

TECH FOR FUTURE

Centre of Expertise HTSM Oost

Temperatuurmeting Saxshirt

Wilco Bonestroo
Lennart Teunissen
12 juni 2014



Temperatuurmeting Saxshirt

Auteur: Wilco Bonestroo & Lennart Teunissen

Verschijningsdatum: 12 juni 2014

Betrokken partijen: Saxion

Dit is een uitgave van Saxion, Universiteit Twente en Windesheim



Inhoud

1. Huidtemperatuur.....	4
1.1 Locatie	4
1.2 Requirements	5
1.3 Sensortypes voor huidtemperatuur	5
1.4 Omgevingsinvloed	5
2. Sensoren voor huidtemperatuur	7
2.1 Type thermistor	7
2.2 Weerstand en tolerantie	8
2.2.1 Weerstand.....	8
2.2.2 Tolerantie	8
2.2.3 Gevoeligheid.....	9
2.3 Keuze thermistor	9
2.4 Omzetting weerstand naar temperatuur	9
2.5 Meten van de Weerstand.....	10
2.6 Resultaat voor temperatuur.....	11
2.7 Conclusie en alternatieven	12
3. Bevestiging en validatie van huidtemperatuursensor.....	13
4. Bepaling kerntemperatuur in het veld	15
4.1 Eisen	15
4.2 Temperatuurpil.....	16
4.3 Warmtestroomsensor (heat flux)	16
4.4 Modelmatige schatting.....	18
5. Dataverwerking en -interpretatie	19



1. Huidtemperatuur

In het STW-SaxShirt project zal huidtemperatuur en omgevingstemperatuur worden gemeten. Via de huid vindt warmte-uitwisseling plaats tussen de lichaamskern en omgeving. De temperatuur van de huid verschilt per lichaamsdeel en is afhankelijk van de doorbloeding en omgevingstemperatuur (zie figuur).

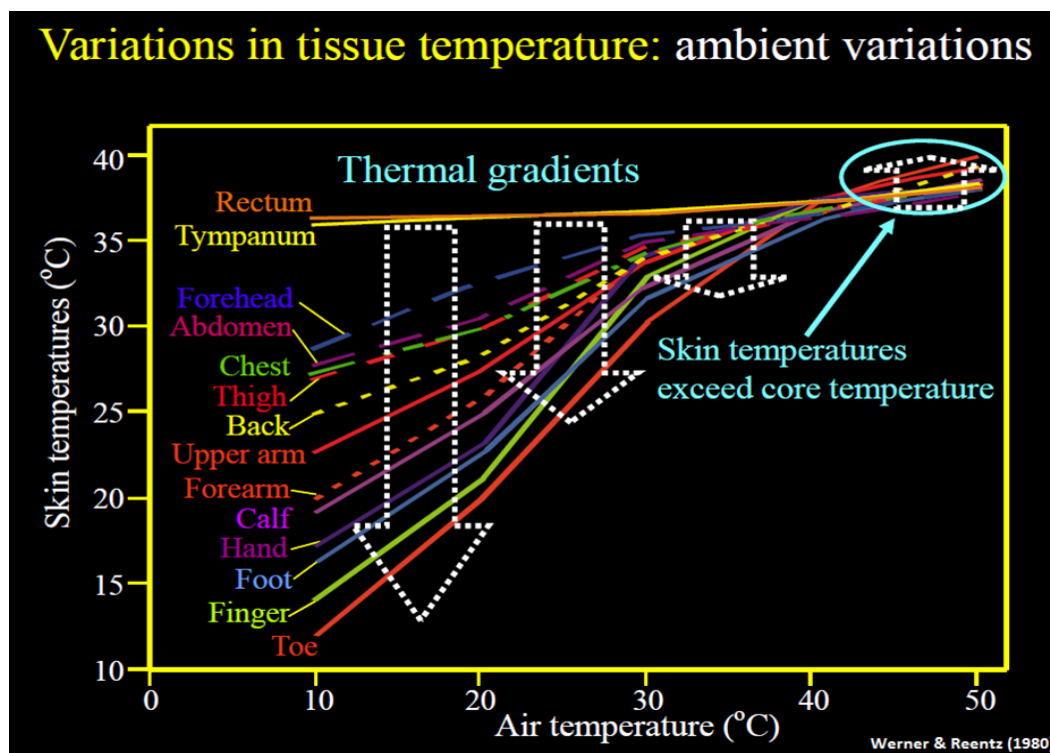


Fig. 1. Variaties in lichaamstemperatuur met omgevingscondities

De huidtemperatuur geeft informatie over de warmtebalans van het lichaam en kan toegepast worden binnen de volgende domeinen:

- Onderzoek (inspanningsfysiologie, omgevingsfysiologie, slaap, circadiaan ritme)
- Klinisch (eg Alzheimer, Parkinson, pediatrische, peri-operatief)
- Praktijk sportveld en werkomgeving > schatting lichaamstemperatuur??

1.1 Locatie

Gezien de variatie over het lichaam kan een overall waarde voor huidtemperatuur alleen bepaald worden door op meerdere meetplekken te meten en een gewogen gemiddelde te berekenen (ISO 9886, 2004). Een enkele



meetlocatie kan info geven over de lokale huidtemperatuur. Bij het Saxshirt kan alleen op de romp gemeten worden. Bovenstaand figuur geeft aan dat de borst het minst beïnvloed wordt door de omgeving en dus de voorkeur heeft.

Wanneer we uiteindelijk kerntemperatuur willen schatten op basis van o.a. huidtemperatuur, dan blijkt input van 2 huidsensoren voorop (borst/buik) en 2 sensoren achterop (rug hoog/laag) de romp een geschikte keuze (gebaseerd op het Prospie project), in combinatie met hartslag en evt andere sensoren.

1.2 Requirements

- Nauwkeurigheid: $SD < \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Snelle responstijd
- Range ten minste $10\text{-}50^{\circ}\text{C}$
- Klein, lichtgewicht, bescherming tegen omgeving
- Gebruiksvriendelijk, veilig, comfortabel

1.3 Sensortypes voor huidtemperatuur

- Thermistor
 - Nauwkeurig
 - Klein
 - Contact vereist
 - Betrouwbaarheid kan dalen wanneer metaalweerstand toeneemt na verloop van tijd
 - Nauwkeurigheid vaak rond 0.3°C , duurdere medische sensoren $0.15\text{-}0.2^{\circ}\text{C}$
- Thermokoppel
 - Nauwkeurig, maar iets minder dan thermistor
 - Klein
 - Contact vereist
- Infrarood sensor
 - Contactloos, comfortabel, snelle respons
 - Vrij groot/dik, goed zicht op de huid vereist, verstoring door opwarming sensor

1.4 Omgevingsinvloed

- Huidsensoren worden beïnvloed door de omgevingstemperatuur en wind, onafhankelijk van type sensor en tape
- Tevens bescherming benodigd tegen vocht van zweet of regen
- Hoe platter en nauwer aansluitend op de huid, hoe kleiner de omgevingsinvloed
- Een goed omhulsel (zoals bij iButton) of afdekking (aluminium tape) van de temperatuursensor vermindert het omgevingseffect.





2. Sensoren voor huidtemperatuur

Huidtemperatuur kan o.a. worden gemeten dmv thermistors, thermokoppels en infraroodsensoren. Deze laatste is weinig praktisch vanwege het formaat van de sensor, omdat de sensor continu een onverstoorde zicht moet hebben op de huid en omdat het opwarmen en vochtig worden van de sensor zelf verstorend werkt. Thermistors en thermokoppels zijn beide kleine, vrij nauwkeurige temperatuursensoren. Aangezien thermistors een iets hogere nauwkeurigheid hebben voor onze toepassing, is hiervoor gekozen.

2.1 Type thermistor

Er zijn veel verschillende typen thermistors op de markt, variërend in vorm, prijs en meeteigenschappen. Een eerste inventarisatie van verschillende types leverde onderstaande tabel op.

Tabel 1. Thermistor types

Type	Price	Comfort	Size	Accuracy	Comments	
Medical disc	100	O	9.5 mm	0.1-0.2°C	Accurate but expensive and quite large	
Classic disc/cube	1-10	O/-	3-5 mm	0.3-0.5°C	Small and cheap	
Classic pin-head	1-10	O	1-2 mm	0.3-0.5°C	Small and cheap	
Pt100 thin film	2-10	+	0.5x2x5 mm	0.3°C	Very small; wheatstone bridge and amplifier required	
Chip	<1	-	Very small	?	Very small; printboard required directly at sensor location	

De medische sensor kan als referentie gebruikt worden, maar is te duur voor gebruik in het Saxshirt. Een chip moet direct op het printboard worden bevestigd en geeft dus geen flexibiliteit qua locatie. De Pt100 vereist een wheatstone bridge in de schakeling en is bovendien erg klein om praktisch in het shirt te krijgen. De standaard thermistor in schijf of speldekknop vorm krijgt daarom de voorkeur.



2.2 Weerstand en tolerantie

Bij nadere bestudering van de specificaties blijken de geselecteerde typen thermistors te onderscheiden in weerstand en tolerantie. Dit wierp de volgende vragen op:

Het gaat om de volgende twee vragen:

1. Moet de weerstand van de sensor hoog of juist laag zijn om een zo zuinig mogelijk systeem te maken.
2. Wat betekent de term tolerantie en hoe dient deze geïnterpreteerd worden?

2.2.1 Weerstand

In een schakeling gaat elektrische energie verloren in de vorm van bijvoorbeeld warmte. Deze energie vormt het vermogen dat de schakeling gebruikt. Dit wordt ook wel dissipatie genoemd. Wanneer je gebruik maakt van een gelijkstroombron (een betere term zou gelijkspanningbron zijn) is de spanning (binnen bepaalde grenzen) constant. Voor de meeste microcontrollers is dit bijvoorbeeld 5V of 3.3V.

Het vermogen van een schakeling kan je berekenen met de formules: $P = V \times I$ en $V = I \times R$, waarbij P het vermogen in watt is, V de spanning in volt, I de stroom in ampère en R de weerstand in ohm. Door omschrijven van de formule kan je het vermogen dus ook op de volgende manieren uitdrukken: $P = V \times I = V^2 / R = I^2 \times R$.

Uit deze formules kunnen we afleiden dat om het gedissipeerde vermogen zo laag mogelijk te maken bij een constante spanning V we: 1) de stroom I zo laag mogelijk maken en 2) de weerstand R zo hoog mogelijk maken. Dit lijkt misschien tegen-intuïtief, omdat het lijkt dat het meer moeite kost om stroom door een schakeling met een hoge weerstand te krijgen. Het is het makkelijkst voor te stellen door naar een stopcontact te kijken. Tussen de twee polen zit een spanning van 230V. Als je niets aansluit, dan zit er lucht tussen de polen en dat heeft een tamelijk grote weerstand. Er loopt dan ook geen stroom en “de schakeling” gebruikt geen vermogen. Als je de twee polen verbind door middel van een geleidend voorwerp, dan heb je een veel lagere weerstand en dus een grotere stroom. Het gevolg is een hoge temperatuur, met alle gevolgen van dien.

Kortom: om een sensor energiezuinig te meten kan je beter een schakeling met een hoge weerstand dan een schakeling met een lage weerstand hebben.

2.2.2 Tolerantie

In de datasheets van temperatuursensoren wordt bij iedere sensor gesproken over tolerantie. In de documenten die we hadden wordt dit uitgedrukt met behulp van een percentage. Zo zijn er sensoren met een tolerantie van 1%, maar ook sensoren met een tolerantie van 20%. Hoe moeten deze waarden worden geïnterpreteerd?

Het document van het bedrijf Measurement Specialities wordt een duidelijke uitleg gegeven. De tolerantie kan op twee manieren worden weergegeven. Meestal wordt het in een percentage van de weerstand uitgedrukt. Als je bijvoorbeeld een sensor hebt die een weerstand van 10.000 ohm heeft bij 25°C met een tolerantie van 5%, dan heeft deze maximaal een error van $10.000 / 100 \times 5 = 500$ ohm. Met andere woorden, bij een daadwerkelijke temperatuur van 25°C, is de weerstand van de sensor tussen de 9.500 en 10.500 ohm.



Kortom: Tolerantie zegt iets over de error die een sensor oplevert. Een lagere tolerantie is dan ook te verkiezen boven een hogere tolerantie.

2.2.3 Gevoeligheid

Een ander interessant punt is de *gevoeligheid* (sensitivity) van de sensor. Deze is af te leiden uit de curve die de weerstand ten opzichte van de temperatuur laat zien. Deze curve is bij voorkeur een zo stijl mogelijke, rechte lijn, zodat kleine veranderingen in de temperatuur grote en lineaire veranderingen in de weerstand geven. Meestal wordt deze waarde uitgedrukt in een percentage per graad Celsius, dus bijvoorbeeld: 4.4%/°C bij een bepaalde temperatuur. Deze waarde moet dan ook zo groot mogelijk zijn en is in principe onafhankelijk van de tolerantie.

Gebruikte literatuur: zie (1).

2.3 Keuze thermistor

De voorkeur gaat dus uit naar een thermistor volgende eigenschappen:

- Klein, maar niet te klein om in kleding vast te zetten en goed contact te maken met de huid
- Goedkoop
- Voldoende nauwkeurig (voldoende resolutie en kleine error)
- Hoge weerstand (laag energieverbruik)
- Lage tolerantie (kleine random error)
- Hoge gevoeligheid (weerstandsverandering per °C)

Op basis van deze criteria is de keus gevallen op de speldeknop thermistor van Epcos (S861), met een weerstand van 10kOhm, een tolerantie van 1% en een prijs van 1.71.



Fig. 2. Geselecteerde thermistor

2.4 Omzetting weerstand naar temperatuur

Het meest gebruikte principe bij dergelijke sensoren is dat de weerstand afhankelijk is van de temperatuur. Bij een NTC is de weerstand lager als de temperatuur hoger is. Deze relatie is echter niet lineair, maar wordt beschreven door een zogenaamde R/T karakteristiek, waarin de R voor de weerstand staat en T voor de temperatuur. De gekozen sensor heeft een karakteristiek met nummer 8016. De verschillende waarden voor R bij een T kunnen worden uitgerekend met de formules en tabellen uit [ref naar doc](#).



De door ons gekozen NTC heeft de volgende karakteristiek.

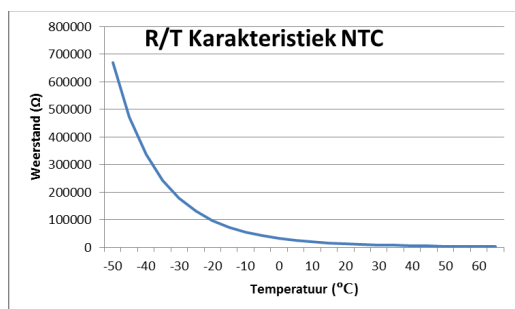


Fig. 3. R/T karakteristiek

Het is hierbij opvallend dat de weerstand bij lagere temperaturen meer varieert dan bij hogere temperaturen. Aangezien een groter verschil beter te meten is, wordt het meten van de temperatuur steeds lastiger naarmate we een hogere temperatuur willen meten.

2.1 Meten van de Weerstand

De meest eenvoudige schakeling om een onbekende weerstand te meten is de zogenaamde spanningsdeler. Bij een spanningsdeler wordt een weerstand in serie geplaatst met het onderdeel waarvan de weerstand moeten worden gemeten; in dit geval dus met de NTC. Het grote voordeel van een spanningsdeler is de eenvoud van de schakeling. Er is slechts 1 extra weerstand nodig. Een nadeel van een spanningsdeler is dat de gemeten outputspanning slechts een fractie van de inputspanning is. Je verliest dus als het ware altijd een gedeelte van de totale spanning. Een ander nadeel is dat de gemeten output niet lineair is ten opzichte van de weerstand. De uitgangsspanning kan met onderstaande formule worden berekend:

$$V_{out} = \frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R_{ref}} \times V_{in}$$

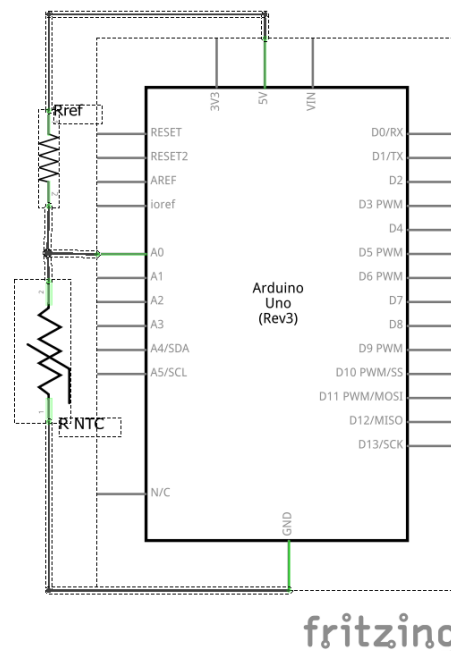


Fig. 4. Schakeling



Om een gevoel voor de uitgangsspanning te krijgen, staan hieronder een aantal grafieken voor verschillende referentieweerstanden, waarbij de inputspanning 5V was.

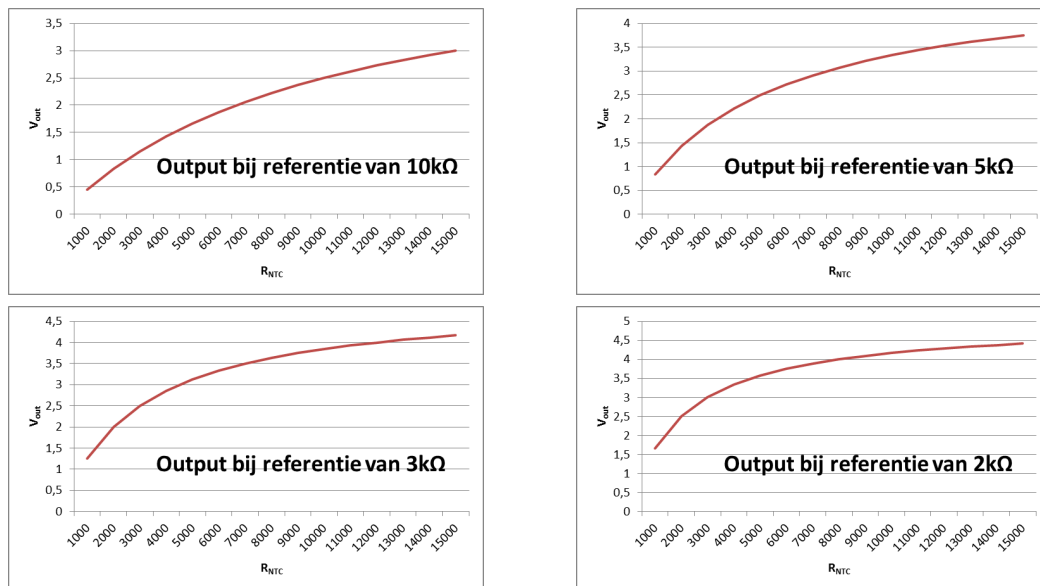


Fig. 5. Uitgangsspanning bij verschillende referentieweerstanden

We zien dus dat zowel de output van NTC niet lineair, maar ook de output van de meetschakeling niet lineair is.

2.2 Resultaat voor temperatuur

Als we de NTC opnemen in een schakeling met een spanningsdelers, dan krijgen we de volgende resultaten.

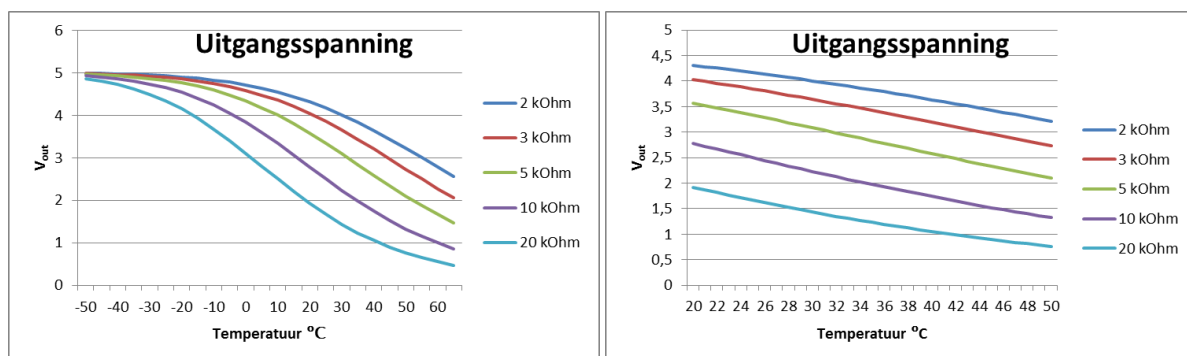


Fig. 6. Uitgangsspanning bij verschillende temperaturen en weerstanden

De meeste microcontrollers zetten een analoge spanning naar een digitaal signaal om met behulp van een ADC van 10 bits die kan meten tussen 0V en 5V. In totaal kan een dergelijke ADC $2^{10} = 1024$ stapjes onderscheiden en één stapje is dan $5V / 1024 \approx 0,005V$ groot. Spanningsverschillen kleiner dan deze waarde zijn voor de microcontroller dus niet meer te meten.



Voor verschillende temperaturen kunnen we nu bepalen hoe nauwkeurig de temperatuur gemeten kan worden. Een lagere waarde voor de resolutie betekent dat hij nauwkeuriger meet. Een resolutie van 0,1 betekent bijvoorbeeld dat je op 0,1 °C nauwkeurig kan meten.

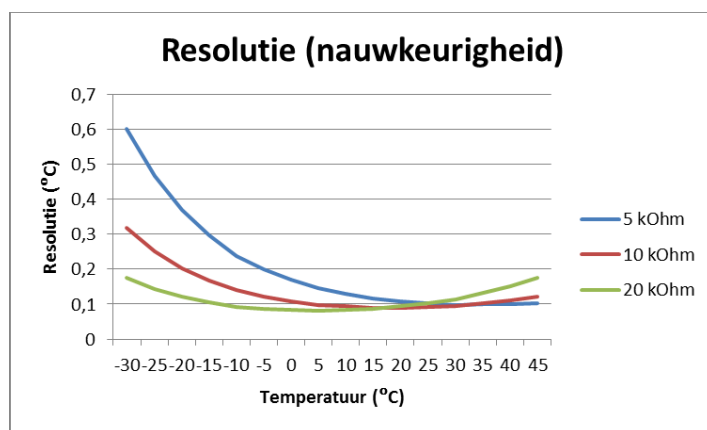


Fig. 6. Resolutie bij verschillende temperaturen en weerstanden

Bij het maken van de keus welke weerstand gebruikt gaat worden, maakt het dus uit in welke temperatuur we geïnteresseerd zijn. Een lage weerstand (5kOhm) geeft slechtere resultaten bij zeer lage temperaturen (-30), maar heeft de beste resultaten rond de 38 °C

Meetbereik: belangrijk welke waarden gaan we meten: Huid: 0 – 60Omgeving: -20 - 150

2.3 Conclusie en alternatieven

Het is van belang te weten welke temperaturen we willen meten, omdat de nauwkeurigheid van de sensor afhangt van de temperatuur. De Visual Basic code voor het bepalen van de weerstand bij een gegeven temperatuur is in het betreffende document op de F-schrijf beschikbaar.

Commerciële temperatuur sensoren, zoals de LM135/235/335 hebben een lineaire output 10mV/°K.



3. Validatie van huidtemperatuursensor

Idealiter zou de temperatuursensor met een ijkthermometer en waterbad gecalibreerd moeten worden om een de sensor te valideren en een eventuele correctiefactor te bepalen. In dit stadium van het project, waar nog geen absolute nauwkeurigheid is vereist, hebben we gekozen voor een praktische test, waarbij de temperatuursensor bij kamertemperatuur en op de huid van de hand geplakt werd vergeleken met een iButton (fig. 7).

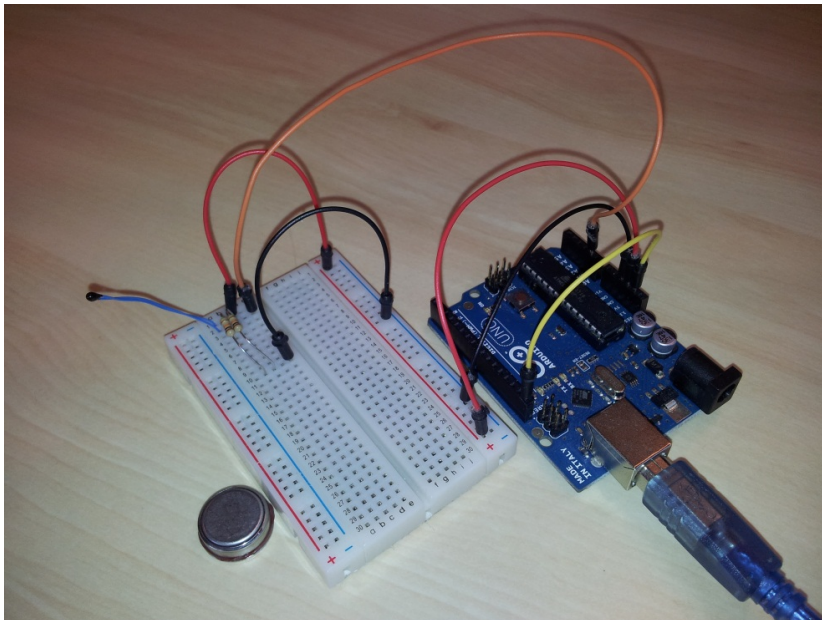


Fig. 7. Testopstelling

In fig. 8 is het temperatuursverloop van de sensor (NTC) en de iButton te zien, waarbij de sensoren na zo'n 1.5 min op de huid werden geplakt. De NTC reageert snel en geeft in beide condities een temperatuur aan die ongeveer een graad lager ligt dan die van de iButton. Of dit een structurele meetfout is of veroorzaakt werd door de meetcondities zou nader onderzocht moeten worden. Niettemin kunnen we de conclusie trekken dat de NTC een reële waarde meet die in de buurt van de werkelijke waarde zit.

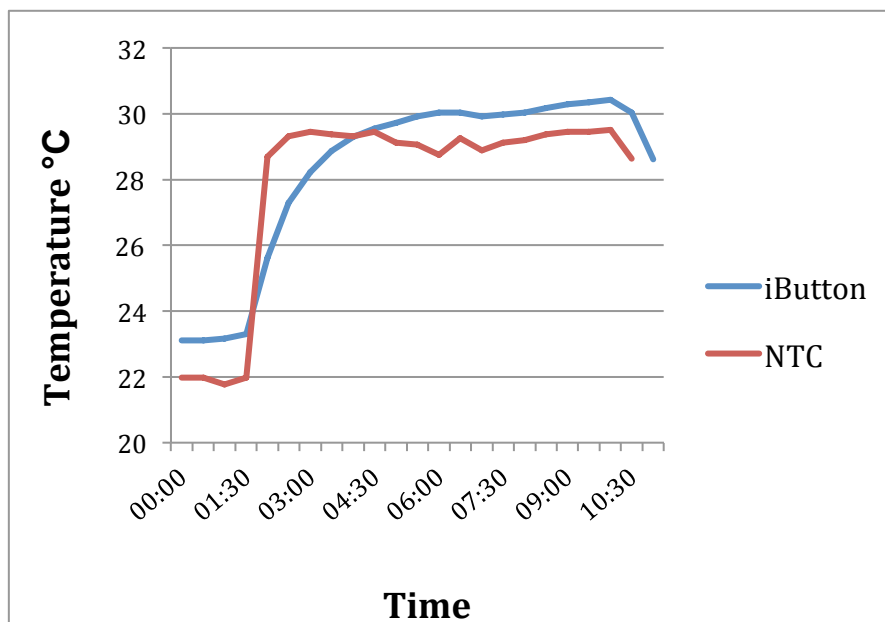


Fig. 8. Testopstelling

De volgende stap is een praktijk specifieke validatiemeting. Hiervoor zal de sensor bevestigd moeten worden via een elastische band in het shirt om goed contact te garanderen. De niet-contact zijde zal bij voorkeur met een coating moeten worden beschermd tegen externe invloed. Validatie zal moeten plaatsvinden in diverse omstandigheden (rust/inspanning, 10-20-30°C, low/high wind) in vergelijking met medische huidtemperatuursensoren of iButtons.



4. Bepaling kerntemperatuur in het veld

Wanneer we de lichaamstemperatuurmeting met het Saxshirt een stap verder willen brengen, zal niet alleen de huidtemperatuur, maar ook de temperatuur van de lichaamskern bepaald moeten worden. De huidtemperatuur varieert tussen de 10 en 40°C (zie fig.1), afhankelijk van de omgevingscondities en de hoeveelheid bloedcirculatie. De temperatuur van de lichaamskern (centraal zenuwstelsel, borst- en buikholte) wordt relatief stabiel gehouden rond de 37°C.

Een te hoge (>38°C) of lage (<36°C) kerntemperatuur kan ernstige gevolgen hebben voor de gezondheid en/of prestatie. Afwijkende kerntemperatuur is bij gezonde personen over het algemeen gerelateerd aan inspanning, extreme omgevingscondities en/of beschermende kleding. Daarom is met name bij risicoberoepen en sporters zinvol om kerntemperatuur te kunnen monitoren. Zie voor uitgebreide informatie omtrent de bepaling en beïnvloeding van kerntemperatuur (2).

4.1 Eisen

Lichaamstemperatuur meten is niet zo simpel als het lijkt, zeker niet tijdens of direct na het sporten. Je wilt betrouwbaar kunnen bepalen wat er in de kern (het hart en de hersenen) gebeurt, maar het moet wel snel, praktisch en comfortabel. Het zoeken is dus naar een praktische niet-invasieve methode, die toch onder alle omstandigheden een betrouwbare schatting van de kern geeft. De meeste huis-tuin-en-keuken methodes zijn dan ongeschikt: het oor, het voorhoofd en de oksel zijn bewezen onbetrouwbare locaties, de mond is ongeschikt vanwege de ademhaling en rectaal is niet comfortabel. Bovendien wil je liefst continu mobiel kunnen meten. Helaas is er nog geen breed toepasbare methode die aan alle eisen voldoet.

Samengevat dient een meetmethode voor bepaling van de kerntemperatuur in het veld aan een aantal eisen te voldoen:

- Betrouwbaar (95% limits of agreement < 0.5°C)
- Snel, praktisch, comfortabel in gebruik
- Non-invasief, continu meten
- Te integreren in een (sport)shirt



4.2 Temperatuurpil

Meest bruikbaar voor onderzoeksdoeleinden is momenteel een temperatuurpil, die je inslikt en draadloos de temperatuur in het darmkanaal naar een externe ontvanger stuurt. Deze methode is comfortabel en komt goed overeen met de rectaaltemperatuur. Nadeel is wel dat je deze pil een paar uur tevoren moet innemen (hij moet de maag gepasseerd zijn) en dat je nooit precies weet waar hij zich bevindt. Bovendien is zo'n pil vrij duur en groot en is de batterij na activatie beperkt houdbaar. Verbeteringen in prijs en gebruiksgemak zouden deze methode wellicht voor een groter publiek toegankelijk maken.



Fig.1. Temperatuurpil en draagbare ontvanger

4.3 Warmtestroomsensor (heat flux)

Een andere veelbelovende ontwikkeling is het bepalen van de lichaamstemperatuur met behulp van heat flux: de warmtestroom van de lichaamskern naar de huid. Dit kan met een zero heat flux sensor, die de huid lokaal zodanig isoleert dat het betreffende stukje huid door de natuurlijke warmtestroom van de kern naar de huid wordt opgewarmd. Wanneer de kern en huid in thermisch equilibrium komen, is de kerntemperatuur op de huid te meten. Om volledige isolatie van de huid te bereiken, bevat de sensor een verwarmingselementje. Nadeel hiervan is een hogere energiebehoefte. Onlangs heeft 3M een zero heat flux sensor voor klinische toepassing op de markt gebracht. Een evt mobiele versie zou interessant kunnen zijn voor veldmetingen.



Fig.2. 3M SpotOn zero heat flux sensor



De SafeTemp en HotHead sensoren maken gebruik van een soortgelijke methode. Echter, deze sensoren bevatten geen verwarmingselement, waardoor de huid niet volledig op kerntemperatuur komt. Ze dienen op een goed geïsoleerde plek (bijv. onder een helm) geplaatst te worden en meten dan een soort 'geïsoleerde huidtemperatuur' die tussen de waarde van de huid- en kerntemperatuur in ligt. Op basis hiervan wordt de thermische toestand ingeschat en eventueel een alarm afgegeven. De validiteit onder verschillende condities is nog onbekend. Nadeel is dat de sensoren vrij groot zijn en zo'n 75,- per stuk kosten.



Fig. 3. SafeTemp (links) en HotHead (rechts) sensoren

Een laatste optie in deze categorie is het gebruik van een warmtestroomsensor die de thermische gradiënt over de huid meet en vervolgens mathematisch de kerntemperatuur schat. Draeger ontwikkelt een dergelijke sensor, zowel voor klinische toepassingen als voor brandweer en ruimtevaart doeleinden.

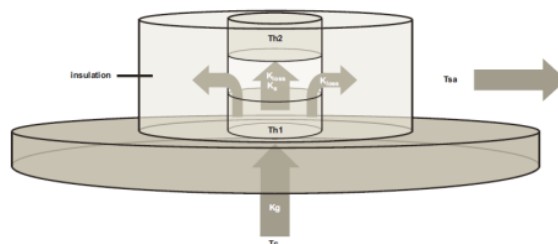


Fig.3. Draeger heat flux sensor



4.4 Modelmatige schatting

Het Europese ProsPie project (personal protective equipment) waar TNO aan heeft meegewerkt, gebruikt een model om aan de hand van fysiologische, persoonlijke en situationele data iemands thermische status in te schatten. Deze geïntegreerde benadering zou interessant kunnen zijn om door te ontwikkelen richting het sportveld. Meer informatie op www.prospie.eu.



Fig.4. ProsPie systeem

Opties voor kerntemperatuurmeting in het Saxshirt zijn hieronder samengevat:

Systeem	Voordeel	Nadeel
SafeTemp / Hothead	Non-invasief	Geen Tcore, maar geïsoleerde Tsk
	Health alarm	Validiteit?
		Grote en dure sensor (75,-)
Spot On (zero heat flux)	Non-invasief	Grote en dure sensor (disposable)
	Betrouwbaar	Energieverbruik
Model obv Tsk	Non-invasief	Meerdere sensoren
	Praktisch	Validiteit in wisselende omstandigheden?



5. Dataverwerking en -interpretatie

De gemeten huid- en of kerntemperatuur kan op de volgende manieren gebruikt worden:

- Eén huidtemperatuursensor
 - Een enkele huidtemperatuur sensor verschaft de locale huidtemperatuur en daarmee een indicatie van de regionale warmtebalans
 - In extreme condities kan een alarm voor extreme hoge huidtemperatuur (>45°C) huidschade (brandwonden) voorkomen
 - Wanneer de sensor zeer goed geïsoleerd meet, kan een ruwe schatting van de kerntemperatuur gedaan worden, inclusief alarm voor overschrijding van een bepaalde limiet (HotHead/SafeTemp principe)
- Meerdere huidtemperatuur sensoren
 - Een gewogen gemiddelde kan berekend worden op basis van vier, acht of veertien sensoren (ISO 9886, 2004).
 - Kerntemperatuur kan geschat worden op basis van meerdere sensoren, in combinatie met hartslag en zo mogelijk een indicatie van activiteit (via ademhaling of accelerometer), type kleding (doorlaatbaar of niet), microklimaat (temperatuur en luchtvochtigheid tussen de kledinglagen). Algoritmes voor een dergelijke schatting zijn in het Prospie project ontwikkeld.
- Kerntemperatuur
 - Wanneer kerntemperatuur nauwkeurig bepaald is, kan de thermofysiologische belasting van het lichaam worden gemonitord. Specifieke veiligheidslimieten voor arbeids- of sportsituaties kunnen worden vastgesteld, afhankelijk van doelgroep, richtlijnen etc. Ook kan het gebruikt worden om richtlijnen/protocollen voor drinken, acclimatiseren, trainingsintensiteit etc vast te stellen.
- De gemiddelde lichaamstemperatuur is het gewogen gemiddelde van de kern en huidtemperatuur en verschaft een maat voor de totale warmteinhoud van het lichaam:
 - $T_b = a * T_{re} + (1 - a) * T_{sk}$ (waarbij $a = 0.6$ ($T_{sk} < 31.5^\circ\text{C}$), 0.7 ($31.5^\circ\text{C} < T_{sk} < 33^\circ\text{C}$) of 0.8 ($T_{sk} > 33^\circ\text{C}$))



6. Bibliografie

1. Measurement Specialities. Temperature Sensors: Performance Characteristics. Application Note TD038. Dayton, 2003. http://www.meas-spec.com/product/t_resources.aspx?id=592#
2. Teunissen, L. Measurement and manipulation of body temperature in rest and exercise. [Thesis]. Amsterdam: VU University, Department of Human Movement Sciences, 2012. <http://dare.ubvu.vu.nl/handle/1871/39306>