

Bachelor Afstudeerproject BabyShell

RTC, alarm en thermometer

Gerard Hogenhout
Kees Hogenhout

Bachelor Afstudeerproject BabyShell

RTC, alarm en thermometer

door

**Gerard Hogenhout
Kees Hogenhout**

Gerard Hogenhout 4249216 g.hogenhout@student.tudelft.nl
Kees Hogenhout 4220927 c.hogenhout@student.tudelft.nl

Opdrachtgever: Maurizio Bricola
Projectleider: dr ir. Andre Bossche
Projectbegeleider: ing. Jeroen Bastemeijer
Jurylid: dr ir. Gerard Janssen
Jurylid: dr ir. Hansi Lager

Inleverdatum: 3 juli 2015

Goedgekeurd:.....door:.....

Samenvatting

Deze thesis is geschreven in het kader van het bachelor eindproject van de TU Delft in samenwerking met het bedrijf IT Motions. De opdracht van dit bedrijf was een prototype te ontwikkelen van Babyshell. BabyShell is een apparaat dat moeders uit derdewereldlanden advies geeft tijdens de zwangerschap en verder helpt met het (op)voeden van hun jonge kinderen tot 5 jaar oud. Het doel hiervan is de kindersterfte in derdewereldlanden terug te dringen. Tijdens de zwangerschap, de geboorte en daarna is er namelijk veel onwetendheid bij moeders in derdewereldlanden over wat er met hen en hun kind gebeurt. Deze onwetendheid is in veel gevallen te verhelpen met een eenvoudig advies aan de moeder. Dit advies kan worden verkregen door een reeks gerichte vragen te doorlopen, waarmee een diagnose gesteld wordt. Het apparaat heeft een relatief lage aanschafprijs zodat het ook voor minder kapitaalcrachtige inkomens aan te schaffen is: de maximumprijs van Babyshell is zes Amerikaanse dollar.

Om de moeder tijdens en na de zwangerschap te informeren, zijn berichten ingeprogrammeerd die om de week getoond kunnen worden. Babyshell geeft dan een alarm zodat het advies ook gelezen wordt. Deze berichten adviseren bijvoorbeeld om een bezoek aan de dokter te brengen of om een belangrijke vaccinatie uit te laten voeren. Deze adviezen zijn onder andere afkomstig van de World Health Organization, net als de IMCI-stroomdiagrammen met gerichte vragen, die in Babyshell opgeslagen zijn. Hiermee kan de gebruiker de veelvoorkomende ziektes oorontsteking, longontsteking en diarree zelf diagnosticeren. Ook heeft Babyshell een thermometer die de temperatuur onder de oksel kan meten. De gemeten temperatuur kan gebruikt worden bij de diagnose.

Al deze zaken kunnen door Babyshell gedurende een periode van minimaal vijf jaar uitgevoerd worden. Om dat te kunnen doen, zijn alle componenten en software op elkaar afgestemd om zo min mogelijk energie te gebruiken.

Deze thesis beschrijft enkele subsystemen van Babyshell, namelijk de manier van tijd bijhouden, de thermometer en de slaapstanden. Om energie te besparen, bevindt Babyshell zich het grootste deel van de tijd in de 'power saving' modus die de minste energie gebruikt. Gedurende die tijd moet de tijd bijgehouden worden met een minimaal energiegebruik met een minimale afwijking. Verder moet Babyshell uit de slaapstand kunnen komen. De laatste taak van dit subteam is een thermometer ontwikkelen waarmee de lichaamstemperatuur onder de oksel gemeten kan worden.

De manier van tijd bijhouden is ontwikkeld door een lijst met keuzes op te stellen en daar op basis van het Programma van Eisen een geschikte keuze uit te maken. Vervolgens zijn in overleg met het hele team van Babyshell de slaapmodi geïmplementeerd. De thermometer is eveneens ontwikkeld door een lijst met keuzes op te stellen en die aan het Programma van Eisen te toetsen.

Op basis van het Programma van Eisen is voor een RTC (Real Time Clock) gekozen. Deze houdt de tijd bij met een maximale afwijking van 10 minuten per jaar. Elke week genereert de RTC een interrupt, waardoor de microcontroller in Babyshell uit de slaapstand komt en een advies aan de moeder geeft. Als er geen veranderingen in de hardware zijn, gaat de microcontroller naar de slaapstand en komt daar weer uit als er veranderingen zijn, bijvoorbeeld als er een knop ingedrukt wordt. Als Babyshell langer dan 60 seconden niet gebruikt wordt, gaat hij weer in de diepste slaapmodus.

De thermometer is in staat om in het temperatuurbereik van 25 tot 50 °C de lichaamstemperatuur onder de oksel met een maximale afwijking van ± 0.5 °C te meten. De temperatuurmeting duurt maximaal 18 seconden.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Verwant onderzoek	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Projectopdracht	5
2.2.1	Functionele specificaties	5
2.2.2	Af te leveren producten	6
2.3	Algemene achtergrond	6
2.3.1	Zwangerschap en geboorte	6
2.3.2	Gezondheid onder de 5 jaar	7
2.3.3	Informatievoorziening aan moeders Afrika	7
2.3.4	Acceptatie van technologie in Afrika	7
2.3.5	Milieuomstandigheden Afrika	7
2.4	Technische achtergrond	8
2.4.1	Besturing en Interface	8
2.4.2	Voeding en PCB	8
2.4.3	Klok, temperatuursensor en slaapmodus	9
2.4.4	Libraries	9
3	Probleemdefinitie	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Programma van eisen	10
4	Beschrijving ontwerpproces en onderbouwing voorgestelde oplossing	12
4.1	Inleiding	12
4.2	Ontwerpproces thermometer	12
4.2.1	Inleiding Thermometer	12
4.2.2	Keuze van de thermometer	12
4.2.3	Uitwerking gekozen optie: componenten	14
4.2.4	Bepaling van de temperatuur	15
4.2.5	Het bouwen van de thermometer	17
4.2.6	Kalibratie	18
4.2.7	Slaapstand tijdens temperatuurmeting	20
4.3	Ontwerpproces RTC en alarm	21
4.3.1	Inleiding RTC	21
4.3.2	Afweging time-keeping	21
4.3.3	Afweging RTC's	21
4.3.4	Implementatie instellen en uitlezen van de tijd	23
4.3.5	Implementatie instellen en uitlezen van de alarmen	23
4.3.6	Implementatie temperatuursensor RTC	24
4.3.7	Implementatie slaapmodi	25
4.3.8	Integratie RTC in Besturing en Interface	26
4.3.9	Notificaties	27
4.3.10	Conclusie	29
5	Behuizing	30
5.1	Verschillende designs	30
5.2	Keuze beste design	30
5.3	Productie	31

6	Ethische meningsvorming over Babyshell	32
7	Kosten	34
8	Resultaten	36
8.1	Inleiding	36
8.2	Resultaten Thermometer.	36
8.3	Resultaten RTC.	36
8.3.1	Resultaten RTC op basis van specificaties van groep Voeding en PCB	36
8.3.2	Resultaten RTC met specificaties van groep Besturing en Interface	37
9	Discussie en aanbevelingen	38
10	Conclusie	39
	Bibliografie	40
A	Atmega328	43
A.1	Verschillende typen slaapmodus	43
A.2	Stroomverbruik van verschillende typen slaapmodus	43
B	DS3231	44
B.1	Registeroverzicht van de DS3231	44
B.2	Mask bits	44
C	Behuizing	46
C.1	Brainstorm behuizingen BabyShell	46
C.2	Brainstorm behuizingen Babyshell tabel	46

1

Inleiding

Ondanks de toegenomen communicatiemogelijkheden wereldwijd is kindersterfte nog steeds een groot probleem, met name in Sub-Sahara Afrika. In West-Afrika en centraal Afrika haalt nog steeds minder dan 1 op 10 kinderen de leeftijd van 5 jaar [1]. Gelukkig hebben er de afgelopen decennia al significante verbeteringen plaatsgevonden op het gebied van medische voorzieningen in dergelijke landen. Vele jonge levens worden gered door projecten als Idylla van Biocartis (die als doel heeft snel en ter plekke een diagnose te kunnen stellen), of mHealth initiatieven die gebruik maken van het GSM netwerk om eigenaars van mobiele telefoons snel en draadloos toegang te geven tot medische diensten. Er is echter nog steeds verbetering mogelijk. Er zijn bijvoorbeeld nog steeds veel mensen in Afrika die geen mobiele telefoon in het bezit hebben [2]. Hoe kunnen zij voorzien worden van noodzakelijke medische informatie en hulp op het gebied van zwangerschap en jong ouderschap op een zo goedkoop mogelijke manier? Voor deze doelgroep zou Babyshell een geschikte oplossing kunnen zijn.

BabyShell is het eerste draagbare elektronische hulpmiddel dat moeders in derdewereldlanden helpt bij hun zwangerschap en het opvoeden van hun kinderen tot 5 jaar oud. Het apparaat is niet afhankelijk van het elektriciteitsnetwerk en kost aan componenten minder dan zes dollar om de aanschafdrempel zo klein mogelijk te maken. Dit zorgt ervoor dat het apparaat door iedereen en overal te gebruiken is. Als de gebruiker doorheeft dat er iets met het kind niet in orde is, kan hij door middel van diverse gerichte vragen naar een diagnose geleid worden of het advies krijgen om toch medische hulp in te roepen. Verder geeft BabyShell regelmatig adviezen en herinneringen aan de gebruiker, bijvoorbeeld om de status van de zwangerschap te laten controleren of om een vaccinatie te laten uitvoeren. Het is eveneens mogelijk om met Babyshell de lichaamstemperatuur te meten, dit kan ook gebruikt worden voor de diagnose.

Babyshell is ontwikkeld in een team van zes personen, die weer onderverdeeld zijn in subgroepen van twee personen. Elke subgroep schrijft een eigen thesis, er is dus wat het project betreft een onderverdeling gemaakt in drie subonderwerpen:

1. Voeding en PCB
2. RTC en Thermometer
3. Besturing en Interface

Deze thesis is geschreven door het tweede team, hierin zullen dus de manier van tijd bijhouden, de thermometer en de slaapstanden behandeld worden. In hoofdstuk 3 zal het deelprobleem belicht worden, waarna er specificaties voor dit deelprobleem opgesteld worden. Daarna zal vanuit deze specificaties een verwant onderzoek getoond worden, waarin de achtergrond van het project behandeld wordt. Verder zullen de ontwerpprocessen van de klokmodule, de slaapstandmodule en de thermometer beschreven worden. In deze thesis zal ook nog ingegaan worden op de behuizing van BabyShell, zie hoofdstuk 5. Daarna zullen de resultaten van de uitwerking van het deelprobleem en een conclusie gegeven worden. Er is ook nagedacht over de ethische vraagstukken die bij Babyshell op kunnen treden, deze ethische meningsvorming is opgenomen in hoofdstuk 6.

2

Verwant onderzoek

2.1. Inleiding

Het verwant onderzoek gaat in op het onderzoek dat nodig is om BabyShell als geheel te kunnen maken. Hierbij zal eerst ingegaan worden op de projectopdracht zelf en de functionele specificaties die daaraan hangen. Dan zal de algemene achtergrond van BabyShell belicht worden, waarin vooral ingegaan wordt op de sociale, medische en klimatologische achtergronden. Als laatste wordt in de technische achtergrond de projectopdracht middels een blokschema uiteengegafd en de verdeling in drie subgroepjes gemaakt.

2.2. Projectopdracht

Zoals al in de inleiding is besproken zal er een apparaat moeten worden ontworpen dat als doel heeft het helpen van zwangere vrouwen en jonge moeders in derdewereldlanden. Door het doorlopen van vragenlijsten in het systeem kan de gebruiker tot een mogelijke diagnose komen bij verschillende medische problemen. Ook zal het apparaat herinneringen moeten geven als het tijd is voor vaccinaties of een doktersbezoek voor verschillende kinderen. Met een temperatuursensor die gebruikt kan worden om lichaamstemperatuur te meten en een agendafunctie krijgt het apparaat toegevoegd praktisch nut. In overleg met de opdrachtgever zijn de volgende functionele specificaties opgesteld en een product gedefinieerd.

2.2.1. Functionele specificaties

De specificaties in deze paragraaf zijn de functionele specificaties zoals ze afgesproken zijn met de opdrachtgever.

- BabyShell is gedurende de levensduur onafhankelijk van het stroomnet en kan minstens 1 uur buiten de zon gebruikt worden bij een volle batterij.
- De levensduur van het apparaat is minstens 4 jaar.
- Het hoofdmenu bestaat uit minstens de twee onderdelen:
 1. Medical (met daaronder de twee subonderdelen "Pregnancy" en "New born")
 2. Klok
- Wanneer "Pregnancy" wordt gekozen, moet eenmalig de datum van de laatste menstruatie ingevoerd worden. BabyShell moet dan op basis van de opgeslagen tijd de weken bij gaan houden en de moeder wijzen op prenataal doktersbezoek. BabyShell moet ook wekelijks medische adviezen geven die toepasselijk zijn in die zwangerschapsperiode van de websites babycentre.com[3] en van thebump.com[4]. Ook moet BabyShell de gebruiker wijzen op de vier prenatale doktersbezoeken (Antenatal Care visits of ANC's) van de World Health Organization[5].

- Wanneer "New born" wordt gekozen, moet eenmalig de geboortedatum ingevoerd worden. Volgens moeten er vaccinaties herinneringen voor kinderen tot 3 jaar gegeven worden volgens het US Department of Health and Human Services schema [6].
- Onder "New born" moet ook een kopje zijn met "Diagnosis" waar de flowcharts geïmplementeerd worden voor de herkenning van longontsteking, oorinfecties en diarree met behulp van input van de gebruiker. Op basis van deze diagnose geeft BabyShell een medisch advies of verwijst naar een medische post.
- BabyShell is een draagbaar apparaat met een gewicht van minder dan 500 gram en past in een doos van maximaal 100x100x20mm en minimaal 40x40x5mm.
- Het is mogelijk om de software van de BabyShell te updaten met een computer.
- De materiaalkosten van deze versie van BabyShell mogen niet meer dan \$6 bedragen.
- Een thermometer, geïntegreerd in de BabyShell, maakt het mogelijk voor de gebruiker om de lichaamstemperatuur onder de oksel te meten en te gebruiken bij de diagnose.
- De behuizing van Babyshell moet in verband met hygiëne schoon te maken zijn met een doek met water en/of alcohol en is spatwaterdicht.
- BabyShell moet gegevens van tot en met 5 kinderen bij kunnen houden en per kind tijdsafhankelijke adviezen kunnen geven.
- BabyShell moet per kind een resetfunctie hebben om in het geval van foute of gedateerde invoer te kunnen resetten.

2.2.2. Af te leveren producten

In de oorspronkelijke opdracht van de opdrachtgever werd duidelijk gezegd dat BabyShell op zonne-energie zal moeten werken. Na wat korte berekeningen en overleg kwam er echter al snel naar voren dat een versie zonder zonnecel die alleen op een batterij werkt wellicht een betere optie is vanuit een prijstechnisch opzicht. Er werd daarom besloten dat het groepje van Voeding, batterij management en PCB ontwerp allebei de versies maakt. Om de gebruiker tijdig herinneringen te kunnen sturen is in overleg met de opdrachtgever besloten om BabyShell te voorzien van een realtime clock.

2.3. Algemene achtergrond

In de onderstaande sectie wordt eerst de medische achtergrond van BabyShell behandeld, die uiteraard valt in de periode rond de zwangerschap en de geboorte en de tijd van kinderen onder de vijf jaar. Daarna wordt meer de sociale kant van het gebruiken van een apparaat in Afrika belicht.

2.3.1. Zwangerschap en geboorte

Zoals al in de inleiding uitgelegd is, vormt kindersterfte een groot probleem in West- en Centraal Afrika. De Verenigde Staten hebben als doel gesteld om in 2030 kinder- en moedersterfte met twee derde terug te dringen ten opzichte van 2010[7]. De meeste moedersterfte komt volgens de WHO door bloedingen (zware bloedingen tijdens de zwangerschap of arbeid), abortus, sepsis (bloedvergiftiging) en hypertensieve aandoeningen (hoge bloeddruk)[8]. Na de bevalling komt anemie (de afname van de rode bloedcellen) voor, een ziekte die een dodelijk verloop kan hebben. Deze ziekte kan ontstaan door inadequate inname via de voeding, parasitaire infectie of malaria [9].

De gezondheid van de moeder en die van het kind zijn nauw gerelateerd. Veel babysterfte kan afgewend worden door te letten op werk tijdens de zwangerschap en tijdens het geboorteproces[8]. Zorg tijdens de bevalling, het beheren van hypertensieve ziekten en obstetrische bloeding is een hoge prioriteit voor het verminderen van de mortaliteit van de baby's rond de geboorte in lage- en middeninkomens landen. [10]. Ook het creëren van goede geboortecomstandigheden is essentieel. Voorbeelden zijn steriele instrumenten, maar ook iets eenvoudigs als het wassen van de handen met water en zeep. [9]

2.3.2. Gezondheid onder de 5 jaar

Kinderen onder de vijf jaar zijn het meest gevoelig voor ziektes. De ziektes die het meest voorkomen zijn acute infecties aan de luchtwegen, diarree, infecties van de huid en koorts[11]. De belangrijkste oorzaken van de dood van de kinderen onder de vijf jaar zijn vroeggeboorte complicaties, longontsteking en complicaties tijdens de bevalling. De helft van de reductie van alle onder de vijf sterfgevallen 2000-2013 waren door vermindering van longontsteking, diarree en mazelen. Oorzaken die zijn aangeboren, prematuur, neonatale sepsis en verwondingen tonen de minste mate van verbetering[12].

Integrated Management of Childhood Ziekte (IMCI) is een strategie ontwikkeld door de WHO om systematisch de gezondheid van kinderen verbeteren en de kindersterfte te verminderen. Het is samengesteld uit drie delen: het verbeteren van de vaardigheden van zorgverstrekkers, de verbetering van de gezondheidszorg en gemeenschap om familie te verbeteren. Het richt zich op voorkomende doodsoorzaken in de derdewereldlanden zoals malaria, longontsteking, diarree, mazelen, HIV en ondervoeding.[13]. De IMCI-handleidingen die gebruikt worden voor BabyShell vormen een handreiking om veel voorkomende ziektes zelf te diagnosticeren[14].

De uitvoering van dit systeem wordt geconfronteerd met een aantal problemen. Gezondheidswerkers moeten een 11-daagse training volgen, waarbij ze afwezig zijn bij hun normale baan terwijl de kosten voor deze opleiding zijn relatief hoog zijn[13]. Dit resulteert in een lage opleidingsgraad onder gezondheidswerkers. Andere problemen zijn onder meer een zwakke geloof van de lokale bevolking in het belang van het systeem, een tekort aan medicijnen en andere benodigdheden en een gebrek aan nascholing[15][16].

2.3.3. Informatievoorziening aan moeders Afrika

De huidige toestand is dat moeders in Afrika medisch advies krijgen van gezondheidsmedewerkers, waar echter een relatief groot tekort aan is[17]. Bovendien is de afstand tot een ziekenhuis vaak groot[18] en kunnen levens ook gered worden met eenvoudige tips[19][20][21]. Nu worden deze problemen ook opgelost met mobiele telefoon services(SMS)[22] of worden opgezet door bedrijven als Vodafone[23] en bereikt goede resultaten[24]. Het probleem hiervan is dat niet iedereen een mobiel bezit [25] en wanneer die persoon er toch een heeft, is de batterij vaak leeg door een falend elektriciteitssysteem[26]. Bovendien zijn de SMS kosten ook niet te negeren[27].

2.3.4. Acceptatie van technologie in Afrika

De acceptatie van mobiele technologieën is groter dan in Europese landen gedacht wordt [28]. Afrika rond de Sahara vormt de snel groeiende markt voor mobiele technologie [29]. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de acceptatie voor een apparaat als BabyShell ook hoog zal zijn en een hoge penetratie op de Afrikaanse markt bereikt kan worden.

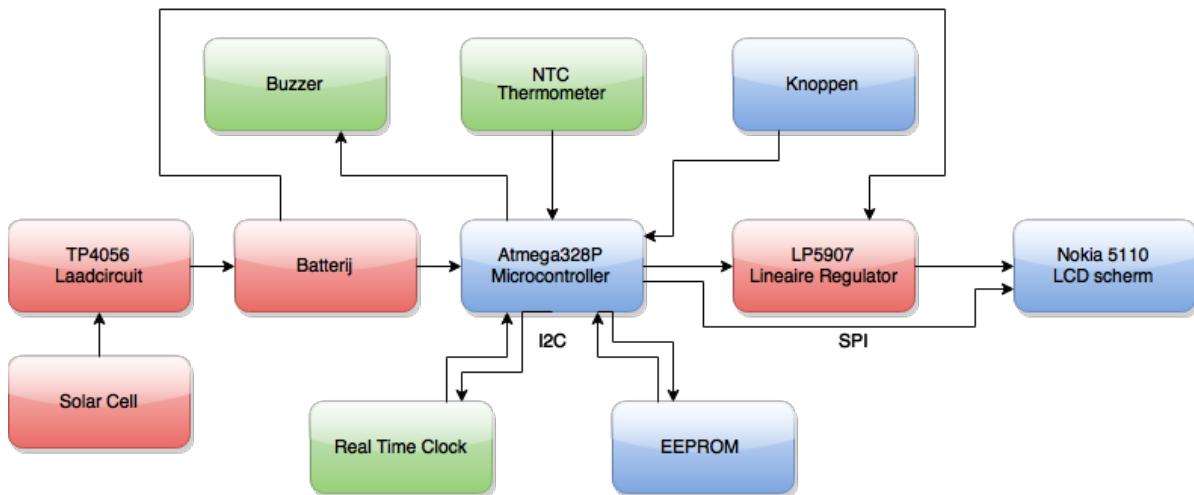
2.3.5. Milieuomstandigheden Afrika

Wanneer er een apparaat in Africa ingezet zal worden moet rekening gehouden worden met de relatief hoge luchtvochtigheid van 60 tot 80 %[30]) en de relatief hoge gemiddelde temperatuur van 25-35°C[31]). Dit geeft uitdagingen op het gebied van het effect van luchtvochtigheid op elektronica, externe connectors en een robuuste en stofdichte behuizing[32]. Het belangrijkste is dus het testen van het product onder alle omstandigheden [33]. In deze thesis zal later nog ingegaan worden op de behuizing.

2.4. Technische achtergrond

Zoals al eerder gezegd dient er dus een apparaat ontworpen dat zonder voeding vier jaar werkt op een zonnecel of batterijen met een scherm, knoppen, alarmfunctie en klok. Bij het kiezen van de subgroepen werd snel de keuze gemaakt voor een groep Voeding en een groep voor Menu en Interface. De overige elementen als klokmodule, thermometer en behuizing zijn bij de groep RTC en thermometer gevoegd. Het blokschema van BabyShell als geheel staat in figuur 2.1.

Het systeem is opgedeeld in groene, blauwe en rode blokken. De blauwe blokken in figuur 2.1 bij Besturing en Interface ingevoegd. De rode blokken stellen Groep Voeding en PCB voor die alle onderdelen van de voeding, waaronder het laadcircuit, batterij en regulator en de PCB op zich neemt. De groene blokken in figuur 2.1 zijn bij groep RTC en Thermometer gevoegd. De behuizing als geheel is niet in deze figuur te vatten, maar zal door onze groep gedaan worden. In de onderstaande tekst wordt het blokschema nader toegelicht. Zoals in de inleiding al toegelicht is, is onze groep verantwoordelijk



Figuur 2.1: Blokschema Babyshell

voor de hardware en de software van de klokmodule en de thermometer. Daarbij is zij ook verantwoordelijk voor de software die de standby- en de sleepmodus regelt en het regelen van de alarmen. Nu zal kort per groep een beschrijving gegeven worden van de activiteiten.

2.4.1. Besturing en Interface

De groep Besturing en Interface heeft zich het grootste gedeelte van de tijd bezig gehouden met het implementeren van alle menustructuren binnen BabyShell. Het scherm communiceert via SPI. Alle teksten die op het scherm van BabyShell verschijnen zijn opgeslagen in een EEPROM op de PCB dat aangestuurd wordt over I²C. Aangezien deze groep relatief veel I/O pinnen nodig heeft van de Atmega328 is het voor hen belangrijk om hier zo efficiënt mogelijk mee om te gaan. Door bijvoorbeeld 5 knoppen op dezelfde pin aan te sluiten kunnen zij ervoor zorgen dat er genoeg pinnen overblijven voor de andere teams[34]. Ook is deze groep de grootste gebruiker van het werkgeheugen in de microcontroller.

2.4.2. Voeding en PCB

De groep Voeding en PCB-ontwerp heeft zich bezig gehouden met de stroomvoorziening en de PCB van BabyShell. In de oorspronkelijke opdracht van de opdrachtgever werd duidelijk gezegd dat BabyShell op zonne-energie zal moeten werken. Na wat korte berekeningen en overleg kwam er echter al snel naar voren dat een versie zonder zonnecel die alleen op een batterij werkt wellicht een betere optie is vanuit een prijstechnisch opzicht. Er werd daarom besloten dat het groepje van Voeding, batterij management en PCB ontwerp twee producten zou afleveren:

1. Een BabyShell die gevoed wordt vanuit een oplaadbare accu. Deze accu wordt opgeladen wanneer BabyShell zich in zonlicht bevindt.

2. Een BabyShell die gevoed wordt vanuit een niet oplaadbare batterij. Bij de productie moet dan een voldoende grote batterij toegevoegd worden. Voor meer info wordt de lezer verwezen naar de thesis over dit onderwerp [35].

Belangrijk voor de groep RTC/thermometer/sleepMode is de voedingsspanning voor de klokmodule. Wanneer BabyShell uit de slaapmodus komt, dient gemeten te worden of de voedingsspanning hoog genoeg is en zo niet dient het apparaat direct weer in de slaapmodus te gaan. Voor meer informatie over de voeding verwijzen we opnieuw naar de thesis van deze groep [35].

2.4.3. Klok, temperatuursensor en slaapmodus

Deze thesis gaat over de klokmodule, de temperatuursensor en de slaapmodus. Om na een week de gebruiker te informeren dat een advies gelezen dient te worden is bovendien een buzzer geïmplementeerd. Vanwege het feit dat de designkeuzes voor de klokmodule en de thermometer op een later moment in deze thesis gedaan worden, kan hier nog niet ingegaan worden op de hard- en software eisen vanuit de groep RTC aan de andere groepen.

2.4.4. Libraries

Eerder deze thesis is een keuze gedaan om zo weinig mogelijk libraries te gebruiken. Voor de groep RTC en Thermometer zullen de volgende libraries noodzakelijk zijn.

- De library Wire.h wordt gebruikt om I²C communicatie te gebruiken. Deze library wordt bij de andere groepen ook gebruikt om te communiceren met de EEPROM.
- De avr/sleep.h library wordt gebruikt om de power modes van de Atmega328 in te stellen.
- De library avr/power.h wordt gebruikt om de ADC en brownout detectie uit te kunnen schakelen.
- De library acr/wdt.h wordt gebruikt om de watchdog timer te kunnen gebruiken wanneer de thermometer aan het meten is.
- Een handige library is DebugUtils.h, waarmee in plaats van de gewone Serial.print niet alleen tekst geprint kan worden, maar ook de programmatijd, huidige functie in het programma en regelnummer. Hiermee is bij het debuggen precies te bepalen waar het programma faalt, vastloopt of een memory leak heeft. Wanneer het commando #define DEBUG neergezet wordt, worden de debug tekst over RX/TX naar de computer verstuurd. Wanneer dit commando uitgecomment wordt, zal er niets geprint worden.
- De library om interrupts op meerdere pinnen af te kunnen handelen heet PinChangeInt.h. Alle interrupts die gegenereerd worden dienen verbonden te worden met port C van de Atmega328. Port C van de Atmega328 op de PCB heeft 8 pinnen en wordt in ons geval gebruikt voor de interrupts van de knoppen en de real time klok.

3

Probleemdefinitie

3.1. Inleiding

In het vorige hoofdstuk is de bredere achtergrond van BabyShell in het algemeen en groep RTC in het bijzonder geschetst. Van daaruit is het het probleemstelling van deze thesis als volgt gedefinieerd: Het hoofdprobleem van deze thesis is het implementeren van een tijdselement en een temperaturelement binnen de kaders van BabyShell. De *kaders* houden het budget, afmetingen en de hardware van de andere subgroepen in. Aan de hand van de functionele specificaties in het voorgaande hoofdstuk zijn onderstaande technische specificaties voor de groep RTC/thermometer/slaapmodus opgesteld.

3.2. Programma van eisen

Aan de hand van de functionele specificaties is een aantal typen specificaties opgesteld. In de eisen vanuit het beoogde gebruik wordt gekeken welke eisen voor de gebruiker vanuit groep RTC relevant zijn. In de eisen vanuit de ecologische situering wordt gekeken naar de eventuele ecologische eisen voor groep RTC. Eisen met betrekking tot het te ontwerpen systeem zelf gaat meer over de bijdrage aan de software voor BabyShell zelf, dus de interactie tussen de subteams. Vervolgens zal nog worden ingegaan op de eisen vanuit de bedrijfsstrategische, marketing- en verkooptechnische redenen.

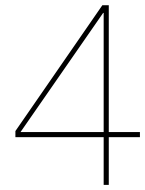
1. Eisen vanuit het beoogde gebruik

- 1.1 De temperatuursensor moet uitgelezen worden door middel van een functie die globaal beschikbaar is in het programma.
- 1.2 De thermometer heeft een bereik van 25 tot 50 °C en heeft in dat bereik een nauwkeurigheid van +/-0.5 °C.
- 1.3 De thermometer met afmetingen niet groter dan 20x20x20mm moet de temperatuur onder de oksel binnen 40 seconden kunnen meten.
- 1.4 Tijdens de temperatuurmeting moet de microcontroller in slaapstand gaan door middel van een functie die globaal beschikbaar is. Deze slaapstand/temperatuurmeting moet onderbroken kunnen worden met een knop van BabyShell.
- 1.5 De klokmodule moet de tijd bijhouden in jaar, maand, dag, uur, minuut en seconde met een afwijking van maximaal 10 minuten per jaar.
- 1.6 De huidige tijd moet uitleesbaar zijn met een functie en te tonen zijn op het scherm.
- 1.7 Wanneer Babyshell langer dan 1 minuut niet gebruikt wordt, gaat het hele systeem naar de laagste low power mode van de microcontroller. De module die de tijd bijhoudt, is in staat om de microcontroller uit die modus te laten gaan.
- 1.8 Om Babyshell notificaties te laten geven, moet de module die de tijd bijhoudt Babyshell aan kunnen zetten.
- 1.9 Babyshell moet een klokfunctie in het menu hebben waarop de gebruiker de huidige datum en tijd af kan lezen in de vorm HH-MM en DD-MM-YYYY.

2. Eisen vanuit de ecologische situering van het systeem in de omgeving
 1. De behuizing van Babyshell past in een doos van maximaal 100x100x20mm.
 2. De behuizing van Babyshell moet in verband met de hygiene schoon te maken zijn met een doek met water en/of alcohol en is spatwaterdicht.
3. Eisen met betrekking tot het te ontwerpen systeem zelf
 - 3.1. Gebruikskkenmerken
 - 3.1.1. De hardware die gebruikt wordt om de temperatuur te meten gebruikt in het temperatuurbereik en in het spanningsbereik van 3.0-4.2V maximaal 50 μ A.
 - 3.1.2. De thermometer mag maximaal 40 seconden doen over het meten van de temperatuur. (Deze tijd is afgeleid van een koortsthermometer.)
 - 3.1.3. De microcontroller in Babyshell staat standaard in een sleep mode en gaat naar de actieve modus door een interrupt van de klokmodule.
 - 3.1.4. Het stroomverbruik van de RTC mag maximaal 100 μ A zijn tijdens gebruik en niet meer dan 3 μ A zijn tijdens de slaapmodus.
 - 3.1.5. Het eerste wat gedaan moet worden wanneer BabyShell in Active Mode komt, is het checken van batterijniveau met de functie `powerMode()`; . Wanneer de spanning te laag is, dient BabyShell direct weer in longSleep te gaan.
 - 3.1.6. De tijd is in te stellen met een functie `setTime()`, waarbij de waarden van de globals `second`, `minute`, `hour`, `dayofweek`, `dayofmonth`, `month` en `year` in de klok ingesteld worden.
 - 3.1.7. De klokmodule moet uitgelezen kunnen worden met de functie `readTime()`, waarbij de waardes geschreven worden in de eerder genoemde globals.
 - 3.1.8. Babyshell heeft een timeout functie die het hele systeem na 1 minuut inactiviteit uitschakelt en de microcontroller in de laagste low power mode zet.
 - 3.1.9. Eens per week geeft de klokmodule een interrupt, waarbij er een notificatie op het scherm weergegeven zal worden. Als deze notificatie gegeven wordt, gaat er een zoemer af. Deze zoemer is maximaal twee seconden actief.
 - 3.1.10. Groep RTC moet 38 notificaties aanleveren die aan de moeder tijdens de zwangerschap gegevens worden met een maximale lengte van 120 karakters (inclusief spaties). De inhoud van de notificaties moet komen van [Babycentre.com](#) [3], [thebump.com](#)[4] en de [World Health organisation Antenatal Care visits](#) [5]. Ná de geboorte moet de klokmodule een interrupt genereren op basis van een vacciatieschema van [cdc.com](#) [6].
 - 3.2. Productie- en ingebruikstellingskenmerken
 - 3.2.1. BabyShell moet een menuoptie bij settings hebben waar de huidige tijd en datum ingesteld kunnen worden.
 - 3.2.2. Wanneer BabyShell geassembleerd, moet de RTC zonder initialisatie of kalibratie zijn werk kunnen doen.

Eisen met betrekking tot het te ontwikkeling productiesysteem en liquidatiesysteem gaan meer over BabyShell na dit project, deze zullen vooral door de opdrachtgever in beschouwing moeten worden genomen en zullen hier niet in detail besproken worden.

4. Eisen vanuit bedrijfsstrategische, marketing- en verkooptechnische omstandigheden
 1. BabyShell als geheel mag niet meer dan \$6 kosten.
 2. BabyShell moet een goede temperatuursensor hebben om als marketingargument in Afrika te kunnen dienen.
 3. De onderdelen nodig voor BabyShell moeten een zo laag mogelijke prijs hebben. Bij het implementeren van de temperatuursensor en de klokmodule zal dit een hoge prioriteit hebben.
 4. De klokfunctie moet zodanig goed zijn dat de klokfunctie als marketingargument kan dienen.



Beschrijving ontwerpproces en onderbouwing voorgestelde oplossing

4.1. Inleiding

Ons ontwerpproces valt uiteen in twee onderdelen: de bouw en het testen van de thermometer en de implementatie van de real time clock, de alarmen en de slaapmodus. Die twee onderwerpen zullen dan ook afzonderlijk behandeld worden.

4.2. Ontwerpproces thermometer

4.2.1. Inleiding Thermometer

Volgens de specificaties moet Babyshell een thermometer bevatten. In het geval van Babyshell zijn voor een thermometer diverse mogelijkheden, deze zullen in dit hoofdstuk worden toegelicht. Daarna zal er op basis van het programma van eisen een gewogen keuze gemaakt worden. Vervolgens zal beschreven worden hoe deze keuze is uitgewerkt en wat daarvan de resultaten zijn.

4.2.2. Keuze van de thermometer

Er zijn diverse opties aan thermometers, deze verschillen in prijs en functionaliteit. Deze opties zullen nu eerst besproken worden.

Sensor: nauwkeurigheid

De temperatuur kan gemeten worden met een negatieve temperatuur coëfficiënt (NTC) weerstand, die in het vervolg NTC genoemd zal worden. Deze oplossing bestaat uit goedkope componenten die de prijs laag houden ten opzichte van het beschikbare budget (\$0.45-\$0.55).¹ De NTC kost bijvoorbeeld \$0.07[36], slechts 13% van het budget van de sensor. De temperatuur van de NTC kan afgelezen worden met de 10-bit ADC van de Atmega328 en een vaste weerstand.

Een andere mogelijke component is de DS18B20 sensor. Dit is een digitale sensor met een eigen 12-bit ADC[37]. Het voordeel van de DS18B20 ten opzichte van de NTC is dat deze een digitale interface heeft, terwijl bij de NTC de digitalisatie zelf moet worden gedaan met behulp van een andere vaste weerstand en een aanwezige ADC.

Als derde hardwareoptie is er nog de infraroodgevoelige MLX90614 temperatuursensor, die contactloos kan meten. Het voordeel van deze sensor is dat er aan hardware weinig zelf gedaan hoeft te worden, hij hoeft alleen gesoldeerd te worden. Bovendien heeft hij ten opzicht van de andere opties een hoge resolutie van 17 bits[38], een nadeel van deze sensor is de relatief hoge prijs.

Temperatuuroverdracht van de huid naar de sensor

De temperatuursensor kan geïntegreerd worden in Babyshell of in een externe huls zitten die met een kabel aan Babyshell vastzit. De dikte van de huls wordt geschat op 0.25 millimeter op basis van de

¹De prijzen kunnen niet als harde prijzen gebruikt worden omdat de prijzen en voorraden op websites als aliexpress.com en alibaba.com veranderd kunnen zijn op het tijdstip dat deze thesis gelezen wordt. De genoemde prijzen kunnen dus hoogstens als een goede indicatie worden gezien. Dit geldt ook voor alle volgende prijzen die in de thesis voorkomen.

standaard koortsthermometer. Als de sensor geïntegreerd wordt in de behuizing moet de DS18B20 of NTC onder een thermisch geleidende metalen plaat bevestigd worden. Voor een snelle temperatuurmeting is het belangrijk dat de metalen plaat de warmte goed geleidt. Metalen met een goede warmtegeleiding zijn aluminium en koper. De gemiddelde warmtegeleiding van aluminium is 204 -249 W/mK, die van koper is 385 tot 353 W/mK. Koper is geen logische keuze omdat de standaard oxidatie bij koper het koper zelf aantast: de warmtegeleiding verslechtert over de tijd. Bij aluminium maakt de oxidatie het materiaal juist harder, waardoor het aluminium wel altijd consistente metingen blijft produceren.

Aan de binnenkant van de plaat moet de NTC of DS18B20 vastgelijmd worden, het contactoppervlak daarvan is maximaal 5 bij 5 millimeter. Om de aluminium plaat zelf ook te kunnen bevestigen, moet de plaat dus daarbuiten uitsteken. Een eerste aanname is dat de plaat dan 10 bij 10 millimeter moet zijn. Op basis van deze maat is de prijs maximaal \$0.01 aan materiaalkosten.

Voor de warmtegeleiding in J/s geldt de volgende formule:

$$P_{aluminium} = \frac{kA(T_{hot} - T_{cold})}{d} \quad [W] \quad (4.1)$$

met k de thermische geleiding, A het oppervlak waar de warmte doorheen gaat en d de dikte van de plaat. Voor warmteoverdracht in joule (dus de hoeveelheid energie) door geleiding geldt:

$$E_{aluminium} = mc(T_{hot} - T_{cold}) \quad [J] \quad (4.2)$$

met m de massa van het aluminium en c de specifieke warmte.

Aan beide vergelijkingen is te zien dat een grotere oppervlakte voor een betere energieoverdracht zorgt (in vergelijking 4.2 is die verwerkt in de massa van de plaat). Echter, het contactoppervlak van de NTC heeft een vaste grootte. Er bestaat een grootte van de metalen plaat waarbij de opwarmtijd het kortst is, de metalen plaat voert namelijk continu warmte af via het oppervlak dat niet aan de NTC gelijmd zit. Aan de vergelijkingen is ook te zien dat de dikte van de plaat geoptimaliseerd moet worden: de dikte d staat in vergelijking 4.1 onder de breukstreep en in vergelijking 4.2 erboven, verwerkt in de massa van de plaat. Voor de warmtegeleidende lijm is de hoeveelheid lijm die nodig is voor één Babyshell \$0.025 als één druppel wordt gebruikt². De MLX90614 heeft geen contact nodig om de temperatuur over te dragen.

Gebruiksgemak, betrouwbaarheid, waterdichtheid en robuustheid

Door de metalen plaat in Babyshell te integreren, wordt de sensor robuuster dan wanneer een externe kabel gebruikt zou worden. Een kabel zou immers kunnen afbreken of eraf getrokken kunnen worden. Bovendien kan Babyshell waterdicht worden wanneer de plaat rondom vastgelijmd wordt. Een kabel met geïntegreerde NTC of DS18B20 in een waterdichte probe is echter hygiënischer en handiger in het gebruik omdat Babyshell zelf dan niet onder de oksel komt. Een externe probe kan ook zelf gebouwd worden, het is echter onzeker of het bouwproces de kwaliteit ten goede komt omdat Babyshell zeer waarschijnlijk door minder gekwalificeerd personeel in elkaar gezet gaat worden. Daarom krijgt zelf bouwen bij een externe probe een lage waardering. De MLX90614 sensor is eenvoudig in het gebruik, even boven de huid houden is genoeg om de temperatuur te meten. Daarom krijgt de MLX90614 een hogere waardering als gekeken wordt naar gebruiksgemak dan de probe. De probe is weer gemakkelijker gebruiken dan de geïntegreerde thermometer omdat daarvoor de hele Babyshell onder de oksel gehouden moet worden.

Samenvatting en weging van alle keuzes in tabelvorm

De opties in de vorige paragrafen zijn samengevat in tabel 4.1. Elke soort thermometer krijgt bij elke eigenschap een weging van 1 tot 3:

1. Deze eigenschap is in mindere mate aanwezig en vraagt grote aandacht als de optie daadwerkelijk gekozen wordt
2. Eigenschap is in een basale vorm aanwezig

²Deze kosten zijn berekend op basis van een samengevoegde hoeveelheid van 400 gram twee componenten lijm[39], uitgaande van een dichtheid van 1.75kg/L en de standaard druppelgrootte van 0.05 mL.

3. Eigenschap is aanwezig/ van goede kwaliteit

Voor de prijs is een zwaardere weging gebruikt omdat dat een speerpunt van Babyshell is. Omdat de thermometer van \$0.45-\$0.55 mag kosten, gebruiken daarvoor de volgende weging:

- **<\$0.45:** + 2 punten
- **\$0.45-\$0.55:** geen aftrek
- **\$0.55-\$1.00:** - 2 punten
- **>\$1.00:** - 4 punten

Optie	Prijs	Robuustheid	Betrouwbaarheid zelf bouwen	Waterdicht	Nauwkeurigheid	Gebruiksgemak	Totaal
Externe probe met kabel, rvs huls en daarin NTC, kant en klaar	\$0,61 -2	2	3	3	2	2	10
Externe probe met kabel, rvs huls en daarin DS18B20, kant en klaar	\$1,21 -4	2	3	3	3	2	9
Externe probe met kabel, rvs huls en daarin ingebouwde NTC, zelf bouwen	\$0,55 +0	1	1	1	1	2	6
Externe probe met kabel, rvs huls en daarin ingebouwde DS18B20, zelf bouwen	\$1,25 -4	1	1	1	3	2	4
Interne infrarood temperatuursensor (MLX90614)	\$5,71 -4	3	3	2	3	3	10
Interne NTC weerstand aan metalen plaat op de Babyshell zelf voor meten onder de oksel	\$0,10 +2	3	2	3	1	1	12
Interne DS18B20 aan metalen plaat op de Babyshell zelf voor meten onder de oksel	\$0,75 -2	3	2	3	2	1	9

Tabel 4.1: Keuzetabel. De prijzen zijn bepaald op websites als aliexpress.com en alibaba.com met in achtname van eventuele verzendkosten. De prijzen zijn nagekeken op 5 juni 2015.

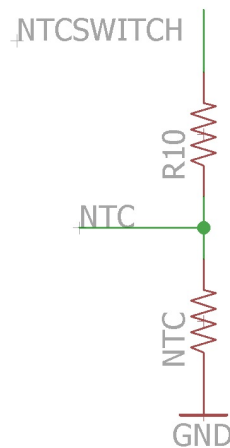
Als naar de tabel gekeken wordt, is de aluminium plaat met NTC de meest logische optie omdat deze optie de hoogste punten haalt volgens de vooraf gekozen weging.

4.2.3. Uitwerking gekozen optie: componenten

In paragraaf 4.2.2 is gekozen om een aluminium plaat met NTC te gebruiken als thermometer. In deze paragraaf zal kort stilgestaan worden bij de afzonderlijke componenten van de gekozen thermometer, om daarna in de volgende paragrafen stil te staan bij de uitlezing en kalibratie. In paragraaf 4.2.3 zal beschreven worden hoe de weerstand van de NTC wordt bepaald, waarna in paragraaf 4.2.4 de conversie van weerstand naar temperatuur beschreven zal worden.

Circuit

Omdat een NTC een variable weerstand is, kan deze uitgelezen worden door de spanningsdeling te gebruiken met een vaste weerstand. Het circuit wordt dan gevoed met een pin van de microcontroller om energie te besparen wanneer de thermometer niet gebruikt wordt. Het circuit kan dan relatief eenvoudig blijven, zie afbeelding 4.1.



Figuur 4.1: Circuit van de thermometer

Om energie te besparen wanneer de thermometer niet nodig is, wordt het circuit gevoed door een pin van de Atmega microcontroller. Deze pin heet in figuur 4.1 NTCSWITCH en zal de voedingsspanning schakelen om de thermometer aan te zetten.

Omdat Babyshell goedkoop moet zijn, is de meest gangbare NTC gekozen om de prijs voor toekomstige massaproductie laag te houden. Een gangbare NTC is de NTC met een weerstand van 10 k Ω bij 25 °C. De SAR ADC van de Atmega328 is ook geoptimaliseerd voor analoge signalen met een uitgangsimpedantie van 10 k Ω of minder[40].

Volgens de specificaties mag de thermometer in het hele bereik niet meer dan 50 μ A aan stroom trekken. Bij 50 °C is de weerstand van een geteste NTC 3605 Ω [41]. Volgens het team van de voeding is de voedingsspanning maximaal 4.2V, daaruit is te berekenen dat de waarde van de vaste weerstand minimaal 80.4 k Ω moet zijn. De uiteindelijke gekozen waarde van R_{10} zal afhangen van de verkrijgbare SMD weerstanden.

Om de nauwkeurigheid van ± 0.5 °C te halen, is het nodig dat weerstanden met de juiste toleranties gekozen worden. Dit zal in paragraaf 4.2.4 gedaan worden, als beschreven is hoe de omzetting van weerstand naar temperatuur gebeurt.

Thermisch geleidende lijm

De NTC moet op de aluminium plaat vastgemaakt worden, maar de temperatuur moet ook overgebracht worden naar de NTC. Daartoe is thermisch geleidende lijm een goede keuze. Voor het prototype is hier Circuitworks Conductive Epoxy[42] voor gebruikt, dit is niet alleen warmtegeleidend maar ook elektrisch geleidend. Waarschijnlijk geldt dit ook voor de lijm in de uiteindelijke versie van Babyshell, er moet dus een NTC geselecteerd worden met geïsoleerde aansluitpennen vlakbij de behuizing zelf zodat er geen elektrisch contact gemaakt wordt tussen de pennen. De dikte van de lijm tussen NTC en metalen plaat moet zo dun mogelijk zijn, want de lijm heeft een thermische geleiding van 1.6 W/mK, veel kleiner dan die van aluminium.

Metalen plaat

Omdat de aluminium plaat de meting vertraagt (de plaat heeft een thermische massa en moet zelf eerst opgewarmd worden), zijn er bepaalde eisen aan de plaat volgens de beredeningen en vergelijkingen in paragraaf 4.2.2. Een voorbeeld van hoe de metalen plaat gemonteerd zou kunnen worden is te vinden in afbeelding 4.4. Hierbij is de metalen plaat gebogen om een hoekje van Babyshell zodat er geen scherpe randen ontstaan.

4.2.4. Bepaling van de temperatuur

Om de temperatuur te bepalen, moet eerst de weerstand van de RTC bepaald worden, daarna moet uit deze weerstand de temperatuur berekend worden.

Bepaling van de weerstand van de NTC

De weerstand van de NTC kan worden bepaald door de spanning over de NTC - die gemeten wordt door een 10-bit ADC - te delen door de stroom door de NTC. Het circuit is te vinden in figuur 4.1. De stroom is te bepalen door het gedeelte van de voedingsspanning dat valt over de vaste weerstand, te delen door die vaste weerstand.

De weerstandsbeplating in formulevorm:

$$R_{NTC} = \frac{V_{NTC}}{I_{NTC}} = \frac{V_{NTC}}{\frac{V_{R_{10}}}{R_{10}}} \quad [\Omega] \quad (4.3)$$

Voor V_{NTC} en R_{10} gelden:

$$V_{NTC} = \frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R_{10}} V_{NTCSWITCH} \quad [V] \quad (4.4)$$

$$V_{R_{10}} = \frac{R_{10}}{R_{NTC} + R_{10}} V_{NTCSWITCH} \quad [V] \quad (4.5)$$

Wanneer deze worden ingevuld in vergelijking 4.3:

$$R_{NTC} = \frac{\left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}\right) V_{NTCSWITCH}}{\frac{\left(\frac{R_{10}}{R_{NTC}+R_{10}}\right) V_{NTCSWITCH}}{R_{10}}} \quad [\Omega] \quad (4.6)$$

Aan vergelijking 4.6 is meteen te zien dat de voedingsspanning van het circuit eruit gedeeld kan worden. Dat leidt tot de volgende vergelijking:

$$R_{NTC} = \frac{\left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}\right) V_{NTCSWITCH}}{\frac{\left(\frac{R_{10}}{R_{NTC}+R_{10}}\right) V_{NTCSWITCH}}{R_{10}}} \quad [\Omega] \quad (4.7)$$

Nu zijn er nog twee onbekende fracties in het circuit, de fractie $\frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}$ en $\frac{R_{10}}{R_{NTC}+R_{10}}$. Echter, omdat R_{10} en R_{NTC} in serie staan, geldt de volgende vergelijking:

$$\frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R_{10}} = 1 - \frac{R_{10}}{R_{NTC} + R_{10}} \quad (4.8)$$

Als deze wordt ingevuld in vergelijking 4.6, dan blijft slechts de fractie $\frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}$ als onbekende over in de vergelijking, R_{10} is namelijk bekend:

$$R_{NTC} = \frac{\left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}\right)}{\frac{\left(\frac{R_{10}}{R_{NTC}+R_{10}}\right)}{R_{10}}} = \frac{\left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}\right)}{\left(1 - \frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}\right)} \quad [\Omega] \quad (4.9)$$

De ADC van de microcontroller geeft een waarde terug van 0-1023. Dit getal loopt tot de voedingsspanning van de ADC en dus van de Atmega microcontroller: als bijvoorbeeld een waarde van 1023 teruggegeven wordt, is dus de voedingsspanning gemeten. Als de teruggegeven waarde door 1023 gedeeld wordt, wordt de spanning op de pin als een fractie van de voedingsspanning bekend. Wanneer naar het circuit in figuur 4.1 gekeken wordt, blijkt dat dit precies de fractie $\frac{R_{NTC}}{R_{NTC}+R_{10}}$ is. Nu de fractie bekend is, kan de weerstand van de RTC berekend worden. De formule waarmee de weerstand wordt bepaald is dus als volgt:

$$R_{NTC} = \frac{\frac{ADC_{value}}{1023}}{1 - \frac{ADC_{value}}{1023}} R_{10} \quad [\Omega] \quad (4.10)$$

Het circuit is dus onafhankelijk van de voedingsspanning door *alleen* de fractie te meten.

Door de tolerantie van R_{10} kan er een fout in de berekende waarde van R_{NTC} ontstaan. Omdat de vaste weerstand in vergelijking 4.10 maar één keer voorkomt, zal bijvoorbeeld een fout van 1% in de waarde van R_{10} ook leiden tot een fout van 1% in de berekende waarde van R_{10} .

Omzetten van de weerstand naar de temperatuur

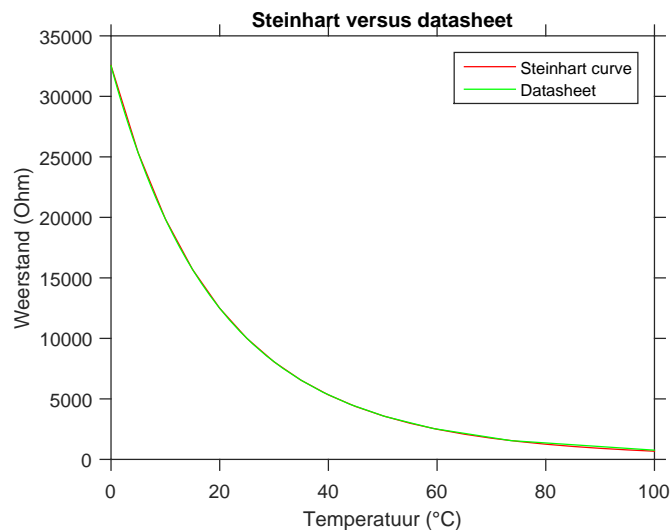
De NTC heeft een negatief verband tussen de weerstand en de temperatuur. Dit verband is niet lineair. Om de temperatuur uit te kunnen lezen, maken we gebruik van de Steinhart-Hart vergelijking[43] om de temperatuur te bepalen:

$$\frac{1}{T} = a + b \ln(R_{NTC}) + c(\ln(R_{NTC}))^3 \quad (4.11)$$

met a , b en c de zogenaamde *steinhart coëfficiënten* en R_{NTC} de weerstand van de NTC in Ohm. Deze kunnen bepaald worden door bij drie verschillende temperaturen de weerstand van de datasheet in te voeren, zodat er drie vergelijkingen met drie onbekenden ontstaan. Deze coëfficiënten zijn dan op te lossen door een lineair stelsel op te stellen en dat op te lossen. Dit is gedaan met Matlab. Er is gekozen voor temperaturen van 25, 35 en 50 graden omdat volgens het Programma van Eisen de thermometer van 25 tot 50 °C een nauwkeurigheid van ± 0.5 °C moet hebben. De weerstand en daarbij behorende temperatuur uit de datasheet worden dus ingevoerd in vergelijking 1, 2 en 3 om a , b en c te bepalen. Deze vergelijkingen komen als volgt in een matrix:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{T_{25^\circ\text{C}}} \\ \frac{1}{T_{35^\circ\text{C}}} \\ \frac{1}{T_{50^\circ\text{C}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \ln(R_{NTC|T=25}) & (\ln(R_{NTC|T=25}))^3 \\ 1 & \ln(R_{NTC|T=35}) & (\ln(R_{NTC|T=35}))^3 \\ 1 & \ln(R_{NTC|T=50}) & (\ln(R_{NTC|T=50}))^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

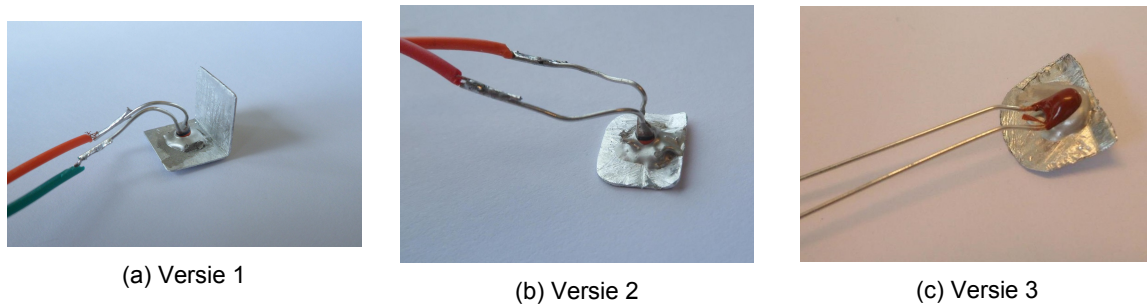
Vervolgens kunnen a , b , en c bepaald worden door beide kanten van de vergelijking te vermenigvuldigen met de inverse van de middelste matrix. Om te kijken of deze Steinhart-Hart methode in het gegeven bereik een goede benadering is, is een reeks van verschillende weerstandswaarden geproduceerd met Matlab, om die vervolgens met vergelijking 4.11 en de verkregen constanten a , b en c naar een temperatuur om te zetten. Vervolgens is de weerstand uitgezet tegen de temperatuur in een Matlab plot. In dezelfde plot zijn ook de bekende weerstandswaarden met de daarbij behorende temperatuur uit de datasheet geplott, zie figuur 4.2. Te zien is dat de Steinhart-Hart-benadering in het temperatuurbereik van 25 tot 50°C goed overeenkomt met de waardes uit de datasheet, de curves overlappen elkaar grotendeels.



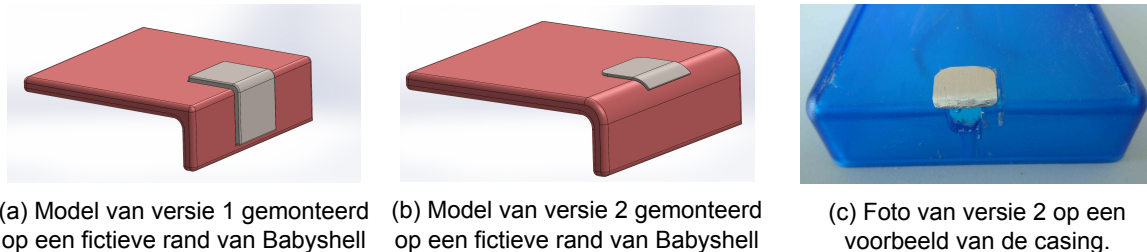
Figuur 4.2: Matlab plot waarin de Steinhart-Hart benadering getoetst wordt aan de waarden in de datasheet.

4.2.5. Het bouwen van de thermometer

Met de componenten in 4.2.3 is een eerste versie gebouwd, er is voor een plaatdikte van 0.5 mm gekozen. De eerste versie is weergegeven in afbeelding 4.3a. Een voordeel van de hoekvorm is dat de hoekplaat stevig vast te lijmen is, er is namelijk één zijde waar niets aan de binnenkant aan vastgelijmd is. De gebruiker ziet dan aan een pijl op de buitenkant van Babyshell welke kant van het hoekje hij tegen de huid moet houden. Een nadeel van deze hoekversie is dat de materiaalkosten twee keer zo groot ten opzichte van een enkele plaat van 1 bij 1 centimeter terwijl de sensor hetzelfde doet, maar wel



Figuur 4.3: De 3 opeenvolgende versies van de aluminium plaat



Figuur 4.4: Hoe de aluminium plaat gemonteerd wordt

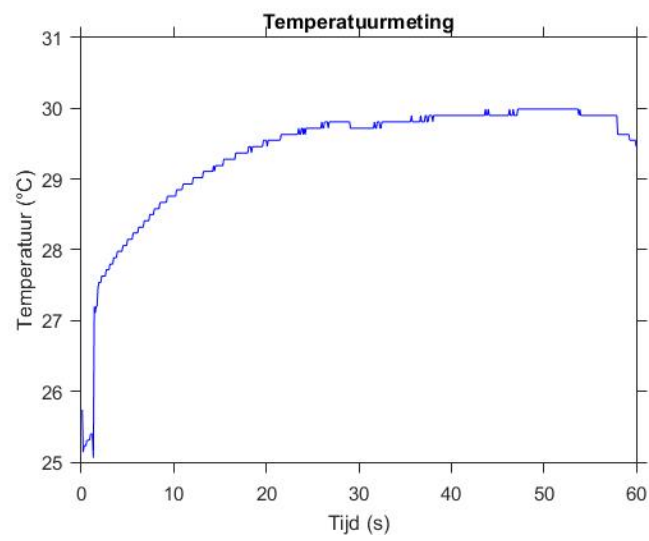
trager is omdat er meer warmte wordt afgevoerd door het materiaal. Ook zullen de bewerkingskosten hoger zijn omdat de plaat gebogen moet worden, wat bij de vlakke plaat niet het geval is.

Tijdens het bouwen is er voortdurend getest door de wijsvinger op de aluminium plaat te houden totdat de temperatuur gedurende 2 seconden niet meer dan $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ veranderde. De eerste sensor is gedurende een minuut uitgelezen met een bemonsteringsfrequentie van 10 Hz en het resultaat is weergegeven in afbeelding 4.5. In de plot is te zien dat het 60 seconden duurt voordat de thermometer de eindtemperatuur bereikt heeft, dit is te lang volgens de specificaties. Daarom is er een tweede versie van de plaat gebouwd, zie afbeelding 4.3b. Deze versie beslaat de helft van de oppervlakte van versie 1 en zou dus sneller op moeten warmen. Deze beredenering komt voort uit een optimalisatie die uitgevoerd werd in Matlab met vergelijkingen 4.1 en 4.2. Daaruit bleek dat een afmeting van 10 bij 10 mm en een geschatte dikte van 0.5mm een optimum opleverde tussen deze twee vergelijkingen. De tweede sensor deed er dan ook 10 seconden korter over (zie figuur 4.6) maar volgens de specificaties is dit nog steeds te langzaam. Om de sensor nog verder te verbeteren is een derde versie gebouwd, zie afbeelding 4.3c. Deze derde versie bevat een aantal belangrijke verbeteringen. Ten eerste is de plaat 0,25 mm dik in plaats van 0,5 mm om de plaat nog sneller op te warmen. Verder is de NTC plat gemonteerd en is een platte NTC besteld zodat een groter oppervlak van de NTC met de aluminium plaat verbonden is. In versie 1 en 2 was de NTC nog aan de kop vastgelijmd. Deze verbeteringen leveren daadwerkelijk een snellere meting op: in figuur 4.7 is te zien dat een meting nu maximaal 18 seconden duurt.

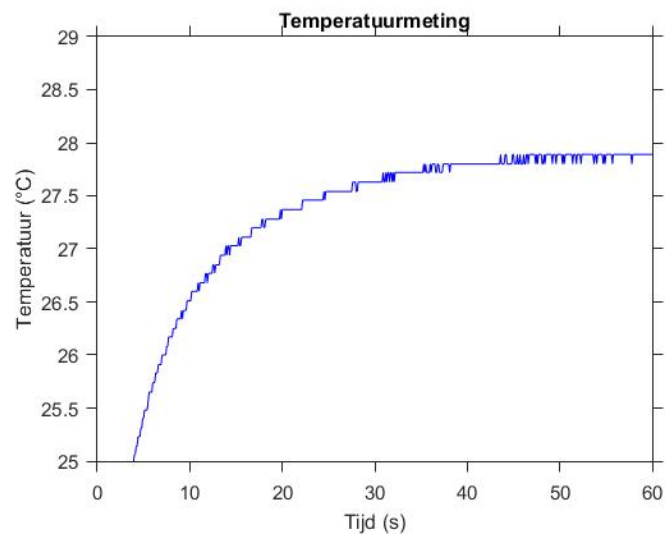
4.2.6. Kalibratie

Door verschillende toleranties in vergelijking 4.11 in te vullen voor een weerstand van $5330\ \Omega$ (deze waarden gelden voor een Vishay NTCLE100E3 NTC bij 40°C [41]), komen we erop uit dat de vaste weerstand en de NTC beide een maximale tolerantie van $\pm 1\%$ mogen hebben voor een nauwkeurigheid in de temperatuur van $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Dit betekent dat er theoretisch geen kalibratie nodig is voor deze sensor als deze weerstanden gebruikt worden.

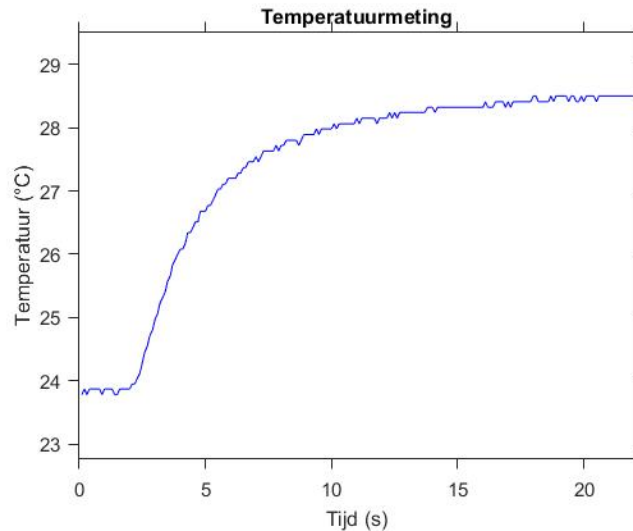
Om te kijken of er misschien toch kalibratie nodig was, is de sensor getest door de weerstand van de NTC (los gemeten met de multimeter) bij kamertemperatuur te vergelijken met de waarde die de microcontroller uitleest bij de sensor. Hier bleek een fout van $470\ \Omega$ in te zitten. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat vanwege de tijd slechts één combinatie NTC, vaste weerstand en microcontroller nagemeten is met de multimeter. Deze fout is waarschijnlijk veroorzaakt omdat voor het prototype een



Figuur 4.5: Matlab plot van de eerste versie van de thermometer, gemeten met een sample rate van 10 Hz en 10-bit ADC.



Figuur 4.6: Matlab plot van de tweede versie van de thermometer, gemeten met een sample rate van 10 Hz en 10-bit ADC.



Figuur 4.7: Matlab plot van de tweede versie van de thermometer, gemeten met een sample rate van 10 Hz en 10-bit ADC.

vaste weerstand en NTC met beide een tolerantie van 5% gebruikt zijn. Voor het uiteindelijke ontwerp zullen zoals gezegd $\pm 1\%$ weerstanden gebruikt worden.

4.2.7. Slaapstand tijdens temperatuurmeting

Omdat de temperatuurmeting 18 seconden duurt, zou het onnodig veel energie kosten om de microcontroller en alles wat eraan hangt aan te laten staan gedurende die periode. Daarom is er speciaal voor de temperatuurmeting een functie geschreven die de watchdog timer gebruikt om de microcontroller 18 seconden lang in de laagste slaapstand te houden. Er is voor de watchdog timer gekozen omdat dat de enige timer is op de gekozen microcontroller die in deze diepste slaapmodus door blijft tellen. De watchdog timer is instelbaar in een beperkt aantal standen met een bijbehorende beperkte tijdsduur. De maximale tijdsduur die de watchdog timer kan tellen, is 8 seconden[40]. Om een langere tijd in de slaapstand te gaan, moet de microcontroller dus kort wakker worden en meteen weer in de slaapstand gaan. Als in stappen van 8 seconden geteld wordt, is de resolutie dus beperkt: dan zou om 18 seconden ongeveer te halen alleen een sleep van 16 of 24 seconden mogelijk zijn. Voor een hogere resolutie is de watchdog timer ook op 4 seconden, 2 seconden en 1 seconde in te stellen[40]. Een nadeel daarvan is dat de microcontroller daarvoor wel vaker in en uit de slaapstand moet en het energiegebruik dus hoger is. Er is uiteindelijk gekozen voor een watchdog timer met een periode van 4 seconden, omdat in deze situatie voor ons het gebruiksgemak een hogere prioriteit had dan een hoger gebruik. De slaapstand voor de thermometer is aan te roepen met de functie `Ntc_SleepNow(int seconds)`, het functieargument `seconds` is het aantal seconden dat de slaapstand moet duren.

4.3. Ontwerpproces RTC en alarm

4.3.1. Inleiding RTC

In onderstaand hoofdstuk zal ingegaan worden op het ontwerpproces van de Real Time clock(RTC). Een real time clock is een element dat de tijd bijhoudt, ook wanneer een apparaat uit is. De RTC is een belangrijk onderdeel van BabyShell. Zonder RTC is tijd bijhouden moeilijk, zo niet onmogelijk binnen het kader van BabyShell. Een RTC brengt extra kosten met zich mee. Toch is besloten om een RTC te gebruiken, want belangrijke functies van BabyShell zijn het bijhouden van tijd, het geven van ter zake doende adviezen en notificaties en het geven van vaccinatietips. In het onderstaande deel van het verslag wordt eerst een afweging gemaakt tussen verschillende RTC's, waarop in verschillende ontwerpproces besproken wordt.

4.3.2. Afweging time-keeping

In de specificaties van de opdrachtgever is het woord time-keeping opgenomen, waarmee tijd bijhouden bedoeld wordt. Er zijn verschillende mogelijkheden om over de huidige tijd te beschikken. In onderstaande tabel wordt de afweging gemaakt tussen die mogelijkheden. De afwegingen worden gemaakt binnen de kaders van BabyShell, waarbij prijs en gebruiksgemak belangrijk zijn. De markeringen in de tabel werken als volgt: wanneer er een + staat heeft deze eigenschap een positieve bijdrage aan het eindoordeel van deze optie. Wanneer er een - staat, maakt deze eigenschap deze optie minder aantrekkelijk. Zoals in tabel 4.2 te zien is, was de eerste optie om een interne timer van de microcontroller

Optie	Prijs	Stroom-gebruik	Nauw-keurigheid	Gebruiks-gemak	Totaal	Belangrijkste reden
Timer Microcontroller	+	-	+/-	++	+	Relatief onnauwkeurig maar goedkoop
Microcontroller met interne RTC	-	-	+/-	++	+/-	Significant hogere prijs en stroomgebruik
Externe RTC	+/-	+/-	++	++	++	Relatief goedkoop, nauwkeurig en energiezuinig
Bij elk gebruik tijd in laten voeren	++	+/-	++	-	+/-	Gebruiksgemak vermindert aanzienlijk

Tabel 4.2: Keuzemogelijkheden om een klok te implementeren

te gebruiken. Hiervoor kan de microcontroller echter niet in de slaapmodus PWR_DOWN_MODE via de avr-library ingesteld worden. Volgens de datasheet van de Atmega328 zijn er 5 sleep modes: ADC noise reduction, extended standby, power-save, standby en power-down mode. Uit een figuur uit de Atmega328 datasheet (bijlage A.1) blijkt dat timers nog werken in de power-save mode en gebruiken dan 0.9 μ A. Echter, om de klok zelf te implementeren en te laten tellen, moet de CPU in actieve modus en dat kost bij 3V 2.7mA (bijlage A.2), waarmee niet aan de specificatie voldaan wordt.

Voor de microcontroller met de interne RTC was vooral de prijs een belangrijk punt, de microcontrollers met interne RTC blijken stelselmatig meer dan €10 te kosten. Hiervoor wordt verwezen naar de thesis van de subgroep Besturing en Interface[34]. De opdrachtgever had plannen om zoveel mogelijk kosten te laten besparen en daarom geen klok toe te voegen aan het systeem. De enige mogelijkheid voor de implementatie is dan om de tijd aan de gebruiker te vragen. Dit is negatief voor het gebruiksgemak, bovendien kost het invoeren van de huidige week tijd wat weer nadelig is voor het stroomgebruik.

Een externe RTC is relatief goedkoop, heeft een nauwkeurige tijdsfunctie en is ten opzichte van de andere energiegebruikers energiezuinig. Tijdens de literatuurstudie zijn verschillende RTC's geselecteerd, uit welke in het volgende hoofdstuk de voor BabyShell meest geschikte gekozen zal worden.

4.3.3. Afweging RTC's

Bij de keuze voor de real time klok zijn drie RTC's geselecteerd, de M41T62 van ST Microelectronics [44], de DS1307 [45] en de DS3231 [46] van Maxim Integrated. Die worden in tabel 4.3 met elkaar vergeleken. Hier geldt ook weer dat waar een + staat levert deze eigenschap een positieve bijdrage aan het eindoordeel van deze optie. Wanneer er een - staat, maakt deze eigenschap deze optie minder

aantrekkelijk. Voor de M41T62 is uiteindelijk niet gekozen omdat de chip relatief duur is (\$0.85 [47]) en

Optie	Betrouwbaarheid	Alarmen	Gebruiksgemak	Stroomgebruik	Prijs	Totaal	Motivatie
M41T62 qfn16	+	+ -	+ -	++	-	+ -	Relatief duur stelt hogere eisen aan pcb
DS1307	+	-	+ -	++	++	+	Geen alarmen
DS3132	++	++	++	+ -	+	++	Relatief goedkoop compensatie voor temperatuur

Tabel 4.3: Keuzemogelijkheden welke RTC te gaan gebruiken

alleen in een QFN16 behuizing beschikbaar is, wat duurder is bij de assemblage. De DS1307 is niet gekozen omdat er geen alarmen ingesteld kunnen worden ondanks zijn relatief lage prijs (\$0.07 [48]). Alarmen zijn essentieel. Wanneer de AtMega328 in de diepste slaapmodus is kan hij daar alleen uitkomen met een externe interrupt die geactiveerd wordt door een ingesteld alarm. Later in deze thesis zal daar dieper op ingegaan worden.

De DS3231 beantwoordt aan de meeste eisen: de prijs is relatief laag (\$0.32 [49]), er zijn twee alarmen, een intern kristal en er is compensatie voor temperatuur aanwezig middels een interne temperatuursensor. De DS3231 heeft wel een hoger standby stroomgebruik (1uA[46]) dan de DS1307(0.480uA [45]) en de M41T62(0.350uA [44]). Uiteindelijk is besloten de DS3231 beter te gaan onderzoeken. Een laatste check is de specificatie van de nauwkeurigheid. De RTC mag jaarlijks niet meer dan 10 minuten afwijken. De DS3231 wijkt maximaal 3.5 ppm af tussen -40°C en 85°C en 2 ppm tussen 0°C en 40°C. Gezien de temperaturomstandigheden in Afrika is toch berekend op 3.5 ppm afwijking. Het interne kristal loopt op 32.768kHz en heeft dus 32768 kristaltikken per seconde ofwel $1.0333 \cdot 10^{12}$ per jaar. Hierbij is 3.5 ppm afwijking gelijk aan $1.0333 \cdot 10^{12} \cdot \frac{3.5}{10^6}$, ofwel $3.6168 \cdot 10^6$ klokslagen. Dit is het maximale aantal klokslagen afwijking per jaar, in seconden uitgerekend geeft dit $3.6168 \cdot 10^6 / 32768 = 110s$ afwijking per jaar ofwel bijna twee minuten afwijking. Dit valt ruim binnen de specificatie van maximaal 10 minuten afwijking per jaar.

Bij de eerste metingen van de DS3231 bleek dat de stroom tijdens I²C communicatie 85 µA en in standbymodus 1 µA bedraagt. Op basis van deze overwegingen is definitief gekozen voor de DS3231. Er zijn DS3231 libraries om de tijd af te lezen, maar geen library bevatte alle benodigde componenten voor deze toepassing. Waar de ene slechts 1 alarm implementeerde [50], gebruikte de andere teveel flash [51] of miste zelfs de alarmfunctie [52]. Groep RTC heeft zich wel laten inspireren door deze libraries, maar is zeker een eigen weg ingeslagen qua gebruik van de RTC.

4.3.4. Implementatie instellen en uitlezen van de tijd

In de vorige paragraaf is definitief gekozen voor de DS3231. De DS3231 communiceert over de I²C interface met de AtMega328. Over deze interface dienen de registers op een zodanige manier geschreven te worden dat de RTC zijn taak naar behoren uitvoert. Figuur B.1 in de bijlage laat deze registers zien. De belangrijkste functie van de DS3231 is het bijhouden van de tijd en wat daarbij komt zoals het instellen en uitlezen van de tijd. Hiervoor worden de eerste zeven registers (00h-06h) uit figuur B.1 geschreven met 7 bytes over de I²C interface.

Listing 4.1: Code om tijd en datum in te stellen

```

1 void setDS3231time(byte hour_set, byte minute_set, byte second_set,
2 byte dayofweek_set, byte dayofmonth_set, byte month_set, byte year_set)
3 {
4     Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDR);
5     Wire.write(0);           // set next input to start 2nd reg
6     Wire.write((second_set)); // set seconds
7     Wire.write((minute_set)); // set minutes
8     Wire.write((hour_set));   // set hours
9     Wire.write((dayofweek_set)); // setday (1=Sunday, 7=Saturday)
10    Wire.write((dayofmonth_set)); // set date (1 to 31)
11    Wire.write((month_set));   // set month
12    Wire.write((year_set));    // set year (0 to 99)
13    Wire.endTransmission();
14 }

```

Te zien is dat er eerst een byte 0 geschreven wordt om aan te geven bij welk register begonnen moet worden, waarop de tijds- en datumregisters ingesteld kunnen worden. Bij de tijdsinstellingen in het menu van BabyShell wordt deze functie aangeroepen om de tijd in te stellen. De andere optie is het uitlezen van de tijd uit de RTC. Hierbij worden de waarden in de globale bytes second, minute, hour, dayofweek, dayofmonth en year geschreven met de functie `readDS3231time()`.

De enige functie die de tijd aan mag passen is `readDS3231time()`, vanuit de embedded software invalshoek is dit de beste optie om shared-data problemen te voorkomen [53]. Shared-data problemen zijn problemen die voorkomen wanneer meerdere functies dezelfde globale variabelen gebruiken en aanpassen.

`ReadDS3231time()` wordt elke keer bij het opstarten van BabyShell aangeroepen en vergeleken met het ingestelde alarm, waar in het volgende hoofdstuk op ingegaan wordt. Na het implementeren van beide functies was de tijd in te stellen en uit te lezen via de I²C interface. Bij het instellen van de tijd via het menu van BabyShell is gekozen voor de Europese datumnotatie in DD-MM-YYYY volgens de specificatie van de opdrachtgever.

4.3.5. Implementatie instellen en uitlezen van de alarmen

De DS3231 heeft twee alarmen. Alarm 1 moet ingesteld worden met vijf mask bits en is tot op de seconde nauwkeurig. Alarm 2 dient ingesteld te worden met 4 mask bits en is tot op de minuut nauwkeurig. Welke bitreeks dit precies is, staat in de bijlage B.2. De alarmen werken met "matches". Wanneer het alarm bijvoorbeeld met 'minute match' tijdens 33ste minuut wordt ingesteld, zal 1 keer per uur op hh:33:00 het alarm afgaan. Dit geldt ook voor seconden, uren en dagen. Alarm 1 heeft de functie "seconds match", alarm 2 heeft de functie "minute match". Om het alarm mogelijk te maken moeten in het control register van de DS3231 op adres 0EH de bits INTCN en A1E ingesteld worden. A1E initialiseert alarm 1 en INTCN is het interrupt control bit. Dit dient voor elk alarm te gebeuren.

Listing 4.2: Code om alarm in te stellen

```

1 void set_al(const byte * flags)
2 {
3     DEBUG_PRINT("Setting al...");
4     // set register bits bit2 and bit2 (INTCN) and bit0 (A1IE)
5     DS3231_set_creg(DS3231_INTCN | DS3231_A1IE);
6     byte t[4] = { wake_SECOND, wake_MINUTE, wake_HOUR, wake_MONTHDAY };
7     uint8_t i;
8
9     Wire.beginTransaction(DS3231_I2C_ADDR);
10    Wire.write(DS3231_ALARM1_ADDR);
11    for (i = 0; i <= 3; i++) {
12        if (i == 3) {
13            Wire.write((t[3] | (flags[3] << 7) | (flags[4] << 6)));
14        } else
15            Wire.write((t[i] | (flags[i] << 7)));
16    }
17    Wire.endTransmission();
18 }

```

Listing 4.2 laat de functie `set_al()` zien waar eerst het alarm ingesteld wordt, de I²C transmissie opgestart wordt en de mask bits geschreven worden. Bij het instellen van het alarm worden zoals te zien de globale variabelen `wake_Second`, `wake_MINUTE`, `wake_hour` en `wake_MONTHDAY` als alarm ingesteld. `get_al` is een functie om het ingestelde alarm uit te lezen. De waardes worden na het lezen in de hierboven genoemde globale variabelen geplaatst. Hiermee zijn beide alarmen in te stellen en uit te lezen.

In het kader van alarmen kan ook de buzzer genoemd worden. Zoals in de specificaties te zien is moet BabyShell wekelijkse notificaties tonen aan de gebruiker, waarbij de buzzer de moeder erop attendeert de notificatie te gaan lezen. Er is gekozen voor de ABT-402-RC [54] die te activeren is met het commando `(TONE_PIN,FREQUENCY)`. De functie `alarm(int duration_in_seconds)` laat de buzzer activeren met tussentijden van 0.2seconden. Vanzelfsprekend zijn er meer buzzers geschikt, maar deze is gekozen vanwege zijn lage stroom (1mA) en de grote range aan input operating voltages (1-20VDC). Er is al in een eerder stadium voor deze buzzer gekozen, verder in het project zou een andere buzzer wellicht beter kunnen blijken.

4.3.6. Implementatie temperatuursensor RTC

Bij het schrijven van software kwam de gedachte op om de temperatuurmeting van de RTC uitleesbaar te maken. Later is deze functie toch niet gebruikt, maar kan wellicht in de toekomst dienen om de kalibratie van de NTC te verbeteren.

Listing 4.3: Code om temperatuur uit te lezen

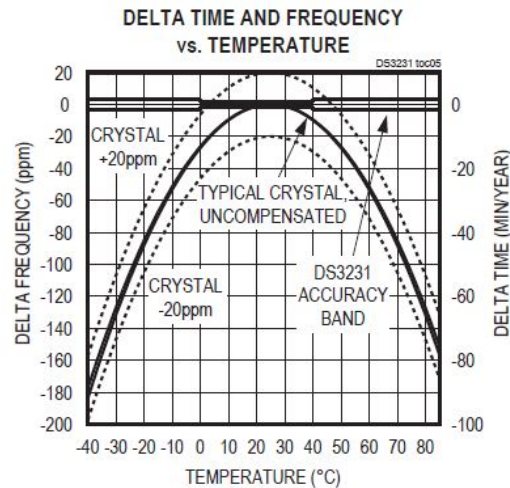
```

1 #ifndef TEMP_ENABLE
2 float DS3231_get_treg() {
3     float rv;    uint8_t temp_msb, temp_lsb;  int8_t nint;
4     Wire.beginTransaction(DS3231_I2C_ADDR);
5     Wire.write(DS3231_TEMPERATURE_ADDR);
6     Wire.endTransmission();  Wire.requestFrom(DS3231_I2C_ADDR, 2);
7     temp_msb = Wire.read();  temp_lsb = Wire.read() >> 6;
8     if ((temp_msb & 0x80) != 0)  nint = temp_msb | ~((1 << 8) - 1);
9     else  nint = temp_msb;
10    rv = 0.25 * temp_lsb + nint;
11    return rv;
12 }
13 #endif

```

Te zien is weer de standaard I²C request procedure, het schrijven van het `DS3231_TEMPERATURE_ADDR` op adres 11h, het opvragen van twee bytes (met `Wire.requestFrom(DS3231_I2C_ADDR,2)`) en de berekening van de temperatuur. De integer waarde van de temperatuur is opgeslagen in de registers

van de DS3231 op adres 11h en de decimale waarde in adres 12h. De integer waarde is opgeslagen in 8 bits en de decimale waarde is opgeslagen in twee bits (bit 6 en bit 7) en heeft een resolutie van 0.25°C. Wanneer de gebruiker in het control register 0Eh bit 5 activeert wordt de temperatuur gemeten en in deze registers geschreven. Het meten van de temperatuur gebeurt elke keer dat de I²C communicatie wordt opgestart of de voedingsspanning aangeboden wordt en daarna elke 64 seconden. De temperatuursensor heeft een nauwkeurigheid van $\pm 3^\circ\text{C}$ [46] en is als zodanig niet geschikt om lichaamstemperatuur te meten, maar wel geschikt om het kristal te compenseren voor temperatuur. Te

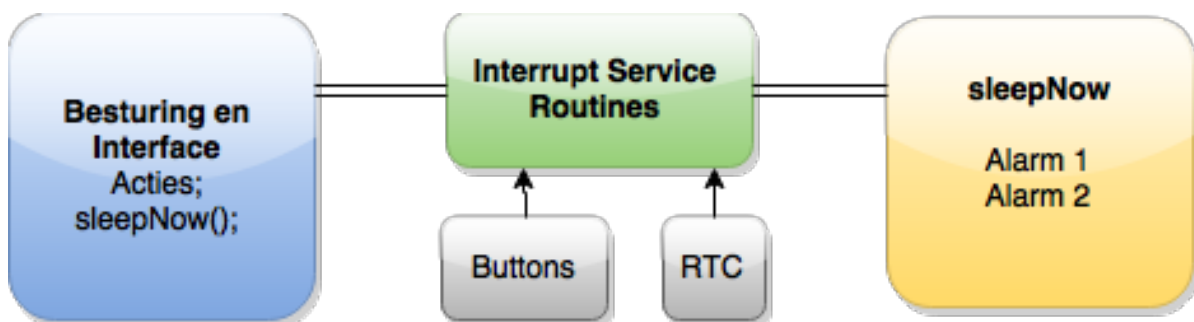


Figuur 4.8: De temperatuurcompensatie binnen de DS3231 [46]

zien is de typische gevoeligheid van een bepaald kristal voor temperatuur, de stippellijnen geven de range aan waartussen de curve van een kristal zich kan bevinden. Door te temperatuur te meten kan de onnauwkeurigheid teruggebracht worden tot tot de vlakke lijn van 2 ppm tussen 0°C en 40°C en 3.5 ppm tussen -40°C en 80°C. Op deze manier wordt de nauwkeurigheid van ± 2 minuten per jaar afwijking gehandhaafd.

4.3.7. Implementatie slaapmodi

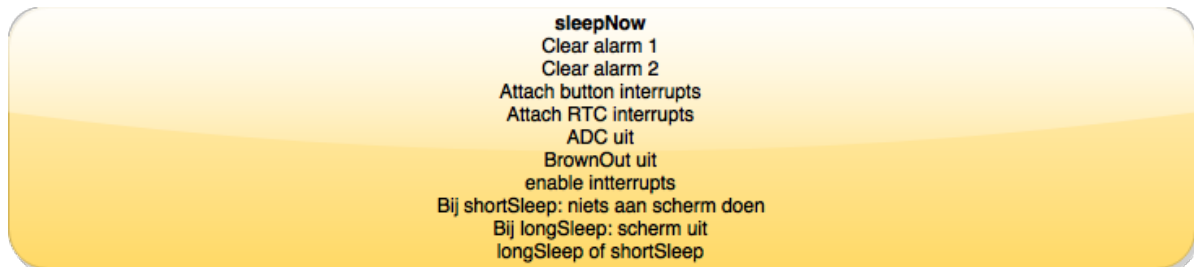
Zoals al in de vorige alinea is uitgelegd, zijn er twee verschillende alarmen in de DS3231. Beide alarmen worden ingesteld in de functie `sleepNow()`. Het overzicht daarvan staat in figuur 4.9. Te zien



Figuur 4.9: SleepNow in relatie tot de rest van het systeem

is het blok Besturing en Interface, de Interrupt Service Routines en de functie `sleepNow`. De dubbele lijnen houden de globale variabelen in die gebruikt worden in de blokken. In paragraaf 4.3.8 wordt ingegaan op de werking van de interrupt routines. In de groep is besloten om de twee alarmen van de DS3231 als volgt te gebruiken.

- Eén alarm zal gebruikt worden voor de time-out van het scherm. Tijdens de time-out is de microcontroller in PWR_DOWN_MODE, echter met het scherm aan. Wanneer de timeout verstreken is, dient de microcontroller volledig in slaapstand te gaan. Voor de time-out is alarm 1 geschikt vanwege de "seconds match". Deze time-out wordt in het vervolg de shortSleep genoemd.
- Het tweede alarm zal gebruikt worden om te alarmeren voor een notificatie of vaccinatie. Hiervoor is een "weekday match" van alarm 2 geschikt. Deze slaapmodus wordt in het vervolg de longSleep genoemd.



Figuur 4.10: Handelingen in sleepNow();

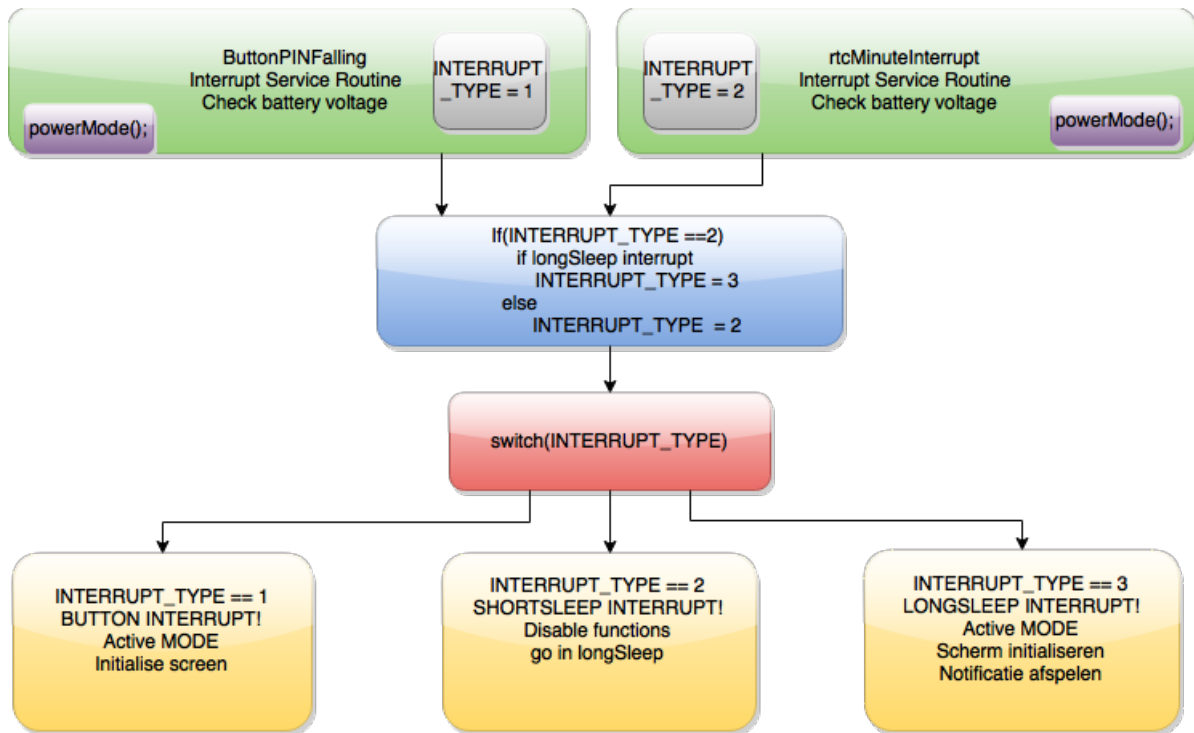
Wanneer verder ingezoomd wordt op sleepNow uit figuur 4.9 komt men bij figuur 4.10. Besturing en Interface activeert na elke actie `sleepNow()`. Hierbij blijft het scherm staan (de gebruiker kan het aan het lezen zijn) en wordt shortSleep ingesteld. Wanneer de minuut verstreken is en er is geen button interrupt geweest, genereert de RTC een interrupt, waarop de microcontroller even in actieve modus gaat en alle apparaatfuncties uitschakelt. De functies die uitgeschakeld worden zijn het scherm, de ADC, Brownout detectie en de I²C. Vervolgens wordt de PWR_DOWN_MODE geactiveerd en gaat de microcontroller in longSleep. Wanneer de Atmega weer uit sleep komt worden eerst de Interrupt Service Routines uitgevoerd. Daarna gaat de software verder waar deze mee bezig was en voert dus eerst de rest van de sleepNow functie uit. Dit is zo geregeld volgens de avr/sleep library. In de volgende paragraaf zal verder ingegaan worden de samenwerking van de button en RTC interrupts binnen een enkele sleepNow functie.

4.3.8. Integratie RTC in Besturing en Interface

Bij de integratie van de subsystemen buzzer, sleep, RTC en Besturing en Interface hoort ook nog de check of het batterijniveau voldoende is. Wanneer dat onvoldoende groot is, dient BabyShell weer in longSleep te gaan. Dit is als volgt opgelost: Na het ontwaken wordt eerst de Interrupt Service Routine uitgevoerd waarin de batterijspanning gemeten wordt. Bij het ontwaken gaat de microcontroller verder in welke functie hij zich bevond, in dit geval in de `sleepNow` functie. Wordt dan direct na het ontwaken weer een `sleepNow` aangeroepen in het geval van een te laag accuniveau, dan ontstaat er een reeks geneste sleepNows achter elkaar wanneer BabyShell stelselmatig niet in de zon gelegd wordt. Dit probleem geldt dus alleen voor de zonnecelversie. Het is opgelost door om het `sleepNow` algoritme voor de zonnecel versie een do-while constructie te plaatsen die de Atmega door middel van een globale flag `battoolow` direct weer in de de slaapmodus brengt wanneer de batterijspanning te laag is.

Een aantal zaken is nu besproken, namelijk hoe de interrupt en het alarm ingesteld worden en in het algemeen de reactie op een interrupt. Hoe dat in het bijzonder gebeurt wordt getoond in figuur 4.11. De groene blokken zijn de Interrupt service routines waarin de interrupts van de hardware afgehandeld worden, het blauwe is de eerste check in de software na de interrupts en de rode en de gele blokken zijn onderdeel van de sleepNow functie na de interrupts.

De Interrupt Service Routines zijn `ButtonPINFalling` en `rtcMinuteInterrupt`. In `ButtonPINFalling` wordt de ADC aangezet, gecheckt of de batterijspanning niet te laag is, bepaald welke knop ingedrukt is en het INTERRUPT_TYPE ingesteld. Wanneer bepaald is welke knop ingedrukt is, wordt de juiste buttonflag geset waar groep RTC verder niets mee doet, maar de groep Besturing en Interface uiteraard wel. In `rtcMinuteInterrupt` wordt ook de ADC aangezet, gecheckt of de batterijspanning niet te laag is en INTERRUPT_TYPE ingesteld. In `sleepNow` (waar de software immers



Figuur 4.11: Interrupt afhandeling binnen sleepNow en OS

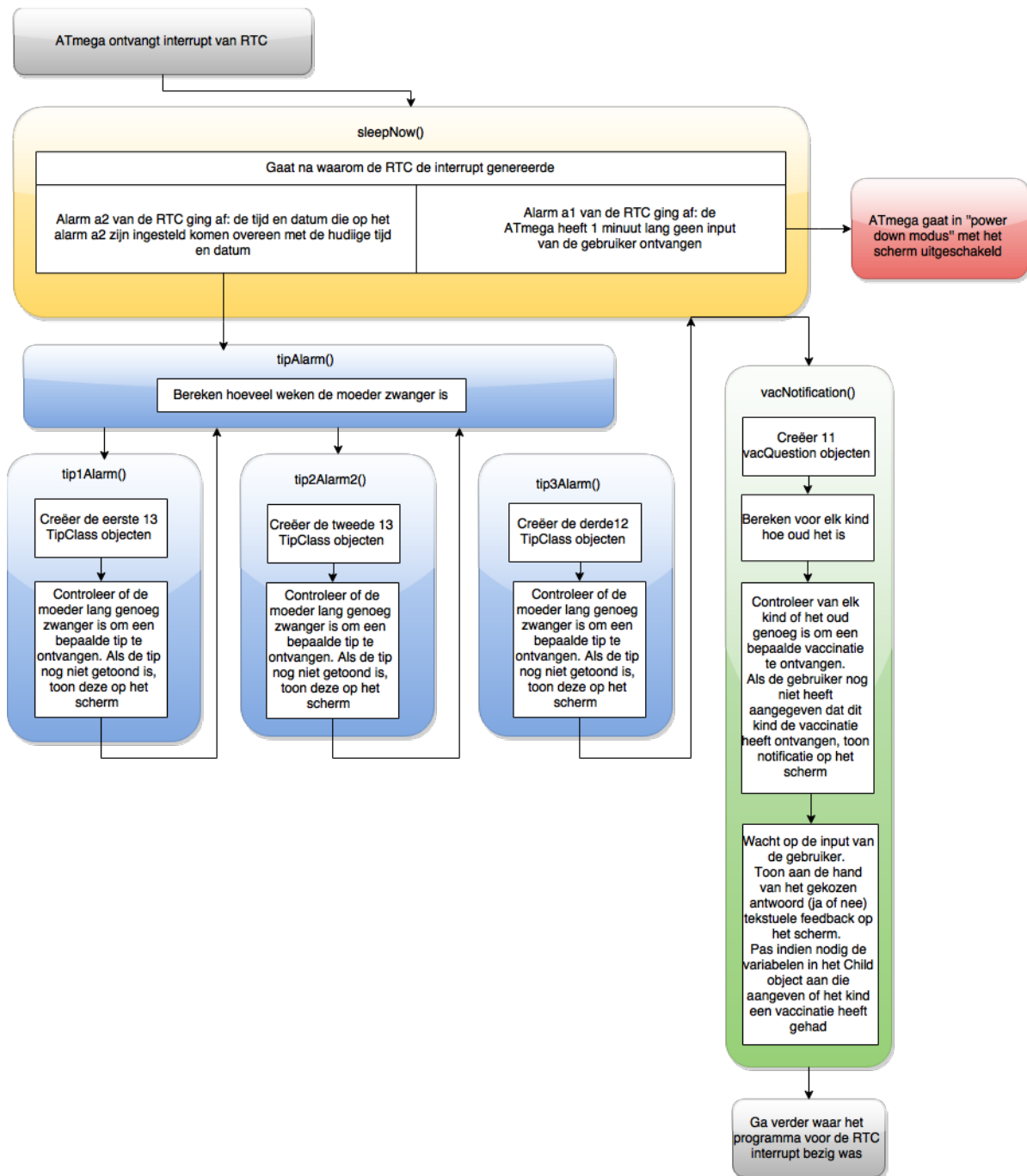
verdergaat) wordt in een switch statement de juiste handeling uitgekozen. Er zijn binnen dit switch statement 3 mogelijkheden die nader toegelicht worden in figuur 4.11.

- Het `INTERRUPT_TYPE` is gelijk aan `1`. Dit betekent dat er een knop ingedrukt werd. Het sleep alarm wordt gereset en de AtMega328 gaat aan in active mode.
- Het probleem ontstaat doordat de DS3231 maar een enkele interrupt pin heeft terwijl twee alarmen deze pin delen. Er moet dus onderscheid gemaakt worden tussen een minuut interrupt(a1) of een notificatie interrupt(a2). Dit wordt gedaan door de huidige tijd uit te lezen en die te vergelijken met de ingestelde alarmtijd. Wanneer er een overeenkomst is, was het een notificatie interrupt en wordt `INTERRUPT_TYPE` op `3` ingesteld. In het andere geval blijft `INTERRUPT_TYPE` `2`. Wanneer `INTERRUPT_TYPE` gelijk blijft aan `2` dan was BabyShell de vorige minuut in de minuut sleep en dient deze nu in de longSleep te gaan.
- Het `INTERRUPT_TYPE` gelijk aan `3` betekent een notificatie interrupt. Hierbij moet de notificatie voor de huidige week afgespeeld worden. Dit wordt behandeld in de volgende sectie.

Op deze manier is er dus onderscheid gemaakt tussen de verschillende typen interrupts. Een opmerking is dat op de manier zoals het geïmplementeerd is, kan een interrupt niet ge-interrupt worden door een andere interrupt. Aan het begin van de interrupt routines worden namelijk de interrupts gedetached middels de `PcIntPort` library functie `PcIntPort::detachInterrupt`.

4.3.9. Notificaties

Een specificatie was ook om de tekst aan te leveren voor de notificaties en adviezen tijdens de zwangerschap. Hiervoor zijn 38 adviezen samengesteld van de drie aangeleverde bronnen die in de specificaties genoemd werden met een maximale lengte van 120 karakters inclusief spaties. Deze 38 notificaties zijn in de vorm van char arrays toegevoegd aan het bestand `burnEEPROM`. Dit bestand zal op de EEPROM geschreven worden en middels de functies uit het bestand `EEPROM` van team Besturing en Interface beschikbaar zijn. Dit team heeft een schema gemaakt wat er gebeurt wanneer het time-out alarm een interrupt genereert. Dit schema is opgenomen in figuur 4.12.



Figuur 4.12: Keuzeschema notificaties als reactie op RTC a2-interrupt

4.3.10. Conclusie

Onder het kopje resultaten zal voor zover nog niet gedaan verder ingegaan worden op de resultaten van het deelprobleem RTC. Een deelconclusie voor het subsysteem RTC is dat het instellen van tijd, het uitlezen van tijd, het instellen en uitlezen van de alarmen, de minuut sleep en de long sleep functioneren volgens specs in een apart Arduino project, maar ook nadat de code werd samengevoegd met de code van Besturing en Interface.

5

Behuizing

De opdrachtgever gaf ook aan te verwachten dat er een behuizing gerealiseerd wordt. Hierbij moet niet alleen rekening gehouden worden met het land waarin BabyShell gebruikt gaat worden, maar ook met de praktische realisatie van een behuizing op korte termijn. In dit hoofdstuk zal eerst ingegaan worden op verschillende designs en daarna op de keuze voor het beste design. Vervolgens wordt nog kort in gegaan op de productie van de behuizing.

5.1. Verschillende designs

Zoals al in verwant onderzoek gemeld is, zijn er twee versies van BabyShell, maar bij het ontwerp van de behuizing is gekozen voor de behuizing met zonnecel, want een batterijversie past daar ook in. Voor de behuizing zijn 4 designs opgesteld.

1. Pcb met scherm en zonnecel voorop. hierbij ontstaat een erg plat apparaat.
2. Pcb met scherm en knoppen voorop en de zonnecel achterop.
3. Een schelpontwerp met de zonnecel bovenaan en de knoppen en het scherm onderaan.
4. Een schelpontwerp met het scherm bovenin en alleen de knoppen onderaan. De zonnecel zit dan op de achterkant.

De designs die wel getekend zijn staan in figuur 5.1. Dit zijn vooral de designs van de hardware zoals het scherm en de pcb en nog niet van de behuizing zelf. De brainstorm hiervoor is opgenomen in bijlage C.1. De naam BabyShell veronderstelt een schelp van waaruit de moeder voor de baby adviezen en notificaties krijgt. Daarom zijn ook designs getekend van een schelp met de al eerder genoemde hardwareopties.

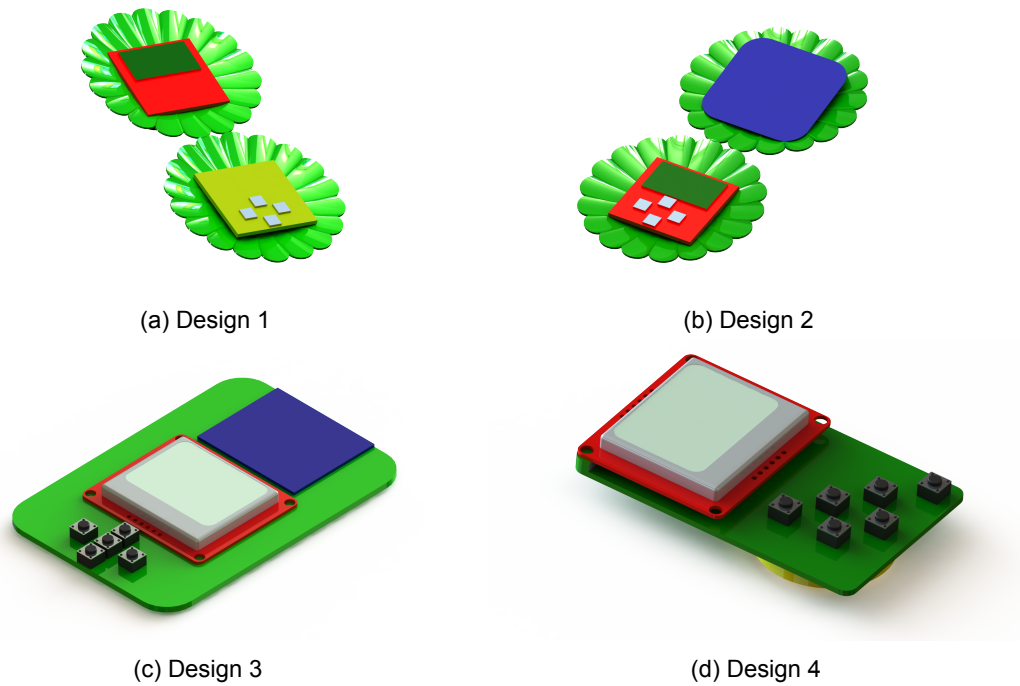
5.2. Keuze beste design

Uit het kiezen van de behuizing vanuit de groepjes is de volgende tabel voortgekomen (ook bijgevoegd in bijlage C.2). Alle projectleden van BabyShell hebben vanuit hun subdesign de top vier in tabel 5.1

	G	T	P	L	K	A	Totaal
Design 1	2	3	3	1	4	4	17
Design 2	4	4	4	4	3	3	22
Design 3	1	2	2	2	2	2	11
Design 4	3	1	1	3	1	1	10

Tabel 5.1: Top 4 bij het ontwerp van de behuizing van BabyShell.

ingevuld. Hieruit bleek design vier de minste punten te behalen ofwel de minst populaire optie te zijn. Thomas Beelen, IO student aan de Technische Universiteit Twente heeft in derdewereldlanden een onderzoek uitgevoerd onder moeders in derdewereldlanden [55]. Daaruit blijkt dat design vier onder



Figuur 5.1: Twee verschillende platte designs van BabyShell

moeders het meest populair is qua gebruiksgemak, vervoerbaarheid, kindvriendelijk en betrouwbaarheid. Daarom is gekozen om met design 4 verder te gaan.

5.3. Productie

Design 4 is voor beide versies in het programma SolidWorks getekend. Het 3D printen van de behuizing was echter van toepassing na de inleverdatum van de thesis.

6

Ethische meningsvorming over Babyshell

Als toekomstige ingenieurs en ontwikkelaars van dit apparaat moet er ook gekeken worden naar de ethische implicaties van BabyShell. Een van de ethische vragen is: In hoeverre mogen wij ons als niet-medisch opgeleide mensen bezig houden met deze oplossingen? Dit hoofdstuk is geschreven in samenwerking het hele team van Babyshell omdat de overwegingen voor Babyshell voor alle drie subteams hetzelfde zullen zijn.

Voor het bachelor eindproject is het de bedoeling dat gedaan wordt alsof de studenten een team binnen een ingenieursbureau vormen die een opdracht uitvoeren. In die zin zou het ontwikkelen van BabyShell de functionele verantwoordelijkheid van het team zijn. De specificaties waren duidelijk en het was vooral aan de studenten om een apparaat te maken dat aan die specificaties voldoet. De impact van het apparaat zou volgens het separatisme dan niet meer onze verantwoordelijkheid zijn. De informatie en flowcharts die worden gebruikt zijn komen van de IMCI en is samengesteld door artsen. Op basis van hun achtergrond, kennis en ervaring mag men verwachten dat het redelijk accurate informatie is, maar het kan voorkomen dat een gebruiker een onjuist advies krijgt van het apparaat en daarmee de conditie van de gebruiker verslechtert door een onjuiste handeling. Nu is de vraag: wie is er in dat geval verantwoordelijk?

Deze vraag is eigenlijk niet alleen relevant voor gebruikers in Afrika, maar voor vrijwel de gehele westerse wereld. Ook in Nederland kan men door even rond te zoeken op internet relatief snel een zelfdiagnose stellen. Het verschil is echter dat iedereen in Nederland zich ervan bewust is dat deze websites zich niet verantwoordelijk houden voor jouw zelfdiagnose gevonden op hun site en dat het vaak toch raadzaam is om naar de arts te gaan voor professioneel advies. Dit heeft als gevolg dat deze vraag ethisch gezien wel speelt in Nederland, maar rechtelijk gezien niet. Ethisch wel, omdat er waarschijnlijk veel mensen zijn die na zelf een diagnose gesteld te hebben op internet niet meer naar de huisarts gaan, maar rechtelijk niet omdat deze mensen waarschijnlijk weinig succes zullen hebben als ze in gevallen van een verkeerde zelfdiagnose de website verantwoordelijk houden.

In Afrika zijn mensen echter slechter geïnformeerd dan hier en nemen ze het antwoord van BabyShell waarschijnlijk sneller voor waar aan dan hier. De diagnoses van het apparaat zouden dus eigenlijk een stuk accurater moeten zijn, maar dan nog blijft zelfdiagnose met behulp van vragen een onbetrouwbare methode voor veel ziektes. Het probleem is echter dat mensen daar vaak geen beschikking hebben tot een arts en dus geen alternatieven hebben.

Als er vanuit het utilisme naar deze kwestie gekeken wordt zijn er slechts een paar mogelijkheden als je er vanuit gaat dat mensen sowieso niet naar de arts zullen gaan:

1. Mensen zijn ziek en krijgen de juiste diagnose
2. Mensen zijn ziek en krijgen de verkeerde diagnose

3. Mensen zijn niet ziek en krijgen de juiste diagnose
4. Mensen zijn niet ziek en krijgen de verkeerde diagnose

In geval 2 en 4 treedt er een probleem op. In geval 2 kunnen mensen ziek zijn en een verkeerde diagnose krijgen. Het alternatief zonder BabyShell is dat ze ziek zijn en geen diagnose krijgen omdat ze niet naar de dokter gaan. Wat is in dit geval beter? Als we in het achterhoofd houden dat deze flowcharts zijn bedoeld voor zeer verschillende ziektes (oorontsteking, malaria en longontsteking) zijn de aangeraden remedieën ook niet zo ingrijpend. Ze kunnen de eigenlijke ziekte dus niet verergeren. Effectief houdt men dus hetzelfde over: er gebeurt niets om de ziekte te verbeteren. Zo is het ook in geval 4.

Kort samengevat zou het hebben van BabyShell kunnen leiden tot kansen op een juiste diagnose en een verkeerde, terwijl het niet hebben van BabyShell en ook geen dokter leidt tot helemaal geen diagnose. Aangezien een verkeerde diagnose voor de verschillende ziektes geen erge gevolgen heeft is het dus gerechtvaardigd om toch BabyShell aan te bieden in de Afrikaanse landen. Wel moeten de mensen bewust gemaakt worden dat de BabyShell zeker geen vervanging is voor een arts en wanneer ze zich niet goed voelen toch zeker moeten proberen een arts op te zoeken. BabyShell heeft daarom vaak als uiteindelijk advies dat er toch naar een arts wordt verwezen. Het apparaat is namelijk niet alleen maar om mensen zelf diagnoses te laten stellen, maar ook dat ze inzien dat het vaak toch verstandig is om naar een arts te gaan.

7

Kosten

Zoals al in de inleiding beschreven is, zijn de kosten belangrijk voor BabyShell. Daarom zijn ook de kosten van BabyShell als geheel in deze thesis opgenomen. Een eis van de opdrachtgever is dat de componenten voor BabyShell niet meer dan 6USD mogen bedragen. Hier is zoals in voorgaande hoofdstukken beschreven rekening mee gehouden bij het selecteren van de componenten. In dit hoofdstuk worden alle uiteindelijk gekozen componenten van de drie verschillende groepen in een overzicht weergegeven en de kosten daarvan berekend. De prijzen zijn gebaseerd op een bestelvolume van tussen de 500.000 en 1.000.000 stuks.

Tabel 7.1: Kostenoverzicht voor BabyShell met zonnecellen

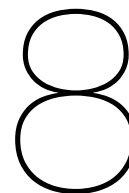
Naam	Aantal	Prijs/stuk(USD)	Subtotaal(USD)
Thermometer: Druppel lijm	1	0,02	0,02
Thermometer: Plaatje	1	0,01	0,01
Thermometer: NTC	1	0,07	0,07
RTC DS3231	1	0,31	0,31
Buzzer	1	0,20	0,20
Nokia 5110 scherm	1	1,29	1,29
Buttons	6	0,01	0,06
EEPROM 24AA256	1	0,09	0,09
Atmega328	1	1,12	1,12
Zonnecel	1	1,0	1,0
PCB	1	0,17	0,17
LIR2450	1	0,70	0,70
TP4056	1	0,07	0,07
LP5907	1	0,14	0,14
Battery Holder	1	0,15	0,15
Weerstanden	16	0,008	0,13
Condensatoren	6	0,005	0,03
Spoelen	1	0,013	0,013
NMOS	1	0,049	0,049
PMOS	0	0,010	0,0
Male headers	1	0,098	0,098
Female headers	1	0,08	0,08
Casing	1	0,10	0,10
Totaal			5,90

Beide versies van het prototype zijn in massaproductie te nemen voor minder dan 6\$ aan componentkosten. De prijzen van nu zijn vooral op de website aliexpress.com gevonden. Het vermoeden bestaat dat wanneer er een assemblagebedrijf gevonden wordt dat er via hen nog goedkopere componenten

Tabel 7.2: Kostenoverzicht voor BabyShell met batterij

Naam	Aantal	Prijs/stuk(USD)	Subtotaal(USD)
Thermometer: Druppel lijm	1	0,02	0,02
Thermometer: Plaatje	1	0,01	0,01
Thermometer: NTC	1	0,07	0,07
RTC DS3231	1	0,31	0,31
Buzzer	1	0,20	0,20
Nokia 5110	1	1,29	1,29
Buttons	6	0,01	0,06
EEPROM 24AA256	1	0,09	0,09
Atmega328	1	1,12	1,12
PCB	1	0,17	0,17
CR2450	1	0,75	0,75
Battery Holder	1	0,15	0,15
TLV61220	1	0,35	0,35
Weerstanden	16	0,008	0,13
Condensatoren	6	0,005	0,03
Spoelen	2	0,013	0,03
NMOS	3	0,049	0,15
PMOS	2	0,010	0,02
Male headers	1	0,098	0,10
Female headers	1	0,08	0,08
Casing	1	0,10	0,10
Totaal			5,22

gevonden worden door de ervaring en connecties die zij hebben. De opdrachtgever heeft in het begin van het project een lijst van componenten gestuurd naar het productiebedrijf waar zij al een paar jaar mee samengewerkt hebben. In de lijst stonden een paar gewenste componenten en de gevonden prijzen. Hierop hebben de contacten in China hun eigen, vaak lagere, prijs er naast gezet ter vergelijking. Een aantal prijzen in de tabel is gebaseerd op die prijzen.



Resultaten

8.1. Inleiding

In de vorige hoofdstukken is beschreven hoe het ontwerpproces er voor de groep RTC en Thermometer uitzag. Verder is nog gekeken hoeveel de componenten van Babyshell bij elkaar kosten. In dit hoofdstuk zal besproken worden wat er bereikt is met de thermometer, RTC, slaapmodi en alarmen en dit zal vergeleken worden met de specificaties zoals die genoemd zijn in hoofdstuk 3.

8.2. Resultaten Thermometer

Dankzij een kort onderzoek, waarbij drie opeenvolgende thermometers gebouwd werden, is de thermometer in staat in maximaal 18 seconden een temperatuurmeting uit te voeren met een nauwkeurigheid van $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Tijdens deze meting kan de microcontroller met alle externe apparatuur in Babyshell in een sleep modus gaan om energie te besparen. Voor de meting is een NTC gebruikt die met een ADC uitgelezen wordt. Deze NTC is gemonteerd onder een aluminium plaat van 10 bij 10 millimeter en is gemaakt om op de rand van Babyshell bevestigd te worden. De meting van de weerstand van de NTC is onafhankelijk van de voedingsspanning. Omdat het verband tussen de temperatuur en de weerstand niet lineair is, wordt de weerstand omgezet naar de temperatuur met de SteinHart-Hart vergelijking.

8.3. Resultaten RTC

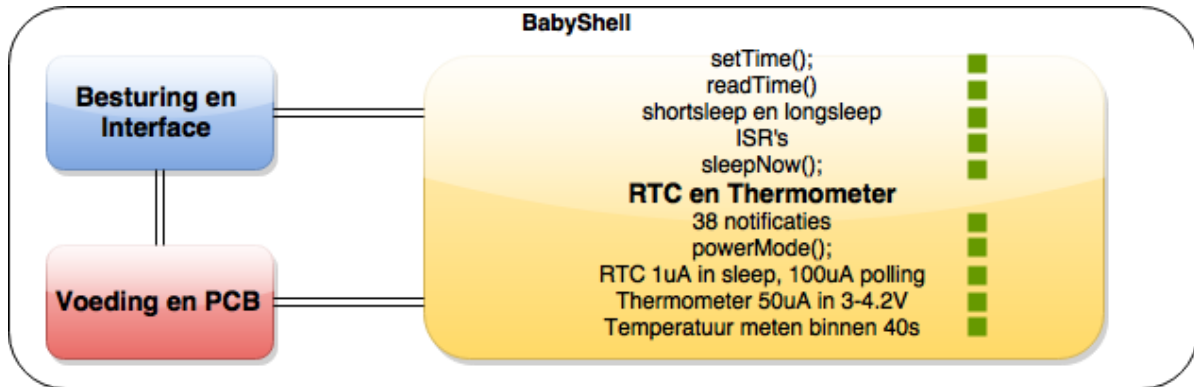
Zoals al in het ontwerpproces getoond wordt zijn alle basale functies van de RTC geïmplementeerd en getest. De specificaties zijn onder te verdelen in de specificaties van de subgroepen Voeding en PCB en Besturing en Interface. De resultaten van de RTC worden aan de hand van de specificaties beschreven.

8.3.1. Resultaten RTC op basis van specificaties van groep Voeding en PCB

Tijdens het testen van de RTC met de systeemversie V9 en de RTC geïntegreerd in het totale systeem verbruikte de RTC $100\mu\text{A}$ en $1\mu\text{A}$ tijdens het tijd bijhouden. Deze waarden zijn ook gemeten met de RTC op een losse Atmega328. Een andere specificatie van deze groep was het checken van de batterijspanning wanneer een interrupt gegenereerd wordt. Gemeten is dat de microcontroller weer in slaap ging wanneer de "batterijspanning", gesimuleerd door een netvoeding, te laag was. Hiermee voldoet de RTC aan de specificaties van de groep Voeding en PCB.

8.3.2. Resultaten RTC met specificaties van groep Besturing en Interface

Zoals al tijdens het ontwerpproces genoemd is zijn alle tijd- en alarmfuncties werkend. Ook de shortSleep en longSleep zijn met goed gevolg geïmplementeerd. Ook zijn notificaties aangeleverd voor groep Besturing en Interface. Met deze elementen kan groep Besturing en Interface de klokfunctie implementeren en in het settings menu de functie toevoegen om tijd in te stellen. In figuur 8.1 is een overzicht opgenomen van de specificaties van beide groepjes. Zoals te zien voldoet RTC en Thermo-



Figuur 8.1: Toetsing aan de specificaties BabyShell

meter aan alle technische specificatie van de subgroepen.

9

Discussie en aanbevelingen

Achteraf zijn er diverse verbeterpunten te vinden, zowel voor de RTC met het daarbij behorende slaapmodus systeem als de thermometer.

Wat de thermometer betreft, deze is wel uitvoerig getest door hem tegen de vinger te houden, maar het testen van de thermometer onder de oksel is slechts kort gedaan vanwege andere prioriteiten als de `Ntc_SleepNow()` functie en de integratie met het totale systeem. Dit kan invloed hebben op de maximale tijd die het kost om de NTC de lichaamstemperatuur te laten krijgen. Ook is het nodig om te onderzoeken welke gevolgen het productieproces heeft op de nauwkeurigheid van de thermometer, omdat de positionering van de NTC op de plaat niet bij voorbaat vastligt, het moet gelijmd worden. Deze twee punten bevelen we dus aan voor toekomstig onderzoek.

Verder is er wat het alarm betreft nu een algemene buzzer gekozen die compatible is met arduino en een grote range aan frequenties heeft. Er hoeft in principe slechts een vast geluid afgespeeld te worden, die zou wellicht met een goedkopere buzzer of geluidselement afgespeeld kunnen worden.

In theorie zou er ook een RTC gebruikt kunnen met slechts één alarm. De chip die daarvoor gebruikt kan worden, staat ook in dit verslag, de m41t62. Deze chip heeft ook nog een lager energieverbruik en neemt minder ruimte in op de PCB. De minuut slaapmodus is dan de implementeren met de watchdog timer. Dit heeft wel de nadelen van de hogere prijs en de grotere benodigde pcb nauwkeurigheid.

De behuizing is nu nog in ontwikkeling, het prototype zal uit de 3D printer komen. Dit is een relatief dure methode. Wanneer BabyShell in massaproductie gaat is het aan te bevelen om een mal voor het product te maken en de behuizing met de spuitgietmethode te produceren.

Er is ook gewerkt aan de notificaties, wellicht kan het in de toekomst zo gemaakt worden dat de tekst van de notificaties uit een .txt bestand gelezen kan worden om verschillende vertalingen mogelijk te maken. De opdrachtgever opperde ook om een vertaalfunctie in BabyShell zelf aan te brengen, maar dat heeft weer gevolgen voor geheugenverbruik en de microcontroller zelf.

10

Conclusie

In dit rapport zijn allereerst de functionele en technische specificaties besproken, samen met een verwant onderzoek waarin ingegaan werd op de bredere context van deze thesis. Daarna zijn de ontwerpprocessen van de thermometer, de RTC en slaapmodus besproken. Vervolgens werd nog vanuit de bredere context een ethische kijk gegeven op dit project en de kosten van het totale project toegelicht. Daarna zijn de resultaten kort besproken, hierbij werd vooral ingegaan op het voldoen aan de technische specificaties.

Als laatste is het nodig dat het eindproduct met de functionele specificaties van de opdrachtgever vergeleken wordt als het gaat over het subteam.

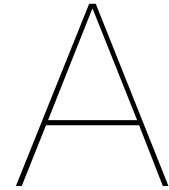
Het is mogelijk om met het resultaat van ons subteam de temperatuur onder de oksel te meten. De thermometer is gebouwd en getest. Ook is de Real Time Clock (RTC) getest en geïmplementeerd in software. Deze zorgt ervoor dat op de ingestelde tijd notificaties aan de gebruiker gegeven kunnen worden en dat het apparaat op de juiste tijd uitgaat na een vastgestelde periode van inactiviteit. Deze subsystemen geven Babyshell de extra functionaliteit die het een uniek apparaat maakt.

Bibliografie

- [1] Unicef. Under-five and infant mortality rates and number of deaths. <http://data.unicef.org/child-mortality/under-five>.
- [2] International Telecommunication Union. Mobile cellular subscriptions (per 100 people). <http://data.worldbank.org/indicator/IT.CEL.SETS.P2>.
- [3] Babycentre. Pregnancy calendar. <http://www.babycentre.co.uk/pregnancy-calendar>. Gevonden op 20-05-2015.
- [4] TheBump. Checklist: Pregnancy timeline. <http://www.thebump.com/a/checklist-pregnancy-timeline>. Gevonden op 20-05-2015.
- [5] Ornella Lincetto Seipati Mothebesoane-Anoh Patricia Gomez Stephen Munjanja. *Opportunities for Africa's Newborns 5*. World Health Organization, 2008.
- [6] US Department of Health and Human Services. 2015 recommended immunizations for children from birth through 6 years old. <http://www.cdc.gov/vaccines/parents/downloads/parent-ver-sch-0-6yrs.pdf>.
- [7] Ole F Norheim *et al.* Avoiding 40% of the premature deaths in each country, 2010–30: review of national mortality trends to help quantify the un sustainable development goal for health. *Lancet*, 385:239–252, 2015.
- [8] Joses Muthuri Kirigia *et al.* Indirect cost of maternal deaths in the who african region in 2010. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 14:299, 2014.
- [9] Rehana A Salam *et al.* Essential childbirth and postnatal interventions for improved maternal and neonatal health. *Reproductive Health*, 11(Suppl 1), 2014.
- [10] *et al.* Emma R Allanson. Causes of perinatal mortality and associated maternal complications in a south african province: challenges in predicting poor outcomes. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 15:37, 2015.
- [11] Sanjana Gupta *et al.* Morbidity among under five children in a rural area of jammu. *JK SCIENCE*, 14:85–88, 2012.
- [12] Li Liu *et al.* Global, regional, and national causes of child mortality in 2000–13, with projections to inform post-2015 priorities: an updated systematic analysis. *Lancet*, 385:430–440, 2015.
- [13] Jean-Modeste Harerimana *et al.* Effect of shortened integrated management of childhood illness training on classification and treatment of under-five children seeking care in rwanda. *Risk Management and Healthcare Policy*, 7:99–104, 2014.
- [14] published by World Health Organization. *IMCI Chart Booklet*. World Health Organization, 20 Avenue Appia, 1211 Geneva 27, Switzerland, 2014.
- [15] Augustine Kiplagat *et al.* Factors influencing the implementation of integrated management of childhood illness (imci) by healthcare workers at public health centers & dispensaries in mwanza, tanzania. *BMC Public Health*, 14:277, 2014.
- [16] Siri Lange *et al.* Why don't clinicians adhere more consistently to guidelines for the integrated management of childhood illness (imci)? *Social Science & Medicine*, 104:56–63, 2013.
- [17] Department of Economic and Social Affairs. United nations population facts. http://www.un.org/esa/population/publications/popfacts/popfacts_2010-2rev.pdf, August 2010.

- [18] Malefetsane Soai. Distance, time and healthcare workers' attitudes: How they determine people's views towards the healthcare system. http://www.consultancyafrica.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1068:distance-time-and-healthcare-workers-attitudes-how-they-determine-peoples-views-tow-61:hiv-aids-discussion-papers&Itemid=268, July 2012.
- [19] Gareth Jones *et al.* How many child deaths can we prevent this year? *The Lancet*, 362(9377):65–71, 2003.
- [20] H. Wakadha *et al.* The feasibility of using mobile-phone based sms reminders and conditional cash transfers to improve timely immunization in rural kenya. *Vaccine*, 31(6):987–993, 2013.
- [21] M. H. van Velthoven *et al.* Prevalence of mobile phones and factors influencing usage by caregivers of young children in daily life and for health care in rural china: A mixed methods study. *PLOS ONE*, 10(3), March 2015.
- [22] Bediang *et al.* Sms reminders to improve the tuberculosis cure rate in developing countries (tb-sms cameroon): a protocol of a randomised control study. *Trials*, 15:35, 2014.
- [23] Vital Wave Consulting. mhealth for development. the opportunity of mobile technology for health-care in the developing world. *United Nations Foundation*, 2010.
- [24] Zulfiqar A Bhutta *et al.* Can available interventions end preventable deaths in mothers, newborn babies, and stillbirths, and at what cost? *Lancet*, 384:347–370, 2014.
- [25] Deloitte. Sub-saharan africa mobile observatory 2012. Technical report, GSM Association, 2012.
- [26] Chiponda Chimbela. Poor infrastructure is key obstacle to development in africa. <http://www.dw.de/poor-infrastructure-is-key-obstacle-to-development-in-africa/a-15264436>, July 2011.
- [27] Dirk H Mueller *et al.* Costs of early detection systems for epidemic malaria in highland areas of kenya and uganda. *Malaria Journal*, 8(17), 2009.
- [28] Tom H Brown. The role of m-learning in the future of e-learning in africa. http://matheasy.webstarts.com/uploads/The_role_of_m-learning_in_the_future_of_e-learning_in_Africa.pdf, june 2003.
- [29] Bob Tortora. Africa continues going mobile. <http://www.gallup.com/poll/168797/africa-continues-going-mobile.aspx>, may 2014.
- [30] Humidity map africa. http://www.findlocalweather.com/weather_maps/humidity_africa.html.
- [31] Eyes on Africa. Africa weather. <http://www.eyesonafrica.net/africa-weather.htm>, april 2015.
- [32] Risto Hienonen and Reima Lahtinen. *Corrosion and climatic effects in electronics*. VTT Technical Research Centre of Finland, 2007.
- [33] J. M. Lasance Clemens. Temperature and reliability in electronics systems – the missing link. *Electronics Cooling*, 4(9):1–4, 2001.
- [34] Alexander Jongeling; Paul Bakker. Bachelor afstudeer project: Schermbesturing en interface. Technical report, Tu Delft, 2015.
- [35] Tim Cheung; Lars van Leeuwen;. Bachelor afstudeer project: Voeding, batterij management en pcb. Technical report, TU Delft, 2015.
- [36] aliexpress.com. New original 500pcs mf52-10k 5thermistors 10k. <http://www.aliexpress.com/item/New-original-500PCS-MF52-10K-5-B-3977-1-NTC-resistance-thermistors-10K/1913276636.html>. Gevonden op 11-06-2015.

- [37] Maxim Integrated. Ds18b20 programmable resolution 1-wire digital thermometer. datasheet, 2008.
- [38] Melexis. Mlx90614 family, single and dual zone infra red thermometer in to-39. datasheet, 2013.
- [39] Aliexpress.com. Mlx90614 family, single and dual zone infra red thermometer in to-39. <http://www.aliexpress.com/item/two-components-high-silver-content-electrical-conductive-epoxy-adhesive-with-excell32238389454.html>, 2015. Gevonden op 12-06-2015.
- [40] Atmel. Atmega328p datasheet. http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf.
- [41] Vishay. Ntcle100e3, ntc thermistors, radial leaded, standard precision. datasheet, 2012.
- [42] Chemtronics. Circuitworks conductive epoxy. datasheet, 2013.
- [43] Ametherm. Ntc thermistors steinhart and hart equation. <http://www.ametherm.com/thermistor/ntc-thermistors-steinhart-and-hart-equation>, 2015. Gevonden op 17-06-2015.
- [44] St Microelectronics. Datasheet m41t62. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00019860.pdf>.
- [45] Maxim Integrated. Datasheet ds1307. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>.
- [46] Maxim Integrated. Datasheet ds3231. <http://www.maximintegrated.com/en/products/digital/real-time-clocks/DS3231.html>.
- [47] Aliexpress. M41t62q6f ic rtc serial walarm 16qfn m41t62q6 41t62 m41t62 41t62q m41t6 41t62q6. <http://www.aliexpress.com/item/M41T62Q6F-IC-RTC-SERIAL-WALARM-16QFN-M41T62Q6-41T62-M41T62-41T62Q-M41T6-41T62Q6/32225999411.html>.
- [48] Aliexpress. Ds1307zn+ ds1307n ds1307 ic rtc clk;calendar i2c 8-soic. <http://www.aliexpress.com/item/DS1307ZN-DS1307N-DS1307-IC-RTC-CLK-CALENDAR-I2C-8-SOIC-100pcs/32365635846.html>.
- [49] Aliexpress. Ds3231sn ds3231. <http://www.aliexpress.com/item/DS3231SN-DS3231/32370701123.html>.
- [50] Rodan JC. arduino library for ds3231 rtc. <https://github.com/rodan/ds3231>, 2015.
- [51] J. Christensen. Arduino library for maxim integrated ds3232 and ds3231 real-time clocks. <https://github.com/JChristensen/DS3232RTC>, 2015.
- [52] Goodliffe. Rtc (real time clock). http://www.goodliffe.org.uk/arduino/rtc_ds3231.php, 2015.
- [53] David E. Simon. *An embedded systems primer*. Addison Wesley, 1999.
- [54] PRO-SIGNAL. Abt-402-rc. <http://www.farnell.com/datasheets/1505869.pdf>, 2011.
- [55] Thomas Beelen. The babyshell, 2015.
- [56] Atmel. *Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P-datasheet-Complete*, 10 2014.



Atmega328

A.1. Verschillende typen slaapmodus

	Active Clock Domains					Oscillators			Wake-up Sources						Software BOD Disable
	clk _{CPU}	clk _{FLASH}	clk _{IO}	clk _{ADC}	clk _{ASY}	Main Clock Source Enabled	Timer Oscillator Enabled	INT1, INT0 and Pin Change	TWI/Address Match	Timer2	SPM/EEPROM Ready	ADC	WDT	Other I/O	
Idle			X	X	X	X	X ⁽²⁾	X	X	X	X	X	X	X	
ADC Noise Reduction				X	X	X	X ⁽²⁾	X ⁽³⁾	X	X ⁽²⁾	X	X	X		
Power-down								X ⁽³⁾	X				X		X
Power-save					X		X ⁽²⁾	X ⁽³⁾	X	X			X		X
Standby ⁽¹⁾						X		X ⁽³⁾	X				X		X
Extended Standby					X ⁽²⁾	X	X ⁽²⁾	X ⁽³⁾	X	X			X		X

Figuur A.1: Verschillende typen slaapmodus in de atmega 328[56]

A.2. Stroomverbruik van verschillende typen slaapmodus

Symbol	Parameter	Condition	Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Units	
I _{CC}	Power Supply Current ⁽¹⁾	Active 1MHz, V _{CC} = 2V		0.3	0.55	mA	
		Active 4MHz, V _{CC} = 3V		1.7	3.5		
		Active 8MHz, V _{CC} = 5V		5.2	12		
		Idle 1MHz, V _{CC} = 2V		0.04	0.5		
		Idle 4MHz, V _{CC} = 3V		0.3	1.5		
		Idle 8MHz, V _{CC} = 5V		1.2	5.5		
	Power-save mode ⁽³⁾	32kHz TOSC enabled, V _{CC} = 1.8V			0.8		μA
		32kHz TOSC enabled, V _{CC} = 3V			0.9		
	Power-down mode ⁽³⁾	WDT enabled, V _{CC} = 3V			4.2	15	
WDT disabled, V _{CC} = 3V				0.1	2		

Figuur A.2: Verschillende DC-eigenschappen van de atmega 328[56]

B

DS3231

B.1. Registeroverzicht van de DS3231

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE
00h	0	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Hours	1–12 + AM/PM 00–23
03h	0	0	0	0	0	Day			Day	1–7
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	Century	0	0	10 Month	Month				Month/ Century	01–12 + Century
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	A1M1	10 Seconds			Seconds				Alarm 1 Seconds	00–59
08h	A1M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 1 Minutes	00–59
09h	A1M3	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Alarm 1 Hours	1–12 + AM/PM 00–23
0Ah	A1M4	DY/DT	10 Date		Day			Alarm 1 Day	1–7	
					Date			Alarm 1 Date	1–31	
0Bh	A2M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 2 Minutes	00–59
0Ch	A2M3	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Alarm 2 Hours	1–12 + AM/PM 00–23
					Day			Alarm 2 Day	1–7	
0Dh	A2M4	DY/DT	10 Date		Date			Alarm 2 Date	1–31	
					Date			Alarm 2 Date	1–31	
0Eh	EOSC	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE	Control	—
0Fh	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Control/Status	—
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	—
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MSB of Temp	—
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	LSB of Temp	—

Figuur B.1: Timekeeping registers DS3231 [46]

B.2. Mask bits

DY/DT	ALARM 1 REGISTER MASK BITS (BIT 7)				ALARM RATE
	A1M4	A1M3	A1M2	A1M1	
X	1	1	1	1	Alarm once per second
X	1	1	1	0	Alarm when seconds match
X	1	1	0	0	Alarm when minutes and seconds match
X	1	0	0	0	Alarm when hours, minutes, and seconds match
0	0	0	0	0	Alarm when date, hours, minutes, and seconds match
1	0	0	0	0	Alarm when day, hours, minutes, and seconds match
DY/DT	ALARM 2 REGISTER MASK BITS (BIT 7)			ALARM RATE	
	A2M4	A2M3	A2M2		
X	1	1	1	Alarm once per minute (00 seconds of every minute)	
X	1	1	0	Alarm when minutes match	
X	1	0	0	Alarm when hours and minutes match	
0	0	0	0	Alarm when date, hours, and minutes match	
1	0	0	0	Alarm when day, hours, and minutes match	

Figuur B.2: Maks bits om het type alarm in te stellen[46]

C

Behuizing

C.1. Brainstorm behuizingen BabyShell



Figuur C.1: Brainstorm tekeningen voor de behuizing van BabyShell

C.2. Brainstorm behuizingen BabysheIl tabel

A handwritten table on a piece of paper. The table has 6 columns labeled G, T, P, L, K, A and 4 rows labeled 1, 2, 3, 4. The numbers in the cells are as follows:

	G	T	P	L	K	A	
1	2	3	3	1	4	4	17
2	4	4	4	4	3	3	22
3	1	2	2	2	2	2	11
4	3	1	1	3	1	1	10

Keuze

Prototype casing

Figuur C.2: Keuzes vanuit de subgroepen in een tabel