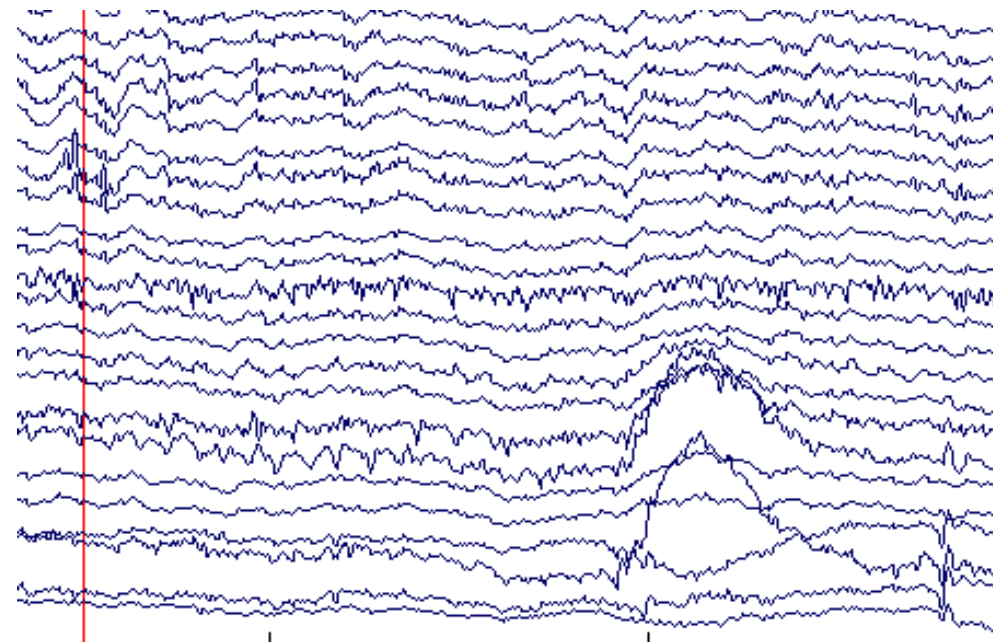


Sissejuhatus  
psühhofüsioloogia  
rakendustesse

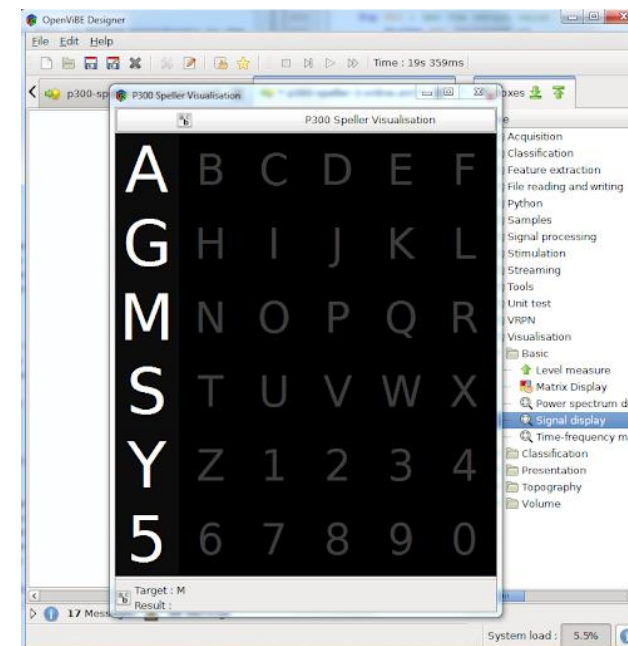
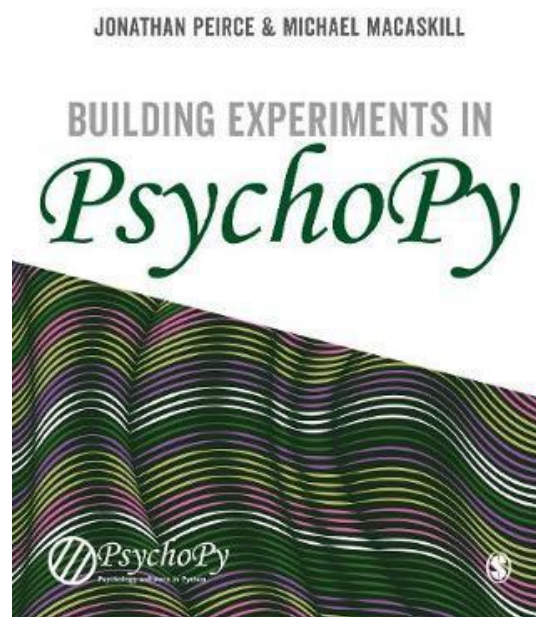
# Elektroentsefalograafia

Richard Naar



Kursuse arendamist toetas Haridus- ja noorteameti IT-akadeemia

# Lisaülesanded



# Täna loengus

The diagram illustrates the structure of a 12-lecture course, organized into three rows of four lectures each. Arrows indicate the flow of the course: a yellow arrow from Lecture 1 to 4, a green arrow from Lecture 4 to 8, a red arrow from Lecture 8 to 12, and a purple arrow from Lecture 12 to 16.

**Row 1 (Lectures 1-4):**

- Lecture 1: Elektromiográfia (Electromyography)
- Lecture 2: (unlabeled)
- Lecture 3: Téma közege (Topic environment)
- Lecture 4: Működés EEG (EEG operation)

**Row 2 (Lectures 5-8):**

- Lecture 5: Részlet EEG (Detail EEG)
- Lecture 6: Működés EEG (EEG operation)
- Lecture 7: Működés EEG (EEG operation)
- Lecture 8: Működés EEG (EEG operation)

**Row 3 (Lectures 9-12):**

- Lecture 9: Elektromiográfia (Electromyography)
- Lecture 10: Elektromiográfia (Electromyography)
- Lecture 11: Elektromiográfia (Electromyography)
- Lecture 12: Elektromiográfia (Electromyography)

**Row 4 (Lectures 13-16):**

- Lecture 13: (unlabeled)
- Lecture 14: (unlabeled)
- Lecture 15: (unlabeled)
- Lecture 16: (unlabeled)

# Milleks EEG?

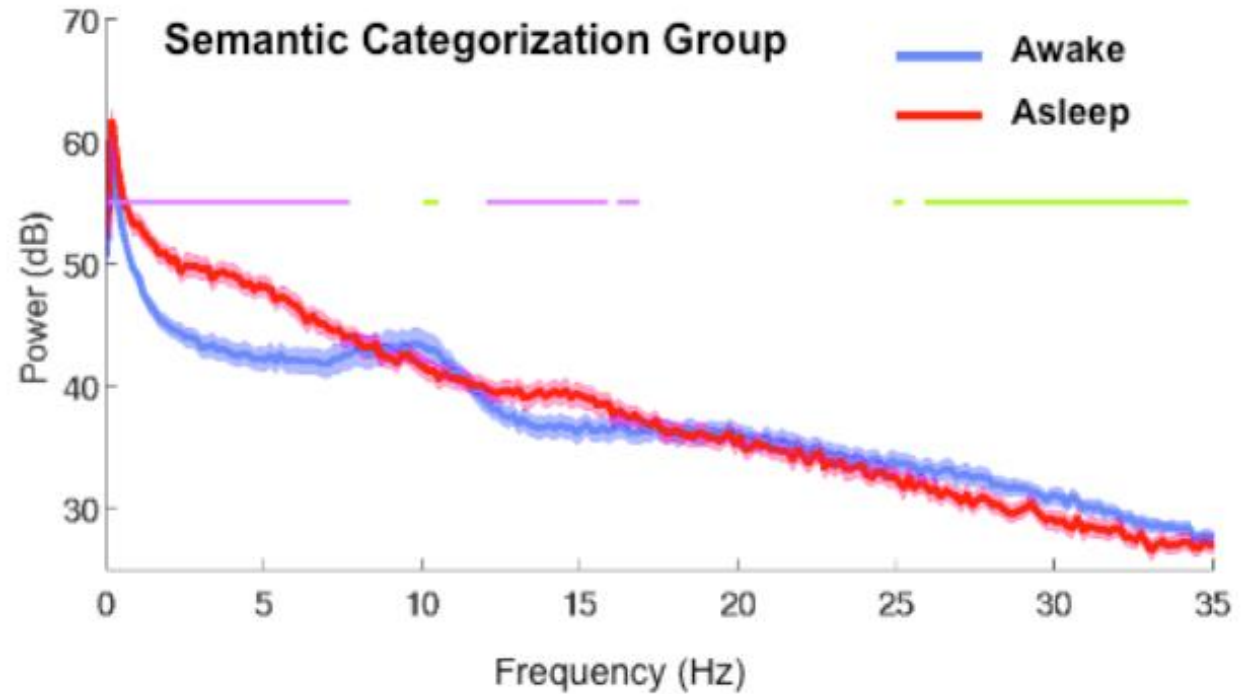
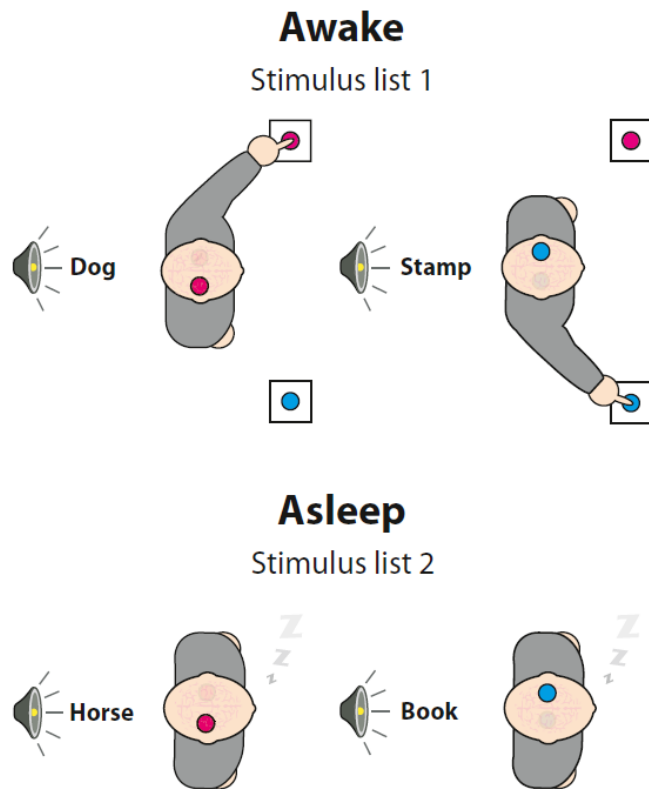
## Kuidas EEG?

## Mis on EEG?

Mis on  
sagedused?

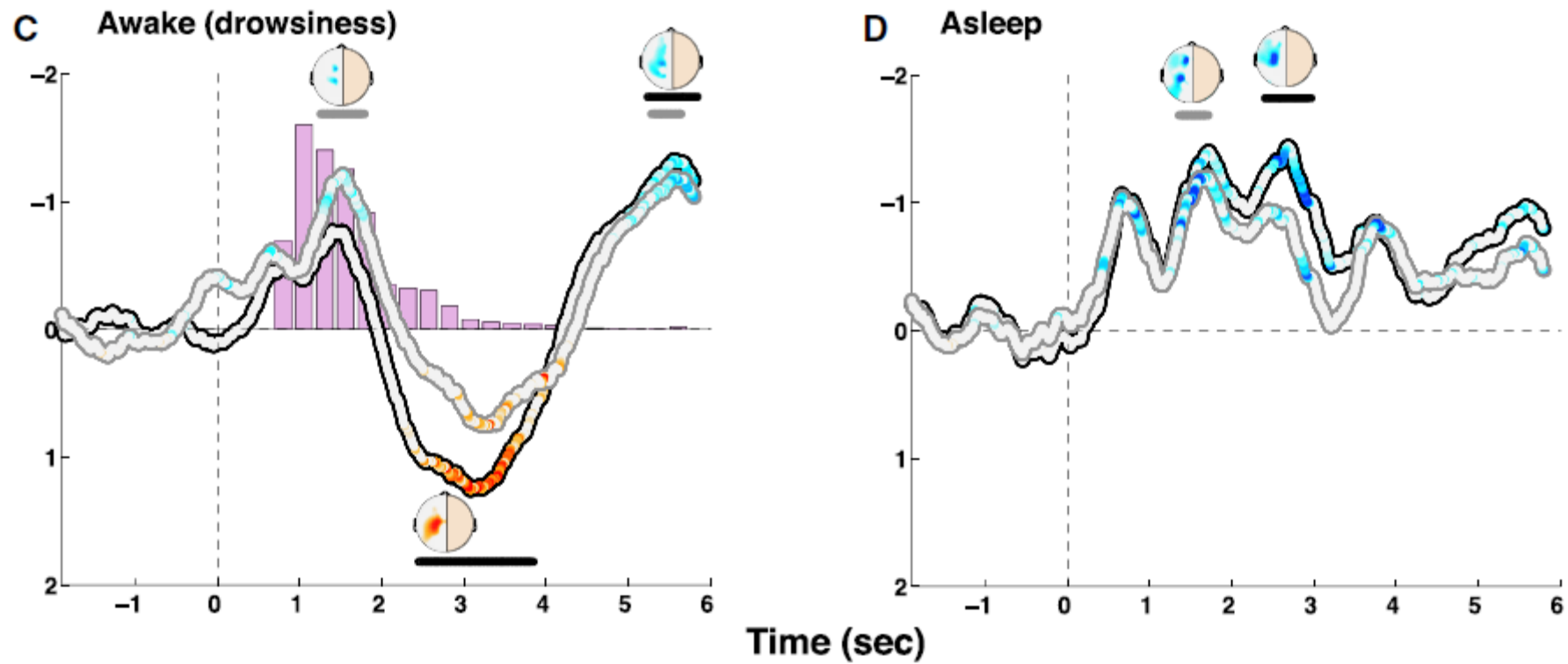
## Mis on ERP?

# Milleks EEG?



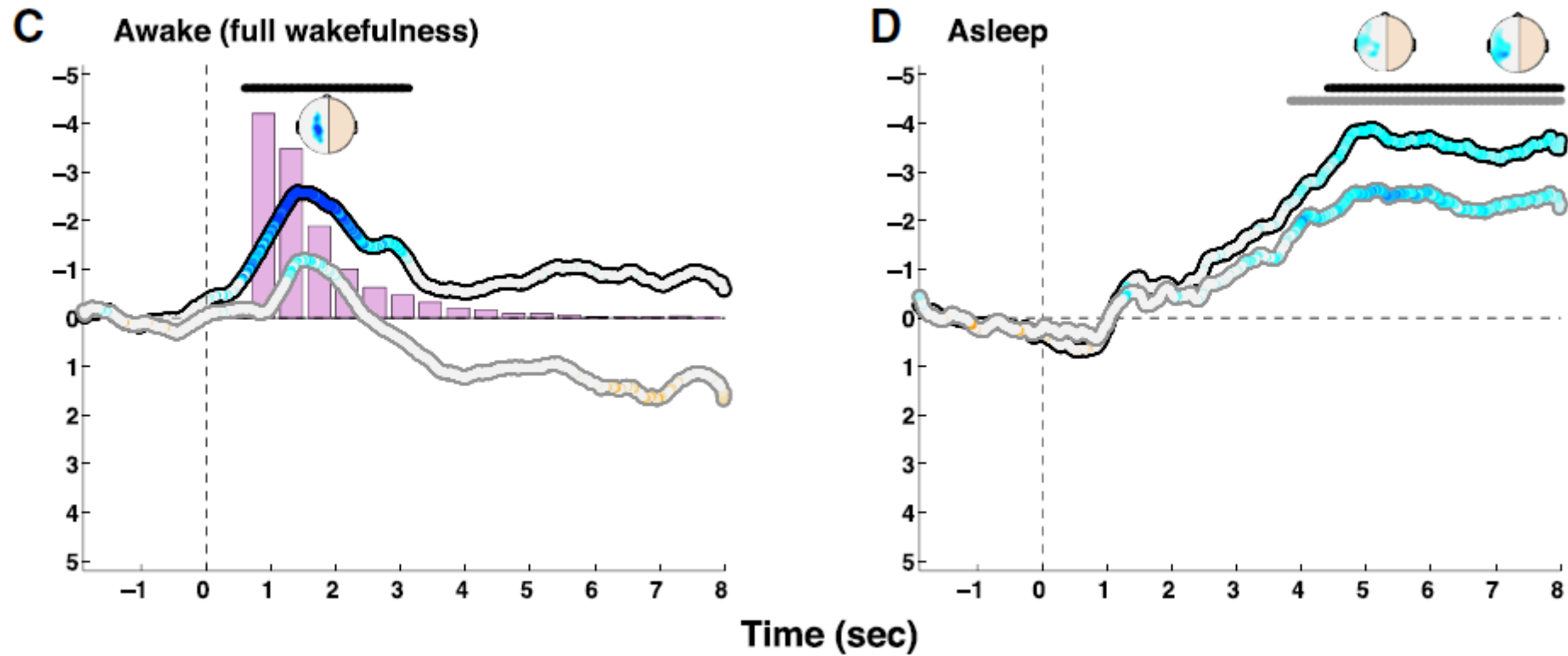
(Kouider, Andrillon, Barbosa, Goupil, & Bekinschtein, 2014)

# Milleks EEG?



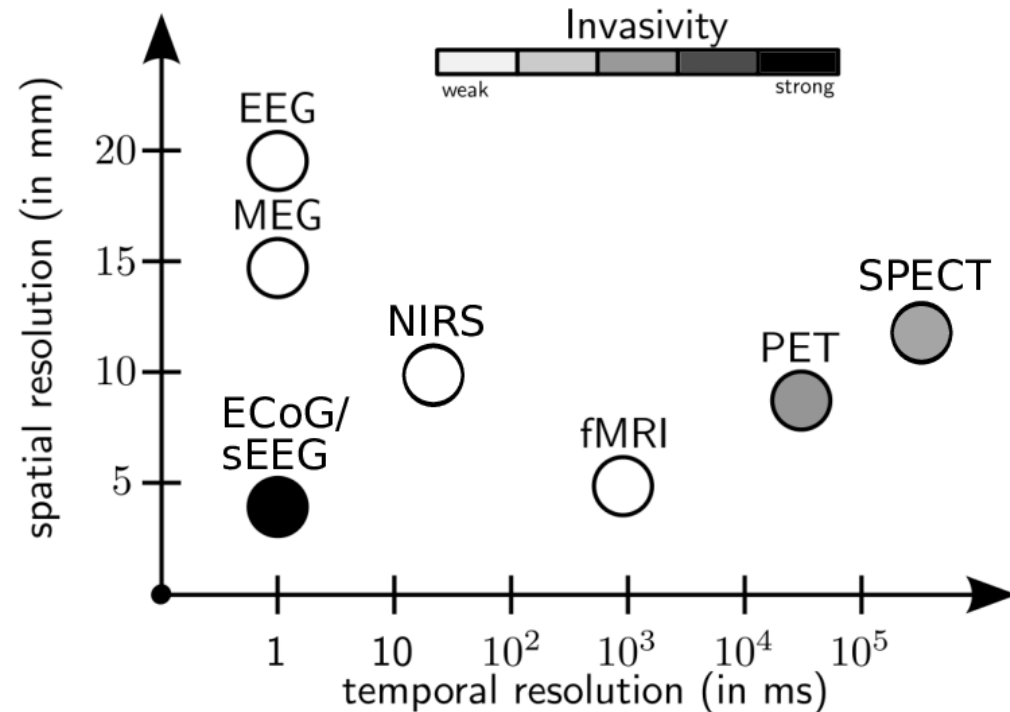
(Kouider, Andrillon, Barbosa, Goupil, & Bekinschtein, 2014)

# Milleks EEG?



(Kouider, Andrillon, Barbosa, Goupil, & Bekinschtein, 2014)

# Milleks EEG?

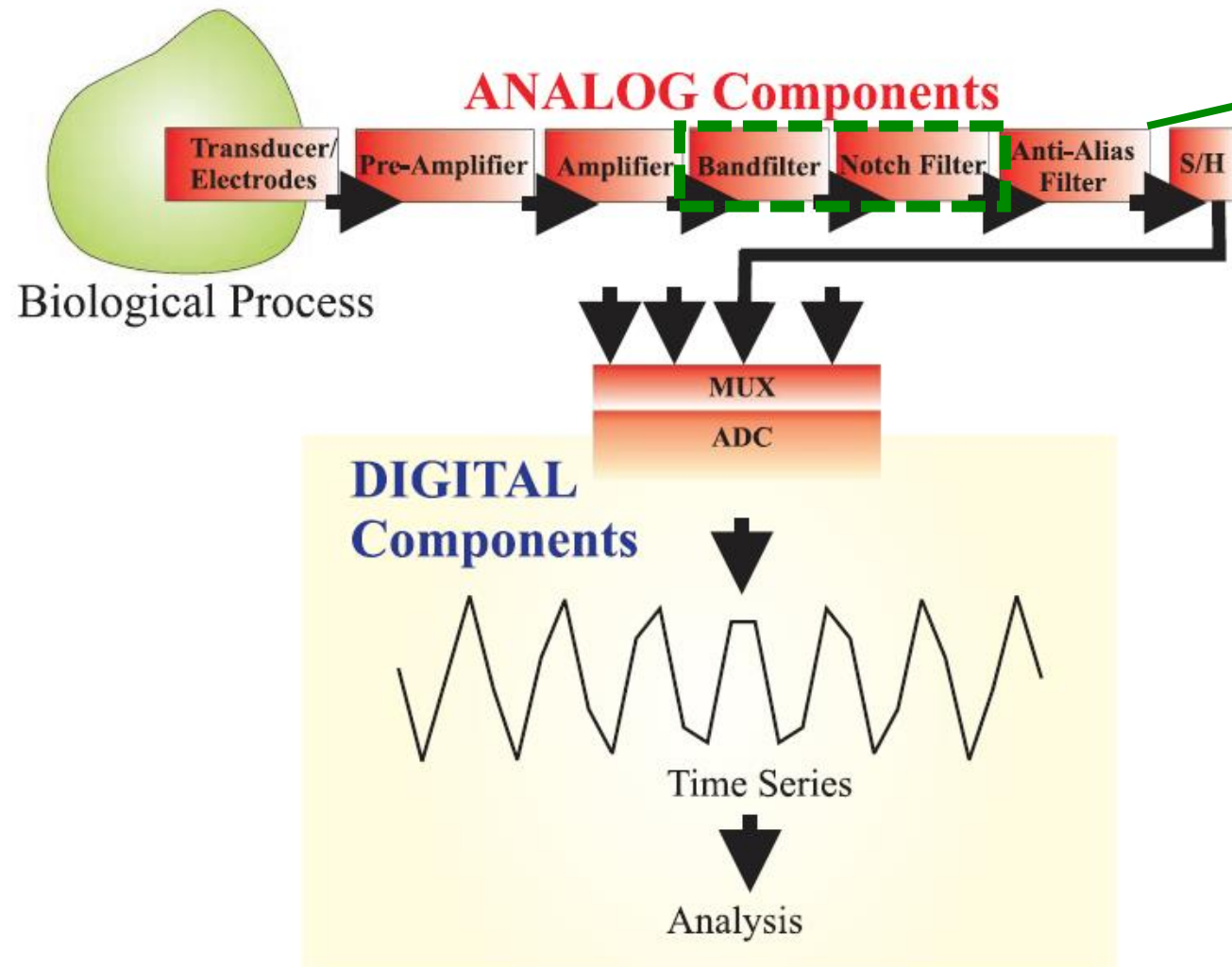


Psühholooge huvitavad kognitiivsed, tajulised, keelelised, emotsionaalsed protsessid on kiired.

Võrrelduna teiste levinud ajukuva meetoditega (sh fMRI ja NIRS) on EEG palju **kõrgema** ajalise resolutsiooniga. EEG ruumiline resolutsioon on aga **madal**.



# Kuidas EEG?

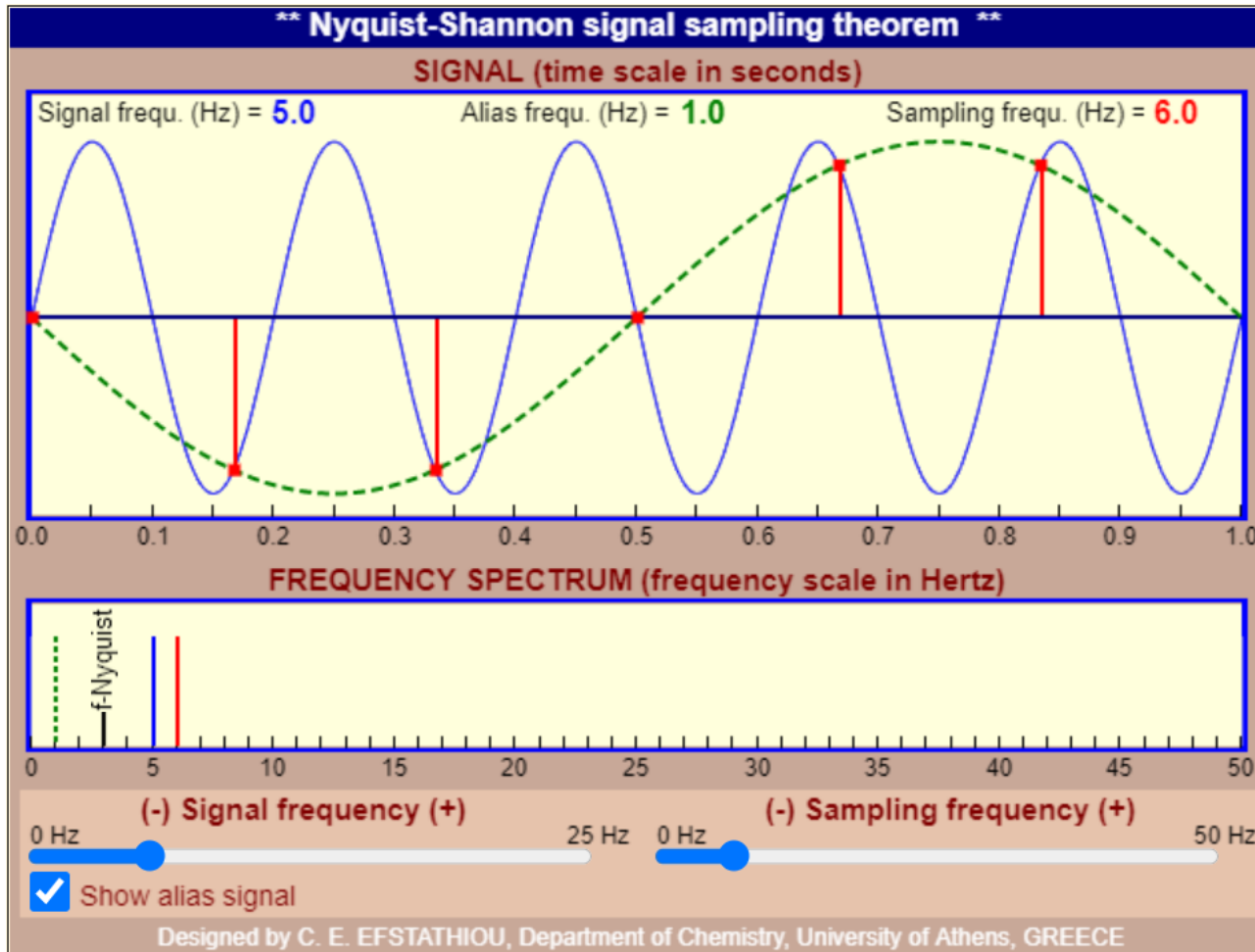


Kuna arvutusvõimsus on kasvanud, siis tavaliselt tehakse need toimingud tänapäeval pärast signaali salvestamist digitaalselt

**Figure 2.1** Diagram of a data acquisition setup, the measurement chain. The red modules constitute the analog steps, while the blue modules are the digital components. S/H— sample hold module; MUX— multiplexer; ADC—analog-to-digital converter.



# Kuidas EEG?

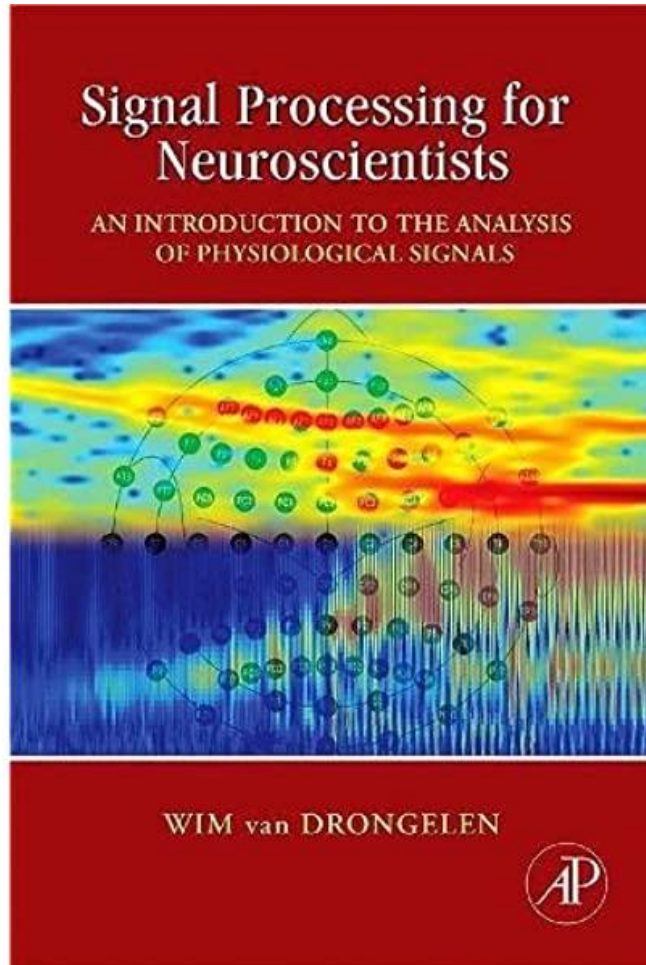


## Nyquisti-Shannoni teoreem

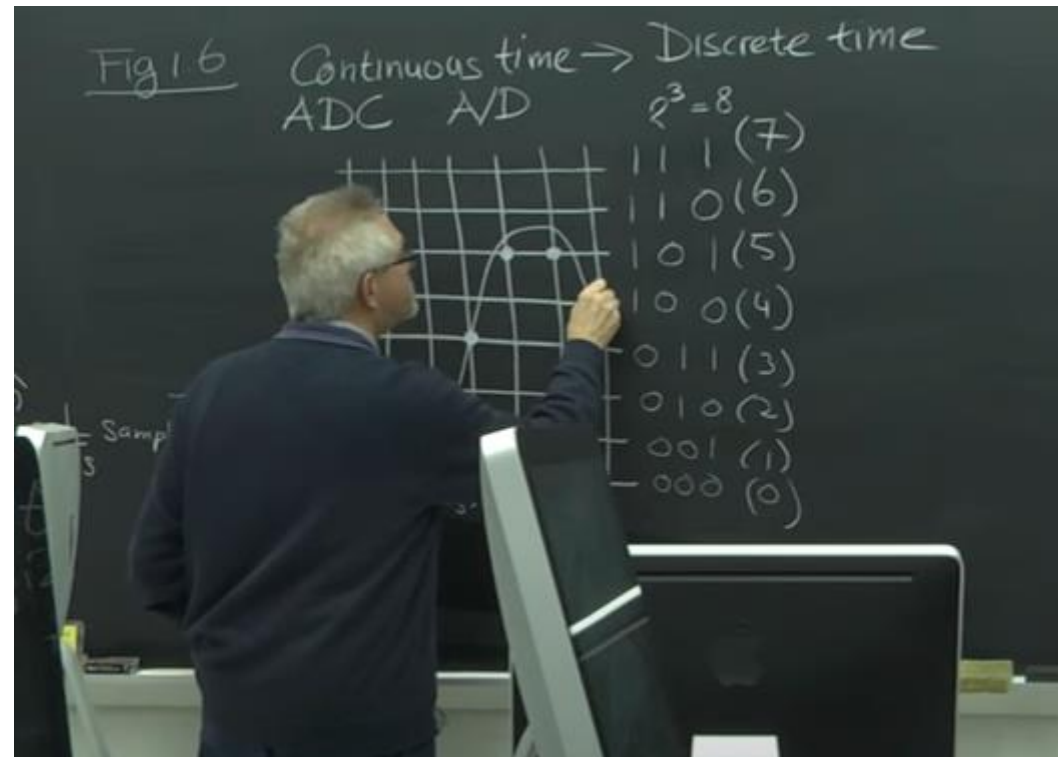
Usaldusväärseks signaali rekonstrueerimiseks peab diskreetimissagedus olema vähemalt 2 korda suurem kui huvialuse signaali kõrgeim sagedus.



# Kuidas EEG?



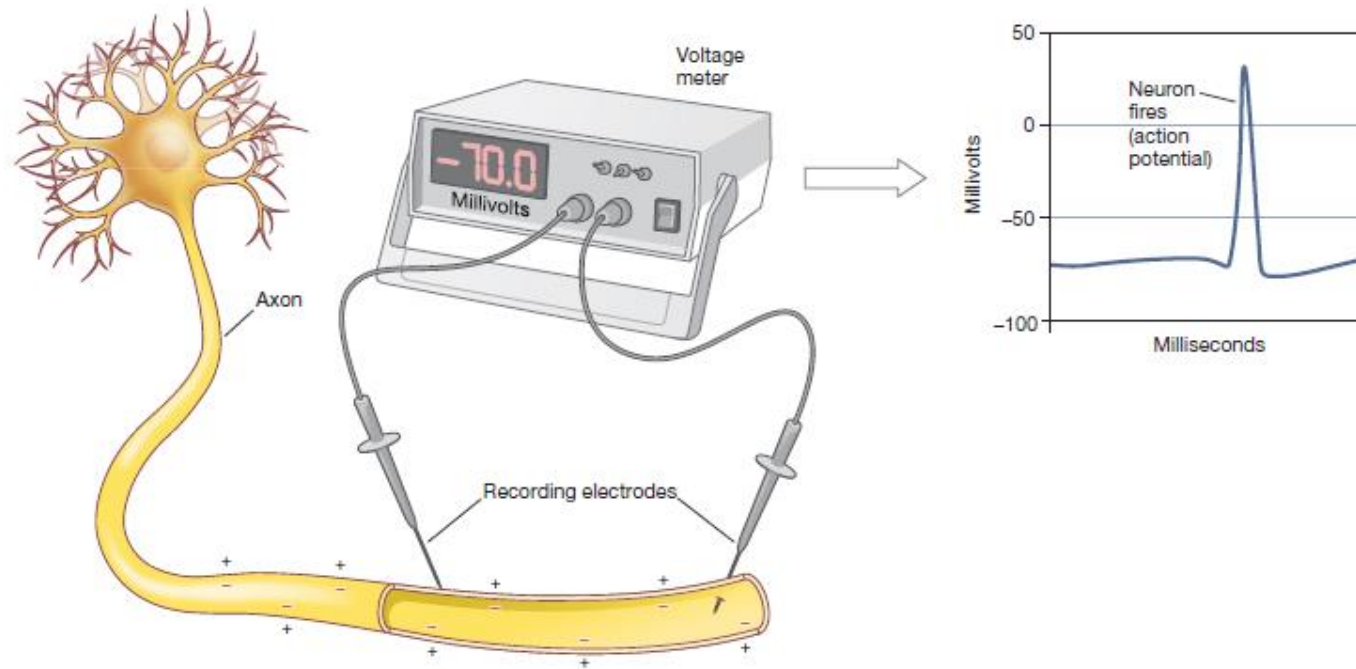
Modeling and Signal Analysis for Neuroscientists



Professor Wim van Drongelen (Chicago Ülikool)

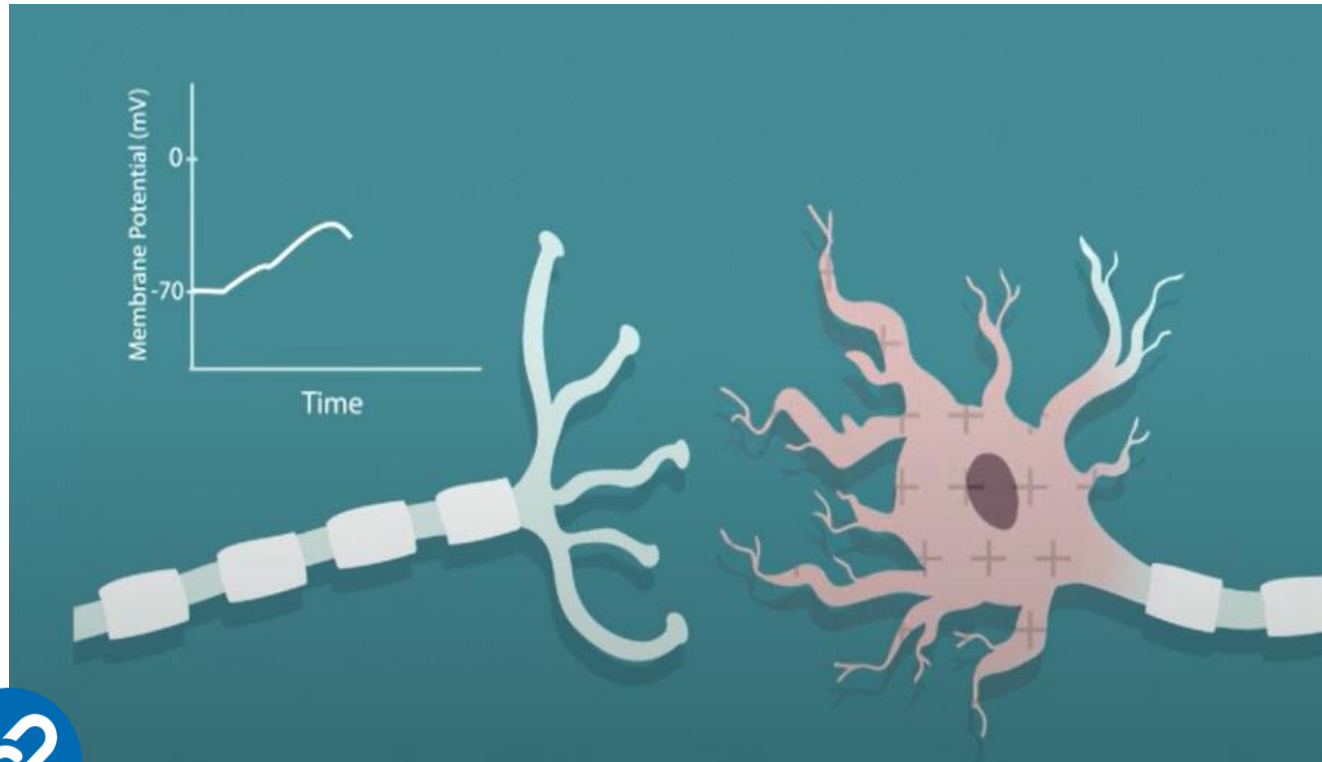


# Mis on EEG?



**3.9 Recording the voltage within a neuron** A schematic drawing of how the impulse is recorded. One electrode is inserted into the axon; the other records from the axon's outside. When the neuron is at "rest," these electrodes will detect a -70-millivolt difference between the cell's interior and its exterior. When the neuron "fires," however, the voltage will briefly shift, although the -70-millivolt difference is soon restored.

# Mis on EEG?



Presünaptiline neuron

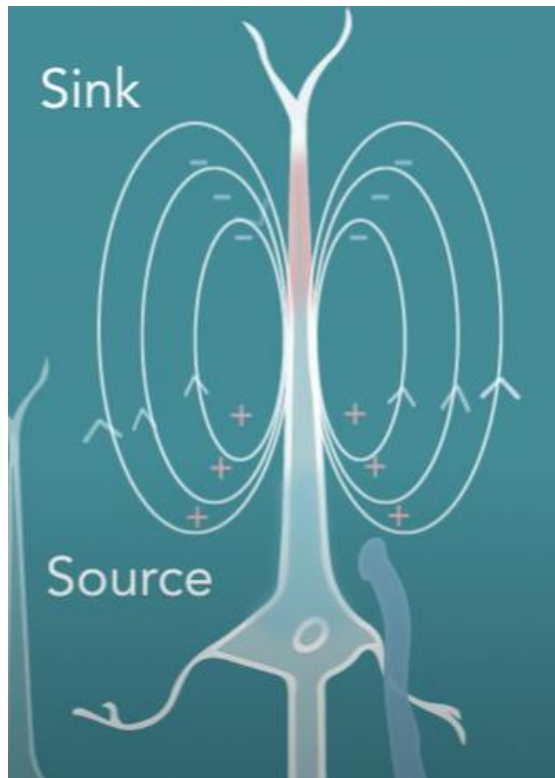
Postsünaptiline neuron

EEG registreerib ajukoore neuronite  
(valdavalt püramidaalrakkude)  
**postsünaptilist aktiivsust**

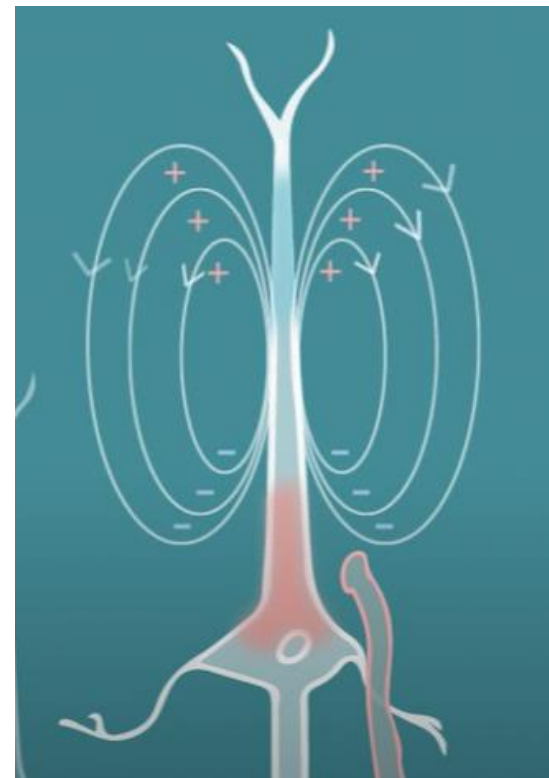
Neuroni postsünaptiline laeng võib olla  
nii positiivne (nagu demonstreeritud  
joonisel) kui negatiivne; sõltuvalt sellest,  
kas presünaptilise neuroni mõju on  
vastavalt aktsioonipotentsiaali  
soodustav (**depolariseeriv**) või pärssiv  
(**hüperpolariseeriv**)

(Gleitman, Reisberg, & Gross, 2003, ptk 3)

# Mis on EEG?



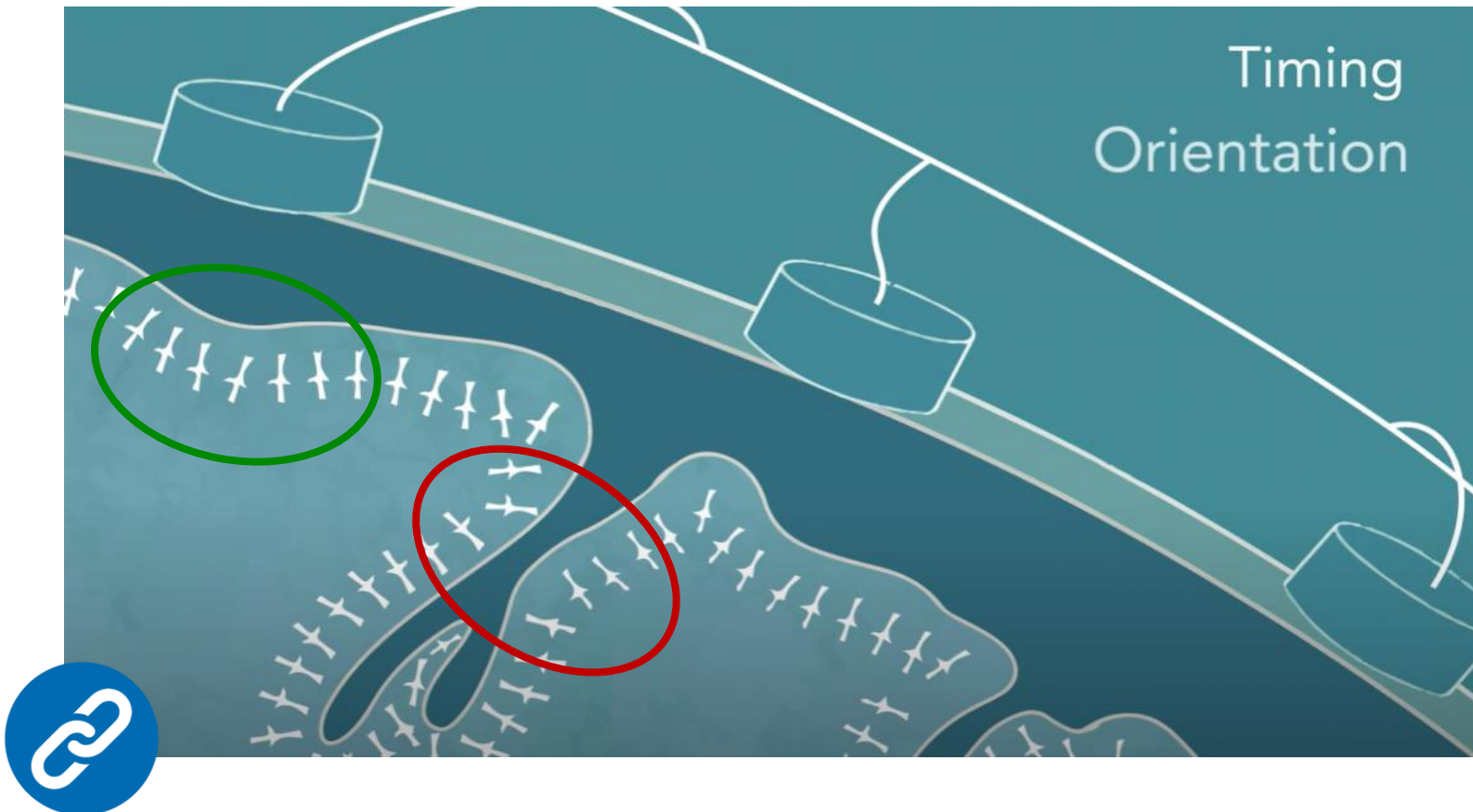
Hüperpolariseeriv mõju



Depolariseeriv mõju



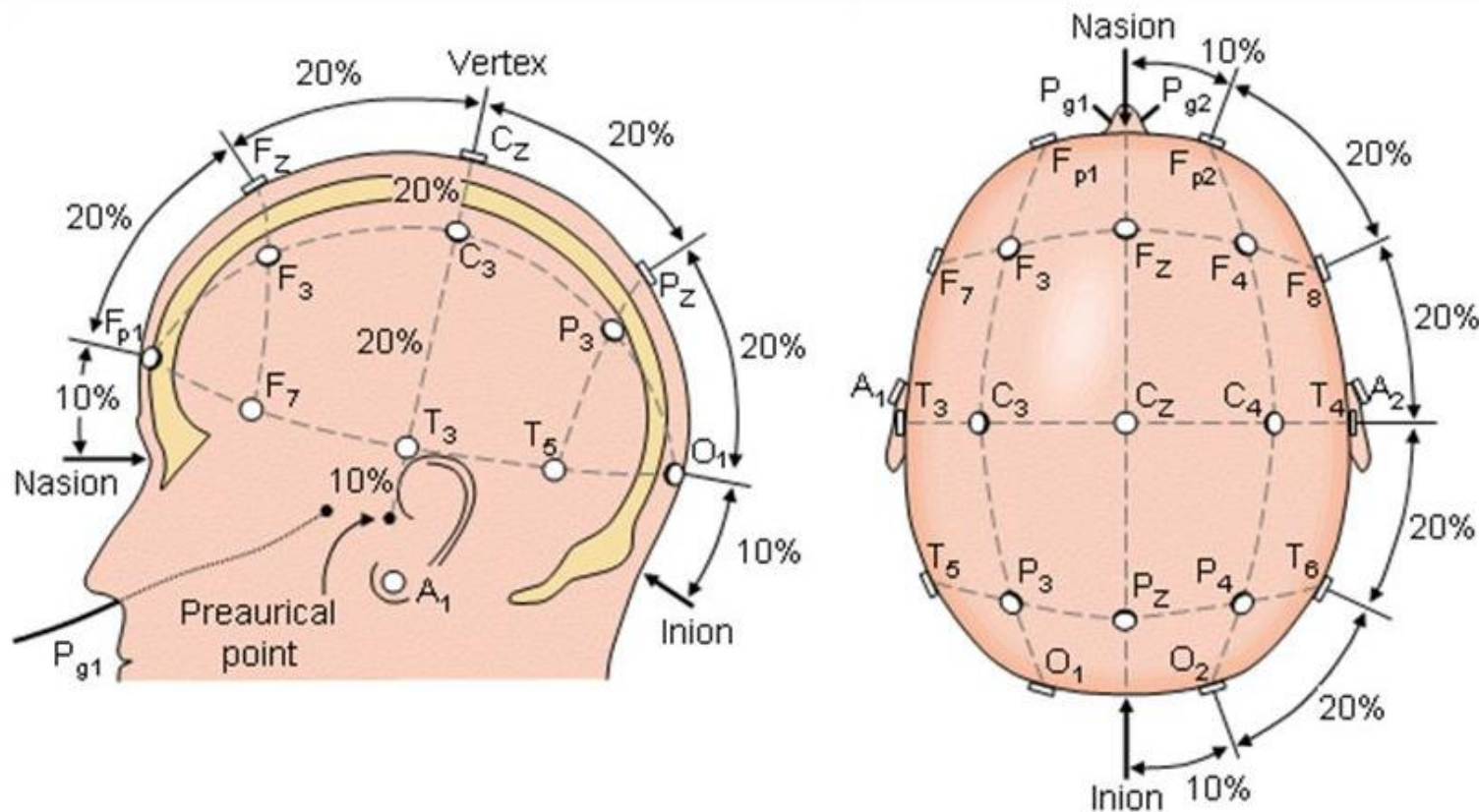
# Mis on EEG?



Ajukoore kurdude vahele jäävate rakkude suhtes on EEG vähe tundlik (nt joonisel punase ringi sisse jäävas piirkonnas), sest kummalgi pool vagu paiknevad signaalid tühistavad üksteise mõju ära ja signaal ei jõua peanahal paikneva elektrodini

Ajukoore peal (nt rohelise ringi sisse jäävas piirkonnas) paiknevad sama orientatsiooniga ja samal ajal aktiveeruvad signaalid summeeruvad ja jõuavad peanahal paiknevasse elektroodi

# Elektroodide paigutamine



Valdav osa töid kasutab EEG elektroodide paigutamisel rahvusvahelist 10-20 paigutust.

Paarisarvud tähistavad paremat ja paaritud vasakut ajupoolkera.

Arvu suurus väljendab kaugust nasoni ja inioni vahelisest kaskjoonest.

Elektroodi nimetamisel kasutatud tähed vihjavad sagaratele (nt frontaal, temporaal jne)



# Elektroodide paigutus ja võrdluselektrood



Figure 1: OpenBCI headband as worn for EEG data collection during our study.

Joonis illustreerib frontaalsete (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8) ja temporaalsete elektroodide (T3, T4) paigutamist vastavalt 10-20 süsteemile ja OpenBCI peapaelu kasutades.

Üks kõrvade külge paigutatud elektroodidest toimib **võrdlussignaalina** ja teist kasutab seade müra summutamiseks (sarnane maanduselektroodile)

# Esimesed mõõtmised inimestel



Hans Berger (1873-1941)

1929 – esimene peanahalt mõõdetud EEG inimesel

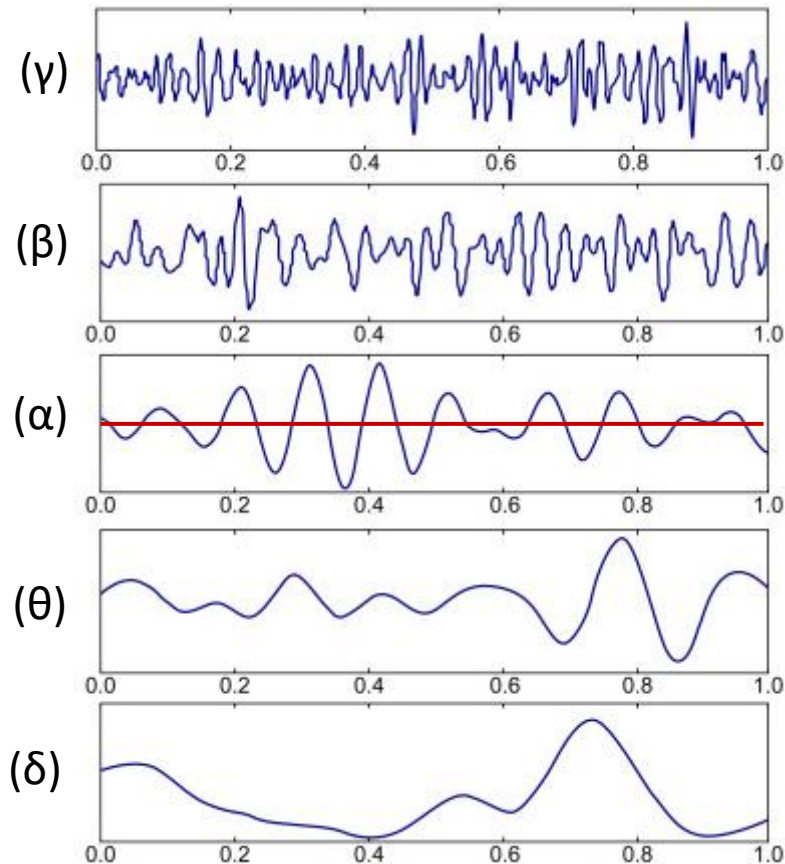
Elektroentsefalograafia termini sünn

Alfa ja Beeta rütmide kirjeldamine

1934 – Adrian and Matthews kordavad  
Bergeri tulemusi

(Ince et al., 2020; Teplan, 2002)

# Levinud sagedusvahemikud

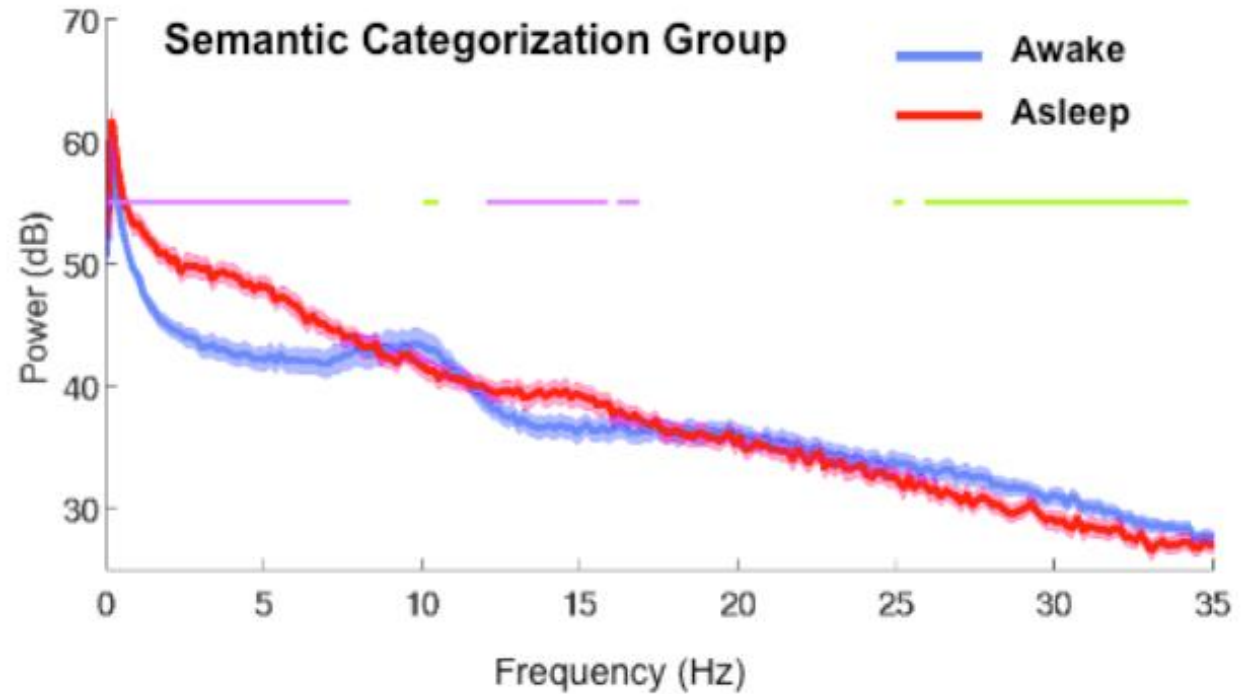
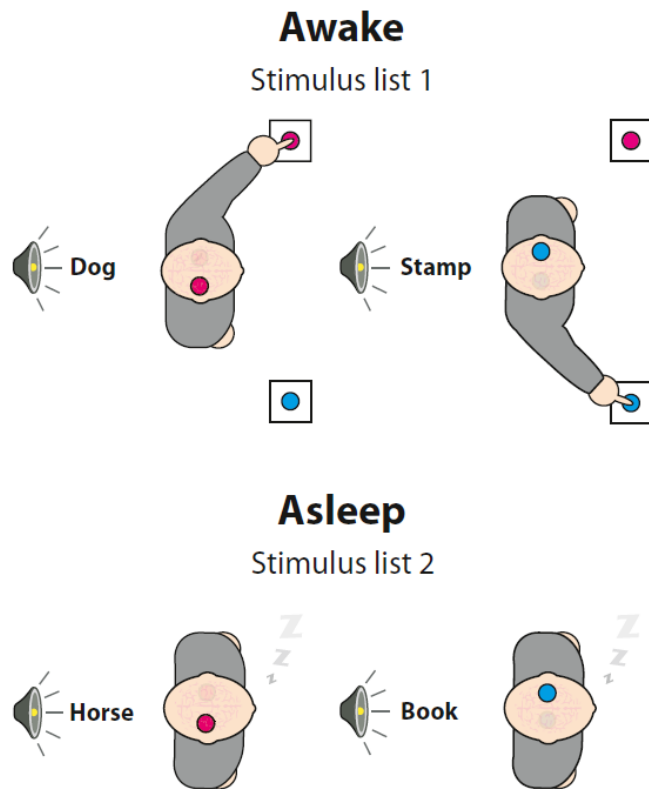


(vt ka Cohen, 2017)

Nimetus	Sagedusvahemik	Seostatud seisundid
Gamma ( $\gamma$ )	> 30 Hz	Keskendumine
Beeta ( $\beta$ )	12-35 Hz	Ärevus, aktiivne mõttetöö, tähelepanu suunatud välja
Alfa ( $\alpha$ )	8-12 Hz	Väga lõõgastunud, passiivne tähelepanu
Teeta ( $\theta$ )	4-8 Hz	Sügav lõõgastumine, sisemine tähelepanu fookus
Delta ( $\delta$ )	0.4-4 Hz	Sügav uni <sup>1</sup>

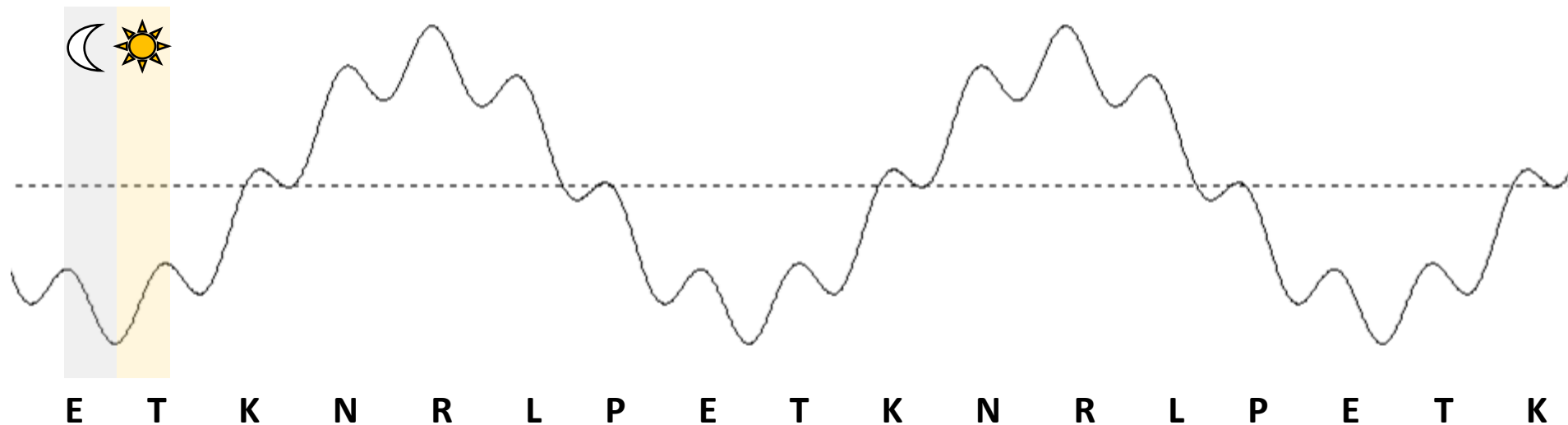
<sup>1</sup>Une faasidega seotud EEG aktiivsusest on juttu Gleitmani õpiku 6. peatükis

# Levinud sagedusvahemikud



(Kouider, Andrillon, Barbosa, Goupil, & Bekinschtein, 2014)

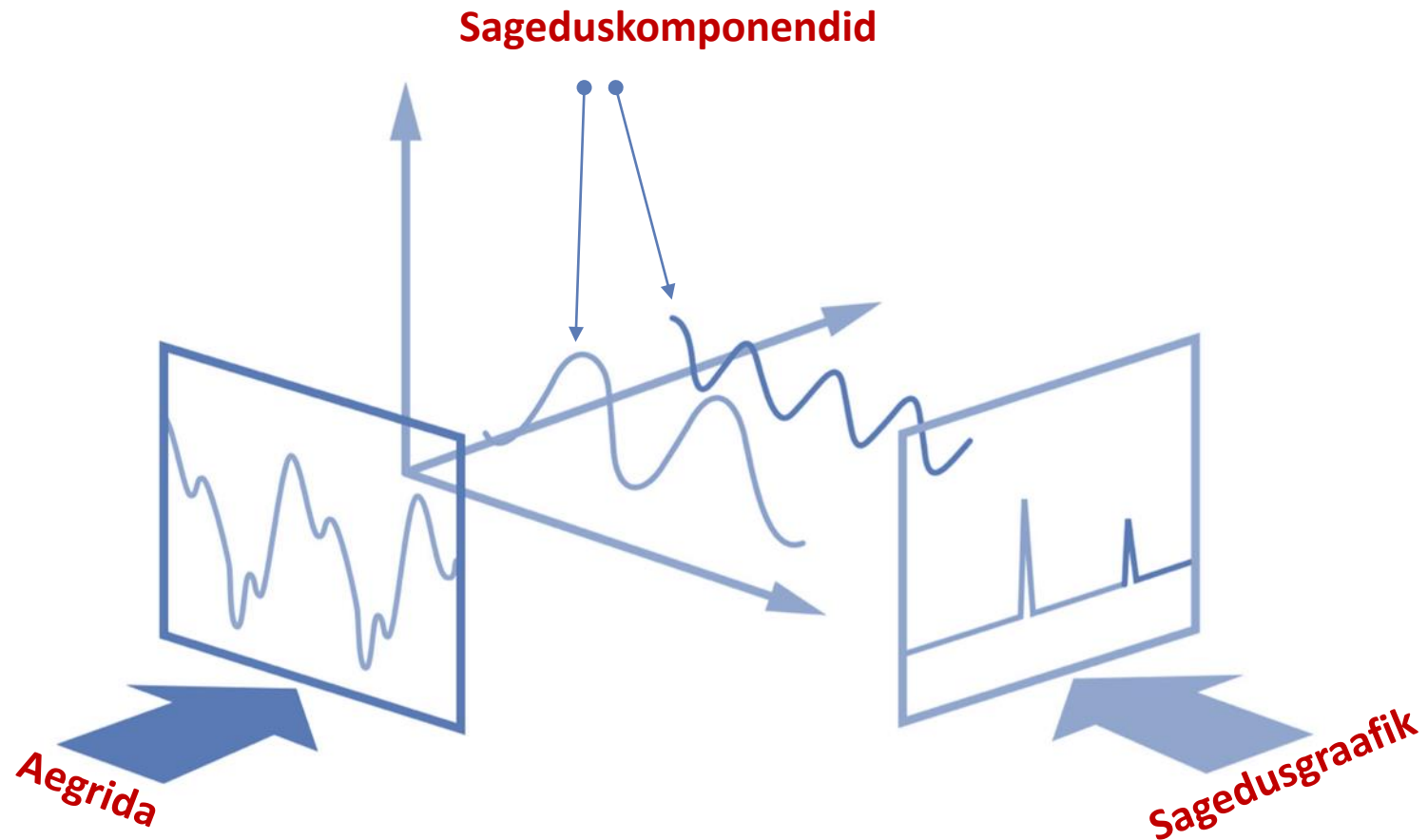
# Sagedused igapäevases kontekstis



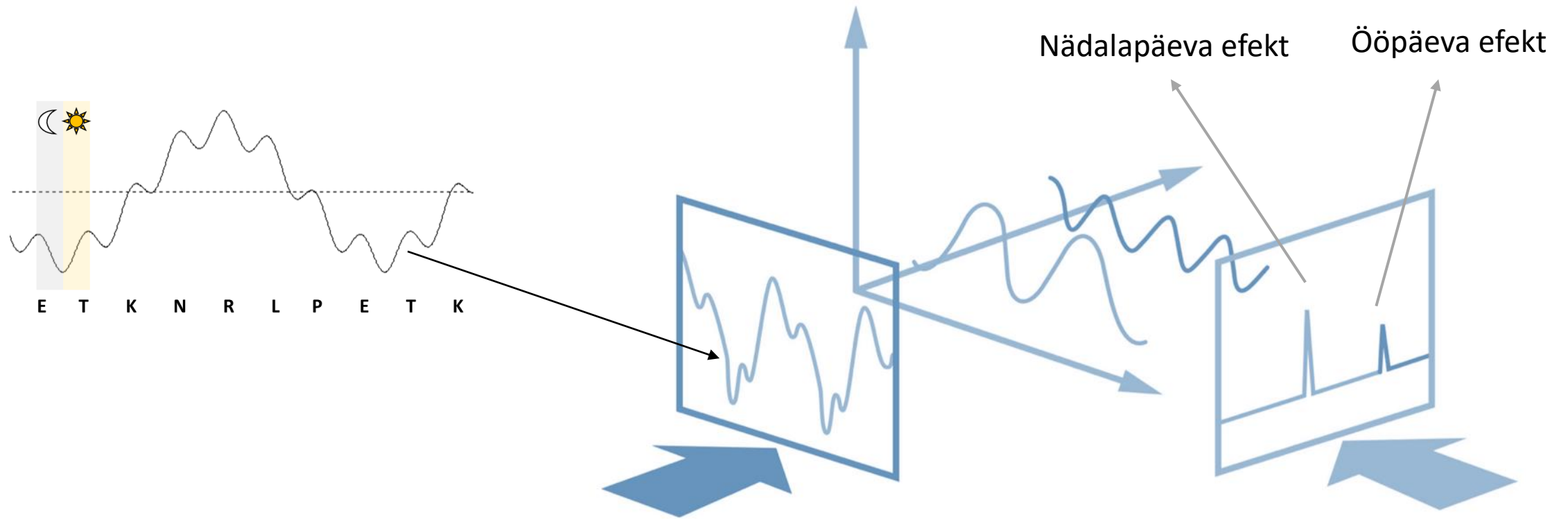
# Fourier analüüs



Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768–1830)



# Sagedused igapäevases kontekstis





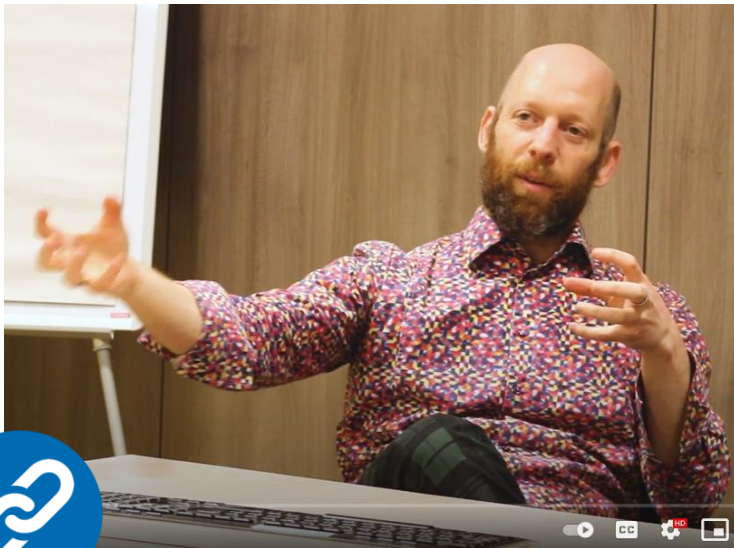
# Fourier analüüs

## Mike X Cohen

Neuroscientist, writer, professor



- ★ 4.6 Instructor Rating
- 👤 22,081 Reviews
- 👥 110,010 Students
- 🎥 20 Courses



IT & Software > Other IT & Software > Signal Processing

## Master the Fourier transform and its applications

Learn the Fourier transform in MATLAB and Python, and its applications in digital signal processing and image processing

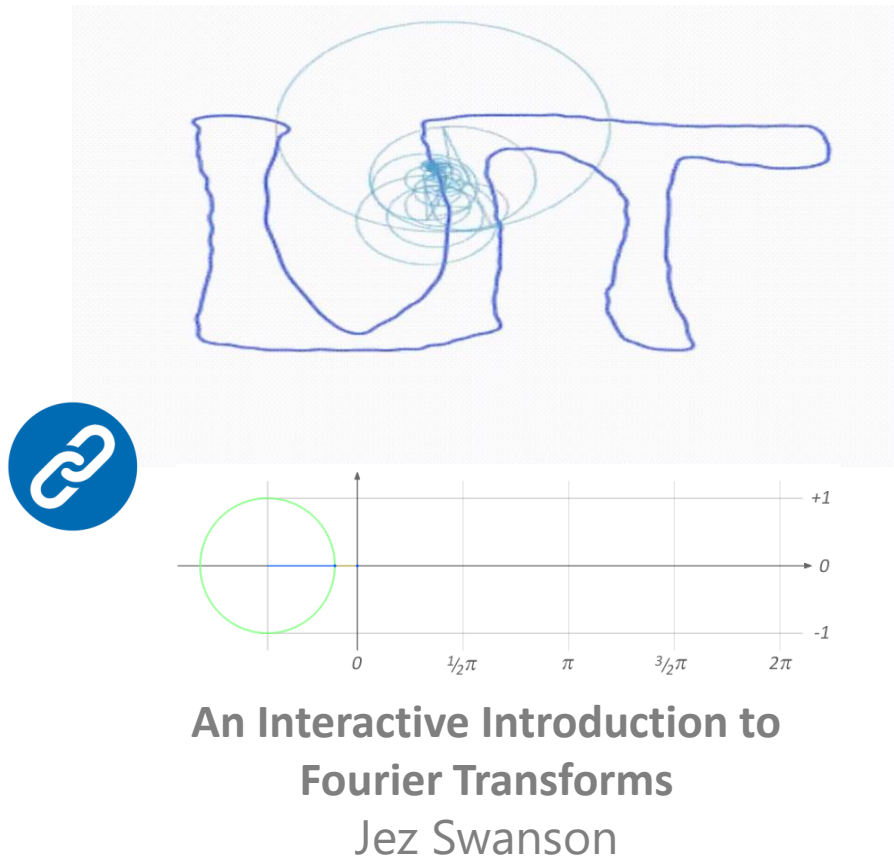
**Bestseller** 4.8 ★★★★★ (1,377 ratings) 9,403 students

Created by [Mike X Cohen](#)

⚙️ Last updated 3/2021 🌐 English 🗣️ English [Auto]

Radboudi Ülikool (vt ka [suvekoolidega seotud infot](#)) ja Dondersi instituut

# Milleks Fourier analüüs?



**Signaali töötamise ja filtreerimise kiirusega seotud põhjused:** mitmed signaalitöötlemisega seotud toiminguid on komputatsiooniliselt tõhusam läbi viia just sagedussignaali, mille saab hiljem pöördteisendusega aegreaks tagasi tõlkida

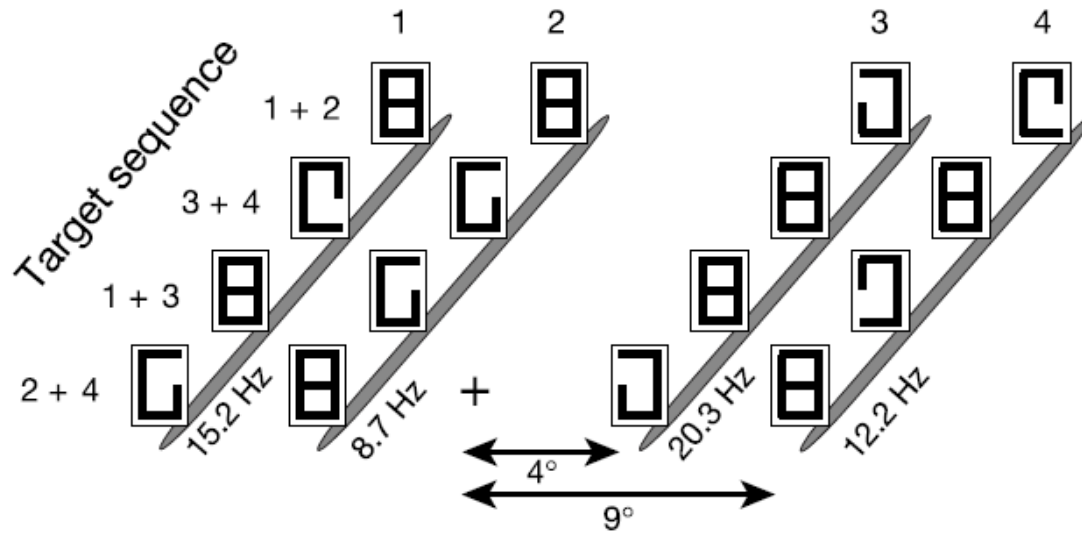
**Sisulised põhjused:** signaal seotud kindla sageduse või selle vahemikuga ja sõltuvaks muutujaks on Fourier analüüsi väljund (nt mõne kitsalt defineeritud sageduse amplituud amplituud)

# Vilkumispotentsiaalid ehk SSVEP (*steady-state visually evoke potentials*)



Nicholas Waytowichi (Old Dominioni ülikooli doktorant) poolt loodud ja vilkumispotentsiaalidel baseeruv aju-arvuti liides

Kas sisemise ruumitähelepanu keset saab jagada valikuliselt mitmele ja ruumiliselt harali paikneval sihtstiimulile?

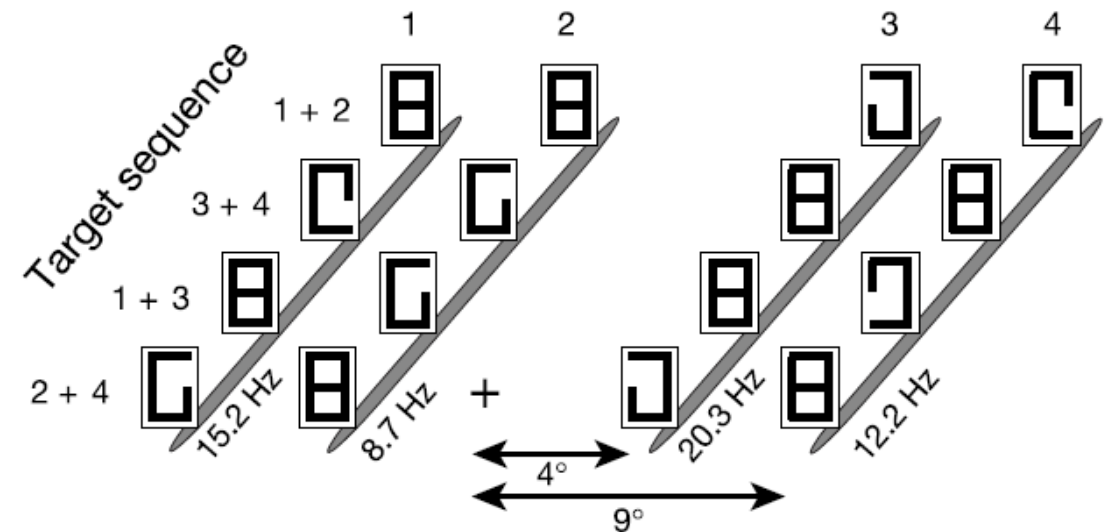
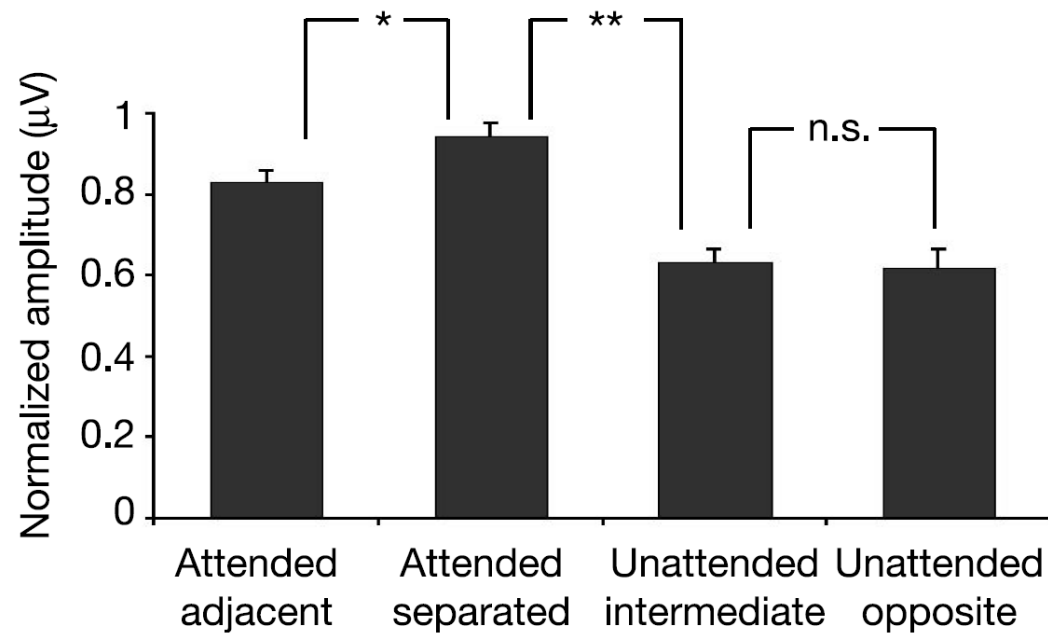


Vilkumispotentsiaalid (SSVEP, *steady state visual evoked potential*) on aju vastus ühtlaselt vilkuvale stiimulile.

Vilkumisega seotud amplituud ajus on tundlik tähelepanu suhtes ja seetõttu on seda rakendatud ka seesmise ruumitähelepanu jaotumise uurimiseks.

(Müller, Malinowski, Gruber, & Hillyard, 2003)

# Sisemise ruumitähelepanu keset **saab** jagada valikuliselt mitmele ja ruumiliselt harali paikneval sihtstiimulile



(Müller, Malinowski, Gruber, & Hillyard, 2003)

(Müller, Malinowski, Gruber, & Hillyard, 2003)

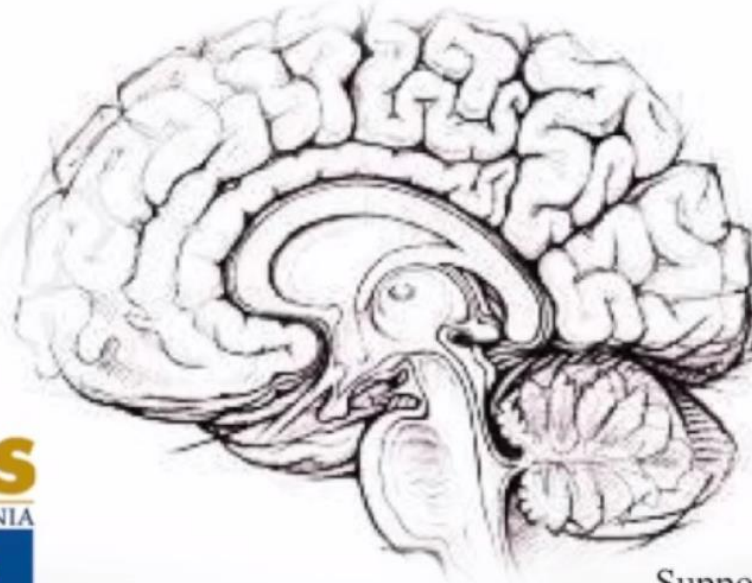


# Summer Institute in Cognitive Neuroscience 2013

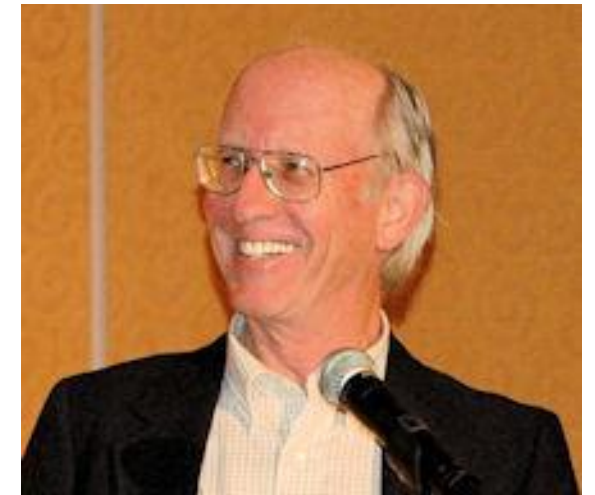
## Steven Hillyard

Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (2015). Electrophysiology of visual attention in humans. In M. S. Gazzaniga & G. R. Mangun (Eds.), *The cognitive neurosciences*, 5<sup>th</sup> ed. (pp. 187-196). Cambridge, MA: MIT Press.

Presented As: Mechanisms of Visual Selective Attention Analyzed with Steady-State Visual Evoked Potentials

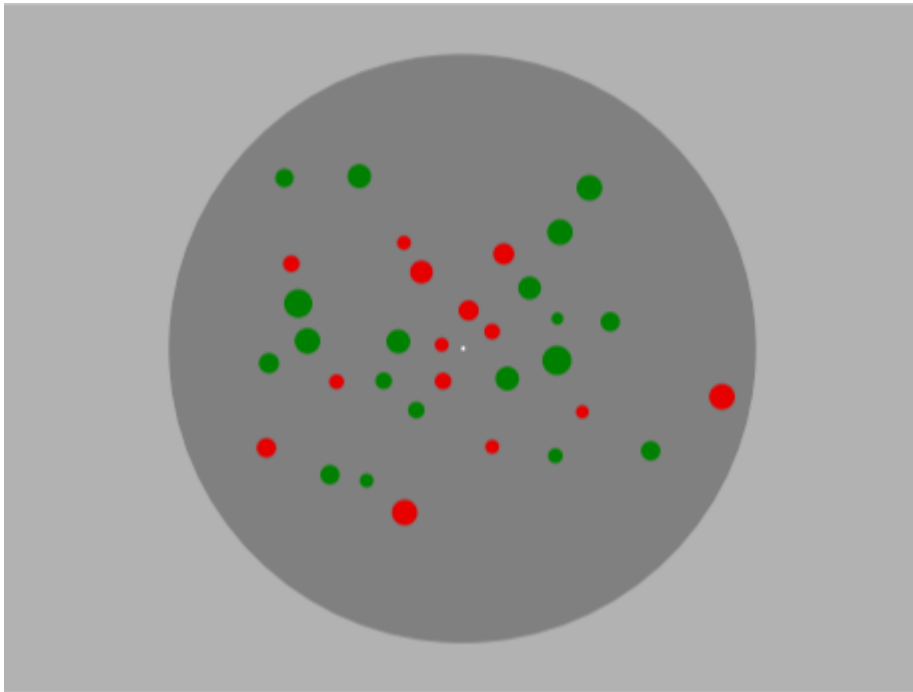


Supported by NIMH



Professor Steven Hillyard  
(California Ülikool San Diegos)

# EEG sündmuspotentsiaalid (ERP)

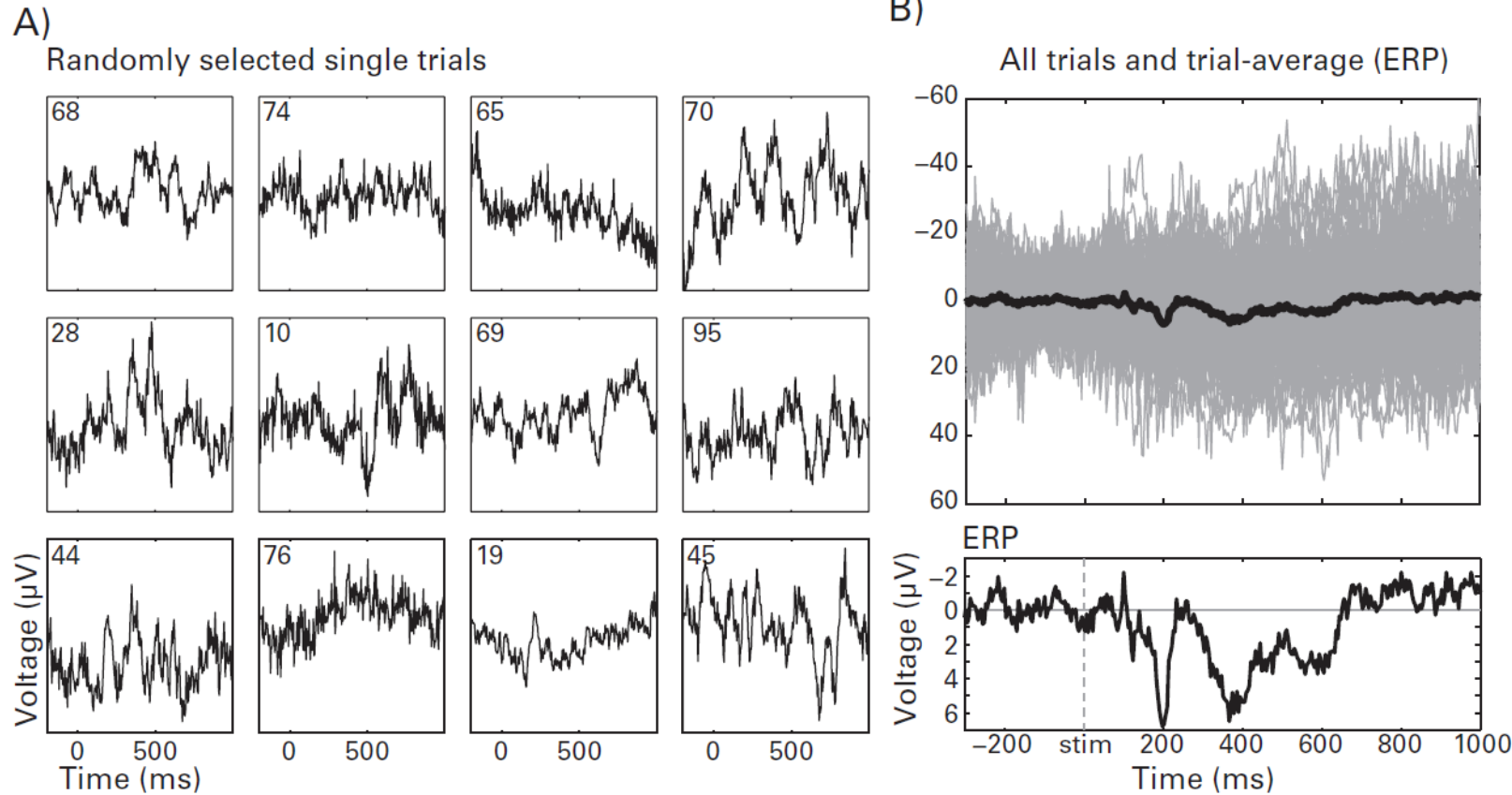


Kui sekkuvat muutujat pole võimalik kontrollida, siis on mõistlik see vabaks lasta ehk muuta katsemanipulatsioonist sõltumatuks (st sekkuv muutuja ei tohiks olla süstemaatiliselt seotud katsetingimustega)

(Raidvee, Lember, & Allik, 2017)



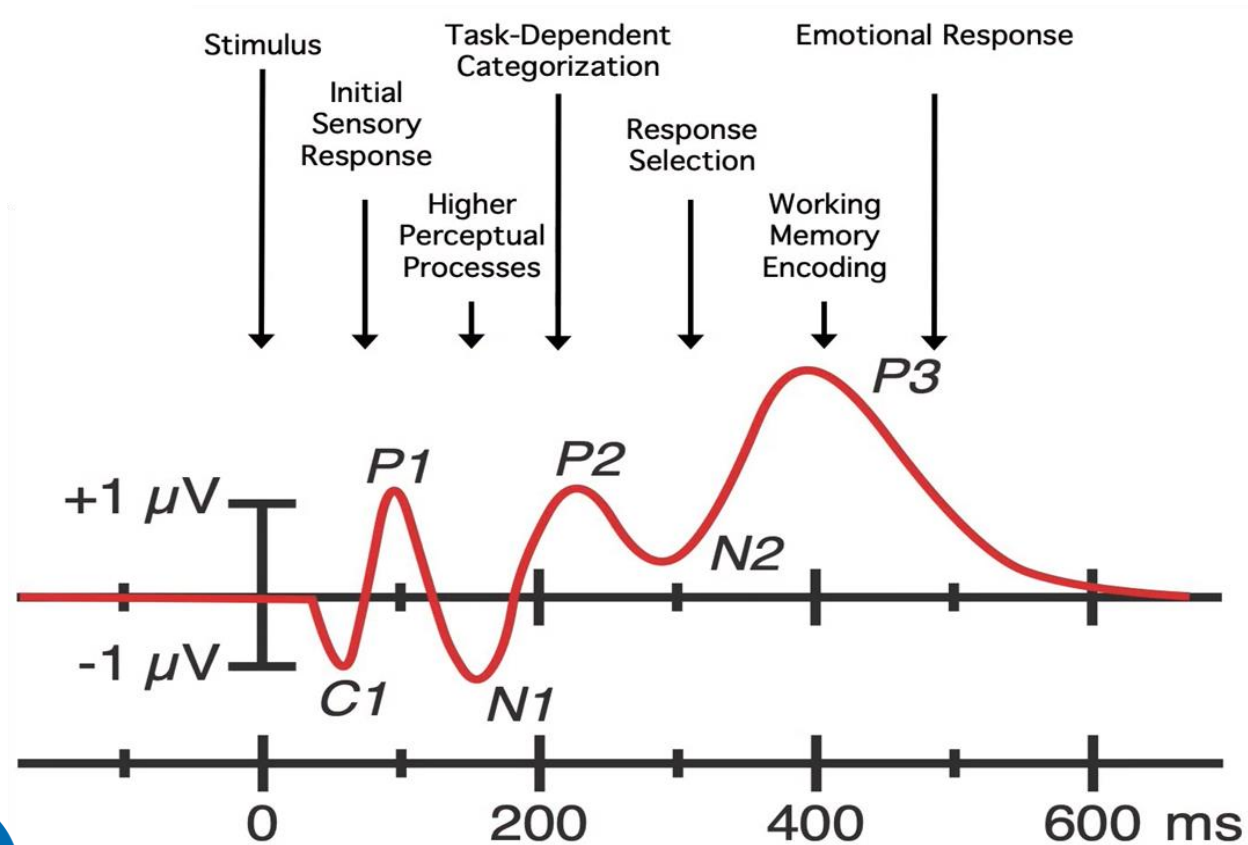
# EEG sündmuspotsiaalid (ERP)



Üle paljude esituste  
keskmistatud EEG  
signaal on kordades  
**väiksema** amplituudiga  
kui mürarikkal  
üksikseerial

Figure 9.1

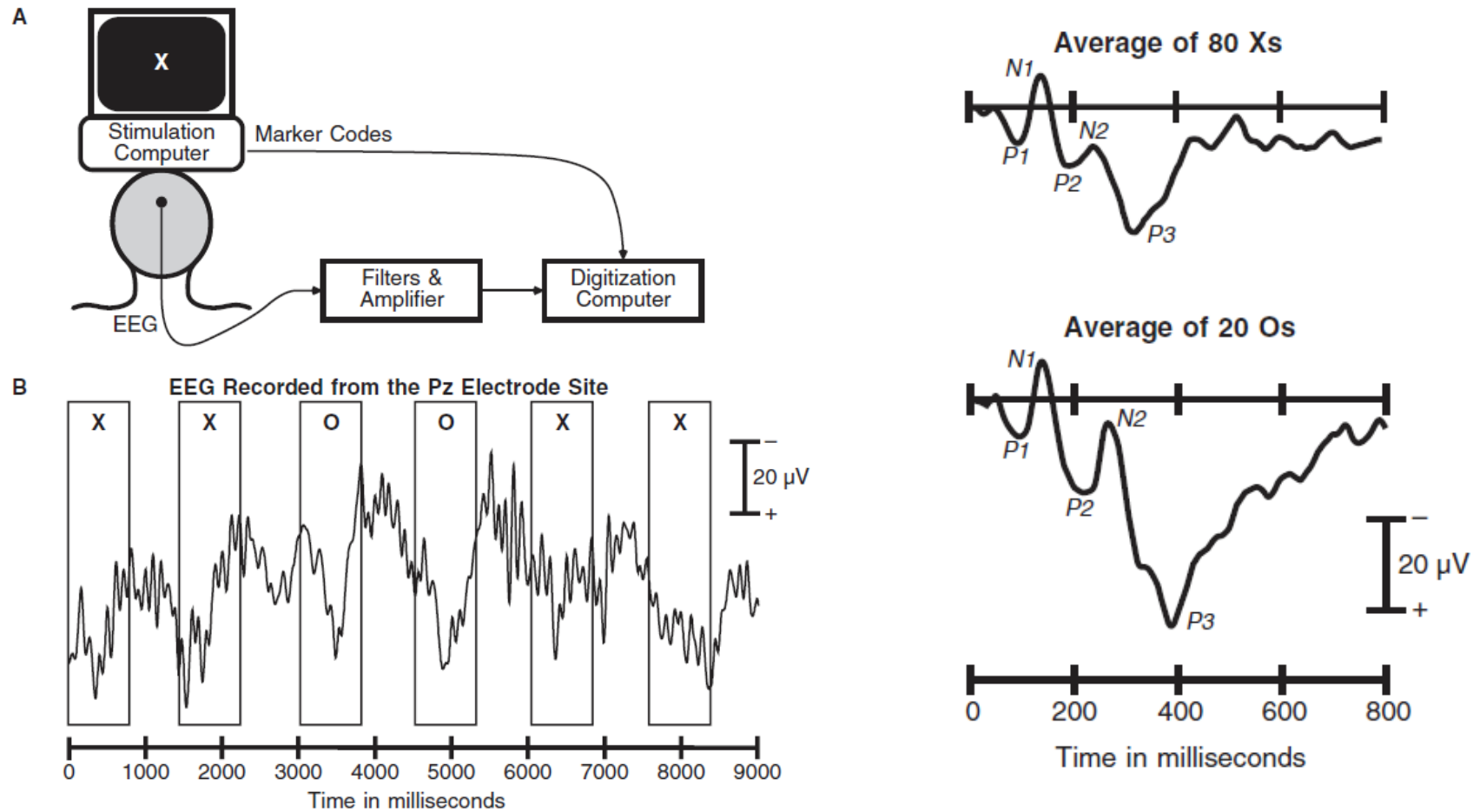
# EEG sündmuspotsiaalid (ERP)



EEG sündmuspotsiaal (*event related potential* - ERP) – sündmuse poolt esile kutsutud aju elektriliste potentsiaalide muutus



# EEG sündmuspotsiaalid (ERP)



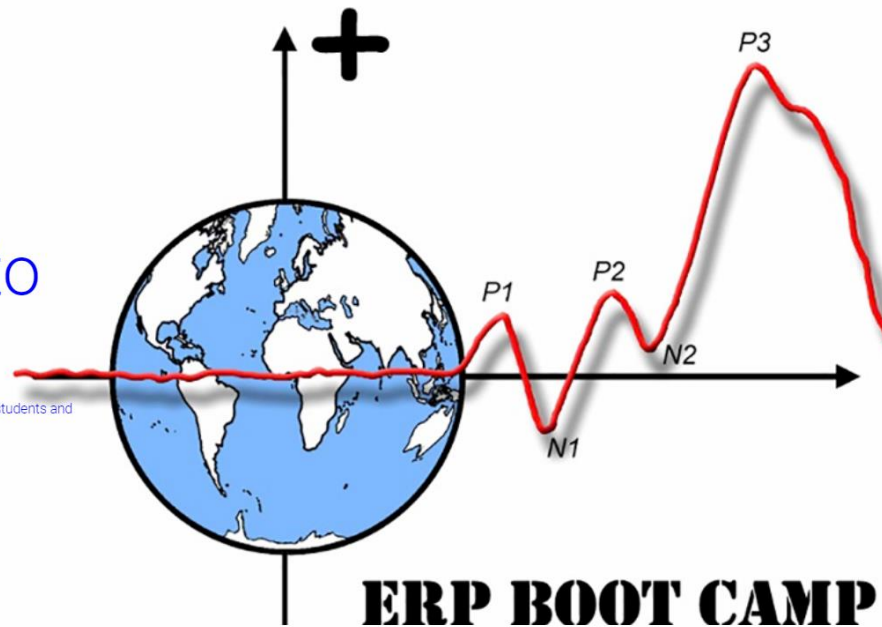
(Luck, 2005, lk 8)

# EEG sündmuspotsiaalid

## Virtual ERP Boot Camp: Introduction to ERPs

Introduction to the event-related potential technique, designed for students and researchers with little or no prior ERP experience.

Enroll for free



Professor Steven Luck  
(Kalifornia Ülikool, Davis)

Kaasprofessor Emily Kappenman  
(San Diego Osariiklik Ülikool)

## Kasutatud kirjandus (esinemise järjekorras)

Kouider, S., Andrillon, T., Barbosa, L. S., Goupil, L., & Bekinschtein, T. A. (2014). Inducing Task-Relevant Responses to Speech in the Sleeping Brain. *Current Biology*, 24(18), 2208–2214.

Hitziger, S. (2015). *Modeling the variability of electrical activity in the brain* (Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis).

Van Drongelen, W. (2018). *Signal processing for neuroscientists: an introduction to the analysis of physiological signals*. Academic press.

Gleitman, H., Reisberg, D., & Gross, J. (2014). Psühholoogia. Hermes.

Schlör, D., Zehe, A., Kobs, K., Veseli, B., Westermeier, F., Brübach, L., ... & Hotho, A. (2020, May). Improving Sentiment Analysis with Biofeedback Data. In *Proceedings of LREC2020 Workshop "People in language, vision and the mind"(ONION2020)* (pp. 28-33).

Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2), 1-11.

İnce, R., Adanır, S. S., & Sevmez, F. (2020). The inventor of electroencephalography (EEG): Hans Berger (1873–1941). *Child's Nervous System*, s00381-020-04564-z. <https://doi.org/10.1007/s00381-020-04564-z>

Wakefulness and Sleep. From Introduction to EEG- and Speech-Based Emotion Recognition [Image] by P. A. Abhang, B. W. Gawali, & C. M. Suresh, 2016, Academic Press (<https://doi.org/10.1016/C2015-0-01959-1>). Copyright [2016] by Elsevier Inc.

Müller, M. M., Malinowski, P., Gruber, T., & Hillyard, S. A. (2003). Sustained division of the attentional spotlight. *Nature*, 424(6946), 309-312.

Raidvee, A., Lember, J., & Allik, J. (2017). Discrimination of numerical proportions: A comparison of binomial and Gaussian models. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(1), 267-282.

Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: theory and practice*. MIT press.

Luck, S. J. (2005). An introduction to event related potentials and their neural origins. *An introduction to the event related potential technique*, 11.



Aitäh!

Küsimused?