

# Anvendelse af mobile interfaces for neurofeedback træning

Anders Thorp Sørensen



Kongens Lyngby, 2012

IMM-BSc-2013-07

Technical University of Denmark  
Informatics and Mathematical Modelling  
Building 321, DK-2800 Kongens Lyngby, Denmark  
Phone +45 45253351, Fax +45 45882673  
[reception@imm.dtu.dk](mailto:reception@imm.dtu.dk)  
[www.imm.dtu.dk](http://www.imm.dtu.dk) IMM-BSc-2013-07

## Abstract

Denne afhandling beskæftiger sig med muligheden for at styrke den øvre del af alpha frekvensbåndet gennem neurofeedback training, ved brug af et wireless EEG headset fra Emotiv og en tablet. Træningsperioden strækker sig over 4 uger hvilket er væsentlig længere end tidligere forsøg, og der er derfor fokus på, hvilken effekt men ser, når man kommer ud over den første uge, som hidtil har været standard i disse undersøgelser. Der har været fokus på, om det i nogen grad er muligt at kontrollere alpha, og om denne kontrol har udmøntet sig i en træningseffekt set over de 4 uger. Forsøget bestod i, at de 3 testpersoner skulle udføre 5 neurofeedback training sessioner om dagen fra mandag til fredag gennem 4 uger. Derudover blev der hver anden dag, mandag, onsdag og fredag, udført en kognitiv test i form af en conceptual span task. I den første uge viser NFT dataene at 2 ud af 3 testpersoner opnår en form for kontrol, da man ser en stigende tendens på graferne, hvor den sidste testperson tilnærmelsesvis må siges, at være en non-responder. Herefter ses en klar faldende tendens hos de samme testpersoner, der i den første uge viste en fremgang. Ud fra testpersonernes egne forklaringer kunne dette skyldes, at motivationen er faldende efter den første uge, grundet det meget simple interface, hvilket påvirker koncentrationsevnen. Resultaterne fra conceptual span task, for de to testpersoner der opnåede en form for kontrol i den første uge viser, at de bliver signifikant bedre til at huske og kategorisere forskellige navneord over alle 4 uger, dog kan det ikke alene forklares ud fra dataene fra neurofeedback træningen.

Forsøgets resultater er blevet sammenlignet med lignende studiers resultater, og der ses en overensstemmelse med disse studier i den første uge. Derimod ses der en ændring i udviklingen over alle 4 uger, som ikke stemmer overens, hvilket kunne tyde på, at det ikke er muligt, at konkludere noget ud generelt fra blot en enkelt uge.

## Preface

Denne afhandling er lavet i samarbejde med instituttet for Informatik og Matematisk Modellering (IMM) på Danmarks Tekniske Universitet (DTU), efter godkendelse fra Lars Staalhagen studielederen ved DTU Fotonik, med henblik på at opfylde kravene til erhvervelse af titlen B.Sc. i IT & Kommunikationsteknologi.

Afhandlingen er lavet i samarbejde med vejlederne Michael Kai Petersen og Camilla Birgitte Falk Jensen fra instituttet for Information og Matematisk Modellering ved Danmarks Tekniske Universitet.

Kgs. Lyngby, 11. Juni – 2013

Anders Thorp Sørensen

## Forord

Først og fremmest vil jeg gerne sige tak til professor Michael Kai Petersen og M.Sc Camilla Birgitte Falk Jensen, mine vejledere, for at have introduceret mig til neurovidenskaben, og guidet og støttet mig gennem hele projektperioden, samt for at have givet løbende og god feedback. Jeg vil også gerne takke PhD studerende Marieta Georgieva Ivanova, for at have brugt tid på at gennemgå de nødvendige matlab scripts, og Post. Doc Carsten Stahlhut for at have modificeret matlab scriptsne, så de virkede til dette eksperiment. Til sidst vil jeg gerne takke lektor Lars Staalhagen for godkendelse af projektforslaget som et bachelorprojekt indenfor studieretningen IT & Kommunikationsteknologi.

## Indholdsfortegnelse

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Abstract .....                                 | 3  |
| Preface .....                                  | 4  |
| Forord .....                                   | 5  |
| 1 Introduktion.....                            | 8  |
| 1.1 Motivation .....                           | 9  |
| 1.2 Målet med projektet .....                  | 9  |
| 1.3 Rapport struktureringen.....               | 10 |
| 2 EEG og mobile enheder .....                  | 10 |
| 2.1 Hvad er EEG og hvordan måler man det ..... | 10 |
| 2.2 Hjernebølgerne.....                        | 11 |
| 2.3 Fokusområde .....                          | 12 |
| 3 Metoder.....                                 | 14 |
| 3.1 Design .....                               | 14 |
| 3.2 Testdeltagere.....                         | 15 |
| 3.3 Interface .....                            | 15 |
| 3.4 Procedurer .....                           | 16 |
| 3.5 Udstyr og opsætning .....                  | 18 |
| 3.6 Databehandling .....                       | 18 |
| 3.7 Dataanalyse .....                          | 19 |
| 4 Resultat.....                                | 20 |
| 4.1 Resultater fra NFT.....                    | 20 |
| 4.1.1 Resultat for Anders.....                 | 20 |
| 4.1.2 Resultat for Ibrahim.....                | 21 |
| 4.1.3 Resultat for Michael .....               | 22 |
| 4.1.4 Samlede resultater .....                 | 22 |
| 4.2 IAF peaks.....                             | 24 |
| 4.2.1 IAF peak - Anders.....                   | 24 |
| 4.2.2 IAF peak - Ibrahim.....                  | 25 |
| 4.2.3 IAF peak - Michael .....                 | 26 |
| 4.3 Resultater fra conceptual span task .....  | 27 |
| 5 Diskussion .....                             | 29 |
| 5.1 Effekten af NFT .....                      | 29 |
| 5.2 Conceptual span task.....                  | 30 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 5.3 Interface feedback og kontrol .....               | 31 |
| 5.4 Forslag til fremtidigt arbejde .....              | 32 |
| 6 Konklusion .....                                    | 34 |
| Appendix A .....                                      | 35 |
| A.1 Neurofeedback training vejledning .....           | 35 |
| Appendix B.....                                       | 37 |
| B.1 Conceptual span task Kategorier.....              | 37 |
| Appendix C – NFT grafer og data .....                 | 38 |
| C.1 Grafer for neurofeedback training – Anders .....  | 38 |
| C.2 Grafer for neurofeedback training – Ibrahim ..... | 40 |
| C.3 Grafer for neurofeedback training – Michael ..... | 42 |
| C.4 IAF data.....                                     | 44 |
| C.4.1 IAF grafer – Anders.....                        | 45 |
| C.4.2 IAF grafer – Ibrahim.....                       | 47 |
| C.4.3 IAF grafer – Michael .....                      | 49 |
| C.5 Dataanalyse .....                                 | 51 |
| C.5.1 Dataanalyse for den første uge .....            | 51 |
| C.5.2 Dataanalyse over alle 4 uger .....              | 53 |
| C.5.3 Dataanalyse af Conceptual span task.....        | 55 |
| Appendix D .....                                      | 57 |
| D.1 – MatLab filer fra dropbox .....                  | 57 |
| Referencer .....                                      | 58 |

## 1 Introduktion

Hvis man i stedet for at bruge det udstyr man har i laboratorier i dag, som koster flere hundredetusinde kroner og er stationært, kunne bruge wireless neuroheadsets til at måle og træne hjerneaktiviteten, ville det ikke alene gøre det muligt at spare en masse penge, men også gøre det nemmere at finde ud af mere omkring neurofeedback og neurofeedback training (NFT). Alt man ville have behov for, er et wireless EEG headset, som allerede bliver brugt inden for spilindustrien, og en smartphone/tablet.

Problemet er, at der ikke kun er gode ting ved, at kunne lave neurofeedback research ved brug af det billige udstyr. For ved som så mange andre ting, så betaler man flere penge for bedre ydelse og kvalitet, og dette er også tilfældet når det kommer til neurofeedback research. De store stationære maskiner ved man virker, man ved hvad de måler, og de er ikke nær så følsomme overfor udefrakommende forstyrrelser som et billigt wireless neuroheadset. Hvis man bruger et wireless EEG headset fra Emotiv, sidder der reelt set kun 2-4 optimale elektroder ved nakkelappen, hvor man har mulighed for, at måle det bedste alpha signal. Yderligere er der kun 14 elektroder i hele headset'et, så hvis en eller flere elektroder skulle fejle, så bliver signalet pludselig væsentlig dårligere, i forhold til hvis der i stedet sad flere elektroder, i samme område der kunne tage over, hvis en enkelt elektrode skulle fejle.

Så spørgsmålet er, om man overhovedet kan måle et signal, og om det signal man så måler, rent faktisk er et alpha signal, og vil man være i stand til, at måle en eventuel ændring i signalet. Der har været tidligere forsøg og rapporter, som har vist, at det er muligt, at måle et alpha signal ved, at bruge et billigt wireless EEG headset, men hvordan skal målingen så foregå? De fleste forsøg er foregået mens testpersonerne har været i hvile, og man er gået ud fra, at det ikke har haft nogen betydning i hvilken stilling testpersonerne har opnået denne hvile. Studier har dog vist, at folk der har været aktive, har haft en anden styrke af alpha signalet end folk der har været i hvile.

Hvis det er muligt, at opnå en ændring i signalet, vil det så være muligt, at opnå en form for kontrol over den ændring der forekommer. Et eksempel på hvordan kontrol kan være, er måden hvorpå pilen på ens computerskærm bevæger sig, når man rykker på musen. For at føle men har opnået en kontrol, kræver det, at man får noget feedback som man kan reagere på. I eksemplet med pilen på skærmen kræver det, at den ikke flyver af sted bare man rører musen, og omvendt skal det heller ikke være for langsomt.

Ydermere, hvad vil det så betyde hvis man opnår denne kontrol? Tidligere undersøgelser har indikeret, at man via NFT kan hjælpe folk med ADHD, epilepsi og andre psykiske lidelser, og det har også vist sig, at kunne have en effekt på visse kognitive egenskaber.

## 1.1 Motivation

Ved at bruge de mobile enheder som smartphones/tablets og wireless neuroheadsets til, at måle hjerneaktiviteten, kan man gøre det meget mere fleksibelt fremover, at lave neurofeedback research, da testene ikke behøver foregå i et laboratorium. Det vil i stedet være muligt for den enkelte testperson, at lave undersøgelserne i vante omgivelser derhjemme, og gøre det billigere og nemmere, at lave flere forsøg på samme tid.

Men der er mange faktorer der spiller ind ved NFT, og det er blevet påvist, at man ved, at ændre nogle af disse faktorer også kan ændre på udbyttet af træningen. Især det interface man bruger til, at give personen feedback, kan have en stor indflydelse på selve træningen. Det er bare aldrig blevet undersøgt præcis, hvilke elementer i interfacet der havde en betydning på resultaterne af træningen, da for mange faktorer blev ændret på samme tid.

Tidligere forsøg med neurofeedback training har ofte været en uge, og disse forsøg har indikeret, at det er muligt, at øge alpha signalet. Vi vil i stedet for kun og bruge en uge, se på hvad der sker, hvis man har 4 gange så lang tid til rådighed. Hvad sker der over længere tid? Vil man blive ved med, at se en fremgang, vil resultaterne jævne sig ud, vil alpha signalet falde igen? og forsøge, at få nogle svar på hvad der sker hvis man fortsætter sin træning ud over den ene uge.

## 1.2 Målet med projektet

Formålet med projektet er, at teste brugen af mobile enheder til neurofeedback training over en længere periode og få en bedre forståelse for hvilke faktorer der spiller ind i interfacet til NFT. Dette gøres ved, at foretage kognitive øvelser mandag, onsdag og fredag og måle alpha aktiviteten ved hjælp af et wireless EEG headset, samt optimere interfacet i relation til grafiske elementer og tidsmæssige feedback parametre.

Til at undersøge dette er der fokus på følgende områder:

1. Undersøge om det er muligt, at foretage en relevant måling af alpha aktiviteten med et wireless EEG headset og en tablet.
2. Undersøge om det er muligt, at kontrollere ens alpha aktivitet og evt. øge ens alpha aktivitet i forhold til ens baseline.
3. Undersøge om man kan se en forbedring i forhold til en conceptual span task over en længere periode.
4. Undersøge hvilke faktorer der har en afgørende indflydelse på træningen af hjernen.

### 1.3 Rapport struktureringen

Her vil en kort beskrivelse af de følgende kapitler i rapporten være for, at give et hurtigt overblik over de forskellige områder der bliver beskrevet.

I kapitel 1 bliver der givet en kort indledning til rapporten, hvad motivationen har været og hvad formålet med projektet har været.

I kapitel 2, vil der blive forklaret om hvordan det er muligt, at måle hjerneaktiviteten, og der vil blive forklaret grundlæggende om hvordan EEG virker, og hvorfor det er Alpha frekvensbåndet som er fokusområdet for træningen.

I kapitel 3 bliver metoderne forklaret, forsøgene, tests, testpersoner, testdesign og til sidst databehandlingen som leder til kapitel 4.

I kapitel 4 bliver data fra træningen og testene præsenteret. Dette gælder for data fra træningssessionerne og data fra conceptual span task, samt de vigtigste resultater fra de statistiske beregninger.

I kapitel 5 vil der være en diskussion med sammenligning af resultater fra tidligere forsøg. Her vil blive diskuteret, hvilke faktorer der har haft en væsentlig indflydelse på træningen, den personlige oplevelse samt forslag til fremtidigt arbejde.

I kapitel 6 vil der være en overordnet konklusion, der vil se på om projektmålene er blevet nået, og hvad resultaterne kan betyde.

## 2 EEG og mobile enheder

### 2.1 Hvad er EEG og hvordan måler man det

EEG står for Elektroencefalografi, og er en måde, hvorpå man måler den elektriske aktivitet omkring ens kranie. Det elektriske signal man måler, er en spænding over tid, og kommer fra noget der hedder neuroner, som er den måde hjernen kommunikerer med sig selv på. Der er omkring 20 mia. neuroner i vores hjerner, og de er hver især elektrisk ladede. Når tilpas mange af disse neuroner er enige om et signal i et givent område, altså tilpas mange af neuronerne har den samme frekvens, kan det måles, og det er så dette signal vi opfanger med vores EEG udstyr. [Srinivasan, 2006]

Signalet som neuronerne udsender, bliver svagere og svære, at måle des dybere deres oprindelsessted ligger under kraniet, og vil derfor kræve, at endnu flere neuroner skal udsende det samme signal. Det elektriske signal neuronerne udsender, svinger indenfor bestemte frekvensområder. Det kan være alt fra Alpha, Beta, Gamma, Delta og Theta bølger der bliver udsendt, alt efter hvor langt signalet skal kunne række.

En måde at måle EEG på er via det der kaldes event-related potential (ERP). Et eksempel på dette kunne være samme eksempel som blev brugt i indledningen med musen på skærmen. Når man arbejder med ERP's, ser man på hvor i hjernen signalet stammer fra hvilket betyder, at man med ERP's kigger efter om forskellige events har nogle forskellige relationer til steder i vores hjerne og hvor disse relationer opstår. [S. J.Luck, n.d.] Disse events

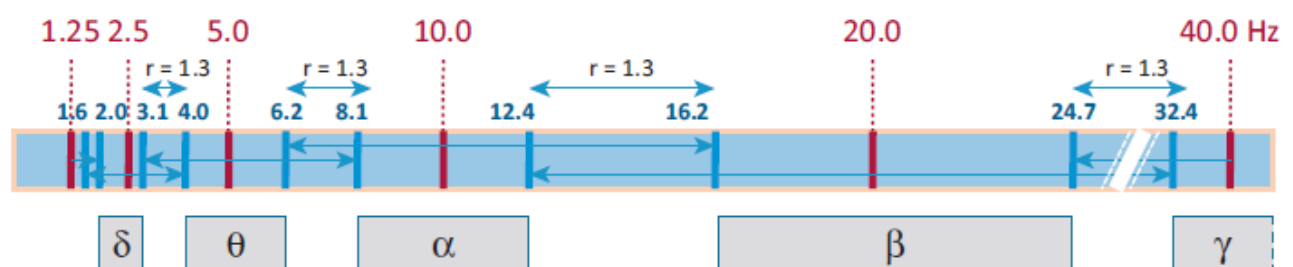
resulterer dog ikke kun i dannelsen af ERP's, men også i en ændring af den EEG man måler i form af enten event-related desynchronization (ERD) eller event-related synchronization (ERS) som der kan læses mere om i [Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999].

Denne rapport omhandler i stedet for ERP's, kvantitativ EEG. Kvantitativ EEG vil sige, at man måler hjernens elektriske aktivitet og forsøger, at analysere EEG signalet i stedet for, at forsøge, at lokalisere det område signalet kommer fra. Der bliver altså analyseret på EEG dataene og forsøgt, at se på om der er nogle relevante mønstre i signalet.

## 2.2 Hjernebølgerne

De forskellige frekvensbånd i hjernen kan blive bestemt som en struktur af harmoniske svingninger, der er bygget op omkring alpha båndet, hvis man laver de 3 følgende antagelser [Klimesch, 2012]:

1. At alpha båndet ved de 10Hz er det mest dominerende signal i vågen tilstand, og er den der "styrer sammensmeltningen" af de andre svingninger.
2. De harmoniske svingninger (i forhold til  $f_{\alpha} = 10\text{Hz}$ ) binder kommunikationen sammen med mellem-frekvenser og alpha båndet, og samtidig kan de midterste frekvenser af de øvrige frekvensbånd bestemmes ud fra disse harmoniske svingninger. Ved frekvenser langsommere end alpha gælder værdierne,  $f_{\alpha}/2 = 5\text{Hz}$  for theta og  $f_{\alpha}/4 = 2,5\text{Hz}$  for delta. Ved frekvenser hurtigere end alpha gælder værdierne,  $f_{\alpha} * 2 = 20\text{Hz}$  for beta og  $f_{\alpha} * 4 = 40\text{Hz}$  for gamma.
3. Man kan beskrive adskillelsen af frekvenserne samt de forskellige frekvensbånds bredde ved, at bruge det gyldnesnit, som er en værdi der ligger på ca. 1,618. Hvis vi vil finde den øvre rækkevidde for alpha bliver  $f_{\alpha} * 1,618 = 16,2\text{Hz}$  og den nedre rækkevidde for beta bliver  $f_{\beta}/1,618 = 12,4\text{Hz}$ . Det betyder, at den øvre frekvensgrænse for alpha er ca. 12,4Hz hvor frekvensen er på den yderste grænse af beta, og tilsvarende er den nedre frekvensgrænse for beta ca. 16,2Hz, hvor frekvensen er på den yderste grænse af alpha.



Figur 2.1: Figuren illustrerer de traditionelle hjernebølgers frekvensbånd, og viser hvordan de kan defineres ud fra 3 forudsætninger. Båndbredden er beregnet ud fra det gyldne snit for, at opnå mindst mulig interferens mellem de forskellige frekvenser. [Klimesch, 2012]

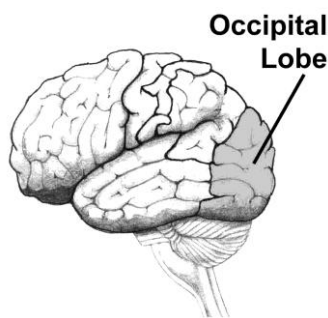
I hvert frekvensbånd er der et centrum, hvor frekvensbåndet har kontakt til de to nærliggende frekvenser, da de kommunikerer via harmoniske svingninger. Hvis vi ser på alpha, er centrum af frekvensbåndet 10Hz, frekvensbåndet under er theta, og frekvensbåndet over er beta. Når alpha svinger på 10Hz, er der optimal sammenkobling til theta grundet de harmoniske svingninger, men hvis alpha i stedet svinger på 8Hz vil der opstå en dekobling med theta, og på den måde kan alpha styre kommunikationen med de andre frekvensbånd. [Klimesch, 2012]

## 2.3 Fokusområde

Vi har valgt alpha frekvensbåndet, som går fra 8-12Hz(ca.) til, at være vores fokus område i vores undersøgelse af anvendelsen af mobile interfaces for neurofeedback træning (NFT). Vores fokus område indenfor alpha er på den øvre alpha frekvens (10-12Hz ca.).

Grunden til vi har valgt netop alpha frekvensbåndet, som fokus område er, at det er det signal, der har den længste bølgelængde, og skal bevæge sig længst, og derfor er det også det kraftigste signal. De andre signaler har en kortere rækkevidde, og vil være svære, at opfange. Da det netop er tablets, og et wireless EEG headset vi bruger i stedet for store dyre maskiner, er der en risiko for, at udstyret ikke er kraftigt nok til, at kunne måle de ændringer der måtte forekomme, men ved, at have fokus på det kraftigste signal i hjernen, alpha frekvensen, er den risiko blevet mindsket.

Alpha bølgerne fremkommer hovedsagligt fra nakkelappen som sidder i baghovedet omme ved nakken.

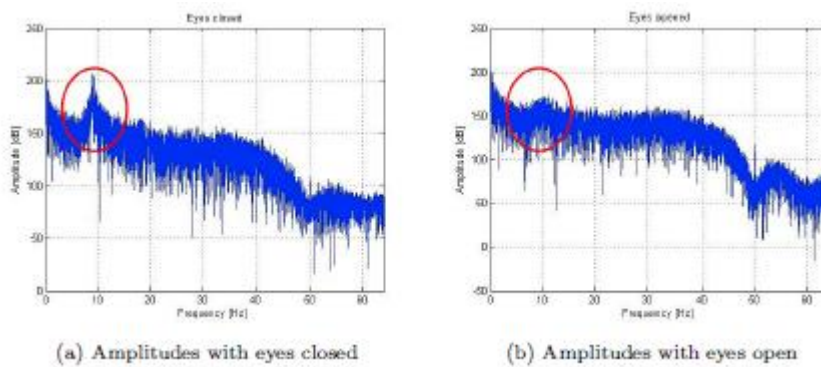


Figur 1.2<sup>1</sup>: Det markerede område viser det område af hjernen der kaldes nakkelappen, hvor alpha signalet er kraftigst.

Undersøgelser har vist, at alpha amplituden stiger, når man lukker øjnene i vågen og afslappet tilstand, og faldt igen når man havde åbne øjnene. Derfor kan vi ved, at måle alpha aktiviteten med hhv. åbne og lukkede øjnene med vores wireless EEG headset, undersøge om vi rent faktisk måler alpha signalet.

---

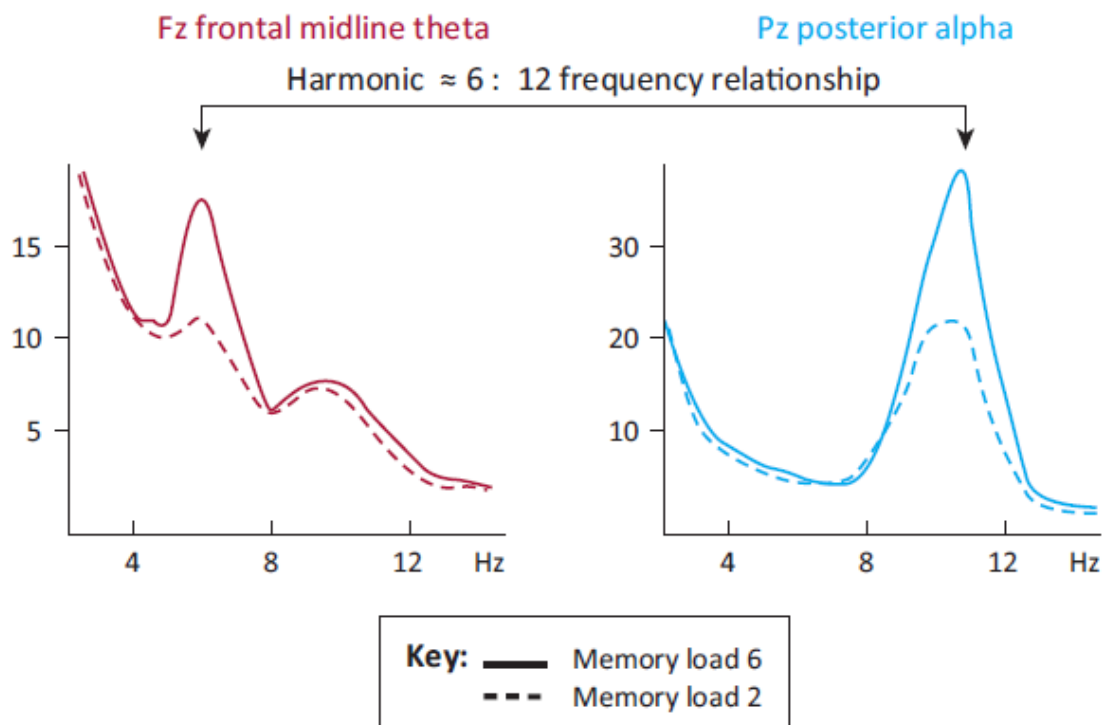
<sup>1</sup> <http://www.memorylossonline.com/glossary/images/occipitallobe.jpg>



Figur 2.2: (a) viser amplituden af alpha med lukkede øjne omkring de 10Hz. (b) viser amplituden af alpha med åbne øjne omkring de 10Hz. [Jensen, 2012]

Det der sker her er, at når vi lukker øjnene, så slukker vi for signaler til visuel cortex, som er det område i hjernen, hvor det vi ser, bliver opfanget. Når dette sker, er der ikke mere behov for, at kunne kommunikere med denne del, og derfor stiger frekvensen for, at dekode den del af hjernen der ikke længere er behov for, og i stedet fokusere på de områder der stadig er i brug.

Opfattelsen af, at alpha båndets aktivitet har noget, at gøre med en særlig form for opmærksomhed bliver bekræftet af det faktum, at når man skal fokusere på ny information, så sker der en kraftig task og event-related stigning i theta båndet. Dette kan bl.a. ses på den frontale midline, theta aktivitet, der kan registreres, når personer bliver udsat for en opgave, der kræver mere af ens working memory. [Klimesch, 2012]



Figur 2.3: Viser en dekobling af alpha når theta, på figuren til venstre, stiger ved 6Hz. Derudover ses en dekobling af theta når alpha, på figuren til højre, stiger ved 12Hz. Sammen illustrerer de to figurer hvordan hjernen dekoobler andre signaler alt efter hvilken frekvens der bliver fokuseret på. [Klimesch, 2012]

Dog er det højst sandsynligt ikke opmærksomheden af opgaven, men derimod undertrykkelsen af de irrelevante strukturer for opgaven, som påvirker aktiviteten i alpha båndet.

### 3 Metoder

Vi foretog testene i et lokale med minimal udefra kommende larm og støj, slukket lys og stikkontakter samt med gardinerne trukket for, at minimere forstyrrelser til signalet. Hver person skulle samtidig sørge for, at være helt afslappet i hele kroppen og blinke så lidt som muligt for ikke, at give et forkert udslag på signalet. Grunden til forsøget skulle udføres, under så forholdsvis kontrollerede forhold er, at vi skal være helt sikre på, at det er alpha signalet vi måler og træner.

#### 3.1 Design

Vi er 3 studerende, som skal udføre tests med de mobile enheder, men da der ikke er udstyr nok til, at vi alle kan få det med hjem og lave testene hjemmefra, møder vi op mandag – fredag dvs. 5 dage om ugen.

Oprindeligt var det meningen, at der skulle lave en måling af baseline som det første hver dag, men fordi det ikke har været muligt, at lave alle tests til den samme platform, er den første måling om mandagen, onsdagen og fredagen, en måling af alpha aktiviteten under hukommelsestesten. Efter denne test er der så en baseline måling, som resten af træningen bygger på, og så slutter vi af med endnu en baseline måling.

Grunden til, at vi hver især skal lave en individuel baseline måling er, at alle individer er forskellige, så derfor vil vores udgangspunkt også være forskelligt, og da et af formålene med vores NFT er, at øge alpha aktiviteten, er det vigtigt, vi har et udgangspunkt for den enkelte person.



Figur 3.1: Illustrerer opbygningen af en uge med tests, baseline måling og træningssessioner.

Conceptual span task var en hukommelses opgave. Der var sat 10 minutter af til denne opgave.

Baseline 1 var der, hvor vi målte vores baseline for den pågældende dag, og den fungerede som udgangspunkt for vores NFT. Disse målinger tog 5 minutter.

NFT var selve træningen, hvor vi skulle forsøge, at få kontrol over vores alpha. Hver af disse trænings sessioner tog 5 minutter.

Baseline 2 var der, hvor vi målte vores afsluttende baseline for den pågældende dagfor, at se om vores træning havde haft nogen indflydelse på vores baseline. Disse målinger tog 5 minutter.

### 3.2 Testdeltagere

Jeg er selv en af de i alt 3 testdeltagere, og to af mine medstuderende udgør resten af gruppen. Vi er henholdsvis 23, 22 og 24 år gamle mens vi udfører forsøgene, og lider ikke af nogen neurologiske sygdomme eller lignende. Alle testdeltagere studerer IT & Kommunikationsteknologi på DTU og er på det 6. semester. Vores gennemsnitsalder er 23 år.

### 3.3 Interface

Vores interface er en firkant, der skifter farve via scaling. Det vil sige, at der er en overgang fra blå til grå hvor den grå farve overtager mere og mere, og fra grå til rød hvor den røde farve overtager mere og mere eller omvendt, alt efter hvordan ens hjerneaktivitet er. I vores tilfælde var interfacet som udgangspunkt sat til, at blive opdateret hvert 125ms, altså 8 gange i sekundet. Det er simpelt opbygget for ikke, at give for mange forskellige inputs som kan påvirke hjerneaktiviteten, så det er nemmere, at forklare hvorfor, eventuelle ændringer i hjerneaktiviteten er forekommet.



Figur 3.2: Illustration af hvordan interfacet ser ud på tablet'en. Der er så en overgang mellem hvert billede med et miks af hhv. blå/grå samt grå/rød.

- Den blå farve betyder, at aktiviteten er lavere end den målte baseline.
- Grå betyder, at aktiviteten er den samme som baseline.
- Den røde farve betyder, at der er større aktivitet i forhold til ens baseline.

**For at se en illustration af interfacet klik på følgende link:**

[https://www.dropbox.com/s/wy0sto1xysahv7b/GUI\\_first\\_iteration.mov?v=0mcn](https://www.dropbox.com/s/wy0sto1xysahv7b/GUI_first_iteration.mov?v=0mcn)

### 3.4 Procedurer

Til hvert forsøg var det vigtigt, at alle elektroderne i vores wireless EEG headset havde et optimalt signal. For at undersøge dette, var der i vores applikation indbygget et EPOC kontrol panel, som er et interface, der viser hvordan, de forskellige elektroder sidder på hovedet. For at få et godt EEG signal skulle modstanden mellem elektroderne og hovedbunden holdes under 5k $\Omega$ . Dette blev illustreret ved, at alle elektroderne i interfacet lyste grønt [Stopczynski, et al., n.d.].

#### Baseline

Under baseline målingerne skulle vi tælle hver gang firkanten blev rød for, at holde hjernen optaget, så tankerne ikke fløj omkring, men samtidig ikke lave noget der krævede den store hjernekraft, så alpha signalet blev påvirket så lidt som muligt. Umiddelbart havde firkantens farve i interfacet ikke den store sammenhæng med ens hjerneaktivitet.

#### NFT

Herefter skulle vi så i gang med vores NFT. Nu havde firkantens farve alt og gøre med hjerneaktiviteten, og formålet var, at opnå en form for kontrol, så man kunne få firkanten til, at blive rød alene ved hjælp af tankerne. Blev den rød betød det, at ens alpha aktivitet var højere end under baseline målingen, og vi skulle samtidig skrive ned, hvad det var, vi havde tænkt på, og hvordan vi synes det var gået, for på den måde, at få en indikation om, hvordan det måske ville være muligt for os hver især, at opnå en kontrol over alpha aktiviteten. Vi besluttede, at have nogle overordnede emner for hver dag, så det ville være nemmere, at se en sammenhæng mellem hvad vi tænkte på, og hvordan resultatet af træningen ville være.

Emnerne fordelte sig således over de forskellige dage:

| <b>Dag:</b>  | <i>Mandag</i> | <i>Tirsdag</i> | <i>Onsdag</i> | <i>Torsdag</i> | <i>Fredag</i>  |
|--------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| <b>Emne:</b> | <i>Planer</i> | <i>Motion</i>  | <i>Fysik</i>  | <i>Rejser</i>  | <i>Barndom</i> |

Tabel 3.1: Viser de emner, der blev brugt under træningen de forskellige dage i løbet af ugen.

#### Conceptual span task

Ideen med conceptual span task var, at undersøge, om man blev bedre til, at huske nogle ord, og hvilken kategori disse ord tilhørte. Denne form for øvelse kaldes semantic processing. Semantic processing vil sige, at man kan forbinde det ord man hører eller ser med en kategori, fx vil "kat" høre ind under kategorien "dyr".

Inden man startede testen, skulle man sørge for, at det ikke ville være samme test, som sidste gang man lavede den, og det gjorde man ved, at åbne de tilhørende Excel filer og gemme dem på ny. Hver test startede med 2 prøverunder, hvor 3 ord var de samme hver gang, mens resten blev ændret. Kategorien til hver runde forblev også den samme som forrige gang. Både under prøverunderne og de rigtige runder som var selve testen, havde man 1 sekund til, at se på de ord som blev præsenteret, og efterfølgende 5 sekunder til, at sige de 3 ord som passede ind i den kategori, der blev vist. Var man for længe om, at sige de 3 ord, gjaldt det som et forkert svar pr. ord der manglede.

De 2 testrunder så således ud:

|          | Test 1       | Test 2    |
|----------|--------------|-----------|
|          | Zebra        | England   |
|          | Ben          | Anker     |
|          | Bøsningsring | Kage      |
|          | Skildpadde   | Polen     |
|          | Øje          | Blå       |
|          | Ring         | Tyskland  |
|          | Arm          | Kost      |
|          | Svensknøgle  | Blad      |
|          | Skrue        | Askebæger |
| KATEGORI | KROPSDEL     | LAND      |

Tabel 3.2: Viser opbygningen af testrunderne i conceptual span task med ordene der indgik, samt de kategorier ordene skulle forholdes til.

Hver gang skulle man altså i den første prøverunde svare: "Ben, Arm og Øje", og i den anden prøverunde skulle man altså svare: "England, Polen og Tyskland".

Efter disse 2 testrunder, der skulle fungere som en slags opvarmning, startede selve testen som bestod af 21 runder, der mindede meget om de to test runder.

Et eksempel på hvordan nogle af disse runder kunne være:

|          | set1     | set2      | set3       |
|----------|----------|-----------|------------|
|          | Gris     | Frakke    | Sweater    |
|          | Kanin    | Kirsebær  | Køleskab   |
|          | Fersken  | Sejlbåd   | Vest       |
|          | Ørn      | Sweater   | Elkedel    |
|          | Kirsebær | Tog       | Frakke     |
|          | Frakke   | Vest      | Sejlbåd    |
|          | Sweater  | Fersken   | Fly        |
|          | Appelsin | Fly       | Strygejern |
|          | Vest     | Appelsin  | Tog        |
| KATEGORI | FRUGT    | TRANSPORT | EL         |

Tabel 3.3: Viser et eksempel på hvordan 3 tilfældige runder i conceptual span task kunne se ud, hvilke ord der indgik, samt de kategorier ordene skulle forholdes til.

Til eksemplet her skulle man så svare: "Fersken, Kirsebær og Appelsin" til set1, "Sejlbåd, Tog og Fly" til set2 og "Køleskab, Elkedel og Strygejern" til set3. Når alle 21 runder var færdige, skulle man aflytte sine svar, og sammenligne dem med et Excel-ark der blev oprettet, hver gang man startede testen.

I dette Excel-ark ville der blive oprettet en fane med oplysninger om hvilke ord, der havde været i de forskellige sets i testen (på samme måde som illustreret ovenfor), og der ville blive oprettet en fane, hvor rækkefølgen af de forskellige sets ville fremgå den tilhørende kategori samt lydfilen med ens svar.

Et eksempel på rækkefølgen af de forskellige sets og deres kategori, samt navnet på den tilhørende lydfil med ens svar, kunne se sådan ud:

| Category   | setNumber | n | mic_1.filename_raw                                   | order |
|------------|-----------|---|------------------------------------------------------|-------|
| INSTRUMENT | set1      | 1 | u'data\\ats_2013_mar_04_1144_wav\\mic_1-322.980.wav' | 16    |
| DYR        | set2      | 1 | u'data\\ats_2013_mar_04_1144_wav\\mic_1-214.083.wav' | 9     |
| FRUGT      | set3      | 1 | u'data\\ats_2013_mar_04_1144_wav\\mic_1-136.388.wav' | 3     |
| TRANSPORT  | set4      | 1 | u'data\\ats_2013_mar_04_1144_wav\\mic_1-182.990.wav' | 7     |

Tabel 3.4: Viser et eksempel på, hvilke lydfiler der hørte til en bestemt runde i conceptual span task, hvilken kategori man skulle huske ordene til, samt den rækkefølge de forskellige set i testen.

Ud fra disse oplysninger og lydfilen med ens svar, kunne man så finde ud af, hvor mange rigtige svar man havde, hver gang man havde lavet en conceptual span task. Her var det samtidig vigtigt, at huske og skrive det ned kort tid efter man havde gennemført testen, da det kunne ske, at lydoptagelsen ikke var i super god kvalitet. Derfor skulle man skrive svarende ned, mens man stadig nogenlunde kunne huske dem, hvis man havde mumlede for meget på optagelsen.

### 3.5 Udstyr og opsætning

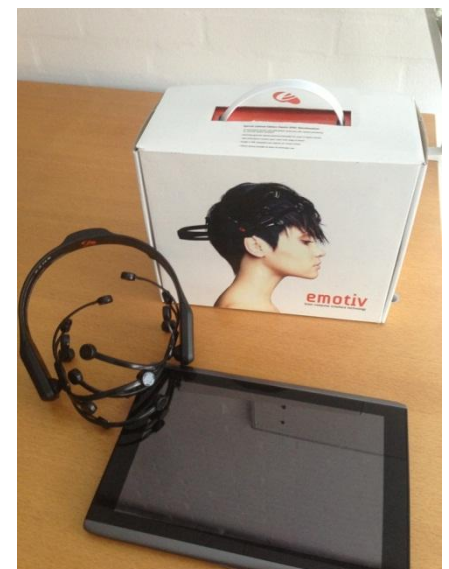
Til vores forsøg brugte vi et wireless EEG headset fra Emotiv til, at måle hjerneaktiviteten og en tablet med android-styresystemet til, at vise interfacet. Headset'et var forbundet til tablet'en via en trådløsforbindelse til et USB-stik, som gemte vores data på tablet'en.

Vores wireless EEG headset bestod af 14 kanaler: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 og AF4 samt to elektroder der blev brugt som reference kanaler kaldet P3 og P4 i henhold til 10-20 systemet, og af det fremgår det også, at O1 og O2 er de eneste elektroder der er placeret omme ved nakkelappen, hvor alpha signalet burde være kraftigst.

For at lave conceptual span task brugte vi vores bærbare computer, og kørte testen i et program kaldet psychopy. For at køre psychopy er det vigtigt, at man har installeret et andet program kaldet Python da psychopy kører filerne via Python.

### 3.6 Databehandling

Gennem vores Emotiv wireless headset fik vi indsamlet vores EEG data signaler, og der blev brugt en samplingsfrekvens på 128Hz. Det rå data som blev indsamlet, skulle herefter analyseres ved hjælp af matlab, men før analysen kunne gennemføres, skulle det rå data først bearbejdes, og dette blev gjort via et matlab script **runAnalysis.m**. Herefter kørte vi scriptet **thresholdData.m** som oprettede matricer for hver forsøgsperson med tilhørende data fra elektroderne. For at



Figur 3.3: Vores wireless EEG headset fra Emotiv samt tablet, der blev brugt under forsøgene.

finde den gennemsnitlige øvre alpha frekvens kørte vi et script kaldet *getAveragedUA.m*, og til sidst plottede vi resultatet ved, at køre scriptet *plotEachSubjects.m*.

Til conceptual span testen blev antal rigtige svar for hver gang skrevet ind i et excel ark. Der blev så lavet et gennemsnit for, hvor mange rigtige svar der var pr. dag pr. kategori, og herefter blev svarene så plottet, og der blev lavet en lineær regression for, at se om der havde været en stigende eller faldende tendens i antallet af rigtige svar.

### 3.7 Dataanalyse

For at give et hurtigt overblik over dataene i de forskellige grafer, er der blevet tilføjet en lineær regressionslinje for, at vise om der skulle være en stigende eller faldende tendens. Dette gælder for både NFT og conceptual span task graferne.

#### 3.7.1 NFT

For at se om der har været en signifikant ændring, i vores alpha amplitude mht. vores baselines, er der blevet brugt en paired t-test. En paired t-test sammenligner observationer fra et tidspunkt, med observationer på et andet tidspunkt, fra den samme "data gruppe". I dette tilfælde er data gruppen baseline for den samme person. For den første uge er der blevet brugt en one-tailed paired t-test da vi forventer, at se en forbedring hen over ugen, af vores baselines fra hhv. mandag og fredag. Når vi ser på udviklingen over alle 4 uger bliver der i stedet brugt en two-tailed t-test. Dette gælder også for grafen der viser den samlede udvikling for alle 3 testpersoner over de 4 uger.

#### 3.7.2 Conceptual span task

For at undersøge om der har været en signifikant ændring, mht. hvor mange rigtige svar, hver testperson er kommet med i conceptual span task testen, er der blevet brugt en one-tailed t-test. En one-tailed t-test bliver brugt, når man vil undersøge om der har været en forbedring. Da vi forventer, at der vil være en forbedring er det derfor en one-tailed t-test der bliver brugt.

## 4 Resultat

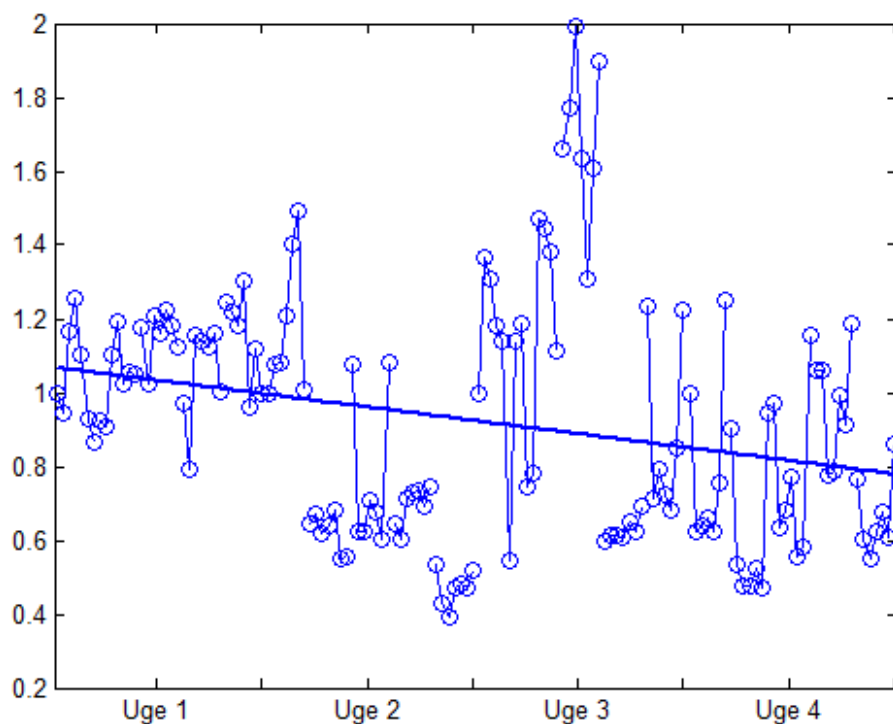
### 4.1 Resultater fra NFT

Træningsresultaterne af den opnåede kontrol over træningsperioden på fire uger, bliver her præsenteret for hver deltager i forsøget. For at se på træningsresultaterne for den enkelte person for en bestemt uge i forløbet, henvises til *Appendix C* i slutningen af rapporten. Se *afsnit 3.4 NFT* for, at se de emner vi tænkte på under fores trænings sessioner.

Hver graf er plottet ud fra de 25 NFT sessioner, alle plots repræsenterer den gennemsnitlige UA amplitude for hver træningssession og hvert plot er blevet normaliseret i forhold til den første baseline fra hver dag. Der er blevet tilføjet en lineær tendenslinje for, at vise træningsudviklingen over de fire uger.

Til sidst i afsnittet er vist et samlet gennemsnit for alle 3 testpersoners UA amplitude. På grafen kan ses hvordan gennemsnittet af været i løbet af hver uge, samt udviklingen over alle 4 uger.

#### 4.1.1 Resultat for Anders

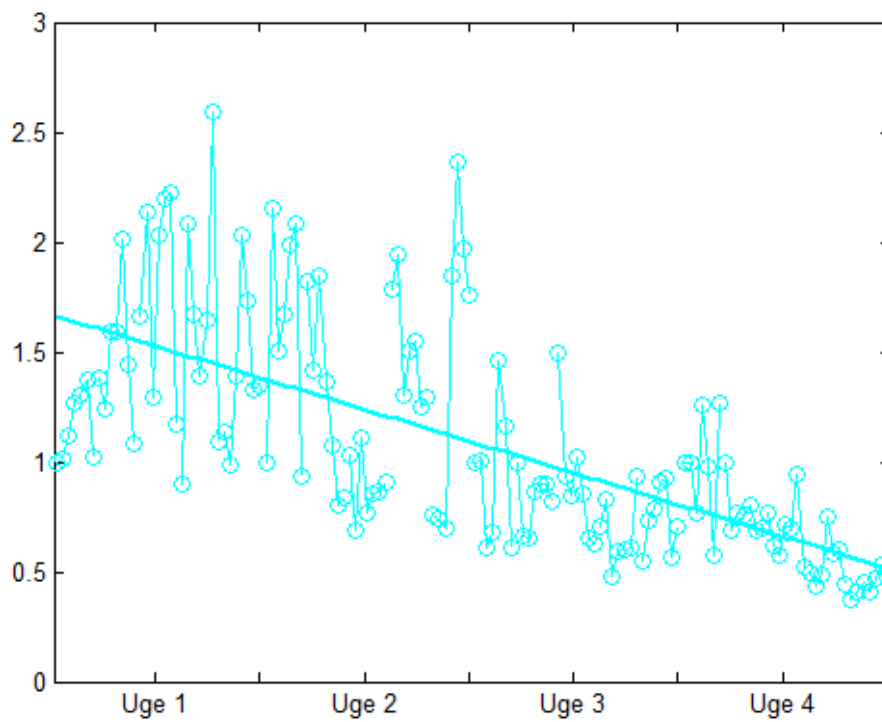


Figur 4.1: Viser resultatet af træning over alle fire uger for Anders. På grafen er lavet en lineær tendenslinje for hele perioden på fire uger.

Beregningerne fra den paired t-test over baseline fra mandag uge1 og fredag uge4, viste ingen signifikant ændring da  $p = 0,487$

Resultaterne for de enkelte uger kan findes i *Appendix C, C.1*, og beregningerne findes i *Appendix C, C.5.1.1 og C.5.2.1*

#### 4.1.2 Resultat for Ibrahim

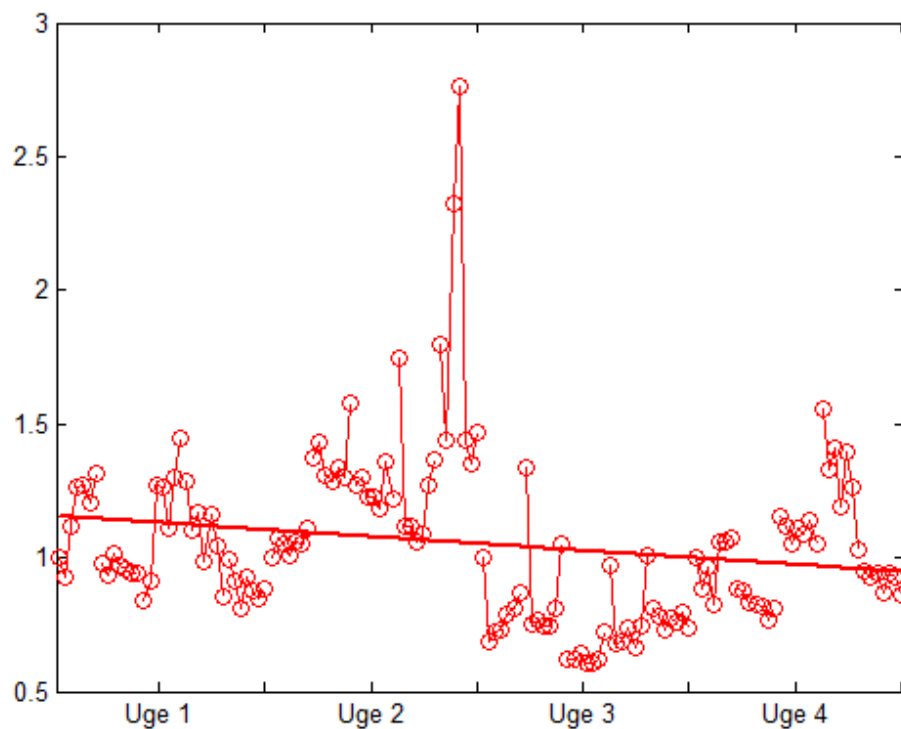


Figur 4.2: Viser resultatet af træning over alle fire uger for Ibrahim På grafen er lavet en lineær tendenslinje for hele perioden på fire uger.

Beregningerne fra den paired t-test over baseline fra mandag uge1 og fredag uge4, viste ingen signifikant ændring da  $p = 0,428$

Resultaterne for de enkelte uger kan findes i *Appendix C, C.2*, og beregningerne findes i *Appendix C, C.5.1.2 og C.5.2.2*

### 4.1.3 Resultat for Michael



Figur 4.3: Viser resultatet af træning over alle fire uger for Michael. På grafen er lavet en lineær tendenslinje for hele perioden på fire uger.

Beregningerne fra den paired t-test over baseline fra mandag uge 1 og fredag uge 4, viste en signifikant ændring da  $p = 0,047$ , og da det er en faldende tendens, som vi ser på grafen, er det en signifikant forværring af baseline.

Resultaterne for de enkelte uger kan findes i *Appendix C, C.3*, og beregningerne findes i *Appendix C, C.5.1.3 og C.5.2.3*

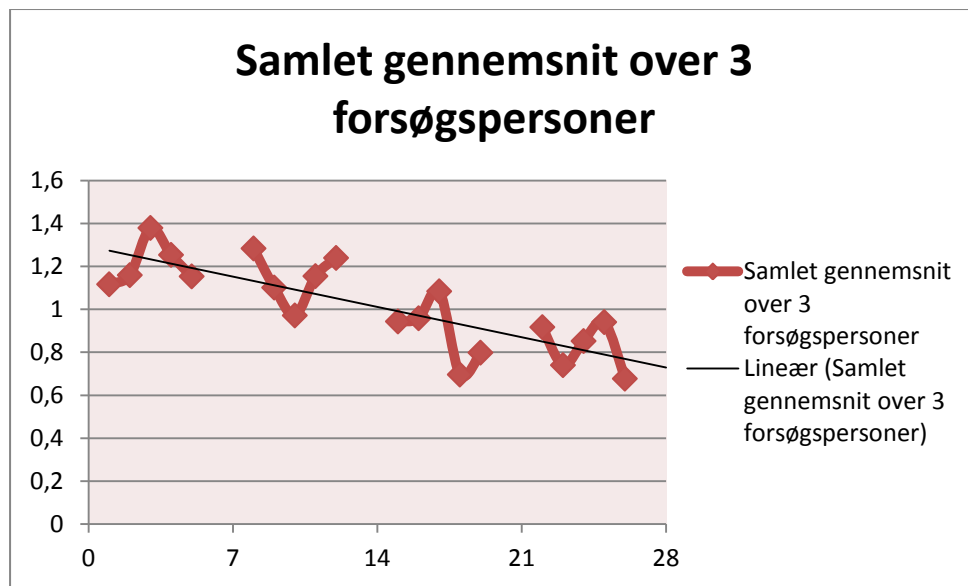
### 4.1.4 Samlede resultater

Her bliver det gennemsnittet af alle 3 testpersoners normaliserede UA amplitude vist i en samlet graf. På grafen er tilføjet en lineær regression, som illustrerer udviklingen over alle 4 uger for alle 3 testpersoner.

De statistiske beregninger gennem en to-halet parvis dobbelt stikprøve t-test, via Excel, gav følgende resultat:

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| <i>Data for samlet gennemsnit</i> |          |
| P(T<=t) to-halet                  | 0,028033 |

Dette betyder, at der er en signifikant ændring, samlet set for alle 3 testpersoner. Da vi ser en faldende tendens betyder det, at vi ser en signifikant forværring i forhold til udgangspunktet.



Figur 4.4: Her ses den samlede udvikling for alle 3 testpersoner over de 4 uger. Der ses en lille stigende tendens for uge 1, som svarer til de første 5 forbundene punkter, men set over alle 4 uger er der en nedadgående tendens.

For at undersøge om der i den første uge ses en signifikant forbedring, er der lavet en one-tailed t-test, men resultatet var følgende:

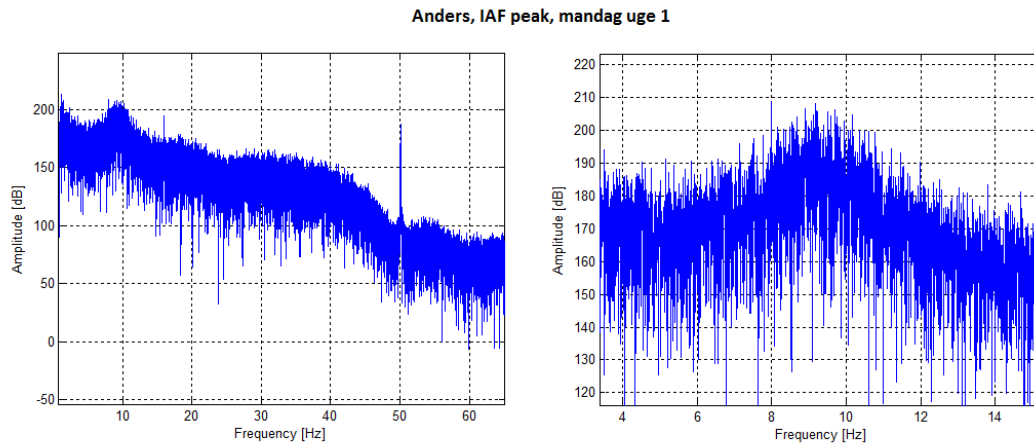
|                  |          |
|------------------|----------|
| P(T<=t) en-halet | 0,056718 |
|------------------|----------|

Hvilket vil sige, at man ikke kan konkludere, at der er sket en signifikant forbedring.

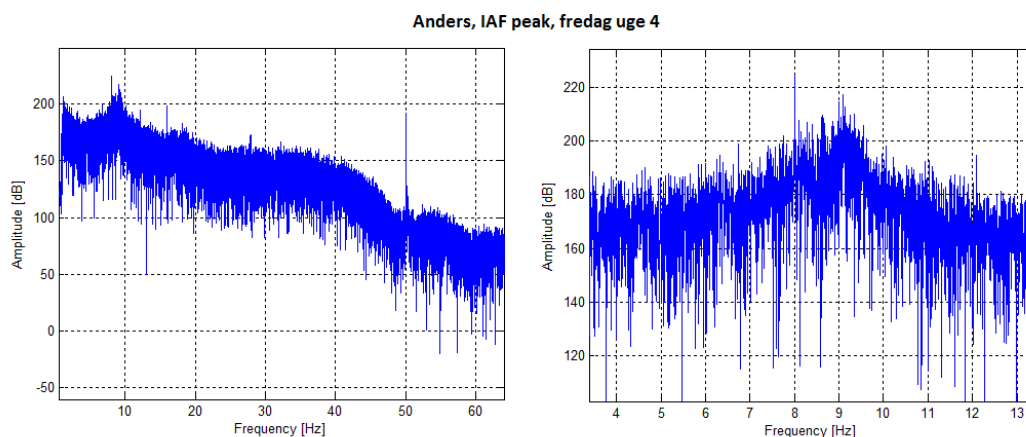
## 4.2 IAF peaks

Her er vist hver persons IAF peak, som er målt ud fra den første baseline i hver session. Her i resultat afsnittet er IAF peaks for den første dag i testperioden samt den sidste dag i testperioden vist for, at give et overblik over udviklingen de 4 uger.

### 4.2.1 IAF peak - Anders



**Figur 4.5:** Viser IAF peak for Anders om mandagen i uge 1, hvilket er den første måling af IAF. Det ses, at den første IAF peak for Anders ligger ved 9,16Hz med en amplitude på næsten 210dB.

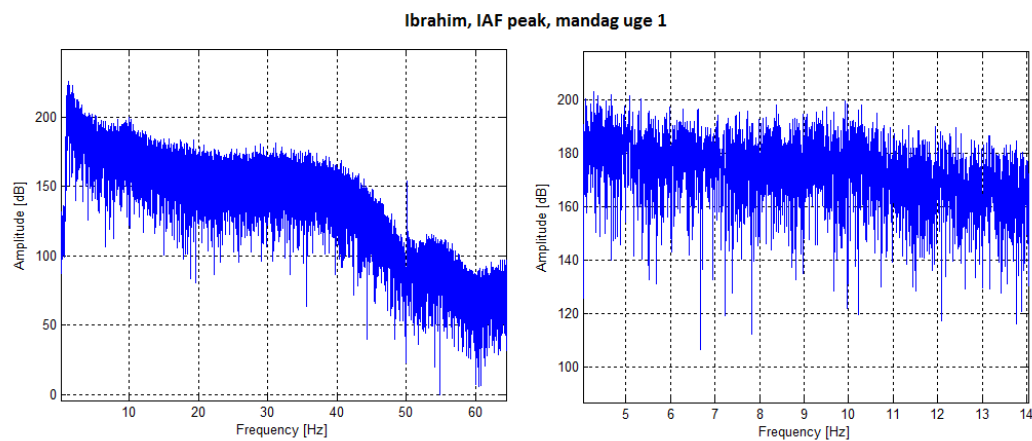


**Figur 4.6:** Viser IAF peak for Anders om fredagen i uge 4, hvilket er den sidste måling af IAF. Det ses, at den sidste IAF peak for Anders ligger ved 9,1 Hz med en amplitude på næsten 220dB.

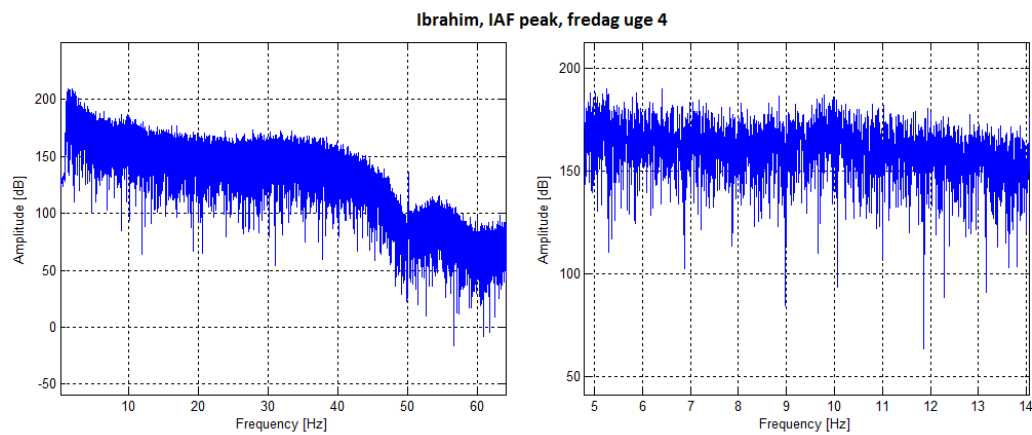
Vi ser, at frekvensen for Anders' IAF ikke har ændret sig og, at styrken er steget med ca. 10dB.

For at alle data og grafer vedrørende IAF se *Appendix C, C.4*.

#### 4.2.2 IAF peak - Ibrahim



Figur 4.7: Viser IAF peak for Ibrahim om mandagen i uge 1, hvilket er den første måling af IAF. Det ses, at den første IAF peak for Ibrahim ligger ved 9,5Hz med en amplitude på ca. 200dB.

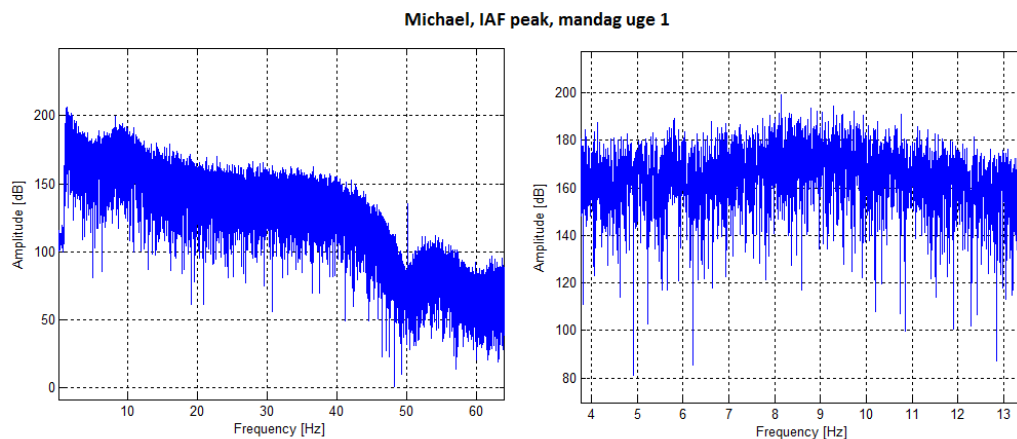


Figur 4.8: Viser IAF peak for Ibrahim om fredagen i uge 4, hvilket er den sidste måling af IAF. Det ses, at den sidste IAF peak for Ibrahim ligger ved 9,79Hz med en amplitude på ca. 180dB.

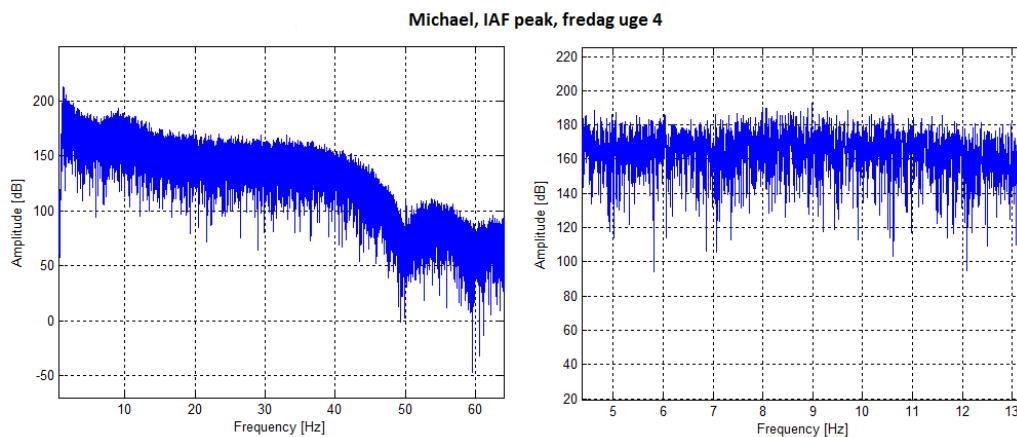
Vi ser, at frekvensen for Ibrahims IAF ikke har ændret sig betydeligt og, at styrken er faldet med ca. 20dB.

For at alle data og grafer vedrørende IAF se *Appendix C, C.4*.

### 4.2.3 IAF peak - Michael



**Figur 4.9:** Viser IAF peak for Michael om mandagen i uge 1, hvilket er den første måling af IAF. Det ses, at den første IAF peak for Michael ligger ved 8,15Hz med en amplitude på ca. 200dB.



**Figur 4.10:** Viser IAF peak for Michael om fredagen i uge 4, hvilket er den sidste måling af IAF. Det ses, at den sidste IAF peak for Michael ligger ved 9.0 Hz med en amplitude på ca. 190dB.

Vi ser, at frekvensen for Michaels IAF ikke har ændret sig betydeligt og, at styrken er faldet med ca. 10dB

For at alle data og grafer vedrørende IAF se *Appendix C, C.4.*

### 4.3 Resultater fra conceptual span task

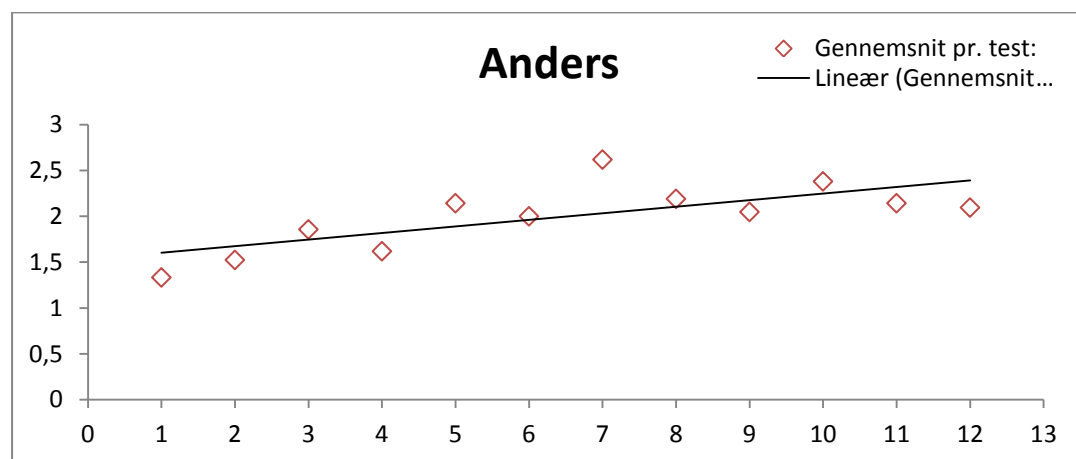
Udviklingen af testpersonernes rigtige svar set over fire uger.

Der er i alt blevet foretaget 12 tests af hver person, og som det kan ses på figurerne 11 og 13, er der en stigende tendens over perioden, hvorimod der på figur 10 kun ses en minimal stigning over perioden på de fire uger.

For at kunne vurdere om der rent faktisk er tale om en signifikant forbedring, i vores conceptual span tests, er der blevet brugt en one-tailed t-test. For at gøre dette, tager man det første resultat, og sætter det op imod alle resultaterne fra de 12 tests, og undersøger det med et konfidensinterval på  $\alpha = 0.05$ , og ud fra dette kan man så vurdere om der har været en forbedring over de 4 uger mht. Conceptual Span testen.

| Data for Anders  |                       |
|------------------|-----------------------|
| P(T<=t) en-halet | 0,0000285551747844628 |

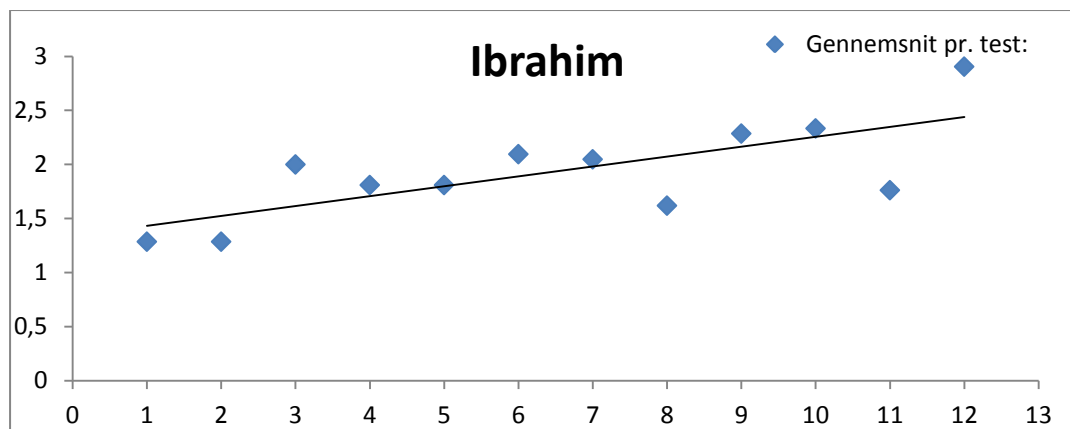
Tabel 4.1: Denne tabel viser one-tailed t-test for Anders, og den viser, at der en signifikant forbedring da ( $p = 0.000028$ ,  $\alpha = 0.05$ )



Figur 4.11: Denne figur viser det gennemsnitlige resultat for antal rigtige svar af de 12 conceptual span tests, som Anders har gennemført. På x-aksen ses nummeret på sessionen og y-aksen angiver gennemsnittet for antal rigtige svar pr. session. Ydermere er der tilføjet en tendenslinje for, at illustrere udviklingen.

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| <i>Data for Ibrahim</i> |                      |
| P(T<=t) en-halet        | 0,000213144791187338 |

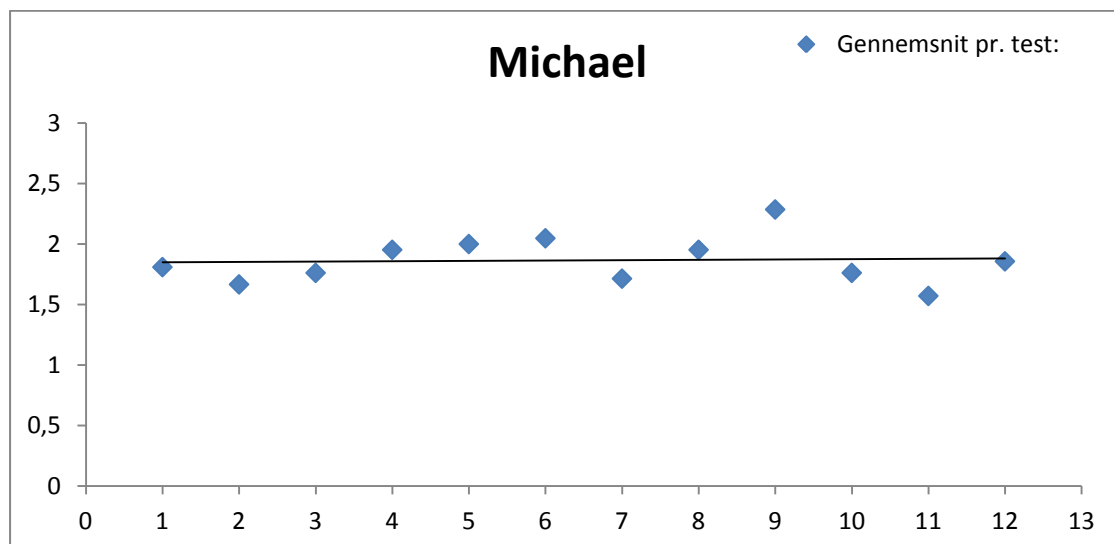
Tabel 4.1: Denne tabel viser one-tailed t-test for Ibrahim, og den viser, at der en signifikant forbedring da ( $p = 0.00021, \alpha = 0.05$ )



Figur 4.12: Denne figur viser det gennemsnitlige resultat for antal rigtige svar af de 12 conceptual span tests, som Ibrahim har gennemført. På x-aksen ses nummeret på sessionen og y-aksen angiver gennemsnittet for antal rigtige svar pr. session. Ydermere er der tilføjet en tendenslinje for, at illustrere udviklingen.

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| <i>Data for Michael</i> |                   |
| P(T<=t) en-halet        | 0,171947636556262 |

Tabel 4.2: Denne tabel viser one-tailed t-test for Michael, og den viser, at der ikke en signifikant forbedring da ( $p = 0.17, \alpha = 0.05$ )



Figur 4.13: Denne figur viser det gennemsnitlige resultat for antal rigtige svar af de 12 conceptual span tests, som Michael har gennemført. På x-aksen ses nummeret på sessionen og y-aksen angiver gennemsnittet for antal rigtige svar pr. session. Ydermere er der tilføjet en tendenslinje for, at illustrere udviklingen.

## 5 Diskussion

Dataene fra forsøgene bliver diskuteret med henblik på, at finde ud af, hvad der sker over en periode på fire uger, når man træner sin UA amplitude. Jeg vil forsøge, at give et svar på, hvad der sker ud over den ene uge, som tidligere forsøg har varet, og se om der er en sammenhæng, mellem den muligvis ændrede UA amplitude ens kognitive udfoldelse og den kontrol man skulle forsøge at opnå.

### 5.1 Effekten af NFT

Hvis man kigger på graferne, som er plottet ud fra vores data, ser vi en nedadgående tendens for alle 3 testpersoner over perioden på de fire uger (*se figur 4.1, 4.2 og 4.3 i Resultat afsnittet*). Det er dog interessant, at bemærke, at Anders og Ibrahim har en stigende tendens i løbet af den første uge (*se figur C.1 og C.5*), hvor Michael oplever en faldende tendens i uge 1 (*se figur C.9*). Så hvis man på den første uge, ser vi en forbedring på graferne for både Anders og Ibrahim. Udregningerne viser dog, at der ikke er tale om en signifikant forbedring, men dette stemmer meget godt overens med de resultater man ser i [Jensen, 2012]. For Michael er der en faldende tendens for den første uge, hvilket kunne indikere en manglende effekt fra NFT, som ca. 1/3 af personerne i [Jensen, 2012] også oplevede. Michael kan derfor tilnærmelsesvis klassificeres som en non-responder, hvilket kan forklare, at hans grafer ligger forholdsvis tæt på 1 over alle 4 uger. For Anders, kommer der nedadgående tendens til syne i uge to og tre, hvor det så ser ud til, at være stabiliseret igen i uge fire, og der ses en svag opadgående tendens. For Ibrahim er den nedadgående tendens mere tydelig i løbet af ugerne, og han ender i den sidste uge med en amplitude på 0,4 i forhold til hans første baseline den pågældende uge (*se figur C.8*). Michael oplevede en svingende tendens, hvor amplituden skiftevis falder og stiger fra uge til uge. Den faldende tendens vi ser, kunne muligvis have noget med motivationen og entusiasmen, at gøre, da det efter en uges tid, begynder, at blive rigtig kedeligt og fokusere på den samme firkant, og men bliver hurtigere træt i hovedet.

Så hvis man kigger på vores baseline, kan vi via beregninger (*se Appendix C, 5.2*) konkludere, at der ikke er sket en signifikant forbedring over alle 4 uger, og hvis vi kigger på den samlede gennemsnitlige data for alle 3 testpersoner, ses der faktisk en signifikant forringelse af baseline.

Kigger man på IAF graferne samt IAF dataene, ses der ikke umiddelbar nogen ændring i default state hos nogle af testpersonerne, hverken over den første uge eller set over alle 4 uger (*se afsnit C.4*). En ting der kan bemærkes er, at for alle 3 testpersoner svinger IAF peak frekvensen, men da den ikke er gennemgående stigende eller faldende, kan dette ikke forklares med en ændring i default state. Dog kan ses en ændring i styrken af signalet hos alle 3 testpersoner. Hos Anders stiger styrken med ca. 10dB og den falder hos Ibrahim og Michael med hhv. 20dB og 10dB. Sammenligner man med [Ivanova, 2012], bliver der heller ikke observeret et skift i default state efter træningen.

## 5.2 Conceptual span task

Ved at kigge på resultaterne fra conceptual span task er der blevet vist en signifikant forbedring for to af testpersonerne, Anders og Ibrahim (*Se figur 4.11 & 4.12*), hvorimod der for Michael ikke kunne påvises en signifikant forbedring. Andre tilsvarende forsøg, der tidligere er blevet udført, har også kunne vise en signifikant forbedring hos testpersoner [Vernon et al., 2003]. Kigger man på Michaels resultater ser man, at Michael lagde ud med, at have 1,8 i antal rigtige svar, hvor Anders og Ibrahim kun havde hhv. 1,33 og 1,29. Det giver mere plads til udvikling hos Anders og Ibrahim, da de er længere fra det maksimale antal rigtige svar, som i det her tilfælde er 3. Anders og Ibrahim ender dog med, at have henholdsvis 2.1 og 2.9 rigtige svar i gennemsnit hvilket kunne indikere, at der også burde have været mulighed for, at Michael kunne have opnået en forbedring.

En ting som også kan påvirke resultatet af testen, er opbygningen af testen, og folks relation til de ord der indgår. De ord som bliver brugt i testen kan også påvirke resultaterne for den enkelte person. Ordene i denne test (*se Appendix B*), er meget almindelige ord set fra en dansk persons synspunkt, hvor de måske ikke er lige så almindelige for en person der kommer fra et andet land eller kontinent, og denne forbindelse til ordene, kan have noget, at gøre med hvor god man er til, at huske dem. Derudover ligger nogle af ordene tæt op ad andre kategorier. Dette ses fx med ordet peberfrugt, som man godt kunne snydes til, at tro var en frugt, og på den måde kan resultatet også påvirkes.

Hvis vi sammenligner resultaterne fra conceptual span task, og målingerne fra vores NFT, er der umiddelbar ikke nogen sammenhæng over hele perioden på fire uger. Anders og Ibrahim får begge flere rigtige svar som træningen skrider frem, men set ud fra deres NFT målinger, er der umiddelbart ikke nogen sammenhæng da begge er faldende set over de fire uger. Her er det kun den første uge, hvor man kan se, at NFT målingerne stemmer overens med resultaterne fra conceptual span task. Michaels resultater fra conceptual span task viste, at der ikke var tale om en signifikant forbedring, hvilket stemmer godt overens med Michaels resultater fra NFT, hvor man heller ikke så nogen effekt.

En anden kognitiv test man kunne have udført var en mental rotations test, som går ud på, at man skal vurdere om der er 2 af figurerne man får præsenteret som er ens. Testen bliver så vurderet ud fra antal rigtige svar og besvarelses tid. Forskellen på denne form for kognitiv test og conceptual span task som vi brugte er, at den mentale rotations test handler om hvor god man er til, at håndtere rummelige objekter, og dreje punkter om hinanden. I en conceptual span task er der i stedet fokus på hukommelsen og hvor god man er til, at kategorisere ting, også kaldet semantic processing. Alligevel kan det stadig være muligt, at se visse ligheder mellem disse forskellige kognitive tests.

I [Zoefel, B., et al., 2010] ser man, at NFT gruppen som oplevede en forbedring af UA, også opnåede en bedre kognitiv præstation. Kontrol gruppen manglede ud over en forbedring i deres UA, også markante forskelle i deres kognitive præstationer. Hvis vi kun ser på den første uge, den længde tidligere forsøg har været, ser vi en forbedring i UA hos Anders og Ibrahim (*se Appendix C, C.1 & C.2*). Denne forbedring stemmer godt overens med den udvikling vi ser på deres kognitive test (*se afsnit 4.2, figur 11 & 12*), hvor der i samme periode også er en stigende tendens i antallet af rigtige svar hos begge personer. Hvis vi ser

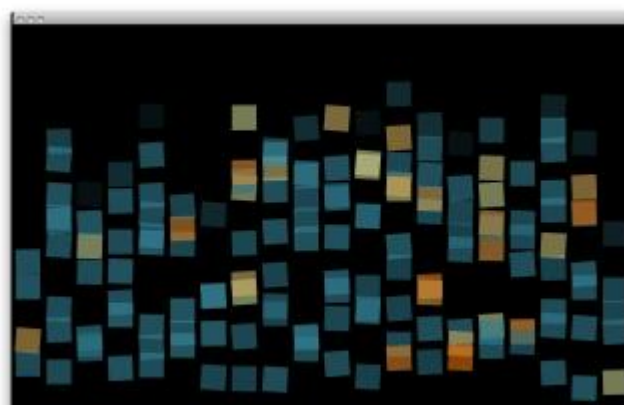
på Michaels første uge (*Appendix C, C.3*), er der en faldende tendens, og derfor ikke nogen umiddelbar forbedring af UA. Den kognitive test Michael udførte, viste heller ikke nogen tegn på forbedring (*se afsnit 4.3, figur 13*). Dette indikerer, at der kunne være en overensstemmelse med det man så hos kontrol gruppen i [Zoefel, B., et al., 2010].

### 5.3 Interface feedback og kontrol

I forhold til vores data er der ikke umiddelbar nogen sammenhæng mellem vores NFT og baselines i forhold til vores UA amplitude over de fire uger. Personligt følte jeg selv (Anders), at jeg opnåede en eller anden form for kontrol, da jeg tænkte på og forestillede mig forskellige ting. Når jeg koncentrerede mig rigtig meget, kunne jeg godt få en rød firkant frem (*Se afsnit 3.3 Interface*), men det var utrolig svært, at fastholde denne koncentration, og det fungerede ikke, at koncentrere sig om det samme hele tiden. Derimod blev jeg mere træt, i hovedet i løbet af forsøgsperioden hvilket gjorde, at det blev svært, at frembringe den røde firkant hvilket resulterede i, at motivationen og entusiasmen dalede.

Vores data kunne indikere, at Anders og Ibrahim i den første uge opnåede en form for kontrol, da amplituden er stigende (*se figur 14 og 18 i Appendix C*), men det ses også, at amplituden falder i de efterfølgende uger. Anders følte, at han kunne opnå en form for kontrol over interfacet, hvorimod Ibrahim kommenterede løbende gennem de 4 uger, at han ikke selv opleve en følelse af kontrol, selvom dataene viser en kontrol den første uge. For Michael er der umiddelbart ikke opnået nogen kontrol da amplituden skiftevis falder og stiger, og der kan ikke umiddelbart siges noget konkret ud fra vores data. En af grundene til, at vi ser en faldende tendens kunne være, at efter den første uge, finder man ud af hvor hårdt det egentlig er, at fokusere så meget på, at få en firkant til, at blive rød. Den entusiasme man havde i den første uge forsvinder stille og roligt, hvilket målingerne fra uge to til fire hos Anders og Ibrahim også kunne indikere. Ydermere er det ikke det mest ophidsende interface, når alt man interagerer med, er en firkant der skifter mellem tre farver.

Andre NFT forsøg har vist, at det er muligt, at opnå en bedre kontrol, hvis man ændre på det interface man bruger. Et tidligere forsøg brugte et interface, hvor man viste den gennemsnitlige UA amplitude over en længere periode for, at undgå, som i vores tilfælde, at skærmen hele tiden blinker, og i stedet have noget mere stabilt, at forholde sig til [Ivanova, 2012]. Dette forsøg viste også, at hvis der var flere informationer i interfacet, havde testpersonerne lettere ved, at opnå en kontrol.



**Figur 5.1:** Viser et eksempel på et interface, med mere detaljeret information omkring UA amplituden, inklusiv udviklingen af UA amplituden over tid. [Ivanova, 2012]

Dette kunne muligvis have resulteret i andre resultater over de 4 uger ved, at hjælpe med, at holde koncentrationen med interfacet og mindsket muligheden for, at det der kaldes "mind wandering" ville opstå. Mind wandering betyder, at ens tanker "flyver rundt" og er svære, at styre fordi man har svært ved, at fastholde koncentrationen, og derved kan man miste kontrollen. Derfor ville et andet interface muligvis kunne have givet nogle andre resultater set over de 4 uger.

## 5.4 Forslag til fremtidigt arbejde

Forslagene kan deles op i forskellige kategorier alt efter hvilke dele af forsøget der er tale om, og jeg har valgt, at dele forslagene op i følgende kategorier:

- Deltagere
- Interface, herunder også lidt om træningsforhold
- Træningsperiode
- Conceptual span task.

Da vi ikke havde nogen kontrol gruppe med i vores forsøg, ville dette være en oplagt ændring til fremtidige forsøg, da man så vil have mulighed for, at kunne verificere de resultater man får. Ydermere kunne det være en fordel, at få en større gruppe til, at være med i forsøget, for det er svært, at sige noget generelt når man kun har data fra 3 personer. Dog bekræfter vores data over den første uge, det man har set i tidligere forsøg over en uge, hvorimod det i de efterfølgende uger bliver svære, at se NFT kan have en langsigtet effekt. Derudover kunne det være interessant, at lave forsøget med forskellige aldersgrupper, da man ved, at bl.a. folks alder har en indflydelse på ens IAF.

Fordi den data der blev indsamlet, viste de faldende tendenser hos testpersonerne over de 4 uger, vil det være smart, at fortsætte de fremtidige forsøg under kontrollerede forhold. Umiddelbart påvirkede omgivelserne ikke vores koncentration eller målingerne. Men for, at undersøge, om en ændring af interfacet vil ændre på motivationen og koncentrationen, vil det være smart, at fortsætte under kontrollerede forhold, da man så kan udelukke omgivelsernes påvirkning af motivationen, hvis man skulle se en forbedring. Ændring af interfacet kan deles op i 3 områder:

- Tidsvinduet: Man kunne ændre tidsvinduet længde for, at se om det ville have en effekt på ens kontrol, hvis man fx så dataen i længere tid ad gangen.
- Grafisk design: Det der ses i [Ivanova, 2012], kunne være et eksempel på et interface med flere informationer, hvor man kan se ens udvikling, i stedet for kun et øjebliksbillede. Dette kunne gøre det nemmere, at fastholde koncentrationen over en længere periode.
- Interaktion: Hører lidt ind under det grafiske design. Man kunne prøve, at lave et interface, hvor brugeren skulle forsøge, at "spille" et spil, fx få en kanin til, at hoppe over et hegn. På den måde kunne man gøre, at træningen foregik på en sådan måde, at man ikke følte, det var træning, men derimod et sjovt spil.

Udover en ændring af interfacet, ville en ændring af træningsperioden være en mulighed. Hvis man efter hver uge holdt en pause på en uge, og herefter fortsatte igen, ville motivationen muligvis ikke være så forsvindende som vi oplevede, hvilket også kunne

påvirke resultaterne. På den måde ville det også være muligt, at begynde og undersøge, om en evt. opnået kontrol og en forbedring af de udførte kognitive opgaver, ville være blivende eller om det ville kræve konstant træning, at bibeholde effekten.

En ændring af conceptual span task ved, at tilføre flere ord og kategorier ville øge den tilfældighed der er indbygget i testen. Jo flere ord der er, jo større chance er der for, at man ikke har set ordet i en tidligere test, og dermed vil testen kunne reducere muligheden for, at den effekt man ser, er fordi man har set ordene og kategorierne mange gange.

## 6 Konklusion

Denne afhandling har beskæftiget sig med muligheden for, at bruge wireless EEG headsets og tablets, til neurofeedback træning af alpha frekvensen i hjernen, og set på om denne træning har haft en indflydelse på ens kognitive præstationer. Træningen og de kognitive tests blev udført i et lille lokale, over en periode på 4 uger.

Vi kan ud fra vores formål med projektet konkludere, at det har været muligt, at foretage en relevant måling af alpha med noget meget simpelt udstyr bestående af et wireless EEG headset samt en tablet. Da vi i den første uge fik tilnærmelsesvis samme resultater som testpersonerne i [Jensen, 2012]

Den første uge så vi en kontrol mht. alpha aktiviteten, da der var en øget aktivitet i forhold til baseline, men den faldende tendens over de næste 3 uger tyder på, at kontrollen er svær, at fastholde. Vores erfaringer taler for, at motivationen falder hvilket resulterer i en svigtende koncentration og, at grunden hertil var det interface der blev brugt. Ydermere ses der ikke noget skift i default state af baseline kun, at styrken er hhv. stigende for Anders og faldende for Ibrahim og Michael.

Alle 3 testpersoner viste en forbedring i deres Conceptual span task, men det var kun ved Anders og Ibrahim, at der var tale om en signifikant ændring. Umiddelbart kan man ikke konkludere, at den effekt man så ved NFT, hos Anders og Ibrahim, havde en indflydelse på deres Conceptual span task resultater, da deres NFT viste en faldende tendens over alle 4 uger, og kun i den første uge var der tale om en stigende tendens. Det kan derfor konkluderes, at der kan ses en forbedring i Conceptual span task, ved de to personer hvor dataene indikerede en opnået kontrol den første uge af NFT, men der kan ikke påvises en sammenhæng mellem NFT og Conceptual span task.

Vi kan konkludere, at en af de vigtigste faktorer er motivationen. Når motivationen hos testpersonerne var til stede, så vi resultater der stemte overens med tidligere forsøg, men som motivationen faldt, faldt kontrollen under NFT sessionerne også. At motivation faldt, kan skyldes flere ting, men de personlige erfaringer fra testpersonerne taler for, at designet af interfacet med en rød og blå firkant simpelthen er for kedeligt, at arbejde med over længere tid.

Til sidst kan det konkluderes, at resultaterne fra tidligere forsøg er blevet bekræftet, dog kan der stilles ”?” ved, om det er muligt, at konkludere noget ud fra blot en enkelt uges NFT. Et nyt perspektiv er blevet tilføjet til forskningen indenfor neurofeedback, hvad sker der over længere tid (4 uger), og vi så en klar afvigelse i forhold til dataene fra en enkelt uge. Ydermere er det blevet gjort klart, hvor vigtigt interfacet kan være, når vi snakker neurofeedback.

## Appendix A

### A.1 Neurofeedback training vejledning

**OBS:**

- Forsøget skal helst laves i et mørk, lyddæmpet rum.
- Sluk alle stikkontakter og lys, da disse sender 50 Hz signal ud.
- Undgå at lave fysisk aktivitet (som for pulsen til at stige eller får dig til at svede) i 20 min inden forsøget starter.
- Undgå at blinke, synke, spænde i kæben eller andre muskler, forsøg at sid helt stille.
- Kig altid på feedbacket og ikke på skærm baggrunden eller omgivelserne, da eks sort/mørke automatisk vil øge ens alpha frekvenser.

Træning uge\_\_

**Mandag:**

- ☐ Baseline (B1)
- ☐ Conceptual span task (C)
- ☐ Træning (T1)
- ☐ Træning (T2)
- ☐ Træning (T3)
- ☐ Træning (T4)
- ☐ Træning (T5)
- ☐ Baseline (B2)

Strategi (hvad fungerede godt/ ikke?):

---

---

---

---

Øvrige kommentarer (træt, drukket kaffe osv.):

---

---

**Tirsdag:**

- ☐ Baseline (B1)
- ☐ Træning (T1)
- ☐ Træning (T2)
- ☐ Træning (T3)
- ☐ Træning (T4)
- ☐ Træning (T5)
- ☐ Baseline (B2)

Strategi (hvad fungerede godt/ ikke?):

---

---

---

---

Øvrige kommentarer (træt, drukket kaffe osv.):

---

---

**Onsdag:**

- ☐ Baseline (B1)
- ☐ Conceptual span task (C)
- ☐ Træning (T1)
- ☐ Træning (T2)
- ☐ Træning (T3)
- ☐ Træning (T4)
- ☐ Træning (T5)
- ☐ Baseline (B2)

Strategi (hvad fungerede godt/ ikke?):

---

---

---

---

Øvrige kommentarer (træt, drukket kaffe osv.):

---

---

**Torsdag:**

- ☐ Baseline (B1)
- ☐ Træning (T1)
- ☐ Træning (T2)
- ☐ Træning (T3)
- ☐ Træning (T4)
- ☐ Træning (T5)
- ☐ Baseline (B2)

Strategi (hvad fungerede godt/ ikke?):

---

---

---

---

Øvrige kommentarer (træt, drukket kaffe osv.):

---

---

**Fredag:**

- ☐ Baseline (B1)
- ☐ Conceptual span task (C)
- ☐ Træning (T1)
- ☐ Træning (T2)
- ☐ Træning (T3)
- ☐ Træning (T4)
- ☐ Træning (T5)
- ☐ Baseline (B2)

Strategi (hvad fungerede godt/ ikke?):

---

---

---

---

Øvrige kommentarer (træt, drukket kaffe osv.):

---

---

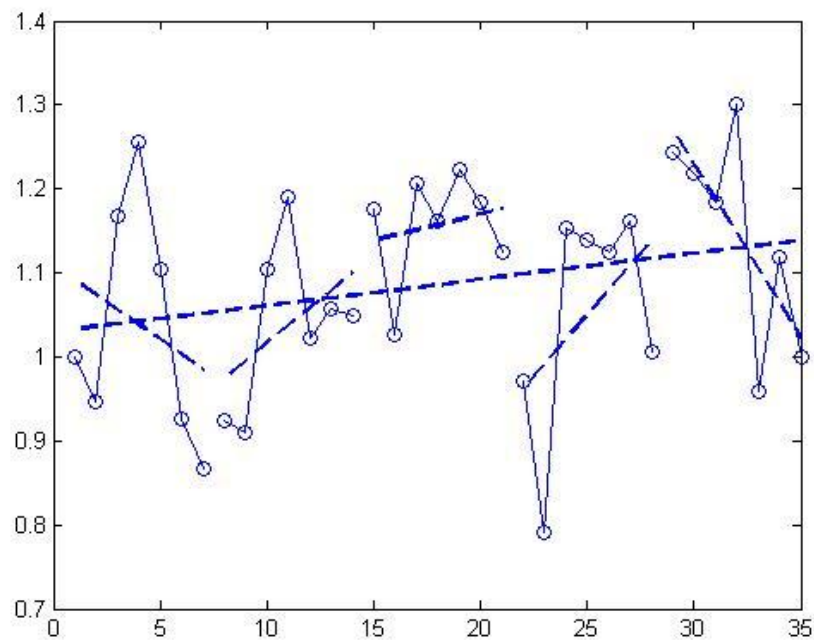
## Appendix B

### B.1 Conceptual span task Kategorier

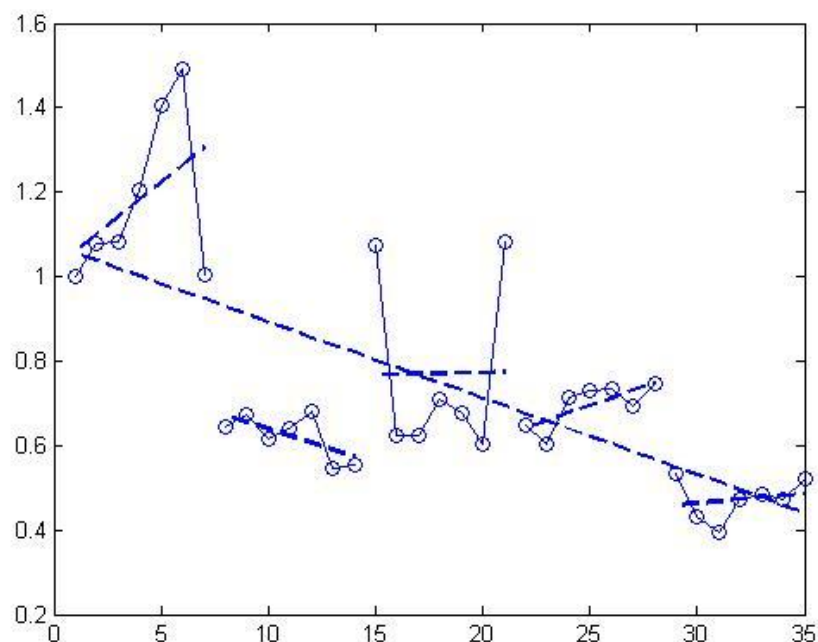
| Frugt    | Dyr     | Elektroniske ting | Transportmidler | Tøj     | Grønsager  | Instrumenter |
|----------|---------|-------------------|-----------------|---------|------------|--------------|
| pære     | tiger   | lampe             | vogn            | hat     | asparges   | violin       |
| æble     | elefant | telefon           | cykel           | jakke   | gulerod    | guitar       |
| vindrue  | ged     | pladeafspiller    | helicopter      | vante   | majs       | horn         |
| banan    | hjort   | fjernsyn          | bus             | kjole   | salat      | trumpet      |
| citron   | svane   | computer          | lastbil         | sok     | svamp      | klaver       |
| kirsebær | kanin   | strygejern        | fly             | frakke  | løg        | harpe        |
| jordbær  | gorilla | brødrister        | motorcykel      | hanske  | peberfrugt | harmonika    |
| fersken  | gris    | køleskab          | tog             | sweater | kartoffel  | fløjte       |
| appelsin | ørn     | elkedel           | sejlbåd         | vest    | græskar    | tromme       |

## Appendix C – NFT grafer og data

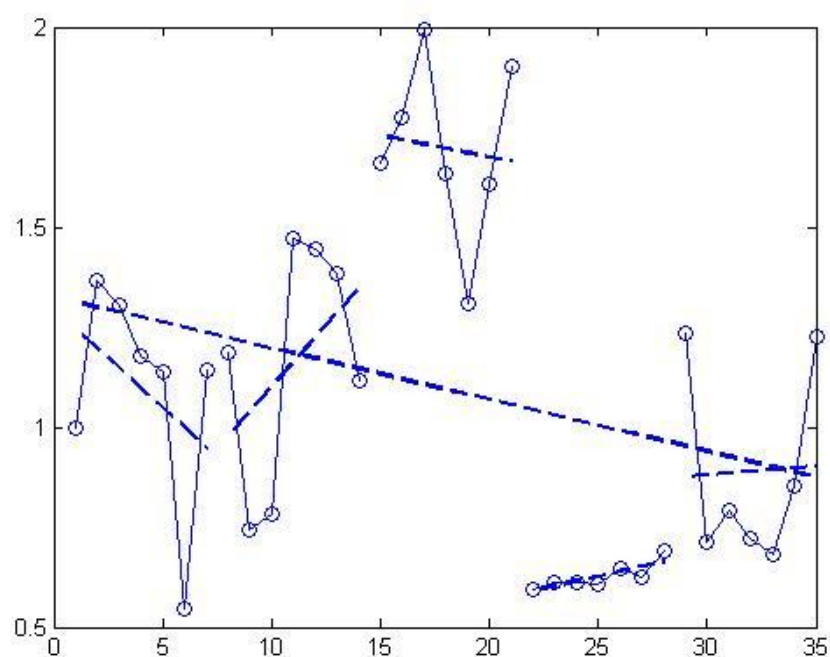
### C.1 Grafer for neurofeedback training – Anders



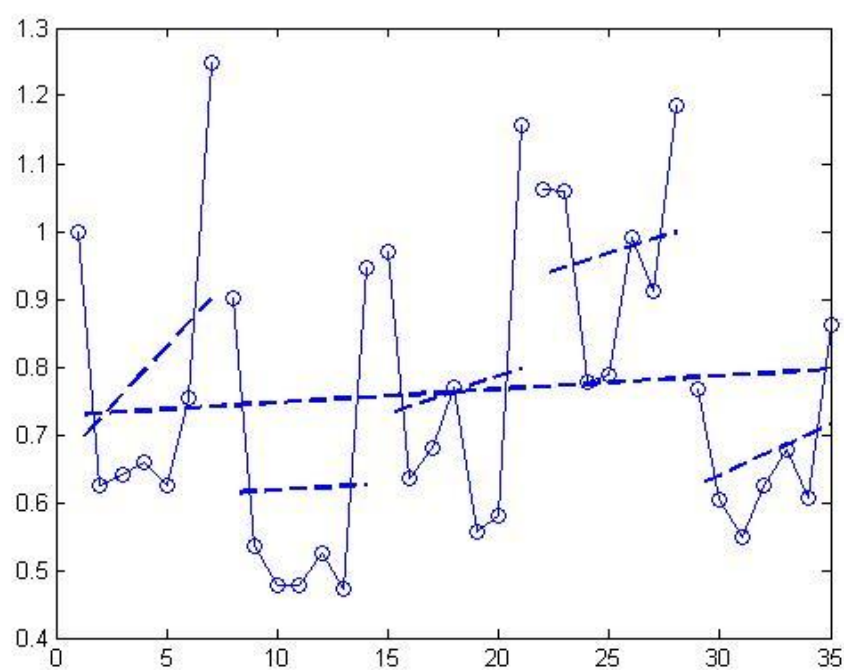
Figur C.1.1: Grafen for første uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Anders.



Figur C.1.2: Grafen for anden uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Anders.

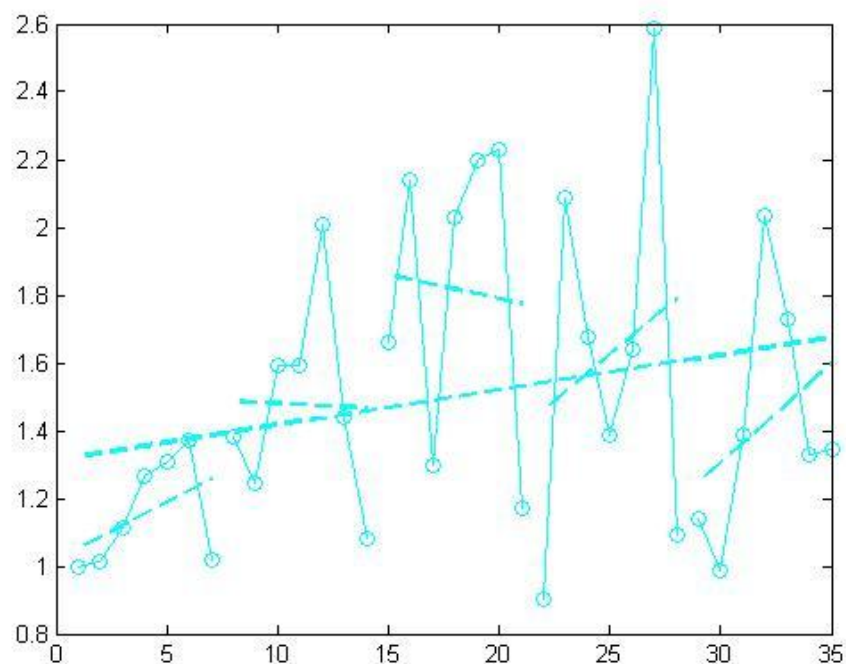


Figur C.1.3: Grafen for tredje uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Anders.

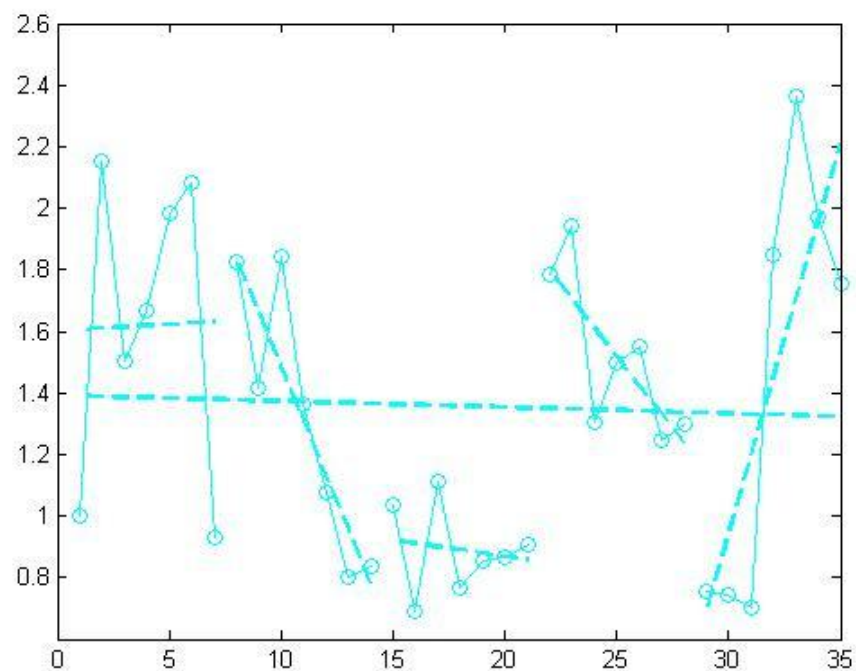


Figur C.1.4: Grafen for fjerde uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Anders.

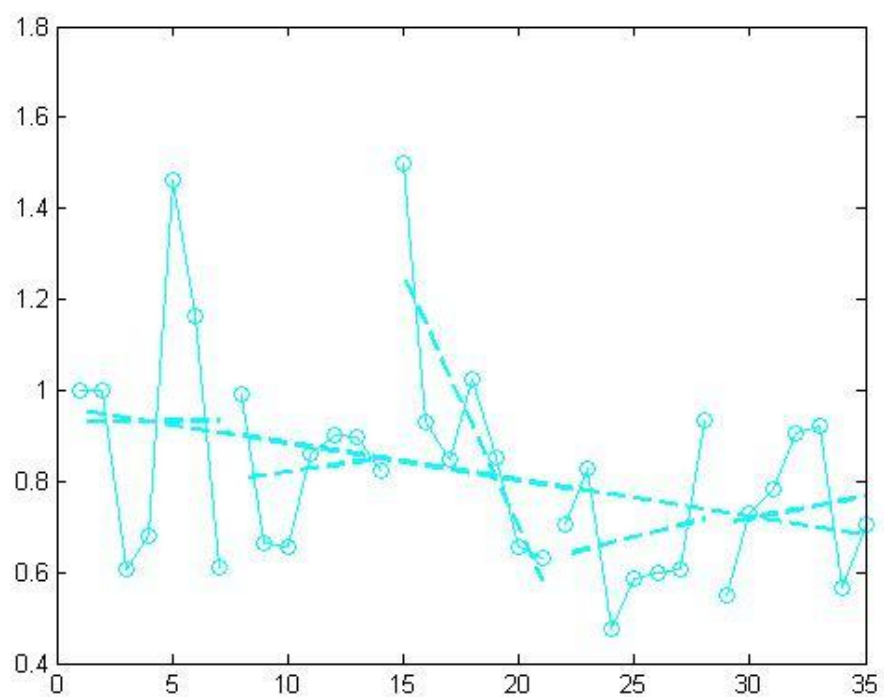
## C.2 Grafer for neurofeedback training – Ibrahim



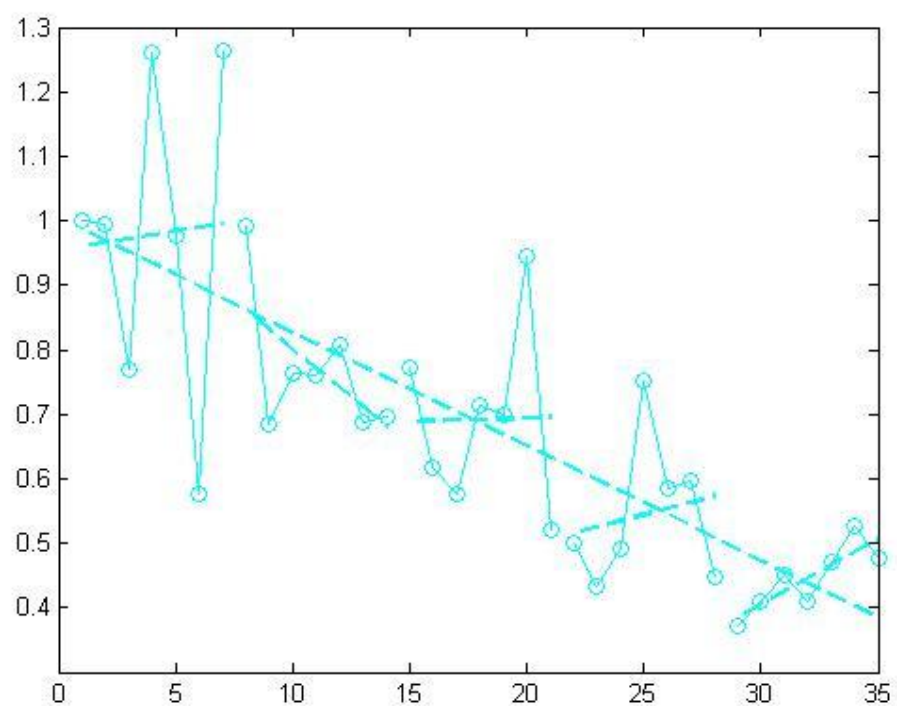
Figur C.2.1: Grafen for første uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Ibrahim.



Figur C.2.2: Grafen for anden uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Ibrahim.

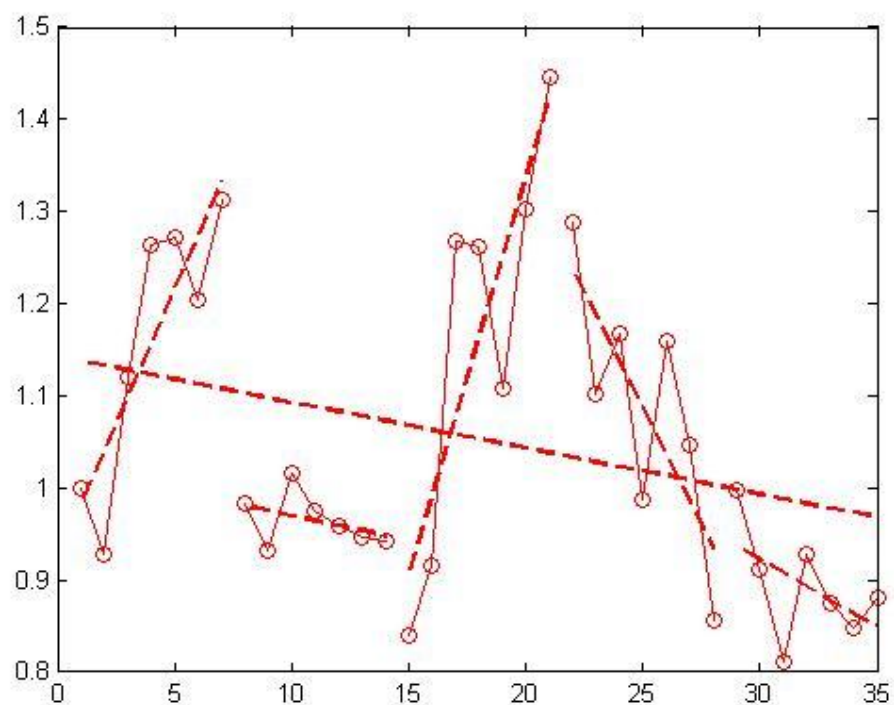


Figur C.2.3: Grafen for tredje uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Ibrahim.

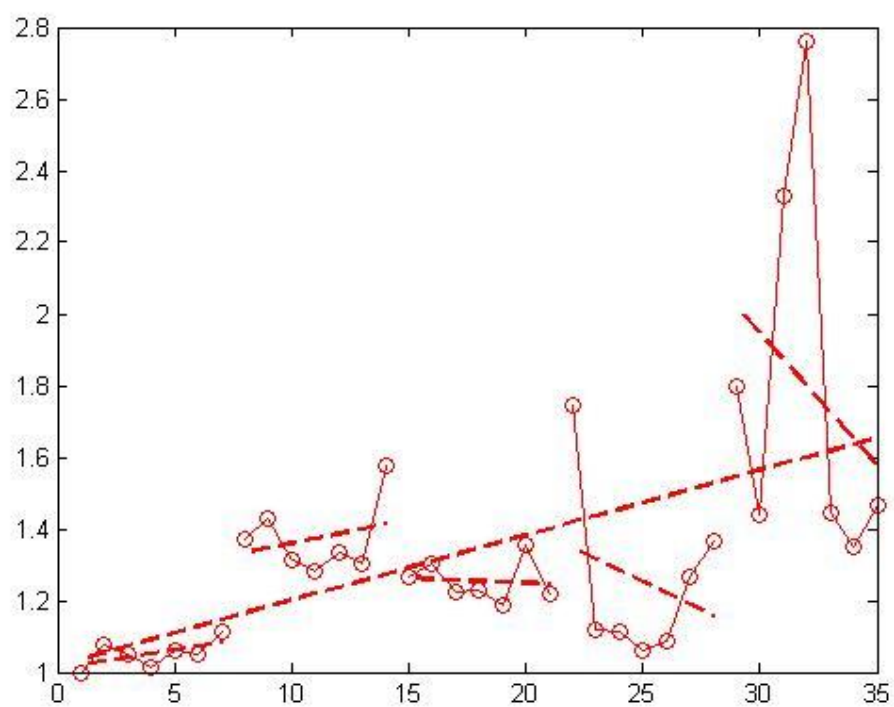


Figur C.2.4: Grafen for fjerde uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Ibrahim.

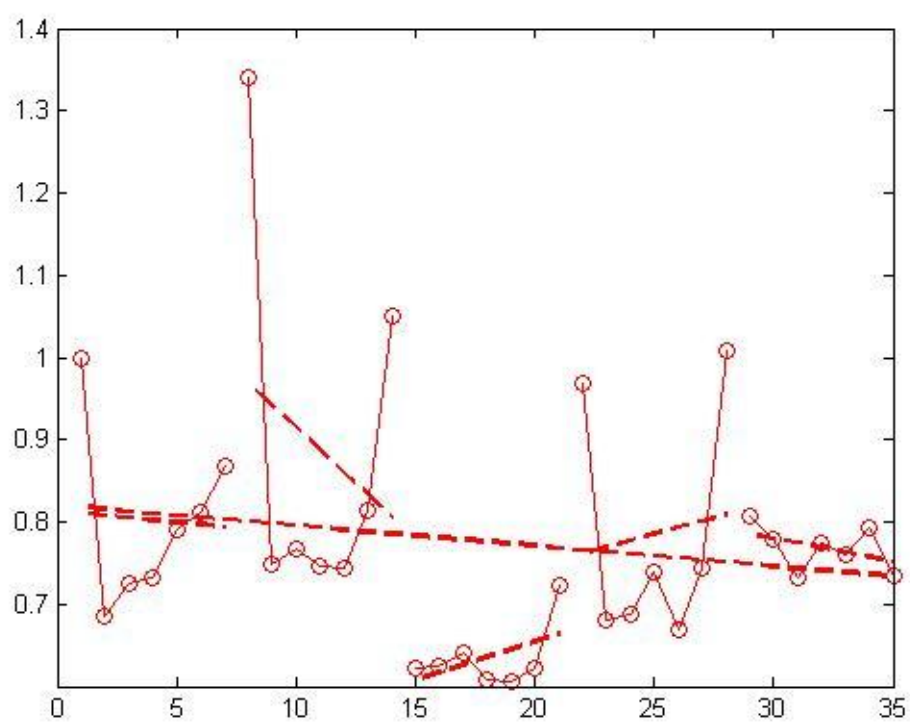
### C.3 Grafer for neurofeedback training – Michael



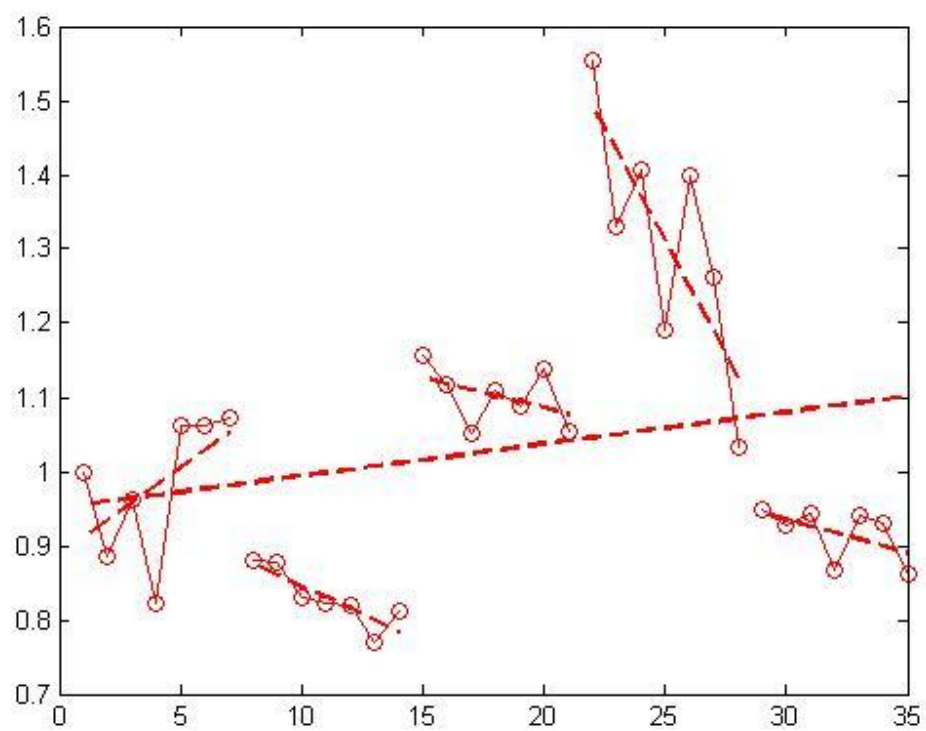
Figur C.3.1: Grafen for første uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Michael.



Figur C.3.2 Grafen for anden uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Michael.



Figur C.3.3: Grafen for tredje uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Michael.



Figur C.3.4: Grafen for fjerde uges træning, med tilhørende tendenslinjer for hver dag og over hele ugen, for Michael.

## C.4 IAF data

| Uge 1       | Mandag   | Tirsdag  | Onsdag   | Torsdag  | Fredag   |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Anders IAF  | 9,164189 | 9,191034 | 9,093721 | 8,563534 | 8,892384 |
| Ibrahim IAF | 9,508245 | 8,308507 | 8,905807 | 9,160834 | 9,395727 |
| Michael IAF | 8,150793 | 8,229482 | 8,144082 | 8,265317 | 10,26819 |
| Middelværði | 8,941076 | 8,576341 | 8,714537 | 8,663228 | 9,518766 |
| Varians     | 0,498004 | 0,284947 | 0,252892 | 0,207942 | 0,484562 |

| Uge 2       | Mandag   | Tirsdag  | Onsdag   | Torsdag  | Fredag   |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Anders IAF  | 8,001692 | 9,041342 | 8,331996 | 9,231302 | 9,399082 |
| Ibrahim IAF | 8,794201 | 8,927345 | 10,33894 | 8,561076 | 8,500223 |
| Michael IAF | 10,9326  | 10,01316 | 8,509844 | 8,24475  | 8,538927 |
| Middelværði | 9,242831 | 9,327282 | 9,06026  | 8,679043 | 8,812744 |
| Varians     | 2,298506 | 0,35607  | 1,234176 | 0,253758 | 0,258219 |

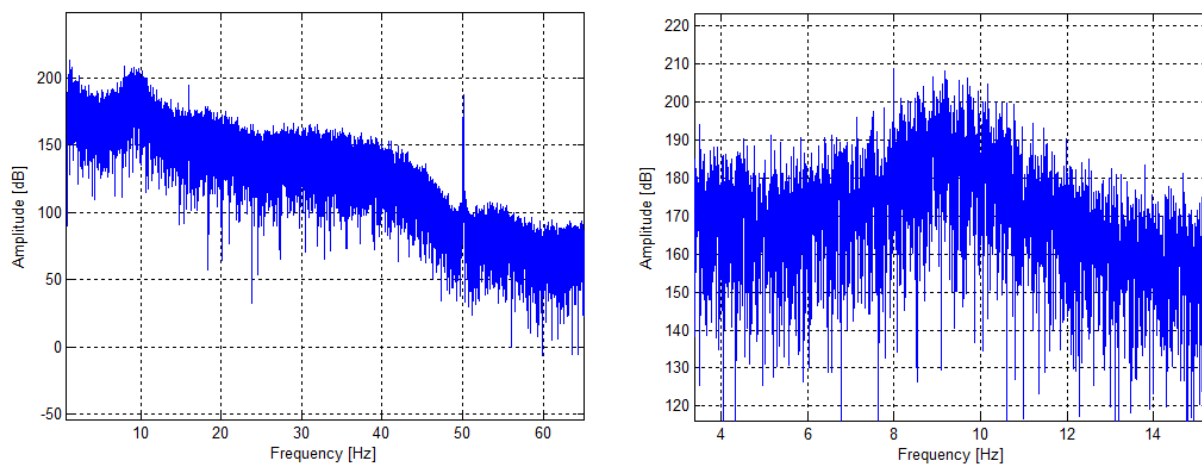
| Uge 3       | Mandag   | Tirsdag  | Onsdag   | Torsdag  | Fredag   |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Anders IAF  | 8,939363 | 8,731315 | 8,000841 | 9,82189  | 9,006475 |
| Ibrahim IAF | 8,919229 | 9,474601 | 9,368882 | 10,042   | 9,893931 |
| Michael IAF | 8,603801 | 8,220462 | 10,34537 | 8,402905 | 8,3222   |
| Middelværði | 8,820798 | 8,808792 | 9,238363 | 9,422264 | 9,074202 |
| Varians     | 0,035417 | 0,397718 | 1,386976 | 0,791431 | 0,621025 |

| Uge 4       | Mandag   | Tirsdag  | Onsdag   | Torsdag  | Fredag   |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Anders IAF  | 8,613868 | 8,936007 | 8,976606 | 8,935314 | 9,097077 |
| Ibrahim IAF | 8,466443 | 9,412357 | 8,962852 | 9,355459 | 9,79169  |
| Michael IAF | 8,714537 | 9,41769  | 8,3222   | 8,265317 | 8,989933 |
| Middelværði | 8,598283 | 9,255351 | 8,753886 | 8,85203  | 9,2929   |
| Varians     | 0,01557  | 0,076493 | 0,139812 | 0,302305 | 0,189463 |

Tabel C.4.1: Viser hver testpersons IAF værdi for hver dag i hver uge, samt middelværdien for og variansen mellem de tre testpersoner

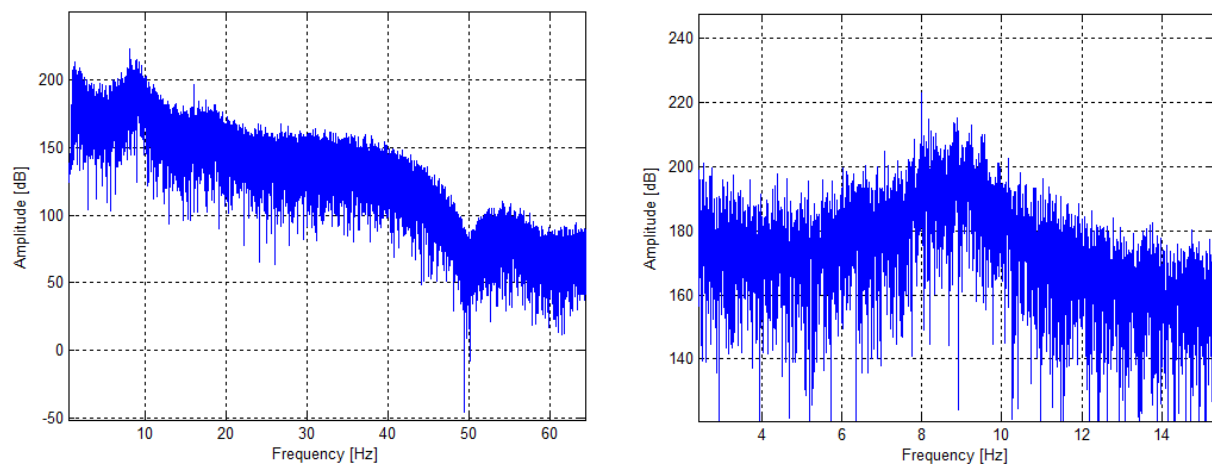
### C.4.1 IAF grafer – Anders

Anders, IAF peak, mandag uge 1

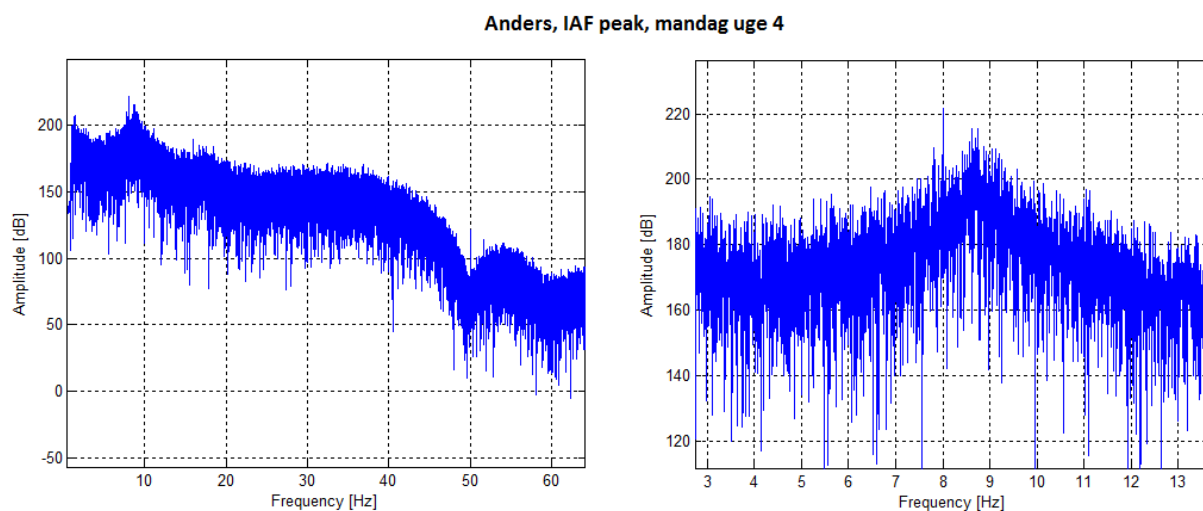


Figur C.4.1: Viser IAF peak for Anders, første dag i uge 1.

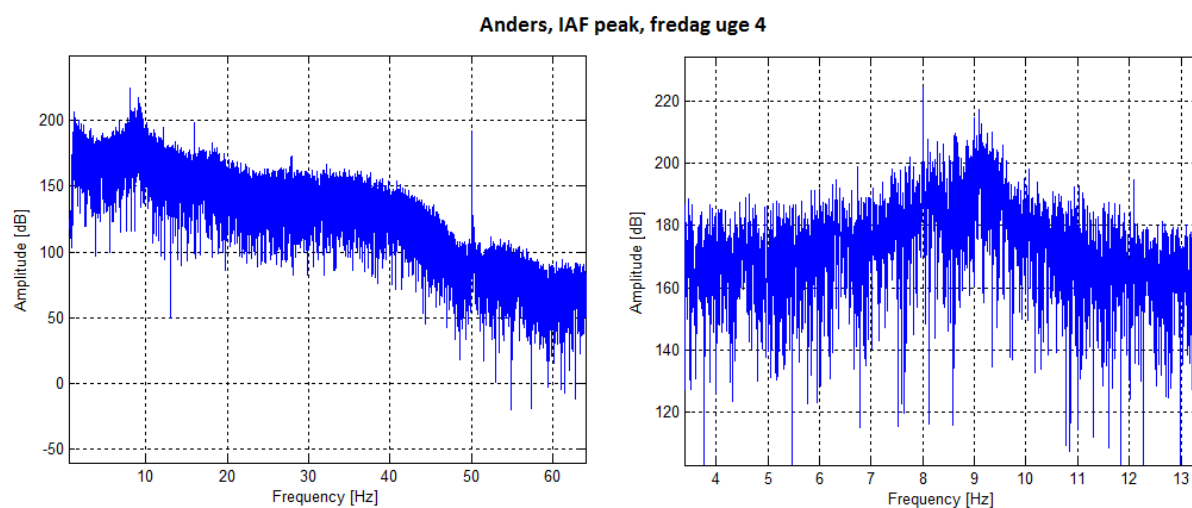
Anders, IAF peak, fredag uge 1



Figur4.2: Viser IAF peak for Anders, sidste dag i uge 1.

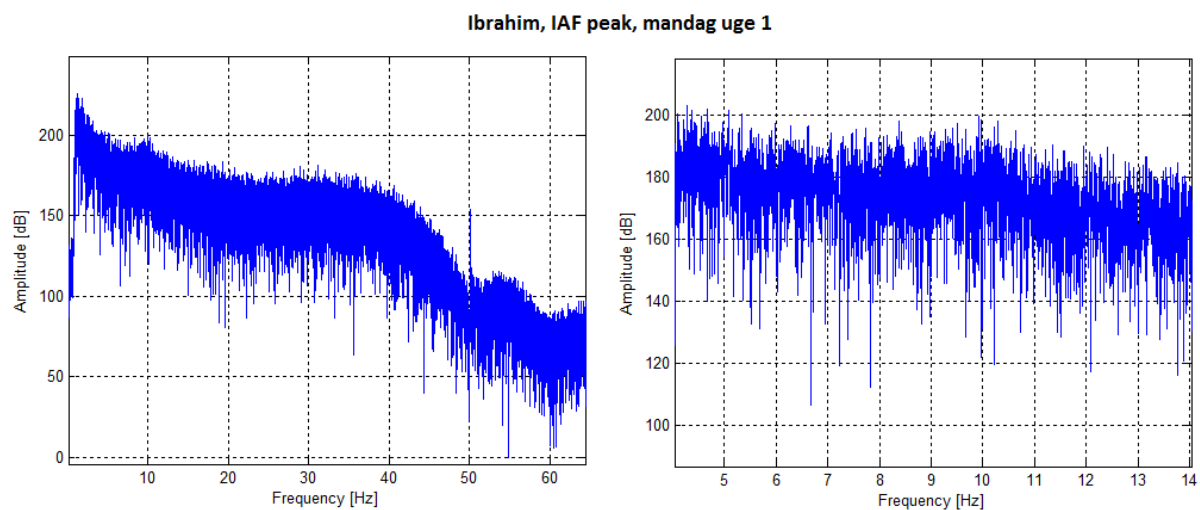


Figur C.4.3: Viser IAF peak for Anders, første dag uge 4.

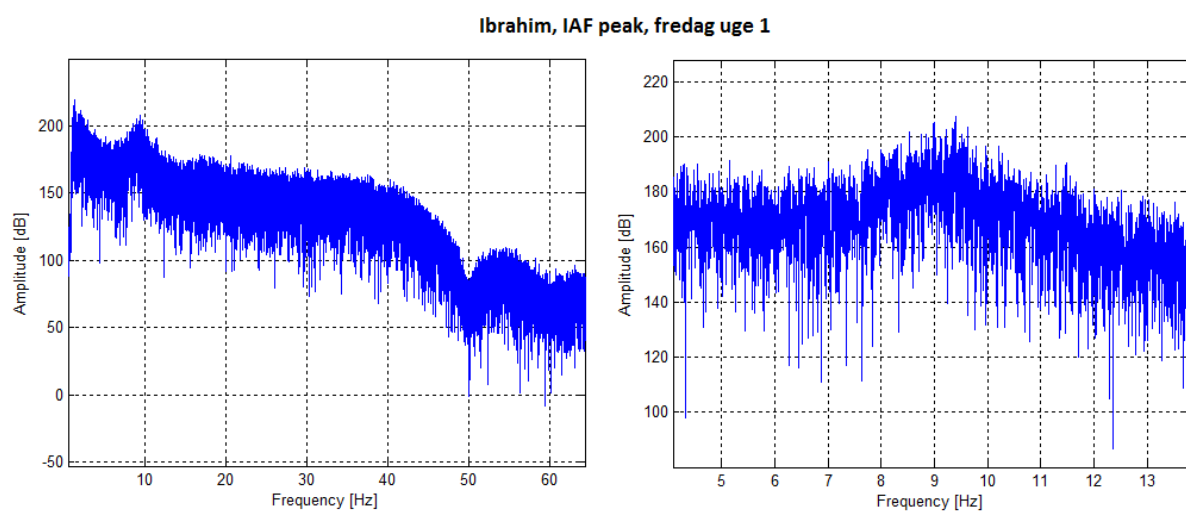


Figur C.4.4: Viser IAF peak for Anders, sidste dag uge 4.

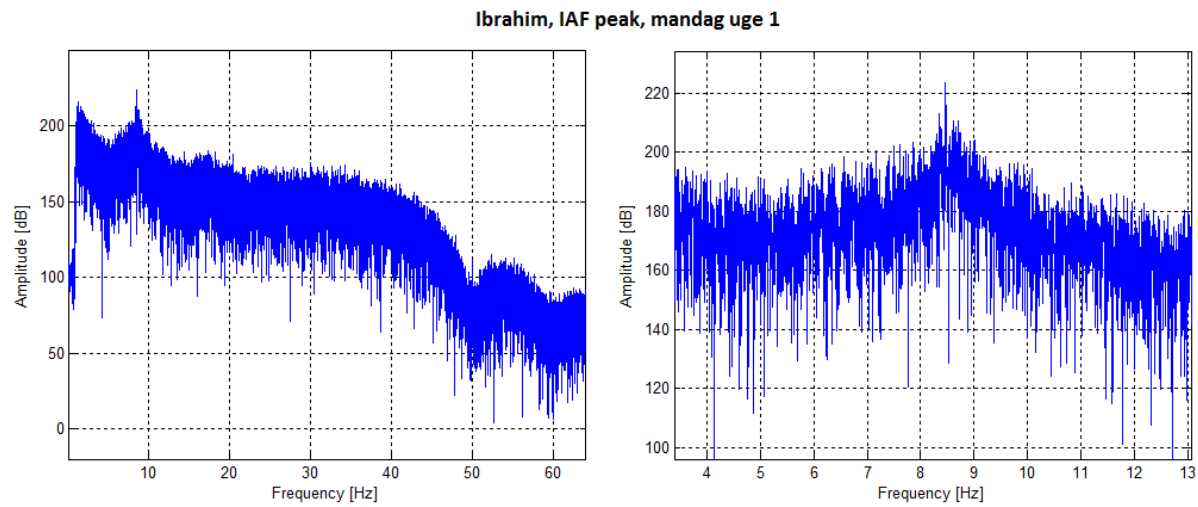
### C.4.2 IAF grafer – Ibrahim



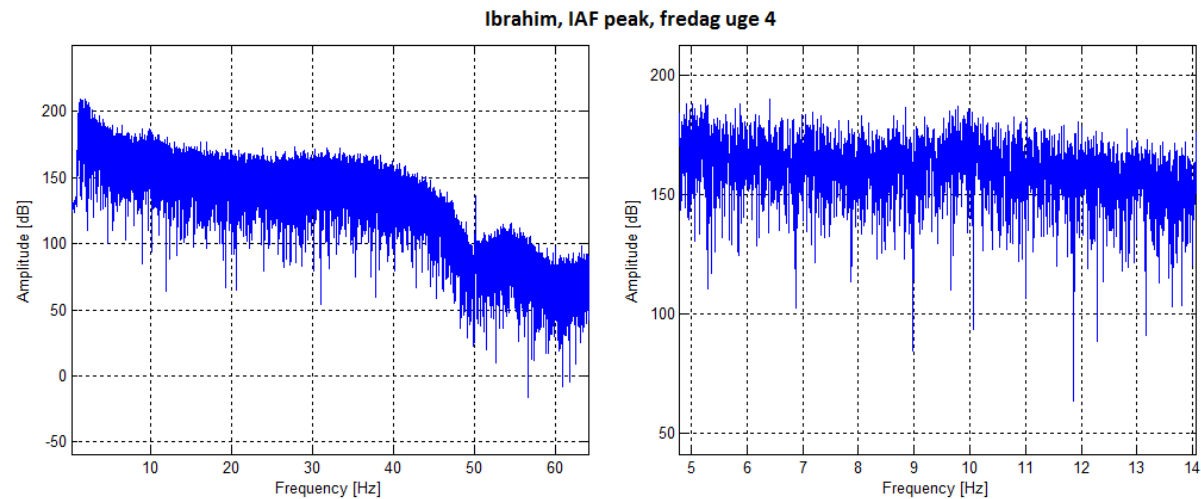
Figur C.4.5: Viser IAF peak for Ibrahim, første dag uge 1.



Figur C.4.6: Viser IAF peak for Ibrahim, sidste dag uge 1.



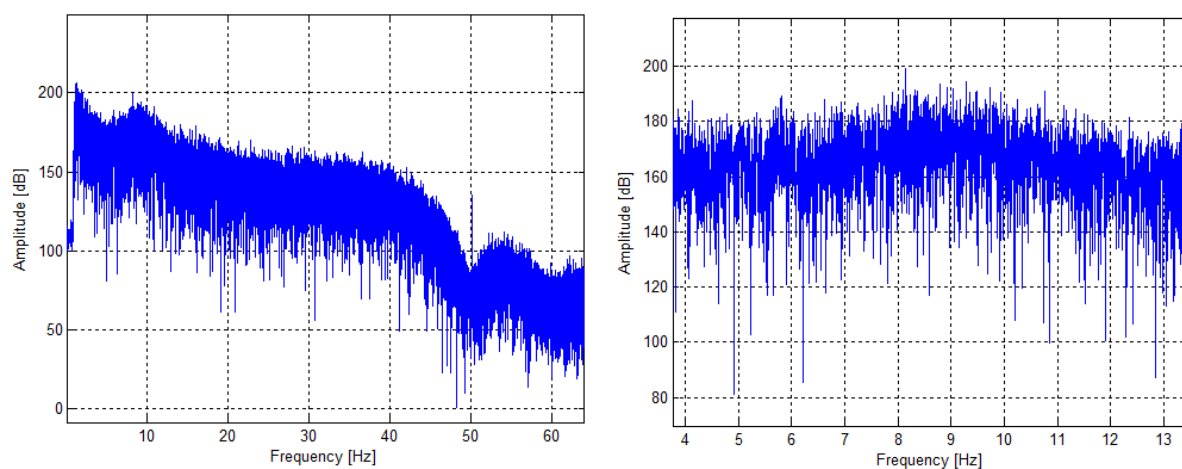
Figur C.4.7: Viser IAF peak for Ibrahim, første dag uge 4.



Figur C.4.8: Viser IAF peak for Ibrahim, sidste dag uge 4.

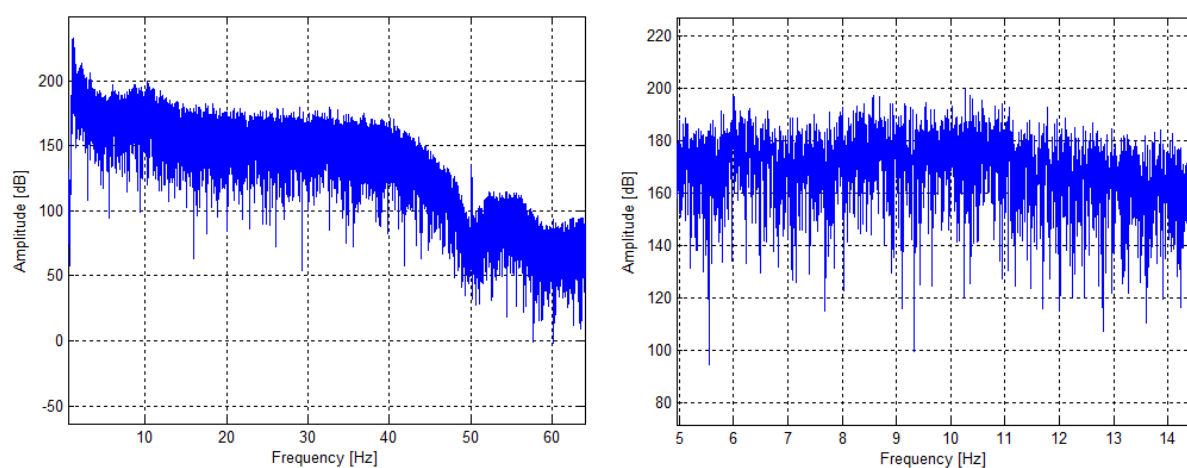
### C.4.3 IAF grafer – Michael

Michael, IAF peak, mandag uge 1

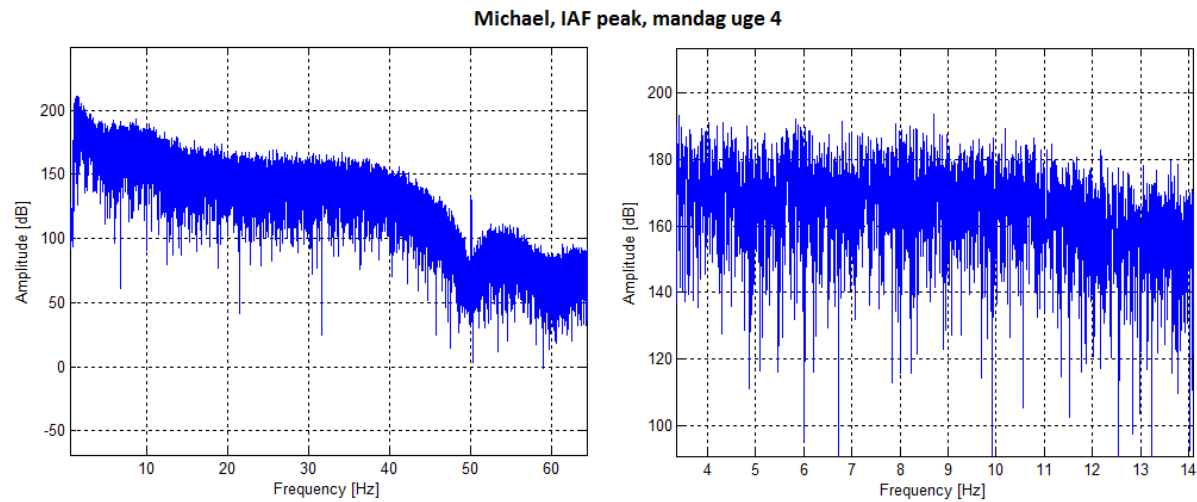


Figur C.4.9: Viser IAF peak for Michael, første dag uge 1.

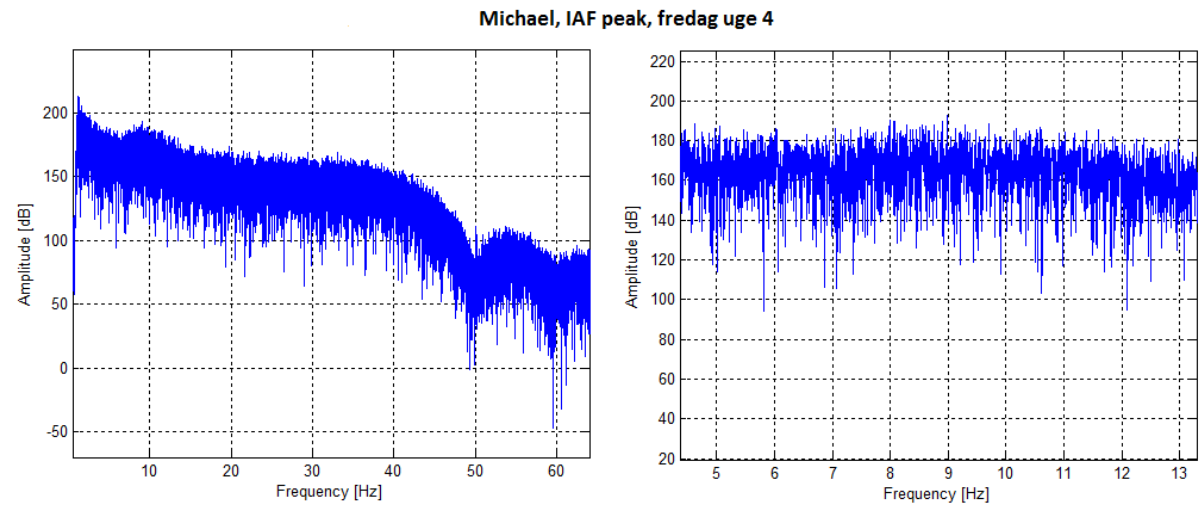
Michael, IAF peak, fredag uge 1



Figur C.4.10: Viser IAF peak for Michael, sidste dag uge 1.



Figur C.4.11: Viser IAF peak for Michael, første dag uge 4.



Figur C.4.12: Viser IAF peak for Michael, sidste dag uge 4.

## C.5 Dataanalyse

### C.5.1 Dataanalyse for den første uge

Her er paired t-tests for uge 1 af de 3 testpersoner.

#### C.5.1.1 Anders

| <i>Parvis dobbelt stikprøve t-test<br/>for Anders, uge1</i> | <i>Variabel<br/>1</i> | <i>Variabel<br/>2</i> |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Middelværdi                                                 | 0,933704              | 1,121184              |
| Varians                                                     | 0,00879               | 0,029492              |
| Observationer                                               | 2                     | 2                     |
| Pearson-korrelation                                         | 1                     |                       |
| Hypotese for forskel i<br>middelværdi                       | 0                     |                       |
| fg                                                          | 1                     |                       |
| t-stat                                                      | -3,4003               |                       |
| P(T<=t) en-halet                                            | 0,091045              |                       |
| t-kritisk en-halet                                          | 6,313752              |                       |
| P(T<=t) to-halet                                            | 0,182091              |                       |
| t-kritisk to-halet                                          | 12,7062               |                       |

Tabel C.5.1: Viser paired t-test for Anders, og det ses at der ikke er sket en signifikant forbedring af baseline da  $p = 0.09$ , og  $\alpha = 0.05$

#### C.5.1.2 Ibrahim

| <i>Parvis dobbelt stikprøve t-test<br/>for Ibrahim, uge1</i> | <i>Variabel<br/>1</i> | <i>Variabel<br/>2</i> |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Middelværdi                                                  | 1,009224              | 1,242957              |
| Varians                                                      | 0,00017               | 0,021331              |
| Observationer                                                | 2                     | 2                     |
| Pearson-korrelation                                          | 1                     |                       |
| Hypotese for forskel i<br>middelværdi                        | 0                     |                       |
| fg                                                           | 1                     |                       |
| t-stat                                                       | -2,48521              |                       |
| P(T<=t) en-halet                                             | 0,121771              |                       |
| t-kritisk en-halet                                           | 6,313752              |                       |
| P(T<=t) to-halet                                             | 0,243543              |                       |
| t-kritisk to-halet                                           | 12,7062               |                       |

Tabel C.5.2: Viser paired t-test for Ibrahim, og det ses at der ikke er sket en signifikant forbedring af baseline da  $p = 0.12$ , og  $\alpha = 0.05$

### C.5.1.3 Michael

| <i>Parvis dobbelt stikprøve t-test<br/>for Michael, uge1</i> | <i>Variabel<br/>1</i> | <i>Variabel<br/>2</i> |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Middelværdi                                                  | 1,156022              | 0,939031              |
| Varians                                                      | 0,048686              | 0,006665              |
| Observationer                                                | 2                     | 2                     |
| Pearson-korrelation                                          | -1                    |                       |
| Hypotese for forskel i<br>middelværdi                        | 0                     |                       |
| fg                                                           | 1                     |                       |
| t-stat                                                       | 1,015163              |                       |
| P(T<=t) en-halet                                             | 0,247605              |                       |
| t-kritisk en-halet                                           | 6,313752              |                       |
| P(T<=t) to-halet                                             | 0,49521               |                       |
| t-kritisk to-halet                                           | 12,7062               |                       |

Tabel C.5.3: Viser paired t-test for Michael, og det ses at der ikke er sket en signifikant forbedring af baseline da  $p = 0.25$ , og  $\alpha = 0.05$

### C.5.1.4 Dataanalyse over den samlede data

| <i>One-tailed t-test af den første<br/>uge for samlet data</i> | <i>Variabel<br/>1</i> | <i>Variabel<br/>2</i> |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Middelværdi                                                    | 1,212517              | 1,116782              |
| Varians                                                        | 0,011225              | 0                     |
| Observationer                                                  | 5                     | 5                     |
| Hypotese for forskel i<br>middelværdi                          | 0                     |                       |
| fg                                                             | 4                     |                       |
| t-stat                                                         | 2,020483              |                       |
| P(T<=t) en-halet                                               | 0,056718              |                       |
| t-kritisk en-halet                                             | 2,131847              |                       |
| P(T<=t) to-halet                                               | 0,113435              |                       |
| t-kritisk to-halet                                             | 2,776445              |                       |

Tabel C.5.4: Viser one-tailed t-test for den samlede data, og det ses at der ikke er sket en signifikant forbedring da  $p = 0.057$ , og  $\alpha = 0.05$

### C.5.2 Dataanalyse over alle 4 uger

Her er paired t-tests af baselines over de 4 uger, af de 3 testpersoner, samt en paired t-test for den samlede gennemsnitlige data for alle 3 testpersoner.

#### C.5.2.1 Anders

| <i>Parvis dobbelt stikprøve t-test<br/>for Anders, over 4 uger</i> | <i>Variabel<br/>1</i> | <i>Variabel<br/>2</i> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Middelværdi                                                        | 0,933704              | 0,815355              |
| Varians                                                            | 0,00879               | 0,004499              |
| Observationer                                                      | 2                     | 2                     |
| Pearson-korrelation                                                | -1                    |                       |
| Hypotese for forskel i<br>middelværdi                              | 0                     |                       |
| fg                                                                 | 1                     |                       |
| t-stat                                                             | 1,040647              |                       |
| P(T<=t) en-halet                                                   | 0,243661              |                       |
| t-kritisk en-halet                                                 | 6,313752              |                       |
| P(T<=t) to-halet                                                   | 0,487321              |                       |
| t-kritisk to-halet                                                 | 12,7062               |                       |

Tabel C.5.5: Viser en paired t-test for Anders over de 4 uger, og det ses at der ikke er sket en signifikant ændring af baseline da  $p = 0.487$ , og  $\alpha = 0.05$

#### C.5.2.2 Ibrahim

| <i>Parvis dobbelt stikprøve t-test<br/>for Ibrahim, over 4 uger</i> | <i>Variabel<br/>1</i> | <i>Variabel<br/>2</i> |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Middelværdi                                                         | 1,009224              | 0,424486              |
| Varians                                                             | 0,00017               | 0,005525              |
| Observationer                                                       | 2                     | 2                     |
| Pearson-korrelation                                                 | 1                     |                       |
| Hypotese for forskel i<br>middelværdi                               | 0                     |                       |
| fg                                                                  | 1                     |                       |
| t-stat                                                              | 13,49249              |                       |
| P(T<=t) en-halet                                                    | 0,023549              |                       |
| t-kritisk en-halet                                                  | 6,313752              |                       |
| P(T<=t) to-halet                                                    | 0,047097              |                       |
| t-kritisk to-halet                                                  | 12,7062               |                       |

Tabel C.5.6: Viser en paired t-test for Ibrahim over de 4 uger, og det ses at der er sket en signifikant forringelse af baseline da  $p = 0.047$ , og  $\alpha = 0.05$ , og det kunne ses på grafen at der var en nedadgående tendens.

### C.5.2.3 Michael

| <i>Parvis dobbelt stikprøve t-test for Michael, over 4 uger</i> | <i>Variabel 1</i> | <i>Variabel 2</i> |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Middelværdi                                                     | 1,156022          | 0,905914          |
| Varians                                                         | 0,048686          | 0,003705          |
| Observationer                                                   | 2                 | 2                 |
| Pearson-korrelation                                             | -1                |                   |
| Hypotese for forskel i middelværdi                              | 0                 |                   |
| fg                                                              | 1                 |                   |
| t-stat                                                          | 1,256428          |                   |
| P(T<=t) en-halet                                                | 0,213981          |                   |
| t-kritisk en-halet                                              | 6,313752          |                   |
| P(T<=t) to-halet                                                | 0,427961          |                   |
| t-kritisk to-halet                                              | 12,7062           |                   |

Tabel C.5.7: Viser en paired t-test for Michael over de 4 uger, og det ses at der ikke er sket en signifikant ændring af baseline da  $p = 0.428$ , og  $\alpha = 0.05$

### C.5.2.4 Dataanalyse over den samlede data

| <i>Parvis dobbelt stikprøve t-test for den samlede data over 4 uger</i> | <i>Variabel 1</i> | <i>Variabel 2</i> |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Middelværdi                                                             | 1,032984          | 0,715252          |
| Varians                                                                 | 0,002176          | 0,000721          |
| Observationer                                                           | 2                 | 2                 |
| Pearson-korrelation                                                     | 1                 |                   |
| Hypotese for forskel i middelværdi                                      | 0                 |                   |
| fg                                                                      | 1                 |                   |
| t-stat                                                                  | 22,69538          |                   |
| P(T<=t) en-halet                                                        | 0,014016          |                   |
| t-kritisk en-halet                                                      | 6,313752          |                   |
| P(T<=t) to-halet                                                        | 0,028033          |                   |
| t-kritisk to-halet                                                      | 12,7062           |                   |

Tabel C.5.8: Viser en paired t-test for vores samlet data, og det ses at der er sket en signifikant forringelse af vores samlede baseline da  $p = 0.028$ , og  $\alpha = 0.05$  og vi kan se på grafen at der var en nedadgående tendens.

### C.5.3 Dataanalyse af Conceptual span task

Her er vist t-test beregninger fra Conceptual span task dataene for hver testperson.

#### C.5.3.1 Anders

|                                    | Gennemsnit pr. test: | Gennemsnitsværdi |
|------------------------------------|----------------------|------------------|
| Middelværdi                        | 1,996031746          | 1,333333333      |
| Varians                            | 0,132120525          | 0                |
| Observationer                      | 12                   | 12               |
| Hypotese for forskel i middelværdi | 0                    |                  |
| fg                                 | 11                   |                  |
| t-stat                             | 6,315698771          |                  |
| P(T<=t) en-halet                   | 2,85552E-05          |                  |
| t-kritisk en-halet                 | 1,795884814          |                  |
| P(T<=t) to-halet                   | 5,71103E-05          |                  |
| t-kritisk to-halet                 | 2,200985159          |                  |

Tabel C.5.9: Viser en one-tailed t-test for Anders, og det ses at der er sket en signifikant forbedring da  $p = 0.0000286$ , og  $\alpha = 0.05$

#### C.5.3.2 Ibrahim

|                                    | Gennemsnit pr. test: | Gennemsnitsværdi |
|------------------------------------|----------------------|------------------|
| Middelværdi                        | 1,936507937          | 1,285714286      |
| Varians                            | 0,206280492          | 5,3786E-32       |
| Observationer                      | 12                   | 12               |
| Hypotese for forskel i middelværdi | 0                    |                  |
| fg                                 | 11                   |                  |
| t-stat                             | 4,963692292          |                  |
| P(T<=t) en-halet                   | 0,000213145          |                  |
| t-kritisk en-halet                 | 1,795884814          |                  |
| P(T<=t) to-halet                   | 0,00042629           |                  |
| t-kritisk to-halet                 | 2,200985159          |                  |

Tabel C.5.10: Viser en one-tailed t-test for Ibrahim, og det ses at der er sket en signifikant forbedring da  $p = 0.00021$ , og  $\alpha = 0.05$

### C.5.3.3 Michael

|                                    | <i>Gennemsnit pr.<br/>test:</i> | <i>Gennemsnitsværdi</i> |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Middelværdi                        | 1,865079365                     | 1,80952381              |
| Varians                            | 0,037861609                     | 2,15E-31                |
| Observationer                      | 12                              | 12                      |
| Hypotese for forskel i middelværdi | 0                               |                         |
| fg                                 | 11                              |                         |
| t-stat                             | 0,989050765                     |                         |
| P(T<=t) en-halet                   | 0,171947637                     |                         |
| t-kritisk en-halet                 | 1,795884814                     |                         |
| P(T<=t) to-halet                   | 0,343895273                     |                         |
| t-kritisk to-halet                 | 2,200985159                     |                         |

Tabel C.5.11: Viser en one-tailed t-test for Michael, og det ses at der ikke er sket en signifikant forbedring da  $p = 0.17$ , og  $\alpha = 0.05$

## Appendix D

### D.1 – MatLab filer fra dropbox

Et link til dropboxmappen med de MatLab scripts der er blevet brugt til, at lave graferne i afhandlingen:

<https://www.dropbox.com/sh/fltxghruhd6xp9b/hEcHczqScG>

## Referencer

- [Jensen, 2012] Jensen, C. F. (2012). Cognitive modeling and interface design for neurofeedback interaction. PhD thesis
- [S. J. Luck, n.d.] S. J. Luck. (n.d.). Mini ERP Boot.
- [Ivanova, 2012] Ivanova, M. G. (2012). Controlling brainwaves for mobile neurofeedback. PhD thesis
- [Klimesch, 2012] Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in cognitive sciences*, 16(12), 606–17.
- [Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999] Pfurtscheller, G., & Lopes da Silva, F. H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842–57. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10576479>
- [Stopczynski, et al., n.d.] Stopczynski, A., Stahlhut, C., Larsen, J. E., Petersen, M. K., and Hansen, L. K. The Smartphone Brain Scanner : A Mobile Realtime Neuroimaging System. pages 1–17.
- [Srinivasan, 2006] Srinivasan, P. L. N. R. (2006). The Physics–EEG Interface. *Oxford University Press*.
- [Vernon et al., 2003] Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., & Gruzelier, J. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 47(1), 75–85. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12543448>
- [Zoefel, B., et al., 2010] Zoefel, B., Huster, R. J., & Herrmann, C. S. (2011). Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance. *NeuroImage*, 54(2), 1427–31. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.08.078