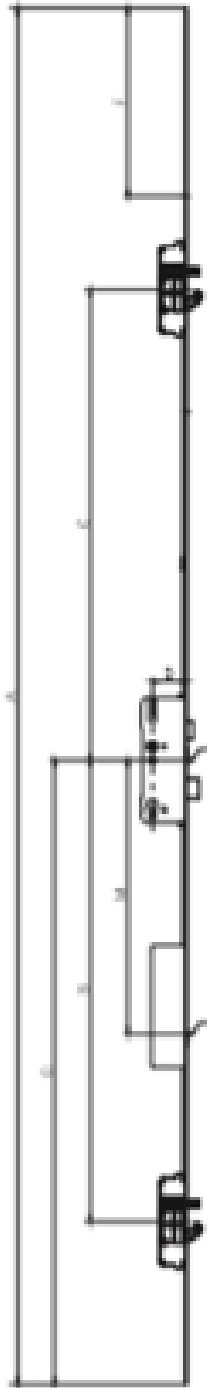
Figuur 24 Inpassing deur in kozijn (Weekamp).



Figuur 25 Detail: doorsnede afdichting deur en kozijn (Weekamp).



Figuur 26 Detail doorsnede aansluiting deur en onderdorpel (Weekamp).



Figuur 27 Technische tekening sloten: Roto heeft de mogelijkheid om een korte voorplaat met afgeronde hoek te zetten van 3*20*1388mm (Roto).



Figuur 28 Geïntegreerd deurscharnier (Roto).

In overleg met de partijen is ervoor gekozen om een niet-zichtbaar scharnier te gebruiken dat volledig is weggewerkt in de deur en het kozijn.

De volgende onderdelen zijn toegepast in de proefdeuren:

1. romp van de deur (met voorzieningen voor stabilisatie);
2. rubbers voor lucht- en waterdichtingen;
3. slot;
4. dranger;
5. glas met PV-folie;
6. accupakket (2 stuks per deur);
7. processor en bekabeling;
8. camera met bel;
9. scharnieren;
10. software.

2.5.8 *Werkpakket 8: Go-no go beslissing totaalconcept*

Op basis van bovenstaande resultaten is door de partners besloten om het project voort te zetten. In de volgende werkpakketten is de deur als geheel verder uitgewerkt en zijn door Weekamp vier Smart Doors vervaardigd voor verdere beproeving. Niet alle deuren hadden dezelfde functionaliteiten nodig. Voor de tests op wind- en waterdichtheid was een kale deur zonder bel, camera, PV-glas, dranger en sloten, maar met rubbers voldoende. Voor de prestaties, pilot en showroom bij Weekamp zijn volledige Smart Doors vervaardigd met alle functionaliteiten.

2.5.9 *Werkpakket 9: Realisatie van het proefmodel*

Vier demoversies van de deur zijn vervaardigd met de dranger en driepuntssluiting, waarbij de aansturing geschiedt via een applicatie op een mobiele telefoon. Deze deur is in werkpakket 10 gebruikt voor het testen van de basisfunctionaliteiten (Figuur 29).



Figuur 29 Proefdeur opstelling bij Heycop.

Het accupakket heeft voor dit project specifieke afmetingen en moet precies in de deur passen. Daarom is door Heycop een CAD-tekening gemaakt, waarmee de hoes van het accupakket 3D geprint is (Figuur 30). Deze hoes past precies in de uitsparing in de deur (Figuur 31).



Figuur 30 3d geprinte hoes van het accupakket, deze is volledig in de deur geïntegreerd.

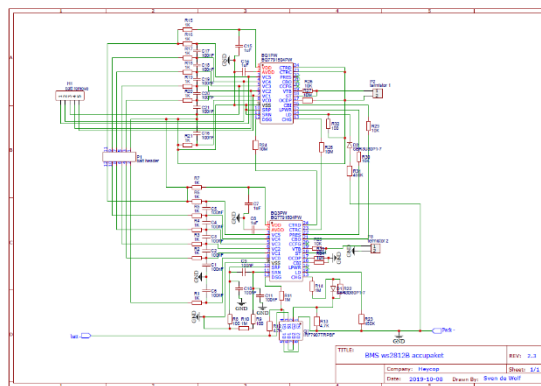


Figuur 31 Detail onderzijde deur met uitsparing accupakket.

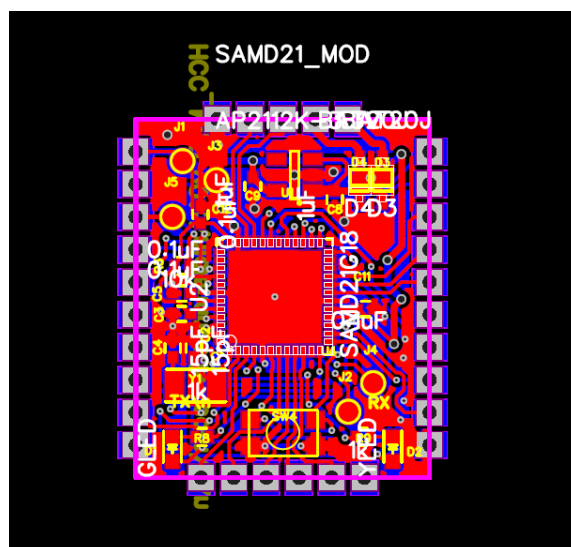
Applicatie voor de aansturing van de deur

Voor de aansturing van de Smart Door is een applicatie ontwikkeld voor gebruik op de mobiele telefoon. In deze app kan de toegang geregeld worden en is het beeld van de digitale camera die zich op de deur bevindt te bekijken. Hierdoor kan direct gecommuniceerd worden met degene die aangebeld heeft en zo nodig toegang verleend moet worden, zonder dat de bewoner naar de deur hoeft te gaan. HSI (Heycop Smart Innovatie) heeft een app ontwikkeld om de slimme deur te testen. Dit is een prototype app om te kijken of alle functies van de deur werken. In Figuur 32 is de schematische weergave van de Microcomputer te zien die alle componenten op de deur aanstuurt. Hierin is een Battery Management System (BMS) met MPPT (Maximum power point tracking) controller geïntegreerd voor de PV-module, zodat het meeste vermogen van de PV-module in de accu wordt opgeslagen. Daarnaast zorgt de BMS ook voor de beveiliging tegen overladen en volledige ontlading, wat de accu zou beschadigen. Het accupakket mag nooit 100 % opgeladen worden bij lithium accu's is het heel belangrijk om de accu tussen de 20 en 80 % te houden vandaar de MPPT-controller. Verder beveiligt deze ook tegen oververhitting en kortsluiting. Voor het BMS is een chip ontwikkeld voor de sturing van de deur (Figuur 33). In Figuur 34 en Figuur 35 is de interface te zien waarmee de deur aangestuurd kan worden.

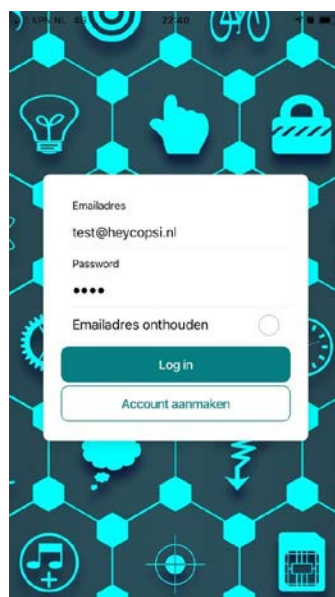
De aansturing door de applicatie op de mobiele telefoon is succesvol getest met een deur die aan het net is gekoppeld. De deur gaat van het slot af bij het naderen van de deur en de deur wordt geopend door de dranger. Ook is het mogelijk om anderen toegang te geven via de applicatie.



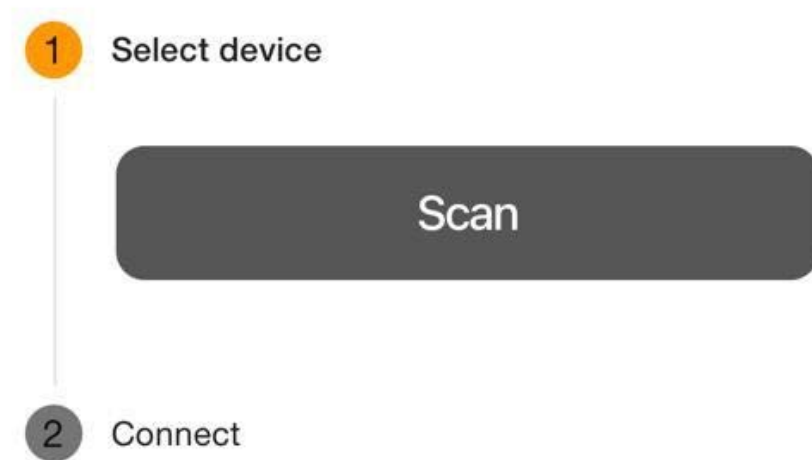
Figuur 32 Schematische weergave van de microcomputer en waar de applicatie op draait die de deur aanstuurt.



Figuur 33 Ontwikkelde chip voor de sturing van de deurcomponenten.



Figuur 34 HSI (Heycop Smart Innovatie) applicatie voor aansturen deur.



Figuur 35 Met de applicatie kan eenvoudig verbinding worden gemaakt met de deur.

2.5.10 *Werkpakket 10: Testen*

Proeven op gebied van inbraakwerendheid van de deur zelf waren niet noodzakelijk omdat zowel het slot als een dikkere deur al eerder zijn getest op het hoogste niveau. Dankzij de manier waarop het slot in deze deuren is ingebouwd, wordt de inbraakwerendheid alleen maar beter. Verdere beproevingen op dit terrein zijn dus niet uitgevoerd.

Voor de energie-isolatie van de deur kan onderstaande tabel worden aangehouden.



Figuur 36 Kader isolatiewaarde (Weekamp).

De volgende testen zijn uitgevoerd:

- 1) Luchtdichtheid;
- 2) Waterdichtheid;
- 3) Sloten;
- 4) Levensduur Accu.

Resultaten luchtdichtheid en waterdichtheid

De luchtdichtheid en de waterdichtheid zijn beproefd bij Weekamp in bijzijn van TNO. In Figuur 37 is de onderzoekskast voor de lucht- en waterdichtheid testen weergegeven. In bijlage 4.5 zijn foto's van de beproeving weergegeven.



Figuur 37 Onderzoekskast lucht- en waterdichtheid ramen en deuren

De eis voor luchtdichtheid is dusdanig laag dat de Smart Door hier gemakkelijk aan voldoet. Vaak komen luchtlekken voor bij naar binnendraaiende deuren, omdat de luchtdichting wisselt aan de onderzijde. Doordat de Smart Door een rondgaande dichting heeft is de verwachting dat er geen luchtlekken ontstaan. Tijdens de beproeving is nagegaan of er geen extreme geconcentreerde luchtlekken aanwezig waren. Uit de testen is gebleken dat er geen luchtlekken ontstaan.

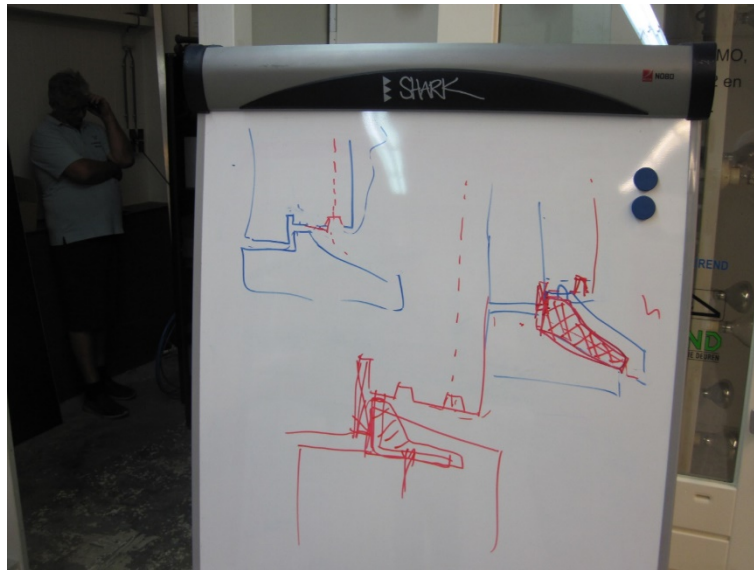
Tijdens de experimenten met de waterdichtheid ontstond bij een drukverschil van 100 Pa tussen buiten- en binnenzijde van de deur de eerste lekkage aan de onderzijde (zie Figuur 38).



Figuur 38 Waterlekkage in de hoek van de deur.

Na inspectie bleek dat het aanwezige waterhol niet op de juiste plaats in de onderkant van de deur was ingefreesd, waardoor het water op de luchtdichting binnen kon komen. Na afplakken van de onderzijde kon een waterdichtheid van 500 Pa worden bereikt.

Doordat de beproevingen door de COVID-19 maatregelen vertraagd waren, was het niet mogelijk de deur aan te passen en deze nogmaals te beproeven. In Figuur 39 is een schets gegeven van de oplossing: door het aanpassen van de neuslat en het waterhol ontstaat er meer hoogte en kan het water direct weglopen. Voor vervolgonwikkelingen zou deze detaillering aangehouden moeten worden. Wel is het van belang dit detail aan te passen en nogmaals te beproeven voordat deze deuren in productie worden genomen.



Figuur 39 Schets oplossing onderafsluiting

Testcyclus Sloten & aansturing

De werking van de sloten en de aansturing is beoordeeld voor het volgende scenario:

1. Persoonsherkenning;
2. Aansturing alarm/ domotica;
4. Ontgrendelt;
5. Automatisch open;
6. Entree;
7. Automatisch dicht;
8. Vergrendelt.

Deze cyclus is meerdere malen getest aan de hand van een testprotocol. Hierbij werd de deur aangestuurd door de applicatie en vele malen geopend en gesloten. Tijdens het testen van de aansturing ontstond kortsluiting in het slot. De kortsluiting was niet reproduceerbaar. Bij bezoek en overleg met de technische experts van de leveranciers bleek het niet mogelijk te zijn om de oorzaak van de kortsluiting te vinden. In vervolgtesten is de kortsluiting niet meer opgetreden.

De aansturing van de applicatie werkt naar behoren. In de software van de dranger zat een vertraging ingebouwd waardoor het openen en sluiten niet continu geactiveerd kon worden. De vertraging is door de nieuw ingebrachte applicatiesoftware uitgeschakeld, waardoor de deur sneller reageert op opdrachten tot openen en sluiten. Daarnaast is er een beveiliging ingebouwd waardoor de deur niet verder opent als er iemand achter de deur staat, waardoor de deur deze persoon zou kunnen raken. Ook is de deur beveiligd zodat deze niet zal sluiten als er iemand in de deuropening blijft staan.

Prestatie accupakket

Voor het testen van de capaciteit van de accu is een duurttest uitgevoerd om na te gaan of 50 openingen haalbaar zijn zonder tussentijds op te laden.

De deur is binnen opgesteld bij Heycop in een losstaand kozijn geplaatst (zie Figuur 40). De binnentemperatuur was 20°C. Gedurende 36 uur zijn deurbewegingen

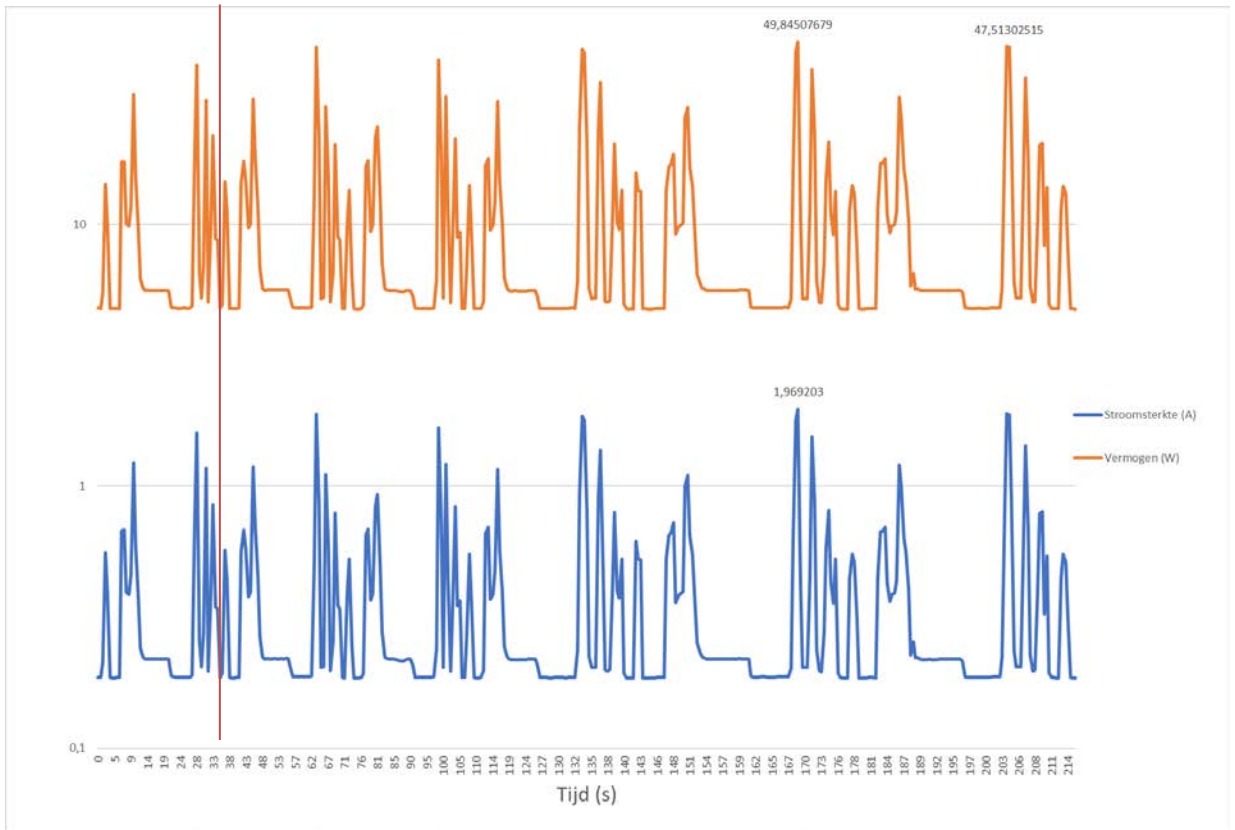
gedaan met enkele pauzes tot een totale testtijd van ruim 10 uur. De metingen zijn om de 0,1 seconde uitgevoerd. De deur is aangesloten op het accupakket. Omdat het PV-paneel, door het binnen te plaatsen, niet zorgde voor het opladen van het accupakket, werd deze gevoed door een transformator, zodat continu testen konden worden uitgevoerd. Het openen en sluiten van de deur duurde bij elkaar ongeveer 30 seconden. Tussen de opengaande en dichtgaande beweging zat een pauze van 20 seconden. De testen zijn vastgelegd met een datalogger met een meetbereik van 1000 Volt en maximaal 25 Ampère. De gebruikte meter is een Mooshimeter type P011W4LJA.



Figuur 40 Opstelling duurtesten.

Resultaten

Zie Figuur 41 voor de resultaten van 6 open/dicht cycli van de duurtest, hierin zijn de pieken van het verbruik te zien in Ampère en het vermogen in Watt. Door de cycli te vergelijken is een gemiddelde te berekenen, hetgeen resulteert in het energiegebruik van de deur. Het gemiddelde is 4,3 Wh per cyclus. In combinatie met de waarde van het PV-paneel ($WP \cdot 0,85$) $\cdot 3,1$ is het maximum berekend dat het paneel kan opwekken. Geconcludeerd kan worden dat het PV-paneel te weinig energie opwekt om de deur 50 cycli per dag te sturen.



Figuur 41 Resultaat duurproeven van 6 open/dicht cycli. Blauwe lijn Stroomsterkte in Ampère, Oranjelijijn Vermogen in Watt. Rode lijn: begin nieuwe openingscyclus deur.

Uit de proeven met het accupakket kwam naar voren dat het niet haalbaar was om 50 openingen te realiseren. Met een capaciteit van het huidige accupakket 2Ah zijn slechts 7 cycli haalbaar gebleken.

2.5.11 Werkpakket 11: Pilotproject

Een volledig functionerende deur is geplaatst bij Heycop, Nieuwegein (Figuur 42- Figuur 43). De prestatie van de deur is in een buitensituatie getest bij een Oost-West oriëntatie bij droog weer en een temperatuur van 17°C en weinig tot geen wind. Er is gedurende twee uur gemeten. Ook hier werd het protocol aangehouden van meervoudig open/sluit cycli met een tussenpauze van 20 seconden. Het gebruikte meetinstrument is een Mooshimeter type P011W4LJA met een datalogger.

Tijdens het testen trad echter een overbelasting van de motor van de dranger op door een te hoge energievraag. De extra zware deur in combinatie met de afdichting gaf hierbij onvoorziene problemen. Extra bijladen was niet mogelijk in verband met overbelasting van de printplaat.

Er waren maximaal 7 open/sluitcycli te maken, voordat het accupakket geen capaciteit meer had. Uit de test blijkt dat bij bovenstaande weercondities de accu binnen 16 uur is opgeladen. Dit betekent dat de combinatie van de energiebehoefte van de deur, het accupakket en het PV-paneel geen gewenste doelstelling van 50 open/sluit cycli kan behalen.



Figuur 42 Eindproduct bij Heycop, Nieuwegein. Binnenzijde deur met PV glas.



Figuur 43 Deur bij Heycop, Nieuwegein. Binnenzijde deur; deur opent naar binnen.



Figuur 44 Camera in deur geïntegreerd.



Figuur 45 Communicatie-unit met scherm.



Figuur 46 Verscholen scharnieren.

2.5.12 *Werkpakket 12: Projectmanagement*

Er is veel coördinatie en afstemming geweest om de gemaakte afspraken te monitoren en de partners te activeren. De stuurgroep is regelmatig bijeengewees om richting te geven aan het project en waar nodig bij te sturen. In de stuurgroep zijn de strategische keuzes, integratie en planning behandeld. Er is nauwe samenwerking geweest voor het tackelen van technische uitdagingen.

2.6 **Discussie, conclusie en aanbevelingen**

Het vervaardigen van de Smart Door heeft interessante resultaten opgeleverd, doordat er verschillende functionaliteiten zijn ontwikkeld. Er is een hoogwaardig geïsoleerde deur ontwikkeld, die in het bestaande kozijn ingebouwd kan worden. De deur heeft een geïntegreerde driepuntssluiting die elektrisch aangestuurd kan worden. Doordat de sloten niet zichtbaar zijn van buitenaf en geïntegreerd zijn in de deur, komt hier een extra functionaliteit van hoogwaardige inbraakwerendheid bij. De deur is aan te sturen via een applicatie op de mobiele telefoon, waardoor er geen sleutel meer nodig is om de deur te openen. Via deze applicatie kan gecommuniceerd worden via een camera en zo nodig toegang gegeven worden aan bezoekers.

Echter de functionaliteit van een standalone deur (los van het elektriciteitsnet) is binnen dit project niet geslaagd. Het openen en sluiten van de deur middels een deurdranger kostte dusdanig veel energie dat dit in alle gevallen niet op te wekken is met de huidige oppervlakte aan PV-cellen en het gebruikte accupakket. De combinatie van de deurdranger, de zware deur en de extra rubber afdichting maakten dat de doelstelling van het 50 keer automatisch kunnen openen van de deur niet haalbaar werd. Er is extra vermogen nodig om de zware deur met de extra deurrubbers te openen en sluiten. Er is dus een grotere energiebehoefte dan geleverd kan worden door het huidige accupakket.

Om de doelstellingen van de Smart Door te behalen zou het vergroten van het accupakket nodig zijn en een krachtige dranger toegepast moeten worden. Bij een vergroting van het accupakket is een hierbij behorende uitsparing van de deur niet gewenst, doordat hierdoor de constructie van de deur wordt aangetast, wat tot vervorming kan leiden. Hiervoor moet een andere oplossing bedacht worden. Het vergroten van het PV-oppervlak of het gebruik van een hoger rendement PV-technologie is overdag een optie om aan de energiebehoefte te voldoen. Echter, het opladen van het huidige accupakket met het huidige PV-paneel en afmeting kost bij een volledig lege batterij 16 uur. Daarnaast blijft de standalone deur (een deur met een eigen energie verbruik en opbrengst systeem, niet aangesloten aan het net) niet realistisch als er bijvoorbeeld in de avond veel bezoek komt. Er is dan geen mogelijkheid om de batterij op te laden. Toekomstige ontwikkelingen zoals hoger rendement PV-technologie of accu's met hogere opslagcapaciteit kunnen hierbij uitkomst bieden.

Voor vervolgonwikkeling worden de volgende punten aanbevolen:

- Werk met een contactloos energiepunt in de sponning, waardoor de opbrengst van het PV-paneel aan het elektriciteitsnet terug geleverd wordt. Hierdoor zijn er geen restricties aan het accupakket en is er geen constructieprobleem bij een grotere energiebehoefte (zoals een grotere uitsparing).
- Analyseer eerst de mogelijkheden met een standaard deur en isolatie, dit leidt tot een lagere energiebehoefte voor het openen en sluiten van de deur.
- Focus eerst op de automatische ontgrendeling. De deurdranger was vooral bedoeld als een luxe aanvulling, dit is nu de bottleneck geworden. De combinatie van functionaliteiten van de camera en deurontgrendeling is al een interessante business case.
- Analyseer andere afdichtingsmethoden. De rubbers vragen nu extra trekkracht om de deur in het kozijn te krijgen. Mogelijke oplossingen zoals een valdorpel of een "koelkast" afdichting die opblaast na sluiting vragen minder kracht tijdens het sluiten van de deur.

Op het moment zijn te veel ontwikkelpunten tegelijk aangepast in het Smart Door project, waardoor de functionaliteit niet meer te waarborgen is.

Dat de standalone deur niet gerealiseerd is binnen dit project betekent niet dat de opgedane kennis niet gebruikt gaat worden. Voor de deurindustrie geldt dat zowel de plaats van de deur in het kozijn als de opbouw van de deur (lucht- en waterdichtingen) als uitgangspunten gebruikt kunnen worden voor verdere ontwikkelingen. Met de huidige energietransitie is er een markt voor deuren met veel betere isolatie dan tot nu toe gangbaar is. Weekamp gaat deze ontwikkeling verder oppakken.

Ook met het meer toespitsen op andere sluitsystemen is nu meer ervaring, wat gebruikt kan worden voor verdere ontwikkelingen. Voor de softwareleverancier geldt dat de aansturing van het slot via een applicatie op de telefoon in combinatie van het gebruik van PV-cellen en batterij verder uitgewerkt kan worden.

Daarnaast is het goed mogelijk om via PV-cellen in het glas voldoende energie op te wekken om in ieder geval het vergrendelen (slot) van de deur uit te kunnen voeren. Dit is een stap die ook verder verspreid kan worden in de branche.

Voor dit project is gekozen voor een PV-paneel (triple glas) van het Chinese bedrijf ASP. Omdat de PV-panelen erg kostbaar zijn door de behouden transparantie, en deuren verschillende ontwerpen en afmetingen hebben, is het niet mogelijk om een grote voorraad PV-panelen aan te leggen. Voor de opschaling en markttoepassing moet er in verband met de lange levertijd gezocht worden naar een meer lokale leverancier.

3 Ondertekening

Delft, 14 april 2021

TNO

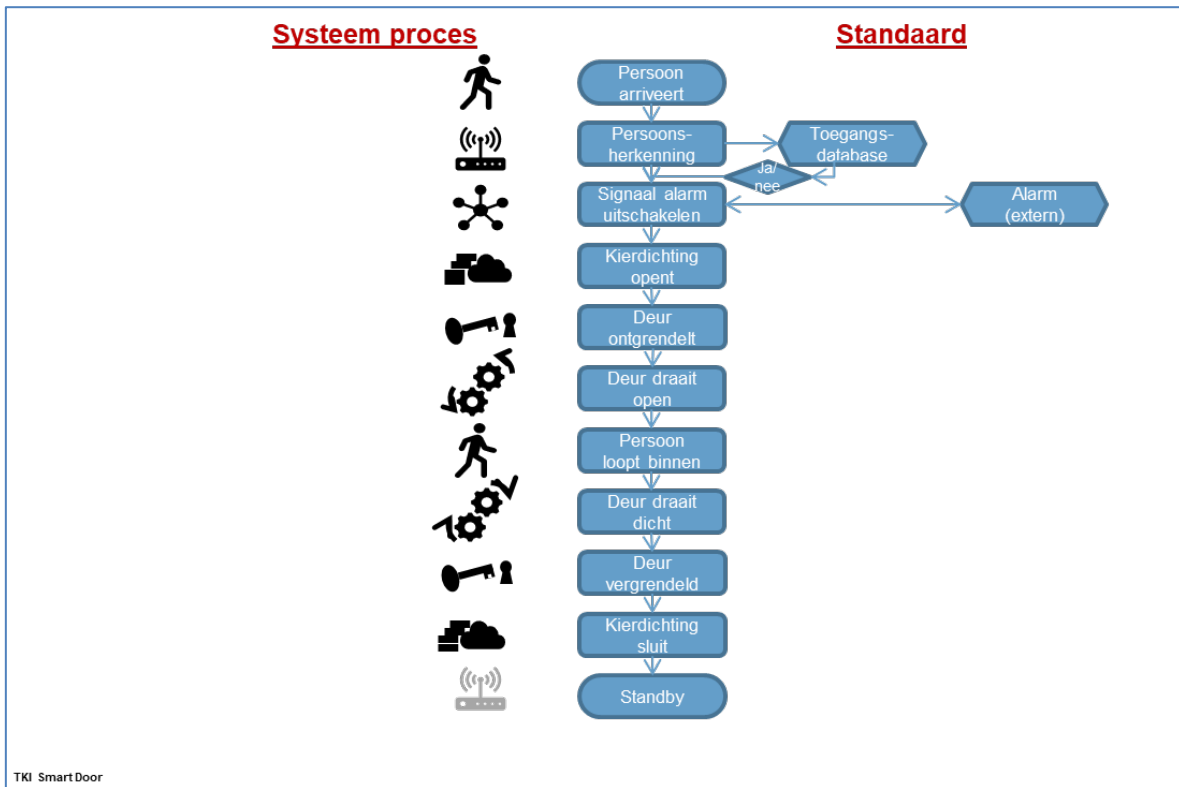
Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager

Dr.ir. C.M.J.L. Lelieveld
Projectleider

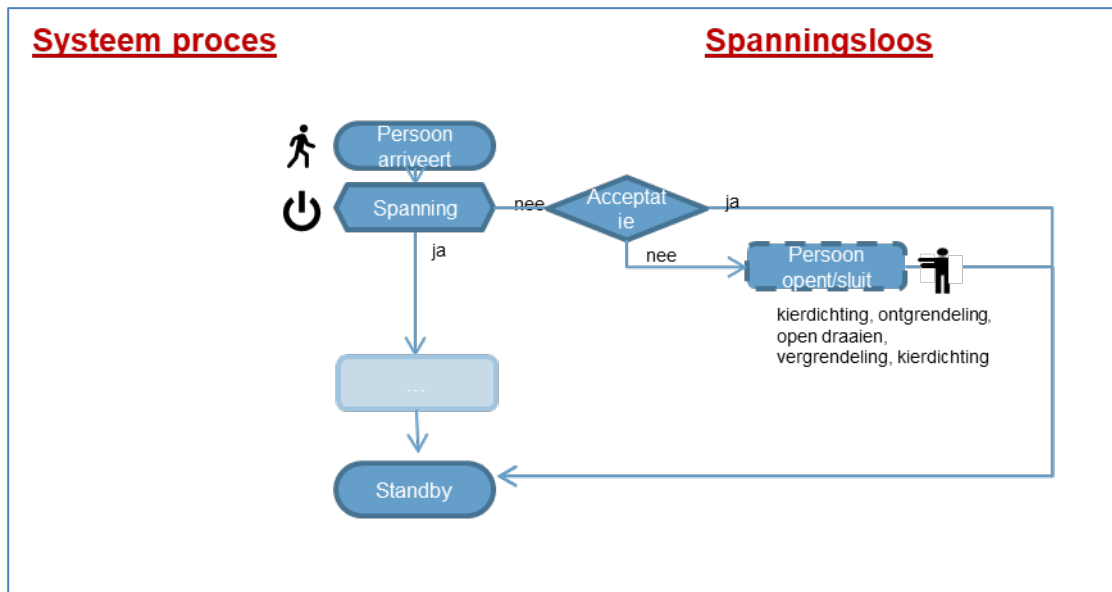
i.o. M.R. Huisman, MSc
Plv. Research Manager

4 Bijlage

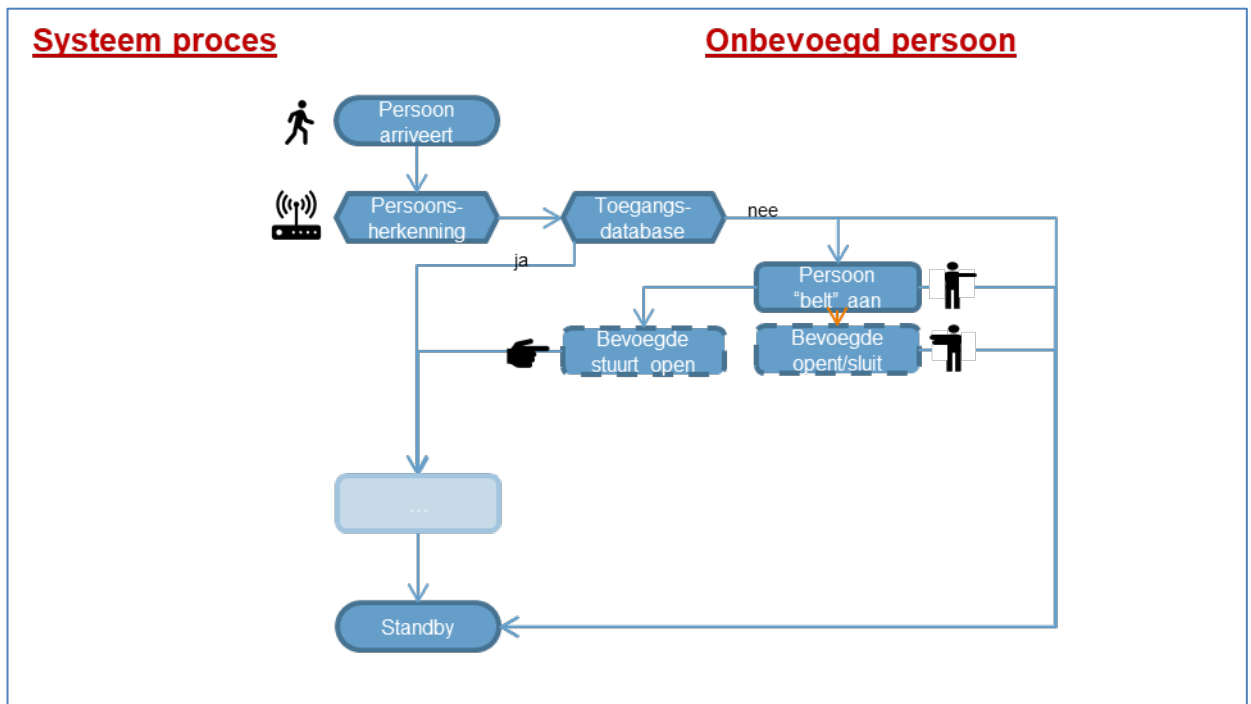
4.1 Varianten van het systeemproces



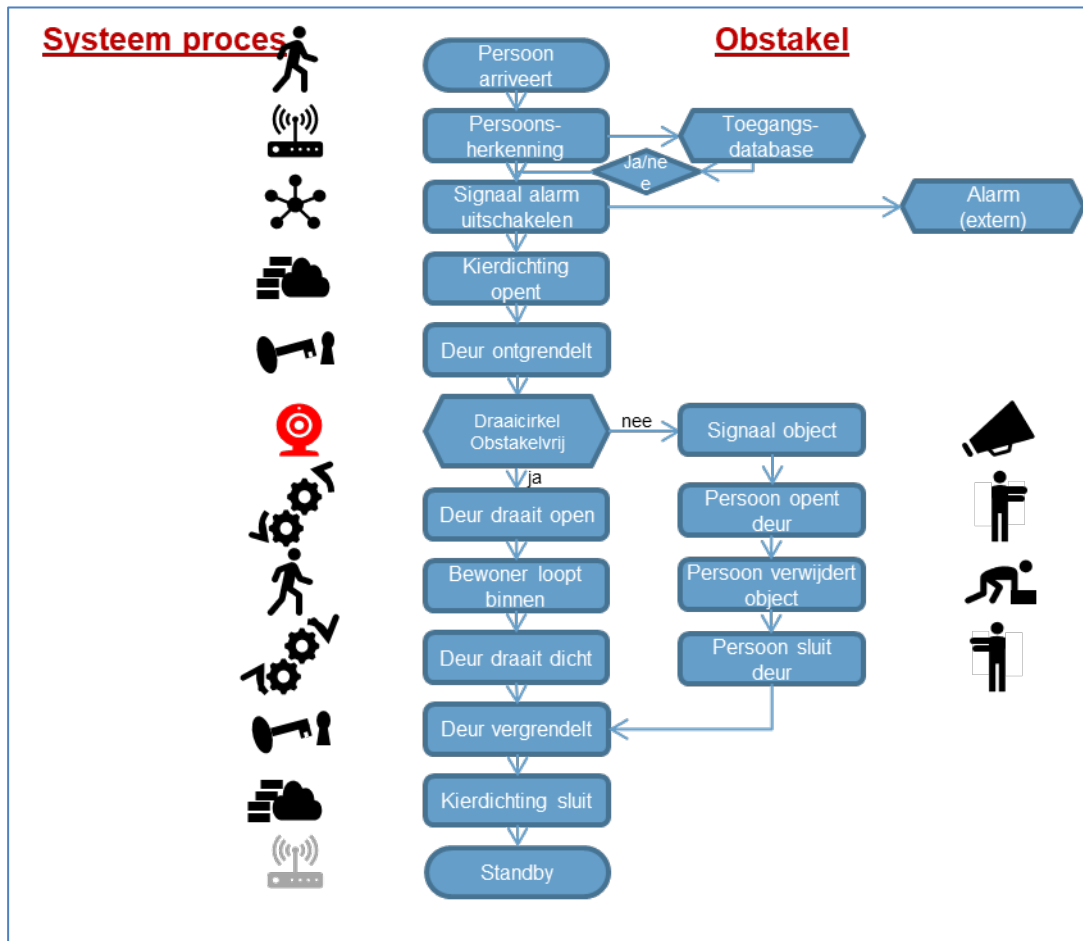
Figuur 47 Standaard systeemproces.



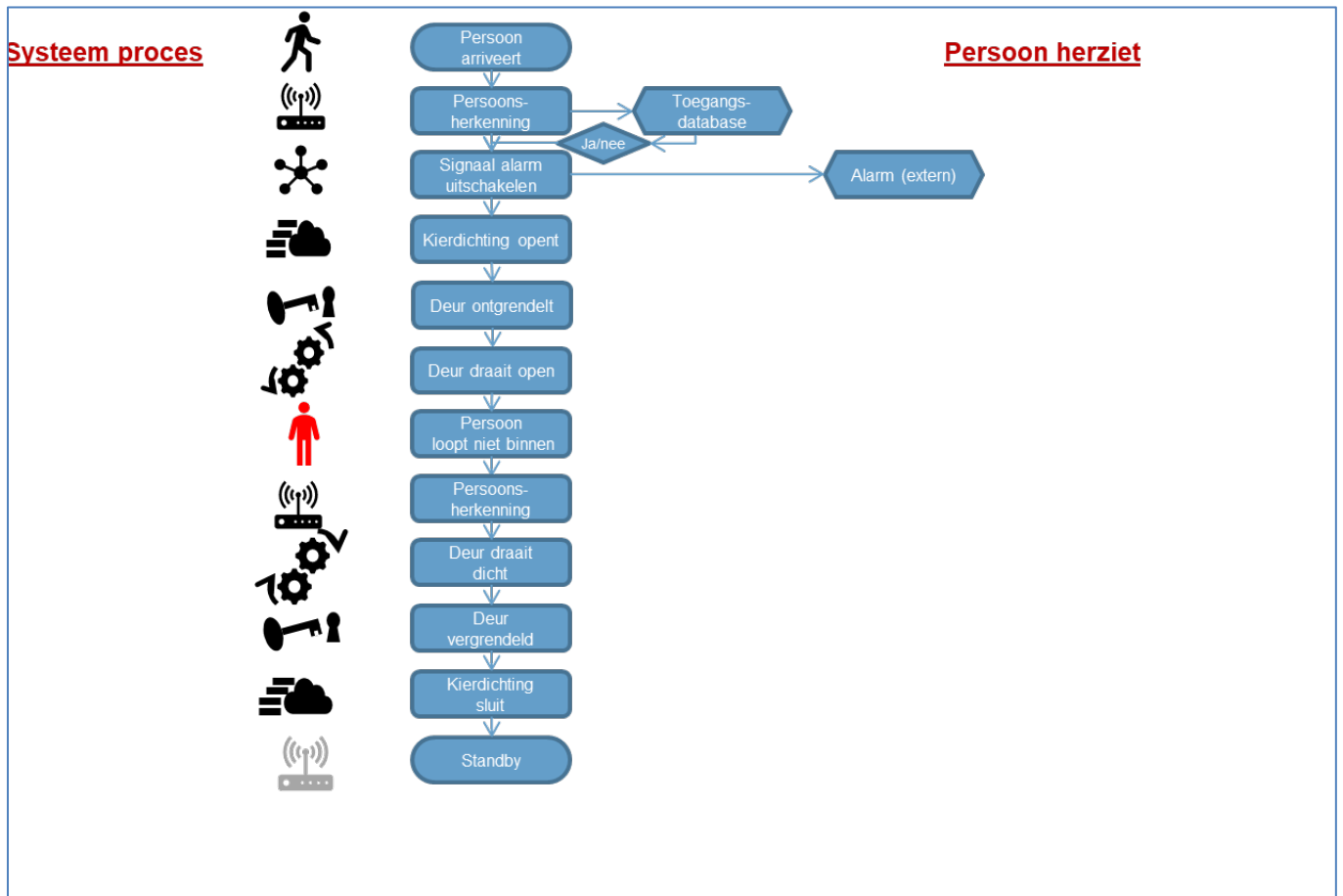
Figuur 48 Systemproces in geval van wegvallen spanning.



Figuur 49 Systemproces in geval van een onbevoegd persoon.



Figuur 50 Systeemproces in geval van een obstakel tussen de deur.



Figuur 51 Systeemproces in het geval dat een persoon niet naar binnen treedt.

4.2 Marktanalyse Smart Door

Er zijn twee manieren om na te gaan of en wat de markt is voor een Smart Door:

1. Data-analyse
Nagaan welke gegevens er zijn over het aantal koopwoningen (laagbouw en hoogbouw). Dit kan worden uitgevoerd door bij het CBS deze data op te vragen. Tevens kan worden nagegaan of de deur zonbelast is of niet. TNO kan nagaan of deze gegevens beschikbaar zijn.
2. Enquête bij opdrachtgevers
Door middel van een vragenformulier kunnen door verschillende deelnemende partijen opdrachtgevers (zowel particuliere als WoCo's) worden benaderd om na te gaan wat de marktbehoefte is en of eigenaren van woningen bereid zijn meer te betalen voor een Smart Door. TNO kan samen met Weekamp dit formulier maken. De deelnemers kunnen dan de data verzamelen. Deze zal door TNO worden verwerkt.

Uit de twee bovenstaande lijnen kan dan een oriënterende marktprognose worden gemaakt voor het verder ontwikkelen van de Smart Door.

Potentieel:

Doelgroep:

- Corporatiewoningen;
- Particulieren;
- Particulieren: Zorg/Ouderenwoningen/ woningen voor 65-plussers.

Data

(CBS 01/01/2014)

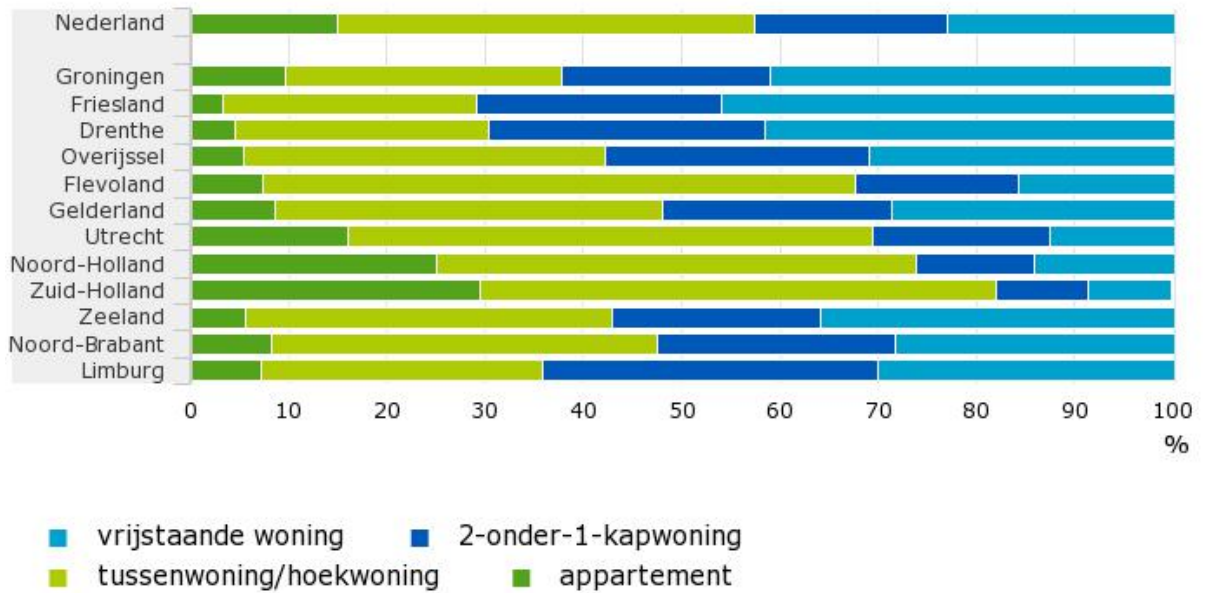
- Aantal woningen Nederland: 7.712.360.
- 8% is in 2005 of later gebouwd.
- Van alle woningen in Nederland is 65% in eigen bezit, 43.5% huurwoning (waarvan corporatiewoningen 30%).
- Van alle woningen is 19.3% is gebouwd voor 1945 (21.5% eigen woningen t.o.v. 16.6% vd huurwoningen, 9.5% van de corporatiewoningen).
- Periode 1965-1984: Eigenwoning 30%, huurwoning 35.8% en corporatiewoning aandeel uit deze periode is 40%.
- Van eigen woning bestaat 83% uit eengezinswoningen.
- Woningvoorraad: 65% uit eengezinswoningen, en 35% meergezinswoningen (appartementen, galerijwoningen en woningen met bedrijfsruimten).
- Relatief gezien staan de meeste eengezinswoningen in Drenthe (82.1%), Friesland en Zeeland. Zuid-Holland heeft als enige provincie meer meergezinswoningen dan eengezinswoningen.
- Eigen woningen zijn relatief vaak eengezinswoningen (83%).

[Data 2016 CBS 13/02/2017](#)

Nederland: totale woningvoorraad: 7.641.323
Koopwoningen: 4.296.719 (56%),
huurwoningen 3.247.104 (43%) (waarvan woningcorporatie 2.252.640 (30%),
overige huurder 994.464 (135)) eigendom onbekend 97.500 (1%)

Woontype:Woononderzoek Nederland 2015 ([WoON CBS](#))

- Vrijstaande woning: 23%
- 2-onder 1 kap: 19.6%
- Tussenwoning hoekwoning: 42.5 %
- Appartement: 15%

Woningtypen van woningeigenaren per provincie, 2015**Zorg**

Huisvesting naar type huishouden en woning WoOn 2015

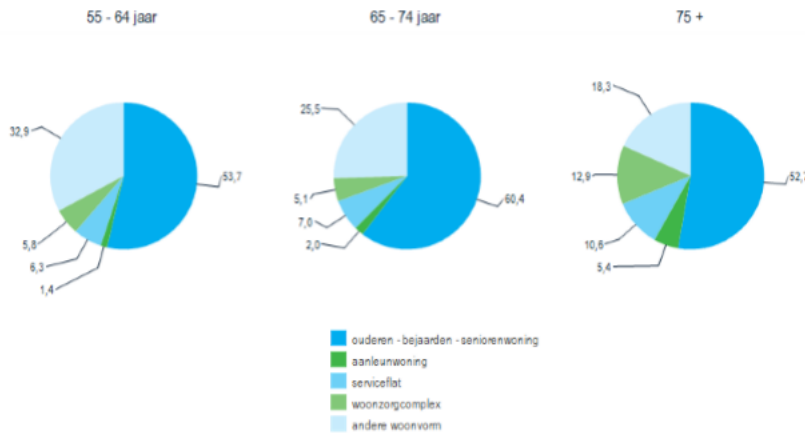
Meergezinswoningen in de koopsector worden voornamelijk bewoond door 65plussers (zoals appartement etc.).

Zelfstandig wonende oudere huishoudens naar woningtype, 2015

Nederland

| | 55 - 64 jaar | 65 - 74 jaar | 75 + | Totaal |
|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| Reguliere woning | 1.249.600 | 956.400 | 629.900 | 2.835.900 |
| Ouderen- bejaarden-, seniorenwoning | 42.400 | 74.500 | 127.500 | 244.400 |
| Aanleunwoning | 1.100 | 2.400 | 13.100 | 16.600 |
| Serviceflat | 5.000 | 8.600 | 25.500 | 39.100 |
| Woonzorgcomplex | 4.600 | 6.300 | 31.300 | 42.200 |
| Overig | 26.000 | 31.400 | 44.300 | 101.700 |
| Totaal | 1.328.600 | 1.079.600 | 871.700 | 3.279.900 |

Woonsituatie oudere huishoudens (m.u.v. reguliere woningen), 2015



Bron: WoOn 2015

Peildatum: 1 januari

Figuur 52 Bron WoON 2015 CBS

Huisvesting naar type huishouden en woning, 2015

Nederland

| | Koop, eengezins | Huur, eengezins | Koop, meergezins | Huur, meergezins | Totaal |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Tot 25 jaar | 19.500 | 47.600 | 12.400 | 141.700 | 221.200 |
| 25-44 Alleenstaand | 129.100 | 107.300 | 146.600 | 368.800 | 751.800 |
| 25-44 Paar zonder kinderen | 183.700 | 47.100 | 61.700 | 108.700 | 401.200 |
| 25-44 Gezin met kinderen | 716.300 | 185.200 | 74.400 | 133.100 | 1.109.000 |
| 45-64 Alleenstaand | 226.900 | 172.000 | 87.800 | 287.400 | 774.100 |
| 45-64 Paar zonder kinderen | 562.500 | 108.300 | 58.800 | 44.600 | 774.200 |
| 45-64 Gezin met kinderen | 957.900 | 194.300 | 41.000 | 101.700 | 1.294.900 |
| 65+ Alleenstaand | 252.000 | 203.500 | 78.500 | 354.700 | 888.700 |
| 65+ Meerpersoons | 631.500 | 199.900 | 87.100 | 144.100 | 1.062.600 |
| Totaal | 3.679.400 | 1.265.200 | 648.300 | 1.684.800 | 7.277.800 |

Figuur 53 Bron WoOn 2015

4.3 PV specificaties

Datasheet Advanced Solar Power
 Product Model: ASP-INST1-44W
 Nominal Power: $44 \pm 2W$

performance at STC: $1000W/m^2$, $25^\circ C$, AM1.5

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| Nominal Power (Pm) | 44 | W |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 35.2 | V |
| Short Circuit Current (Isc) | 1.75 | A |
| Voltage at max. Power (Vm) | 27.9 | V |
| Current at max. Power (Im) | 1.57 | A |
| Power Output | 25 years power output guarantee, for 90% of nominal output during first 10 years and 80% over 25 years. | |
| materials and workmanship | 10 years | |

System Properties (at STC)

| | | |
|------------------------|---------------|--------------|
| Maximum System Voltage | V_{sys} (V) | 1000 (600UL) |
| Maximum Series Fuse | I_{CF} (A) | 3.0 |

Temperature Coefficients (at STC)

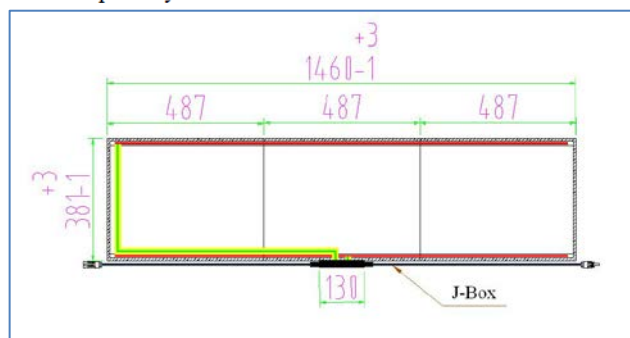
| | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Temperature Coefficients of I_{sc} | $\alpha = 0.060\%/^{\circ}\text{C}$ |
| Temperature Coefficients of V_{oc} | $\beta = -0.321\%/^{\circ}\text{C}$ |
| Temperature Coefficients of P_m | $\gamma = -0.214\%/^{\circ}\text{C}$ |

Mechanical Specifications

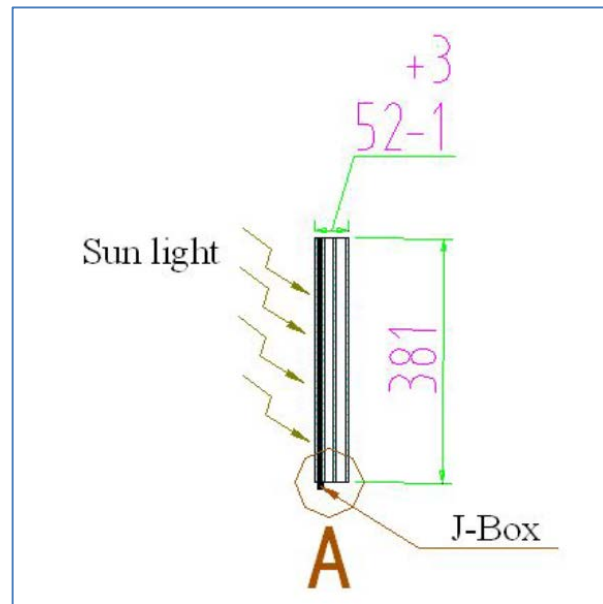
| | |
|---------------|---|
| Length | 1460 (-1 ⁺ 3) mm |
| Width | 381 (-1 ⁺ 3) mm |
| Thickness | 52 (-1 ⁺ 3) mm |
| Area | 0.556m ² |
| Weight | 34kg |
| Frame | N/A |
| Junction Box* | 1460mm edge center |
| Lead Cable | 2.5mm ² , 800mm |
| Connectors | MC4 |
| Bypass Diode | 6A |
| Cell Type | CdTe |
| Structure | 4T (Low-iron) +3.2cell+4T (Low-iron) +15A (Ar) +4T+15A (Ar) +4HS (Low-E) |
| Encapsulation | PVB |
| Transparency* | 20% |

*The place of Junction box can be customized.

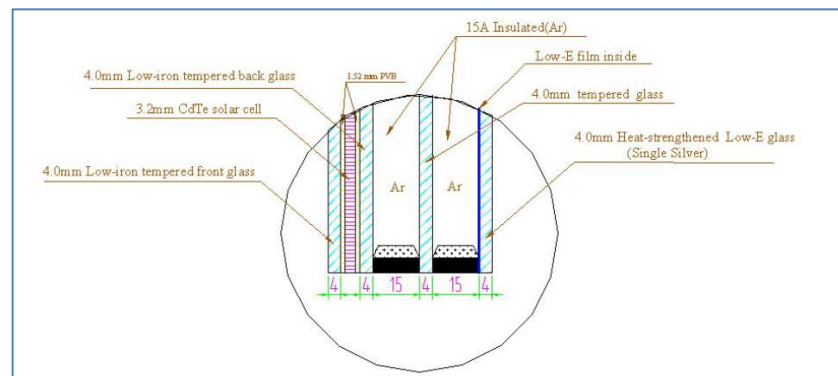
*Transparency can be customized.



Figuur 54 Schematische tekening aanzicht PV-paneel (ASP).



Figuur 55 Schematische tekening doorsnede PV-paneel (ASP).

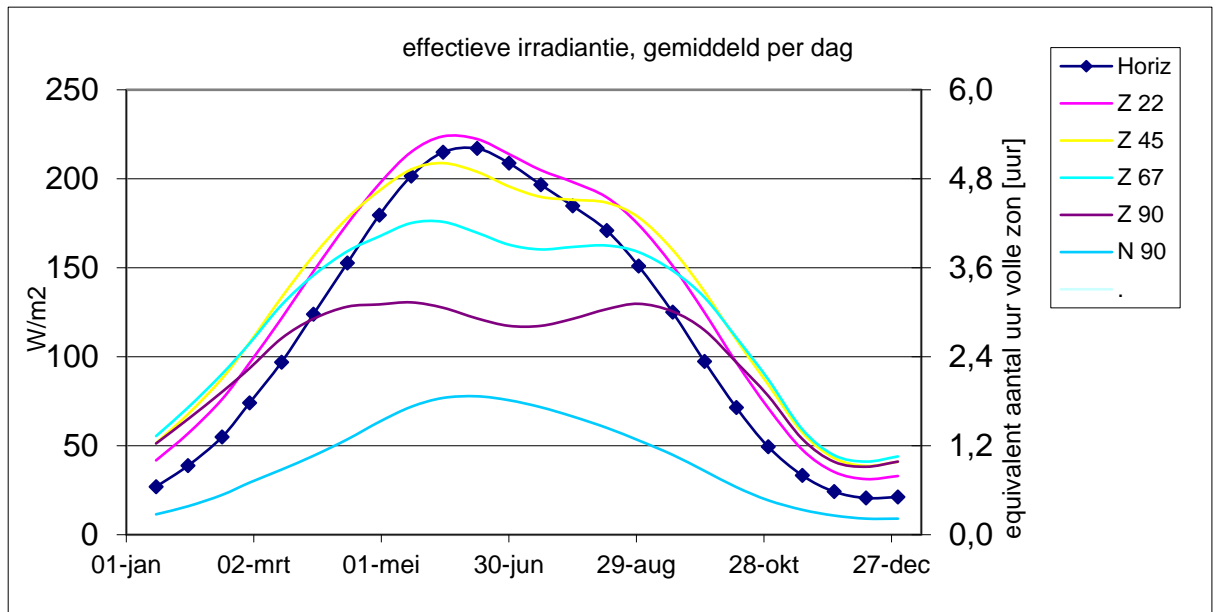


Figuur 56 Schematische tekening, dwarsdoorsnede PV-paneel (ASP).

4.4 PV/ energieopslag

Optimalisatie kan op twee manieren: optimaliseren naar minimaal PV-oppervlak of minimaal benodigde accucapaciteit. Over het algemeen is het qua kosten aantrekkelijk om de accucapaciteit beperkt te houden en de benodigde elektriciteit zo veel mogelijk door middel van een voldoende groot PV-paneel op te wekken. Daarnaast betekent een grote accu ook dat er isolatieverliezen in de deur gaan optreden, omdat hiervoor een uitsparing in de deur gemaakt dient te worden.

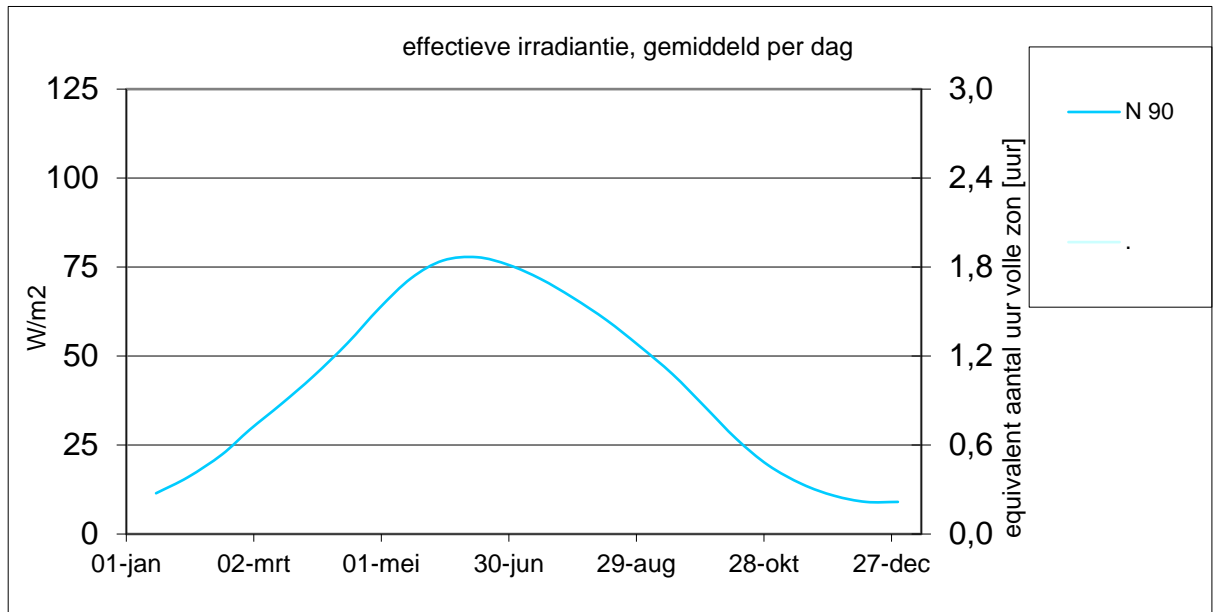
Idealiter hoef je met een accu alleen de dag-nacht cyclus te overbruggen. Dat betekent echter wel dat zelfs in de winter de zonnestraling overdag voldoende moet zijn voor het dagelijks energieverbruik. Uit de onderstaande figuur blijkt dat er niet alleen een fors verschil is tussen optimale oriëntatie (zuid 22 graden) en verticaal (90 graden) noord, maar ook tussen zomer en winter. De grafiek geeft de gemiddelde instraling per dag en langs de rechtersas het equivalent aantal uren volle zon (~STC ofwel de conditie waarbij Wp behaald wordt). Bijvoorbeeld: 1,5 equivalente uren volle zon op een PV-paneel van 80 Wp komt neer op $1,5 * 80 = 120$ Wh per dag.



Figuur 57 Effectieve irradiatie, gemiddeld per dag.

Voor een deur moet in het ongunstigste geval rekening gehouden worden met een oriëntatie verticaal Noord, waarbij volgens bovenstaande figuur in de zomer zelfs bij deze opstelling nog een beetje direct zonlicht doordringt, zie curve N90. Dit is echter maar zo'n 8% van het totaal maximaal zonopbrengst bij Zuid oriëntatie. Onderstaande figuur zoomt in op de verticaal Noord oriëntatie, waaruit blijkt dat in de zomer ongeveer 1,8 equivalent uur volle zon ontvangen wordt, terwijl dit in de winter daalt naar ongeveer 0,22 uur.

Een vierkante meter PV-paneel met een rendement van rond de 15% zal dus in december circa $0,22 \text{ uur} * 1 \text{ kW/m}^2 * 15\% = 33 \text{ Wh}$ op kunnen leveren. Voor het dimensioneren van de accu zal rekening gehouden moeten worden met een buffer van een aantal dagen. Daarnaast wil je ook de accu niet volledig ontladen, waardoor nog meer capaciteit benodigd zal zijn.



Figuur 58 Opbrengst verticaal Noord oriëntatie.

4.5 Wind- en waterdichtheid testen (werkpakket 10)



Figuur 59 Testopstelling wind- en waterdichtheid.



Figuur 60 Lekkage tijdens de proef voor wind- en waterdichtheid.



Figuur 61 Detail vergrendeling deur met dubbele rubberafdichting voor wind- en waterdichtheid.



Figuur 62 Onderdorpel deur van bovenaf gezien.



Figuur 63 Onderdorpel van voorzijde, lekkage is zichtbaar.



Figuur 64 Uitsparing voor accupakket is zichtbaar.