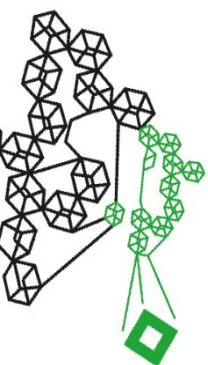
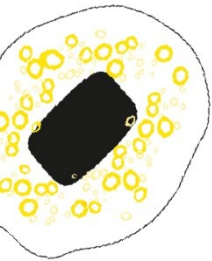


# UNIVERSITY OF TWENTE.

De detectie van slikbewegingen met de  
Hexoskin longvolumesensor na inname van  
voedsel met verschillende structuur



## Begeleiders:

IR. S.J. Mevissen  
DR. IR. J.A.M. Haarman  
DR. IR. B.J.F. Van Beijnum  
DR. J.H.W. Van den Boer

## Bachelor scriptie

K.A. Koekkoek op Munsterhuis  
S2373912  
Biomedische Technologie  
Universiteit Twente

*Datum: 09-09-2022*

## Samenvatting

Obesitas en overgewicht zijn in de huidige maatschappij een steeds groter wordend probleem. Zo'n 39% van de volwassen bevolking heeft overgewicht en 13% heeft obesitas<sup>[1]</sup>. Door goed op de voedselinname te letten en met regelmaat te sporten is overgewicht goed te voorkomen. Veel verschillende diëten maken gebruik van eetdagboeken; notitieboeken waarin wordt genoteerd wat en hoeveel op een dag wordt gegeten. Echter, blijken deze notities vaak incorrect. Men vergeet de binnengekregen hoeveelheid gelijk te noteren en herinnert zich achteraf vaak niet correct wat er over een gehele dag is gegeten. Met behulp van Automatic Dietary Monitoring (ADM) is er een reële kans aanwezig dat er in de toekomst exact bepaald worden hoeveel voeding men binnenkrijgt. Er zijn veel verschillende sensoren beschikbaar voor ADM. Dit onderzoek richtte zich op de Hexoskin longvolume sensor. Met behulp van het Hexoskin shirt werden slikbewegingen tijdens voedselinname gedetecteerd. In het onderzoek werd vergeleken hoe een normale slikbeweging verschilt van een slikbeweging na voedselinname en of eten met een verschillende structuur hier nog invloed op heeft. De onderzoeksvraag die voor dit onderzoek is opgesteld luidt: *'In hoeverre zijn slikbewegingen te detecteren met behulp van de Hexoskin longvolumesensor na voedselinname?'* en *'Zijn voedselsoorten met verschillende structuren van elkaar te onderscheiden?'*. Uit het onderzoek is gebleken dat met behulp van de Hexoskin longvolume sensor verschil aangetoond kan worden tussen een normale ademhaling en slikbewegingen na voedselinname. Om verschillende structuren voedsel van elkaar te onderscheiden is meer onderzoek nodig. Op het moment lijkt er geen betrouwbaar universeel verband te vinden.

Obesity and overweight is a growing problem in current society. At least 39% of adults is dealing with overweight with another 13% being obesity patients. By monitoring the daily food intake and exercising regularly, overweight is easily preventable. Many different diets use so called food diaries; notepads in which the daily food intake is monitored. However, these notes often turnout incorrect. The amount of food intake is filled in wrong or meals and snacks are forgotten entirely. With the use of Automatic Dietary Monitoring (ADM) food intake might be measured more precise in the future. ADM uses a lot of different sensors to be able to do this. In this research the Hexoskin lung volume sensor was used. Swallows during food intake were detected while participants wore a Hexoskin Smart Shirt. The difference between a normal swallow and a swallow after food intake were compared. Next to that, this research investigated the influence of swallowing food with different structure. The research questions for this research are: *'To what extent can swallows during eating events be detected with the use of the Hexoskin lung volume sensor?'* and *'How well can food with different structures be distinguished from each other?'* This research showed that with the use of the Hexoskin lung volume sensor swallows after an eating event can be distinguished from normal breathing patterns. To differentiate food with dissimilar structures more research is required. At the moment there seems to be no reliable and universal association.

# Inhoudsopgave

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Samenvatting.....                                                        | 2  |
| Inhoudsopgave .....                                                      | 3  |
| 1.   Introductie .....                                                   | 5  |
| 2.   Achtergrond.....                                                    | 6  |
| 2.1. Maatschappelijk belang.....                                         | 6  |
| 2.2. Respiratoire inductieve plethysmografie .....                       | 7  |
| 2.3. Fysiologie slikbewegingen en ademhaling .....                       | 8  |
| 3.   Materialen & Methode.....                                           | 10 |
| 3.1. Hexoskin Smart Shirt .....                                          | 10 |
| 3.2. Experiment .....                                                    | 11 |
| 3.3. Data-analyse .....                                                  | 12 |
| 3.3.1. Verkrijgen en voorbewerking van de longvolumesensor data.....     | 12 |
| 3.3.2. Tijdssynchronisatie .....                                         | 13 |
| 3.3.3. Video-Annotaties.....                                             | 13 |
| 3.3.4. Slikbewegingen scheiden .....                                     | 14 |
| 3.3.5. Features .....                                                    | 14 |
| 3.3.6. Frequentiespectrum.....                                           | 16 |
| 3.3.7. Vergelijken longvolume data voor de verschillende condities ..... | 17 |
| 4.   Resultaten.....                                                     | 17 |
| 4.1 Borstsignaal en buiksignaal .....                                    | 17 |
| 4.2. Verschil ademhaling en slikbeweging na voedselinname .....          | 18 |
| 4.3. Onderscheid tussen verschillende structuren voedsel .....           | 19 |
| 4.3.1. Water.....                                                        | 19 |
| 4.3.2. Vla.....                                                          | 20 |
| 4.3.3. Appel.....                                                        | 21 |
| 4.3.4. Brood .....                                                       | 22 |
| 4.4. Power Spectrum Density plots .....                                  | 23 |
| 4.5. Barplots van de features .....                                      | 24 |
| 5.   Discussie .....                                                     | 28 |
| 5.1. Kalibratie met behulp van video-annotaties.....                     | 28 |
| 5.2. Ademhalingscycli scheiden.....                                      | 28 |
| 5.3. Afwijking tussen buik- en borstsignaal .....                        | 28 |
| 5.4. Verschil ademhaling en slikbewegingen in het tijdsdomein .....      | 29 |
| 5.5. Verschil verschillende structuren voedsel in het tijdsdomein .....  | 30 |

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 5.6. Verschillen in het frequentiespectrum..... | 30 |
| 5.7. Verschillen in features.....               | 31 |
| 5.8. Gebruik Hexoskin Smart Shirt.....          | 31 |
| 6. Conclusie & Aanbevelingen.....               | 33 |
| Referenties .....                               | 34 |
| Bijlagen .....                                  | 36 |
| Bijlage 1A.....                                 | 36 |
| Bijlage 1B .....                                | 37 |
| Bijlage 2 .....                                 | 38 |
| Bijlage 3 .....                                 | 39 |

# 1. Introductie

Obesitas en overgewicht zijn nu, meer dan ooit, een probleem in de Westerse beschaving. De meest recente cijfers geven weer dat zo'n 39% van de bevolking overgewicht heeft, en nog eens 13% heeft obesitas<sup>[1]</sup>. Naast dat het alledaagse leven wordt bemoeilijkt, zorgt obesitas onder andere voor een hoge bloeddruk, astma, diabetes type 2, artherosclerose, osteoartritis en verscheidene vormen van kanker<sup>[2]</sup>. Dit maakt dat obesitas tegenwoordig bijdraagt aan 1 op de 13 sterfgevallen. Echter, is obesitas goed behandelbaar<sup>[3]</sup>. Wel vraagt dit veel inspanning van de patiënt. Zo moet de gehele levensstijl aangepast worden. In het kort; minder eten en meer sporten. In dit onderzoek staat de voedselinname centraal. Er zijn veel verschillende soorten diëten, denk hierbij aan bijvoorbeeld een koolhydraatarm dieet. Een gemeenschappelijk punt in de verschillende diëten is dat het belangrijkste aspect van de behandeling zich richt op de calorie inname, deze inname moet namelijk minder zijn dan het aantal calorieën dat wordt verbrand door het lichaam. Zo lang de calorie inname minder is dan de verbranding, valt iemand af. Een belangrijk element om voedselinname te reguleren is het bijhouden wat er wordt gegeten. Tot nu toe werd dit gedaan door ouderwets in een notitieboek, of tegenwoordig zelfs met behulp van een app op de smartphone, te noteren hoeveel en wat wordt gegeten en gedronken. Niettemin, blijkt dit proces in veel gevallen niet betrouwbaar<sup>[4][5]</sup>. Zo vult men verkeerde hoeveelheden in of wordt een maaltijd in zijn volledigheid vergeten. Een relevante oplossing voor dit probleem is het gebruik van Automatic Dietary Monitoring (vanaf nu ADM)<sup>[6][7]</sup>. Met behulp van ADM worden de verschillende facetten behorende bij voedselinname in kaart gebracht. De totale voedselinname is te karakteriseren in vier verschillende groepen; bereiden, inname, kauwen en slikken. Elk van deze processen zijn apart van elkaar te meten. Inmiddels zijn er al vele onderzoeken gedaan naar verschillende detectiemethoden die gebruik maken van draagbare sensoren. Denk hierbij aan een smartwatch die de armbeweging tijdens het eten meet, een piëzoelectrische sensor die beweging van de kaak tijdens het kauwen detecteert of een respiratoir inductieve plethysmografie sensor (RIP) die slikbewegingen detecteert. In dit onderzoek is er gebruik gemaakt van RIP-sensoren. Deze sensoren meten het longvolume door de omtrek van de borst- en buikwand te meten tijdens de ademhaling<sup>[8]</sup>. Dit wordt gedaan door een laag voltage door de banden te sturen. Het uiteindelijke signaal wordt omgezet in verschillende frequenties afhankelijk van de uitrekking van de borst- en buikwand. De uitgezonden puls doet er bijvoorbeeld langer over om terug te komen bij het beginpunt bij een uitgerekte band. Dit zorgt vervolgens voor een lagere gemeten frequentie bij uitrekking ofwel inademing. Dit onderzoek onderscheidt zich van eerdere onderzoeken door naast de detectie van slikbewegingen ook te kijken naar de slikbewegingen van voedsel met verschillende structuur. Het is van belang dat een eventueel verschil opgemerkt wordt zodat dit uiteindelijk kan helpen bij het uiteindelijke doel; bepalen wat en hoeveel er is gegeten. Verder werden er in recent onderzoek aan de Universiteit van Twente een combinatie van drie sensoren getest om de voedselinname vast te leggen. Er werd onder andere gebruik gemaakt van een RIP sensor om slikbewegingen te detecteren. Hier is gebleken dat de plethysmografie sensor niet het optimale resultaat weergaf. Hierom is besloten gebruik te maken van een ander soort RIP sensor. In dit onderzoek staat daarom het Hexoskin Smart Shirt centraal. Met de Hexoskin wordt onder andere het voor het onderzoek relevante longvolume gemeten. Tijdens het slikken ontstaat er een tijdelijke apneu. De ademhaling zal op dit moment voor een korte periode stoppen, dit is vervolgens terug te zien in het signaal.

De onderzoeksvragen die bij dit onderzoek opgesteld zijn, luiden:

*In hoeverre zijn slikbewegingen na voedselinname te detecteren met behulp van de Hexoskin longvolume sensor?*

En

*Hoe goed zijn voedselcategorieën met een verschillende structuur van elkaar te onderscheiden in de detectie van slikbewegingen?*

In dit verslag zijn metingen verricht op meerdere proefpersonen met één soort sensor; het Hexoskin Smart Shirt. Er is gekeken naar het longvolume terwijl er geslikt wordt na voedselinname. Doordat er een verschil zit tussen een normaal ademmoment en een slikmoment werden er conclusies getrokken over de voedselinname van de desbetreffende persoon. Verder is er gekeken naar het verschil tussen een normale slikbeweging en het slikken na voedselinname. Om dit te werk te stellen, werd er voedsel met een verschillende structuur gebruikt om een eventueel verschil in het signaal aan te tonen. Het longvolume varieert gedurende een ademhaling. Het longvolume stijgt bij een inademing en daalt bij een uitademing; een golfbeweging. Wanneer er geslikt wordt, stopt de ademhaling tijdelijk. De golfachtige vorm van het signaal wordt dan onderbroken. In het perfecte geval zal er een horizontale lijn te zien. Echter, in een reële situatie is dit niet het geval en zal een slikbeweging er uit zien zoals in figuur 2<sup>[9]</sup>. Belangrijk om te beseffen is dat een RIP-sensor alleen effectief is voor het detecteren van een slikbeweging. Om de gehele voedselinname vast te leggen zal er daarom gebruik gemaakt moeten worden van een combinatie van sensoren.

## 2. Achtergrond

Het is voorafgaand aan het onderzoek belangrijk om het maatschappelijke belang van het onderzoek te bespreken. Daarnaast wordt kort besproken hoe slikken in het menselijk lichaam werkt en hoe hiermee uitspraken gemaakt worden over de detectie van deze slikbewegingen in het longvolumesignaal. Er zijn al meerdere onderzoeken gedaan naar het detecteren van slikbewegingen na voedselinname. Waarom er nu alsnog een nieuw onderzoek naar wordt gestart zal ook worden besproken. Als laatste zal ook de Hexoskin besproken worden zodat duidelijk is hoe de sensor precies in elkaar steekt.

### 2.1. Maatschappelijk belang

Steeds meer mensen hebben overgewicht of obesitas. 39% van de wereldpopulatie heeft overgewicht en daarnaast is er nog eens 13% die obesitas heeft<sup>[1]</sup>. Overgewicht heeft vele gezondheidsklachten als gevolg. Echter, overgewicht is een probleem die juist erg goed te behandelen is. Er bestaan veel verschillende manieren om gewicht te verliezen. Een belangrijk element hierbij is sporten. Kinderen moeten per dag minstens een uur bewegen<sup>[10][11]</sup>. Voor volwassenen gaat het om 150 minuten per week matig intensieve inspanning. Naast voldoende beweging is het goed om op de voeding te letten. Er zijn veel verschillende soort diëten beschikbaar waarvan elk dieet zijn voor- en tegenstanders heeft. Een belangrijk element dat bij elk dieet terugkomt is de calorie-inname<sup>[12]</sup>. Om gewichtsverlies te bevorderen moeten er minder calorieën genuttigd worden dan dat er door het lichaam verbrand worden. Hoe minder calorieën men binnenkrijgt, hoe sneller gewichtsverlies optreedt. Echter, naast overgewicht is het ook niet gezond om te weinig calorieën binnen te krijgen. Het lichaam wordt slap en heeft minder energie wanneer er te weinig calorieën genuttigd worden. Daarnaast is deze manier van afvallen op lange termijn geen succes. Het is voor velen onmogelijk om hun hele leven lang zo weinig te eten<sup>[13]</sup>. Er is hierbij sprake van een jojo-effect. In korte tijd heel veel afvallen door de calorie-inname te veel te beperken. Op het moment dat het gewenste gewicht is bereikt, wordt er gestopt met het dieet waarna er weer gewichtstoename plaatsvindt. Om deze vicieuze cirkel te voorkomen is het dus nodig dat de gehele levensstijl aangepast wordt. Dit houdt in dat er minder calorieën genuttigd worden dan worden verbrand maar wel genoeg calorieën zodat het in principe voor altijd vol te houden is. Om dit te bewerkstelligen wordt een patiënt door de diëtist vaak gewezen op het noteren hoeveel calorieën per dag het lichaam binnenkomen, dus noteren wat er is gegeten en hoeveel er van een bepaald voedsel is gegeten. Dit is handig om zo te bepalen waar de patiënt op kan minderen. Tegenwoordig zijn er verschillende apps ontwikkeld die het heel makkelijk maken om te noteren wat er gegeten is op een dag. Desalniettemin, worden in veel gevallen verkeerde hoeveelheden genoteerd of wordt een snack of maaltijd helemaal vergeten<sup>[5][6]</sup>. Men gaat bijvoorbeeld na het sporten nog een drankje

doen in de sportkantine, vervolgens wordt vergeten dit drankje in de app te zetten. Daarnaast komt er ook een stuk schaamte bij kijken. Mensen noteren minder snacks in de app zodat ze zich beter over zichzelf voelen. Verder zorgen rekenfouten ook voor verkeerde informatie in de app. Het is namelijk niet altijd even makkelijk om te berekenen hoeveel calorieën er in een complete maaltijd zit. Dus, eetdagboeken zijn hierdoor minder betrouwbaar. Het gebruik van Automatic Dietary Monitoring kan het verschil tussen de werkelijkheid en wat opgeschreven wordt in het eetdagboek verkleinen door het eetgedrag (de hele dag) te monitoren.

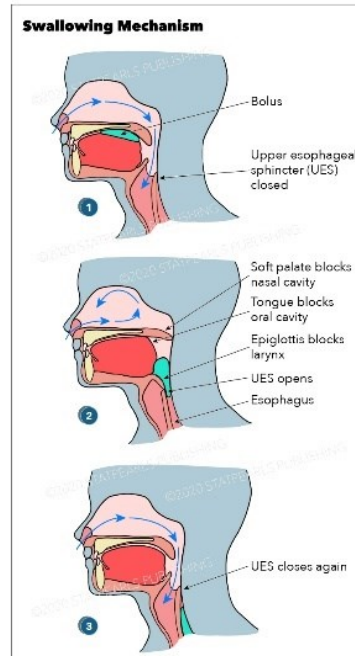
## 2.2. Respiratoire inductieve plethysmografie

Vanaf 2005 startten er onderzoeken naar Automatic Dietary Monitoring (ADM) en sindsdien heeft het voor veel verschillende doelgroepen bijgedragen aan onderzoek<sup>[14]</sup>. ADM is het principe waarbij alle onderdelen van eten; voorbereiden, innemen, kauwen en slikken, kunnen worden gemonitord. Met behulp van verschillende sensoren die elk een ander facet van de totale voedselinname monitoren, kan op een betrouwbare manier ingeschat worden hoeveel men binnenkrijgt. In dit onderzoek ligt de focus op het detecteren van slikbewegingen. Dit wordt gedaan met behulp van Respiratoire Inductieve Plethysmografie (RIP). RIP is een techniek waarbij op een non-invasieve manier het longvolume in kaart gebracht wordt. Over een bepaalde tijdsperiode wordt dan de verandering in longvolume bepaald. Bij een inademing zal het longvolume stijgen en bij een uitademing zal deze dalen. Door de anatomische werking van ons lichaam stopt de ademhaling tijdelijk wanneer er geslikt wordt. Op dit moment verandert het longvolume voor een korte periode niet. Dit is vervolgens terug te zien in de grafiek van het longvolume. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van het Hexoskin Smart Shirt met twee ingebouwde RIP-sensoren. Deze RIP-bandjes zitten net onder de borst en net boven de navel. Op deze manier wordt zowel de beweging van de borst- en buikwand gemeten. Deze twee signalen kunnen vervolgens apart en gezamenlijk bekeken worden.

RIP-bandjes zijn bij veel verschillende onderzoeken gebruikt om slikbewegingen in kaart te brengen. Variaties in onderzoek zijn er in metingen met een specifieke doelgroep; alleen ouderen<sup>[15]</sup>, specifieke pathologie; ziekte van Parkinson, verschillende voedsel categorieën; water tegenover vast voedsel<sup>[16]</sup>, verschillende hoeveelheden voedsel per slikbeweging<sup>[9]</sup> en de zuig- en slikbewegingen bij kleine kinderen. De hiervoor genoemde onderzoeken werden kort benoemd in het onderzoek naar de verschillen in hoeveelheden voedsel die doorgeslikt worden<sup>[9]</sup>. Daarnaast wordt respiratoir inductieve plethysmografie ook gebruikt voor andere doeleinden, denk hierbij aan het meten van het longvolume of de hartslag tijdens het sporten<sup>[17]</sup>. Tijdens dit onderzoek werd er gekeken of er überhaupt slikbewegingen te zien zijn met het Hexoskin Smart Shirt. Daarnaast is er eten en drinken met allen een verschillende structuur gebruikt om na te gaan of de structuur van invloed is op de slikbeweging te zien in het longvolume. Als de RIP-sensor in de toekomst in de praktijk gebruikt wordt, is het van belang te weten dat voedsel van een normale slikbeweging onderscheiden kan worden maar ook welk voedsel doorgeslikt wordt. Met dit onderzoek zal er dus een stap in de goede richting gezet worden. Dit onderzoek onderscheidt zich van reeds gedaan onderzoek door dieper in te gaan op de verschillende categorieën voedsel die elk een andere structuur hebben<sup>[16]</sup>. In een eerder onderzoek zijn er wel degelijk verschillende soorten voedsel gebruikt echter, deze verschillende categorieën voedsel en drinken werden verder niet met elkaar vergeleken. Hierdoor is niet bekend wat de invloed van de structuur van voedsel is op de uiteindelijke slikbeweging. Hoe groffer de structuur van het voedsel, hoe meer weerstand deze biedt. De verwachting is daarom dat voedsel met een groffere structuur (bv. brood) een langere slikbeweging creëert. Dit heeft een langere ademhalingsstop als gevolg. Vervolgens is dit terug te zien in het signaal als een langere stop van de normale ademhalingscycli. Daarnaast kan deze extra weerstand er voor zorgen dat het niet lukt om alles met een slikbeweging weg te krijgen met als gevolg nog een slikbeweging kort op de eerste slikbeweging.

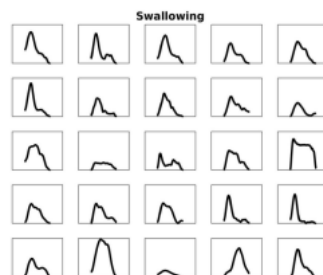
### 2.3. Fysiologie slikbewegingen en ademhaling

Tijdens dit onderzoek wordt er gekeken naar de detectie van slikbewegingen in het longvolume. Hiervoor is het van belang om te weten hoe slikbewegingen plaatsvinden en hoe deze slikbewegingen het longvolume beïnvloeden. Het slikproces wordt onderverdeeld in vier stadia afhankelijk van waar het door te slikken voedsel zich op dat moment bevindt<sup>[18][19]</sup>.



Figuur 1: Anatomie slikbeweging<sup>[19]</sup>.

In figuur 1 wordt weergegeven hoe voedsel wordt doorgeslikt. De eerste fase is de voorbereidingsfase waarbij het voedsel wordt voorbereid door middel van afbijten en kauwen om doorgeslikt te worden. In de mondfase wordt het voedsel vanaf de mond naar de keel gebracht door de golvende beweging van de tong, dit is de tweede fase. Hierbij sluit het zachte gehemelte de holte naar de neus af. In de derde fase, de keelfase, wordt het voedsel verder door de keel vervoert. Om te voorkomen dat men zich verslikt, sluit het strottenklepje de luchtweg bijna helemaal af. Dit mechanisme zorgt er dus uiteindelijk voor dat tijdens het slikken er een tijdelijke ademhalingsstop is. De laatste fase is de slokdarmfase waarbij het voedsel vanaf de keel naar de slokdarm en vervolgens de maag beweegt. Hoe een uiteindelijke slikbeweging er in het longvolume uit kan zien, is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Slikbewegingen in longvolume data<sup>[9]</sup>.



Het is van belang te weten wat het verschil is tussen het signaal dat wordt gemeten op de beide RIP-band plekken, dus onder de borst en boven de navel. De meeste mensen hebben een buikademhaling wat inhoudt dat er adem wordt gehaald vanuit het middenrif. Het middenrif beweegt zich bij een inademing naar onderen, hierdoor zet de buik uit en worden de longen groter. Bij een uitademing gebeurt het tegenovergestelde. Het is te verwachten dat de buikomtrek veel sterker varieert tijdens een ademhaling dan de omtrek van de borstwand. De ademhaling die de RIP-band op de buik meet zal daarom veel diepere dalen en hogere toppen hebben dan de RIP-band bij de borst. De twee signalen kunnen bij elkaar opgeteld worden zoals ook wordt gedaan op de Hexoskin website<sup>[8]</sup>. Aangezien de variabiliteit van de waarden bij ademhaling gemeten in de buik veel groter zijn ten opzichte van de borst, wordt er een optelsom gemaakt waarbij de buikband voor 25% meetelt en de borstband voor 75%, zoals ook door Hexoskin wordt voorgesteld<sup>[8]</sup>.

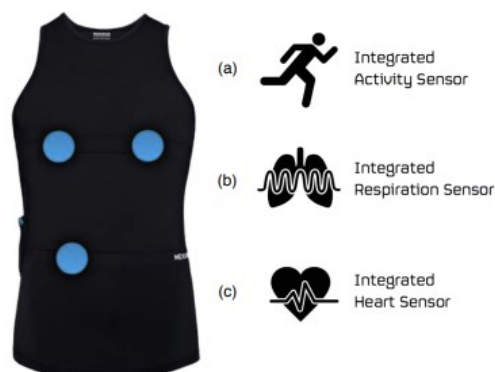
In dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van het Hexoskin Smart Shirt. Hexoskin heeft veel verschillende sensoren verwerkt in haar product. Voor dit onderzoek wordt alleen gebruik gemaakt van de RIP-sensor. Deze sensor meet het longvolume. De sensor zit verwerkt in het sporthemd wat de sensor erg gebruiksvriendelijk en daarnaast niet invasief maakt. Verder is het shirt onder bijna elk kledingstuk te dragen waardoor het shirt niet opvalt en tegelijk gemakkelijk een hele dag gedragen kan worden. Een verbetering van sommige andere RIP-sensoren die niet een gehele dag door gedragen kan worden volgens onderzoek. Daarnaast is het ook mogelijk om het shirt te wassen.

### 3. Materialen & Methode

In dit experiment werden verschillende condities getest met behulp van een Hexoskin smart shirt. Het doel van dit onderzoek was het laten zien in hoeverre het met behulp van respiratoire inductieve plethysmografie mogelijk is om slikbewegingen tijdens voedselinname te detecteren. Tijdens dit experiment is er gebruik gemaakt van 10 proefpersonen. Deze deelnemers hadden allen geen achterliggende ziekten die eventueel de resultaten zouden kunnen beïnvloeden. De proefpersonen werden gevraagd om verschillende soorten voedsel en dranken te nuttigen terwijl zij het Hexoskin shirt aanhadden. Om de gebeurtenissen tijdens de meting later te kunnen koppelen aan de data werd er gebruik gemaakt van een camera die de gehele meting opnam.

#### 3.1. Hexoskin Smart Shirt

In dit onderzoek is er gebruik gemaakt van het Hexoskin smart shirt. Dit shirt heeft onder andere twee ingebouwde respiratoire sensoren net boven de navel en onder de borst<sup>[8]</sup>. In figuur 3 wordt het Hexoskin shirt met ingebouwde sensoren weergegeven. Deze sensoren meten de beweging van de borst en buik waaruit het longvolume afgeleid wordt. Dit wordt gedaan doormiddel van een signaal met een laag voltage door de banden in het Hexoskin shirt te laten lopen<sup>[20]</sup>. De RIP-banden fungeren als een spoel. Door het in- en uitademen van de drager van het shirt verandert de dwarsdoorsnede van de ribben en buikspieren en als gevolg daarvan ook de omtrek van de RIP-banden. Dit zorgt voor een verandering in de inductie van de spoel. Hierdoor creëren de RIP-banden een oscillatie frequentie afhankelijk van de lengte van de RIP-banden. De sampling frequentie die bij dit circuit hoort is 128 Hz.



*Figuur 3: Hexoskin Smart shirt met (a) stappenteller, (b) ademhalingssensor en (c) hartsensor*

Bij het experiment was het van belang de juiste maat shirt te dragen. Om dit te bepalen werd de omtrek van borst en buik gemeten met een meetlint op de plek waar de RIP-banden zaten; dus net onder de borst en net boven de navel<sup>[21]</sup>. De gemeten omtrek werd vervolgens gekoppeld aan een maat shirt. Van belang was hierbij dat de persoon zo recht mogelijk op stond en de armen zo goed mogelijk langs het lichaam had hangen. Daarnaast werd de omtrek gemeten na een uitademing.

De sensoren van het Hexoskin shirt werden verbonden aan het Smart Device, dit is een klein kastje die onderdeel is van het elektrisch circuit, waarbij de twee RIP-banden fungeren als spoel zoals ook hier boven uitgelegd is. Daarnaast is het Smart Device ook de opslagplaats van de data. Zo gauw het Smart Device aan het Hexoskin verbonden wordt, start de meting. De meting kan vervolgens worden beëindigd door het Smart Device los te koppelen van het shirt. Middels een USB-kabel werd de data

vanaf de Smart Device overgezet op een computer. Met behulp van de Hexoskin software wordt de data gesynchroniseerd en vervolgens in de online omgeving van Hexoskin gezet. Vanaf hier is de data als binaire code te downloaden om deze data vervolgens te converteren naar een CSV bestand. Het CSV bestand werd daarna gebruikt als input voor het zelfgeschreven Matlab script.

### 3.2. Experiment

In dit onderzoek participeerden 10 vrijwilligers. Deze proefpersonen hebben allen geen slik gerelateerde ziekten. De proefpersonen werd gevraagd verschillende soorten voedsel en drank te nuttigen terwijl zij zo stil en rechtop mogelijk op een stoel met rugleuning zitten. De proefpersoon draagt het Hexoskin Smart shirt met de twee RIP-sensoren. Video-annotatie werd gebruikt om de slikmomenten te koppelen aan de data.

*Tabel 1 Gegevens proefpersonen. Gemiddelde waardes met bijbehorende standaarddeviatie*

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| <b>Aantal proefpersonen</b> | n = 10      |
| <b>% Man</b>                | 60          |
| <b>Leeftijd</b>             | 21,6 ± 1,1  |
| <b>Lengte (cm)</b>          | 180,1 ± 8,3 |
| <b>Gewicht (kg)</b>         | 75,6 ± 11,2 |

Er zijn verschillende maten Hexoskin shirts beschikbaar. Sommige proefpersonen zaten tussen twee maten in zitten. Ook ontbrak maat XS en M voor vrouwen en maat M en XL voor mannen waardoor sommige deelnemers een andere maat moesten dragen dan wenselijk voor het experiment. In dat geval kan het shirt iets omhoog kruipen waardoor de sensor verplaatst. Om dit te voorkomen is vooraf besloten om het shirt in de broek te doen of vast te zetten met wasknijpers. Aan de andere kant kon het ook voorkomen dat het shirt juist te strak zat.

Voorafgaand aan het echte experiment moesten de camera en het Hexoskin shirt op een gelijke tijdsreeks zitten om zo gemakkelijk de data te vergelijken met de gebeurtenissen op camera. Om dit te bewerkstelligen heeft de proefpersoon de eerste 10 seconden aan één van de twee RIP-sensoren getrokken om deze uit te rekken. Deze beweging is goed in de data terug te vinden aangezien er op diezelfde tijd geen verandering van de omtrek van de RIP-band plaatsvindt. Daarnaast is het ook erg duidelijk op camera te zien. Met behulp van deze beweging is vervolgens de opname zo aangepast dat de tijd gelijkloopt met de RIP-sensoren.

Tijdens het experiment zijn er vijf verschillende situaties getest:

- Droge slikbewegingen om de 10 seconden
- Eten van een boterham
- Eten van een halve appel
- Eten van een kom vla
- Drinken van een glas water

Rechts naast de proefpersonen stond een tafel waarop zowel de camera als het eten/drinken stond. Het eten en drinken werd daardoor genuttigd met de rechterhand waarbij de linkerhand eventueel diende om een bakje vast te houden. De boterham en de appel zijn vooraf al in kleine stukjes gesneden zodat iedereen ongeveer even grote hoeveelheden per keer doorslikte. Hierbij werd de eventuele invloed van verschillende hoeveelheden voedsel per slikbeweging op het signaal zo veel mogelijk weggenomen.

Op elke proefpersoon zijn verschillende condities getest. Daaraan toegevoegd is er gemeten hoe een normale ademhaling en slikbeweging eruit ziet. Dit is van belang om aan te tonen of er überhaupt verschil zichtbaar is tussen een ademhaling en slikbeweging. De andere condities werden vervolgens

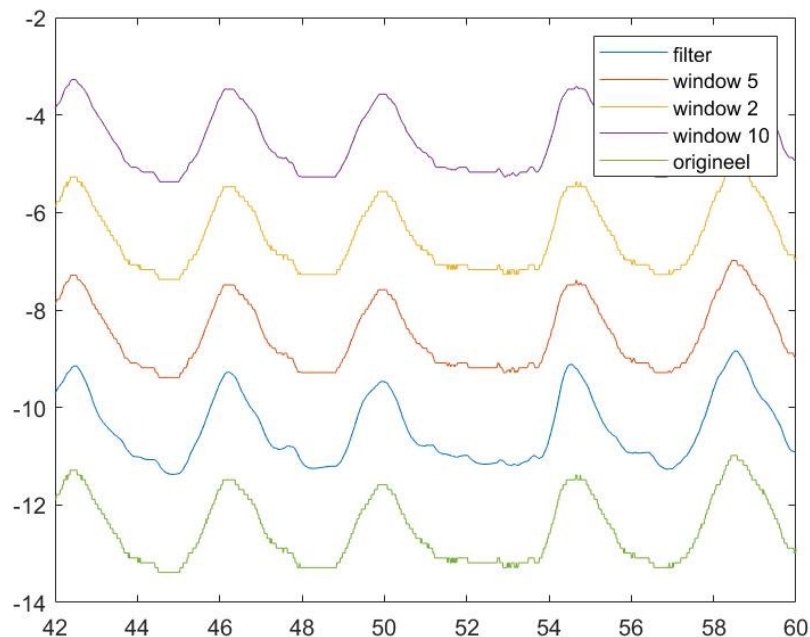
gebruikt om te demonstreren of er een verschil zit tussen slikmomenten na voedselinname en of deze nog verschillend is bij eten of drinken met een andere structuur.

Voordat het daadwerkelijke experiment begon zijn de proefpersonen gevraagd een ethisch consent formulier te ondertekenen en de informatiebrochure door te lezen. Deze beide documenten zijn te vinden in bijlage 1A en 1B. Het onderzoek is vooraf goedgekeurd door een ethische commissie.

### 3.3. Data-analyse

#### 3.3.1. Verkrijgen en voorbewerking van de longvolumesensor data

Vooraf aan alle metingen zijn er testmetingen uitgevoerd op de onderzoeker zelf. Het RIP signaal is gefilterd met behulp van een Moving Average functie in Matlab. Deze functie staat toe dat er een bepaald window aan datapunten gekozen wordt waarover het gemiddelde wordt berekend. Op deze manier kan de gebruiker zelf bepalen hoe glad het signaal gemaakt wordt. In dit onderzoek wordt er vooral visueel gekeken naar het signaal. Hierbij wordt gezocht naar verschillen tussen condities die bij elk proefpersoon te herkennen zijn. Hierbij is het van belang dat het signaal zo dicht mogelijk bij het origineel blijft. Echter, zorgt het originele signaal voor het ontstaan van ongewenst extra pieken, veroorzaakt door bijvoorbeeld ruis.



*Figuur 4: Verschillende filters vs. het originele signaal met van boven naar onder: high pass filter, Moving average met window met 5 datapunten, Moving average met window met 2 datapunten, Moving Average met window met 10 datapunten en het originele signaal.*

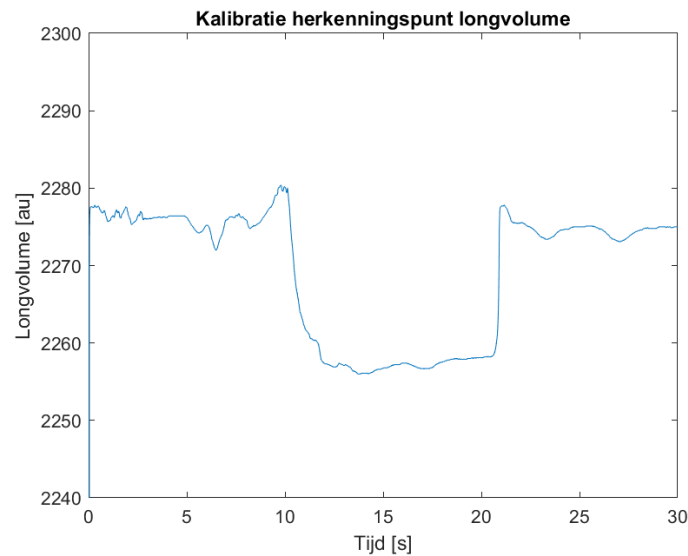
Een Moving Average met een window van 10 datapunten heeft ervoor gezorgd dat deze pieken minder worden waarbij het signaal nog steeds zo dicht mogelijk bij het origineel blijft. In figuur 4 zijn de verschillende bekeken opties te zien. Het resultaat van het gebruik van een high pass filter en een moving average filter met verschillende windowgroottes wordt vergeleken met het originele signaal. Bij de analyse is het van belang dat het resultaat zo dicht mogelijk bij het origineel zit. Dit is het geval bij een moving average met 10 datapunten per window. Moving average filters met minder dan 10 datapunten lijken ongewenst extra pieken te creëren.

Daarnaast gaf de rauwe data van het longvolume bij een daling van het signaal een inademing weer en bij een stijging een uitademing. Normaliter is dit andersom. Om dit op te lossen is de gehele

dataset keer -1 gedaan. Aangezien de getallen op de y-as in het geval van de Hexoskin niets concreets over het longvolume zeggen, mag dit.

### 3.3.2. Tijdssynchronisatie

Tijdens het experiment is er gebruik gemaakt van twee verschillende apparaten met elk hun eigen tijdsreeks. Het Hexoskin shirt en een camera die de meting vast heeft gelegd. Om de gebeurtenissen in de video goed te koppelen aan de datapunten is het van belang dat de tijd op beide apparaten gelijk loopt. Om dit te bewerkstelligen is voorafgaand aan het experiment één van de twee RIP-banden door de proefpersoon uitgerekt voor een aantal seconden. Deze actie is goed op beeld te zien en daarnaast laat deze beweging ook een duidelijk signaal in het longvolume zien.



*Figuur 5: Signaal bij handmatige uitrekking RIP-band voor tijdssynchronisatie*

In figuur 5 is te zien dat vanaf ongeveer 10 seconden er een daling in het signaal te zien is. Vervolgens is er een horizontale lijn te zien tot ongeveer 20 seconde. Dit is de het gevolg van de handmatige uitrekking van een van de twee RIP-banden. Met de functie *ginput* in Matlab is preciezer bepaald op welk tijdstip deze uitrekking stopt, waarna dat deel van het signaal verwijderd is. Vervolgens is op de video-opname gekeken met welk tijdstip dit overeenkomt. Met behulp van de ELAN software is vervolgens de off put van de video aangepast zodat de RIP-sensor en de video in tijd gesynchroniseerd zijn.

Echter bleek tijdens het verzamelen van de data deze manier van tijdskalibratie niet voor elke proefpersoon mogelijk was. De duidelijke uitrekking van de RIP-band zoals in figuur 5 was niet bij iedereen terug te zien. Er werd daarom gekeken naar andere herkenningspunten waardoor alsnog de tijd op de opname gelijk met het signaal werd kon worden gezet. Desalniettemin, is dit minder nauwkeurig dan bij het duidelijke voorbeeld uit figuur 5.

### 3.3.3. Video-Annotaties

De ELAN software werd gebruikt om annotaties te maken. Elke gebeurtenis werd genoteerd in één van de twee categorieën; slikken of overig. Hierbij wordt er voor het slikken nog onderscheid gemaakt tussen de verschillende soorten voedsel. Met de categorie overig wordt elke beweging bedoeld wat niet slikken is. Denk hierbij aan per ongeluk praten, haar uit je gezicht weghalen, aan je hoofd krabben etc. In onderstaande tabel 2 is te zien hoeveel verschillende slikbewegingen zijn geannoteerd voor alle proefpersonen te samen.

Tabel 2 Aantal annotaties per slikmoment

| Soort beweging    | # aantal |
|-------------------|----------|
| Normaal slikken   | 46       |
| Doorslikken water | 103      |
| Doorslikken vla   | 79       |
| Doorslikken appel | 212      |
| Doorslikken brood | 103      |

De annotaties gemaakt in ELAN zijn vervolgens met behulp van een al eerder geschreven Python script door Sigert Mevissen omgezet naar Matlab Data.

### 3.3.4. Slikbewegingen scheiden

Om de ademhalingsgrafieken te analyseren moest de data opgeknipt worden op verschillende plekken. De data is opgeknipt per slikbeweging om zo elke aparte slikbeweging goed te kunnen analyseren. Dit splitsen is gedaan in Matlab door de annotaties uit Elan in te laden en vervolgens alleen de tijdstippen uit ELAN van het originele longvolume signaal te plotten. Voor elke voedselcategorie is een aparte plot gemaakt. Slikbewegingen van dezelfde categorie voedsel zijn als subplot in één plot gezet. Uit de Hexoskin longvolume sensor komen twee verschillende signalen; die van de borst- en buikwand. Door een optelling te maken van deze twee signalen wordt een derde signaal gecreëerd; de totale ademhaling. Uit de resultaten is gebleken dat bij een groot deel van de proefpersonen er geen oscillatie van het buiksignaal zichtbaar is. Hierdoor is besloten alleen naar het borstsignaal te kijken. Daarnaast is ook in het onderzoek van Dong et al. enkel gebruik gemaakt van het borstsignaal.

### 3.3.5. Features

Om uiteindelijk conclusies te kunnen trekken over de slikbewegingen moet elke slikbeweging gekarakteriseerd worden met een feature. De features werden berekend op de niet-genormaliseerde ademhalingscycli. Hiervoor moest de data eerst gescheiden worden per ademhaling. In deze ademhaling zit een slikbeweging verwerkt. Het scheiden van de ademhalingen is gedaan met behulp van de functie ginput in Matlab de dalen te selecteren. Een dal geeft het einde van een uitademing weer. Door van dal tot dal te scheiden, is er precies één ademhaling tussen de twee punten. De hieronder beschreven features werden vervolgens toegepast over het signaal tussen twee punten.

De features zijn al eerder gebruikt voor de detectie van slikbewegingen door Dong et al.<sup>[16]</sup>. Echter, zijn er in dat onderzoek ook features ontwerpen op basis van de genormaliseerde ademhaling. Aangezien er nu alleen naar de niet-genormaliseerde ademhalingscyclus gekeken werd, zijn niet alle features uit het onderzoek van Dong et al.<sup>[16][22]</sup> gebruikt. De features die de ratio tussen twee begrippen berekent zijn overgenomen uit de Masterscriptie van S.J. Mevissen<sup>[23]</sup>. Tijdens de analyse wordt eerst visueel gekeken naar het signaal. Verschillen tussen de slikbewegingen worden verklaard met behulp van de onderstaande features in het achterhoofd. Daarnaast werd er ook gekeken naar eventuele nieuwe maatstaven om de slikbewegingen van elkaar te onderscheiden. Niet alle features zijn in dit onderzoek meegenomen. Deze features die verder niet zijn meegenomen worden schuingedrukt weergegeven. Deze keuze is gebaseerd op het feit dat er al is gebleken dat er met behulp van bovenstaande features een verschil tussen wel of geen slikbeweging aan te tonen is. Ook zijn een deel van de features niet in de resultaten besproken maar weergegeven in bijlage 3. Onderstaande features komen uit het onderzoek van Dong et al.<sup>[16][22]</sup>:

1. Standaarddeviatie  
Berekent de standaarddeviatie van de waarden van het longvolume
2. Gemiddelde  
Geeft het gemiddelde longvolume waarde weer van één ademhaling (met slikbeweging)
3. *Energie*
4. Mediaan
5. Kwadratisch gemiddelde (Root Mean Square)
6. *Ratio tussen vierkantswortel en maximum*
7. *Aantal toppen*  
Telt het aantal pieken in het signaal voor een aangegeven tijdswindow
8. Eerste waarde  
Geeft de beginwaarde van het longvolume signaal. Dit is het beginpunt van de ademhaling met daarin een slikbeweging
9. Laatste waarde  
Geeft de beginwaarde van het longvolume signaal. Dit is het eindpunt van de ademhaling met een slikbeweging
10. Maximum  
Geeft de hoogste waarde van het longvolume voor een aangegeven tijdswindow
11. Minimum van inademing  
Geeft de laagste waarde van het longvolume voor een aangegeven tijdswindow van een inademing. Maw tussen de top van de ademhaling en het beginpunt van de ademhaling.
12. Minimum van uitademing  
Geeft de laagste waarde van het longvolume voor een aangegeven tijdswindow van een uitademing. Maw tussen het eindpunt van de ademhaling en de top van de ademhaling.
13. *Ratio van maximum tov minimum van een inademing*
14. *Ratio van maximum tov minimum van een uitademing*
15. *Ratio van minimum van een uitademing tov het maximum*
16. *Ratio van minimum van een uitademing tov minimum van een inademing*
17. *Ratio van minimum van een inademing tov maximum*
18. *Ratio van minimum van een inademing tov minimum van een uitademing*
19. Duur  
Geeft het tijdsverschil in seconde weer tussen de eerste en laatste waarde
20. Ademhalingsfrequentie (1 / duration)
21. Duratie inademing  
Geeft het tijdsverschil in seconde weer tussen de piek van het signaal (einde inademing) en de eerste waarde. Hierbij is er bij de piek een klein marge opgeteld.
22. Duratie uitademing  
Geeft het tijdsverschil in seconde weer tussen de laatste waarde en de piek van het signaal (begin uitademing). Hierbij is bij de piek een klein marge opgeteld.
23. *Ratio van duratie inademing ten opzichte van uitademing*
24. *Ratio van duratie uitademing ten opzichte van inademing*
25. *Ratio van duratie tussen twee opeenvolgende ademhalingen*

Naast deze features zijn er ook een tweetal features toegevoegd die eventueel een extra verschil aan kunnen tonen. Dit zijn:

1. Aantal pieken tijdens een inademing  
Hier wordt het aantal pieken geteld vanaf het beginpunt van een ademhaling tot het maximum.
2. Minimum  
Minimum waarde van het longvolume van een bepaald tijdswindow.

Uit deze verschillende features komt één waarde. Voor elk proefpersoon is er per categorie voedsel voor elke slikbeweging een feature toegepast, dan wel een feature uit de lijst hierboven dan wel een nieuwe feature ontstaan uit de verschillen in het signaal. Daarnaast is er gekeken naar het aantal slikbewegingen per categorie voedsel bepaald hoeveel 'normale' ademhalingen geselecteerd moeten worden in dezelfde orde te zitten. Dit zijn per proefpersoon 8 ademhalingen. Doormiddel van de uitkomst van elke feature voor de verschillende slikbewegingen en ademhalingen kon er een maatstaaf gegeven worden aan de classificatie van een slikbeweging. Voor dit onderzoek is het daarnaast vooral interessant om aan te tonen of er ook verschillen tussen verschillende structuren voedsel zit. Hiervoor is er eerst naar het visuele signaal gekeken. Op basis van deze bevindingen zijn er twee nieuwe features bedacht. Daarnaast zijn de al bekende features gebruikt die ook terug te vinden waren in veel slikbewegingen.

### 3.3.6. Frequentiespectrum

Er zal in dit onderzoek ook gekeken worden naar het frequentiespectrum van de verschillende slikbewegingen. Dit is gedaan door in Matlab de Power Spectrum Density (PSD) te plotten. Hierbij wordt de frequentie op de x-as uitgezet tegen de magnitude op de y-as. Op deze manier kan gekeken worden welke frequenties meer aanwezig zijn dan andere frequenties. Het verschil tussen FFT en PSD is dat de PSD een stap verder gaat dan de FFT. De FFT zet het tijdsdomein signaal om naar frequenties. Op deze manier wordt gekeken welke frequenties veelal aanwezig zijn in het signaal. Op de x-as staan de verschillende frequenties met op de y-as de amplitude. Bij de PSD staan op de x-as de frequenties en op de y-as staat de variatie. Met andere woorden: de PSD geeft de contributie van de verschillende frequenties aan de variatie weer. De PSD gaat uit van een oneindig signaal (of een signaal zo lang dat het oneindig kon zijn). Vervolgens wordt per bepaalde tijdseenheid de energie distributie berekend. Door al deze verschillende waarden te sommeren of integreren krijg je uiteindelijk de energie variatie per frequentie.

De PSD is genormaliseerd over de bandbreedte. Dit voorkomt dat de amplitude van de PSD wordt aangetast gedurende de meting. De resultaten zullen daarom accurater zijn dan bij het plotten van een fft.

Het is van belang te weten wat de normale ademhalingsfrequentie te weten om zodoende niet naar een onnodig grote range aan frequenties te kijken. Een normale ademhalingsfrequentie zit tussen de 0.1 en 0.5 Hz<sup>[24]</sup>. Hierom is er gekozen om bij het plotten van de PSD's te kijken naar een frequentierange tot 1 Hz. Bij een slikbeweging stopt de ademhaling tijdelijk. Kijkend naar het ademhalingsfrequentie zal de frequentie dus dalen, immers vinden er minder ademhalingen per minuut plaats.

Verder werd er een Hamming window toegepast op het signaal. Hierdoor wordt de eventuele leakage verminderd. De keuze voor het Hamming window is gebaseerd op de literatuur<sup>[25][26]</sup>. De meeste windows zijn gebaseerd op één van de twee uitersten; hoge frequentie resolutie of hoog dynamisch bereik. Filters gericht op een hoog dynamisch bereik komen vaak tekort in de andere eigenschap en andersom hetzelfde. Het Hamming filter zit tussen deze twee uitersten in en lijkt daarom de beste keuze.

De PSD is geplotted met behulp van de functie 'periodogram'. Alvorens is de DC component uit het signaal gefilterd door het gemiddelde van het signaal van het gehele signaal af te halen. De PSD wordt geplotted voor elke aparte slikbeweging.

Niet alle PSD's voor elke slikbewegingen zullen in het verslag worden opgenomen. Er zijn representatieve plots uitgekozen. De PSD's met een afwijking ten opzichte van de representatieve plots zijn daarentegen wel apart weergegeven in het verslag. Op deze manier wordt er overzicht gehouden.



### 3.3.7. Vergelijken longvolume data voor de verschillende condities

Voor elke conditie die is gemeten werd een aparte plot gemaakt. De slikbewegingen behorende tot dezelfde conditie werden in subplots geplaatst. Op deze manier was het gemakkelijk om de visuele aspecten van de slikbewegingen voor elke conditie met elkaar te vergelijken. Ook is er gekeken naar eventuele verschillen tussen de twee RIP-banden. De ene sensor meet de verandering van de omtrek van de buikwand en de andere sensor juist van de borstwand. Naast met het blote oog kijken naar de signalen werden ook de bovenstaande features vergeleken voor elke conditie dan wel voor elke proefpersoon. Aan de hand van de berekende features kunnen de visuele verschillen worden bevestigd. Echter, kan het ook zijn dat een verschil juist niet zo groot is als visueel leek. In dat geval kunnen hier weer andere conclusies uit getrokken worden. Deze analyse werd gedaan doormiddel van barplots. Er zijn universele barplots gemaakt om te kijken naar de verschillen tussen de verschillende condities. Mochten deze verschillen uitblijven, dan wordt er nog per proefpersoon gekeken of er op die schaal wel een verschil zichtbaar is.

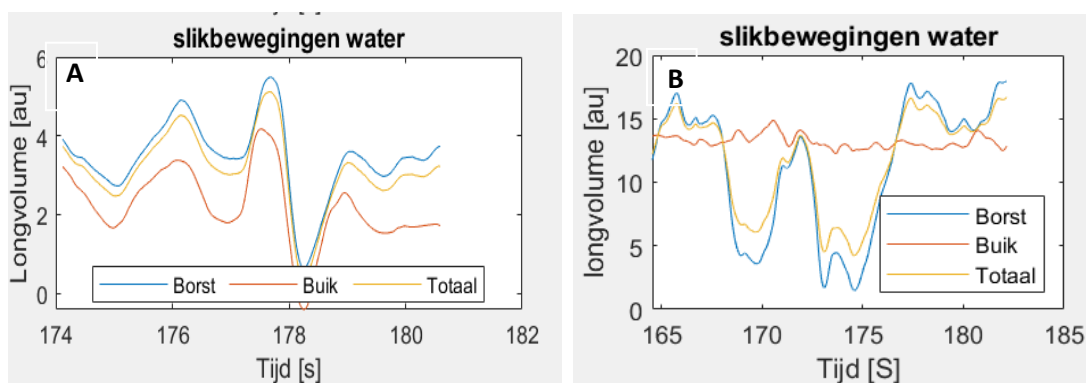
Bij het bestuderen van de resultaten is verder geen gebruik gemaakt van verdere statistiekmethoden.

## 4. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken. Er zal worden ingegaan op het visueel kijken naar het signaal in tijds- en frequentiedomein van de verschillende condities en de features die zijn berekent.

### 4.1 Borstsignaal en buiksignaal

Om te beginnen is er gekeken naar eventuele verschillen tussen een borst- en buiksignaal. Een normale situatie van het oscilleren van het borst- en buiksignaal is weergegeven in figuur 6A. Hier is te zien dat het buiksignaal met dezelfde amplitude oscilleert als het borstsignaal en dus dezelfde beweging volgt. Echter, bij de helft van de proefpersonen is te zien dat de rode lijn een vergeleken met de blauwe en gele lijn veel minder oscilleert. Dit is terug te zien in figuur 6B.



Figuur 6: (A) Normale oscillatie van het buiksignaal (rood) versus (B) Afwijkende oscillatie van het buiksignaal (rood) ten opzichte van het borst- en totale signaal (blauw en geel).

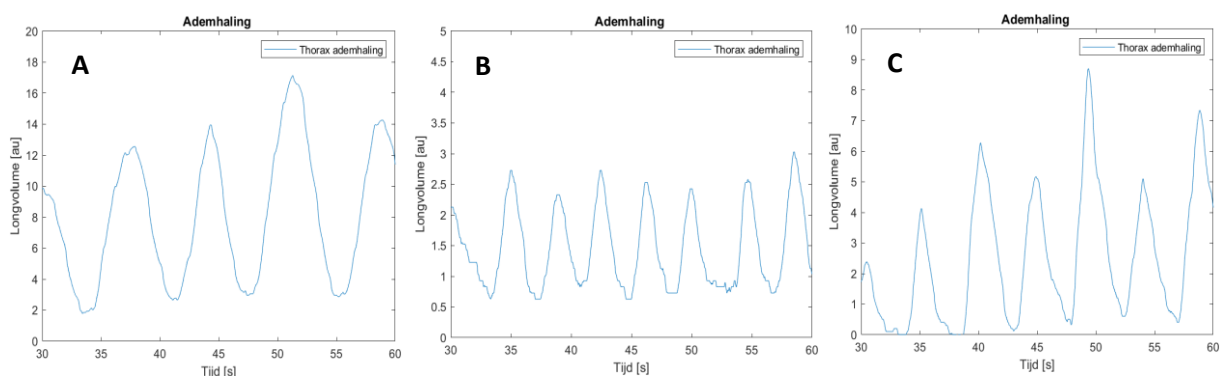
Belangrijk om op te merken is dat de y-as het longvolume weergeeft in de vorm van oscillaties in het shirt. De getallen op de y-as geven dus niet het daadwerkelijke longvolume weer. Daarnaast moest het signaal geïnverteerd worden zodat een stijging van het signaal een inademing weergeeft. Wel geeft een hogere amplitude een verhoogd verschil weer in het longvolume, betekende dat er in dit geval in het buiksignaal weinig verschil zit tussen het longvolume tijdens een in- of uitademing. Normaal gesproken zal het longvolume na een uitademing ten opzichte van de rest van het signaal laag zijn en bij een inademing juist tot een maximum stijgen. Het borstsignaal geeft dit goed weer

maar het buiksignaal niet. Daarnaast beweegt het buiksignaal in dit specifieke geval in tegenovergestelde richting ten opzichte van het borstsignaal. Dit betekent dus dat de omtrek van de buik afneemt tijdens een inademing waarbij de borstomtrek juist toeneemt. Echter, hadden niet alle proefpersonen met een verminderd buiksignaal dit zelfde resultaat. Een ander proefpersoon had wel een verhoging van de buikomtrek bij een vergroting van de borstomtrek. Ook na het groter maken van het tijdsbereik (langer signaal) is er geen verandering in het buiksignaal zichtbaar.

Samenvattend; Bij de helft van de proefpersonen gaf het buiksignaal een verminderd oscillerend signaal ten opzichte van het borstsignaal. Daarnaast bleek het bij de meeste proefpersonen niet mogelijk om doormiddel van de uitrekking van één van de twee banden het startpunt van de meting te kalibreren. Dit is nu gedaan doormiddel van een ander herkenningspunt in het signaal te koppelen aan een gebeurtenis in de gemaakte video-opname. Een voorbeeld van zo'n herkenningspunt is bijvoorbeeld

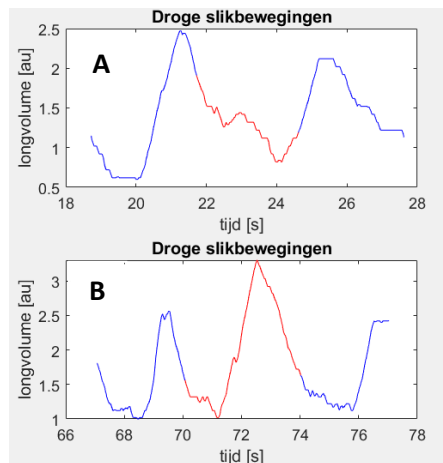
#### 4.2. Verschil ademhaling en slikbeweging na voedselinname

Er is een duidelijk verschil zichtbaar in het signaal tussen een normale ademhaling en een slikbeweging. Van een paar proefpersonen is een ademhaling met eventueel een slikbeweging weergegeven in figuur 7. De rest van de proefpersonen heeft een vergelijkbaar resultaat. Een standaard ademhalingssignaal in het longvolume ziet er eigenlijk uit als een cosinus. Bij een inademing neemt het longvolume toe en zal het signaal stijgen tot een hoogtepunt. Hierna vindt de uitademing plaats waarbij het signaal daalt. Vervolgens vindt er een nieuwe inademing plaats waarop het proces zicht herhaalt. In 7A zijn eigenlijk geen hele duidelijke slikbewegingen te zien. Het enige wat een beetje opvalt is de 'deuk' in de piek rond de 37 seconden. Vooral in figuur 7B is goed een slikbeweging te herkennen. Deze vindt plaats tijdens/na een uitademing, heel ruim genomen; tussen de 50 en 55 seconden. Ook rond de 30 seconde lijkt er tijdens de uitademing een schokkerig signaal zichtbaar. Figuur 7C is vooral om te demonstreren hoe normale ademhalingen eruit zien. Er zijn in dit figuur geen verdere slikbewegingen te onderscheiden.



Figuur 7: Ademhalingen met slikbewegingen van (A) proefpersoon 10, (B) proefpersoon 9 en (C) proefpersoon 6

In figuur 8 zijn twee ademhalingssignalen met vergelijkbare slikbewegingen als in figuur 7 weergegeven voor proefpersoon 5. Andere proefpersonen hebben een vergelijkbaar resultaat. In figuur 8 is de annotatie van de slikbeweging vanuit ELAN toegepast. Deze annotatie is te herkennen aan de rode kleur. Het gaat in dit signaal om 'droge' slikbewegingen, er wordt dus geen eten doorgeslikt. Door eerder onderzoek is bekend hoe een slikbeweging er in het ademhalingssignaal er ongeveer uit ziet. Uit dit figuur wordt ook duidelijk dat de annotatie niet over de gehele slikbeweging rijkt. Dit is vooral zichtbaar in figuur 8B. De rode annotatie eindigt op 74 seconden terwijl de slikbeweging nog doorloopt tot 76 seconden.



*Figuur 8: Twee verschillende droge slikbewegingen (A) en (B) in een ademhalingscyclus voor proefpersoon 5. In het rood de video-annotaties.*

#### 4.3. Onderscheid tussen verschillende structuren voedsel

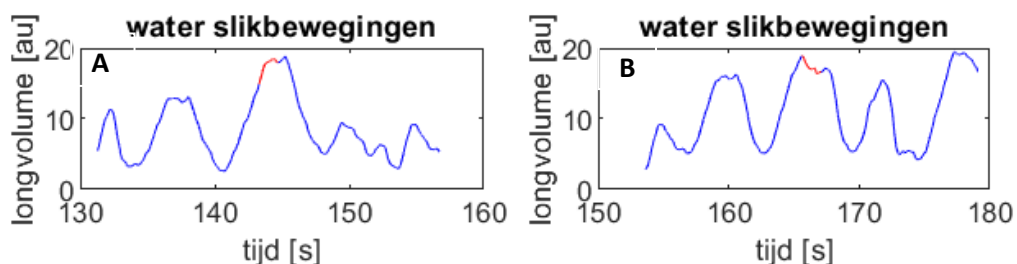
De resultaten uit paragraaf 4.2 hebben laten zien dat er een verschil is tussen een ademhaling en een normale slikbeweging. Hierbij is het van belang om ook na te gaan of er onderscheid gemaakt kan worden tussen verschillende type slikbewegingen, bijvoorbeeld voedsel met een verschillende structuur.

De resultaten laten geen of weinig overeenkomst zien tussen de slikbewegingen van hetzelfde soort voedsel of drinken. Daarnaast was er ook geen overeenkomst te zien tussen de verschillende proefpersonen. Hieronder zal er per categorie dieper ingegaan worden op wat er precies te zien is in het signaal voor elke conditie.

##### 4.3.1. Water

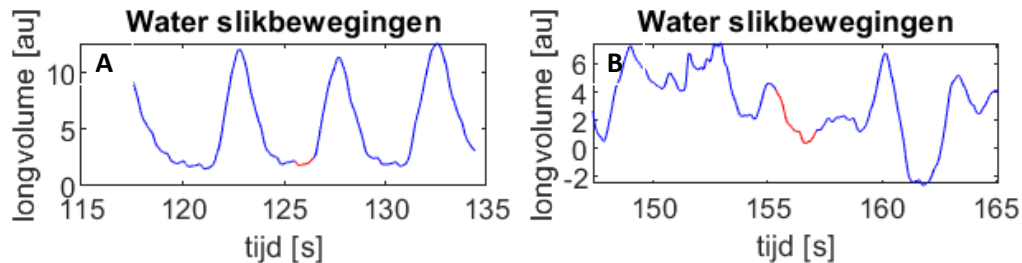
Door te kijken naar de slikbewegingen van water voor de verschillende proefpersonen kan er gekeken worden naar een eventueel patroon dat deze slikmomenten onderscheid van andere slikmomenten. In figuur 9, 10 en 11 worden een paar verscheidene slikbewegingen tijdens het drinken van water weergegeven van telkens één proefpersoon.

In figuur 9 zijn rond de 138, 145, 160 en 167 seconden slikbewegingen te herkennen. Het valt op dat er, voordat er een slikbeweging plaatsvindt, ingeademd wordt. Deze inademing is bij sommige slikbewegingen minder diep dan bij de anderen. Dit is te zien aan de amplitude van het signaal. Deze is bijvoorbeeld tijdens de slikbeweging rond de 138 seconden lager dan de slikbeweging rond de 145 seconden. Daarnaast is bij het drinken van water te zien dat er vooral slikbewegingen in de piek van de ademhaling zitten. Als laatste is in figuur 9 zichtbaar dat de annotaties relatief kort zijn.



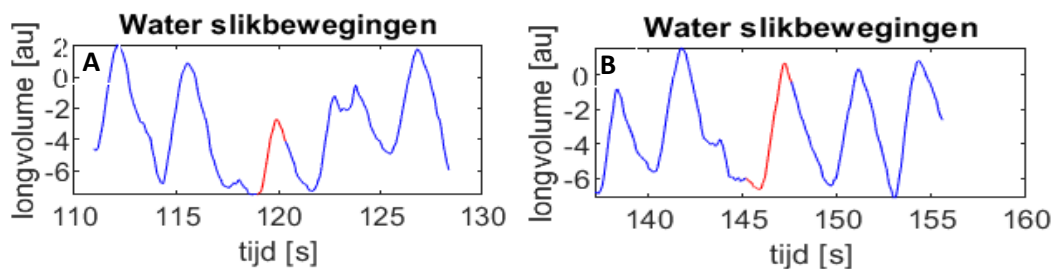
*Figuur 9: (A) Water slikbeweging van proefpersoon 10 en (B) water slikbeweging proefpersoon 10*

Echter, zijn niet standaard alle slikbewegingen na een inademing, zie afbeelding 10. In figuur 10A is duidelijk zichtbaar dat de slikbeweging in het dal van de ademhaling plaatsvinden. Dit is te zien rond de 120, 125 en 130 seconden. Tevens is hier een heel korte annotatie zichtbaar. In figuur 10B is vooral beweging zichtbaar en is er nauwelijks een normale ademhaling te herkennen.



Figuur 10: (A) water slikbeweging proefpersoon 3 en (B) water slikbeweging proefpersoon 3

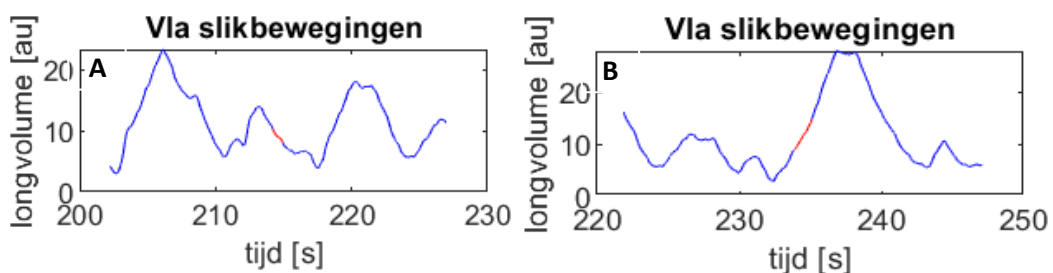
In figuur 11 zijn er rond de 118, 124 en 143 seconden slikbeweging zichtbaar. In figuur 11A is er een slikbeweging na de inademing zichtbaar en in figuur 11B juist aan het einde van een uitademing. Duidelijk dus dat de slikbewegingen per proefpersoon maar ook bij een dezelfde proefpersoon erg verschillen. Tevens is in figuur 11A, net zoals in figuur 9, verder is in figuur 11 duidelijk zichtbaar dat in tegenstelling tot figuur 9 de annotaties veel langer zijn. Daarnaast lijken de annotaties in figuur 11 niet op de daadwerkelijke slikbeweging te zitten maar juist net daarna.



Figuur 11: (A) water slikbeweging proefpersoon 7 en (B) water slikbeweging proefpersoon 7

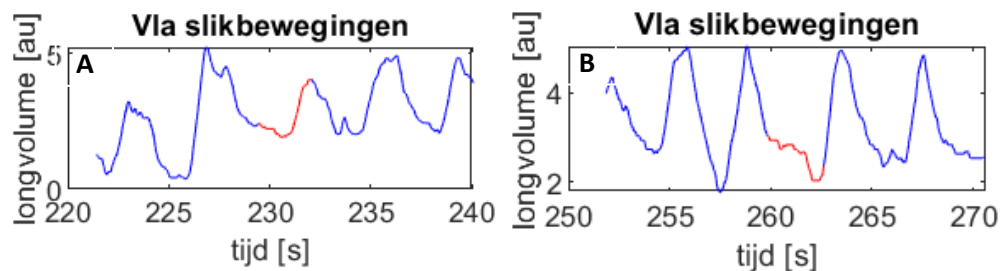
#### 4.3.2. Vla

Bij het doorslikken van vla is te zien dat het slikken vaak na een inademing plaatsvindt, zie figuur 12. Slikbewegingen zijn terug te zien in de inademing rond de 220, 227 en 237 seconden. In figuur 12A lijkt de slikbeweging ook invloed te hebben op de uitademing. Rond 210 en 217 seconden zijn er pieken in de uitademing te zien. Daarnaast is te zien dat de amplitudes per ademhaling heel erg verschillen. Dit is vooral goed zichtbaar in figuur 12B. In figuur 12A is dit amplitudeverschil minder groot. Als laatste is zichtbaar dat de annotaties erg kort zijn en zowel bij een in- als uitademing plaatsvinden.



Figuur 12: (A) vla slikbeweging proefpersoon 10 en (B) vla slikbeweging proefpersoon 10

Weer andere proefpersonen laten zien dat slikbewegingen vooral na of tijdens een uitademing plaatsvindt. Dit is zichtbaar in figuur 13. Nadat een deel is doorgeslikt wordt er kort uitgeademd waarna er weer wordt geslikt. Op deze momenten zijn de uitademingen minder diep. Het minimum van het dal zal dan dus hoger liggen dan bij een normale ademhaling. Dit is vooral zichtbaar in figuur

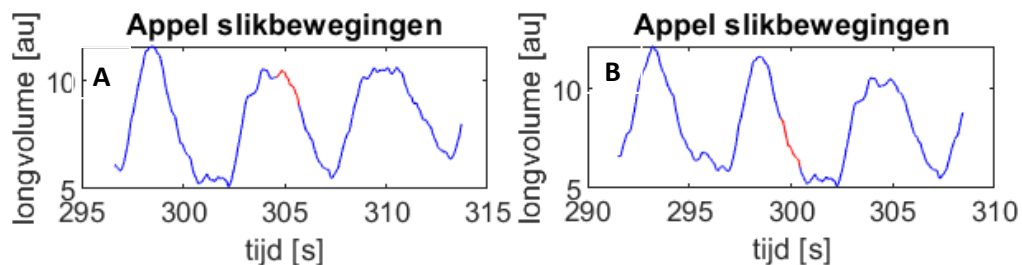


Figuur 1: (A) vla slikbeweging proefpersoon 9 en (B) vla slikbeweging proefpersoon 9

13... Dit fenomeen speelt zich bij een paar ademhalingen achter elkaar. Daarnaast geeft figuur 13 ook aan dat er voor dezelfde proefpersonen waar eerst wel een amplitudeverschil per slikbeweging zit, dit voor andere slikbewegingen niet zichtbaar is. De annotaties in figuur 13 zijn in vergelijking met figuur 12 erg lang. Daarnaast vinden de annotaties zowel tijdens een in- als uitademing plaats.

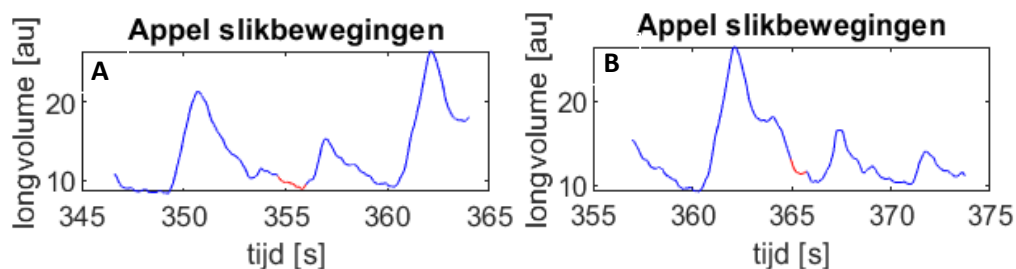
#### 4.3.3. Appel

Tijdens het eten van appel zijn veel slikbewegingen te zien met een amplitude vergelijkbaar met die van een normale ademhaling, zie figuur 14. Er zijn slikbeweging te zien tussen de 300 en 302 seconden, rond de 305 seconden en rond de 310 seconden op de x-as. De slikbewegingen vinden zowel plaats na een in- als uitademing. De annotaties zijn kort. De annotaties vinden vooral plaats tijdens een uitademing, soms voor en soms na een slikbeweging.



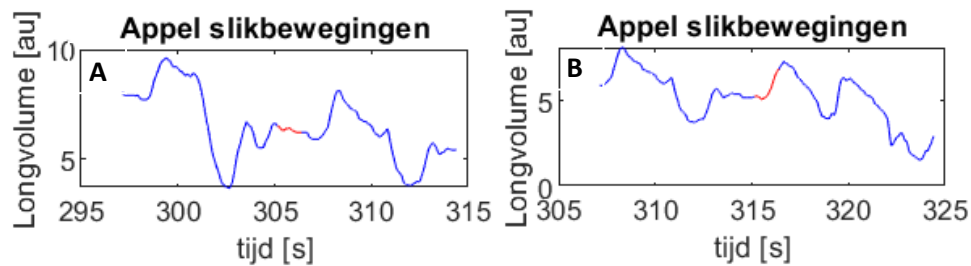
Figuur 14: (A) appel slikbeweging proefpersoon 1 en (B) appel slikbeweging proefpersoon 1

In figuur 15 is te zien dat de amplitude per ademhaling juist af lijkt te nemen. Er zijn slikbewegingen waar te nemen rond de 355, 365 en 370 seconden. Vergeleken met de slikbewegingen uit figuur 14 duren de slikbewegingen uit figuur 15 langer. Echter, zijn de annotaties wel nog net iets korter dan die uit figuur 14. De slikbewegingen vinden vooral plaats na een uitademing. Dit is te zien aan de ontstane piekjes tijdens de daling van het signaal.



Figuur 15: (A) appel slikbeweging proefpersoon 3 en (B) appel slikbeweging proefpersoon 3

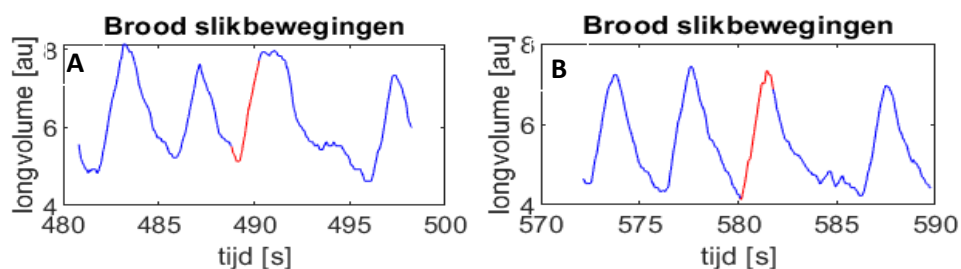
In figuur 16 is vooral veel beweging in het signaal weergegeven. Een normale ademhaling is eigenlijk niet terug te vinden in het signaal. De annotaties zijn ook hier relatief kort.



Figuur 16: (A) appel slikbeweging proefpersoon 6 en (B) appel slikbeweging proefpersoon 6

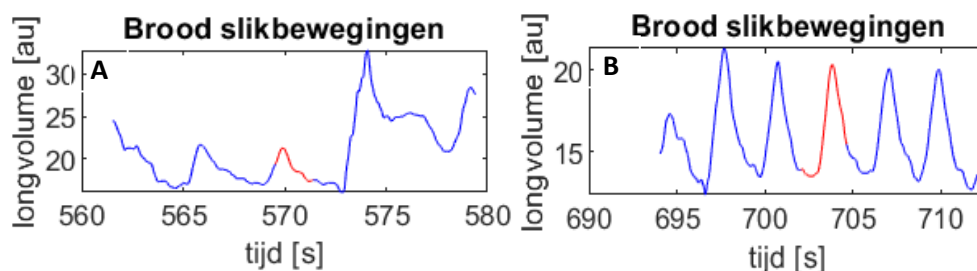
#### 4.3.4. Brood

Als laatste is er gekeken naar de slikbewegingen tijdens het eten van een boterham. In figuur 17 zijn slikbewegingen weergegeven van 490 tot 496 seconden en rond de 585 seconden. Opvallend is dat er in de meeste gevallen maar om de drie ademhalingen een slikbeweging te zien is, zie figuur 17. Wel wordt de uitademing van de ademhaling na de annotatie heel erg uitgerekt. In figuur 17A begint de slikbeweging tijdens de inademing en loopt dan door tot de uitademing. Ook valt het op dat bij de annotaties van brood slikbewegingen veel 'normale' ademhalingen mee zijn genomen. Dit is vooral terug te zien in figuur 17B.



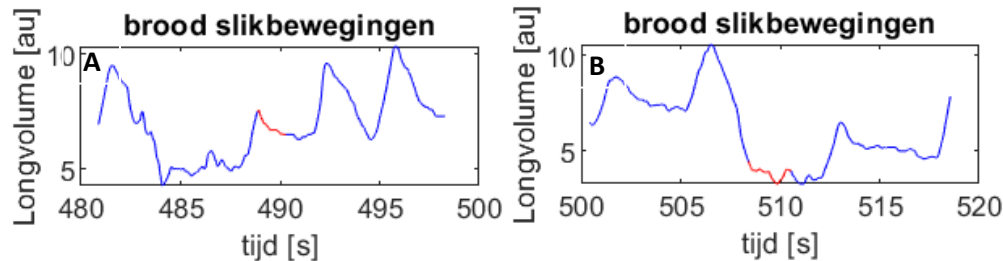
Figuur 17: (A) brood slikbeweging proefpersoon 9 en (B) brood slikbeweging proefpersoon 9

In figuur 18 is deze uitrekking niet per se heel goed terug te zien. Er zijn slikbewegingen weergegeven. In figuur 18A is er tijdens de slikbeweging sprake van een oppervlakkige ademhaling. Dit is te zien tot ongeveer 573 seconden waarna er opeens een heel diepe inademing plaatsvindt. In figuur 18B zijn geen duidelijke slikbewegingen weergegeven. Alleen kleine piekjes rond de 700 en 705 zijn zichtbaar aan het einde van de uitademing. Er zijn vooral normale ademhaling zichtbaar. Ook de annotatie is in figuur 18B een stuk langer dan in figuur 18A.



Figuur 18: (A) brood slikbeweging proefpersoon 3 en (B) brood slikbeweging proefpersoon 3

In figuur 19 is veel beweging op het signaal te zien, hierdoor is het lastig een slikbeweging te onderscheiden. Het wel bekende (co)sinus vormige signaal zoals bij een normale ademhaling is niet te herkennen in het signaal. In 19B lijkt nog wel een ademhaling te onderscheiden. Echter fluctueert de minimale waarde van de uitademing enorm.

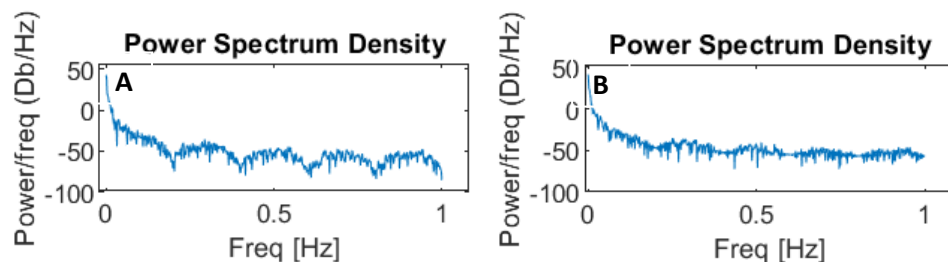


Figuur 19: (A) brood slikbeweging proefpersoon 6 en (B) brood slikbeweging proefpersoon 6

#### 4.4. Power Spectrum Density plots

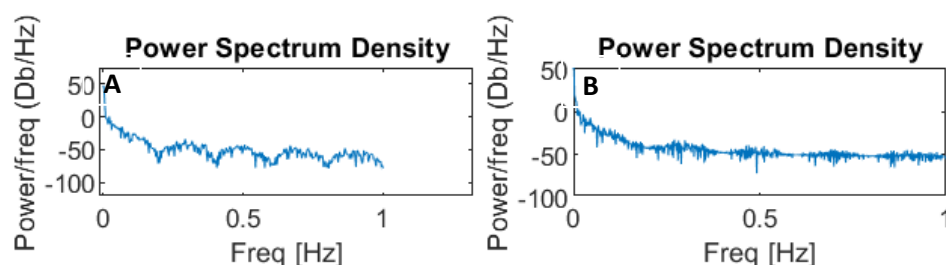
In de resultaten van de geplote PSD's zijn er al veel verschillen te vinden in de slikbewegingen behorende tot dezelfde conditie. Doordat op dit niveau al veel verschillen zijn, is het bijna niet mogelijk om overeenkomsten te vinden tussen bijvoorbeeld verschillende proefpersonen. Er zijn daarnaast geen significante overeenkomsten te vinden tussen de proefpersonen. Voor elke PSD geldt dat er op de y-as een bereik is van 50 tot -100 Db/Hz.

Figuur 20 illustreert een verschil tussen de PSD's van slikbewegingen uit dezelfde categorie. Er zijn hier van twee verschillende appel slikbewegingen een PSD weergegeven. Er zijn twee vergelijkbare situaties waar te nemen in alle slikbewegingen. Te zien is dat er in figuur 20A een boogvormig signaal ontstaat. In figuur 20B is het signaal meer een 'rechte' lijn wanneer deze vergeleken wordt met figuur 20A. Op sommige plekken zijn kleine dalen te zien. Echter, zijn deze voor elke PSD weer op een andere frequentie, de dalen lijken verder dus geen informatie te geven.



Figuur 20: (A) Power Spectrum Density van appel slikbeweging van proefpersoon 6 en (B) Power Spectrum density van appel slikbeweging van proefpersoon 6

Vergelijkbare resultaten met figuur 20 zijn te vinden in alle categorieën slikbewegingen voor alle proefpersonen. In figuur 21 zijn nogmaals van twee slikbewegingen PSD's weergegeven. Dit maal van water slikbewegingen. Uit deze figuur blijkt ook dat er zowel een boogvormig als 'recht' signaal is.



Figuur 21: (A) Power Spectrum Density van brood slikbeweging van proefpersoon 1 en (B) Power Spectrum Density van een brood slikbeweging van proefpersoon 1

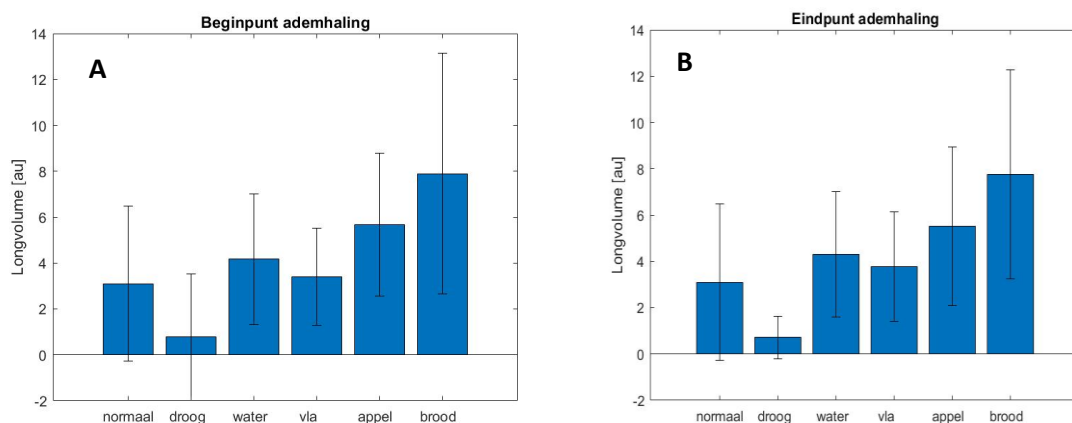


Voor andere categorieën zijn een paar resultaten weergegeven in *Bijlage 2* aangezien deze vergelijkbare PSD's weergeven.

#### 4.5. Barplots van de features

In figuur 22 t/m 29 zijn de universele barplots weergegeven die een verschil tussen de condities weergeeft. Wel moet hier gelijk opgemerkt worden dat er sprake is van een grote standaarddeviatie in bijna elke barplot. Deze standaarddeviatie laat zien dat er, zoals ook in het visuele signaal te zien was, veel variatie zit tussen de verschillende proefpersonen met betrekking tot hoe de slikbewegingen zich verhouden.

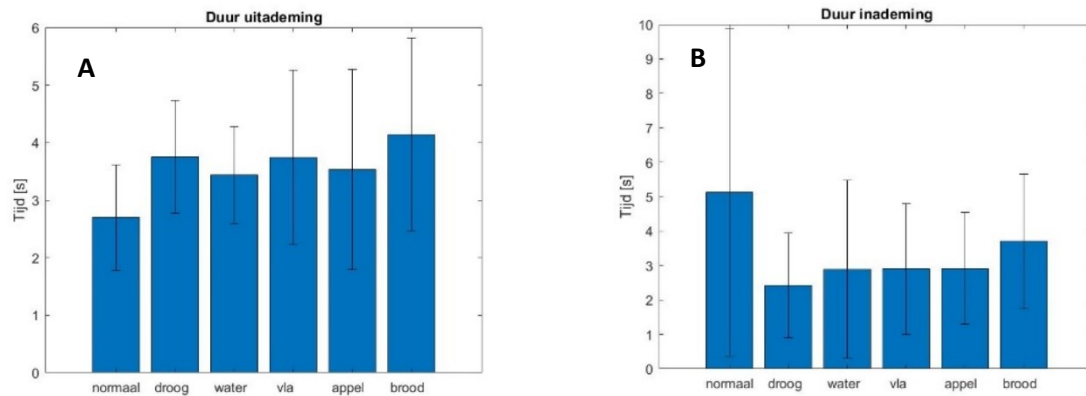
In figuur 22 zijn de resultaten zichtbaar voor het begin- en eindpunt van de ademhaling. Opvallend is dat deze figuren zo goed als identiek lijken. De ademhaling begint dus op vergelijkbare hoogte als waarop deze eindigt. Daarnaast is te zien dat begin- en eindpunt voor een droge slikbeweging zelfs lager is dan voor een normale ademhaling. Het begin- en eindpunt voor brood ligt het hoogst.



Figuur 22: Barplots (A) beginpunt ademhaling en (B) eindpunt ademhaling

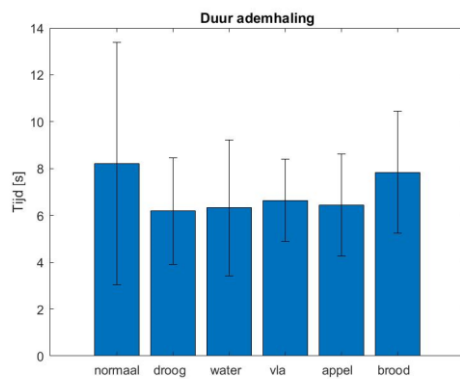
In figuur 23A is de duur van een inademing weergegeven en in figuur 23B is de duur van een uitademing te zien. De duur van een inademing van een normale ademhaling is het langst. De inademeningen van de verschillende slikbewegingen zijn verder vergelijkbaar met elkaar waarbij de inademing bij brood slikbewegingen net iets langer duurt. Daar tegenover duurt de uitademing van een normale ademhaling juist het kortst. De andere soorten slikbewegingen hebben een vergelijkbaar duur van de uitademing.





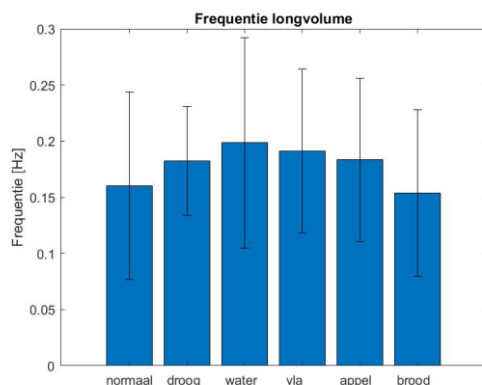
Figuur 23: Barplots (A) Duur van een uitademing en (B) Duur van een inademing

In figuur 24 is ter aanvulling de duur van de gehele ademhaling weergegeven. Hieruit is duidelijk zichtbaar dat een normale ademhaling het langst duurt dan wel met een hele grote standaarddeviatie. De op een na langste ademhaling is bij het doorslikken van brood. De andere categorieën hebben een vergelijkbare duur.



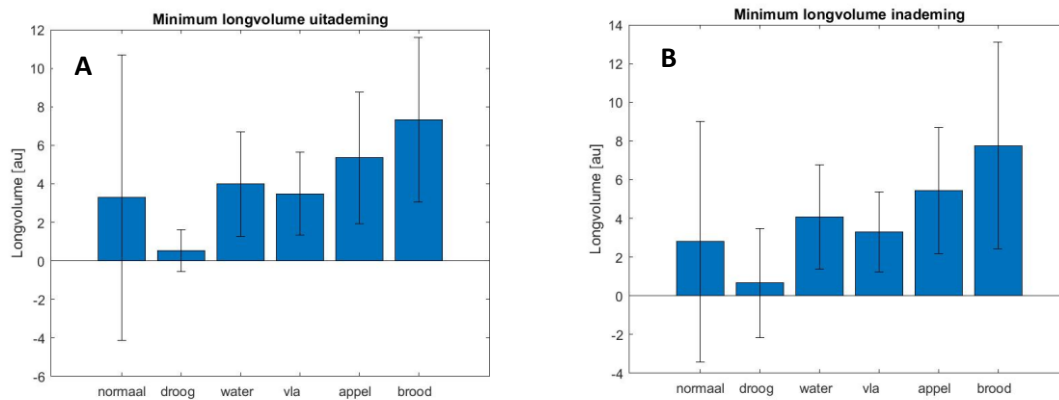
Figuur 24: Barplot duur van de gehele ademhaling

In figuur 25 is de frequentie van het longvolume weergegeven. Ook hier is niet veel verschil zichtbaar. De frequentie zit voor elke soort ademhaling tussen de 0.15 – 0.20 Hz. Deze waarden zijn vooral van belang bij het kijken naar het frequentiedomein. De waarden worden in het achterhoofd gehouden.



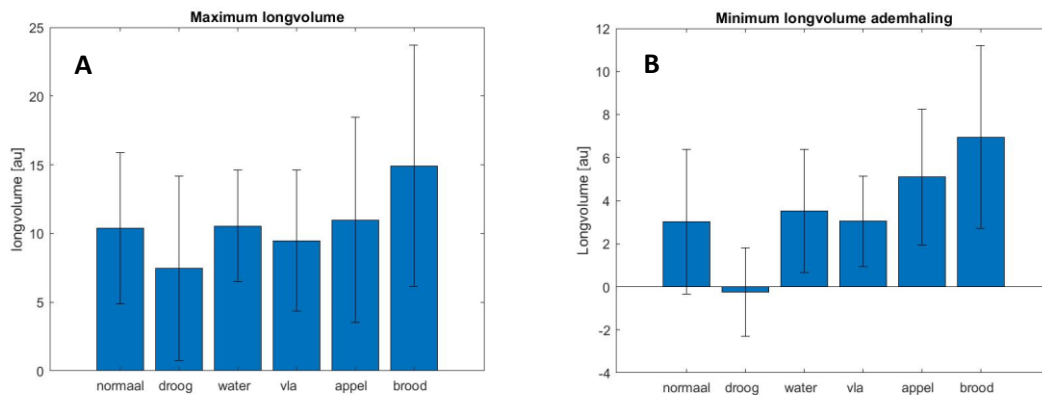
Figuur 25: Barplot frequenties

In figuur 26 zijn de barplots weergegeven voor de minimum waarde van het longvolume bij de in- en uitademing. Deze resultaten zijn erg vergelijkbaar met de begin- en eindwaarde uit figuur 22.



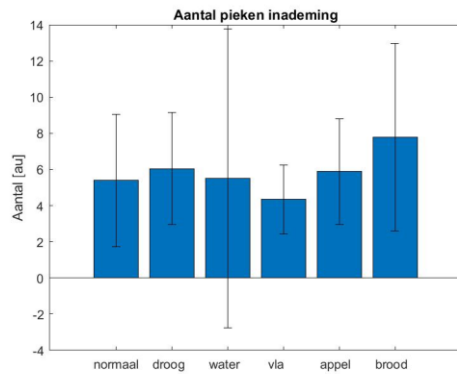
Figuur 26: Barplots (A) minimum waarde longvolume bij uitademing en (B) minimale waarde longvolume bij inademing

In figuur 27 is het maximum en minimum van het longvolume weergegeven. Een combinatie van 27A en B geeft informatie over de amplitude van elke categorie. Zo is te zien dat brood het hoogste minimum waarde heeft en ook de hoogste maximum waarde. Echter, komen de maxima van de andere condities net iets lager uit terwijl het minimum van diezelfde condities wel beduidend lager liggen dan die van brood. Hieruit is te zien dat in dit geval brood dus een longvolume met een (relatief) kleine amplitude genereerd.



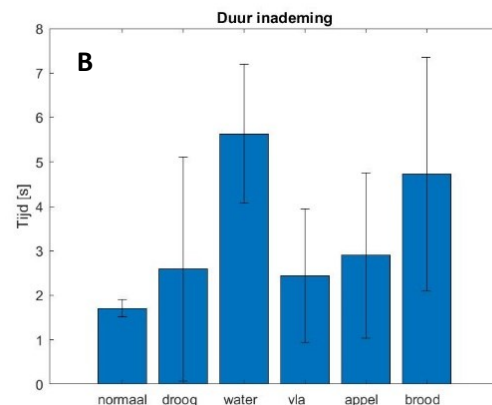
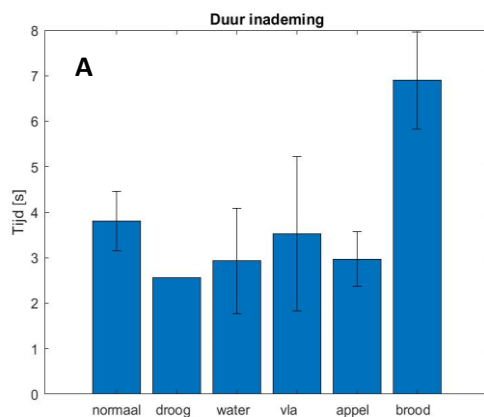
Figuur 27: Barplots (A) Maximum waarde longvolume van gehele ademhaling en (B) minimale waarden longvolume van een hele ademhaling

Als laatste is in figuur 28 het aantal pieken na een inademing weergegeven. Dit was een feature die toegevoegd is na aanleiding van het signaal van de water slikbewegingen. Relatief gezien vond bij deze conditie vaak een slikbeweging plaats na een inademing. Dit is deels terug te zien in de barplot. In vergelijking met de andere condities heeft water niet de meeste pieken tijdens een inademing. Dit wordt gewonnen door de ademhalingen met een brood slikbewegingen. Echter, heeft de ademhaling met water slikbewegingen wel een heel grote standaarddeviatie in vergelijking met de andere condities. Dit betekent dat er dus wel degelijk ademhalingen aanwezig zijn met veel pieken tijdens een inademing.



Figuur 28: Barplot aantal getelde pieken tijdens een inademing

In alle bovengenoemde figuren lijken de verschillende structuren voedsel van elkaar te onderscheiden. Er is namelijk voor elke feature wel een verschil te zien, hoe klein dan ook. Echter, vanwege de grote standaarddeviaties zijn de resultaten niet heel betrouwbaar. In figuur 29 is hier een voorbeeld van. Deze figuren geven de duur van een inademing weer voor twee verschillende proefpersonen. Te zien is dat bij de ene proefpersoon (figuur A) een inademing tijdens een brood slikbeweging het langst duurt terwijl bij de andere proefpersoon (figuur B) de water slikbeweging het langst duurt.



Figuur 29: Barplots (A) Duur inademing proefpersoon 6 en (B) duur inademing proefpersoon 10

Andere barplots zijn geplaatst in bijlage 3.

## 5. Discussie

In de discussie zullen de resultaten besproken worden met het oog op de vooraf opgestelde onderzoeksvragen. Als eerste worden eventuele verschillen tussen buik- en borstwand signalen besproken. Daarna zal er ingegaan worden op de verschillen tussen een normale ademhaling en een slikbeweging. Daar bovenop zal vervolgens worden besproken wat voor invloed de structuur van het voedsel heeft op het signaal. Deze vergelijking is gedaan op basis van het kijken naar de verschillende grafieken van het signaal zowel in tijd- als frequentiedomein en door het signaal te karakteriseren met behulp van diverse features speciaal ontwikkeld voor het detecteren van slikbewegingen in het tijdsdomein. Ook zullen bovengenoemde aspecten vergeleken worden met bestaand onderzoek. Als laatste wordt er nog een blik geworpen op het experiment en het Hexoskin Smart Shirt zelf.

### 5.1. Kalibratie met behulp van video-annotaties

In *Hoofdstuk 3* is beschreven hoe de slikbewegingen in het signaal zichtbaar zijn gemaakt met behulp van de video-annotaties. Het was echter moeilijk om me bij elke deelnemer het exacte slikmoment te bepalen. Zo had één proefpersoon het haar voor de hals hangen waardoor bewegingen moeilijk waar te nemen waren. Bij andere proefpersonen bleek het lastig het kauwen en slikken van elkaar te onderscheiden. Hierdoor is er een mogelijkheid dat sommige slikmomenten niet opgemerkt zijn of dat de slikmomenten een afwijkende tijd in de ELAN notatie hebben ten opzichte van de data. Dit is ook terug te zien in de resultaten. Sommige grafieken van zogenoemde slikmomenten waren helemaal geen slikbeweging, maar een ademhaling. Ook zijn sommige annotaties te vroeg of juist te laat in vergelijking met de daadwerkelijke slikbeweging die terug te zien is in het signaal.

### 5.2. Ademhalingscycli scheiden

De features opgesteld in het onderzoek van Dong et al.<sup>[16]</sup> zijn gebaseerd op een enkele ademhaling. Aangezien sommige van deze features toegepast zullen worden op de slikbewegingen uit de slikbewegingen van dit verslag is het van belang dat de ademhalingen worden gesplitst. Dit is gedaan door elk dal van een uitademing te selecteren net voordat de volgende inademing plaatsvindt. Hier moet rekening gehouden worden met een menselijke fout. De dalen zijn handmatig met de functie *ginput* geselecteerd. Het is niet mogelijk om elke keer precies hetzelfde punt te selecteren waardoor er een kleine variatie kan ontstaan tussen de verschillende ademhalingscycli.

### 5.3. Afwijking tussen buik- en borstsignaal

In de resultaten is weergegeven dat bij de meerderheid van de proefpersonen er in vergelijking met het borstsignaal, heel weinig buiksignaal zichtbaar was. Aangezien elk proefpersoon een andere maat Hexoskin shirt heeft gedragen tijdens de meting is het onwaarschijnlijk dat het aan de RIP-sensor in de shirts ligt. Ook is het afwezige buiksignaal niet te verklaren met behulp van andere eigenschappen zoals geslacht, gewicht en lengte. Een andere oorzaak van het slechte buiksignaal kan een slechte pasvorm van het shirt zijn. De buikband kan tijdens de metingen bij sommige deelnemers te los hebben gezeten waardoor deze weinig te signaal heeft gemeten. Daarnaast kan het ook zijn dat een te strak zittend shirt juist zorgde voor een verminderd buiksignaal door het overschrijden van de maximale uitrekking die gemeten kan worden. Dit is echter door de onderzoeker zelf getest door het signaal te meten en ondertussen de buikband steeds strakker te zetten. Deze test gaf geen verschil in signaal bij een strakkere buikband waarmee ook deze oorzaak uitgesloten wordt.

Normaliter is een buikademhaling veel voorkomender en gezonder voor de mens dan een borstademhaling<sup>[27]</sup>. Dan is te verwachten dat het buiksignaal juist met een hogere amplitude oscilleert dan het borstsignaal. Iets wat in de resultaten van de meeste proefpersonen dus tegenovergesteld is. Tijdens het eten spant men zich in, dit kan een hogere hartslag als gevolg hebben. Echter, kan deze inspanning nooit zo groot zijn in vergelijking met een rustpositie dat deze

inspanning daadwerkelijk voor verandering van het buiksignaal ten opzichte van het borstsignaal zorgt. Daarnaast is het verschil tussen oscillaties in het buik- en borstsignaal even groot bij een ademhaling in rust, wanneer er dus geen sprake is van extra inspanning. Een borstademhaling kenmerkt zich als een snellere en oppervlakkerigere ademhaling. De proefpersonen waren vooraf aan het onderzoek op de hoogte gesteld dat de ademhaling en slikbewegingen bestudeerd zouden worden. Dit kan ervoor hebben gezorgd dat de proefpersonen bewust of onbewust meer hebben gelet op hun ademhaling waardoor resultaten afwijking van de realiteit. Daarnaast is het gehele experiment vastgelegd op camera. Dit kan voor sommige deelnemers minder prettig zijn waardoor nervositeit op komt spelen. Deze nervositeit kan een snellere en oppervlakkerige ademhaling als gevolg hebben, die zich vervolgens uit als een borstademhaling. Deze borstademhaling zorgt voor veel oscillaties gemeten door de RIP-sensor ter hoogte van de borst en minder oscillaties bij de buik. Dit zou ook verklaren waarom het buiksignaal in de gehele meting lager is dan het buiksignaal en niet alleen tijdens de slikbewegingen. Echter, zal dit niet zo veel invloed op het signaal moeten hebben. De daadwerkelijke oorzaak is daarom onbekend.

#### 5.4. Verschil ademhaling en slikbewegingen in het tijdsdomein

Uit de resultaten is gebleken dat er grote verschillen zijn tussen een normale ademhaling en een slikbeweging. Dit verschil uit zich op veel verschillende manieren. Uit een ander onderzoek zijn verschillende grafieken gemaakt met hoe een normale ademhaling zich verhoudt tegenover een slikbeweging<sup>[9]</sup>. Dit onderzoek was tevens gericht op het detecteren van slikbewegingen met behulp van de RIP-techniek. Hierbij werd er daarnaast nog gekeken naar de invloed van het praten tijdens de meting op het uiteindelijke signaal. Ook werden er bepaalde features (duur, tidal volume en ook morfologische features) berekend die als input dienden van een automatische detectie. In de discussie wordt er vooral ingegaan op statische begrippen zoals sensitiviteit en precisie. In dit verslag is verder geen gebruik gemaakt van statistiek waardoor de resultaten verder niet vergelijkbaar zijn. De grafieken van de slikbewegingen zijn echter wel overgenomen, zie figuur 2. De verwachtingen waren deels ook gebaseerd op deze grafieken. Te zien in figuur 2 is dat slikbewegingen in veel verschillende vormen en maten voorkomen in het longvolume signaal. Dit heeft te maken met wanneer er in de ademhalingscyclus wordt geslikt (uit- of inademing). Vooral door het kijken naar het signaal is gebleken dat slikbewegingen op veel verschillende manieren zichtbaar zijn ten opzichte van een normale ademhaling. Veel van deze verschillende vormen zijn ook terug te zien in de resultaten van dit onderzoek.

Daarnaast zijn er in het onderzoek van Dong et al.<sup>[16][22]</sup> features ontworpen die de verschillen aantonen. Deze features zullen later besproken worden. Echter, met deze features in het achterhoofd is er ook gekeken naar de het signaal in het tijdsdomein. Veel van deze features zijn inderdaad terug te zien in het signaal. Een van de meest zichtbare features is de duur van een ademhaling. Deze wordt bij slikbewegingen uitgerekt. Toch is dit per proefpersoon verschillend. Zo is ook te zien in de grote standaarddeviatie van de berekende feature. Verder zijn ook de verschillen in minimum en maximum erg goed zichtbaar in het tijdsdomein. De features frequentie, mediaan, gemiddelde, root mean square en het aantal toppen bij een inademing zijn om duidelijke redenen niet goed te herleiden uit het tijdsdomein. Hiervoor zullen echt de features berekend moeten worden.

In een onderzoek naar het functioneren van het slikken van ouderen is er ook gebruik gemaakt van de RIP-techniek<sup>[15]</sup>. Hier werden er ook verschillende structuren voedsel gebruikt om te kijken of de automatische detectie van slikbewegingen ook hier nog duidelijk kon aangeven dat het daadwerkelijk om slikbewegingen gaat. Echter, was dit onderzoek gericht op het aantonen van slikabnormaliteiten waardoor enkel de conclusie getrokken werd dat het type voedsel niet van invloed was op de mogelijkheid om slikbewegingen te detecteren met de RIP-techniek middels automatische detectie. In dit onderzoek is geen gebruik gemaakt van een automatische detectie. Wel is uit de resultaten

gebleken dat een bepaald soort voedsel niet per definitie heel afwijkende signalen dan de andere categorieën voedsel in het longvolume laat zien aangezien er bij één categorie eten onderling al erg veel verschillen zichtbaar waren.

### 5.5. Verschil verschillende structuren voedsel in het tijdsdomein

Aan de hand van de resultaten is te zien dat er per proefpersoon veel afwijkende aantallen slikbewegingen plaats hebben gevonden. Dit is logisch aangezien iedereen een andere hoeveelheid eten tegelijkertijd tot zich neemt. Om het verschil zo veel mogelijk te beperken is het brood en de appel in stukken aan de proefpersonen gegeven. Echter, gebruikten sommige proefpersonen meerdere slikken om één stuk brood of appel weg te krijgen. Waardoor de inname van deze twee condities ook niet helemaal vergelijkbaar zijn voor alle proefpersonen. Daarnaast is het niet mogelijk de hoeveelheid water dat per keer wordt doorgeslikt te reguleren. Hierdoor is er een extra variabele in de meting die voor eventuele verschillen tussen de proefpersonen kan zorgen.

Zoals in de resultaten besproken, zit er veel verschil tussen de slikbewegingen van elke onafhankelijke proefpersoon. Hierdoor is het moeilijk om verschillen te vinden tussen de verschillende structuren voedsel en drinken. Per proefpersoon zijn er verschillen gevonden tussen de verschillende structuren voedsel. Echter, zijn deze verschillen niet per definitie ook terug te vinden bij een ander proefpersoon waardoor er op het eerste gezicht geen universele verbanden gevonden zijn.

Er is tot nu toe nauwelijks onderzoek geweest naar de invloed van het soort voedsel op hoe de slikbewegingen zich uiteten in het longvolume signaal. Dit onderzoek was daarom bedoeld om hier meer informatie in te krijgen. Hierdoor zou, bij een positief resultaat, gebruik gemaakt kunnen worden. Zoals hierboven beschreven is, zijn er niet veel kenmerken gevonden die voor elk proefpersoon hetzelfde zijn. In het onderzoek van Dong et al.<sup>[22]</sup> is er heel kort ingegaan op de invloed van een bepaalde structuur voedsel op het longvolume signaal. Zei meldden dat er bij een groffere structuur het moeilijker is om het voedsel door te slikken. Hierdoor duurt deze slikbeweging langer. In het geval van dit onderzoek zou dit betekenen dat brood slikbewegingen het langst zouden duren en een normale ademhaling/slikbeweging het kortst. Dit is in de resultaten nog niet heel duidelijk naar voren gekomen.

### 5.6. Verschillen in het frequentiespectrum

De resultaten hebben laten zien dat er weinig overeenkomsten tussen de PSD's van de proefpersonen zijn. Of beter gezegd; er zijn tussen de proefpersonen geen universele verbanden in het frequentiespectrum te zien waarmee verschil tussen de categorieën slikbewegingen aangetoond kunnen worden. De resultaten laten zien dat er zelfs tussen dezelfde condities onderling geen vergelijkingen gemaakt kunnen worden.

Uit de berekende features is gekomen dat de frequenties voor de verschillende slikbewegingen zich vooral verhouden tussen de 0.15 – 0.20 Hz. Dit is een logisch resultaat gezien de literatuur laat zien dat de ademhalingsfrequentie tussen de 0.1 en 0.5 Hz zit<sup>[24]</sup>. Het is daarnaast dus relevant om te bekijken of deze frequenties ook in de PSD's terug te zien zijn. Dit blijkt niet het geval. Af en toe zijn er wat dalen aanwezig. Echter liggen deze na de 0.5 Hz en in principe dus buiten de ademhalingsfrequentie. Daarnaast is bij deze ontstane dalen ook geen regelmaat te vinden. Ze zijn niet bij bijvoorbeeld alleen brood slikbewegingen aanwezig en ook niet bij alle slikbewegingen uit één categorie zoals ook in de paragraaf hierboven beschreven.

### 5.7. Verschillen in features

Op visueel gebied was er tussen een normale ademhaling en slikbewegingen veel verschil in het longvolume te zien. Ook de features hebben dit aangetoond. Daarnaast laten de features ook verschillen zien tussen de slikbewegingen van verschillende structuren voedsel. Deze verschillen waren visueel slecht of niet bij elk proefpersoon hetzelfde zichtbaar.

Daarnaast was de grootste verwachting, zoals ook uit de literatuur, dat de slikbewegingen van voedsel met een groffere structuur langer duren dan voedsel met een zachtere structuur<sup>[16]</sup>. In dat geval zou een slikbeweging na het eten van brood het langst duren en een slikbeweging van water het kortst. Uit de resultaten is inderdaad gekomen dat brood van de vier verschillende voedselcategorieën de langste duur heeft. Ook al is dit verschil erg klein. Desalniettemin, is in de resultaten te zien een normale ademhaling nog langer duurt. Dit is niet erg logisch en tegenstrijdig met resultaten uit eerder onderzoek.

Echter, moet bij bovengenoemde gevonden verschillen een kanttekening geplaatst worden. Deze verschillen gaan allemaal gepaard met een erg grote standaarddeviatie. Dit betekent dat de resultaten per aparte slikbeweging erg van elkaar verschillen en maakt de resultaten daarnaast ook minder betrouwbaar, hier is in de resultaten ook een voorbeeld van gegeven. Hierom is het na dit onderzoek bijna niet mogelijk om uitspraken te doen over een echt verschil tussen de structuren voedsel anders dan dat er geen universeel verschil te vinden is. De daadwerkelijke verschillen die in de resultaten kort naar voren komen zijn relatief klein wanneer deze vergeleken worden met de standaarddeviatie. Tussen de gemiddelde waarden in de barplots zijn nihil als deze vergeleken worden met de standaarddeviatie.

Dit onderzoek was bedoeld om in de toekomst wellicht verschillende structuren voedsel te detecteren met behulp van de longvolumesensor. Op dit moment zijn er nauwelijks onderzoeken uitgevoerd met betrekking tot deze verschillen. Zoals in *hoofdstuk 5.5* zijn er weinig visuele verschillen in het signaal te vinden. De features zijn in een eerder onderzoek van Dong et al.<sup>[16][22]</sup> ontworpen en hebben toen verschillen aangetoond tussen een normale ademhaling en een slikbeweging na voedselinname. Ook in dit onderzoek is gebleken dat er inderdaad vele verschillen zijn te zien in de features, zoals besproken in de resultaten. Echter, was het doel om met dit onderzoek een stap verder te zetten en ook verschillen tussen verschillende structuren voedsel in het longvolume aan te tonen. Dat is in dit onderzoek niet gelukt. De kleine verschillen die aanwezig zijn in de features zijn niet betrouwbaar vanwege de grote standaarddeviatie. Ook het afwezig zijn van verbanden tussen verschillende categorieën voedsel geeft informatie. Echter, lijkt het nuttig om toch vervolgonderzoek te doen aangezien er tijdens dit onderzoek niet optimaal is verlopen. Er kan dus nog niet uitgesloten worden dat er daadwerkelijk geen verschillen zijn tussen de condities.

### 5.8. Gebruik Hexoskin Smart Shirt

Het is gebleken dat bij drie van de tien deelnemers na een bepaalde tijd de Hexoskin opname gestopt is en vervolgens een nieuwe opname is gestart. De complete meting staat dus op twee verschillende opnames. De opname ging niet gelijk na het stoppen verder, hierdoor ontbrak er bij deze proefpersonen een deel van data. Zo ontbrak er afhankelijk van de proefpersoon tussen de 19 en 49 seconden. Daarnaast bleken de resultaten, zoals al eerder beschreven, voor deze drie metingen niet optimaal.

Verder was er tijdens dit onderzoek geen beschikking tot alle maten shirts. Dit heeft er toe geleiden dat niet elke proefpersoon de juiste maat shirt aan had. Wanneer dit het geval was, heeft de proefpersoon het shirt in een maat kleiner gedragen zodat de sensoren strak om de borst en buik heen zaten. Bij het te los zitten van de banden zal de uitrekking niet of minder accuraat gemeten worden. Echter, kan het te strak zitten van de banden ook leiden dat er minder accuraat gemeten

wordt. Denk hierbij aan maximale uitrekking die gemeten kan worden. Bij het overschrijden van deze 'limiet' wordt een verdere uitrekking niet gemeten. Echter, zoals ook besproken in *hoofdstuk 5.3*, is dit zogenoemde 'plafond' met een testmeting (nog) niet gevonden.



## 6. Conclusie & Aanbevelingen

Afsluitend aan dit onderzoek worden de vooraf opgestelde onderzoeksvragen besproken en beantwoord. Daarnaast worden er aan de hand van de uitkomst van het onderzoek aanbeveling gedaan voor een vervolgonderzoek. De eerste onderzoeksvraag was *'In hoeverre zijn slikbewegingen na voedselinname te detecteren met behulp van de Hexoskin longvolume sensor?'*. Om deze vraag te beantwoorden zijn er metingen op verschillende proefpersonen uitgevoerd. De resultaten van deze metingen laten zien dat er een groot verschil zit tussen het signaal van een normale ademhaling en het signaal van een slikbeweging. Veel eigenschappen van een slikbeweging die gevonden zijn in de resultaten zijn te verklaren aan de hand van features ontworpen door Dong et al.<sup>[16]</sup>. Aangezien de detectie van slikbewegingen na voedselinname al eerder waren aangetoond met behulp van een longvolumesensor en de features was dit ook de verwachting. Om het onderzoek uit te breiden is daarom een tweede onderzoeksvraag opgesteld: *'Hoe goed zijn voedselcategorieën met een verschillende structuur van elkaar te onderscheiden in de detectie van slikbewegingen?'*. Uit dit onderzoek is gebleken dat er geen universele verschillen te vinden zijn tussen de structuren voedsel. Dit is bepaald doormiddel van het visueel kijken naar het signaal, het kijken naar het frequentiespectrum en het berekenen van features. De features laten wel verschillen zien, echter zijn deze verschillen erg klein met daarnaast een erg grote standaarddeviatie waardoor de resultaten niet betrouwbaar genoeg zijn.

Met betrekking tot het onderzoek worden er nog een aantal aanbevelingen besproken. Het is achteraf moeilijk gebleken de precieze slikmomenten vast te stellen. Deze slikbewegingen zijn niet altijd even goed zichtbaar op de opname. Voor vervolgonderzoek kan dit voorkomen door bijvoorbeeld de proefpersoon zijn/haar hand op te laten steken wanneer er geslikt wordt. Op die manier is er een extra houvast die ervoor zorgt dat slikmomenten beter vastgelegd kunnen worden en er met zekerheid gezegd kan worden dat een bepaald signaal het gevolg is van die slikbewegingen.

Daarnaast zijn de experimenten voor dit onderzoek in een 'lab setting' uitgevoerd. Dit wil zeggen dat het geen realistische situatie is. Proefpersonen moesten zo stil mogelijk zitten, niet praten etc. In vervolgonderzoek is een realistischere eetsituatie wenselijk. Mocht dit principe ooit in de praktijk gebruikt worden, is het van belang te weten wat alle invloeden van buitenaf, zoals bijvoorbeeld meer beweging, op het signaal hebben.

Ondanks dat er aangegeven werd dat men zo stil mogelijk moest zitten etc. zijn de metingen uitgevoerd in een lab setting thuis. Dit heeft er misschien onbewust voor gezorgd dat de proefpersonen minder bewust waren van het feit dat ze meededen aan een onderzoek waardoor er misschien meer beweging plaatsvond dan gewenst. Mocht er nogmaals hetzelfde onderzoek uitgevoerd worden kan het van belang te doen op een plek die voor de proefpersonen onbekend aanvoelt.

Tijdens dit onderzoek werd er gebruik gemaakt van het Hexoskin Smart Shirt. Dit shirt is verkrijgbaar in een mannen- en vrouwenvariant. Ook zijn er verschillende maten beschikbaar. Bij de experimenten was er geen complete set shirts aanwezig. Hierdoor had niet elk proefpersoon de correcte maat shirt.

De features laten een voorzichtig verschil zien tussen de verschillende structuren voedsel. Vanwege de grote standaarddeviatie zijn deze resultaten niet betrouwbaar. Echter, te samen met een betere lab opstelling is het erg gunstig om de eventuele verschillen verder te onderzoeken.

## Referenties

- [1] WHO. Obesity and overweight 2021. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (accessed May 4, 2022).
- [2] NHS UK. Obesity overview n.d. <https://www.nhs.uk/conditions/obesity/#:~:text=Being obese can also increase,coronary heart disease and stroke> (accessed May 4, 2022).
- [3] Lean M, Lara J, Hill JO. ABC of obesity: Strategies for preventing obesity. *BMJ Br Med J* 2006;333:959. doi:10.1136/BMJ.333.7575.959.
- [4] Fontana JM, Pan Z, Sazonov ES, McCrory MA, Thomas JG, McGrane KS, Marden T, Higgins JA. Reproducibility of Dietary Intake Measurement From Diet Diaries, Photographic Food Records, and a Novel Sensor Method. *Front Nutr* 2020;7:99. doi:10.3389/FNUT.2020.00099/BIBTEX.
- [5] Hebert JR, Clemow L, Pbert L, Ockene IS, Ockene JK. Social Desirability Bias in Dietary Self-Report May Compromise the Validity of Dietary Intake Measures. *Int J Epidemiol* 1995;24:389–98. doi:10.1093/IJE/24.2.389.
- [6] Bell BM, Alam R, Alshurafa N, Thomaz E, Mondol AS, de la Haye K, Stankovic JA, Lach J, Spruijt-Metz D. Automatic, wearable-based, in-field eating detection approaches for public health research: a scoping review. *Npj Digit Med* 2020 31 2020;3:1–14. doi:10.1038/s41746-020-0246-2.
- [7] Schiboni G, Amft O. Automatic dietary monitoring using wearable accessories. *Seamless Healthc Monit Adv Wearable, Attach Invis Devices* 2017:369–412. doi:10.1007/978-3-319-69362-0\_13/FIGURES/15.
- [8] Hexoskin. Hexoskin breathing sensors n.d. <https://hexoskin.zendesk.com/hc/en-us/articles/360001571693-Hexoskin-breathing-sensors> (accessed May 17, 2022).
- [9] Tatulli E, Fontecave-Jallon J, Calabrese P, Gumery PY. Respiratory inductance plethysmography for automated swallowing detection. *Int J E-Health Med Commun* 2020;11:64–77. doi:10.4018/IJEHMC.2020040104.
- [10] Hartstichting. Beweegrichtlijnen n.d. <https://www.hartstichting.nl/gezond-leven/beweging/beweegrichtlijnen> (accessed May 23, 2022).
- [11] WHO. Obesity n.d. [https://www.who.int/health-topics/obesity#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/obesity#tab=tab_3) (accessed May 25, 2022).
- [12] Harvard Medical School. When dieting doesn't work - Harvard Health 2020. <https://www.health.harvard.edu/blog/when-dieting-doesnt-work-2020052519889> (accessed May 25, 2022).
- [13] Brown H. The Weight of the Evidence 2015. <https://slate.com/technology/2015/03/diets-do-not-work-the-thin-evidence-that-losing-weight-makes-you-healthier.html> (accessed May 30, 2022).
- [14] Schiboni G, Amft O. Automatic dietary monitoring using wearable accessories. *Seamless Healthc Monit Adv Wearable, Attach Invis Devices* 2017:369–412. doi:10.1007/978-3-319-69362-0\_13/FIGURES/15.
- [15] Moreau-Gaudry A, Sabil A, Benchetrit G, Franco A. Use of Respiratory Inductance Plethysmography for the Detection of Swallowing in the Elderly n.d. doi:10.1007/s00455-005-0031-z.

- [16] Dong B, Biswas S. Analyzing Breathing Signals and Swallow Sequence Locality for Solid Food Intake Monitoring. *J Med Biol Eng* 2016;36:765. doi:10.1007/S40846-016-0181-5.
- [17] Harbour E, Lasshofer M, Genitrini M, Schwameder H. Enhanced Breathing Pattern Detection during Running Using Wearable Sensors. *Sensors* 2021, Vol 21, Page 5606 2021;21:5606. doi:10.3390/S21165606.
- [18] Matsuo K, Palmer JB, Hopkins Hospital J, Professor of Otolaryngology -Head M, Surgery N. Anatomy and Physiology of Feeding and Swallowing-Normal and Abnormal n.d. doi:10.1016/j.pmr.2008.06.001.
- [19] Panara K, Ahangar ER, Padalia D. Physiology, Swallowing. *StatPearls* 2021.
- [20] Khemani RG, Flink R, Hotz J, Ross PA, Ghuman A, Newth CJ. Respiratory inductance plethysmography calibration for pediatric upper airway obstruction: an animal model 2014. doi:10.1038/pr.2014.144.
- [21] Hexoskin. Determining shirt size n.d. <https://hexoskin.zendesk.com/hc/en-us/articles/360005439674-Determining-shirt-size> (accessed May 17, 2022).
- [22] Dong B, Biswas S. Meal-time and duration monitoring using wearable sensors. *Biomed Signal Process Control* 2017;32:97–109. doi:10.1016/j.bspc.2016.09.018.
- [23] Mevissen SJ. A wearable sensor system for eating event recognition using accelerometer, gyroscope, piezoelectric and lung volume sensors. *Universiteit Twente*, 2021.
- [24] Jarchi D, Salvi D, Tarassenko L, Clifton DA. Validation of Instantaneous Respiratory Rate Using Reflectance PPG from Different Body Positions. *Sensors (Basel)* 2018;18. doi:10.3390/S18113705.
- [25] How to Control Spectral Leakage with Window Functions in LabOne | Zurich Instruments n.d. <https://www.zhinst.com/europe/en/blogs/how-control-spectral-leakage-window-functions-labone> (accessed August 11, 2022).
- [26] National Instruments. Understanding FFTs and Windowing. n.d.
- [27] VeryWell Mind. 9 Breathing Exercises to Relieve Anxiety n.d. <https://www.verywellmind.com/abdominal-breathing-2584115#:~:text=When people are anxious%2C they,tension%2C and other physical sensations.> (accessed August 25, 2022).

# Bijlagen

## Bijlage 1A

### Onderzoek

Overgewicht is een steeds vaker voorkomend probleem in de wereld. Er zijn veel manieren om hier iets aan te doen, waarbij de ene methode beter werkt dan de andere. Een belangrijk aspect in afvallen is het reguleren van de voedselinname, denk daarbij aan de hoeveelheid eten, het soort eten en de regelmaat van het eten. Er bestaan apps om bij te houden wat je eet om er achter te komen wat je binnenkrijgt op een dag. Het probleem hier bij is echter dat dit niet altijd goed gebeurt; mensen voeren te veel of te weinig in of vergeten maaltijden en snacks toe te voegen. Je wil graag objectief weten wat, wanneer en hoeveel eten iemand binnen krijgt. Dit onderzoek sluit daar op aan, specifiek op het vraagstuk wanneer iemand aan het eten is. Dit zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden om mensen er aan te herinneren dat ze moeten registreren wat er net gegeten is.

U zult tijdens het experiment een sensor dragen die potentieel gebruikt kan gaan worden om aan te tonen wanneer de drager aan het eten is. De sensor in dit onderzoek is de Hexoskin, een smart shirt dat onder andere hartslag, het aantal gezette stappen en het longvolume kan meten. Bij dit experiment zal alleen de longvolumesensor gebruikt worden. Deze schat de hoeveelheid lucht die in de longen zit door de buik- en borstonttrek te meten. Terwijl me slikt, vindt er een tijdelijke ademhalingsstop plaats, een apneu. Tijdens het experiment zult u eten van de hier onder genoemde categorieën voedsel waarbij slikbewegingen optreden. Het is relevant om te weten hoe goed deze slikbewegingen terug te zien zijn in het gemeten longvolume en of deze voor de verschillende categorieën van elkaar verschillen.

Tijdens het experiment zul je het volgende eten of drinken:

| Soort eten/drinken | Mogelijke bezwaren   |
|--------------------|----------------------|
| Vla                | Lactose-intolerantie |
| Appel              | Allergie             |
| Boterham           | Gluten-allergie      |
| Water              | -                    |

Tijdens het experiment zal er een video (met audio) gemaakt worden die zullen worden geannoteerd. Dit is nodig om de slikbewegingen of andere gebeurtenissen in tijd te kunnen koppelen aan de data van de sensoren.

Het onderzoek zal ongeveer 20 minuten in beslag nemen.

### Risico's

De proefpersoon loopt het risico op een allergische reactie op het te consumeren voedsel of drinken. Wanneer u enig bezwaar heeft voor het eten of drinken van een van de genoemde voedselsoorten door bijvoorbeeld een allergie of andere dieetbeperkingen, kunt u dit aangeven. De verpakkingen van het te consumeren eten/drinken zullen worden bewaard zodat u kunt checken wat er in zit. Aangeven dat u een of meerdere dingen niet kan of wil consumeren kan zonder opgaaf van reden. Wanneer u hier vragen over heeft, stel deze dan vooral. Het onderzoek is beoordeeld en goedgekeurd door een ethische commissie.

### Persoonlijke gegevens

Alle resultaten die worden verzameld zullen uitsluitend worden gebruikt voor onderzoeksdoeleinden, zullen nooit worden gedeeld met derden en zullen anoniem zijn als het wordt gepubliceerd. Persoonlijk identificeerbare informatie zullen, zoals gebruikelijke onderzoeksrichtlijnen voorschrijven, maximaal tien jaar bewaard worden. Het gaat om de videobeelden met audio en de naam op het toestemmingsformulier. De persoonlijke gegevens worden veilig opgeslagen totdat ze niet langer bruikbaar zijn voor het onderzoek. De gegevens zullen alleen toegankelijk zijn voor de onderzoekers die aan het project werken.

### Deelname

De deelname aan dit onderzoek is volledig vrijwillig en de deelnemer kan op elk moment stoppen, zonder dat er een reden voor nodig is en zonder gevolgen. Na het experiment kan de deelnemer zich ook binnen 24 uur na het experiment terugtrekken.

### Contact

Indien tijdens of na het onderzoek een vraag of behoefte aan aanvullende informatie ontstaat, kan de deelnemer contact opnemen met Sigert Mevissen ([s.j.mevissen-1@utwente.nl](mailto:s.j.mevissen-1@utwente.nl)) of Kim Koekkoek op Munsterhuis ([k.a.koekkoekopmunsterhuis@student.utwente.nl](mailto:k.a.koekkoekopmunsterhuis@student.utwente.nl)).

Als de deelnemer een klacht wil indienen of aanvullende opmerkingen heeft voor een onafhankelijk orgaan, kan de deelnemer dit melden bij de ethische commissie van EEMCS ([ethicscommittee-cis@utwente.nl](mailto:ethicscommittee-cis@utwente.nl)).

## Bijlage 1B

Door dit toestemmingsformulier te ondertekenen erken ik het volgende:

1. Ik ben voldoende geïnformeerd over het onderzoek door middel van een separaat informatieblad. Ik heb het informatieblad gelezen en heb daarna de mogelijkheid gehad vragen te kunnen stellen. Deze vragen zijn voldoende beantwoord.
2. Ik neem vrijwillig deel aan dit onderzoek. Er is geen expliciete of impliciete dwang voor mij om aan dit onderzoek deel te nemen. Het is mij duidelijk dat ik deelname aan het onderzoek op elk moment, zonder opgaaf van reden, kan beëindigen. Ik hoef een vraag niet te beantwoorden als ik dat niet wil.
3. Ik ben mij ervan bewust dat ik me tot 24 uur na het onderzoek kan terugtrekken uit het onderzoek zonder opgaaf van reden.
4. Ik ben mij ervan bewust dat de persoonlijke informatie die over mij is verzameld en die mij zou kunnen identificeren, zoals lengte, gewicht, geslacht en leeftijd, niet buiten het onderzoeksteam zal worden gedeeld.

|                                                                                                                                                                                    | Ja | Nee |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|
| 5. Ik geef toestemming om de gegevens die gedurende het onderzoek bij mij worden verzameld te verwerken zoals is opgenomen in het bijgevoegde informatieblad.                      |    |     |
| 6. Ik geef toestemming om tijdens het interview video-opnames inclusief audio te maken.                                                                                            |    |     |
| 7. Ik ben me bewust van de mogelijke risico's zoals beschreven in de informatiebrochure en heb mijn bezwaren kenbaar gemaakt.                                                      |    |     |
| 8. Ik geef toestemming dat de data van dit onderzoek zoals onderzoeksrichtlijnen voorschrijven, maximaal tien jaar bewaard zullen worden op een met wachtwoord beveiligde locatie. |    |     |
| 9. Ik geef toestemming om de data en resultaten van dit onderzoek geanonimiseerd (zonder audio en video) te publiceren voor toekomstig onderzoek                                   |    |     |

Getekend in tweevoud:

Naam onderzoeker

Handtekening

.....

.....

Ik heb een toelichting gegeven op het onderzoek. Ik verklaar mijzelf bereid om naar mijn beste vermogen antwoord te geven op alle vragen die zich voordoen over het onderzoek.

Naam deelnemer

Handtekening

.....

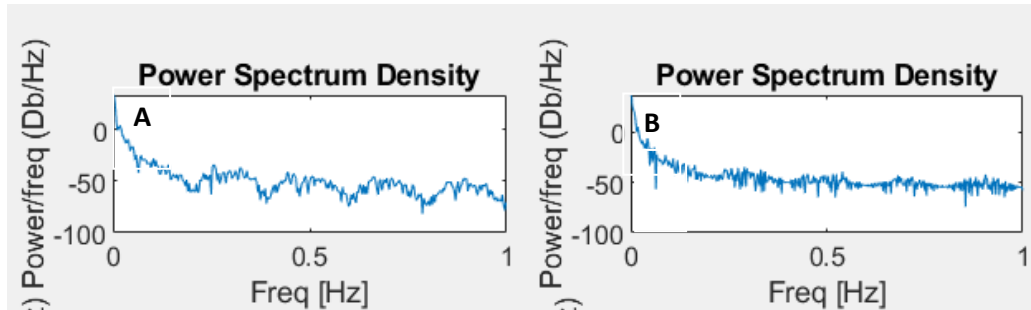
.....

Datum:

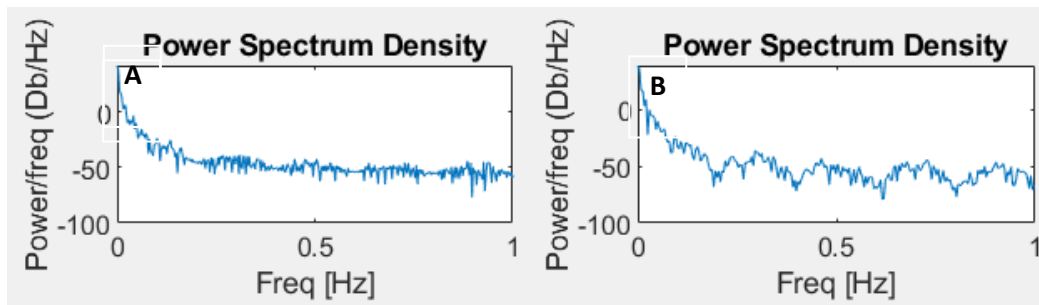
Voor aanvullende informatie kun je mailen naar Sigert Mevissen ([s.j.mevissen-1@utwente.nl](mailto:s.j.mevissen-1@utwente.nl)) of Kim Koekkoek op Munsterhuis ([k.a.koekkoekopmunsterhuis@student.utwente.nl](mailto:k.a.koekkoekopmunsterhuis@student.utwente.nl)). Voor klachten of onafhankelijk of aanvullende opmerkingen voor een onafhankelijk orgaan, kan de deelnemer dit melden bij de ethische commissie van EEMCS ([ethicscommittee-cis@utwente.nl](mailto:ethicscommittee-cis@utwente.nl)).

## Bijlage 2

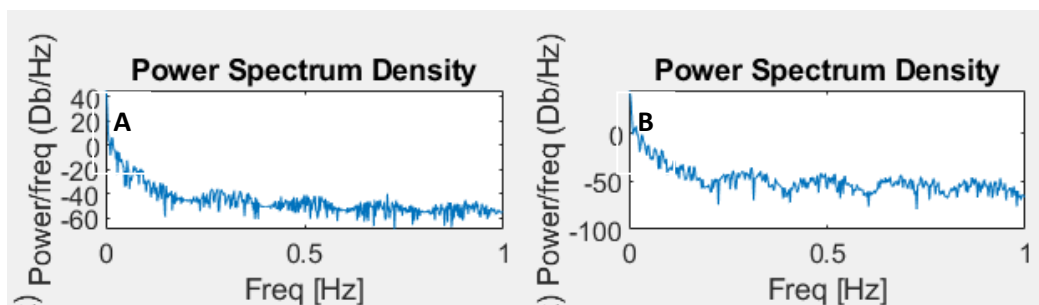
In deze bijlage staan nog een paar PSD's weer gegeven zodat in totaal voor elke categorie slikbewegingen een PSD te bekijken is. Zoals in de resultaten aangegeven lijken de PSD's sterk op elkaar. Het is daarom niet van toegevoegde waarde om alle PSD's in de resultaten te zetten. Om wel een volledig overzicht te geven zijn de resterende categorieën in deze bijlage bij elkaar gezet.



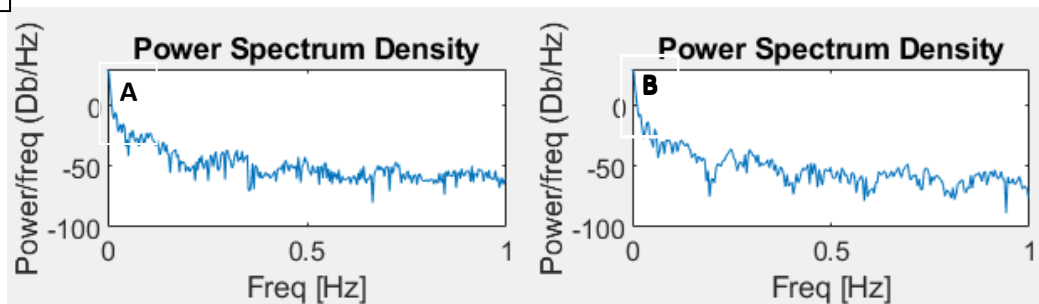
Figuur 30: (A) Power Spectrum Density van water slikbewegingen proefpersoon 1 en (B) Power Spectrum Density van water slikbeweging van proefpersoon 1



Figuur 31: (A) Power Spectrum Density van vla slikbeweging proefpersoon 3 en (B) Power Spectrum Density van water slikbeweging van proefpersoon 3



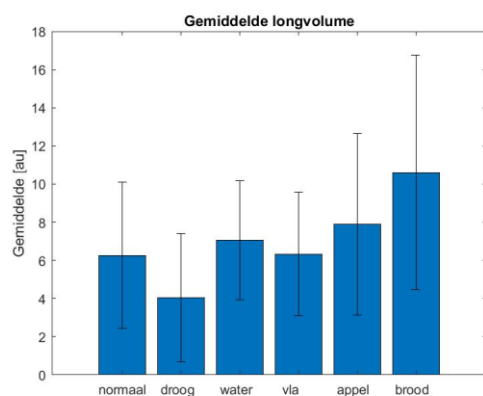
Figuur 32: (A) Power Spectrum Density van normale ademhaling proefpersoon 10 en (B) Power Spectrum Density van normale ademhaling proefpersoon 10



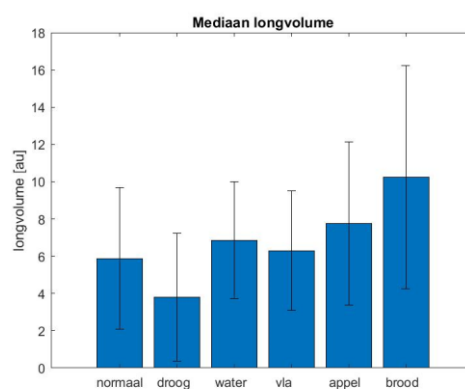
Figuur 33: (A) Power Spectrum Density van een droge slikbeweging van proefpersoon 9 en (B) Power Spectrum Density van een droge slikbeweging proefpersoon 9

### Bijlage 3

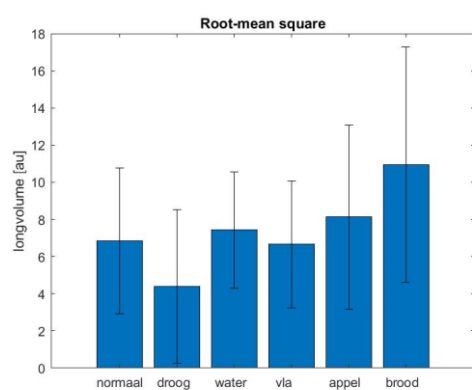
In deze bijlage zullen de resterende barplots van de berekende features worden weergegeven.



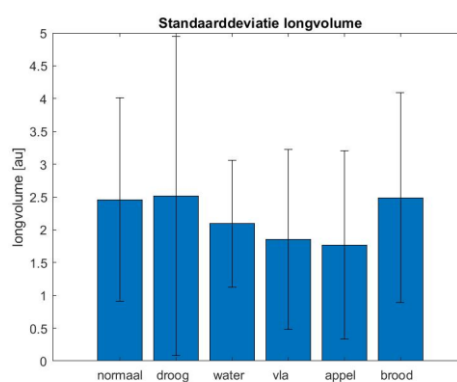
Figuur 34: Barplot gemiddelde longvolume



Figuur 35: Barplot mediaan longvolume



Figuur 36: Barplot RMS



Figuur 37: Barplot standaarddeviatie longvolume