

# Stimulusekvivalens og Event-relaterte Potensialer

Guro Granerud<sup>1,2,3</sup> og Erik Arntzen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akershus universitetssykehus, <sup>2</sup>OsloMet – storbyuniversitet og <sup>3</sup>NORMENT, Oslo universitetssykehus og Universitetet i Oslo

Elektroencefalografi (EEG) benyttes for å måle hjernens elektriske aktivitet og kan brukes som et korrelasjonsmål ved test for stimulusekvivalens. Event-relaterte potensialer (ERP) er målt ved gjennomsnitt av EEG. N400 er en ERP-komponent som innenfor kognitiv psykologi er blitt benyttet som et mål på semantikk og assosiasjon mellom to stimuli. N400 er en negativ peak i ERP ca. 400 ms etter at to urelaterte stimuluspar er presentert, i motsetning til når relaterte stimuluspar presenteres. Test for N400 gjennomføres med en priming prosedyre hvor relaterte og urelaterte stimuluspar presenteres. Her er særlig ordstimuli benyttet. Innenfor atferdsanalyse er det argumentert for at N400 responsen måler styrken på relasjonen mellom to stimuli, en respons som kan manipuleres på lik linje med andre typer responser. Forskning på hjernens elektriske aktivitet kan bidra til å føre atferdsanalyse og nevrovitenskap nærmere hverandre da man får tilgang på responsen på flere nivåer, både den som er observerbar av andre og der det er behov for måleinstrumenter som EEG. Bedre kunnskap om hjernens elektriske aktivitet kan særlig være nyttig i utredning og arbeid med mennesker med nevrodiversiteter og kognitiv svikt.

*Nøkkelord:* Emergente relasjoner, stimulusekvivalens, elektroencefalografi, N400

## Stimulus Equivalence and Event-Related Potentials

Electroencephalography (EEG) is used to measure the brain's electrical activity and can be used as an additional measure to test for equivalence class formation. Event-related potentials (ERPs) is measured through average EEG. N400 is an ERP component that is used to measure semantic or associative context between stimuli within cognitive psychology. N400 is a negative peak in the ERP approximately 400 ms after two unrelated stimuli are presented, but not when related stimulus pair is presented. N400 is often tested in a priming procedure where related and unrelated stimuli pair is presented. Word stimuli is often used. Within behavior analysis it is argued that N400 is a response that measure the relational strength between two stimuli, a response that can be manipulated as other types of responses. Research on the brain's electrical activity can contribute to bridge the gap between behavior analysis and neuroscience as the physical response is observable on a neural level. Better knowledge about the brain's electrical activity can be useful in diagnostic work as well as therapy.

*Key words:* Emergent relations, stimulus equivalence, electroencephalography, N400

---

Diskriminering innbefatter hvordan atferd endres avhengig av stimulusbetingelser og diskrimineringen kan karakteriseres som enkel eller kompleks (f.eks. McIlvane, 2013).

Korrespondanse angående denne artikkelen kan adresseres til granerud.guro@gmail.com

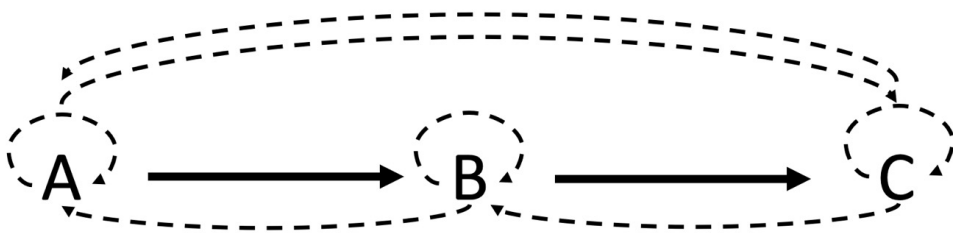
Ved enkel diskriminasjon etableres atferd under kontroll av en diskriminativ stimulus når en klasse responser blir forsterket i nærvær av denne stimulusen. Når en lærer spør klassen om hva hovedstaden i Norge er, og en elev rekker opp hånden og svarer

«Oslo» produserer dette gjerne en forsterker i form av at læreren anerkjenner at svaret var riktig. Dette øker sannsynligheten for at lignende typer av atferd forekommer igjen etter lignende diskriminative stimuli. Responsen «Oslo» i nærvær av den diskriminative stimulusen «hovedstaden i Norge» er styrket. Elever som kun lyttet og ikke selv svarte på spørsmålet kan ha produsert denne responsen uten at den er observerbar for andre ved å gjenta spørsmål og korrekt svar for seg selv, og hører at lærer bekrefter «Oslo» som korrekt svar. Slik kan relasjonen mellom diskriminativ stimulus og respons styrkes som ikke kan observeres uten måleinstrumenter av hva som skjer på nevralt nivå (Palmer, 2009). Vi vil i denne artikkelen beskrive hvordan et måleinstrument som elektroencefalografi (EEG) kan benyttes for å studere sammenhenger mellom målinger på nevralt nivå og respondering under tester for stimulusekvivalens.

### Kompleks diskriminasjon og stimulusekvivalens

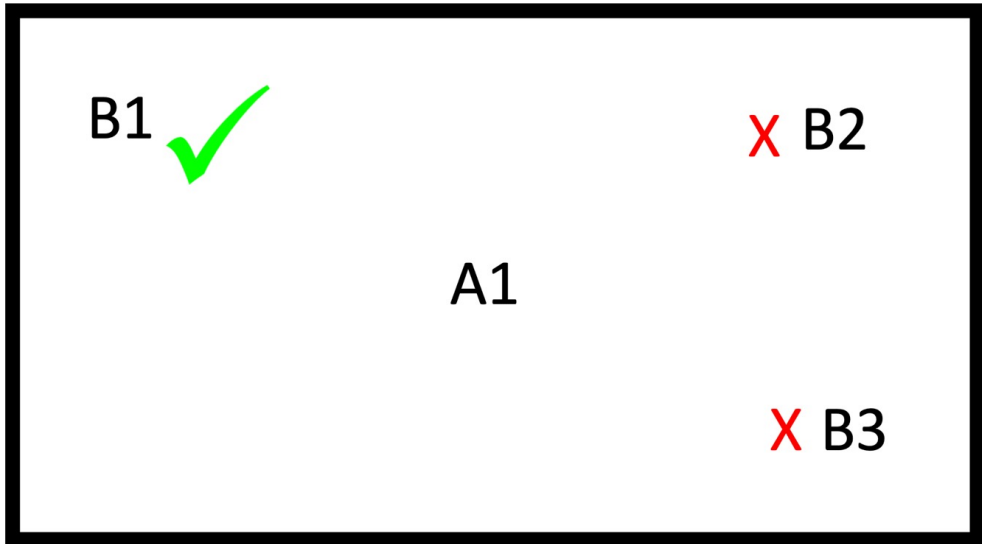
Kompleks diskriminasjon innebærer blant annet betinget diskriminasjon, altså hvordan enkel diskriminasjon kommer under kontroll av andre stimuli. Forskning om stimulusekvivalens innebærer å teste under ekstinksjonsbetingelser om betingede diskriminasjoner etablert under trening fører til at nye relasjoner som ikke er direkte trent oppstår. Som regel trenes noen baselinerelasjoner ved bruk en betinget diskriminasjonsprosedyre og deretter testes det om det oppstår andre relasjoner. I forskning og anvendt settinger

benyttes ofte et matching-to-sample (MTS) format hvor utvalgsstimulus presenteres på en dataskjerm og to eller flere sammenlikningsstimuli presenteres samtidig eller etter et bestemt eller varierende tidsintervall. Deltakerens oppgave er å respondere til utvalgsstimulus og sammenlikningsstimuli og får da en tilbakemelding på om responsen er korrekt eller ikke. På denne måten trenes to eller flere klasser av stimuli. Hvis den betingede diskriminasjonstreningen innebærer treningen av relasjonene AB og BC, kan det testes for relasjonene refleksivitet, symmetri, transitivitet og global ekvivalens (kombinasjon av symmetri og transitivitet). I dette eksemplet vil da refleksivitet innebære emergens av relasjonene AA, BB, og CC, mens symmetri innebærer emergens av BA og CB. Transitivitet innebærer emergens av AC relasjonen og global ekvivalens innebærer emergens av CA relasjonen (se Figur 1). Refleksivitet, symmetri, transitivitet og global ekvivalens er altså relasjoner som ikke er direkte trent, men som kan framkomme som et resultat av de trente betingede diskriminasjonene i MTS prosedyren (Sidman, 1994). En slik betinget diskriminasjon innebærer at tretermskontingen-  
gensen ( $S^D: R \rightarrow S^R$ ) kommer under kontroll av en annen stimulus, en betinget stimulus som presenteres i forkant av den diskriminativ stimulusen, derav firetermskontingen-  
sener ( $S^{CD}: R \rightarrow S^R$ ) (Sidman, 1986). En trial vil da for eksempel være at korrekt respons er definert som trykk på B1 og ikke B2 eller B3 som sammenlikningsstimuli når A1 er sample (Se Figur 2). Relasjonene kan trenes gjennom tre ulike treningsstrukturer. *Linear Series* (A



Figur 1. Trening og testing for respondering i henhold til stimulusekvivalens.

*Merknad.* Hele linjer er direkte trente relasjoner, stiplede linjer er emergente relasjoner



Figur 2. Eksempel på en trial i en Matching-to-Sample prosedyre.

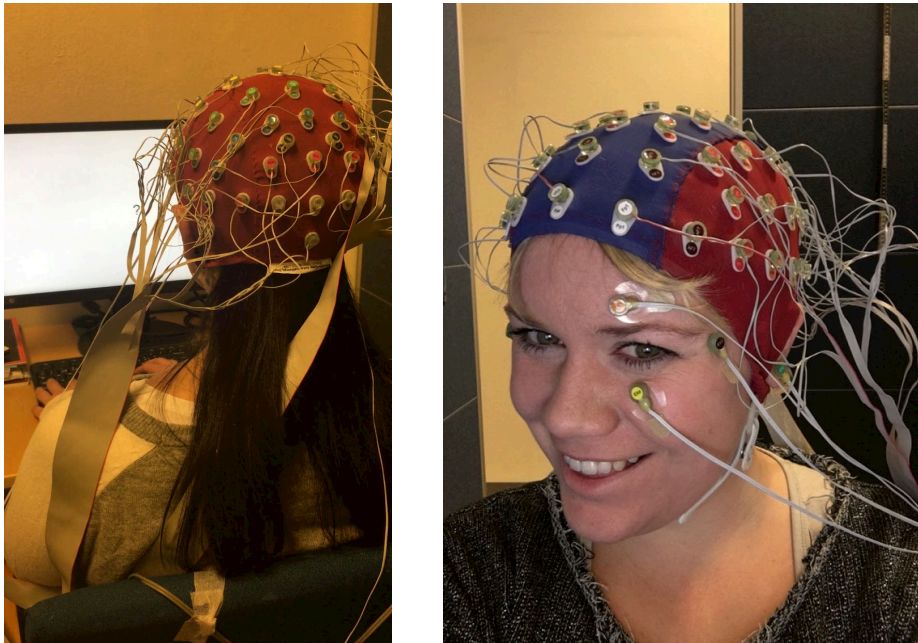
*Merknad.* A1 er utvalgsstimulus og B1, B2, og B3 er sammenlikningsstimuli. Når A1 er til stede, så er B1 korrekt og ikke B2 eller B3.

trenes til B og B trenes til C), *Many-to-One* (A trenes til C og B trenes til C) og *One-to-Many* (A trenes til B og A trenes til C; Arntzen, 2012; Sidman, 1994).

### Elektroencefalografi (EEG)

Et elektrofysiologisk mål som kan benyttes som mål på nevralt aktivitet som korrelerer med emergens av ekvivalensklasser er EEG (f.eks. Haimson et al., 2009). EEG måler hjernens elektriske aktivitet, elektriske signaler i nervebanen, ved hjelp av elektroder plassert på skalpen til deltakeren. Som vist i Figur 3 plasseres elektroder på deltakerens hode ved hjelp av en hette hvor elektrodene allerede er plassert eller elektrodene plasseres etter påsatt hette. I noen systemer festes en og en elektrode direkte på skalpen. Elektrodene plasseres etter et standardisert system på skalpen, med referanseelektroder. Det benyttes også eksterne elektroder rundt øyne for å registrere blunk og andre muskelbevegelser i ansiktet slik at disse ikke registreres som hjerneaktivitet i EEG (Luck, 2014). EEG er en ikke-inngripende målemetode for elektrisk aktivitet i hjernen (Ortu & Vaidya, 2020), hvor man konkret kan måle hvordan

nervesystemet er involvert i etableringen av funksjonelle relasjoner mellom atferd og miljø gjennom å oppdage stimulusendringer i miljøet og styre motoriske bevegelser (Schlinger, 2015). Tilleggs mål som EEG kan gi oss innsikt i atferd på et annet nivå enn vi tidligere har hatt tilgang til (Elcoro & Backer, 2021; Schaal, 2013). I tillegg til å kunne gi oss svar på en rekke spørsmål på eksperimentelt og konseptuelt nivå, kan mål som EEG benyttes i utredning og klinisk arbeid med mennesker. Ved å vite hvordan EEG-mål ser ut ved ulike typer stimulering kan målemetoden EEG som korrelasjonsmål hjelpe oss med å kartlegge behov for tiltak, tilpasse tiltak og måle effekt av tiltak hos individer med behov for spesialiserte tiltak som for eksempel slagpasienter (Paranhos et al., 2018), mennesker med afasi (Rasmussen, 2005), begynnende kognitiv svikt hos eldre (Arntzen & Steingrimsdottir, 2017) og personer med autisme (Granerud et al., 2021). Ved å kunne avdekke forskjeller i hjernens elektriske aktivitet kan EEG-målinger sammenlignes mellom ulike grupper for diagnostisering og effektmål (McLoughlin et al., 2013).

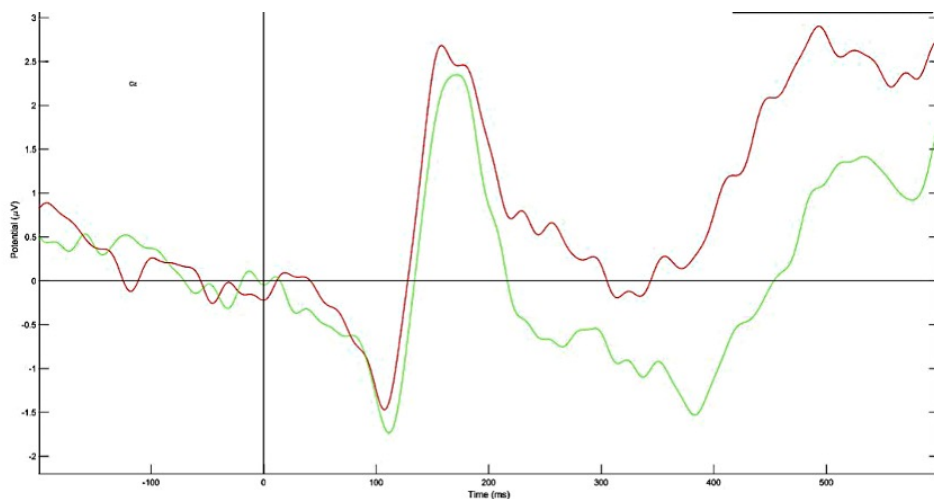


Figur 3. Hetten som brukes i målinger av Elektroencefalografi (EEG).

### Hva er N400 og hvordan måles det

EEG har i flere publikasjoner blitt benyttet som et tilleggsmål ved test for emergens av ekvivalensklasser (Barnes-Holmes et al., 2005; Bortoloti et al., 2014; Granerud-Dunvoll et al., 2019; Haimson et al., 2009; Silveira et al., 2021; Tabullo, et al., 2015a, 2015; Yorio et al., 2008). EEG-målinger gjennomført når deltakeren utfører oppgaver, som ved trening og testing av betingede diskriminasjoner, gir små spenningsforandringer i strukturer i hjernen, såkalte event-relaterte potensialer (ERP). Her presenteres deltakeren gjentatte ganger for samme typer oppgaver og man ser på gjennomsnittet av målt EEG på ulike plasseringer på skalpen i sammenheng med presenterte stimuli (Duncan et al., 2009). En ERP består av ulike komponenter; bølger i ERP som er demonstrert ved ulike stimuleringer. Komponentene har fått navn ut fra om det er en negativ eller positiv *peak* i ERP og det antallet millisekunder (ms) etter stimuluspresentasjon denne *peaken* forekommer (Luck, 2014). Ved test av ekvivalensklasser benyttes målinger av N400

komponenten, en ERP-effekt. N400 er en negativ *peak* i ERP 400 ms etter stimuluspresentasjon og som oppstår når stimuluspar som presenteres er urelaterte, men ikke når relaterte stimuluspar presenteres (se Figur 4). N400 er særlig tydelig over sentral-parietale deler av hodet (på midtre og midtre bakre del av toppen på skalpen), referanseelektroder plassert på mastoidebeinet (beinet bak øret) benyttes (Duncan et al., 2009). Ved måling av N400 benyttes ofte en semantisk priming prosedyre hvor to og to stimuli presenteres suksessivt på en skjerm, en *prime* og en *target* (se Figur 5). De to stimuliene er enten relaterte (fra samme ekvivalensklasse) eller urelaterte (fra ulike ekvivalensklasser). Ofte skal deltakeren bedømme om stimuliene er relatert eller urelatert gjennom å si dette ut høyt eller trykke på definerte taster på en datamaskin. Tradisjonelt innenfor nevropsykologi benyttes ofte ord som stimuli ved testing av semantisk priming (assosiasjon), to ord fra samme kategori (eks. hund og katt) og to ord fra ulik kategori (eks. bil og sofa), men bilder, lyder og andre meningsfulle stimuli



Figur 4. Event-relaterede potensialer (ERP).

*Merknad.* Y akse presenterer mikrovolt, x akse presenterer antall ms før og etter stimuluspresentasjon. Linje ved 0 ms presenterer stimuluspresentasjon. Rød linje er relaterte stimuluspar, grønn linje er urelaterte stimuluspar. Negativ *peak* ca. 400 ms etter stimuluspresentasjon ved urelaterte stimuluspar defineres som n400 responsen.



Figur 5. De ulike delene i en trial i en primingprosedyre.

kan også benyttes (Duncan et al., 2009; Kutas & Federmeier, 2011, Luck, 2014).

Responser kan forekomme på ulike nivåer; som latent atferd, ikke observerbar atferd eller observerbar atferd (se Palmer, 2009). Innenfor atferdsanalyse er det argumentert for at N400 er en respons. N400 responsen er et mål på relasjonell styrke mellom stimuliene som presenteres, den er manipulerbar og avhengig av læringshistorien til deltakeren (Donahoe & Palmer, 1994; Granerud-Dunvoll et al., 2019, Ortu, 2012; Ortu et al., 2013). Når *target* som presenteres etter *prime* har en relasjon til *prime* svekkes N400 responsen, mens hvis disse ikke har en relasjon styrkes N400 responsen. Styrken til responsen er et resultat av variabler som kontrollerer atferd, på bakgrunn av deltakerens

læringshistorie (Palmer, 2009). N400 responsen måles som et negativt utslag i ERP 400 ms etter stimuluspresentasjon når urelaterte stimuluspar presenteres og ikke når relaterte stimuluspar presenteres. Ortu et al. (2013) testet relaterte stimuluspar med høy og moderat relasjon samt stimuluspar med ingen relasjon og resultatene viste at en N400 respons ble produsert ved stimuluspar med ingen relasjon, en mindre N400 respons ved moderate stimuluspar og minst N400 respons ved stimuluspar med høy relasjon. I Granerud-Dunvoll et al. (2019) ble en effekt påvist ved repetisjon av urelaterte stimuluspar. Jo flere ganger et urelatert stimuluspar ble presentert, jo svakere ble N400 responsen. Relasjonen mellom de stimulusparene som var urelaterte ble dermed

sterkere ved gjentatte presentasjoner. Det ble også demonstrert at ekvivalensrelasjoner, relaterte stimuluspar som ikke er direkte trent, produserte en N400 lignende negativ *peak* sammenlignet med symmetrirelasjoner. Dette er også demonstrert i Tabullo et al. (2015a) og ved sammenligning av ekvivalensrelasjoner mot trente betingede relasjoner i Barnes-Holmes et al. (2005). Menendez et al. (2018) fant derimot ikke denne effekten ved å sammenligne N400 responsen ved baselinereelasjonene og emergente relasjoner. Under MTS trening trenes A stimulus til B stimulus. Ved test for symmetri testes B stimulus mot A stimulus. Stimuliene i relasjonen har altså blitt vist sammen tidligere, i etableringen av de betingede diskriminasjonene. Det samme gjelder selvsagt for baselinereelasjonene. Stimuliene som utgjør transitivitets- og ekvivalensrelasjoner har aldri før vært presentert sammen, hvor A er trent til B og B er trent til C, og det er test av A til C og C til A. Grunnet denne læringshistorien kan den etablerte relasjonen være svakere ved transitivitet/ekvivalens enn ved symmetrirelasjoner og direkte trente relasjoner og dermed medføre en sterkere N400 respons.

I tidlig EEG-forskning var det funn som tydet på at ekvivalensrelasjonene ikke eksisterte før de var testet, som vist i Haimson et al. (2009). Her ble det demonstrert at deltakerne som testet halyparten av de mulige emergente relasjonene i en MTS prosedyre produserte en umiddelbar N400 respons ved urelaterte stimuluspar når resten av de mulige emergente relasjonene ble testet i en primingprosedyre. Deltakerne som ikke gjennomførte MTS test med halyparten av de mulige emergente relasjonene viste en økende forekomst av N400 respons ved urelaterte stimuluspar i primingprosedyren. Menendez et al. (2018) fant ikke denne effekten, deltakerne produserte en N400 respons uavhengig om de gjennomførte test for ekvivalens i MTS før eller etter primingprosedyren. De samme resultatene viser Silveira et al. (2021) hvor både gruppen som ble presentert MTS test for noen av de emergente relasjonene

før primingprosedyre og test for N400 og gruppen som ikke ble presentert for test i MTS viste en robust N400 respons.

Det er argumentert for at det er funksjonelle overlapp mellom semantisk priming og ekvivalensrelasjoner (Bortoloti et al., 2014). Noen publikasjoner har sammenlignet priming med meningsfulle ord (assosiasjon mellom ord med en læringshistorie) med priming ved test av ekvivalensrelasjoner (relasjoner som ikke er direkte trent og etablert gjennom eksperimentelle betingelser) og funnet at begge paradigmer produserer en N400 respons (Granerud-Dunvoll et al., 2019; Tabullo et al., 2015b). Det har også blitt benyttet stimuli som ord uten mening (Tabullo et al., 2015a), meningsfulle bildestimuli sammen med abstrakte bildestimuli i samme klasser (Granerud-Dunvoll et al., 2019), meningsfulle bildestimuli som ansiktsuttrykk i samme klasser som abstrakte bildestimuli (Bortoloti et al., 2014) og et ord uten mening i samme klasse som abstrakte bildestimuli (Dias et al., 2021). Alle disse har vist seg å produsere en N400 respons og det har vært diskutert om bruken av slike mer eller mindre meningsfulle stimuli kan fasilitere navngivning av stimuli og at det i det minste er en overlapp mellom tradisjonell ordpriming med ordrelasjoner basert på en lang læringshistorie og priming ved test for ekvivalens hvor relasjonene er etablert under trening i MTS. Dias et al. (2021) testet en gruppe med abstrakte bildestimuli og et ord per klasse og en gruppe med kun abstrakte bildestimuli som var vanskelig å navngi og fant ingen N400 respons hos gruppen som ikke hadde ord som et medlem av klassen. Klasser med økt sannsynlighet for navngivning av stimuli fremmet altså en N400 respons sammenlignet med klasser av stimuli som var vanskelig å navngi. Det er vist av iblant annet av Arntzen (2004) og Mensah og Arntzen (2021) at bruk av meningsfulle stimuli som et medlem av klassen kan fasilitere respondering i henhold til ekvivalens, samt at navngivning kan forekomme når det benyttes meningsfulle stimuli.

## Avsluttende kommentarer

Mål som ERP, her spesifikt N400 komponenten, har gjennom gjentatte eksperimenter vist seg å være nyttige korrelasjonsmål for å observere nevrale prosesser i sammenheng med observerbar problemløsningsatferd (Barnes-Holmes et al., 2005; Bortoloti et al., 2014; Granerud-Dunvoll et al., 2019; Haimson et al., 2009; Silveira et al., 2021; Tabullo, et al., 2015a, 2015; Yorio et al., 2008). Hos mennesker med nevrodversiteter eller kognitiv svikt kan ERP-mål være et nyttig verktøy for å måle forskjeller på hjernens elektriske aktivitet ved ulike problemområder, og kan derfor være viktig ved diagnostisering og ved måling av effekter av tiltak på et nivå man tidligere ikke hadde mulighet til å observere. For eksempel benyttes EEG for å måle synaptisk plastisitet (hjernens formbarhet) ved diagnoser som bipolar lidelse og schizofreni for å identifisere mulige forskjeller i hjernens elektriske aktivitet fra en kontrollgruppe (Valstad et al., 2020). EEG kan også benyttes til å kontrollere hjelpemidler som robotarmer (Jeong et al., 2020) og rullestoler (Wang, 2014). Som presentert i denne artikkelen er også EEG benyttet i forskning innenfor det atferdsanalytiske feltet for å måle nevrale korrelater til observerbar atferd. Vi vil argumentere for at bruk av metoder tradisjonelt benyttet innenfor nevrovitenskap, som EEG, kan bidra til at nevrovitenskap og atferdsanalyse utfyller hverandre som vitenskapelige grener, uten å legge årsaken til atferd på et nevralt nivå. Videre forskning innenfor feltet kan bestå av både mål på hjernens aktivitet ved ulike typer stimulering og læringsituasjoner for å avdekke mulige mekanismer, samt anvendelse av EEG for å bidra til en lettere hverdag gjennom for eksempel styring av hjelpemidler og kommunikasjonsverktøy. Nevrovitenskaplige metoder som EEG og atferdsanalytiske metoder basert på stimulusekvivalens bygger begge på seleksjonsprinsipper, atferdsanalyse med seleksjon av atferd gjennom konsekvenser og nevrovitenskap med naturlig seleksjon, og argumenteres for å være komplementære vitenskaper hvor kunn-

skapen fra de to grenene kan utfylle hverandre (Donahoe, 2017).

## Referanser

- Arntzen, E. (2004). Probability of equivalence formation: Familiar stimuli and training sequence. *The Psychological Record*, 54(2), 275–291. <https://doi.org/10.1007/BF03395474>
- Arntzen, E. (2012). Training and testing parameters in formation of stimulus equivalence: Methodological issues. *European Journal of Behavior Analysis*, 13, 123–135. doi:10.1080/15021149.2012.11434412
- Arntzen, E., & Steingrimsdottir, H. S. (2017). Electroencephalography (EEG) in the study of equivalence class formation. An explorative study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 58. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00058>
- Barnes-Holmes, D., Staunton, C., Whelan, R., Barnes-Holmes, Y., Commins, S., Walsh, D., ... & Dymond, S. (2005). Derived stimulus relations, semantic priming, and event-related potentials: Testing a behavioral theory of semantic networks. *Journal of the Experimental Analysis of behavior*, 84(3), 417–433. <https://doi.org/10.1901/jeab.2005.78-04>
- Bortoloti, R., Pimentel, N., & de Rose, J. C. (2014). Electrophysiological investigation of the functional overlap between semantic and equivalence relations. *Psychology & Neuroscience*, 7(2), 183. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2014.015>
- Dias, G. C., Silveira, M. V., Bortoloti, R., & Huziwara, E. M. (2021). Electrophysiological analysis of stimulus variables in equivalence relations. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 115(1), 296–308. <https://doi.org/10.1002/jeab.664>
- Donahoe, J. W. (2017). Behavior analysis and neuroscience: Complementary disciplines. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 107(3), 301–320. <https://doi.org/10.1002/jeab.251>

- Donahoe, J. W. & Palmer, D. C. (1994). *Learning and complex behavior*. Allyn & Bacon.
- Duncan, C. C., Barry, R. J., Connolly, J. F., Fischer, C., Michie, P. T., Näätänen, R., . . . Van Petten, C. (2009). Event-related potentials in clinical research: Guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. *Clinical Neurophysiology*, 120(11), 1883–1908. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.07.045>
- Elcoro, M., & Backer, A. (2021). Murray Sidman and Patient HM: The role of behavior analysis in the emergence of collaborative modern neuroscience. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 115(1), 242–254. <https://doi.org/10.1002/jeab.656>
- Granerud-Dunvoll, G., Arntzen, E., Elvsåshagen, T., Hatlestad-Hall, C., & Malt, E. (2019). Equivalence class formation and the N400: Methodological issues. *The Psychological Record*, 69(2), 175–191. <https://doi.org/10.1007/s40732-019-00332-x>
- Granerud, G., Arntzen, E., Elvsåshagen, T., Hatlestad-Hall, C. & Malt, E. A. (2021). *Equivalence Class Formation, N400 and Autism Spectrum*. (Sammen drag av posterpresentasjon). Association for Behavior Analysis International 47<sup>th</sup> Annual convention, online. <https://www.abainternational.org/events/program-details/event-detail.aspx?sid=73346&by=Diversity>
- Haimson, B., Wilkinson, K. M., Rosenquist, C., Ouimet, C., & McIlvane, W. J. (2009). Electrophysiological correlates of stimulus equivalence processes. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 92(2), 245–256. <https://doi.org/10.1901/jeab.2009.92-245>
- Jeong, J. H., Shim, K. H., Kim, D. J., & Lee, S. W. (2020). Brain-controlled robotic arm system based on multi-directional CNN-BiLSTM network using EEG signals. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(5), 1226–1238. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2020.2981659>
- Kutas, M. & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, 62, 621–647. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.131123>
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the potential event-related technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- McIlvane, W. J. (2013). Simple and complex discrimination learning. In G. Madden, W. V. Dube, T. D. Hackenberg, G. P. Hanley, & K. A. Lattal (Eds.), *APA Handbook of Behavior Analysis* (Vol. 2, s. 129–163). American Psychological Association.
- McLoughlin, G., Makeig, S., & Tsuang, M. T. (2014). In search of biomarkers in psychiatry: EEG-based measures of brain function. *American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics*, 165(2), 111–121. <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.32208>
- Menéndez, J., Sánchez, F., Polti, I., Idesis, S., Avellaneda, M., Tabullo, Á., & Iorio, A. (2018). Event-related potential correlates of stimulus equivalence classes: A study of task order of the equivalence based priming probes with respect to the stimulus equivalence tests, and among the distinct trial types with each other. *Behavioral Brain Sciences*, 347. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.03.017>
- Mensah, J. & Arntzen, E. (2021). The Role of Meaningful Stimuli in Large Stimulus Classes. *The Psychological Record*. <https://doi.org/10.1007/s40732-021-00483-w>
- Ortu, D. (2012). Neuroscientific measures of covert behavior. *The Behavior Analyst*, 35(1), 75–87. <https://doi.org/10.1007/BF03392267>
- Ortu, D., Allan, K., & Donaldson, D. I. (2013). Is the N400 effect a neurophysio-



- logical index of associative relationships? *Neuropsychologia*, 51(9), 1742–1748. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.05.003>
- Ortu, D. & Vaidya, M. (2020). Intraexperimental development of priming and event related potentials effects with abstract geometrical stimuli. *Behavioural Processes*, 172, 104023. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2019.104023>
- Palmer, D. C. (2009). Response strength and the concept of the repertoire. *European Journal of Behavior Analysis*, 10(1), 49–60. <https://doi.org/10.1080/15021149.2009.11434308>
- Paranhos, A., Paracampo, C. C., Souza, G. S., Galvão, O. F., & Brino, A. L. (2018). Stimulus equivalence and N400 in poststroke patients: An exploratory study. *Psychology & Neuroscience*, 11(4), 375–392. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/pne0000143>
- Schaal, D. W. (2013). Behavioral neuroscience. In G. J. Madden, W. V. Dube, T. D. Hackenberg, G. P. Hanley, & K. A. Lattal (Eds.), *APA handbook of behavior analysis, Vol. 1. Methods and principles* (pp. 339–350). American Psychological Association.
- Schlinger, H. D. (2015). Behavior analysis and behavioral neuroscience. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 210. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00210>
- Sidman, M. (1986). Functional analysis of emergent verbal classes. In T. Thompson & M. D. Zeiler (Eds.), *Analysis and Integration of Behavioral Units* (pp. 213–245). Lawrence Erlbaum.
- Sidman, M. (1994). *Equivalence relations and behavior: A research story*. Boston, MA: Authors Cooperative.
- Silveira, M. V., Silvestrin, M., Vilela, E. C., de Rose, J. C., Arntzen, E., & Caetano, M. S. (2021). Equivalence relations do exist before they are tested: Confirmatory evidence revealed by EEG measurements. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 115(1), 284–295. <https://doi.org/10.1002/jeab.662>
- Tabullo, A., Yorio, A., Zanutto, S., & Wain-selboim, A. (2015a). An ERP comparison of derived relations in stimulus equivalence classes. *Psychology & Neuroscience*, 8(4), 509–528. <https://doi.org/10.1037/pne0000028>
- Tabullo, A., Yorio, A., Zanutto, S., & Wain-selboim, A. (2015b). ERP correlates of priming in language and stimulus equivalence: Evidence of similar N400 effects in absence of semantic content. *International Journal of Psychophysiology*, 96(2), 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.03.004>
- Valstad, M., Moberget, T., Roelfs, D., Slapø, N. B., Timpe, C. M., Beck, D., ... & Elvsåshagen, T. (2020). Experience-dependent modulation of the visual evoked potential: testing effect sizes, retention over time, and associations with age in 415 healthy individuals. *NeuroImage*, 223, 117302. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117302>
- Wang, H., Li, Y., Long, J., Yu, T., & Gu, Z. (2014). An asynchronous wheelchair control by hybrid EEG–EOG brain–computer interface. *Cognitive Neurodynamics*, 8(5), 399–409. <https://doi.org/10.1007/s11571-014-9296-y>
- Yorio, A., Tabullo, A., Wain-selboim, A., Barttfeld, P., & Segura, E. (2008). Event-related potential correlates of perceptual and functional categories: Comparison between stimuli matching by identity and equivalence. *Neuroscience Letters*, 443(3), 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.07.001>