

Bachelorproef

Cluster (Bio)Technologie

Verbeelen Robin

Professionele Bachelor Elektronica-ICT, afstudeerrichting ICT

Academiejaar 2021/2022

Evaluatie van User Experience op basis van EEG-metingen



Gegevensblad

Studiegebied Industriële Wetenschappen en Technologie

Auteur

Robin Verbeelen

Opleiding

Elektronica-ICT, afstudeerrichting ICT

Academiejaar

2021/2022

Interne promotor

Davy De Winne

Abstract

Evaluatie van User Experience op basis van EEG-metingen

R. Verbeelen

Het doel van dit project is om na te gaan of het mogelijk is om met een EEG-sensor de gebruikservaring van een website te evalueren. Door gebruik te maken van zo een biometrische sensor zou men op een objectieve manier een score kunnen geven aan de UX-inspanningen van een website en nagaan welke elementen van een website voor een zwaardere ballast zorgen voor de gebruiker.

Een EEG-sensor geeft metingen die nuttig zijn in het gebied van de neurologie en psychologie. Hiervoor wordt er eerst een literatuurstudie opgesteld met voldoende diepgang zodat men begrijpt wat de signalen van zo een biometrische sensor betekenen en waardoor ze worden beïnvloedt. Dit laat het rapport dan ook toe om de juiste terminologie te gebruiken.

Aangezien er reeds bepaalde apparatuur ter beschikking is en men qua gebruik beperkt is tot deze middelen zal de literatuurstudie ook rijken over de mogelijkheden en limieten van deze middelen. Hiertoe behoren de EEG-sensor van Emotiv Epoc X, de GSR-sensor van Shimmer en de softwarepakketten iMotions en EmotivPRO. De beschikbare software biedt ook enkele geautomatiseerde analysemethoden aan die worden behandeld om een beter begrip te krijgen voor hun resultaten. De literatuurstudie wordt opgevolgd door de concrete testprocedure en de analyses die werden uitgevoerd op de data. Door een technisch probleem hadden deze testen niet de gewenste beschikbare data, waardoor de data dus zeer beperkt was en er geen algemene resultaten konden gevonden worden.

Ondanks het technisch probleem kon men op basis van de literatuurstudie wel concluderen dat er zeker mogelijkheden zijn om met EEG de cognitieve ballast na te gaan. Toch zal het doel niet echt kunnen worden bereikt. De veranderingen op een website zouden voor een te kleine verandering in CWL zorgen dat zou resulteren in maar zeer kleine veranderingen op resultaten van de analysemethoden. Een score op de algemene website plakken en de ervaring bepalen op basis van emoties is een veel realistischer doel om met EEG te bereiken, maar individuele componenten op een website gaan analyseren en er een bepaalde CWL mee associëren is nog niet mogelijk.

Voorwoord

Dit onderzoek gebeurde in kader van een bachelorproef voor af te studeren in de opleiding Elektronica-ICT. Hiervoor dient er onderzoek te worden gedaan met een thema naar keuze, binnen het domein van de opleiding.

Onderzoeken naar de UX van een website gebeuren al jaren lang. Het is voor bepaalde applicaties van enorm grote waarde, maar gebeurt vaak op een subjectieve manier. Vandaag de dag bestaan er sensoren die allerlei signalen van het menselijk lichaam kunnen opnemen. EEG is een biometrische sensor die hersenactiviteit kan opnemen en is tegenwoordig zeer toegankelijk voor persoonlijke onderzoeken. Op basis van de hersenactiviteit kan er vermoedelijk een objectieve meting worden bereikt om de UX te bepalen die componenten van een website met zich meebrengen. Indien men zo kwantitatieve waarden zou kunnen binden aan specifieke elementen op een website die weergeven hoe veel makkelijker of moeilijker deze het gebruik ervan maken, zou dit het ontwikkelen van een website met een goede UX kunnen vergemakkelijken.

Het technologisch aspect van het ontwikkelen van een website is vaak een proces dat ver staat van sociale interactie. Door UX komt het menselijk aspect van het ontwikkelen van een website er toch terug in. Dit gecombineerd met technologische vooruitgang en de drang om computer en mensen te verbinden zorgt voor een perfecte formule voor motivatie in dit project.

Door het sterke medische karakter achter dit onderzoek zal het begrijpen van de metingen een grote uitdaging vormen. Niettemin geeft dit mij de kans om me wat te verdiepen in de biologie van de mens, wat ik graag in combinatie met technologie zou willen behandelen.

Dit project startte vanuit een voorstel van mijn coördinator van dit project, Davy De Winne, waarvoor ik enorm dankbaar ben deze kans gekregen te hebben. Hij zorgde ervoor dat ik voor dit project toegang kreeg tot dure apparatuur waar ik altijd al meer van af wou weten. Ook de participanten van de testen ben ik dankbaar om gewillig deel te nemen aan de testen. Ook de psycholoog van NeuroVP die tijd vrijmaakte om mij van antwoorden te voorzien zodat ik wat begeleiding had in mijn literatuurstudie wil ik van harte bedanken.

Gent, 18 augustus 2022

Robin Verbeelen

Inhoudsopgave

Figurenlijst	5
Tabellenlijst	6
Inleiding	7
1 Conceptuele oplossing	8
1.1 Anatomie van de menselijke hersenschedel	8
Anatomie van de menselijke hersenen	9
1.2 Fysiologie van de menselijke hersenen	10
1.2.1 Lateraliteit	10
1.2.2 Functies van kwabben	10
1.3 Geheugen	13
1.3.1 Informatieverwerking menselijk brein	13
1.3.2 “Cognitive Load”-theorie	14
1.4 Meten van breinactiviteit	16
1.4.1 Elektro-encefalografie	16
1.4.2 Positie van EEG-elektrodes	16
1.4.3 De data uit EEG-metingen	17
1.4.4 Kwaliteit van EEG-data	19
1.4.5 Andere technieken	20
1.5 Kwantitatieve EEG (qEEG)	21
1.6 Beschikbare middelen	22
1.6.1 EEG-sensor	22
1.6.2 EmotivPRO	23
1.6.3 Andere sensoren	25
1.6.4 iMotions	26
1.7 Sensordataverwerking	27
1.7.1 Raw Data Aggregation	27
1.7.2 Peak Detection (PD)	27
1.7.3 Fast Fourier Transform (FTT)	27
1.7.4 Power Spectral Density (PSD)	27
1.7.5 Frontal Asymmetry (FA)	28
1.7.6 Intermezzo: evaluatie onderzoeken op spectral power en FA	29
2 Testopstelling	30
2.1 Basis	30
2.2 Proefpersonen	30

2.3	Opzet	30
2.4	Testprocedure	31
2.5	Afsluitende vragenlijst.....	32
3	iMotions interface	33
3.1	Datavisualisatie	34
3.2	Analyses.....	34
4	Meetresultaten.....	35
4.1	Manuele analyse	35
4.2	iMotions geïntegreerde analysemethoden.....	35
4.2.1	Resultaten Power Spectral Density (PSD).....	36
4.2.2	Resultaten Frontal Asymmetry (FA)	36
5	Conclusie	38
6	Nawoord.....	39
7	Bibliografie.....	40

Figurenlijst

Figuur 1 Voorstelling menselijke schedel met aanduiding van neurocranium [2].....	8
Figuur 2 Menselijke hersenen met kleuraanduiding van onderdelen [4]	9
Figuur 3 Voorstelling hersenhelften met roos zijnde de rechterhersenhelft [8]	9
Figuur 4 Voorstelling verwerking van informatie door mensen [17]	13
Figuur 5 Alternatieve voorstelling van Figuur 4	15
Figuur 6 Sketch van een EEG-opstelling [25].....	16
Figuur 7 Enkele plaatsnamen in het 10-20 systeem (top-down) [26].....	17
Figuur 8 Enkele plaatsnamen met aanduidingen in het 10-20 systeem (zijkant) [27].....	17
Figuur 9 Vergelijking van verschillende meettechnieken in een grafiek [32]	20
Figuur 10 De Emotiv Epoc X EEG-sensor [36]	22
Figuur 11 Locaties van elektroden volgens het 10-20 systeem	23
Figuur 12 Interface van EmotivPRO dat de ruwe EEG-signalen weergeeft [41]	24
Figuur 13 Shimmer3 GSR+ Unit in gebruik [43].....	25
Figuur 14 Zonsondergang op zee	31
Figuur 15 Gebergtelandschap	31
Figuur 16 Besneeuwd platteland.....	31
Figuur 17 Interface van iMotions met aanduidingen.....	33
Figuur 18 Interface van stimulusplayback in iMotions.....	34

Tabellenlijst

Tabel 1: Benamingen van botten in hersenschedel	8
Tabel 2: Benamingen van onderdelen in menselijke hersenen	9

Inleiding

In dit rapport wordt onderzocht of en hoe men op basis van EEG-signalen makkelijk de cognitive workload kan bepalen bij het gebruik van een user interface (UI). Daaruit zullen dan enkele zaken onderzocht worden die men kan doen om een UI zo gebruiksvriendelijk mogelijk op te stellen zodanig dat de gebruiker zo min mogelijk mentaal belast wordt.

Door de vorderingen in technologie wordt het alsmat makkelijker om de werking van een mens te gaan bestuderen. Draadloos signalen opnemen van menselijke hersenactiviteit is vandaag de dag beschikbaar. Hierdoor kan men studies opstellen naar het analyseren van deze activiteit bij het toedienen van bepaalde impulsen. Met behulp van Elektro-encefalografie, kortweg EEG, krijgt men elektrische signalen die voortkomen uit hersenactiviteit. Hiermee zou men dus kunnen nagaan welke zaken men in een UI kan voorzien om het de gebruiker makkelijker te maken en dus een betere user experience te beleven.

De literatuurstudie zal voor dit project het belangrijkste zijn om te kunnen begrijpen waar er rekening mee moet worden gehouden. Daarom zal in de conceptuele oplossing worden onderzocht wat EEG juist betekent. Wanneer hier een duidelijker beeld rond is geschetst, zal de apparatuur en software worden besproken dat kan en zal worden gebruikt voor dit onderzoek. Na het uitvoeren van een EEG, beschikt men over heel veel data, dewelke ook zullen worden beschreven en hoe ze zouden kunnen correleren aan cognitive load. Een basis aan neurologie zal dus moeten worden begrepen tot waar het voor dit project belangrijk is op technisch niveau. Indien de cognitive load kan worden beschreven aan de hand van deze signalen, zal men een eenvoudige maatstaf hebben om dan op onderzoek uit te trekken welke elementen/technieken in een UI kunnen worden toegevoegd of weggelaten om de UX te bevorderen. Hiervoor zullen verschillende UI's doorheen de hoofdstukken worden gebruikt bij enkele testpersonen om hun data te kunnen vergelijken.

Uit dit onderzoek zouden we dan kunnen concluderen wat men als ontwikkelaar kan doen om een UI gebruiksvriendelijker op te stellen en zo zijn gebruikers van een aangename interactie te voorzien.

1 Conceptuele oplossing

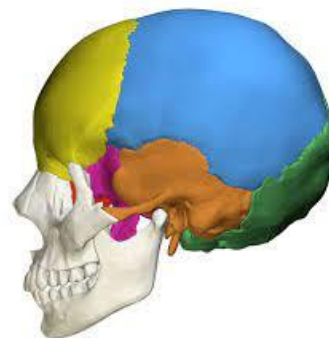
In dit onderzoek wordt er hevig de focus gelegd op het analyseren van de reacties van het menselijk brein. Daarom wordt hieronder eerst stevig in kaart gebracht welke voorkennis er nodig zal zijn om het onderzoek te kunnen uitvoeren en zullen er bepaalde concepten worden uitgelegd die ons kunnen helpen bij het analyseren van resultaten. Daaropvolgend zal er ook een beschrijving te vinden zijn van de beschikbare apparatuur en software en de werking ervan dat ons zal helpen bij dit onderzoek. Deze belangrijke voorstudie laat dan ook het verslag toe correcte terminologie te gebruiken, maar zal niet verder gaan dan nodig voor de proefopstelling en analyses voor dit specifiek probleem.

1.1 Anatomie van de menselijke hersenschedel

De menselijke schedel bestaat uit 22 botten en is opgedeeld in enerzijds het neurocranium en anderzijds de aangezichtsschedel. Voor dit onderzoek is enkel het neurocranium, ook gekend als hersenschedel, van belang en

wordt op Figuur 1 voorgesteld door het gekleurde deel. [1]

Aan de hand van deze figuur staat in onderstaande



Figuur 1 Voorstelling menselijke schedel met aanduiding van neurocranium [2]

Tabel 1 een overzicht van de benaming van de botten in de hersenschedel.

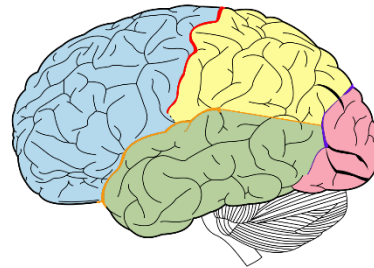
Tabel 1: Benamingen van botten in hersenschedel

<i>Kleur</i>	<i>Nederlands</i>	<i>Latijns</i>
<i>Geel</i>	Voorhoofdsbeen	Os frontale
<i>Blauw</i>	Wandbeen	Os parietale
<i>Oranje</i>	Slaapbeen	Os temporale
<i>Groen</i>	Achterhoofdsbeen	Os occipitale
<i>Roze</i>	Wiggenbeen	Os sphenoidale
<i>Rood</i>	Zeefbeen	Os ethmoidale

Anatomie van de menselijke hersenen

Alle gekleurde delen van de hersenen op Figuur 2 kregen samen de naam **grote hersenen** of **cerebrum**. [3]

Puur informatief volgt dan dat de kleine hersenen zich op de figuur juist onder de grote hersenen bevinden waarnaast het volledig vlakke witte gedeelte de hersenstam is.



Figuur 2 Menselijke hersenen met kleuraanduiding van onderdelen [4]

De grote hersenen hun buitenste laag wordt de **hersenschors** of **cortex cerebri** genoemd en is dus wat we zien op de figuur. Men gebruikt meestal gewoonweg cortex, maar daarbij moet worden opgemerkt dat dit ook de naam is die de buitenste laag van de kleine hersenen gemeenschappelijk heeft. De cortex is verantwoordelijk voor het ontvangen en interpreteren van signalen van en naar de hersenen en bestaat vooral uit **grijze stof**. Binnenin het brein zit vooral **witte stof**, verantwoordelijk voor het verbinden van de grijze stof, aan de buitenkant, met de binnenkant. [5]

De cortex bevat hersenwindingen die worden gescheiden van elkaar door **hersengroeven**. Diepe groeven worden **fissurae** (enk. fissura) genoemd en ondiepe groeven krijgen de naam **sulci** (enk. sulcus). Drie belangrijke groeven zijn de fissura lateralis, de sulcus centralis en de sulcus parietooccipitalis, dewelke de hersenen opdelen in hun kwabben. Deze groeven zijn op de figuur respectievelijk aangeduid met oranje, rood en paars.

De **kwabben** zijn simpelweg grote identificeerbare delen waarin de cortex opgedeeld wordt. Hun namen zijn op basis van de kleuren op de figuur meegegeven in Tabel 2. [6] Er bestaan nog twee andere kwabben, maar die zitten verscholen achter andere kwabben.

Dit zijn namelijk de lobus limbicus en de insula. Naast de kwabben wordt de cortex nog in vele andere kleinere zaken opgedeeld, maar dat zullen we niet behandelen.

De hersenen en dus ook de cortex worden dan ook nog opgedeeld in een **linker- en rechterhersenhelft** of ook wel cerebrale hemisferen genoemd en worden van elkaar gescheiden door de fissura sagittalis of makkelijker beschreven als de longitudinale groef of fissuur. [7]



Figuur 3 Voorstelling hersenhelften met roos zijnde de rechterhersenhelft [8]

Tabel 2: Benamingen van onderdelen in menselijke hersenen

Kleur	Nederlands	Latijns
Blauw	Frontale kwab	Lobus frontalis
Geel	Pariëtale kwab	Lobus parietalis
Groen	Temporale kwab	Lobus temporalis
Roze	Occipitale kwab	Lobus occipitalis

1.2 Fysiologie van de menselijke hersenen

1.2.1 Lateraliteit

Op het internet worden de hersenhelften vaak gebruikt om algemene functies te onderscheiden, zoals bijvoorbeeld logica vs. creativiteit. Dit is niet correct, aangezien verschillende componenten van het brein allemaal zeer nauw samenwerken en zeer verspreid kunnen zitten over het brein om een bepaalde algemene functie uit te voeren. Als men iets specifiekere functies gaat bekijken kan men wel wat onderscheid beginnen vormen tussen de functies van de componenten die de hemisferen bevatten, wat de term **lateraliteit** heeft. [9]

Split-brain patiënten zijn mensen waarbij de communicatie tussen hun linker- en rechterhersenhelft wordt verstoord, wat vroeger een remedie tegen hevige epilepsie was. Door een experiment met deze patiënten kon men achterhalen dat het spraakcentrum in de linkerhersenhelft plaats vindt bij de meeste mensen, maar ook dat bijvoorbeeld motorische elementen aan de rechterzijde van het lichaam worden bestuurd door de linkerhersenhelft en visa versa. [10]

Het moeilijke hier is dat iedere persoon anders is en dat er veel uitzonderingen of mensen met aandoeningen zijn waarbij het (volledig) anders loopt. Zo bijvoorbeeld beschrijft het artikel ook dat de taalfuncties kunnen variëren op basis van welk kant het dominante hand bezit. Opnieuw een aangeving dat alles goed verspreid kan zitten en met elkaar hoort samen te werken. Het artikel haalt zelf ook bronnen aan van onderzoeken die nog maar in 2020 zijn gebeurd, wat dus betekent dat er heel veel nog niet bewezen is over het brein. Een interessante opmerking uit het artikel is dat de lateralisatie van emoties ook gedefinieerd kan worden, maar dat dit enkel is bewezen op basis van patiënten met een aandoening en dat er enkel een verschil is in functies omtrent emoties in de verschillende helften. Dus, dat emoties door beide helften worden verwerkt, maar op een andere manier. De linkerhelft houdt zich meer met positieve emoties bezig en de rechterhelft met negatieve en het herkennen en controleren van emoties.

Invloed op het huidig onderzoek

Over het algemeen kan men dus niet zeggen dat een hemisfeer bepaalde functies alleen uitvoert, maar wel dominant kan zijn in het uitvoeren van die functies. Daarmee wordt er dan bedoeld dat een bepaalde hemisfeer actiever is en meer doet voor het uitvoeren van die bepaalde functies tegenover zijn wederhelft.

1.2.2 Functies van kwabben

De kwabben vormen ook grote onderscheidingen van de cortex en daar kunnen ook enkele functies aan gekoppeld worden, maar opnieuw vormt iedere kwab vaak maar een onderdeel van een functie en dienen er meerdere kwabben samen te werken om een volledige functie uit te voeren. Wat er geweten is wordt in de volgende paragrafen besproken op basis van de website van Johns Hopkins Medicine [11] aangevuld en gecontroleerd met informatie van de regering en universiteit van Queensland, Australië [12] [13] en de Wikipediapagina [6].

De **frontale kwab** is de grootste kwab en is over het algemeen belangrijk voor het maken van keuzes, definieert onze persoonlijkheidskarakteristieken en bevat ook de primaire motorische cortex, wat verantwoordelijk is voor gecontroleerde beweging, of dus beweging waar we actief over dienen na te denken, van bepaalde lichaamsdelen. Het gebied van Broca ligt hier ook, wat belangrijk is voor spraak. Daarnaast maakt de frontale kwab ook deel uit van het herkenmechanisme van geuren. De prefrontale cortex is hier ook gelegen en is kritisch voor het werkgeheugen en controle over uitvoering van functies, zodat doelen en complexe taken georganiseerd blijven.

Hieronder valt ook het reguleren over welke herinneringen er dienen opgehaald te worden en het verwerken en manipuleren van die beelden, namen, letters, ... Het is ook reeds opgemerkt dat schade aan deze kwab problemen kan opwekken bij iemand zijn korte- en langetermijngeheugen of mensen hun gewoontes kan aanpassen of hun plan en organisatie gevoel ten slechte doet.

Gebieden in de **pariëtale kwab** zijn verantwoordelijk voor het integreren van sensorische informatie, waaronder bv. aanraking, temperatuur, druk en pijn, maar ook het identificeren van objecten en hun positionele informatie ten opzichte van het lichaam en is daarom cruciaal voor navigatie en ruimtelijke coördinatie. Hier zit ook het belangrijke gebied van Wernicke dat verantwoordelijk is voor het begrijpen van gesproken taal.

De **occipitale kwab** is dan nu waar al het belangrijke rondom het zicht zich bevindt. Hier komt de visuele informatie van de ogen toe en wordt verwerkt voor het bepalen van bewegingen, kleur, contour, ... Die informatie zou dan zoals hierboven besproken worden verspreid naar andere gebieden voor bijvoorbeeld het bepalen van de locatie in de ruimte van een object.

De **temporale kwab** bevat ook gebieden die zijn toegewijd aan het verwerken van sensorische informatie, voornamelijk voor het bepalen van de betekenis erachter zodat de gepaste informatie terug bovengehaald kan worden zoals visuele herinneringen, begrip van taal en alles zodat emoties kunnen geassocieerd worden. Vanuit de occipitale kwab komt dan ook de visuele informatie waar hier dan identificatie aan kan worden toegewijd; wat zien we. Ook het vormen van nieuwe herinneringen en het leren van nieuwe zaken wordt hier behandeld. Kortom is langetermijngeheugen hier een gangbare term, wat dus informatie verwerkt op basis van gangbare herinneringen of juist verwerkte informatie opslaat.

Voor informatie over de overige twee kwabben, die verscholen zitten onder/binnenin de cerebrale cortex, moest er wat dieper gegraven worden. Dit komt voornamelijk ook omdat deze gebieden nog minder gedefinieerd zijn en er vaak onderzoeken zijn waarbij het ene een bepaald deel wel includeert en het andere weer niet.

De **limbische kwab** ziet men enkel duidelijk als men een hemisfeer zou wegnemen en wordt eigenlijk meer gezien als een samenloop van verscheidene andere kwabben, in plaats van zelf een kwab te zijn. Omdat het systeem tegen veel verschillende kwabben ligt, heeft het daarom ook met veel verschillende functies te maken en maakt het daar ook gebruik van. Het limbisch systeem is zeer belangrijk in het verwerken van emoties en herinneringen. Het is belangrijk voor ons *fight or flight* systeem, maar ook onze eetlust of seksuele noden worden hierdoor beïnvloed. Zowel automatische/onbewuste emoties als bewuste worden hier bepaald. Er is ook sterk vermoeden dat het systeem nauw verbonden is aan het leren van nieuwe zaken en het verwerken en opslaan van

herinneringen. Veel van deze informatie komt uit het onderzoeken van mensen met bepaalde aandoeningen of kenmerken en door de diepere ligging is het tot op heden moeilijk te onderzoeken bij gezondere of normalere personen. Zo is er ontdekt dat mensen met schade aan dit systeem het moeilijker hebben met sociale vaardigheden en vrijwel sociaal incapabel kunnen worden doordat ze bepaalde sociale signalen of empathie niet kunnen verwerken/begrijpen. [14] [15]

De **insula** ligt opnieuw stevig verborgen binnenin de hersenen en dit keer in de laterale fissuur. De functies ervan zijn nog maar weinig bewezen of zelfs maar bepaald, maar er zijn wel vermoedens van waar het systeem zich mee moeit op basis van verscheidene onderzoeken op onder andere muizen, maar ook mensen door middel van apparatuur zoals fMRI. De functies die hieruit afgeleid kunnen worden zijn het combineren van sensorische input, zoals bijvoorbeeld audio en visuele input, smaak, zelfbewustzijn, bepaalde motoriek, audioperceptie, ... Een interessanter deel is opnieuw de invloed in emoties. Dit keer leiden de bevindingen specifiek naar het voelen van pijn en van basis emoties zoals woede, angst, afgunst, blijheid en droefheid. De functies van de insula is sterk te onderscheiden bij geavanceerdere organismen zoals wij, maar ook andere grootapen. Hierbij wordt vaak een link gelegd naar het vermogen om empathie te voelen en het reflecteren van zijn eigen manier van denken, het bewustzijn is hier dus een belangrijke zaak. Ondanks dit moeilijk kan worden bewezen zijn er wel veel goede redenen om van deze zaken uit te gaan. Zo is bijvoorbeeld de locatie van de insula ook gewoon perfect omdat hij rechtstreeks alle sensorische informatie binnen handbereik heeft om hieruit de status van het lichaam te bepalen en zo emoties te kunnen opstellen en te ervaren en kan makkelijk interageren met reactiemechanismen. [16]

Invloed op het huidig onderzoek

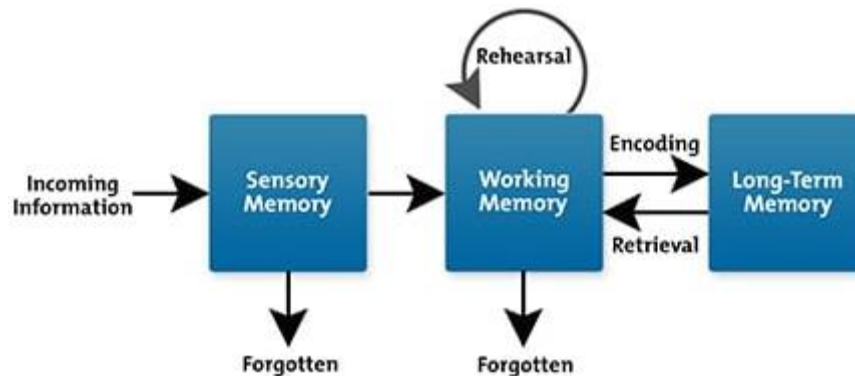
Het valt dus snel aan te voelen dat voor dit onderzoek een bepaald deel van het brein onderzoeken niet voldoende zal zijn. De mate waarin een gebruiker het moeilijk heeft met een website te gebruiken om een bepaald doel te bereiken kan men proberen te achterhalen door de hoeveelheid denkkracht te proberen berekenen en/of door te zien welke emoties er mogelijks vrijkomen tijdens het gebruik van de website. Het helpt zeker niet dat er nog onzekerheden zijn over wat alle delen van het brein als specifieke taken opnemen, maar over het algemeen zien we dat toch het hele brein in de situatie van deze proef zich serieus actief zal bezig houden.

Het navigeren van een website is namelijk verwerken van visuele informatie, identificeren van objecten, korte- en langetermijngeheugen hanteren voor de website te navigeren zoals men gewoon is bij bijvoorbeeld andere websites, het motorische systeem activeren om de muis te bewegen of toetsen in te drukken, emoties die worden opgewekt door het al dan niet gebruiksvriendelijk zijn van de website, ... Daarbij zal dan ook komen kijken dat verschillende mensen technisch anders zijn ingesteld of mogelijks anders reageren op bepaalde informatie op basis van hun persoonlijkheidskarakteristieken, medische geschiedenis of zelfs ongeweten aandoeningen.

1.3 Geheugen

1.3.1 Informatieverwerking menselijk brein

Bij het opnemen van informatie uit sensorische input hoort een heel proces dat ons brein onderneemt. Dit proces wordt aan de hand van een schema goed beschreven in een artikel van MindTools [17] en breidt dit meteen uit naar de theorie dat hierop volgt. Dit artikel refereert ook naar meerdere bronnen die bewijs vormen voor zijn uitleg, maar zijn over het algemeen al jaren lang zaken waar onderzoekers akkoord mee gaan.



Figuur 4 Voorstelling verwerking van informatie door mensen [17]

Voor het begrijpen hoe mensen informatie verwerken wordt Figuur 4 gebruikt. Het proces start bij het ontvangen van informatie. Dit is sensorische data en omvat alles wat we ontvangen van verscheidene receptoren: licht, geluid, temperatuur, druk, spraak, geur ...

Het gaat over enorme hoeveelheden aan informatie die iedere seconde razendsnel binnenkomt. Die data wordt niet meteen begrepen door het brein en wordt maar zeer tijdelijk, tot max. enkele seconden, opgeslagen in het **sensorisch geheugen**. Op dit niveau is er basisverwerking van de data zodat we begrijpen wat het is en kan er veel data worden gefilterd op basis van wat eerder reeds werd verwerkt. Als men naar tv aan het kijken is, hoeft men niet constant te beseffen of de temperatuur van onze omgeving rond de 20°C is. Zelfs de kader van de tv of andere visuele zaken zullen worden gefilterd omdat deze niet veranderen tegenover eerder verwerkte informatie.

Data dat als belangrijk wordt beschouwd wordt doorgegeven naar geheugen dat al iets langer kan onthouden, namelijk het **kortetermijngeheugen**. Alhoewel het vaak samen wordt beschouwen, dient hier nog een verschil gemaakt te worden met werkgeheugen, wat beschreven wordt in een ander artikel [18]. De twee werken enorm nauw samen, maar worden van elkaar onderscheiden doordat het werkgeheugen actief geladen wordt en kortetermijngeheugen passief. Kortetermijngeheugen dient als een soort van buffer voor de informatie vanuit het sensorisch geheugen, dat daar als belangrijk wordt aanschouwd, en wordt geordend op basis van prioriteit. Naarmate er meer data binnenkomt zal oudere data het geheugen verlaten aangezien de prioriteit zal verlagen. Dit is analoog als je erover nadenkt met hoe lang je een telefoonnummer zou kunnen onthouden dat jou net werd verteld, vooraleer de cijfers worden overladen door andere data. Hier wordt data tot max. enkele minuten lang bijgehouden, afhankelijk van hoeveel andere data er nog binnenstroomt.

Het **werkgeheugen** is dan de actievare variant en wordt gebruikt om data in op te slaan dat op die moment belangrijk is om te gebruiken of te verwerken. Bedenk het proberen onthouden van enkele

missende ingrediënten die je nodig hebt uit de supermarkt voor iets te koken thuis. Door deze data actief te proberen bijhouden kan dit langer blijven steken en dat kan men doen door bijvoorbeeld de ingrediënten te blijven herhalen in je hoofd. Het werkgeheugen is in staat om data terug op te halen en bij te houden dat eerder werd verkregen zowel uit het kortetermijn- als het langetermijngeheugen.

Het werkgeheugen is maar beperkt in capaciteit en als mens dienen we enorm veel data te kunnen opslaan voor enorm lange periodes. Hiervoor komt dan logischerwijs het **langetermijngeheugen** bij kijken. Informatie dat tot in dit geheugen geraakt is informatie dat heel goed wordt begrepen in het werkgeheugen en kan worden gestructureerd en onthouden doordat het meermaals werd behandeld, geïnterpreteerd of ontvangen. Het is informatie dat als belangrijk wordt gezien, maar misschien niet meteen meer nodig is op dat moment. De informatie wordt gestructureerd in wat *schema's* worden genoemd, dewelke beschrijven wat voor soort data het is en hoe het correleert met andere soortgelijke data. Het langetermijngeheugen is in staat om praktisch oneindig veel en lang data bij te houden. Hier wordt informatie opgeslagen zoals onder andere je trouwdag, afstudeermoment en andere mooie belangrijke herinneringen en dit wordt dan episodisch geheugen genoemd. Dit zijn herinneringen met bepaalde emotionelen/sentimentele waarden. Ook bijvoorbeeld hoe je met een fiets rijdt of andere handelingen worden onthouden en vallen dan onder de term procedureel geheugen, wat vanzelfsprekend is. Hoe vaker je zo'n schema's gebruikt, des te meer gewoner deze handelingen worden ervaren en dus hoe minder moeite er in kruipt om die handeling uit te voeren.

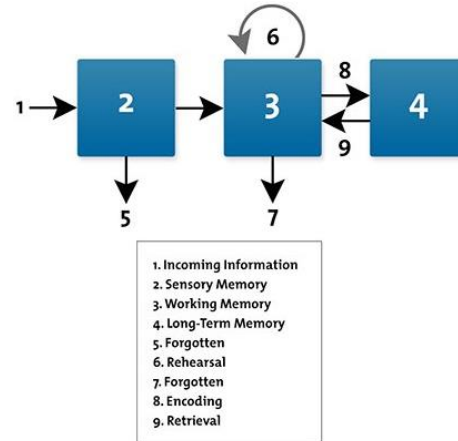
1.3.2 "Cognitive Load"-theorie

Op het werkgeheugen staan sterke limieten op de hoeveelheid data dat het kan onthouden om te verwerken. Dit heet de *Cognitive Load Theory* en wordt gebruikt om te beschrijven **hoeveel data het werkgeheugen kan opslaan** zodat het voldoende kan worden verwerkt om op te slagen. We stellen ons even op in een schoolomgeving waar een leerkracht studenten verscheidene zaken dient aan te leren. Als de leerkracht gewoonweg enorm veel informatie snel overloopt zullen de studenten hun werkgeheugens overladen worden en zal er bijna niets blijven steken. Het is dus noodzakelijk van de studenten tijd te geven en op een gestructureerde manier de zaken aan te leren. In de theorie wordt onderzocht hoe men informatie kan aanbieden zodat de student de informatie makkelijker kan verwerken en er dus meer zal blijven hangen. Men spreekt dan als het ware van het werkgeheugen te vergroten en hiervoor zijn er verschillende technieken.

Zo heeft men ontdekt dat de voorstelling van bijvoorbeeld het schema van Figuur 4 veel efficiënter kan worden opgenomen dan moest het schema er uitzien zoals in Figuur 5. Er dient veel meer informatie te worden verwerkt doordat de cijfers dienen gelinkt te worden aan termen, die op zich al nieuw zijn.

Wat nog beter zou zijn is dat de informatie verteld wordt, omdat verschillende soorten inkomende data veel minder ballast vormt voor het werkgeheugen. Als men dus reeds zware visuele input kan omvormen tot audio verlicht dit de ballast en wordt het werkgeheugen als groter gezien.

Daarnaast worden schema's vanuit het langetermijngeheugen als één stuk data gezien in het werkgeheugen. Goed samengestelde en begrepen schema's zullen dus voor minder ballast zorgen en schema's die men reeds vaak heeft herhaald, zoals met een fiets rijden, zullen voor tot zelfs bijna geen ballast zorgen. Dit zorgt ervoor dat dingen bijleren aan dit schema makkelijker wordt. Bijvoorbeeld, als men een goed begrip heeft van sommen, zal vermenigvuldiging veel makkelijker aangeleerd worden.



Figuur 5 Alternatieve voorstelling van Figuur 4

Invloed op het huidig onderzoek

Cognitive load zou dus wel eens enorm veel invloed kunnen hebben op de metingen in dit onderzoek. Mensen die technischer zijn aangelegd zullen bijvoorbeeld veel minder belast worden met bepaalde taken op een website uit te voeren, dan mensen die nauwelijks naar een computer grijpen. Opnieuw een factor dat enorm persoonsafhankelijk is. Het werkgeheugen op zich is zelfs al enorm persoonsafhankelijk en kan daarbovenop sterk beïnvloed worden door aandoeningen zoals Alzheimer, maar ook AD(H)D wat bij iedere leeftijdsgroep van relatief hogere orde is [19] [20]. Nog andere mentale factoren die grote impact kunnen vertonen zijn depressie, PTSD en thuissituaties. [21] [22] [23]

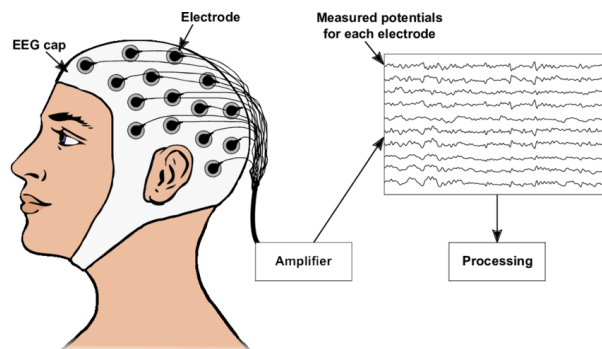
Om te bepalen hoe moeilijk een website of een formulier is opgesteld kan men de aspecten van cognitive load proberen meten. Een goede manier voor het bepalen van de hoeveelheid ballast rechtstreeks op het werkgeheugen blijkt het analyseren van de pupillen te zijn. Daarom is dit dan ook goed als meting voor cognitive load¹. Dit onderzoek draait om het toepassen van andere meetinstrumenten voor het bepalen van de ballast.

¹ Nog even om terug op te merken is dat de term cognitive load wordt gebruikt om de hoeveelheid data dat kan worden opgeslagen in het werkgeheugen weer te geven. Ballast op het werkgeheugen slaagt terug op onder hoeveel druk het werkgeheugen staat.

1.4 Meten van breinactiviteit

1.4.1 Elektro-encefalografie

Deze manier om de **elektrische activiteit** in het menselijk **brein** te meten werd bijna 100 jaar geleden uitgevonden. Neuronen in het brein vormen elektrische pulsen om informatie over te dragen en dit zorgt voor potentiaalverschillen die kunnen gemeten worden van buitenaf op de schedel. Dit wordt gemeten door kleine elektrodes op de scalp te plaatsen en zo enorm kleine elektrische potentiaalverschillen op te merken die dan kunnen versterkt worden en naar een computer worden verstuurd om dan verder verwerkt te worden. [24] Deze kleine signalen zijn te wijden aan het feit dat er maar een enorm klein deel van de elektrische activiteit de oppervlakte van de scalp bereikt. Dit komt doordat materie, zoals de schedel, deze signalen sterk tegenhouden.



Figuur 6 Sketch van een EEG-opstelling [25]

In Figuur 6 ziet men dat er een soort muts wordt gebruikt waar de elektrodes op vast zitten gemaakt. Het is belangrijk om de elektrodes op de correcte plaats met de scalp in contact te brengen, dat kan moeilijk en zeer tijd consumerend zijn als men dit sensor per sensor doet, vandaar vaak het gebruik van zo een muts. Iedere elektrode komt overeen met een signaal dat voorgesteld wordt in de kader aan de rechterkant op de figuur.

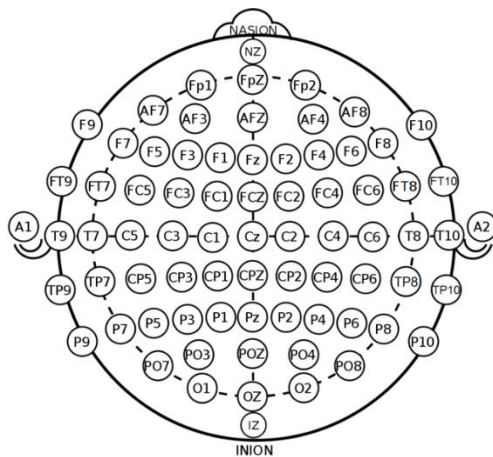
Een sterkte van EEG is dat er enorm hoge sample rates kunnen worden bereikt op een non-invasieve manier. Daarnaast is de methode doorheen de jaren ook enorm mobiel geworden en tegenover andere meetinstrumenten goedkoop en met een minder zware fysieke ballast. Per seconde kunnen er duizenden snapshots gemaakt worden van de elektrische activiteit in het brein. Hierdoor kan er op een zeer nauwkeurige manier een tijdslijn worden geconstrueerd van de activiteit. Duurdere apparatuur zal vaak hogere sample rates kunnen bereiken en betere signaalkwaliteit kunnen leveren.

1.4.2 Positie van EEG-elektrodes

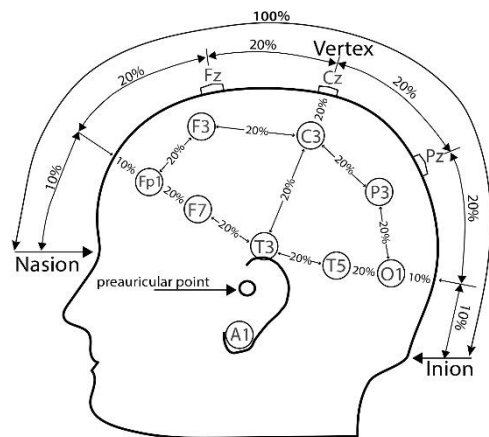
De positie van waar de elektrodes dienen gepositioneerd te worden is vaak zeer afhankelijk van het onderzoek dat men wilt uitvoeren of van de functie dat men wilt bereiken met de opstelling. Om toch maar een maatstaf te hebben om de posities te beschrijven zijn er standaarden opgesteld waaraan men zich kan houden als referentie.

10-20 systeem

Deze standaard zijn naam krijgt hij te danken aan de afstand die elektrodes zich bevinden van vooraf bepaalde belangrijke punten. Deze punten zijn het nasion, inion en twee pre-auriculare punten, wat punten zijn net voor de oorschelp. Het nasion is het diepste punt bovenaan de neus tussen de twee ogen; het inion, de knobbel vanachter aan de schedel.



Figuur 7 Enkele plaatsnamen in het 10-20 systeem (top-down) [26]



Figuur 8 Enkele plaatsnamen met aanduidingen in het 10-20 systeem (zijkant) [27]

In de labels komen hoofdletters {F, T, P, O} overeen met de namen van de kwabben, 'C' komt overeen met centraal waarbij de waarde van het signaal meer persoonsafhankelijk is en dus niet gegarandeerd zeker gelinkt aan een vaste kwab. De 'A' wordt gebruikt voor de pre-auriculaire punten aan te duiden en in situaties waar een hogere resolutie nodig is wordt AF gebruikt voor punten tussen 'Fp' en 'F'. Bij de kleine letters duidt de 'p' de pre-frontalen aan in combinatie met 'F' en wordt 'z' gebruikt voor de labels die op de lijn van nasion naar inion liggen. De getallen geven weer hoe ver de locatie zich bevindt van de middellijn. De combinaties van letters en cijfers zorgt zo voor zeer accurate beschrijvingsmogelijkheden overheen heel de scalp op een korte manier.

Andere systemen

Andere standaarden werken vaak op hetzelfde principe en krijgen daarom ook bijpassende namen zoals het 5-10 of het 10-10 systeem, waarbij dan de referentielijnen op een afstand cf. de naam van elkaar liggen. Deze worden niet verder tot in detail behandeld.

1.4.3 De data uit EEG-metingen

Neuronen vuren in heel complexe patronen en de elektrische veranderingen dat één neuron tot gevolg zou hebben is onmogelijk te meten. Gelukkig zijn neuronen in enorm rijke hoeveelheden aanwezig en vuren continue volgens hun eigen patroon. Dit vormt dan de elektrische velden die wel tot aan de scalp geraken en dus te meten zijn. Een elektrode op de scalp meet op ieder willekeurig moment een bepaalde hoeveelheid potentiaalverschil, uitgedrukt in Volt, maar van orde: μV . Als men dit plot bekomt men een functie met de tijd als domein en het potentiaalverschil als bereik. Volgens de Fourieranalyse kan die functie uitgedrukt worden in een serie van functies met verscheiden frequenties. [28] Die frequenties worden opgedeeld in **frequentiebanden** die gebruikt worden voor het analyseren van EEG-data omdat deze vooral de betekenis dragen van de test. De volledige hoeveelheid energie die wordt gemeten zit dan verspreid over de banden en wordt de **power** van die band genoemd. In een brochure van iMotions [29] wordt er een link gelegd met een publiek dat applausseert. Mensen die met ongeveer dezelfde frequentie klappen zullen een sterker geluid produceren en dus een groter deel uitmaken van de totale hoeveelheid aan geluid aanwezig.

De band met het laagste frequentiebereik wordt de **deltaband** geheten. Met een bereik van 1-4 Hz, wordt deze band het meeste geassocieerd met rust en diepe slaap. Ze zijn belangrijk om te analyseren bij het onderzoeken van slaap(problemen). Daarnaast maakt deze band een belangrijk deel uit bij het vormen en de regeling van biografisch geheugen en ook bij aangeleerde vaardigheden en informatie.

Thèta is de band van 4-8 Hz waarbij studies dit consistent correleren met de moeilijkheidsgraad van mentale bewerkingen/operaties zoals het proberen van: nieuwe dingen aanleren, verre of ingewikkelde herinneringen bovenhalen of informatie opnemen. Meer thèta betekent dat de taken die worden uitgevoerd van een moeilijkere orde zijn of dus dat het werkgeheugen zwaarder belast wordt. Dit lijkt op het eerste zicht vreemd, aangezien deze functies vooral aan de frontale cortex worden gelinkt, maar thèta wel overheen heel de cortex te meten valt. De verklaring hiervoor is dat de moeilijke processen vaak meerdere functies nodig hebben die mogelijks aan de andere kant van het brein gebeuren. De thètaband wordt dan gebruikt als middel om alles gecoördineerd te laten verlopen. Hoe moeilijker het proces des te meer componenten van het brein nodig zijn en des te meer coördinatiesignalen er worden gestuurd.

Golven in het bereik van 8-12 Hz begeven zich in de band genaamd **alpha**. Het vermogen van deze band neemt toe wanneer men in een relaxte staat verkeerd. Ogen gesloten en zonder teveel zorgen aan het hoofd met het lichaam in een rustpositie zorgt voor een prominentere alpha. Daarom wordt een reductie aan alpha gezien als de hersenen dat zich voorbereiden de focus te leggen op bepaalde sensorische informatie of stimuli. Een reductie in alpha zorgt voor de coördinatie van middelen, zodat er focus gelegd kan worden op wat er op dat moment belangrijk is. Als men uit een heleboel stimuli (audio, geuren, aanrakingen, ...) wilt focussen op een visueel aspect, zal er een reductie aan alpha worden opgemerkt bij componenten die belangrijk zijn voor de verwerking van die visuele informatie. Uit een onderzoek [30] blijkt ook dat alpha prominenter is als een taak uitgevoerd kan worden dat eenvoudigweg opgeslagen zit in het geheugen. Geheugen terug oproepen heeft dan ook een relaxter effect dan iets nieuws te proberen begrijpen of dergelijke.

De volgende band draagt de naam **bèta** en loopt van 12-30 Hz. Actieve concentratie, actief nadenken of dus over het algemeen goed wakker zijn correleert met hogere niveaus aan bèta op de voorste en achterste gebieden van de scalp. Het afwegen van gevolgen of het bedenken van mogelijke uitkomsten van acties zijn hier goede voorbeelden van. Naarmate men meer naar het centrum gaat correleert meer bèta met het plannen en uitvoeren van bewegingen en zeker wanneer deze zeer nauwkeurig dienen te gebeuren of ingewikkeld zijn. Een belangrijke ontdekking hieruit werd gemaakt wanneer men opmerkte dat het observeren van anderen hun bewegingen hetzelfde effect voortbracht. Dit betekent dat onze hersenen deze bewegingen zouden simuleren en hiervoor dan bètagolven gebruiken voor coördinatie.

De snelste golven en dus de laatste band worden beschreven als **gamma**. Ze lopen van 30-50 Hz en hebben tot op heden nog geen concrete betekenis gekregen als ze gemeten worden door een EEG. Verscheidene onderzoekers pleiten voor verschillende betekenissen van de golven. Sommigen zeggen dat de golven simpelweg een bijproduct zijn van spieractiviteit en helemaal geen cognitieve betekenis hebben. Anderen zeggen dat ze, gelijkaardig aan thèta, een datatransmissielijn vormen voor het verwerken van bepaalde sensorische informatie.

Impact op het huidig onderzoek

Het ziet er op eerste zicht naar uit dat we vooral het vermogen van θ zouden moeten analyseren. Ten slotte is het doel van dit onderzoek de moeilijkheidsgraad van een formulier of website nagaan op basis van EEG-metingen. Jammer genoeg is dit niet zo en zal er toch met veel meer rekening moeten gehouden worden. Men moet namelijk nagaan of de proefpersoon wel aandachtig is gedurende de proef en dat hij op de juiste zaken focust, anders zouden de θ -golven verkeerde betekenis kunnen dragen. Het verschil in vaardigheden van mensen zou wel eens ervoor kunnen zorgen dat θ onderdrukt wordt en anderen het overnemen, of omgekeerd.

Daarnaast ziet het ernaar uit dat de locatie van waar de golven worden opgenomen ook van belang is. Zo wordt er bijvoorbeeld meer θ gedetecteerd aan O-elektroden wanneer er een moeilijke gelezen zin moet verwerkt worden. Wanneer deze zin zou worden verteld, zou er meer θ power worden waargenomen op de T-elektroden. [31]

Dit komt overeen met de [functies van de kwabben](#) die we eerder hebben besproken. In het eerste geval heeft de occipitale moeilijker werk omdat er een visueel aspect is, in de tweede situatie komt er gesproken taal bij te pas in plaats van visuele interpretatie, wat voor de temporale is weggelegd.

1.4.4 Kwaliteit van EEG-data

Jammer genoeg zijn de signalen die dienen opgenomen te worden door de EEG-elektroden niet altijd meteen even zuiver. Er kan ruis op de signalen zitten doordat de elektroden niet goed in contact komen met de scalp, de locatie van de elektrode kan misschien wat fout staan, de elektrode is mogelijks beïnvloed door corrosie, maar ook andere gebruik van spieren om bijvoorbeeld de ogen te bewegen en andere bewegingen kunnen het signaal beïnvloeden. Zelfs het hartsignaal verstoord een EEG, wat moeilijker is om de patiënt de instructie te geven die spier niet te gebruiken.

Afhankelijk van de gebruikte sensor dient men bepaalde regels te volgen die worden voorgesteld door de fabrikant van de sensor. Vaak dient er gebruik te worden gemaakt van een bepaalde oplossing of gel om het contact tussen de scalp en de elektrode te verbeteren. Omdat zweet, vette huid of dode huidcellen kunnen zorgen voor elektrische weerstand dienen er ook acties te worden ondernomen door de patiënt. Dit houdt bijvoorbeeld in: het haar en de hoofdhuid wassen en drogen voordat de test wordt uitgevoerd. Ook het gebruik van cafeïne of medicijnen kan het onderzoek beïnvloeden, waar men vaak geen informatie over kan verkrijgen of geen oplossing voor kan vinden.

Artefact is de algemene term om te beschrijven dat een gemeten datapunt niet in de meting hoort te zitten door bijvoorbeeld één van bovenvermelde oorzaken. Meestal komt bij de aangekochte hardware een methode om de kwaliteit van het EEG-signaal na te gaan. Dit kan een hardware- of softwareoplossing zijn. Veel artefacten kunnen makkelijk uitgefilterd worden doordat er een extreme amplitude of frequentie wordt waargenomen tegenover de normale inkomende data, anderen vormen een probleem dat vaak gewoonweg niet verholpen kan worden.

1.4.5 Andere technieken

Het grote probleem van EEG is dat het enkel goed is om te detecteren wanneer er bepaalde zaken worden uitgevoerd in het brein. Alhoewel er tegenwoordig wel onderzoeken gebeuren naar het proberen linken van waar de processen worden uitgevoerd, zijn er toch andere middelen die hiervoor beter zijn geschikt. Een overzicht van nog enkele vaak gebruikte middelen om de activiteit in het menselijk brein weer te analyseren kan men vinden in een blogpost van iMotions [32] en wordt heironder even kort samengevat.

Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

Met dit systeem detecteert men veranderingen in de bloedsomloop. Dit is nuttig aangezien dit sterk gelinkt is aan neurologische activiteit. Neuronen moeten namelijk pulsen kunnen verzenden en hebben naarmate ze actiever zijn ook meer zuurstof nodig, waar dus het bloed voor van pas komt. Zuurstofrijk bloed is te onderscheiden van zuurstofarm bloed op basis van hun magnetische aspecten.

In vergelijking met EEG geeft deze techniek een veel betere voorstelling van ieder apart deel van het brein. Men kan dus veel meer zien en analyseren met deze techniek, maar is veel trager waardoor er geen goede resolutie in het tijdsdomein kan worden bereikt. De apparatuur is daarbovenop ook volledig statisch en kost enorm veel geld (\pm \$1,5 miljoen + onderhoud).

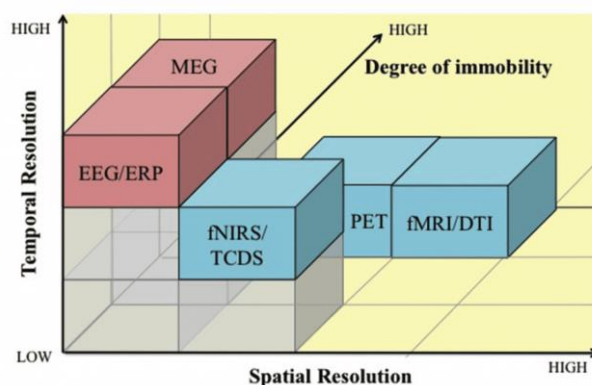
Magneto-encefalografie (MEG)

In tegenstelling tot EEG dat elektrische activiteit meet, zorgt dit apparaat voor een meting van de magnetische velden ten gevolgen van die elektrische activiteit. Dit werkt het tijdsprobleem van fMRI weg en behoudt of verbetert de nauwkeurigheid in de ruimtelijke analyse. Jammer genoeg is dit ook een zeer statisch proces, nog duurder dan fMRI en gevoelig voor externe ruis.

Functionele Nabij-InfraRood spectroscopie (fNIRS)

Deze techniek onderneemt een optische manier om een beeld te scheppen van de activiteit. Door elektromagnetische golven te gebruiken die kort tegen het infraroodgebied liggen kan men opnieuw op basis van de bloedtoevoer de activiteit gaan bepalen.

Deze techniek is erg gelijkend op de EEG op vlak van eigenschappen. Het is heel mobiel, sterk in het tijdsdomein, maar verliest de details over waar de activiteit plaatsvindt. Ondanks de gelijkaardige manier van opzet, kunnen fNIRS en EEG metingen wel tegelijkertijd plaatsvinden.



Figuur 9 Vergelijking van verschillende meettechnieken in een grafiek [32]

1.5 Kwantitatieve EEG (qEEG)

Alhoewel breinactiviteit onder de neurologie valt, houden neurologen in ziekenhuizen zich vaak niet echt bezig met de betekenis achter ieder signaal. Ze behandelen de EEG-data puur om te zien of er een aandoening is in het brein of niet. Onder aandoeningen vallen bijvoorbeeld epilepsie, ADHD, slaapproblemen, ...

Hierbij worden de gemeten signalen vergeleken met signalen dat men typisch zou verwachten bij een normaal werkend brein van een persoon uit dezelfde groep aan mensen met soortgelijke profielen. Een z-score wordt hierbij gebruikt om te beschrijven hoe gelijkend de persoon zijn metingen zijn tot een bepaald gemiddelde van de groep waartoe de persoon zou horen. [33]

Daartegenover houdt de academische discipline Psychologie zich wel bezig met de specifieke betekenis van gemeten EEG-signalen. Bij qEEG proberen ze daarom zo veel mogelijk numerieke waardes toe te kennen aan de signalen en een databank op te stellen van zoveel mogelijk metingen. [34] [35] Op basis van z-scores kan men betekenissen achter signalen proberen achterhalen. Op basis van statistische analyses van de grote hoeveelheid aan data kan men zo vaak ontdekkingen doen over patiënten of nieuwe betekenissen vinden van een signaal zijn verloop. Psychologen proberen daarom op basis van qEEG wel een soort van 3D-kaart te maken van het menselijk brein, tegenover neurologen die puur geïnteresseerd zijn in of het brein normaal werkt of afwijkingen vertoont. Uiteraard is er een fijne lijn tussen de begrippen en voert een neuroloog ook wel een soort van kleinschalige qEEG-onderzoek uit, maar men probeert de nadruk te leggen op het achterhalen van de betekenis van de signalen en het opstellen van de 3D-kaart.

In kader van dit onderzoek werd er contact opgenomen met een psycholoog die zich bezig houdt met qEEG-onderzoeken. Daaruit konden enkele cruciale antwoorden reeds een vermoeden scheppen van hoe dit onderzoek zou verlopen.

Eerst en vooral werd duidelijk dat het uitvoeren van een goed qEEG-onderzoek een zeer nauwkeurig en moeilijk proces is. Er wordt gebruik gemaakt van een EEG-sensor die minimaal 19 kanalen (sensorlocaties) aanbiedt, maar liefst meer, wat nodig is om een z-score te kunnen opstellen en een 3D-kaart met de hersenen opgedeeld in individuele 3D-objecten. In het volgende hoofdstuk beschrijven we onze beschikbare apparatuur, wat aangeeft dat onze sensor hier niet aan voldoet.

De vraag of er een score kon geplakt worden op cognitieve ballast bracht als antwoord dat het kon, maar dat dit weggelegd was voor psychologen die reeds enkele jaren ervaring hebben in het analyseren van metingen. Daarbovenop zal die score dan enorm persoonsafhankelijk zijn, wat overeenkomt met de reeds overlopen literatuur.

Wat wel moet op te merken zijn is de betrokkenheid tot een stimuli, door eenvoudigweg de bètafrequentie te gaan analyseren. Meer bèta zal over het algemeen meer betrokkenheid betekenen. Men kan dan niet echt de cognitieve ballast bepalen, maar wel hoe geïnteresseerd de participant is om de stimuli te verwerken of de opdracht uit te voeren.

Invloed op het onderzoek

QEEG is essentieel wat voor dit onderzoek gebeurde. We zijn geïnteresseerd in de specifieke betekenis achter het verloop van signalen. We proberen de cognitieve ballast te berekenen dat interactie met een formulier of website ten gevolge heeft.

Het interview met de psycholoog bracht enkele punten aan dat zeker niet in de goede richting zijn gegaan voor het doel van dit onderzoek. Ondanks de negatieve vermoedens van een ervaren deskundige, werd er toch meer onderzoek gedaan naar de middelen die tegenwoordig beschikbaar zijn.

1.6 Beschikbare middelen

1.6.1 EEG-sensor

De EEG-sensor die ter beschikking was van dit onderzoek was een model van het bedrijf Emotiv, namelijk de Epoc X. De EEG-sensor:

- volgt het 10-20 systeem;
- beschikt over 14-kanalen aan EEG-sensoren (+ 2 referentie elektroden) ;
- heeft ingebouwde bewegingssensoren;
- verzendt zijn data draadloos;
- heeft verscheidene ingebouwde verwerkingsopties:
 - Performance Metrics¹
 - Mental Commands
 - Facial Expressions



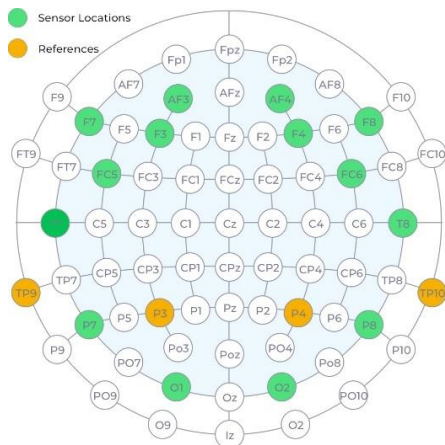
Figuur 10 De Emotiv Epoc X EEG-sensor [36]

De contactpunten met de scalp zijn vilten dopjes die in de uiteinden van de armen van de headset passen. Deze dienen bevochtigd te worden met een op zout gebaseerde oplossing vooraleer deze een goed contactpunt vormen op de scalp.

Emotiv voorziet ook zeer uitgebreide documentatie over hoe men de headset dient te behandelen en geeft voldoende tips en werkwijzen om een EEG-test zo goed mogelijk te laten verlopen via een online gebruiksaanwijzing [37]. Ze vermelden ook zeer duidelijk dat hun product niet bedoeld is voor medische doeleinden, maar wel voor onderzoek en persoonlijke toepassingen.

In de headset zit een amplifier ingebouwd en is zodanig opgesteld dat de meeste ruis ervan wordt behandeld vooraleer het signaal wordt verstuurd.

¹ Wordt later nog behandeld.



Figuur 11 Locaties van elektroden volgens het 10-20 systeem

Figuur 11 biedt een overzicht van welke locaties in het 10-20 systeem worden gedekt door de elektrodearmen van de EEG-sensor. Hierbij worden de oranje locaties gebruikt als referentiepunten. Dit om het potentiaalverschil te kunnen meten uiteraard. TP9-10 zijn alternatieve referentiepunten, maar standaard wordt P3 als *Common Mode Sense (CMS)* actieve elektrode gebruikt en P4 als *Driven Right Leg (DRL)* passieve elektrode. Een techniek dat zeer goed werkt voor het wegwerken van interfererende ruis en een medische standaard is op basis van een feedback loop. [37] [38] [39] [40]

Use cases

Emotiv biedt op zijn website enkele situaties aan waarvoor hun EEG-sensor nuttig kan zijn. De headset kan worden gebruikt om emoties te bepalen via de performance metrics, waardoor er objectieve informatie kan verkregen worden over producten of diensten van bedrijven. Marketing is dus een belangrijk gebruikgebied, maar ook VR, AR of BCI games zijn al onderzocht en opgesteld op basis van de headset. Uiteraard wordt ook de neurologische wetenschap hier vermeld, zowel voor onderwijs als voor onderzoeken, wat vanzelfsprekend is.

1.6.2 EmotivPRO

Dit is de software die wordt aanbevolen en aangeboden door Emotiv, waar weliswaar een licentie aan gekoppeld moet zijn. Een gratis licentie is beschikbaar, maar heeft uiteraard ook wel stevige beperkingen. Met deze versie kon men de ruwe EEG-signalen bekijken, tot 5 opnamen maken en had men een visuele tool om de kwaliteit van de signalen na te gaan bij het opzetten van de sensor.

Voor dit onderzoek zou de gratis versie zeker niet volstaan, aangezien er maar 5 opnamen zouden kunnen gemaakt worden. De standaard versie zou 1.068,00 USD kosten per jaar; de goedkopere studentenlicentie was voor dit onderzoek ook beschikbaar en werd de gekozen optie voor dit onderzoek. Deze licentie bracht enkele belangrijke functies met zich mee.



Figuur 12 Interface van EmotivPRO dat de ruwe EEG-signalen weergeeft [41]

Ongelimiteerde opnames

Er was nu geen limiet meer op de hoeveelheid opnames die we konden maken. Dit had nuttig kunnen zijn, maar door een andere feature werd dit uiteindelijk niet gebruikt.

Lab Streaming Layer (LSL)

Dit is een soort standaard manier die ervoor zorgde dat data kon worden gesynchroniseerd met andere apparaten, waardoor die data beschikbaar werd om te worden doorgegeven naar ook andere software. Een aanpak waar we in dit onderzoek voor gegaan zijn zodat meerdere sensoren konden worden gesynchroniseerd met elkaar. In een opkomend hoofdstuk wordt beschreven hoe dit van pas kwam.

Performance Metrics (PM)

Een algoritme van Emotiv dat de emotionele status van de testpersoon kan bepalen op basis van de EEG-signalen. Hiervoor worden zes afkortingen gebruikt die overeenkomen met emotionele staten.

De data wordt geschaald naar een getal tussen 0 en 100 wat rechtstreeks in EmotivPRO zichtbaar is in een grafiek met als x-as de tijd. Door de beperkte licentie is er maar eens om de 10 seconden een nieuwe input waarneembaar, een te laag ratio voor dit onderzoek weliswaar, maar waar niets aan kan worden veranderd. De emoties die worden bepaald zijn:

- **Stress (FRU)** – De mate waarin men comfortabel is bij de taak. Een hogere score betekent dat de taak te moeilijk is, de persoon zich overweldigd voelt en/of de persoon angstig is of hij de taak wel zou kunnen uitvoeren. Een gemiddelde hoeveelheid stress kan productiviteit bevorderen, maar een te grote hoeveelheid werkt snel destructief.

- **Engagement (ENG)** – Alertheid en mate van cognitieve richting naar de opdrachtrelevante stimuli worden weergegeven door hogere waardes. Deze metriek behaalt hogere scores wanneer de persoon voldoende werkballast heeft met een goede focus op de correcte stimuli voor de taak of taken. Hierbij zien we bèta golven gepaard met een reductie aan alpha. Dit vormt een mix van attentie en concentratie en is in contrast met verveling.
- **Interest (VAL)** – Indien de persoon zich aangetrokken voelt tot de huidige stimuli, omgeving of activiteit zal dit hogere waardes weergeven. Lagere scores gaan gepaard met afkeer; gemiddelde waardes met neutraliteit, tegenover de input.
- **Focus (FOC)** – Indien de persoon zich op één bepaalde taak zich heel diep kan focussen en dus zal deze metriek hogere waardes weergeven. Als de persoon vaak van taak wisselt of snel afgeleid is door niet relevante stimuli zal de score lager zijn.
- **Relaxation (MED)** – Hiermee wordt gemeten hoe capabel de persoon is om zijn intense concentratie uit te schakelen en zich te ontspannen. Door meditatie kan deze score worden verhoogd.

1.6.3 Andere sensoren

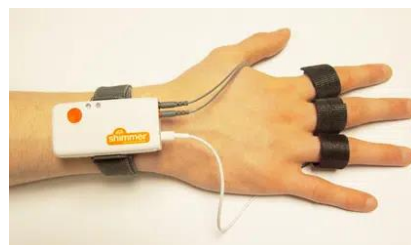
Voor dit onderzoek was er ook nog andere beschikbare apparatuur dat in de testen kon worden gebruikt.

Galvanic Skin Response

Via deze techniek wordt de activiteit van zweetklieren gemeten. Dit is bewezen sterk gecorreleerd te zijn met het voelen van emoties. Naarmate men emotioneel intensere ervaring beleeft van een stimuli of activiteit begint men ook meer te zweten. [42] Dit resulteert in de metingen in een waarneembare piek, wat de belangrijke maatstaf is van onderzoeken met GSR-modules. Een piek geeft namelijk weer dat er een emotionele reactie plaatsvond en kan zo vaak de plaatsen aanduiden dat interessant zijn om verder te onderzoeken. Indien er veel pieken te zien zijn betekent dit dat er veel emotionele reacties plaatsvinden en wordt meestal uitgedrukt in pieken per minuut.

Op basis van deze metingen kan men alleen maar nagaan hoe intens een emotie wordt ervaren en kan er dus geen onderscheid gemaakt worden tussen soorten emoties. De geleidbaarheid van de huid zal dus niet kunnen vertellen of er een positieve of negatieve verandering gebeurt aangezien mensen gewoon in beide situaties meer zweten. Onderzoek op basis van deze techniek gebeurt al langer dan 120 jaar en is bewezen een betrouwbaar hulpmiddel te zijn in onderzoeken met nog andere sensoren.

Het apparaat dat ter beschikking stond heet de *Shimmer3 GSR+ Unit* van de fabrikant Shimmer. Dit apparaat biedt ook op basis van zijn PPG-technologie een schatting van de hartslag aan, maar dat kon niet worden gebruikt tijdens dit onderzoek.



Figuur 13 Shimmer3 GSR+ Unit in gebruik [43]

Eye tracking

Een camera zoals de *Tobii Pro Nano* is gespecialiseerd in het nagaan waar de ogen van de participant op het scherm gefixeerd staan. Hierdoor kan men nauwkeurig opnemen waar de participant specifiek mee bezig is of welke delen van bijvoorbeeld een foto het meest bekeken worden, welk traject dat de ogen afleggen en welke reacties een verandering van stimuli tot gevolg hebben.

Extra's

Tijdens de testen nemen we ook nog het zichtbare venster op van de monitor waar de participanten op zullen werken. Hierdoor kan er achteraf in combinatie met de eye tracker worden bepaald waar de participant exact mee bezig is, welk veld in een formulier er wordt ingevuld, welke elementen er worden aangeklikt, ...

Ook het hoofd van de testpersonen werd gefilmd en dat met een camera die ingebouwde gezichtsdetectie heeft. Hierdoor kunnen er automatisch gezichtsuitdrukkingen worden bepaald.

1.6.4 iMotions

Het gebruik van meerdere sensoren betekent ook meerdere soorten data/signalen. Die data dient ook gesynchroniseerd te worden met elkaar zodat men exact weet welke signalen op ieder moment die bepaalde waardes vertonen. Software zoals iMotions is hiervoor ontwikkeld en voorziet allerlei handige tools om het analyseren van data eenvoudiger te maken.

De software voorziet ingebouwde functies om sensoren van Emotiv te gebruiken, maar dit heeft als nadeel dat functies van Emotiv zelf dan niet konden worden opgenomen in het project. Om de data van de performance metrics toch ook te kunnen opnemen werd er geopteerd voor een andere tactiek. Hiervoor kwamen de eerder vermelde LSL-functies van EmotivPRO van pas, die ook werden ondersteund door iMotions. Hierdoor kon de data uit EmotivPRO in real-time gestreamd worden naar iMotions waar ook de andere sensoren hun metingen dan tegelijk binnen kwamen.

iMotions is software dat geschikt is voor zowat elk persoonlijk onderzoek met compatibiliteit voor enorm veel **verschillende soorten sensoren**. Omdat er zodanig veel functies zijn heeft vertrouwd gebruik van de software wat tijd nodig en is er een **leercurve** aan. Documentatie via de website helpt enorm veel en maakt de leercurve daarom wel weer drastisch lager. In de software kan men een volledige **testprocedure** opstellen waardoor de data per stimuli kan worden verdeeld. Op basis van interactie dat de testpersoon met de test heeft kunnen er **verschillende stimuli** worden gepresenteerd, kan men instructies op het scherm laten verschijnen; er kan ook een browser op een bepaalde pagina worden geopend waarmee de testpersoon dan kan interageren.

Na een test kan men via iMotions een perfecte **replay** bekijken van de opgenomen informatie tijdens de test. Alle signalen kunnen op verschillende manieren in grafieken worden weergegeven, er kunnen opmerkingen worden toegevoegd en alles staat mooi gecategoriseerd per testpersoon en per stimuli.

Naast alle gebruiksvriendelijke en noodzakelijke tools om een test te kunnen afnemen voorziet iMotions ook nog eens **ingebouwde (semi-)automatische analysemethoden** die veel gebruikt worden voor bepaalde sensoren. Per soort sensor zijn er verscheidene algoritmes of procedures beschikbaar die relevant zijn om data te verwerken en dat per stimuli en testpersoon kan worden geselecteerd. Door het invullen van enkele variabelen en een klik op de knop worden verschillende rapporten van analyses, verwerkte signalen en visuele voorstellingen opgesteld van de geselecteerde sensoren en stimuli.

1.7 Sensordataverwerking

1.7.1 Raw Data Aggregation

Dit is de naam van de methode in iMotions die een soort signaal van meerdere participanten samenbrengt in één grafiek. Als men dit uitvoert op bijvoorbeeld de ruwe EEG data, dan neemt het individueel van iedere elektrode het gemiddelde over alle testpersonen en geeft men dit weer in een grafiek. Zo brengt men dan de data van alle testpersonen samen en houdt men ieder signaal toch gescheiden.

1.7.2 Peak Detection (PD)

Vooraf we ons verdiepen in de analysemethodes voor EEG-signalen bekijken we even een analysemethode voor de GSR-sensor. Zoals we eerder zagen geeft deze sensor de geleidbaarheid van de huid weer, wat beïnvloed wordt door de activiteit van zweetklieren. Dit brengt signalen voort waar een plotse verhoging van geleidbaarheid kan worden waargenomen, wat opnieuw opgevolgd wordt door een tragere regressie van geleidbaarheid. Dit heet een piek en betekent dat er een emotionele reactie plaatsvond van de testpersoon. iMotions voorziet een automatische piek detectie in de analyse. Hierdoor krijgt men meteen het totale aantal waargenomen pieken en de piek per minuut waarde.

1.7.3 Fast Fourier Transform (FTT)

Zoals we reeds eerder zagen wordt de ruwe data van een EEG-signaal in een grafiek weergegeven met als x-as de tijd en als y-as het door een elektrode gemeten potentiaalverschil. Deze data krijgt meer betekenis als we dit per frequentie kunnen bekijken en dat is exact wat deze methode doet. Het zet de informatie van het tijdsdomein om in een frequentiedomein. Het is een zeer bekende en efficiënte wiskundige operatie dat veel toepassingen kent. [44]

Deze methode kan men nergens rechtstreeks vinden om uit te voeren in iMotions, maar wordt standaard gebruikt in bijna iedere andere analyse. Ook in EmotivPRO zit dit standaard ingebouwd om de verschillende frequenties te bekijken.

1.7.4 Power Spectral Density (PSD)

De elektrische activiteit in de hersenen is een continue proces. Er is geen gekend tijdinterval waarin een eindige hoeveelheid energie met een bepaalde frequentie wordt gedistribueerd.

Moest dit wel zo zijn kon men de **Energy Spectral Density (ESD)** berekenen en daarmee heeft men een exacte functie waar men een frequentie kan invullen. Deze functie zou dan beschrijven hoeveel energie er door een bepaalde frequentie wordt gedragen. [45]

Stel je voor dat een geluidspuls van 1 seconde wordt afgespeeld dat bestaat uit 3 toonhoogtes en wordt opgevangen door een menselijk oor. Men zou een functie kunnen opstellen dat op ieder moment de verplaatsing van de moleculen weergeeft als gevolg van de geluidsgolf, waaruit men de energieoverdracht van molecuul op molecuul kan bepalen. Die puls draagt dan in totaal een zekere hoeveelheid energie over dat kan worden bepaald door de functie te integreren. Past men de fouriertransformatie toe, kan dit worden ontbonden in de 3 verschillende frequenties van de verschillende tonen van de geluidsgolf en ziet men hoeveel energie er door iedere frequentie wordt overgedragen op ieder moment, deze kan men simpelweg optellen om de totale energie te berekenen en dus valt de integratie al weg. Bepaalt men de ESD bekomt men een functie waarin men een frequentie kan opgeven en waaruit men dan de hoeveelheid energie krijgt dat door die frequentie wordt overgedragen. Het geeft dus weer hoeveel van de totale energie er aan een bepaalde frequentie is gelinkt.

Waarom wordt **Power Spectral Density** gebruikt? Wel, het is een vaker gebruikte variant op het bovenstaande dat kan worden gebruikt over veel grotere en onbepaalde tijdspannes (of zelfs oneindige). Hierbij wordt er gewoon per tijdseenheid gekeken naar de verschillende frequenties en wordt dan gewoon de hoeveelheid energie binnen die tijdseenheid genomen als de totale hoeveelheid energie.

De analyse van iMotions met deze naam berekend dit per kanaal van de EEG-sensor. In een rapport hiervan vindt men een overzicht van de gebruikte methodes en de resultaten. De resultaten bestaan uit:

- Een grafiek van de gemiddelde PSD over alle opgegeven kanalen. Op de x-as wordt de tijd weergegeven, op de y-as het vermogen in dB en wordt geplot voor iedere frequentieband.
- Een grafiek met de frequentie op de x-as, de power op de y-as en een plot voor ieder kanaal/elektrode.
- Een gemiddelde overheen de hele stimuli voor iedere frequentieband van ieder kanaal en voor iedere frequentieband overheen alle opgegeven kanalen in de elektrodecluster.

De analyse voert ook eerst alle nodige filteringen uit om het signaal op te schonen van artefacten. Een filterscore wordt gegeven dat weergeeft hoeveel procent van het signaal van ieder kanaal weg diende gefilterd te worden. Een score meer naar de 100% toe zou aangeven dat het signaal gedurende de volledige stimuli van onvoldoende hoge kwaliteit was voor de analyse en zou dus slecht nieuws zijn.

1.7.5 Frontal Asymmetry (FA)

Deze methode berekent een score gebaseerd op het verschil in power tussen de linker en de rechter hemisfeer. Er is bewijs dat asymmetrie in verschillende delen van het brein met verschillende frequentiebanden correleert met bepaalde emotionele veranderingen. [29] Als men een hogere band power waarneemt aan de linker frontale zijde tegenover de rechter frontale zijden betekent dit dat er een grotere asymmetrie is en die specifieke situatie correleert met positieve gevoelens, engagement en motivatie.

Op basis van welke band kan men ook nog andere zaken afleiden. Zoals men reeds weet is θ gelinkt aan cognitieve ballast, β aan focus en α aan rust.

Deze drie banden zijn over het algemeen in veel onderzoeken bewezen te correleren met de hoeveelheid aan cognitive workload (CWL). Tot op heden is het vaak onduidelijk in welke mate of hoe en waar exact welke functie voor een bepaalde verandering zorgt. Maar met de frontale asymmetrie te berekenen zijn er wel consistente resultaten bereikt, waarbij specifiek een hoge asymmetrie op de θ band consistent een hoge CWL betekent. Ideaal voor dit onderzoek dus.

1.7.6 Intermezzo: evaluatie onderzoeken op spectral power en FA

Een artikel dat in februari 2022 werd uitgebracht [46] heeft een enorm diepgaande studie uitgevoerd op basis van assumpties, meningen, bevindingen en resultaten van EEG-onderzoeken die gebeurd zijn doorheen de vele jaren dat men EEG heeft leren gebruiken. De onderzoekers zijn hierbij op een soort van mythbusting gegaan waarbij ze dus verscheidene assumpties uitgebreid zijn gaan testen. Hiervoor zijn enorm veel testen afgenomen en is er met enorm veel rekening gehouden, gebaseerd op reflecties van vele andere onderzoeken. Proefpersonen werden op verschillende manieren getest, onder verschillende omstandigheden en gecategoriseerd in verschillende groepen.

Een belangrijk resultaat hieruit voor dit huidig onderzoek is dat de alpha en β banden niet altijd even gemakkelijk zijn om te interpreteren omdat ze inconsistente resultaten bieden. Dit werd onderzocht in het bovenstaande onderzoek en blijkt dat dit is doordat deze sterk beïnvloedt kunnen worden door persoonlijke kenmerken, ervaring of vaardigheden. Wat nog een zeer belangrijk resultaat is uit het artikel is het feit dat de θ band op de frontale cortex wel consistente resultaten biedt en rechtstreeks in verband staat met de CWL. Zowel een hogere hoeveelheid aan θ als een frontale asymmetrie in θ betekenen een hogere CWL.

Alpha en β zijn vaak inconsistent omdat er werd opgemerkt dat er situatieafhankelijk een verschil moet worden gemaakt tussen hoge en lage alpha of β . Daardoor wordt er gebruik gemaakt van alpha en β , 1 en 2, met alpha1 bijvoorbeeld de lagere frequenties binnen de alpha band. De hogere alpha zou meer correleren met de moeilijkheidsgraad van visueel te verwerken workload en de lagere alpha zou een verband hebben met de algemene mate van attentie, niet specifiek met de opdracht gerelateerd. Ondanks de inconsistentie gaat een reductie in alpha en een toename aan β gepaard met hogere CWL, zoals we reeds eerder zagen.

Invloed op het huidig onderzoek

Constaterend is hier dat er meer onderzoek moet worden gedaan naar de specifieke betekenis van veranderingen in deze banden en dat lang alles nog niet gevonden is in deze technologie. Vooral de alpha en β banden kunnen meer betekenis aan de veranderingen bieden. Jammer genoeg is een conclusie in dit artikel dat EEG nog geen volwaardige functionele optie is voor het bepalen van CWL, en dat het enkel een duidelijk verschil toont in bepaalde situatie en bij grotere verschillen in CWL. Voor dit huidig onderzoek is er hoogstwaarschijnlijk maar een vrij klein verschil in cognitive workload. Het behandelen van een website kan nu eenmaal niet zo enorm veel verschillen van andere websites. We verleggen de focus van dit onderzoek daarom meer naar het analyseren van de emotionele ervaring van de testpersonen. Uiteraard behandelen we in de volgende hoofdstukken alle vormen van data die we zullen kunnen krijgen en zien we of we er toch verschillen uit kunnen halen.

2 Testopstelling

2.1 Basis

De handleiding die het iMotions platform ter beschikking stelt voor het afnemen van een EEG vormt een goede basis die werd gevolgd. [29] Het document gaf een duidelijk stappenplan dat makkelijk te volgen was en met voldoende tips om de data zo zuiver mogelijk te krijgen. Ook de gebruikershandleiding van Emotiv werd toegepast [37], wat grotendeels overeenkwam met de handleiding van iMotions, maar handig was voor de specifieke instellingen nodig in de EmotivPRO interface.

2.2 Proefpersonen

De participanten die beschikbaar waren voor de test vormde een selecte steekproef. Er waren 11 participanten, allen uit dezelfde leeftijdscategorie, namelijk tussen 19 en 24 jaar oud. Ze waren allemaal student aan een hoger onderwijsinstelling, maar van verscheidene opleidingen. Dit bracht voort dat we participanten hadden met verschil in technische aanleg en verworven vaardigheden.

De handleidingen volgende, kregen de participanten de instructies om met gewassen en gedroogd haar naar de test te komen en mochten ze ook geen cafeïne hebben geconsumeerd voor de test.

2.3 Opzet

Alle nodige sensoren werden tijdig op voorhand aangesloten aan een computer met ruim voldoende rekenkracht. De participant had tijdens de test beschikbaar tot zijn eigen beeldscherm, muis en toetsenbord, los van de installatie van de onderzoeker.

De gehele testprocedure werd ook ruim op voorhand opgesteld via de tools die iMotions aanbiedt en werd ook op voorhand getest. Alle sensordata kwam zonder enig probleem samen binnen en kon tijdig worden verwerkt door de computer zodat alles gesynchroniseerd verliep. Uiteraard lokken stimuli bepaalde reacties uit die soms pas later te zien zijn dan wanneer de reactie plaatsvindt, zoals bijvoorbeeld bij de GSR-sensor die afhankelijk is van de vertraging in reactie in het menselijk lichaam. Aangezien de data individueel en persoonlijk wordt behandeld, wordt hier door de onderzoeker rekening mee gehouden, waardoor er geen nood was om correcties uit te voeren op de data.

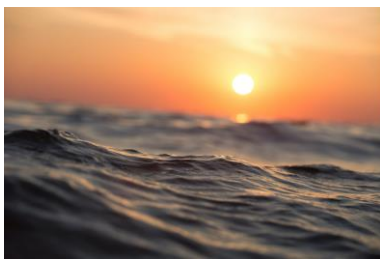
EmotivPRO werd gebruikt voor het opzetten van de EEG-sensor omdat deze een goed werkende visuele tool aanbiedt voor het opzetten van de sensor. De positie van de elektrodes werden steeds zodanig aangepast totdat men een stabiele EEG-kwaliteit bewaarde. Naast de performance metrics en ruwe EEG-data werden ook de EEG- en de contactkwaliteit via LSL in iMotions gebracht. De bewegingsinformatie die in de headset ingebouwd zit werd niet behandeld omdat deze niet relevant was voor de test en mogelijks de kwaliteit van de signalen kon beïnvloeden.

De software van de EEG-sensor liet een sample rate van 128 Hz toe, wat voldoende is voor deze test. Wat wel een tekort vormde was de 0.1 Hz aan performance metrics die we kregen. Een website navigeren of een formulier invullen kan binnen enkele seconden meerdere emotionele reacties oproepen. Een meting om de 10 seconden is daarom niet voldoende, maar kon door de limieten van de licentie niet worden veranderd.

2.4 Testprocedure

De participanten werden één voor één doorheen de procedure geleid. Er werd op voorhand gevraagd om de goedkeuring van de verzameling van hun gegevens te geven. Dit werd opgevolgd met een uitleg over hoe de test zal verlopen, wat grotendeels was om de participanten eerst wat comfortabel te laten voelen in de omgeving. Bij iedere stap tijdens de opzet werd ook een korte beschrijving gegeven van wat iedere sensor kon meten. Eenmaal alles klaar stond begon de test en nam iMotions volledig over. De onderzoeker bleef in de nabijheid om de metingen te controleren en om mogelijke vragen van de participanten te beantwoorden.

De test begon met een kalibratie van de eye tracker en vereiste de participant om naar bepaalde gebieden op het scherm te kijken, indien succesvol werd er naar de volgende stap gegaan. Dit was een baseline opname voor EEG-data. De participanten dienden 10 seconden lang in een ontspannen houding naar het scherm te kijken en daarna 10 seconden lang de ogen te sluiten. Daarna werden drie verschillende afbeeldingen van natuurgebieden getoond.



Figuur 14 Zonsondergang op zee



Figuur 15 Gebergtelandschap



Figuur 16 Besneeuwd platteland

Deze foto's werden meteen opgevolgd door een reclamespotje dat meteen begon te spelen. Het had de bedoeling om enkele positieve en negatieve emoties doorheen het filmpje te proberen uitlokken van de participanten [47].

Vervolgens kwam de participant op een beeld terecht waar een opdracht werd gegeven om via www.fietssnelwegen.be een traject te proberen plannen om van de Odisee campus in Aalst naar die van Gent te fietsen. Deze website werd geselecteerd omdat we hier enkele slechte UX-ervaringen hadden gevonden en het een minder gekende routeplanner is. Ze diende hierbij dan luidop de lengte en de duur van het traject te vertellen wanneer ze dit zouden hebben gevonden. Er werd de participanten ook verteld dat ze het venster mochten sluiten indien ze dachten de informatie niet te kunnen vinden na een bepaalde tijd.

Als volgt werd dezelfde opdracht gevraagd met andere eindbestemming en met de bekende routeplanner, Google Maps. Hier werd verwacht een veel aangenamere beleving te worden ervaren omdat Google veel aandacht spendeert aan UX en omdat de meeste mensen Google Maps frequent gebruiken.

Er werden daarna nog twee opdrachten gegeven om op twee verschillende websites een fictief account aan te maken. Hierbij was het doel om specifieke componenten of tools van een website te gaan evalueren bij het aanmaken van een account. Beide waren typische processen van een account aanmaken, maar de ene met weinig en standaard informatie (e-mail, user, wachtwoord) en de andere met iets meer nodige informatie (voorkeuren, gekende technieken, huidige situatie).

Als laatste werden opnieuw de foto's getoond die ook aan het begin van de test werden getoond en sloot de onderzoeker de test af met nog enkele vragen om een subjectieve ervaring te schetsen van de testpersonen. In de volgende stap overlopen we de vragen die de participanten werden gesteld.

Tussen iedere participant werd de EEG-sensor gereinigd volgens de beschrijving in de handleiding van iMotions en Emotiv. Alle draadloze sensoren werden ook meteen aan de powerkabel aangesloten zodat er geen batterijproblemen ontstonden.

2.5 Afsluitende vragenlijst

Iedere participant werd dus op het einde van de test nog enkele vragen gesteld. Dit om een profiel te kunnen opstellen van de testpersoon en om na te gaan wat ze zelf dachten te hebben ervaren tijdens de test.

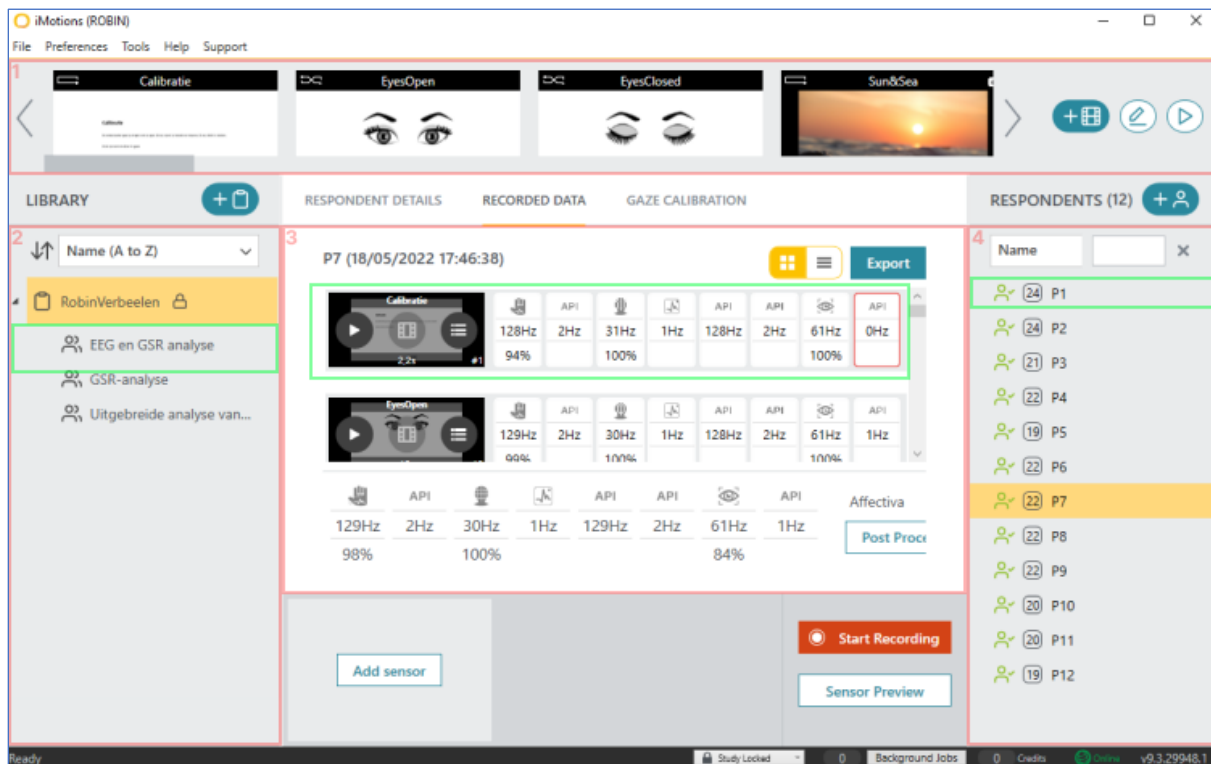
De eerste vraag die steeds werd gesteld was om een kleine beschrijving te geven van de gevoelens die ze hadden voor de test van start ging. Aangezien participanten misschien niet alles afweten van de technologie valt het in te beelden dat ze mogelijk wat angstig waren tegenover de apparatuur of om slecht te presteren in de test. Daarom werd ook een persoonlijke houding aangenomen bij het ontvangen van de participanten.

Daarna werd er gevraagd om enkele concrete emoties op te sommen die ze ervaren tijdens iedere stimuli. Hierdoor kan er naar een vergelijking tussen objectief gemeten en subjectief bevroegde informatie worden gezocht.

Als laatste werd hun dan ook nog gevraagd hoe ze zich over het algemeen voelden na de test, zodat er ook daar een vergelijking kon worden gemaakt tegenover voor de start van de test.

3 iMotions interface

Onderstaande Figuur 17 is een screenshot van de iMotions interface na de afname van de tests. Hierop zijn enkele gebieden aangeduid zodat we verder makkelijk kunnen refereren naar de onderdelen om een beeld te scheppen van de procedure die werd ondernomen voor het opstellen van analyses.



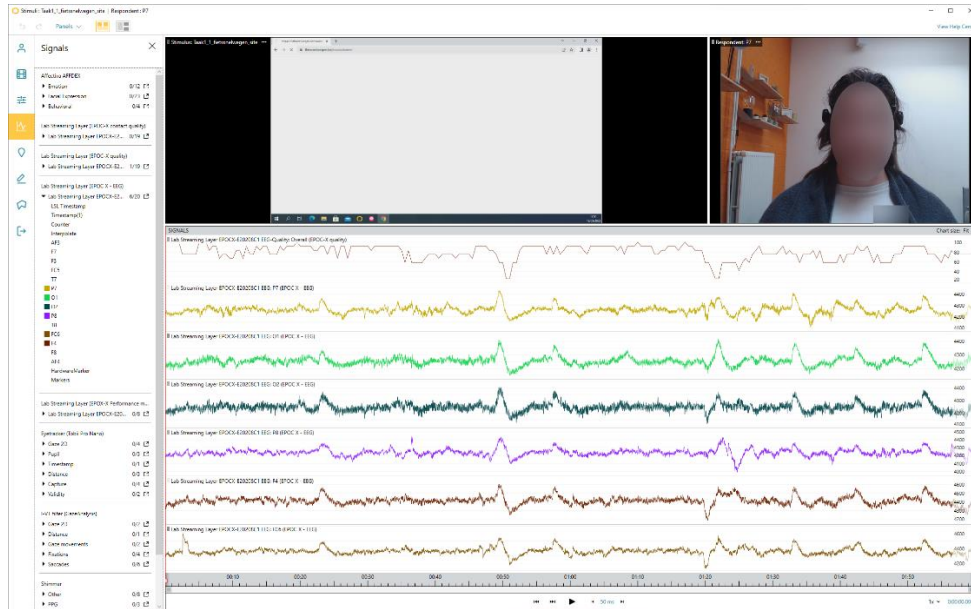
Figuur 17 Interface van iMotions met aanduidingen

De rode vakken worden hieronder beschreven, aangeduid met hun index op de figuur.

1. Dit gebied vormt een overzicht van de stimuli in de huidige geselecteerde survey. Hier kan men stimuli toevoegen, aanpassen of verwijderen met behulp van een speciale tool voor het design van de stimuli te kunnen implementeren. Ook een volledige preview kan worden bekeken van de survey.
2. Hier ziet men een overzicht van de verschillende onderzoeken die men heeft gedaan. Er is hier maar één onderzoek met de naam "RobinVerbeelen", wat geen goede naam is om het onderzoek te beschrijven, maar niet meer te veranderen valt. Binnen het onderzoek kan men ook analyses opstellen waarvan er één wordt aangeduid met de groene kader. Deze analyses zijn de manier om de dataverwerking op te roepen beschreven in hoofdstuk: 1.7 Sensordataverwerking.
3. Dit venster wordt gevormd op basis van de geselecteerde componenten. Bijvoorbeeld als men de het onderzoek in 2 selecteert, wordt er informatie over het onderzoek weergegeven dat kan worden veranderd. Selecteert men dan een participant, dan krijgt men de data van die participant binnen dat onderzoek te zien.
4. Op basis van het geselecteerde onderzoek wordt hier de lijst van de participanten weergegeven.

3.1 Datavisualisatie

Bij het selecteren van een participant kan men iedere stimuli gaan herbekijken door op de startknop te duwen weergegeven in de groene kader van de 3^e rode kader op Figuur 17. Dit opent een nieuw venster zoals weergegeven in Figuur 18. Hierop kunnen dus makkelijk alle signalen van de sensoren naast elkaar worden weergegeven.



Figuur 18 Interface van stimulusplayback in iMotions

Aan de rechterzijde van de interface kan men eenvoudig snel veranderen van stimulus en participant en kan men eenvoudig selecteren welke signalen men wilt weergegeven zien aan de rechterkant. Deze kant zorgt voor de playback functies en de weergave van de gevraagde informatie. Men kan hier ook door de signalen scrollen, markeringen met opmerkingen toevoegen op geselecteerde tijdstippen en de schalen en kleuren van de grafieken aanpassen.

3.2 Analyses

Door in de rode kader 2 op Figuur 17 op het onderzoek te klikken kan men een nieuwe analyse opstellen. Dit geeft de onderzoeker toegang tot de ingebouwde algoritmes om automatisch dataverwerking toe te passen. Hierdoor kunnen heatmaps, “Area Of Interest”-gebieden en aanduidingen van gezichtsuitdrukkingen worden gegenereerd op basis van de eye tracker en camera.

Interessanter voor dit onderzoek zijn de analyses op EEG- en GSR-data. Men kan voor iedere analyse specifiek selecteren welke dataverwerking men wilt toepassen, variabelen meegeven aan de algoritmes om ze meer informatie te bieden of specifiek te laten werken en men kan ook specifiek selecteren van welke stimuli men deze resultaten wilt zien. De algoritmes breiden de interface van Figuur 18 uit door signalen toe te voegen indien mogelijk. Sommige analysemethoden vormen ook een rapport, waar de methode wordt uitgelegd en de resultaten worden weergegeven in tabellen of grafieken. Deze rapporten bleken uiteindelijk ideaal te zijn voor dit onderzoek en bekijken we verder in het volgende hoofdstuk. Er werd simpelweg van iedere sensor elke beschikbare analyse opgesteld van iedere participant bij iedere stimulus. Een operatie dat zeker wel wat rekenkracht vroeg, maar achteraf enorm veel informatie ter beschikking stelde.

4 Meetresultaten

4.1 Manuele analyse

Na het afnemen van alle tests werd de data van de signalen per persoon bekeken en viel er meteen een belangrijk signaal op, namelijk de EEG-kwaliteit. Een enorm groot deel van de EEG-signalen bleken achteraf dus onbruikbaar te zijn omdat de EEG-kwaliteit enorm slecht was gedurende soms grote periodes. Dit bracht tot gevolg dat er veel van de signalen geen betekenis hadden gedurende deze momenten en men zich dus niet op mocht baseren. In de automatische analyses worden methodes gebruikt om ruis en artefacten te filteren, waardoor er wel rekening mee wordt gehouden, maar waardoor de bruikbare data dan ook weer veel kleiner is.

Door manueel na te gaan welke participanten wel bruikbare data hebben voortgebracht voor iedere stimuli kan men ook bekijken welke rapporten wel geldig zijn. Door deze situatie zijn de Raw Data Aggregation rapporten niet echt nuttig aangezien deze sterk beïnvloed worden door de slechte kwaliteit. Dit vormt geen probleem, aangezien deze data toch niet nuttig is aangezien het navigeren en behandelen van de websites toch geen consistent proces is en de participanten er niet allemaal even lang over doen.

De ruwe EEG-data manueel bekijken bracht niet echt veel resultaat, aangezien dit een proces is waar zelfs deskundige enorm veel voor dienen te trainen om hier met het blote oog informatie uit te halen. Deze vaardigheid vereist voldoende ervaring opdoen en is onmogelijk in de tijdspanne van dit onderzoek.

De GSR-data is wel met het blote oog waar te nemen en hieruit kan eenvoudig de momenten worden gehaald waar de participant een emotionele reactie vertoont. Deze data was ook bijna bij iedere participant accuraat en gaf kwalitatieve signalen weer. Bij het bekijken van het filmpje vertoont bijvoorbeeld iedere participant een piek wanneer het filmpje een schrikreactie uitlokte. In combinatie met de gezichtsuitdrukkingen geregistreerd door de camera kon men soms de soort emotionele reactie afleiden zonder enige berekening. Voor specifiekere resultaten bekijken we toch de automatische analysemethoden.

4.2 iMotions geïntegreerde analysemethoden

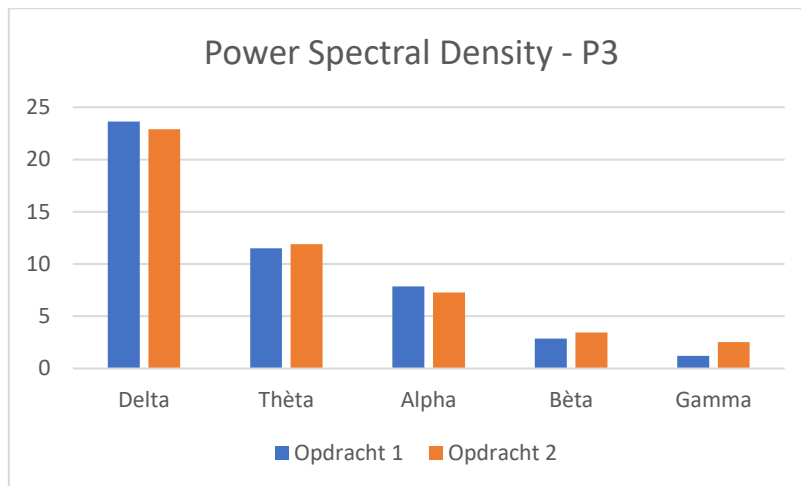
Uit de literatuurstudie was reeds gebleken dat de CWL bepalen geen consistente resultaten biedt en dat er een sterk verschil in stimuli moet worden aangeboden om verschil op te merken. Hieronder worden de resultaten besproken per analysemethode, waarbij er een vergelijking wordt gemaakt tussen de twee eerste opdrachten en de baseline opname. Deze opdrachten waren het traject plannen via de planner met UX-problemen en via Google Maps.

De andere twee opdrachten hadden bij geen enkele participant een consistent goede kwaliteit van signaal, waardoor het aanmaken van de accounts niet kon worden geëvalueerd.

4.2.1 Resultaten Power Spectral Density (PSD)

Voor deze analyse kon er maar op drie participanten gerekend worden omdat de kwaliteit van de EEG-signalen een grote impact kan hebben op deze methode. Dit zorgt voor een veel te kleine steekproef, maar zullen de data toch hieronder behandelen.

Voor ieder van de drie participanten werd de PSD berekent en geplot op een grafiek voor opdracht 1 en 2. Dit bracht voor participant P3, de eerste die voldoende signaalkwaliteit vertoonde, volgende grafiek mee.

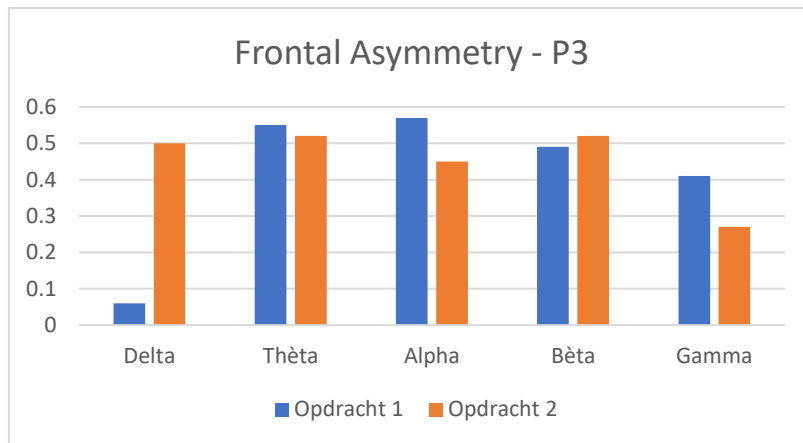


Hierop kan men een lichte toename in thèta van 0,4 waarnemen tijdens de 2^e opdracht. Dit is in tegenstelling tot de resultaten van P7 en P8, dewelke respectievelijk een afname van 0,06 en 0,28 weergeven. Bij alle drie de participanten zagen we een kleine afname van alpha, maar bij de bèta zagen we bij alle drie een toename. De PSD geeft relatieve resultaten weer die beschrijven hoeveel van de totale energie uit een bepaalde frequentie bestaat. Dit is dus geen maatstaf om de CWL te bepalen, aangezien de resultaten relatief zijn kan het verschillende betekenissen hebben en is dus van weinig waarde voor dit onderzoek.

4.2.2 Resultaten Frontal Asymmetry (FA)

Opnieuw werden hier dezelfde drie participanten behandeld voor dezelfde reden als bij PSD. Voor ieder van de drie participanten werd een grafiek opgesteld met een vergelijking van de FA waardes tussen de verschillende frequentiebanden. Voor de FA-analyse wordt er verwacht enkel de frontale elektroden mee te geven als variabele vooraleer men de analyse uitvoert. De beste resultaten werden bereikt door de analyse te laten lopen op de elektroden AF3, F3, AF4 en F4.

In onderstaande grafiek ziet men de resultaten van participant P3. Van deze participant werd over het algemeen maar 6,525% van de signalen niet opgenomen in de berekening.



Men merkt in deze figuur een daling van de thèta score bij opdracht 2 van 0.03. Dit zou aangeven dat er dus een zeer kleine daling is aan CWL bij het gebruiken van Google Maps tegenover de ander routeplanner.

Als men een gemiddelde neemt van de verandering in thèta overheen de 3 geldige participanten merkt men een verandering van -0,0066. Dit is voornamelijk omdat P7 een hogere FA score haalde bij het uitvoeren van opdracht 2. Ook de verandering in FA-score voor de bèta en alpha signalen gaven tegenovergestelde resultaten bij P7. Bij het nagaan van de opname kon men vaststellen dat P7 het inderdaad niet zo moeilijk had met de eerste opdracht tegenover de andere twee participanten.

Niettemin kan men vaststellen dat er maar sprake is van enorm kleine verschillen in de waarden van deze analyse. Bij het gebruik van de website met UX-problemen vertoonden twee van de drie participanten een lichte stijging in lateraliteit van thèta, wat zou overeenkomen met een hogere CWL.

5 Conclusie

Puur op de literatuurstudie gebaseerd is het meten van Cognitive Workload zeker en vast mogelijk met EEG. Er is een consistent verband tussen de toename in de thèta-frequentieband en een hogere CWL. Daarbij kan men dan ook de alpha en bèta band gaan gebruiken om de alertheid, focus en motivatie na te gaan van de testpersoon. De testen vormden geen geldig bewijs voor deze assumpties door technische problemen. Hierdoor kon men geen elementen van een website analyseren om te bepalen of deze de CWL konden verminderen bij het gebruik ervan. In kleinere maten kon men een vergelijking stellen tussen een website waarvan men weet dat er enkele UX-problemen waren en een website waarmee de meesten gekend zijn en een goede UX-ervaring biedt. EEG blijkt nu eenmaal nog niet zo'n goed middel te zijn om dit soort kleinschalige veranderingen te meten, maar er is nog voldoende onderzoek mogelijk en aan het gebeuren om meer betekenis te geven aan bepaalde signaalverlopen.

Doordat de EEG-sensor enorm slechte signaalkwaliteit bereikte doorheen de proeven zal dit onderzoek geen bewijs kunnen vormen voor de zaken aangehaald in de literatuurstudie. Door de kwaliteitsproblemen kon men ook geen conclusie trekken voor een algemeen publiek, maar kon men wel voor twee van de drie geldige metingen zeggen dat de Frontale Asymmetry score van de thèta-frequentieband inderdaad overeenkomt met de hogere CWL. Door de aard van de proef werd er maar een enorm kleine verandering in CWL verwacht, wat dus heel slecht te meten valt en waarvoor er dus ook te weinig zuivere data beschikbaar was.

Dit onderzoek dient dus zeker opgevolgd te worden door meer testen en er dient gezocht te worden naar een manier om de stimuli aan te bieden op een manier dat minder interactie verwacht van de participant. Hierdoor zal de participant zich stiller kunnen houden waardoor de signalen mogelijks een hogere kwaliteit aannemen.

6 Nawoord

Het project heeft geen goede resultaten bereikt, maar heeft mij wel enorm veel bijgeleerd over de werking van EEG. Over het algemeen was dit een positieve ervaring, maar jammer genoeg zonder veel resultaat.

Nu deze ervaring te hebben meegemaakt heb ik het gevoel zelf veel capabeler te zijn om betere testen af te leggen. Ik wist op de moment van afname niet heel goed waar ik op moest letten, waardoor de kwaliteit van het signaal mij tijdens de testafname niet was opgevallen. Door deze ervaring heb ik ook enorm veel bijgeleerd. Ondanks de resultaten van dit project, heeft het mij persoonlijk wel een interessegebied bijgegeven.

Ik heb de moeilijkheidsgraad wel pittig onderschat en gemerkt dat er toch wel een ervaring nodig was die ik niet zomaar kon bereiken gedurende dit project. Er is veel tijd verloren gegaan naar niet goed weten welke bronnen te vertrouwen waren omdat er continue enorm veel termen waren die ik niet (of niet meer) voldoende begreep.

7 Bibliografie

- [1] Wikipedia-bijdragers, „Schedel (mens),” Wikipedia, de vrije encyclopedie, 23 september 2021. [Online]. Available: [https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Schedel_\(mens\)&oldid=59965467](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Schedel_(mens)&oldid=59965467). [Geopend 23 mei 2022].
- [2] Wikimedia Commons contributors, „File:Neurocranium - lateral view03.png,” Wikimedia Commons, the free media repository., 13 september 2020. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Neurocranium_-_lateral_view03.png&oldid=458028215. [Geopend 23 mei 2022].
- [3] K. Vos, „Hersenen,” Gezondheidsplein, [Online]. Available: <https://www.gezondheidsplein.nl/menselijk-lichaam/hersenen/item45083>. [Geopend 13 08 2022].
- [4] Wikimedia Commons contributors, „File:Lobes of the brain NL.svg,” Wikimedia Commons, the free media repository., 28 oktober 2020. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Lobes_of_the_brain_NL.svg&oldid=505220334. [Geopend 23 mei 2022].
- [5] Wikipedia-bijdragers, „Hersenschors,” Wikipedia, 22 mei 2021. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Hersenschors>. [Geopend 14 aug. 2022].
- [6] Wikipedia contributors, „Lobes of the brain,” Wikipedia, The Free Encyclopedia., 10 jul. 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lobes_of_the_brain. [Geopend 14 aug. 2022].
- [7] Wikipedia contributors, „Cerebral hemisphere,” Wikipedia, The Free Encyclopedia., 9 mei 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Cerebral_hemisphere. [Geopend 14 aug. 2022].
- [8] Wikimedia Commons contributors, „File:Cerebral hemisphere - animation.gif,” Wikimedia Commons, the free media repository., 13 sept. 2020. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerebral_hemisphere_-_animation.gif. [Geopend 14 aug. 2022].
- [9] Wikipedia-bijdragers, „Lateraliteit,” Wikipedia, de vrije encyclopedie., 5 apr. 2021. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Lateraliteit>. [Geopend 14 aug. 2022].
- [10] O. Guy-Evans, „Lateralization of brain function,” Simply Psychology, 18 mei 2021. [Online]. Available: www.simplypsychology.org/brain-lateralization.html. [Geopend 14 aug. 2022].
- [11] „Brain Anatomy and How the Brain Works,” Johns Hopkins Medicine, [Online]. Available: <https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/anatomy-of-the->

- [24] „The Introductory Guide to EEG (Electroencephalography),” EMOTIV, [Online]. Available: <https://www.emotiv.com/eeg-guide/>. [Geopend 15 aug. 2022].
- [25] S. Nagel, *Towards a home-use BCI: fast asynchronous control and robust non-control state detection*, 2019.
- [26] Wikimedia Commons contributors, „File:International 10-20 system for EEG-MCN.png,” Wikimedia Commons, the free media repository, 8 aug. 2022. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:International_10-20_system_for_EEG-MCN.png. [Geopend 16 aug. 2022].
- [27] „Electrode arrangement according to the international 10/20 system,” [Online]. Available: <https://www.ternimed.de/EEG-Electrode-arrangement-according-to-the-international-10/20-system>. [Geopend 16 aug. 2022].
- [28] Wikipedia-bijdragers, „Fourieranalyse,” Wikipedia, de vrije encyclopedie, 16 dec. 2021. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Fourieranalyse>. [Geopend 17 aug. 2022].
- [29] iMotions, „Electroencephalography - The Complete Pocket Guide,” 2019. [Online]. Available: <https://imotions.com/guides/electroencephalography-eeg/>. [Geopend 15 aug. 2022].
- [30] W. Klimesch, „EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis,” *Brain Res Brain Res Rev*, vol. 29, nr. 2-3, pp. 169-95, 1999.
- [31] M. C. Bastiaansen, R. Oostenveld, O. Jensen en P. Hagoort, „I see what you mean: Theta power increases are involved in the retrieval of lexical semantic information,” *Brain and Language*, vol. 106, nr. 1, pp. 15-28, 2008.
- [32] iMotions, „Top 3 Devices for Monitoring and Measuring Brain Activity,” iMotions, 23 aug. 2019. [Online]. Available: <https://imotions.com/blog/top-3-devices-measuring-brain-activity/>. [Geopend 17 aug. 2022].
- [33] A. Hayes en D. Kindness, „Z-Score,” Investopedia, 2 jul. 2022. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/z/zscore.asp#:~:text=What%20is%20a%20Z%2DScore,i%20dential%20to%20the%20mean%20score..> [Geopend 18 aug. 2022].
- [34] „Wat is een qEEG?,” Brai3n, [Online]. Available: <https://www.brai3n.com/medisch-onderzoek/qeeg/>. [Geopend 18 aug. 2022].
- [35] Wikipedia contributors, „Quantitative electroencephalography,” Wikipedia, The Free Encyclopedia, 28 apr. 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantitative_electroencephalography. [Geopend 18 aug. 2022].
- [36] „EMOTIV EPOC X,” Emotiv, [Online]. Available: <https://www.emotiv.com/epoc-x/>. [Geopend 17 aug. 2022].

- [37] „EPOC X User Manual,” Emotiv, 2020. [Online]. Available: <https://emotiv.gitbook.io/epoc-x-user-manual/>. [Geopend 17 aug. 2022].
- [38] C. Andrew-Joseph, „Are CMS/DRL References Positioned As Usually Around The Mastoid? Are P3 And P4 Signals Estimated From Data Of Existing (Closest) Derivations?,” Emotiv - Knowledge Base, 12 dec. 2018. [Online]. Available: <https://www.emotiv.com/knowledge-base/are-cms-drl-references-positioned-as-usually-around-the-mastoid-are-p3-and-p4-signals-estimated-from-data-of-existing-closest-derivations/>. [Geopend 17 aug. 2022].
- [39] Wikipedia contributors, „Driven right leg circuit,” Wikipedia, The Free Encyclopedia, 6 jan. 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Driven_right_leg_circuit. [Geopend 17 aug. 2022].
- [40] P. Molfese, „What is common mode sense reference in EEG studies?,” Research Gate, 6 jan. 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/post/What_is_common_mode_sense_reference_in_EEG_studies. [Geopend 17 aug. 2022].
- [41] „EmotivPRO v3.0,” Emotiv, okt. 2021. [Online]. Available: <https://emotiv.gitbook.io/emotivpro-v3/data-streams/raw-eeg>. [Geopend 17 aug. 2022].
- [42] B. Farnsworth, „Blog - What is GSR (galvanic skin response) and how does it work?,” iMotions, 17 jul. 2018. [Online]. Available: <https://imotions.com/blog/gsr/>. [Geopend 17 aug. 2022].
- [43] „Shimmer3 GSR+ Unit,” Shimmer, [Online]. Available: <https://shimmersensing.com/product/shimmer3-gsr-unit/>. [Geopend 17 aug. 2022].
- [44] Wikipedia-bijdragers, „Fast Fourier transform,” Wikipedia, de vrije encyclopedie, 7 dec. 2016. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform. [Geopend 17 aug. 2022].
- [45] Wikipedia contributors, „Spectral density,” Wikipedia, The Free Encyclopedia, 17 aug. 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_density. [Geopend 18 aug. 2022].
- [46] S. Chikhi, N. Matton en S. Blanchet, „EEG power spectral measures of cognitive workload: A meta-analysis,” *Psychophysiology*, vol. 59, nr. 6, p. e14009, 2022.
- [47] khvkky, „Nolan's Cheddar,” YouTube, 11 jan. 2010. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=YqlQS5CCmwl>. [Geopend 18 aug. 2022].
- [48] Wikipedia-bijdragers, „Elektro-encefalografie,” Wikipedia, de vrije encyclopedie, 22 jul. 2020. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektro-encefalografie&oldid=56776739>. [Geopend 26 mrt. 2022].

[49] „EXTENDED 10/20-SYSTEM WITH 30 CHANNELS,” Brain Support, [Online]. Available: <https://www.brainlatam.com/manufacturers/easycap/extended-1020-system-with-30-channels-191>. [Geopend 16 aug. 2022].