

Projektbeskrivelse til Unge Forskere Senior Technology

Til deltageren:

Læs hele teksten, før du/I udfylder afsnittene.

Når du/I deltager i Unge Forskere, kan du/I enten være alene om projektet eller i en gruppe på op til tre personer.

Denne projektbeskrivelse danner grundlag for udvælgelsen af projekter til semifinalen.

Tekst i blå/rød må IKKE slettes. Svar på spørgsmålene på de næste sider – de er markeret med numre. Skriv svarene i markeringerne ”*Klik eller tryk her for at skrive tekst.*”

Projektbeskrivelsen må maks. fylde 10 sider inklusiv den oprindelige tekst i dokumentet og eksklusive litteraturliste.

Det er ikke sikkert, at projektet er helt færdigt, når du/I tilmelder dig konkurrencen. Det er helt okay - det vigtige er, at du/I beskriver, hvor du/I er i projektforløbet lige nu.

Der er ingen krav til, hvilket emne projektet undersøger, så længe du/I bruger ingeniørens arbejdsmetode i arbejdet.

Læs bedømmelseskriterierne her: <https://ungeforskere.dk/ungeforskere-senior/guide-til-gymnasie-elever/bedommelse/>

Læs spørgsmålene og hjælpeteksterne grundigt igennem, og husk at indholdet skal være let at forstå for juryen, der kender til fagområdet generelt, men ikke til dit/jeres projekt på forhånd.

Når projektbeskrivelsen er udfyldt, gemmes den som PDF og navngives som: Titel på projekt - Projektbeskrivelse (Fx ”Kræftbehandling - Projektbeskrivelse” eller ”Nye Antibiotika - Projektbeskrivelse”)

Herefter uploades PDF'en på **mit.ungeforskere.dk**.

Er du/I tvivl om noget, er du/I altid velkommen til at kontakte os på **info@ungeforskere.dk**

God fornøjelse!

1) Navn og titel**1.1 Projektets titel:**

Fra tanke til bevægelse

1.2 Navn(e):

Tobias Bendix Nielsen

2) Kategori

Dette er projektbeskrivelsen til Technology. Hvis projektet skal deltage i Life Science og Physical Science, skal du/I downloade og udfylde skabelonen til de to kategorier.

2.1 Sæt kryds ved kategorien, du/I vil deltage i

Technology:

3) Indledning

Præsenter projektet kort og præcist. Beskriv, hvad projektet handler om, og hvorfor det er relevant. Fokuser på motivationen bag projektet og dets potentielle for at løse et vigtigt problem eller opfylde et specifikt behov.

3.1 Præsenter dit projekt, og hvorfor det er relevant**Baggrund og relevans**

I Danmark lever over 10.000 mennesker med den neurodegenerative sygdom Parkinsons-sygdom. Sygdommen fører gradvist til tab af mobilitet, da de dopaminproducerende celler i hjernen dør, hvilket forhindrer elektriske signaler i effektivt at blive transmitteret gennem kroppen¹.

For mig har Parkinsons altid været tæt på livet. Min far blev diagnosticeret som 36-årig, hvilket har motiveret mig til at finde måder at hjælpe ham og andre med samme udfordringer. Målet er at forbedre hans og andre i samme positions livskvalitet.

Innovativ tilgang

Der findes ingen kur eller medicin, der kan fjerne Parkinsons, men hvad hvis vi i stedet kunne omgå sygdommens symptomer? Mit projekt sigter mod at forudsige og støtte motoriske bevægelser ved hjælp af AI. Ved at analysere elektriske signaler fra hjernen, musklene og måle positionen samt vinklen af bevægelsen, ønsker jeg at udvikle en AI-model, der kan kompensere for de motoriske symptomer, ved at sende et elektrisk muskelstimulerende signal: forudset vha. intentionen, således man omgår symptomerne og nervesystemet, og går direkte fra tanke til bevægelse.

Projektets metode

Jeg har testet forskellige AI-modeller (bl.a. LSTM-CNN, Transformer og en A-SVM²), hvorfra jeg pba. opsamlet data vurderede den bedst model til at være en Transformer³. Modellen skal i fremtiden trænes på data fra min fars EEG-, EMG og IMU-signaler for at skabe en præcis forudsigelse af hans muskelbevægelser. EEG-elektroder placeres på motorisk cortex (C3, C4, Cz), og EMG-elektroder på relevante arm-muskler. IMU'er placeres på underarmen, overarmen og ved håndleddet. Da optages EMG,

¹ (Parkinson.org, 2025)

² I bilag 4 ligger en forklaring af anvendte AI-modeller

³ Da jeg ikke har kodet alle modeller færdig endnu, og samtidig mangler mine dataindsamlinger, har det ikke været muligt at bestemme den bedste model endnu.

EEG og IMU samtidig, mens han udfører diverse bevægelser med armen (udstrækning, sammentrækning, dreje side til side osv.).

Mellem semifinalen og finalen har jeg: færdiggjort litteraturriet, lavet kredsløbsdiagrammet til EEG-instrumentet næsten færdig, kodet software til: EEG Transformeren og Arduino robotarmen, læst om de basale ganglier og lavet EMG-målinger på min egen arm.

Relevans og potentiiale

Projektet har potentiiale til at udvikle behandlingsmulighederne af Parkinsons-sygdom ved at give patienter bedre kontrol over deres bevægelser. Selvom det ikke fjerner sygdommen, kan det give de ramte mulighed for at genvinde en del af deres uafhængighed og forbedre deres livskvalitet i form af øget autonomi.

4) Problemformulering

Afsnittet her skal betragtes som en afgrænsning af projektet. Her viser du/I, hvor fokus i projektet ligger. Hvis der skal mere end fem underspørgsmål til for besvare dit/jeres hovedspørgsmål, er det et tegn på, at problemformuleringen er for bred

4.1 Hvilket hovedspørgsmål undersøges i projektet?

Hvordan kan AI og signalbehandling af EEG-, EMG-, og IMU-data anvendes til at forbedre mobilitet og bevægelsesevne hos Parkinson-patienter?

4.2 Angiv 3-5 underspørgsmål, der bruges til at finde svar på hovedspørgsmålet

- 1) Hvilke typer EEG- og EMG-signaler er mest relevante for at forudsige muskelbevægelser hos Parkinson-patienter?
- 2) Hvordan kan AI-modeller trænes til at genkende mønstre i EEG- og EMG-data for at forudsige bevægelsesintentioner?
- 3) Hvilke udfordringer opstår ved at arbejde med EEG- og EMG-signaler fra Parkinson-patienter, og hvordan kan de overvinde?
- 4) Hvordan kan en AI-model integreres med et fysisk system (f.eks. en robotarm) for at demonstrere forbedret bevægelsesevne?
- 5) Hvordan skal projektideen implementeres i praksis?

5) Målgruppe og behovsanalyse

Overvej specifikt, hvem dit/jeres produkt eller løsning er designet til at hjælpe. Dette kan inkludere demografiske faktorer såsom alder, køn, profession eller specifikke behov.

Identificer og beskriv de specifikke problemer eller udfordringer, som din/jeres målgruppe står over for.

Undersøg eksisterende produkter eller løsninger, der forsøger at adressere de samme behov. Beskriv deres fordele og ulemper.

Forklar, hvilke metoder du/I har brugt til at indsamle information. Dette kan fx være litteraturnemmgang, interviews, spørgeskemaundersøgelser og/eller eksperimenter.

5.1 Hvem er produktets målgruppe?

Produktets primære målgruppe er Parkinsons-patienter. Derudover er produktet også målrettet andre personer med bevægelsesbesvær, uanset om disse skyldes neurologiske lidelser, muskelsvækkelse eller andre helbredsmæssige årsager. Målet er at hjælpe disse grupper med at genvinde en højere grad af selvstændighed i deres hverdag og forbedre deres livskvalitet gennem teknologi, der kan kompensere for deres fysiske begrænsninger.

5.2 Hvilke behov har målgruppen?

Følgende symptomer og begrænsninger, som ofte følger med Parkinsons sygdom og andre bevægelsesforstyrrelser, er behovene:

- Håndtering af **tremor**: Patienter med Parkinsons oplever ofte ufrivillige rystelser, som gør det svært at udføre præcise bevægelser og daglige aktiviteter, som at spise, skrive eller tage tøj på.
- Støtte til **bradykinesia**: Langsomme bevægelser påvirker evnen til hurtigt at udføre opgaver og kan føre til frustration og tab af uafhængighed.
- Hjælp mod **rigiditet**: Muskelstivhed gør bevægelse anstrengende og kan reducere både mobilitet i dagligdagen.
- Forbedring af **koordination og balance**: Mange oplever problemer med koordination og dårlig positur, hvilket øger risikoen for fald og skader.
- Bevaring af **autonomi**: Patienterne har behov for teknologiske løsninger, der gør dem i stand til at udføre daglige aktiviteter selvstændigt og med minimal hjælp.
- Tilpasning til **individuelle symptomer**: Behovet for en løsning, der kan justeres til den enkelte patients specifikke symptomer og progression af lidelsen.

Dette projekt sigter mod at udvikle en teknologi, der kan imødekomme disse behov ved at bruge kunstig intelligens til at forudsige og kompensere for bevægelsesproblemer.

5.3 Hvilke løsninger på ovenstående behov findes i forvejen?

Som nævnt findes hidtil ingen kur mod Parkinson. Sygdommen vil altid være til stede i hjernen, og langsomt forværre ens tilstand. Dog eksisterer der allerede en række ”løsninger”, der dæmper symptomerne som bl.a. tremor rigiditet.

Disse inkluderer:

- **Deep-Brain-Stimulation (DBS)**, hvor elektroder implementeres i bestemte områder i hjernen, der kan modulere neural aktivitet gennem kontrolleret elektrisk stimulation. DBS helbreder ikke sygdommen, men justerer de elektriske signaler i hjernen, der er forstyrret af sygdommen.
- **Medicin⁴**: F.eks **Levodopa**, som optages neuronerne i ens hjerne og laves om til dopamin, som dermed gør signaloverførelse fra hjerne til muskler mere stabil. Eller andre dopaminagonister, der kan øge mængden af dopamin i hjernen. **Monoamine oxidase-B (MAO-B) inhibitory**, som blokerer et enzym, der normalt ødelægger dopamin.
- **Fysioterapi**: til at holde kroppen i gang og aktivere ens muskler, der ellers var stive.

Disse metoder er enten invasive (DBS), farmakologiske (medicin) elle reaktive (fysiologi) - mens min idé er non-invasiv, intention-baseret og proaktiv.

5.4 Hvordan har du/I skaffet dig viden til ovenstående spørgsmål?

Min viden er opbygget gennem en kombination af teoretisk litteraturstudie, praktiske eksperimenter, kredsløbsudvikling og implementering af kunstig intelligens.

Først gennemførte jeg et litteraturreview, hvor jeg identificerede centrale mønstre i EEG-aktivitet knyttet til motorisk intention, forskellige AI-modeller til EEG/EMG og forandret hjernestrukturer hos Parkinsons-patienter. Her lavede jeg et forsøg for at undersøge hvilken model er bedst.

⁴ Baseret på kilden (nhs.uk, 2022)

På baggrund af dette udvalgte jeg syv forskellige AI-arkitekturen, som jeg trænede og testede på EEG- og EMG-data fra otte personer fra artiklen (Kueper, et al., 2024). Under dataindsamlingen anvendte de en ortose til at standardisere bevægelserne (både fleksion og ekstension). Målet var at klassificere en binær udgang (bevægelse vs. ikke-bevægelse). Jeg evaluerede modellerne på træningstid, præcision og AUC-score og konkluderede, at en transformer-arkitektur var bedst egnet til opgaven.

Som proof-of-concept vil jeg og programmere jeg en Arduino-baseret 6-aksers robotarm, der imiterer højrearmsbevægelser registreret af 3 IMU'er placeret på min egen arm. Denne prototype skal demonstrere, hvordan fysisk bevægelse – og senere tanker – kan omsættes til handling. Til finalen planlægger jeg en live-demonstration, hvor publikum kan styre robotarmen i realtid med IMU'er. Hidtil har fået systemet til at virke med en IMU og to servoer.

Jeg vil færdigudvikle mit eget EEG-kredsløb, med inspiration fra <https://github.com/RonanB96/Low-Cost-EEG-Based-BCI/tree/master/Nucleo%20Code>, som jeg modificerede til at understøtte tre samtidige elektroder. Kredsløbet inkluderer forforstærkning, aktiv støjreduktion via DRL, og filtrering. Det skal anvendes til at optage mine egne EEG-målinger. Under dataindsamlingen vil jeg bruge tærskelbaseret detektion af bevægelse:

EMG > baseline + $1,2\mu + 2\sigma$ blev defineret som bevægelsesstart.

Samtidig vil lede jeg markante ændringer i IMU-data. Når bevægelsen er identificeret, vil jeg analysere EEG-signalet i det tilhørende Bereitschaftspotentiale-vindue (0,5 til 2 sekunder før bevægelse) og bruge dette vindue som input til AI-modellen. Modellen skal således trænet multimodalt på EEG-, EMG- og IMU-data.

Jeg vil derudover udføre omfattende signalbehandling for at filtrere støj og bevare de relevante EEG-komponenter, bl.a. via Fourier-analyse og digitale filtre. I fremtiden håber jeg at kunne undersøge, om tremor hos Parkinson-patienter også kan filtreres aktivt – fx gennem adaptiv støjreduktion.

6) Ekspert

Beskriv de specifikke områder, hvor du/I har brug for ekspertise, og hvorfor denne hjælp er vigtig for dit/jeres projekt. Overvej både tekniske og teoretiske aspekter. Angiv navnene på de ekspert, du/I evt. har kontakten, og hvilken type hjælp de har ydet. Overvej også potentielle ekspert, du/I planlægger at kontakte, og hvad du/I forventer at opnå fra deres rådgivning.

6.1 Hvad i projektet ønskes hjælp til og hvorfor?

Jeg søger ekspertise inden for udvikling og optimering af neurale netværk. Derudover har jeg behov for vejledning i filtrering og behandling af EEG- og EMG-signaler, hvor korrekt støjreduktion og dataforberedelse er afgørende for modellens performance.

På hardwaresiden ønsker jeg sparring omkring kredsløbsdesign og robotteknologi, så den fysiske prototype bliver så stabil, brugervenlig og funktionel som muligt.

Ekspertise inden for biomekanik og klinisk neurologi er desuden vigtig for at forstå, hvordan hjernens elektriske signaler omsættes til bevægelse – især hos patienter med bradykinetiske lidelser som Parkinsons sygdom. Her kan ekspertter med viden om proteseteknologi og neuromodulation også bidrage med input og mulig adgang til EEG-/EMG-udstyr og testpersoner i fremtidige studier.

6.2 Hvem har allerede hjulpet – og hvem kan hjælpe fremadrettet?

Per Borghammer, klinisk professor ved Institut for Klinisk Medicin- og Nuklearmedicin og PET, samt

forsker i Parkinson

Casper Skjærbaek, Ph.d. studerende ved Institut for Klinisk Medicin- og Nuklearmedicin og PET Skejby Sygehus, Neurologisk klinik

Borghammer og **Skjærbaek** svarede på mine spørgsmål om Parkinsons, samt gav feedback på projektet.

Andreas Nørgaard Glud, Klinisk lektor ved Institut for Klinisk Medicin - Hjerne- og Rygkirurgi på Aarhus Universitet.

Dan Bang, Lektor, PhD Institut for Klinisk Medicin Center for Funktionelt Integrativ Neurovidenskab (CFIN)

Glud svarede på spørgsmål om neuroanatomisk funktion, og inviterede mig til at følge/besøge en forskningsgruppe med PhD. Studerende i juni, og potentielt før.

Bang bidrog med viden om intention, beslutningstagen og cortex cerebri rolle. Inviterede mig også ud til at følge hans forskningsgruppe snart.

Fremadrettet

Fremadrettet ønsker jeg kontakt til eksperter i neuromodulation og fokuseret ultralyd (FUS) til integration med intentionelt aktiverede AI-systemer.

7) Designproces

Beskrev, hvordan du/I er kommet på idéen.

Definer de funktionelle og ikke-funktionelle krav til dit/jeres produkt. Dette kan inkludere specifikationer som størrelse, vægt, præcision, omkostninger osv.

Dokumenter trin-for-trin processen fra koncept til færdig prototype, eller beskriv en detaljeret plan, hvis prototypen endnu ikke er fremstillet. Inkluder fx designskitser, materialevalg og fremstillingsteknikker.

7.1 Hvordan kom du/I på idéen til produktet?

Min far har Parkinsons-sygdom, og sygdommen har haft en betydelig indflydelse på hans liv. Gennem årene har jeg ofte tænkt over, hvordan jeg kunne hjælpe ham. Da jeg en dag snakkede med min vens familie om min far, foreslog hendes far spontant: "Hvorfor ikke kombinere AI og Parkinsons?" Denne kommentar blev startskuddet til mit projekt.

Jeg begyndte at læse om Parkinsons, og fandt ud af, at intentionen om bevægelse stadig er intakt, men de elektriske signaler fra hjernen ikke når effektivt frem til musklerne på grund af dopaminmangel. Så tænkte jeg: "hvis vi omgik nervesystemet, hvor vi forudsiger ens bevægelse baseret alene på ens tanker? For hver tanke til hver bevægelse, må være unik?"

7.2 Hvilke krav stiller du/I til produktet?

Jeg har stillet følgende funktionelle og ikke-funktionelle krav til produktet, således den bedste kvalitet sikres. Funktionelle krav:

Nr.	Krav
F1	Systemet skal kunne opsamle EEG/EMG/IMU med høj signalkvalitet og filtrere støj
F2	Transformer-modellen skal kunne forudsige intentionelle muskelbevægelser, baseret alene på EEG-data i realtid.
F3	Elektroder og sensorer skal kunne monteres komfortabelt og sikkert på patientens hoved og arm, uden at forårsage irritation.
F4	Systemet skal kunne initiere og assistere bevægelser ud fra tankeaktivitet alene.
F5	Systemet skal virke i realtid: den binære klassifikations skal forløbe få millisekunder efter intention.
F6	Systemet skal være bærbart og kunne indeholde en kompakt Transformer-model med integreret batteri.
F7	Løsningen skal være medicinsk neutral, og ikke interferere med medicin som Levodopa
F8	Systemet skal kunne oversætte Transformer-model output til bevægelse ved at aktivere en aktuator.
F9	Systemet må ikke aktivere uønskede bevægelser. Derfor skal systemet have en stopknap, der med dette stopper hele systemet, som enten fysisk eller digitalt kan deaktiveres.
F10	Systemet skal kunne fungere kontinuerligt i minimum 16 timer, hvilket svarer til daglig brug, med opladning om natten.

Figur 1: Tabel med funktionelle krav

Ikke-funktionelle krav:

Nr.	Krav
IF1	Systemet skal være økonomisk overkommelegt og bygges med letttilgængelige komponenter, især i prototypefasen
IF2	Løsningen skal være individuelt tilpasset (person-specific træning), fordi der er variation i EEG-signaler og hjernestruktur
IF3	Systemet skal kunne opskaleres: fra personlige modeller til adaptive modeller, der kan generaliseres.
IF4	Brugerinterfacet skal være intuitivt og brugervenligt, så patienter og plejepersonale nemt kan tilgå systemet.
IF5	Systemet skal være robust overfor almindelig brug (bevægelse, regn, fugt og små stød).
IF6	Systemet skal kunne tilpasses forskellige former for motorisknedsættelse og forskellige kropstørrelser.
IF7	Transformer-modellen skal kunne forklare hvorfor den aktiverede en konkret bevægelse, f.eks. ved at gemme sine output i en database. På den måde kan fejl detekteres i systemet.
IF8	Patientens signaler og data skal behandles fortroligt og ikke sendes til lagring uden samtykke.

Figur 2: Tabel med ikke-funktionelle krav

7.3 Beskriv processen fra idé til fremstilling af prototype (evt. plan for fremstilling).

Udviklingen af min prototype har været en iterativ proces, hvor jeg har kombineret teoretisk viden, praktiske eksperimenter og input fra eksperter. Her følger en oversigt over de væsentligste trin:

1. Problemidentifikation og idéudvikling

Idéen til projektet kom af, at min far har Parkinsons-sygdom, og hjælpe ham. Jeg identificerede de største udfordringer ved sygdommen, såsom motoriske begrænsninger og tremor, og besluttede mig for at undersøge, hvordan AI og signalbehandling kunne bruges til at forudsige og støtte bevægelser.

2. Litteraturgennemgang og research

Jeg startede med et review for at forstå den nuværende forskning inden for EEG- og EMG-signalbehandling, samt hvordan AI-modeller kan anvendes til at forudsige bevægelser. Yderligere for at undersøge hvordan hjernen er forandret hos Parkinsons-patienter.

3. Kravspecifikation

Jeg opstillede funktionelle og ikke-funktionelle krav til mit system (dem jeg nævnte før)

4. Udvikling af AI-model

Jeg testede først forskellige AI-modeller, valgt ud fra litteraturreviewet., for at finde den hurtigste og mest optimale (også forklaret før), og vurderede en Transformer-model er bedst til projektet.

5. Signalbehandling

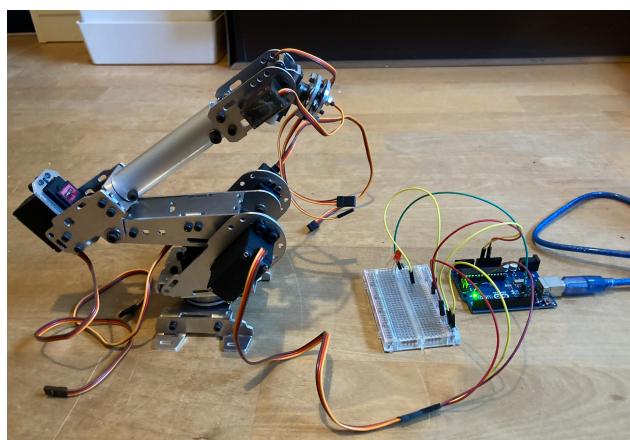
Jeg vil anvende Fourier-analyse og digital filtrering (båndpas, notch) til at reducere støj i EEG- og EMG-signaler.

6. Eksperimentelt opsætning

Jeg vil måle EEG/EMG/IMU fra min egen krop, ved at bygge mit eget EEG-kredsløb. Jeg måler biosignalerne samtidig, med EEG-elektroder placeret over C3, C4 og Cz, samt en ground og reference. EMG-elektroden skal placeres ved muskler på armen, og IMU'erne på underarmen, overarmen og håndleddet. Efter at have målt data, vil jeg indføre jeg en tærskel til at bestemme en bevægelse i EEG, indføre binæreværdier for de specifikke bevægelser, og træne samt teste min Transformer-model på dette. Output blev en binærværdi, som min prototype kunne tolke som bevægelse.

7. Prototypeudvikling

For at demonstrere systemets funktionalitet vil jeg tolke de forudsagte binæroutput som bevægelse, ved at anvende en robotarm som aktuator. Den skal kodes, således 0000 korrepondører til hvileposition, og dermed være i specifik position. Robotarmen ses på figuren forneden⁵:



Figur 3: Opstilling af robotarm

8. Test og evaluering

Transformer-modellen skal evalueres ud fra parametre som præcision, AUC, F1-score og inferenstid. Den skal trænes ved K-cross-validation, træning af 5 folds m. 60 epochs af 100 batches hver. Yderligere vil jeg lave en confusion-matrix til at se hvor godt modellen klassificerer bevægelsen. Hertil visueliseres med en ROC-kurve.

⁵ Se bilag 2 for mere information om robotarmen

9. Dokumentation og fremtidig udvikling

Alle trin i processen skal nøje dokumenteres, så jeg kan iterere på designe. Fremtiden byder på yderligere optimering af modellen. Ligeledes skal der foretages datamålinger på min far, som modellen skal trænes på.

8) Test og evaluering

Beskriv de testmetoder, du/I har brugt, eller planlægger at bruge, for at evaluere prototypen. Hvad er resultaterne af disse tests?

Forklar, hvilke forbedringer du/I har foretaget eller planlægger at foretage baseret på testresultaterne. Hvordan vil disse ændringer forbedre produktet?

Giv en objektiv vurdering af, hvordan dit produkt opfylder de oprindelige krav og mål. Identificer både styrker og svagheder.

8.1 Hvordan er prototypen testet, og hvad er resultatet? / Hvis der ikke er testet: Hvilken plan for test af prototypen er lagt?

Min prototype består af flere delsystemer, som hver især er blevet testet separat for at sikre funktionelit og robusthed:

- Robotarmen er testet med IMU'er, hvor reeltidsdata fra kroppens bevægelser oversættes til servoer. Systemet fungerer stabilt, og bevægelserne afspejles med lav latency.
- AI-modellen blev testet på offentlige EEG-/EMG-datasæt. Syv modeller blev evalueret med 5-fold cross-validation. Transformer-modellen opnåede den anden højeste effektivitet, og grundet modellen er cutting-edge inde for AI samt bedre generalisering, valgte jeg denne model til projektet.
- EEG-kredsløbet er næsten færdigudviklet og testes løbende med fejlfinding, signalfiltrering og kontrol af elektrodeimpedans.

Frem mod finalen vil systemet testes som helhed, hvor EEG-, EMG- og IMU-signaler skal måles i realtid og behandles af Transformer-modellen. Output fra modellen skal derefter styre robotarmen. Modellen evalueres med ROC-kurver, AUC-score, F1-score og inferenstid.

Hvis der allerede er udført test, besvar nedenstående to spørgsmål:

8.2 Har I forbedret/planlagt forbedringer af prototypen på baggrund af ovenstående test?

Jeg er stadig i gang med udviklingen af prototypen, men har udviklet koden til min Transformer, der op mod finalen vil blive testet og trænet på mine egne biosignaler.

Jeg valgte ud fra mine teste Transformer-modellen som projektets AI-model.

8.3 Evaluér jeres nuværende produkt (hvor godt lever den op til kravene)

Produktet lever op til alle funktionelle krav, bortset fra F3, F6 og F9

Samtidig lever den op til alle ikke funktionelle krav, bortset fra IF3, IF4, IF5 og IF6. Men generelt er jeg så tidligt i udviklingen af produktet, at nogle af kravene ikke er testet endnu, men det vil de selvfølgelig blive i fremtiden (både op mod finalen og efter).

9) Konklusion og videre arbejde

Giv et foreløbigt svar på hovedspørgsmålet, som du/I formulerede i afsnit 4. Fokuser på de vigtigste fund og konklusioner, du/I har draget baseret på din research og tests.

Overvej, hvilke nye spørgsmål eller udfordringer der er opstået som følge projektarbejdet. Hvilke aspekter kræver yderligere undersøgelse eller udvikling? Diskuter potentielle retninger for fremtidig forskning eller forbedringer af produktet.

9.1 Hvad er din/jeres foreløbige konklusion på projektet?

I dette projekt har jeg undersøgt, hvordan en Transformer-model kan forudsige intentionelle bevægelser ud fra EEG-, EMG- og IMU-data, ved at indsamle biosignaler fra egen krop. Projektet startede med et litteraturreview af 16 videnskabelige artikler om EEG, EMG og Parkinsons-sygdom for at identificere relevante AI-modeller og forstå de neurologiske forandringer hos Parkinsons-patienter. På baggrund af reviewet blev syv forskellige AI-modeller valgt og testet for at finde den mest egnede. De blev evalueret på deres evne til at klassificere EEG- og EMG-signaler som enten bevægelse eller ikke-bevægelse. Efter testen konkluderede jeg, at en Transformer-model er bedst til projektet.

Dernæst byggede jeg en 6-akse robotarm, der fungerer som proof-of-concept og aktuator for Transformer-modellen. Jeg fik den til at blive styret med en IMU på min arm, og frem mod finalen vil jeg styre den med output fra Transformer-modellen. Jeg er i gang med at udvikle mit eget EEG-kredsløb, som skal måle intentioner gennem BP fra C3, C4 og Cz. Samtidig vil jeg opsamle EMG og IMU-data, og signalerne skal filtreres før de bliver brugt til træning og test af Transformer-modellen.

Transformer-modellen skal evalueres vha. 5-fold k-cross-validation, ROC-kurver, AUC, inferenstid og F1-score. Outputtet er en binærværdi, der skal korrespondere med konkrete bevægelser og sendes til Arduino-koden, som i realtid skal få robotarmen til at imitere min armbevægelse – og dermed oversatte tanke til bevægelse.

Transformer-modellen er ikke trænet eller testet på mine egne biosignaler endnu, men disse forventes at være klar til finalen, når jeg har arbejdet videre på dataopsamlingen og Transformer-modellen.

Men jeg forventer at resultaterne viser, at Transformer-modellen er robust og præcis nok til at kunne anvendes i realtid. Projektet demonstrerer, at det er muligt at omdanne intentioner, målt som EEG-signaler, til bevægelse gennem AI. Dette åbner op for nye wearable systemer til Parkinsons-patienter, som kan kompensere for motoriske symptomer.

Som løsning foreslog jeg tre typer aktuatorer: en handske med motorer, et aktivt exoskelet og et hybridt FUS-EMS-system, der omgår nervesystemet med fokuseret ultralyd og elektrisk stimulation. Jeg diskuterede desuden de etiske aspekter og teknologiens fremtidige muligheder. Bl.a. at teste arkitekturen på data fra Parkinsons-patienter, heriblandt min far.

Projektet viser, at der eksisterer genkendelige mønstre i hjernens intentioner, som kan omsættes til bevægelser – hvilket skaber mulighed for nye adaptive hjælpemidler til Parkinsons-patienter. Men meget arbejde mangler stadig, som kun gør fremtiden endnu mere spændende!

9.2 Hvilke nye spørgsmål rejser projektet?

Vil det være muligt at anvende noise cancelling på tremorens EEG-signaler i hjernen, således der sker destruktiv interferens og tremoren forsvinder? Kan man forudsige ens tale gennem EEG-signaler=

Litteraturliste

Angiv alle kilder, der er brugt i projektet. Dette inkluderer fx bøger, artikler, websites og andre ressourcer.

Bibliografi

- Ackermann, S. (1992). *Major Structures and Functions of the Brain*. Retrieved from ncbi.nlm.nih.gov: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234157/>
- Aeles, J., & et al. (2021, Januar 13). *Revealing the unique features of each individual's muscle activation signatures*. Retrieved Februar 13, 2025, from pmc.ncbi.nlm.nih.gov: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7879771/>
- Andrusca, A. (2023, Oktober 30). *Basal ganglia pathways*. Retrieved Marts 25, 2025, from kenhub.com: <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/direct-and-indirect-pathways-of-the-basal-ganglia>
- Antony, M. J., Sankaralingam, B. P., Mahendran, R. K., Gardezi, A. A., Shafiq, M., Choi, J.-G., & Hamam, H. (2022, Oktober 7). *Classification of EEG Using Adaptive SVM Classifier with CSP and Online Recursive Independent Component Analysis*. Retrieved Februar 13, 2025, from pmc.ncbi.nlm.nih.org: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9573537/>
- 3Blue1Brown. (2024, December 12). *Neural Networks*. Retrieved Februar 18, 2025, from youtube.com: https://www.youtube.com/playlist?list=PLZHQBObOWTQDNU6R1_67000Dx_ZCJB-3pi
- Brodal, P. (1995). *Sentral Nerve Systemet* (2 ed.). Oslo: Tano.
- Buerkle, A., & et al. (2021, August). *EEG based arm movement intention recognition towards enhanced safety in symbiotic Human-Robot Collaboration*. Retrieved Februar 14, 2025, from sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584521000223>
- Byrne, R. (2018). *Development of a Low Cost, Open-source, Electroencephalograph-Based Brain-Computer Interface*. Honours Degree in Electrical and Electronic Engineering (DT021A) of the Dublin Institute of Technology.
- Chaddad, A., Wu, Y., Kateb, R., & Bouridane, A. (2023, Juli 13). *Electroencephalography Signal Processing: A Comprehensive Review and Analysis of Methods and Techniques*. *Sensors*.
- Cleveland Clinic. (2022, Maj 23). *Deep Brain stimulation*. Retrieved Februar 7, 2025, from my.clevelandclinic.org: <https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/21088-deep-brain-stimulation>
- Cleveland Clinic. (2023, Oktober 2). *EMG (Electromyography)*. Retrieved Januar 17, 2025, from my.clevelandclinic.org: <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/4825-emg-electromyography>
- Cleveland Clinic. (2025). *Magnetoencephalography (MEG)*. Retrieved Marts 23, 2025, from my.clevelandclinic.org: <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/17218-magnetoencephalography-meg>
- Conti, M., & et al., I. (2022, Marts 15). *Brain Functional Connectivity in de novo Parkinson's Disease Patients Based on Clinical EEG*. Retrieved Marts 23, 2025, from frontiersin.org: <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2022.844745/full>

- Demi, L. (2018, August 31). *Practical Guide to Ultrasound Beam Forming: Beam Pattern and Image Reconstruction Analysis*. Retrieved Marts 31, 2025, from mdpi.com: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/9/1544>
- Desai, K. (2023, Marts 29). *Parkinsons Disease Detection via Resting-State Electroencephalography Using Signal Processing and Machine Learning Techniques*. Retrieved Marts 23, 2025, from arxiv.org: <https://arxiv.org/abs/2304.01214>
- Evident. (n.d.). *What Is a Phased Array Transducer?* Retrieved Marts 31, 2025, from ims.evidentscientific.com: <https://ims.evidentscientific.com/en/learn/ndt-tutorials/transducers/phased-array-transducer>
- Farashi, S., & et al., I. (2023). *Parkinson's disease tremor prediction using EEG data analysis-A preliminary and feasibility study*. Retrieved Marts 13, 2025, from link.springer.com: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12883-023-03468-0>
- Friedenberg, D. A., Schwemmer, M. A., Landgraf, A. J., Annetta, N. V., Bockbrader, M. A., Bouton, C. E., . . . Sharma, G. (2017, August 21). Neuroprosthetic-enabled control of graded arm muscle contraction in a paralyzed human. *Nature*.
- geeksforgeeks. (2022, Januar 19). *Plotting a Spectrogram using Python and Matplotlib*. Retrieved Januar 25, 2025, from geeksforgeeks.org: <https://geeksforgeeks.org/plotting-a-spectrogram-using-python-and-matplotlib/>
- geeksforgeeks. (2023, Januar 10). *Long short-term memory (LSTM) RNN in Tensorflow*. Retrieved Januar 10, 2025, from geeksforgeeks.org: <https://www.geeksforgeeks.org/long-short-term-memory-lstm-rnn-in-tensorflow/>
- Geeksforgeeks. (2024, December 6). *Transformers in Machine Learning*. Retrieved Februar 18, 2025, from geeksforgeeks.org: <https://www.geeksforgeeks.org/getting-started-with-transformers/>
- Geeksforgeeks. (2024, December 6). *What is a Neural Network?* Retrieved Februar 19, 2025, from geeksforgeeks.org: <https://www.geeksforgeeks.org/neural-networks-a-beginners-guide/>
- geeksforgeeks. (2024, Juni 24). *What is LSTM – Long Short Term Memory?* Retrieved Januar 10, 2025, from geeksforgeeks.org: <https://www.geeksforgeeks.org/deep-learning-introduction-to-long-short-term-memory/>
- Geeksforgeeks. (2025, Januar 8). *Functional vs. Non Functional Requirements*. Retrieved Marts 27, 2025, from geeksforgeeks.org: <https://www.geeksforgeeks.org/functional-vs-non-functional-requirements/>
- Geeksforgeeks. (2025, Januar 27). *Support Vector Machine (SVM) algorithm*. Retrieved Februar 18, 2025, from geeksforgeeks.org: <https://www.geeksforgeeks.org/support-vector-machine-algorithm/>
- Georgiev, D., Lange, F., Seer, C., Kopp, B., & Johanshahi, M. (2016, Juni 6). *Movement-related potentials in Parkinson's disease*. Retrieved from sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1388245716300219>
- Google colab. (n.d.). *Fourier Transform*. Retrieved from colab.research.google.com: <https://colab.research.google.com/github/jinglescode/python-signal-processing/blob/main/tutorials/Fourier%20Transform.ipynb>
- Google colab. (n.d.). *Signal Filters*. Retrieved from colab.research.google.com: https://colab.research.google.com/github/iotanalytics/IoTTutorial/blob/main/code/preprocessing_and_decomposition/Signal_Filters.ipynb

- Gupta, A., Vardalakis, N., & Wagner, F. B. (2023, Januar 6). Neuroprosthetics: from sensorimotor to cognitive disorders. *Communications Biology*.
- Hamad, R. (2023, December 3). *What is LSTM? Introduction to Long Short-Term Memory*. Retrieved Januar 10, 2025, from medium.com: <https://medium.com/@rebeen.jaff/what-is-lstm-introduction-to-long-short-term-memory-66bd3855b9ce>
- Hansen, S. (2002). *Fra neuron til neurose*. Gads Forlag.
- Hospital, B. o. (Director). (2014). *Deep Brain Stimulation mod Parkinsons sygdom - hvordan foregår det, hvorfor virker det?* [Motion Picture].
- Hunt, W., & Sugano, Y. (2020, Juni 30). *The Basal Ganglia*. Retrieved Marts 25, 2025, from teachmeanatomy.info: <https://teachmeanatomy.info/neuroanatomy/structures/basal-ganglia/>
- IBM. (2024, Juli 12). *What is a loss function?* Retrieved Februar 19, 2025, from ibm.com: <https://www.ibm.com/think/topics/loss-function>
- ibm. (n.d.). *What are convolutional neural networks?* Retrieved from ibm.com: <https://www.ibm.com/think/topics/convolutional-neural-networks>
- IBM. (n.d.). *What is a Neural Network?* Retrieved Februar 19, 2025, from ibm.com: <https://www.ibm.com/think/topics/neural-networks>
- Jensen, P. M., & Jensen, C. M. (2019, Oktober). *Sensorer - Anvendt el-lære*. Retrieved 2022, from sensorer.systime: <https://sensorer.systime.dk/?id=1>
- Johns Hopkins Medicine. (2025). *Deep Brain Stimulation*. Retrieved Februar 7, 2025, from hopkinsmedicine.org: <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/deep-brain-stimulation>
- Johns Hopkins Medicine. (n.d.). *Electromyography (EMG)*. Retrieved from hopkinsmedicine.org: <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/electromyography-emg>
- Jorgecardete. (2024, Februar 7). *Convolutional Neural Networks: A Comprehensive Guide*. Retrieved Januar 14, 2025, from medium.com: <https://medium.com/thedeephub/convolutional-neural-networks-a-comprehensive-guide-5cc0b5eae175>
- Karimi, F., & et al. (2021, November 24). *Movement-related EEG signatures associated with freezing of gait in Parkinson's disease: an integrative analysis*. Retrieved Februar 13, 2025, from academic.oup.com: https://academic.oup.com/braincomms/article/3/4/fcab277/6437995?utm_source=chatgpt.com&login=false
- Keita, Z. (2023, November 14). *An Introduction to Convolutional Neural Networks (CNNs)*. Retrieved Januar 10, 2025, from datacamp.com: <https://www.datacamp.com/tutorial/introduction-to-convolutional-neural-networks-cnns>
- Knierum, J. (2020, Oktober 20). *Motor Systems*. Retrieved Januar 22, 2025, from nba.uth.tmc.edu: <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/s3/chapter03.html>
- Kueper, N., Chari, K., Bütefür, J., Habenicht, J., Rossol, T., Kim, S. K., . . . Kirchner, E. A. (2024, Januar 22). EEG and EMG dataset for the detection of errors introduced by an active orthosis device. *Brain-Computer Interfaces*.
- Magnetoencephalography. (2024, November 22). Retrieved Marts 23, 2025, from en.wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetoencephalography>

- Mahmoodi, M., & et al., I. (2021, August 18). *A new method for accurate detection of movement intention from single channel EEG for online BCI*. Retrieved from sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666990021000264>
- Miladinovic, A., & et al., I. (2021). *EEG changes and motor deficits in Parkinson's disease patients: Correlation of motor scales and EEG power bands Author links open overlay panel*. Retrieved Marts 23, 2025, from sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921017683>
- Mishra, M. (2020, August 26). *Convolutional Neural Networks, Explained*. Retrieved Januar 14, 2025, from towardsdatascience.com: <https://towardsdatascience.com/convolutional-neural-networks-explained-9cc5188c4939>
- Nicolas-Alonso, L. F., & Gomez-Gil, J. (2012, Januar 31). Brain Computer Interfaces, a Review. *Sensors*.
- Oehrni, C. R., & et al., I. (2024). *Chronic adaptive deep brain stimulation versus conventional stimulation in Parkinson's disease: a blinded randomized feasibility trial*. Retrieved Marts 13, 2025, from nature.com: <https://www.nature.com/articles/s41591-024-03196-z#Ack1>
- Parkinson.dk. (n.d.). *Hvad er parkinson?* Retrieved Januar 10, 2025, from parkinson-dk: <https://parkinson.dk/viden-forskning/om-parkinson/hvad-er-parkinson/>
- Parkinson.org. (2025). *Statistics*. Retrieved from parkinson.org: <https://www.parkinson.org/understanding-parkinsons/statistics>
- Paulson, O. B. (2024, Oktober 10). *Parkinsons sygdom*. Retrieved Januar 10, 2025, from lex.dk: https://lex.dk/Parkinsons_sygdom?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAp4O8BhAkEiwAqv2UqKvBVEGOS1tye5eNw_jpHgKSi1qq63S0RQx12dwPH_CZ9aiYgT-VuhoCvr0QAvD_BwE
- Peláez Suárez, A. A., & et al., I. (2021, Marts 23). *EEG-Derived Functional Connectivity Patterns Associated with Mild Cognitive Impairment in Parkinson's Disease*. Retrieved Marts 23, 2025, from pmc.ncbi.nlm.nih.gov: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8005012/>
- Regalado, A. (2014, Juni 17). *The Thought Experiment*. Retrieved Januar 10, 2025, from technologyreview.com: <https://www.technologyreview.com/2014/06/17/172276/the-thought-experiment/>
- Sachinoni. (2024, September 5). *Transformer Architecture Part-1*. Retrieved Februar 18, 2025, from pub.towards.ai.net: <https://pub.towardsai.net/transformer-architecture-part-1-d157b54315e6>
- Saikia, A., & et al., I. (2019, September). *EEG-EMG Correlation for Parkinson's disease*. Retrieved Marts 13, 2025, from researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/335620895_EEG-EMG_Correlation_for_Parkinson's_disease
- S., F., & R., E. (1987). *Parkinson's Disease Research, Education and Clinical Centers*. Retrieved Marts 26, 2025, from parkinsons.va.gov: <https://www.parkinsons.va.gov/resources/UPDRS.asp>
- Silva-Acosta, V. D., & et al. (2021, September). *Automatic estimation of continuous elbow flexion-extension movement based on electromyographic and electroencephalographic signals*. Retrieved Februar 13, 2025, from sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809421005474>
- Singh, R. (2024, Oktober 17). *Support Vector Machines (SVM)*. Retrieved Februar 18, 2025, from medium.com: <https://medium.com/@RobuRishabh/support-vector-machines-svm-27cd45b74fbb>

- Tierney, T. M., & et al., I. (2019, Oktober 1). *Optically pumped magnetometers: From quantum origins to multi-channel magnetoencephalography*. Retrieved Marts 23, 2025, from pmc.ncbi.nlm.nih.gov: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6988110/>
- University of Calgary. (2025). *What is a Brain Computer Interface?* Retrieved April 4, 2025, from cumming.ucalgary.ca: <https://cumming.ucalgary.ca/research/pediatric-bci/bci-program/what-bci>
- Virginia Tech. (2021, Maj 12). *Virginia Tech launches 'next generation' human brain imaging lab.* Retrieved Marts 23, 2025, from news.vt.edu: <https://news.vt.edu/articles/2021/05/virginia-tech-launches--next-generation--human-brain-imaging-lab.html>
- Wang, H.-C., & et al., I. (1999). *Impairment of EEG desynchronisation before and during movement and its relation to bradykinesia in Parkinson's disease*. Retrieved Marts 23, 2025, from pmc.ncbi.nlm.nih.gov: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1736289/>
- Wikipedia. (2024, November 1). *Bereitschaftspotential*. Retrieved Januar 26, 2025, from en.wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bereitschaftspotential>
- Wikipedia. (2024, December 30). *Electroencephalography*. Retrieved Januar 10, 2025, from en.wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography>
- Wikipedia. (2024, November 21). *Huber loss*. Retrieved Februar 19, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Huber_loss
- Wikipedia. (2024, November 28). *Motor cortex*. Retrieved Januar 22, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_cortex
- Wikipedia. (2024, November 30). *Neuroprosthetics*. Retrieved Februar 7, 2025, from en.wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/Neuroprosthetics>
- Wikipedia. (2024, Oktober 29). *Phased array ultrasonics*. Retrieved Marts 31, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Phased_array_ultrasonics
- Wikipedia. (2025, Februar 5). *Brain-Computer-Interface*. Retrieved Februar 7, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Brain%20computer_interface
- Wikipedia. (2025, Januar 25). *Deep Brain Stimulation*. Retrieved Februar 7, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_brain_stimulation
- wikipedia. (2025, Februar 7). *Electromyography*. Retrieved Januar 15, 2025, from en.wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electromyography>
- Wikipedia. (2025, Marts 25). *Event-related potential*. Retrieved April 5, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Event-related_potential
- Wikipedia. (2025, Februar 16). *Mean absolute error*. Retrieved Februar 19, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_absolute_error
- wikipedia. (2025, Februar 11). *PIEZ01*. Retrieved Marts 31, 2025, from en.wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/PIEZ01>
- Wikipedia. (2025, Januar 7). *Recurrent Neural Network*. Retrieved Januar 10, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Recurrent_neural_network
- Wikipedia. (2025, Februar 17). *Support Vector Machine*. Retrieved Februar 18, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Support_vector_machine
- Wikipedia. (2025, Februar 18). *Transformer (Deep learning architecture)*. Retrieved Februar 18, 2025, from en.wikipedia.org: [https://en.wikipedia.org/wiki/Transformer_\(deep_learning_architecture\)#Full_transformer_architecture](https://en.wikipedia.org/wiki/Transformer_(deep_learning_architecture)#Full_transformer_architecture)

- wikipedia.org. (2024, December 26). *Savitzky-Golay filter*. Retrieved Januar 25, 2025, from en.wikipedia.org: https://en.wikipedia.org/wiki/Savitzky%E2%80%93Golay_filter
- Zanini, R., & et al., I. (2019, September). *Parkinson's disease EMG signal prediction using Neural Networks*. Retrieved Marts 13, 2025, from researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/336890507_Parkinson's_disease_EMG_signal_prediction_using_Neural_Networks
- Zhang, D., Hansen, C., De Fréne, F., Kærgaard, S. P., Qian, W., & Chen, K. (2023, April 8). *Automated labeling and online evaluation for self-paced movement detection BCI*. Retrieved Februar 10, 2025, from sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705123001338?via%3Dihub>

Bilag

Hvis du har bilag, upload dem separat i mit.ungeforskere.dk. Henvis til dem i teksten, fx Bilag 1.