



**LUNDS**  
UNIVERSITET

Institutionen för psykologi

# **Neural avkodning genom multivariat mönsteranalys av elektroencefalografisk data**

**Samuel Cremona**  
Kandidatuppsats 2015

Handledare: Mikael Johansson  
Inês Bramão  
Examinator: Sverker Sikström

## Sammanfattning

Multivariat mönsteranalys (MVPA) är en maskininlärningsmetod som de senaste 15 åren använts inom hjärnavbildningsstudier för att avkoda och klassificera neurala representationer som uppstår vid kognitiv bearbetning hos försöksdeltagare då de utsätts för olika slags stimuli. Syftet med denna undersökning har varit att med hjälp av klassificerare avkoda den elektroencefalografiska hjärnaktivitet som uppstod då försöksdeltagare iakttog bilder från tre olika kategorier: välkända ansikten, vardagsobjekt och kända landmärken. För att avgöra hur väl avkodningen lyckats har klassificerarnas procentuella träffsäkerhet beräknats vid predicerandet av vilken bildkategori som aktiveringsmönstren från de 23 försöksdeltagarna tillhörde. Resultatet visade att träffsäkerheten uppgick till 64.76% för representationerna av ansiktsbilderna, och till 48.21% för bilderna på landmärken. Klassificeringen av objektkategorierna visade ingen signifikant prestationsskillnad i jämförelse med ett slumpmässigt resultat. Den genomsnittliga träffsäkerheten för bildkategoriernas samtliga klassificerare uppgick till 49.25%.

*Nyckelord:* multivariat mönsteranalys, MVPA, maskininlärning, neural avkodning, klassificering, elektroencefalografi, EEG

## **Abstract**

Multivariate pattern analysis (MVPA) is a machine learning method that has, over the past 15 years, been used in brain imaging studies to decode and to classify neural representations that emerges when participants cognitively process the exposure of various stimuli. The purpose of this study was, with the use of classifiers, to decode the electroencephalographic brain activity that occurred when subjects observed images from three different categories: famous faces, everyday objects, and famous landmarks. To determine the decoding performance the accuracy of each classifier was calculated when predicting which category the activation patterns of the 23 subjects belonged to. The results revealed that the accuracy peaked at 64.76% for the representations of the facial images, and at 48.21% for the images composed of landmarks. The classification of the object category showed no significant difference in performance when compared against chance. The average classification accuracy for the three image categories amounted to 49.25%.

*Keywords:* multivariate pattern analysis, MVPA, machine learning, neural decoding, classification, electroencephalography, EEG

## Introduktion

### Inledning

När vi människor observerar vår objektiva verklighet uppfattas och tolkas denna i vår hjärna. Informationen kodas in i ett unikt mönster och bildar sin unika representation i hjärnan på ett liknande sätt som Karlavagnen består av sin unika konstellation på stjärnhimlen. Varje representation bildar alltså ett specifikt mönster, en neural signatur eller en kod, som är möjlig att avkoda. Med hjälp av moderna hjärnavbildningsmetoder går det, genom att beakta ett flertal variabler, att beräkna den mönsteraktivering som sker då du exempelvis iakttar ansiktet på en närstående. Skulle du istället försöka identifiera mönstret för en stjärnbild som Karlavagnen kan du enkelt göra detta genom att observera varje stjärnas position, och kanske lyser någon stjärna klarare. När det gäller hjärnaktivitet går det dessutom att ta hänsyn till en tidsaspekt för aktiveringen, som även kanske sker i en viss ordning.

Även om varje representation är unik bör konstellationen av ett ansikte vara mer likt mönstret av ett annat ansikte än exempelvis aktiveringsmönstret som uppstår vid observation av ett föremål eller ett landmärke. Det har i tidigare studier varit möjligt att kunna urskilja olika kategorier från varandra, och det har till och med varit möjligt att avläsa vilken bildkategori som en person har avbildat i sin hjärna (Haxby, Connolly, & Guntupalli, 2014; Haynes & Rees, 2006; Norman, Polyn, Detre, & Haxby, 2006; Tong & Pratte, 2012). Studier har även visat att samma mönster återaktiveras när vi aktivt försöker minnas det vi tidigare observerat, och att avkodning av minnen har varit genomförbara (Levy & Wagner, 2013; Polyn, Natu, Cohen, & Norman, 2005; Rissman & Wagner, 2012). 2000-talet är nu en tidsålder där modern tankeläsning med teknikens hjälp blivit verklighet.

### Tidigare forskning inom fMRI och MVPA

Intresset för att undersöka hur mentala funktioner är organiserade i hjärnan ledde i början av 90-talet till utvecklingen av en icke-invasiv hjärnavbildningsmetod, nämligen funktionell magnetresonanstomografi (fMRI) (Bandettini, 2012). Det har i över ett århundrade varit känt att då neuron aktiveras ökar även blodflödet till det angivna området, och det är denna syresättningsförändring som möjliggör för fMRI att kartlägga hjärnans aktivitet (Poldrack, Mumford, & Nichols, 2011). Avbildningen representeras över tid och rum i ett tredimensionellt rutnät där varje ruta kallas för *voxel*, som är motsvarigheten till en *pixel*.

De senaste 15 åren har det blivit allt mer vanligt att istället för att analysera hjärnaktiviteten med hjälp av individuella voxlar, analysera hela det mönster som uppstår då

försöksdeltagare utsätts för olika slags stimuli (Haxby, 2012; Haynes & Rees, 2006). Metoden blev känd under namnet *multi-voxel pattern analysis* (MVPA), och denna maskininlärningsmetod möjliggjordes genom att använda sig av en klassificerare, vilket är en algoritm som tränas i att känna igen neurala mönster. Den data som används för att träna klassificeraren består av aktiveringsmönster från i förväg bestämda olika kategorier, och på så sätt kan en kartläggning göras (Norman et al., 2006; Tong & Pratte, 2012). Klassificeraren kan, då ny data matas in, sedan användas för att avgöra ifall ett hjärnaktivitetsmönster är mer troligt att tillhöra en viss betingelse eller kategori än en annan (Haxby et al., 2014; Rissman & Wagner, 2012).

Haxby med kollegor (2001) var de första som genom MVPA lyckades att skilja mellan olika stimuli klasser efter att ha exponerat försöksdeltagare för olika bilder på exempelvis ansikten, hus, djur samt olika typer av objekt. I studien användes metoden för att undersöka var i ventrala temporala cortex dessa klasser fanns representerade, och de fann att representationerna av ansiktena och objekten var mer utbredda och överlappande än vad som tidigare antagits.

MVPA kan även användas för att förutsäga vilken stimuli klass någon tänker på. 2005 lät Polyn, Natu, Cohen, och Norman deltagarna memorera en lista innehållande bilder på kända ansikten, kända platser och vardagsobjekt. Med hjälp av klassificeraren blev det möjligt att under framlockningsfasen predicera vilken kategori deltagarna skulle nämna innan de uttalade sig.

För att undersöka om det gick att avkoda den mentala föreställningsförmågan gjordes 2010 en studie med fyra bildkategorier: frukt-grönsaker, verktyg, kända ansikten och kända byggnader (Reddy, Tsuchiya, & Serre, 2010). Klassificering användes för att jämföra om samma aktiveringsmönster uppträdde vid visualiseringen som vid bildpresentationen. Samma syfte hade Johnson och Johnson (2014), men de undersökte istället hur kontexter som stränder, öknar, öppna fält och hus är neuralt representerade samt hur den mänskliga hjärnan urskiljer dessa. Redan år 2009 använde forskarna Walther, Caddigan, Fei-Fei, och Beck MVPA i en studie för att undersöka hur den mänskliga hjärnan kategoriserar och urskiljer olika kontexter från varandra. Här fick deltagarna istället se bilder på sex naturkategorier: stränder, byggnader, skogar, motorvägar, industrier och berg, som klassificerades.

Klassificering kan också användas för att undersöka hjärnområdenas olika roll vid mönsterseparering, det vill säga förmågan att särskilja liknande minnen. Huffmans och Starks studie från 2014 använde klassificering för att kontrastera bilder på ansikten mot objekt samt bilder på ansikten mot platser i mediala temporalloben. Studien visade att en kategorisering av

aktiveringsmönstret för de kortikala områdena utanför hippocampus kunde ske medan en kategorisk representation däremot inte kunde iakttas i hippocampus.

Det har även gjorts studier där klassificering av mer detaljerade kategorier varit möjlig. Connolly med kollegor (2012) använde sig av sex subklasser av djur, med två typer var av insekter, fåglar och primater. Undersökningen visade att mönsteraktivering när försökspersonen såg en insekt liknade den aktivering som uppstår vid iakttagande av icke-levande ting såsom verktyg. Aktiveringen vid iakttagandet av primater hade däremot en liknande aktivering som den som uppstår när man ser på levande varelser såsom djur och människor. Forskargruppen kunde alltså visa att hierarkin i djurvärlden var neuralt representerad.

2013 genomförde de Gardelle, Stokes, Johnen, Wyart, och Summerfield en studie med MVPA som metod för att undersöka om samma mönsteraktivering skedde då ett ansikte förväntades visas respektive när försökspersonen överraskades av bilden på ett nytt ansikte. En mer detaljerad kategorisering av ansikten visade sig vara möjlig i det fusiforma ansiktsområdet, och en minskad aktivering vid upprepning av samma bild i förhållande till bilder på nya konstaterades. Bearbetningen av ansikten i gyrus fusiformis har också iakttagits i en studie som gjorts på personer som lider av prosopagnosi, det vill säga ansiktsblindhet (Rivolta et al., 2014). Den klassificering som vanligtvis är genomförbar med bilder på ansikten och objekt visade sig vara mindre urskiljbar hos ansiktsblinda. Ytterligare en studie värt att nämna i sammanhanget utfördes av Looser, Guntupalli, och Wheatley (2013) där klassificering av bilder på dockansikten gjordes för att undersöka hur hjärnan urskiljer levande ansikten från livlösa. Resultatet av studien visade att det möjligtvis skulle finnas en sekundär process som aktiveras vid iakttagandet av levande ansikten för att kunna bedöma andras tankar, känslor och handlingar. Denna process skulle då inte aktivas vid iakttagandet av ett livlöst ansikte då det inte är värt att lägga några social-kognitiva resurser på ett sådant.

### **Tidigare forskning inom EEG och MVPA**

Den elektriska aktiviteten som hjärnan producerar har sedan början av 30-talet varit möjlig att mäta och kallas för elektroencefalografi, eller EEG. Då neuron blir stimulerade sker ett utbyte av laddade joner mellan det inre och yttre cellmembranet som gör omgivningen antingen positivt eller negativt laddad (Luck, 2014). Denna elektriska laddning som producerats av ett stort antal neuron i cortex passerar genom kranium, hud och annan vävnad, och kan mätas med elektroder som fästs på skalpen.

På grund av nämnda konduktans fördelas även spänningen över skalpen, vilket leder till en låg spatial upplösning till skillnad från fMRI som har en hög spatial upplösning med sin förmåga att avbilda voxlar på millimeternivå (Luck, 2014). En annan skillnad mellan EEG och fMRI är att en elektrisk mätning direkt indikerar en neural aktivitet medan en syresättningsförändring är en indirekt indikator eftersom fMRI då avbildar följden av vad som bara antas vara neural aktivitet (Logothetis, 2008; Luck, 2014). Den viktigaste fördelen med EEG är emellertid att spänningen kan mätas på millisekunds nivå medan däremot fMRI har en avbildningsfördröjning som kan ta flera sekunder (Luck, 2014). EEG:ts unika temporal precision har därför på senare tid lett till att forskare istället, med MVPA som metod, börjat utnyttja denna oscillatoriska data för att avkoda neurala representationer.

I en studie från 2013 utgår Morton med kollegor från de tre kategorierna kända ansikten, kända landmärken och vardagsobjekt. Deltagarna fick memorera listor innefattande namngivna bilder för att sedan fritt återge dessa. Klassificeringen av kategorierna vid instuderingsfasen möjliggjorde predicandet av vad som senare skulle minnas, det vill säga samma oscillatoriska mönster återaktiverades vid återgivningsfasen som vid instuderingsfasen. Morton med kollegor (2013) kunde även predicera vilken omfattning en deltagare skulle använda sig av kategorisk information för att organisera minnessökandet vid återgivningen, samt om en bild återgavs intilliggande minnet av en annan bild tillhörande samma kategori eller inte.

Barragan-Jason, Cauchoix och Barbeau (2015) använde sig av klassificering för att undersöka med vilken hastighet som hjärnan kan urskilja välkända ansikten från obekanta. Det visade sig att igenkänning kunde ske så tidigt som 140 millisekunder efter stimulipresentation, men också att avkodningsstyrkan fortsatte att öka efter 200 millisekunder. Bilder på ansikten har även använts i en studie av Ketz, O'Reilly och Curran (2014) tillsammans med bildkategorin vardagsrum. Klassificering användes här istället för att urskilja framgångsrikt framplockade minnen från inhiberade.

Så många som tolv bildkategorier avkodades genom mönsteranalys av EEG-data i en perceptionsstudie av Taghizadeh-Sarabi, Daliri och Niksirat (2015). Deltagarna observerade bilder från bland annat kategorierna byggnader, djur, kläder, vardagselektronik och skrivbordstillhörigheter. Klassificering av vardagsobjekt användes också i en studie av Stewart, Nuthmann och Sanguinetti (2014) för att kunna predicera om en deltagare observerat en bild, föreställande ett objekt, eller om deltagaren inte blivit exponerad för bilden.

För övrigt har MVPA dessutom använts i EEG-studier där klassificering varit möjlig för att bland annat predicera huruvida en individ har en låg eller hög smärtröskel vid

upplevelsen av smärta (Schulz, Zherdin, Tiemann, Plant, & Ploner, 2012), för att klassificera ord mellan och inom språk hos tvåspråkiga (Correia, Jansma, Hausfeld, Kikkert, & Bonte, 2015), eller för att klassificera emotioner såsom glädje, avsky, rädsla och förvåning (Murugappan, Ramachandran, & Sazali, 2010).

## **Syfte**

Multivariat mönsteranalys (MVPA) har haft en stor betydelse inom den funktionella hjärnavbildningsforskningen och på senare tid har denna metod även framgångsrikt tillämpats för en analys av elektrisk hjärnaktivitet. EEG, med dess högtemporala precision, har visat sig vara en unik metod för att på millisekunds nivå kunna mäta och följa hjärnans kognitiva processer, vilket även innebär en unik kategoriseringspotential för neurala representationer.

Syftet med denna studie är att undersöka om det med hjälp av klassificerare går att kategorisera, och därmed avkoda, de neurala representationer som uppstår då försöksdeltagare iakttar bilder från tre olika kategorier: välkända ansikten, vardagsobjekt och kända landmärken. För att kunna avgöra hur väl avkodningen lyckats kommer klassificerarnas procentuella träffsäkerhet beräknas vid predicandet av vilken bildkategori som försöksdeltagarnas aktiveringsmönster tillhör. En möjlig kategorisering av de neurala representationerna vid perception skulle i vidare forskning kunna leda till möjligheten att även kategorisera en aktiv framplockning av ett minne, vilket kan röra sig om arbetsminnen såväl som episodiska minnen. Detta är orsaken till valet av ett paradigm där parvisa associationer används som experimentell design för studien.

## **Metod**

### **Undersökningsdeltagare**

Deltagarna bestod av 17 män och sex kvinnor ( $M = 24.7$  år,  $SD = 4.1$ ) som dels rekryterades via ett bekvämlighetsurval och dels via affischering på olika institutioner vid Lunds Universitet. Samtliga 23 deltagare var högerhänta studenter med normal eller korrigerad synskärpa, och de kompensterades med en biobiljett för sin medverkan.

### **Material**

**Visuella stimuli.** Som stimuli användes fotografier föreställande 64 välkända ansikten (varav 32 män och 32 kvinnor), 64 välkända landmärken samt 64 vardagsobjekt. Bilderna på



ansikten och landmärken hämtades från internet genom enkla Google-sökningar och representerar både svenska och internationellt välkända personer (såsom Barack Obama, Stefan Löfven och Marilyn Monroe) och platser (såsom Eiffeltornet, Globen och Niagarafallen). Bilderna på vardagsobjekten, exempelvis stol, gaffel och cykel, var ett urval från databasen *The Bank of Standardized Stimuli* (Brodeur, Guérard, & Bouras, 2014).

Samtliga bilder behandlades i Adobe Photoshop; färgerna konverterades till svartvitt, tonomfånget autokorrigerades, och upplösningen omvandlades till 600x600 pixlar. Varje ansiktsfotografi klipptes ut ur sin befintliga bakgrund som ersattes med vit färg.

**Framplökningsledtrådar.** En lista över 192 abstrakta substantiv konstruerades, vilka alla härstammar från en studie där 40 000 engelska ord skattats på en femgradig skala efter konkretitet, det vill säga med hur enkelt ordet är att föreställa sig (Brysbaert, Warriner, & Kuperman, 2014). De substantiv som skattats lägst i konkretitet ( $M < 2.9$ ) och som mest liknade den svenska översättningen valdes ut, exempelvis *context*, *decibel* och *empathy*. Endast översatta ord med en ordlängd mellan fyra till sju bokstäver behölls.

Förekomstfrekvensen över de översatta orden granskades dessutom i Språkbankens korpus PAROLE, som är en textdatabas utvecklad av Göteborgs universitet (2009) med insamlade texter från ett EU-projekt avslutat år 1997. Texterna, som mestadels kommer från dagstidningar men även från romaner och webbtexter, omfattar totalt cirka 19 miljoner löpord. Denna granskning gjordes för att urvalet skulle ha en så homogen förekomst som möjligt (9 – 269 träffar per en miljon ord).

Slutligen delades de 192 abstrakta substantiven in i tre lika stora listor gällande konkretitet ( $M = 2.32$ ,  $SD = .41$ ),  $F(2, 189) = .01$ ,  $p = .99$ , ordlängd ( $M = 5.93$ ,  $SD = 1.05$ ),  $F(2, 189) = .06$ ,  $p = .94$ , samt förekomstfrekvens ( $M = 73.83$ ,  $SD = 63.81$ ),  $F(2, 189) = .01$ ,  $p = .99$ .

## Design & Procedur

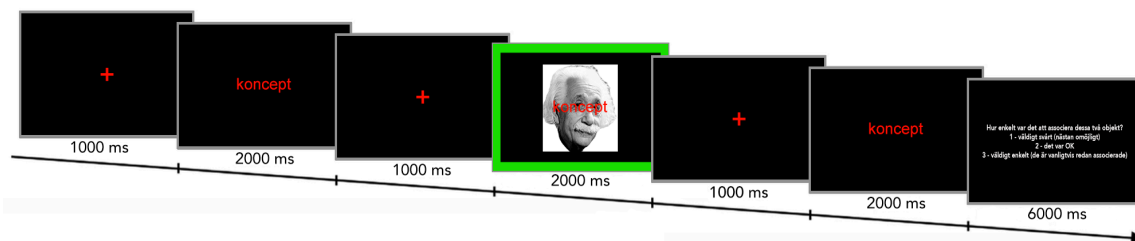
Deltagarna delgavs information om studien och fick skriva under ett medgivande där det tydligt framgick att de hade rätten att när som helst avbryta experimentet utan krav på att ange något särskilt skäl till avbrottet. Undersökningen genomfördes med hjälp av programmet E-Prime och bestod av tre faser; en skattningsfas, en inlärningsfas, och en testfas.

Deltagarna placerades framför en dator och applicering av EEG-elektrodena påbörjades. Samtidigt instruerades deltagarna att på en femgradig skala skatta 192 bilder i avseende på hur välbekant representationen av bilderna var (1 = Inte alls, 5 = Mycket välbekant). Syftet här var också att deltagarna skulle få bekanta sig med bilderna och därför

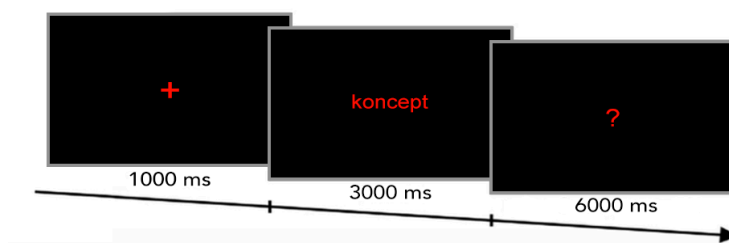
visades under bilden det namn eller ord som deltagarna förväntades svara under den senare testfasen.

Då samtliga elektroder applicerats förflyttades deltagarna till en annan dator in i en ljudisolerad Faraday-bur, det vill säga ett rum som är isolerad för att undvika all form av yttre elektriska störningar. Därefter påbörjades inlärnings- och testfaserna som sammanlagt bestod av åtta block. I vart och ett block presenterades 24 par av abstrakta ord och bilder föreställande kända ansikten, kända landmärken och vardagsobjekt (totalt 192 ord och 192 bilder) i syfte att deltagarna skulle skapa sig en association mellan dessa par (Fig. 1A). Efter varje association fick deltagarna skatta hur svåra ord- och bildparen var att associera (1 = Väldigt svårt/nästan omöjligt, 2 = Det var OK, 3 = Väldigt enkelt/de är vanligtvis redan associerade). Varje ord från de tre tidigare nämnda listorna hade i förväg kombinerats för att undvika att slumpmässigt iögonfallande associationer skulle skapas samt undvika ord- och bildpar som vanligtvis redan är förknippade (se Appendix). På så sätt kunde en likvärdig svårighetsgrad åstadkommas. Orden från listorna hade vardera dessutom associerats med ett specifikt ansikte, ett specifikt landmärke, och ett specifikt objekt. Till exempel blev ordet ”koncept” framplökningsledtråd åt ”Albert Einstein” för en tredjedel av deltagarna, ”skiftnyckel” för en tredjedel, och ”Akropolis” för en tredjedel. Alla associationer under inlärningsfasen visades i en pseudorandomiserad ordning, där en kategori aldrig följdes av samma. Efter vart block fick deltagarna räkna baklänges från ett slumpmässigt tal i steg om tre för att eliminera risken för repetition av instuderat material i arbetsminnet.

### A Inlärningsfas:



### B Testfas:

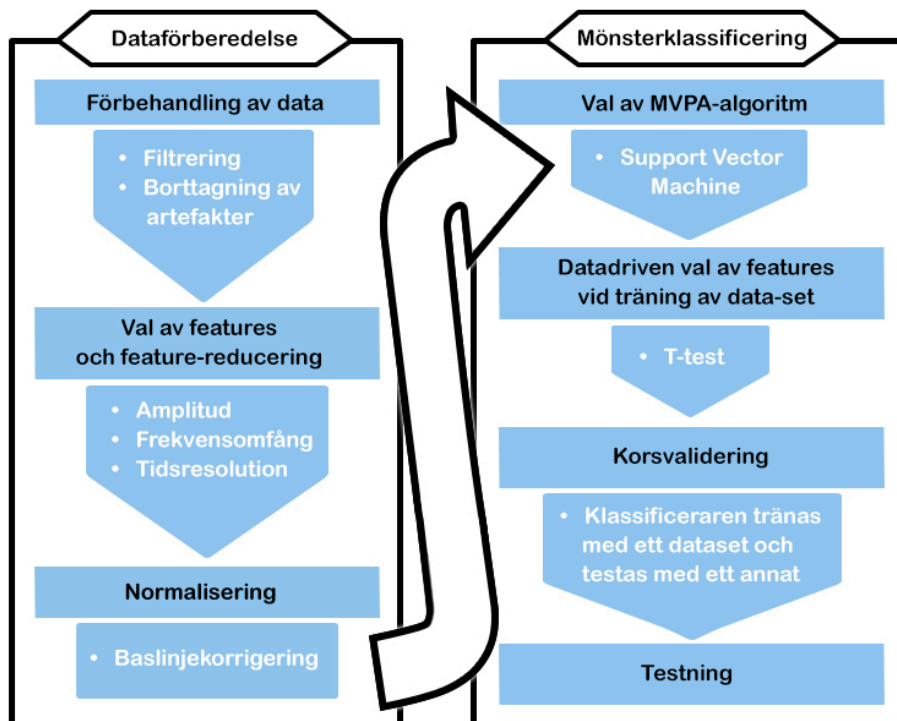


Figur 1. Experimentellt upplägg. (A) Exempel på hur en av de 192 associationerna bildas under inlärningsfasen. Deltagaren får se ett abstrakt ord följt av en bild från någon av de tre kategorierna. Bilden försvinner och det abstrakta ordet visas igen, därefter ombeds deltagaren skatta svårighetsgraden för bildandet av associationsparet. Grön ruta indikerar intresseområdet för klassificerarna. (B) Exempel från testfasen. När deltagaren ser ordet *koncept* förväntas denne att associera till *Albert Einstein*.

Under testfasen visades i slumpmässig ordning endast framplökningsledtråden följt av ett frågetecken där försöksdeltagaren förväntades högt nämna den bild de tidigare lärt sig att associera ordet med (Fig. 1B). En försöksledare var placerad snett bakom deltagaren för att anteckna svaren för hand. Efter undersökningen informerades deltagarna om studiens syfte och det gavs möjlighet att ställa ytterligare frågor.

### Multivariat mönsteranalys

Följande avsnitt beskriver tillvägagångssättet för hur MVPA applicerades på insamlad EEG-data. Huvudsakligen har arbetsgången följt de väsentliga steg som lyfts fram av Jafarpour, Horner, Fuentemilla, Penny och Duzel (2013) för lyckad klassificering (Fig. 2).



Figur 2. Illustration över det arbetsflöde som i denna studie följts för att klassificera EEG-data. Anvisningar för tillvägagångssättet finns presenterade i review-artikeln av Jafarpour med kollegor (2013).

**EEG-upptagning och förbehandling.** EEG-datan spelades in med en samplingshastighet på 2048 Hz via 32 elektroder, fastsatta i en elektrodmössa, positionerade enligt det standardiserade 10-20-systemet. Datan nedsamlades senare till 128 Hz. Elektrodena refererades till det genomsnittliga värdet av både den vänstra och högra mastoidplaceringen och antalet kanaler uppgick därför till 31 stycken. Ytterligare elektroder placerades över och under vänster öga samt på vänster och höger tinning för att mäta ögonrörelser och blinkningar. Impedansen mellan skalp och samtliga elektroder hölls under 5 k $\Omega$ .

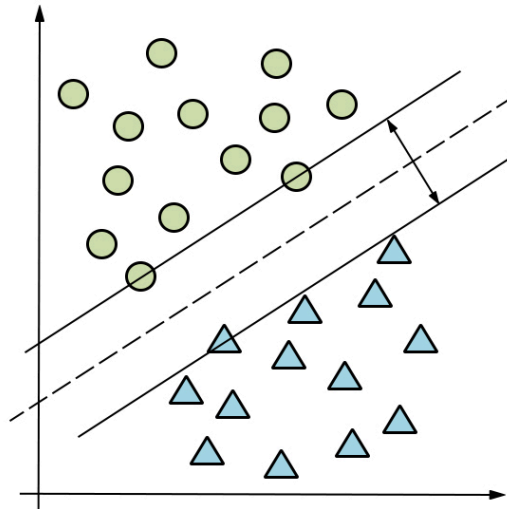
Ett högpassfilter applicerades på datasetet (0.1 Hz) och datan segmenterades i mindre delar, i så kallade epoker, med tidsomfånget 1000 ms före bildvisningen under inlärningsfasen till 2000 ms efter bildvisningens start (Fig. 1A). Epokerna blev sedan baslinjekorrigerade genom att epokernas genomsnittliga amplitud över alla kanaler, från tidsomfånget -1000 till 0 ms före bildvisningen, subtraherades. Artefakter sorterades visuellt bort för hand och med hjälp av *independent component analysis* (ICA) i FieldTrip som är en verktygslåda för bearbetning av EEG-data utvecklad för att användas i programmet Matlab.

**Val av features.** EEG-data omfattar tre dimensioner: tid, frekvens och antal kanaler. Dessa tre variabler är så kallade *features*, vilka är de för undersökningen utvalda variabler som tillsammans bildar det neurala aktiveringsmönstret. Tid som variabel har i tidigare studier än så länge inte kunnat användas som *feature* (Jafarpour et al., 2013) och en vanlig approach är att istället träna multipla klassificerare för de relevanta epokernas tidsomfång som ytterligare segmenteras (se följande underrubrik).

Vad gäller frekvens transformerades EEG-datan från epokerna till en tids- och frekvensdomän genom användningen av *Morlet wavlet*-transformering med ett vågtal (*cycle*) på 5. Den oscillatoriska amplituden räknades ut vid 42 frekvensband (*wavelets*) från 4 till 45 Hz med steg om 1 Hz, och transformerades slutligen logaritmiskt (se Jafarpour, Fuentemilla, Horner, Penny, & Duzel, 2014 för jämförbart tillvägagångssätt).

**Klassificerare.** För att kunna klassificera den nu bearbetade EEG-datan från deltagarnas perception av bildkategorierna ansikten, landmärken och objekt skapades en linjär *Support Vector Machine* (SVM) (Cortes & Vapnik, 1995). Denna algoritm kartlägger input-data som kan representeras av en punkt i en högdimensionell rymd (Fig. 3). I denna studie består input-datan av de för varje epok tidigare utvalda gemensamma *features*, det vill säga det kvantifierade EEG-mönstret som består av frekvens och antal kanaler. SVM skapar en linjär yta för att optimalt kunna räkna ut det maximala avståndet mellan de datapunkter där

kategorierna skiljs åt (Cortes & Vapnik, 1995). En tydligare separation innebär att klassificeraren har en större generaliseringsförmåga för att avgöra vilken klass en viss datapunkt tillhör.



Figur 3. Exempel på hur SVM möjligtvis skulle kartlägga och beräkna separationen mellan data från två klasser såsom bildkategorierna ansikten och objekt.

För varje deltagare och bildkategori tränades totalt 25 separata klassificerare för att täcka epokenas tidsomfång, centrerade kring -125, -62.5, 0, 62.5, 125, 187.5, 250, 312.5, 375, 437.5, 500, 562.5, 625, 687.5, 750, 812.5, 875, 937.5, 1000, 1062.5, 1125, 1187.5, 1250, 1312.5 och 1375 ms i relation till bildvisningen under inlärningsfasen. Varje klassificerare innehöll 7 tidpunkter uppdelade i ett segment på 47 ms och det totala antalet *features* uppgick därför till 9114 per styck ( $31 \text{ kanaler} \times 42 \text{ frekvenser} \times 7 \text{ tidpunkter}$ ).

Metoden *10-fold cross-validation* användes därefter på var och en av klassificerarna för att testa den procentuella träffsäkerheten vid avgörandet av vilken bildkategori som datan borde tillhöra. Den förbehandlade EEG-datan delades alltså upp i 10 lika stora tränings-set där 10% av datan från varje set utslöts för att användas till testning, och själva testningsprocessen upprepades ett set i taget 10 gånger.

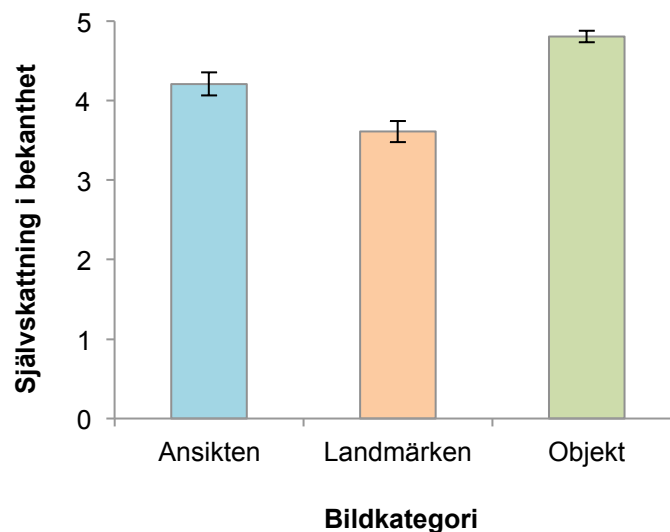
Ännu ett *feature*-urval genomfördes i anknytning till varje upprepning där envägs variansanalyser (ANOVA) och tvåsvansade parvisa *t*-test utfördes före testningarna, och enbart på tränings-seten. De tre bildkategoriernas oscillatoriska amplitud för kanaler, frekvenser och tidpunkter jämfördes för att bevara de *features* som signifikant ( $p < .05$ ) skiljde sig åt, eftersom irrelevanta *features* försvårar klassificeringen (Jafarpour et al., 2013).

Slutligen beräknades klassificerarnas funktionalitet i avseende på hur väl de kunde predicera tillhörandet av rätt bildkategori genom medelvärdet av de 10 upprepade korsvalideringarna.

## Resultat

### Beteenderesultat

En envägs ANOVA med upprepad mätning genomfördes för att jämföra skattningarna i avseende på hur välbekanta representationerna av bilderna ansågs vara för de olika bildkategorierna. Medelvärdena för de kända ansiktena ( $M = 4.21$ ,  $SD = .69$ ), landmärkena ( $M = 3.61$ ,  $SD = .64$ ), respektive objekten ( $M = 4.81$ ,  $SD = .34$ ) illustreras i figur 4. Bildkategoriernas medelvärden skiljde sig signifikant åt, Wilks Lambda = .17,  $F(2, 21) = 50.33$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .83$ .



Figur 4. Medelskattning med avseende på hur välbekant representationen av bilderna var för varje bildkategori. Felstaplarna (error bars) visar standardfelen kring medelvärdena.

En Bonferroni-korrigerad parvis jämförelse gjordes post hoc, och visade att det fanns en signifikant skillnad mellan medelvärdena för kända ansikten och landmärken ( $t(22) = 6.85$ ,  $p < .001$ ). Det fanns även en signifikant skillnad mellan medelvärdena för landmärkena och objekten ( $t(22) = 9.19$ ,  $p < .001$ ), samt mellan medelvärdena för ansiktena och objekten ( $t(22) = 4.40$ ,  $p = .001$ ).

Ytterligare en envägs ANOVA med upprepade mätningar genomfördes för att inom varje kategori jämföra deltagarnas skattning av hur svårt det var att forma en association mellan ord- och bildparen. Skattningarna kodades om till: 0 = *Väldigt svårt/nästan omöjligt*, 0.5 = *Det var OK*, och 1 = *Väldigt enkelt/de är vanligtvis redan associerade*. Ingen signifikant skillnad fanns mellan medelvärdena för ansikten ( $M = .37$ ,  $SD = .17$ ), landmärken ( $M = .34$ ,  $SD = .14$ ), samt för objekt ( $M = .35$ ,  $SD = .15$ ): Wilks Lambda = .82,  $F(2, 21) = 2.33$ ,  $p = .12$ ,  $\eta^2 = .18$ .

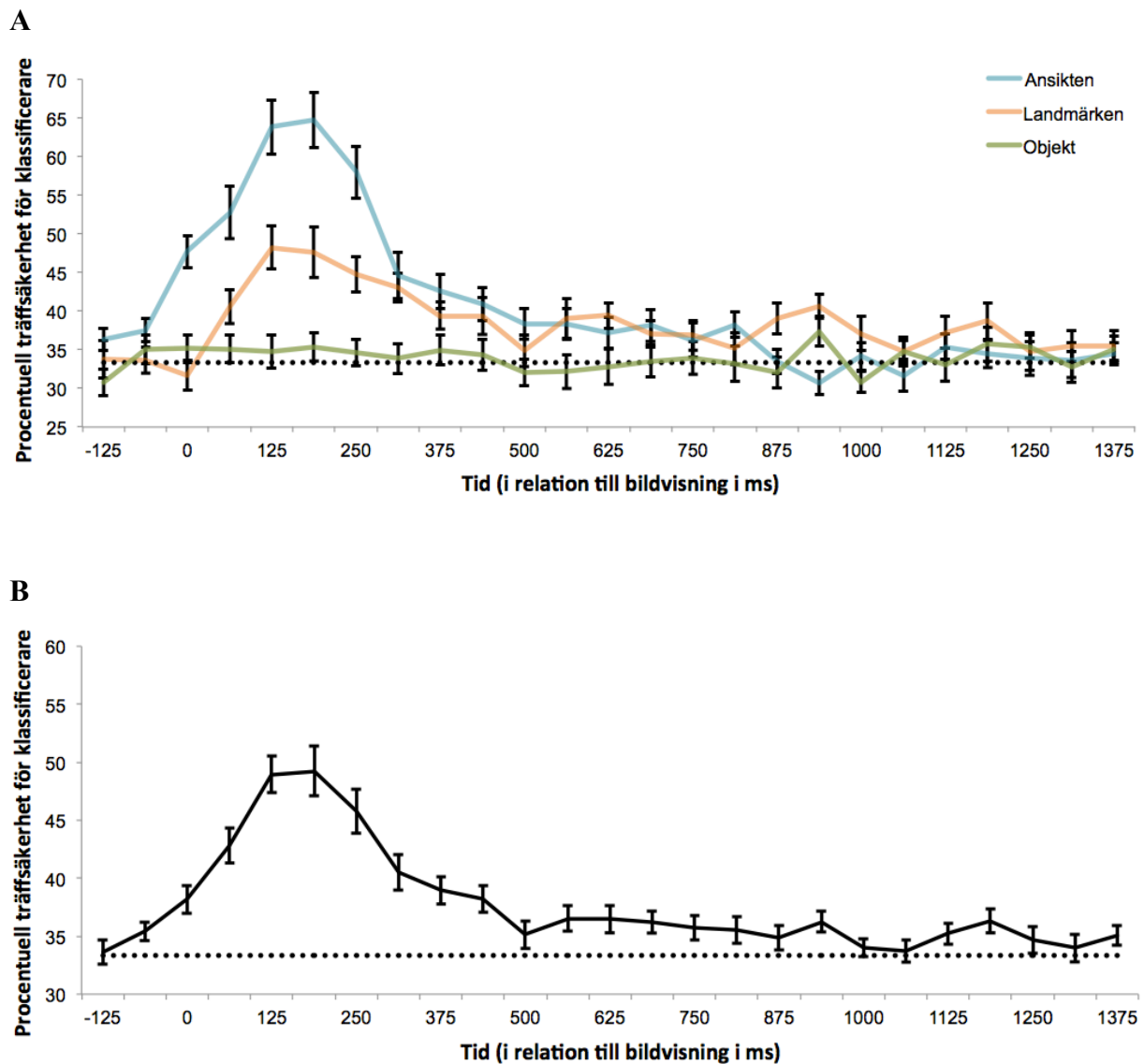
### Avkodningsresultat

Multivariata klassificerare användes vid olika tidssegment för att avkoda den kategorispecifika neurala aktiviteten som uppstod i relation till bildvisningen. Bonferroni-korrigerade tvåsvansade parvisa jämförelser gjordes mellan klassificerarnas genomsnittliga träffsäkerhet för de 23 försöksdeltagarna från korsvalideringsfasen och slumpen som är 33.33% (Fig. 5A). Resultatet visade att klassificerarna för ansiktskategorin signifikant presterade bättre än slumpen vid 0, 62.5, 125, 187.5 och 250 ms. Den maximala träffsäkerheten skedde vid 187.5 ms och uppgick till 64.76% ( $t(22) = 8.78$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .64$ ).

Klassificerarna för landmärkeskategorin presterade signifikant bättre än slumpen vid 125, 250 och 312.5 ms, med en maximal träffsäkerhet på 48.21% vid 125 ms ( $t(22) = 5.36$ ,  $p = .001$ ,  $\eta^2 = .40$ ). För objekt kategorin presterade däremot inga av klassificerarna signifikant bättre än slumpen.

Den genomsnittliga träffsäkerheten för klassificeringen av samtliga tre bildkategorier visade en signifikant prestation vid 62.5, 125, 187.5 och 250 ms (Fig. 5B). Den maximala träffsäkerheten uppgick till 49.25% för klassificerarna vid 187.5 ms ( $t(22) = 7.45$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .58$ ).

En korrelationsundersökning gjordes även där inga signifikanta samband kunde påvisas mellan klassificerarnas träffsäkerhet och självskattning i bekanthet för bilderna, samt mellan klassificerarnas träffsäkerhet och deltagarnas skattning av hur svårt det var att forma en association mellan ord- och bildparen.



Figur 5. Deltagarnas genomsnittliga avkodningsresultat för klassificerarna vid olika tidssegment. (A) Den procentuella träffsäkerheten för klassificerarnas förmåga att korrekt predicera EEG-datans kategoriska tillhörighet. Den prickade linjen representerar nivån för ett resultat som kan orsakas av slumpen. (B) Genomsnittlig träffsäkerhet för klassificeringen av samtliga tre bildkategorier.

## Diskussion

Syftet med denna undersökning har varit att med hjälp av klassificerare avkoda den oscillatoriska hjärnaktivitet som uppstod då försöksdeltagare iakttog bilder från tre olika kategorier: ansikten, objekt och landmärken. För att avgöra hur väl avkodningen lyckats har klassificerarnas procentuella träffsäkerhet beräknats vid predicerandet av vilken bildkategori som aktiveringsmönstren från de 23 försöksdeltagarna tillhörde.



Resultatet visade att den genomsnittliga träffsäkerheten för bildkategorierna uppgick till 49.25% vid 187.5 ms vilket innebär en högre prestationsförmåga än vad slumpen skulle åstadkomma, det vill säga en träffsäkerhet på ca 33.33%. De neurala representationerna för iakttagandet av ansiktsbilder uppgick till 64.76% vid 187.5 ms och för bilderna på landmärken till 48.21% vid 125 ms. Resultatet för klassificeringen av objekt kategorin visade däremot ingen signifikant prestationsskillnad i jämförelse med ett slumpmässigt resultat.

En bedömning av den egentliga klassificerarprestandan är svår då studien inte har tagit hänsyn till felaktiga kategoriseringar. Även om en vi åstadkommer ett högt antal korrekta placeringar för en kategori kan denna samtidigt ha ett högt antal felplaceringar. Dessa borde ha subtraherats för ett mer tillförlitligt resultat. Det är också svårt att jämföra träffsäkerheten i denna studie med tidigare studier eftersom tillvägagångssätten för MVPA skiljer sig så mycket åt. Likväl har metodologin som följts i denna studie varit ett bra förstasteg med goda möjligheter att fortsättningsvis förändra parametrarna för databehandling och klassificering i hopp om att maximera avkodningsprestationen.

Fördelen med att analysera temporal högupplöst EEG-data är att vi kan följa aktiviteten när den äger rum eftersom hjärnan bearbetar information på millisekunds nivå. Det blir därför möjligt att spåra framväxten av olika neurala representationer. Intressant att nämna är att i denna studie kunde en signifikant klassificering av välkända ansikten ske redan vid 0 ms, vilket borde vara omöjligt, till skillnad från undersökningen av Barragan-Jason med kollegor (2015) som lyckades genomföra en klassificering av samma kategori först vid 140 ms. Detta är förmodligen ett resultat av artefakter bestående av låga frekvenser som kan ha uppstått vid datatransformeringen.

Det har i tidigare forskning, av de exempel som nämnts både inom fMRI- och EEG-studier, varit möjligt att avkoda kategorispecifik data då bilder på ansikten, landmärken och objekt använts som stimulimaterial vilket resultatet i denna undersökning i stort sett stämmer överens med. Undantaget har varit kategorin för vardagsobjekt där det kan just kan tänkas att bildmaterialet varit problematiskt.

Först av allt går det enligt beteenderesultatet att utesluta att bilderna varit obekanta (Fig. 4) och objekt kategorin har dessutom innehållit de bilder som varit mest välkända för deltagarna. Det gick heller inte att påvisa något samband mellan självskattningen och klassificerarnas träffsäkerhet. Om så vore fallet skulle objekt kategorin ha haft högst procentuell klassificerbarhet. I denna studie har välbekantethets skattningarna för kategorierna skiljt sig åt, och detta skulle möjligtvis kunna lösas i framtida studier genom att exempelvis använda sig utav okända bilder. Men detta skulle då innebära en försvårad inlärningsfas då

det troligtvis är enklare att skapa sig en association mellan välbekanta ting. Svårighetsgraden för att skapa ord- och bildassociationer inom de tre kategorierna har dock varit likvärdig i denna studie och det har också gått genom korrelation att utesluta att associationssvårigheter haft en inverkan på avkodningsresultatet. Samtliga objektbilder var även hämtade från en standardiserad stimulidatabas (Brodeur et al., 2014) som exempelvis tidigare använts av Stewart med kollegor (2014) där en klassificering av representationerna för endast individuella bilder gjordes. Det verkar därför orimligt att bildkvalitén för denna kategori varit undermålig och haft en negativ effekt för den slutgiltiga klassificeringen.

Problemet med klassificeringen för vardagsobjekten skulle kunna bero på att bildmaterialet för denna kategori inte varit lika homogent som i de andra två kategorierna. Det kan tänkas att skillnaden mellan ett ansikte och ett annat egentligen inte är så särskilt stor då varje ansiktskomponent såsom ögon, näsa och mun i stort sett har sin fasta position, vilket kan tänkas leda till en hög procentuell klassificerbarhet. Landmärkeskategorin visade en något lägre träffsäkerhet vilket skulle kunna förklaras med att den något större variationen av kontextuella bilder. Bildernas gemensamma nämnare är att de är tagna i utomhusmiljö där skillnaden mellan en byggnad och en annan kanske inte är så stor, men vissa bilder visar även statyer eller höga torn. Däremot kan det i kategorin för vardagsobjekt tänkas att en stor variation finns mellan samtliga bilder. En gaffel, en säng och en hammare består möjligtvis inte av några gemensamma komponenter överhuvudtaget förutom att de räknas till objekt. Om detta resonemang stämmer har denna kategori varit olämplig att försöka klassificera.

I den första MVPA-studien som gjordes av Haxby med kollegor (2001) användes specifika objekt kategorier där en kategori innehöll enbart bilder på stolar, en annan enbart saxar, en med skor samt en sista med enbart flaskor. Reddy med kollegor (2010) använde sig exempelvis av en bildkategori med olika typer av handverktyg, och i EEG-studien av Taghizadeh-Sarabi med kollegor (2015) användes bland annat kategorierna skrivbordstillhörigheter, elektroniska prylar, dockor och smycken. Det bör därför eventuellt uppmärksammas i framtida studier vad som är språkligt uppbyggda kategorikonstruktioner för att få ett så perceptuellt homogent bildmaterial som möjligt och därmed åstadkomma en bättre avkodningsförmåga. Det kan inte uteslutas att tidigare studier, som Morton med kollegor (2013) och Huffman och Stark (2014), lyckats klassificera den bredare definitionen av vardagsobjekt men då bildmaterialet inte specificerats utöver denna benämning i forskningsartiklarna går det heller inte att avgöra om så är fallet. Dock ges det fyra exempel på vitt skilda objekt (durkslag, pincett, plastpåse och sprayflaska) i fMRI-studien av Polyn

med kollegor (2005) vilket indikerar att det ändå inte är omöjligt att avkoda den generella kategorin för vardagsobjekt.

Det finns dock studier som pekar på att nya stimuli genererar en starkare aktivitet än vad välbekanta stimuli gör. Barragan-Jason med kollegor (2015) bekräftade detta i sin studie där aktiveringen för obekanta ansikten var högre än för kända, vilket också bekräftades av de Gardelle med kollegor (2013) där en minskad aktivering skedde vid upprepning av samma bilder på ansikten i förhållande till bilder på nya. Eftersom bilderna på vardagsobjekten i min studie hade en hög igenkänningsgrad kan det tänkas att detta försvårar en klassificering då hjärnaktiviteten för objekten i så fall skulle vara svagare än för de andra bildkategorierna.

Ännu en alternativ förklaring till klassificeringsresultatet skulle kunna vara att subkortikala regioner har en betydelse vid perceptionen av olika kategorier, vilket inte kan mätas med skalpelektroder. Det är möjligt att det finns en viss överlappning av de neurala representationerna i kortex som en klassificerare hade kunnat urskilja om en subkortikal mätning istället hade kunnat genomföras.

Det finns även många olika typer av maskininlärningsalgoritmer att välja mellan och det kan tänkas att ett annat val av klassificerartyp än den som använts i denna studie hade gett en högre träffsäkerhet och kanske till och med lyckats klassificera objektkategorierna. Exempelvis skulle en icke-linjär klassificerare, till skillnad från en linjär, vara mer flexibel där en separation mellan två klasser då blir mer väldefinierade. Det bör även noteras när det gäller det statistiska avkodningsresultatet att i denna studie har alfanivån Bonferroni-korrigerats vid jämförelserna av samtliga klassificerares träffsäkerhet mot slumpen (Fig. 5). Möjligtvis har denna metod varit för konservativ då den är bättre lämpad när jämförelserna är oberoende av varandra, vilket tidssegmenten inte är i den kontinuerliga EEG-datan (Kilner, Kiebel, & Friston, 2005). Den konservativa alfanivån innebär att det potentiellt finns fler klassificerare som signifikant presterar bättre än slumpen än vad som rapporterats i denna studie, och en *random field theory*-korrigerad skulle enligt Kilner med kollegor (2005) vara mer fördelaktig då denna metod som används vid multipla jämförelser tar i beräkning att tids- och frekvensdata är beroende av intilliggande tidspunkter.

Den lyckade representationsklassificeringen av kategorierna i denna studie, det vill säga ansikten och landmärken, indikerar att det även borde vara möjligt att i framtida studier klassificera den aktiva minnesframplockningen av dessa med användandet av samma bildmaterial. Med EEG:ets höga tidsupplösningen är det möjligt att följa tidsförändringen av ett aktiveringsmönster och det skulle vara möjligt att urskilja den temporala aktiveringen för

perception från minne. Det skulle även vara möjligt att utröna om olika kategorispecifika representationer skiljer sig i tid.

### **Framtida betydelser**

Eftersom MVPA som metod inom EEG-forskningen är ny tycks det finnas en stor utvecklingspotential med nya appliceringar för en rad olika användningsområden inom bland annat neuropsykologin, där avkodning kan användas som undersökningsverktyg för diverse neurala mekanismer. Det skulle även ge tillgång till ett nytt kraftfullt verktyg inom ett flertal andra områden utöver minnesforskningen. Exempelvis skulle det kunna bli möjligt att i en sömnundersökning, eller hos en person i koma, iaktta den aktiva framplockningen av ett kategoriskt minne. Inom den kliniska psykologin har fMRI studier publicerats där MVPA använts som metod för att diagnostisera patienter med olika sjukdomar och funktionsnedsättningar såsom schizofreni (Koch et al., 2015), autismspektrumtillstånd (Coutanche, Thompson-Schill, & Schultz, 2011), depression (Zeng et al., 2012), social fobi (Frick et al., 2014), Alzheimers (Khazaee, Ebrahimzadeh, & Babajani-Feremi, in press) och ADHD (Hart et al., 2014). Det kan därför tänkas att klassificering av högtemporal EEG-data också bör komma att få betydelse inom psykiatrin.

Idag finns bland annat möjligheten att bli behandlad med hjälp av *neurofeedback*, vilket är en metod där patienten i realtid får se sin hjärnaktivitet på en datorskärm (Hammond, 2011). Metoden utgår från klassisk betingning där feedback tillåter patienter med exempelvis ADHD (Duric, Aßmus, & Elgen, 2014) eller depression (Young et al., 2014) att förändra sina maladaptiva responser genom upprepad träning (Hammond, 2011). MVPA skulle kunna tillämpas även inom *neurofeedback* då klassificering av hyperaktivitet eller negativa tankemönster troligtvis är genomförbart.

Ett annat skäl till att utveckla MVPA för EEG-data är att kostnaderna är avsevärt lägre i jämförelse med genomförandet av en fMRI-undersökning. En EEG-undersökning kostar uppskattningsvis endast 1-3 dollar per person till skillnad från fMRI som uppgår till hela 500 dollar per timme (Luck, 2014). Lägre kostnader skulle då leda till att fler undersökningar genomförs.

Av all befintlig hjärnavbildningsteknologi har EEG, förutom den låga kostnaden, också fördelen att vara portabel till skillnad från fMRI, vilket innebär ett praktiskt värde i vardagslivet (Haynes & Rees, 2006). Denna möjliga applicering utnyttjas inom *brain-computer interface*-forskning (BCI), det vill säga forskning inom den direkta kommunikationen mellan hjärna och dator. BCI är ett system som mäter aktiviteten från det

centrala nervsystemet och som konverterar det till en artificiell output vilken antingen kan ersätta eller komplettera interaktionen mellan nervsystemet och den externa respektive interna miljön (Wolpaw & Wolpaw, 2012). Idag är det bland annat möjligt för personer med fysiska funktionsnedsättningar att med enbart EEG styra robotproteser (Agashe, Paek, Zhang, & Contreras-Vidal, 2015), och styrandet av en dator eller maskin med minnesaktivering av en specifik kategori skulle troligtvis vara genomförbart.

Slutligen skulle det även vara tänkbart att använda sig av kategorisering av neurala representationer för att inom rättspsykologin skapa en form av EEG-baserad lögn-detektor. Liksom i tidigare nämnd studie av Stewart med kollegor (2014), där kategorisering av gamla respektive nya stimuli genomfördes, skulle det vara möjligt att låta en misstänkt gärningsman genomgå samma metod. Det skulle då uppdagas om denna tidigare sett en viss person, befunnit sig i en viss miljö, eller känner igen ett visst föremål, som skulle kunna röra sig om ett mordvapen.

Att kunna detektera framväxten av olika typer av neurala representationer kan medföra fantastiska möjligheter för framtidens forskning och samhällsutveckling.

## Referenser

- Agashe, H. A., Paek, A. Y., Zhang, Y., & Contreras-Vidal, J. L. (2015). Global cortical activity predicts shape of hand during grasping. *Frontiers in Neuroscience, 9*, 121. doi:10.3389/fnins.2015.00121
- Bandettini, P. A. (2012). Twenty years of functional MRI: The science and the stories. *Neuroimage, 62*(2), 575-588. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.04.026
- Barragan-Jason, G., Cauchoix, M., & Barbeau, E. J. (2015). The neural speed of familiar face recognition. *Neuropsychologia, 75*, 390-401. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.06.017
- Brodeur, M. B., Guérard, K., & Bouras, M. (2014). Bank of Standardized Stimuli (BOSS) phase II: 930 new normative photos. *Plos One, 9*(9), e106953. doi:10.1371/journal.pone.0106953
- Brysbaert, M., Warriner, A. B., & Kuperman, V. (2014). Concreteness ratings for 40 thousand generally known English word lemmas. *Behavior Research Methods, 46*(3), 904-911. doi:10.3758/s13428-013-0403-5
- Connolly, A. C., Guntupalli, J. S., Gors, J., Hanke, M., Halchenko, Y. O., Wu, Y., ... Haxby, J. V. (2012). The representation of biological classes in the human brain. *The Journal Of Neuroscience, 32*(8), 2608-2618. doi:10.1523/JNEUROSCI.5547-11.2012
- Correia, J. M., Jansma, B., Hausfeld, L., Kikkert, S., & Bonte, M. (2015). EEG decoding of spoken words in bilingual listeners: from words to language invariant semantic-conceptual representations. *Frontiers In Psychology, 6*, 71. doi:10.3389/fpsyg.2015.00071
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning, 20*(3), 273-297. doi:10.1007/BF00994018
- Coutanche, M. N., Thompson-Schill, S. L., & Schultz, R. T. (2011). Multi-voxel pattern analysis of fMRI data predicts clinical symptom severity. *Neuroimage, 57*(1), 113-123. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.04.016
- de Gardelle, V., Stokes, M., Johnen, V. M., Wyart, V., & Summerfield, C. (2013). Overlapping multivoxel patterns for two levels of visual expectation. *Frontiers In Human Neuroscience, 7*, 158. doi: 10.3389/fnhum.2013.00158
- Duric, N. S., Aßmus, J., & Elgen, I. B. (2014). Self-reported efficacy of neurofeedback treatment in a clinical randomized controlled study of ADHD children and adolescents. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 10*, 1645-1654. doi:10.2147/NDT.S66466

- Frick, A., Gingnell, M., Marquand, A. F., Howner, K., Fischer, H., Kristiansson, M., ... Furmark, T. (2014). Classifying social anxiety disorder using multivoxel pattern analyses of brain function and structure. *Behavioural Brain Research*, 259, 330-335. doi:10.1016/j.bbr.2013.11.003
- Göteborgs universitet. (2009). *PAROLE-korpusen vid Språkbanken*. Hämtad 22 mars, 2015, från <http://spraakbanken.gu.se/parole>
- Hammond, D. C. (2011). What is neurofeedback: An update. *Journal Of Neurotherapy*, 15(4), 305-336. doi:10.1080/10874208.2011.623090
- Hart, H., Marquand, A. F., Smith, A., Cubillo, A., Simmons, A., Brammer, M., & Rubia, K. (2014). Predictive neurofunctional markers of attention-deficit/hyperactivity disorder based on pattern classification of temporal processing. *Journal Of The American Academy Of Child & Adolescent Psychiatry*, 53(5), 569-578. doi:10.1016/j.jaac.2013.12.024
- Haxby, J. V. (2012). Multivariate pattern analysis of fMRI: The early beginnings. *Neuroimage*, 62(2), 852-855. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.03.016
- Haxby, J. V., Connolly, A. C., & Guntupalli, J. S. (2014). Decoding neural representational spaces using multivariate pattern analysis. *Annual Review Of Neuroscience*, 37, 435-456. doi:10.1146/annurev-neuro-062012-170325
- Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M. L., Ishai, A., Schouten, J. L., & Pietrini, P. (2001). Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science*, 293(5539), 2425-2430. doi:10.1126/science.1063736
- Haynes, J., & Rees, G. (2006). Decoding mental states from brain activity in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(7), 523-534. doi:10.1038/nrn1931
- Huffman, D. J., & Stark, C. L. (2014). Multivariate pattern analysis of the human medial temporal lobe revealed representationally categorical cortex and representationally agnostic hippocampus. *Hippocampus*, 24(11), 1394-1403. doi:10.1002/hipo.22321
- Jafarpour, A., Fuentemilla, L., Horner, A. J., Penny, W., & Duzel, E. (2014). Replay of very early encoding representations during recollection. *The Journal Of Neuroscience*, 34(1), 242-248. doi:10.1523/JNEUROSCI.1865-13.2014
- Jafarpour, A., Horner, A. J., Fuentemilla, L., Penny, W. D., & Duzel, E. (2013). Decoding oscillatory representations and mechanisms in memory. *Neuropsychologia*, 51(4), 772-780. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.002

- Johnson, M. R., & Johnson, M. K. (2014). Decoding individual natural scene representations during perception and imagery. *Frontiers In Human Neuroscience*, 8, 59. doi:10.3389/fnhum.2014.00059
- Ketz, N., O'Reilly, R. C., & Curran, T. (2014). Classification aided analysis of oscillatory signatures in controlled retrieval. *Neuroimage*, 85, 749-760. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.06.077
- Khazaei, A., Ebrahimzadeh, A., & Babajani-Feremi, A. (in press). Identifying patients with alzheimer's disease using resting-state fmri and graph theory. *Clinical Neurophysiology*. Hämtad från <http://www.clinph-journal.com/article/S1388-2457%2815%2900224-2/pdf>
- Kilner, J. M., Kiebel, S. J., & Friston, K. J. (2005). Applications of random field theory to electrophysiology. *Neuroscience letters*, 374(3), 174-178. doi:10.1016/j.neulet.2004.10.052
- Koch, S. P., Hägele, C., Haynes, J., Heinz, A., Schlagenhaut, F., & Sterzer, P. (2015). Diagnostic classification of schizophrenia patients on the basis of regional reward-related FMRI signal patterns. *Plos One*, 10(3), e0119089. doi:10.1371/journal.pone.0119089
- Levy, B. J., & Wagner, A. D. (2013). Measuring memory reactivation with functional MRI: Implications for psychological theory. *Perspectives On Psychological Science*, 8(1), 72-78. doi:10.1177/1745691612469031
- Logothetis, N. K. (2008). What we can do and what we cannot do with fMRI. *Nature*, 453(7197), 869-878. doi:10.1038/nature06976
- Looser, C. E., Guntupalli, J. S., & Wheatley, T. (2013). Multivoxel patterns in face-sensitive temporal regions reveal an encoding schema based on detecting life in a face. *Social Cognitive And Affective Neuroscience*, 8(7), 799-805. doi:10.1093/scan/nss078
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press
- Morton, N. W., Kahana, M. J., Rosenberg, E. A., Baltuch, G. H., Litt, B., Sharan, A. D., ... Polyn, S. M. (2013). Category-specific neural oscillations predict recall organization during memory search. *Cerebral Cortex*, 23(10), 2407-2422. doi:10.1093/cercor/bhs229
- Murugappan, M., Ramachandran, N., & Sazali, Y. (2010). Classification of human emotion from EEG using discrete wavelet transform. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 3, 390-396. doi:10.4236/jbise.2010.34054



- Norman, K. A., Polyn, S. M., Detre, G. J., & Haxby, J. V. (2006). Beyond mind-reading: Multi-voxel pattern analysis of fMRI data. *Trends In Cognitive Sciences*, *10*(9), 424-430. doi:10.1016/j.tics.2006.07.005
- Poldrack, R. A., Mumford, J. A., & Nichols, T. E. (2011). *Handbook of functional MRI data analysis*. New York, NY, US: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511895029
- Polyn, S. M., Natu, V. S., Cohen, J. D., & Norman, K. A. (2005). Category-specific cortical activity precedes retrieval during memory search. *Science*, *310*(5756), 1963-1966. doi:10.1126/science.1117645
- Reddy, L., Tsuchiya, N., & Serre, T. (2010). Reading the mind's eye: Decoding category information during mental imagery. *Neuroimage*, *50*(2), 818-825. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.11.084
- Rissman, J., & Wagner, A. D. (2012). Distributed representations in memory: Insights from functional brain imaging. *Annual Review Of Psychology*, *63*, 101-128. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100344
- Rivolta, D., Woolgar, A., Palermo, R., Butko, M., Schmalzl, L., & Williams, M. A. (2014). Multi-voxel pattern analysis (MVPA) reveals abnormal fMRI activity in both the "core" and "extended" face network in congenital prosopagnosia. *Frontiers In Human Neuroscience*, *8*, 925. doi:10.3389/fnhum.2014.00925
- Schulz, E., Zherdin, A., Tiemann, L., Plant, C., & Ploner, M. (2012). Decoding an individual's sensitivity to pain from the multivariate analysis of EEG data. *Cerebral Cortex*, *22*(5), 1118-1123. doi:10.1093/cercor/bhr186
- Stewart, A. X., Nuthmann, A., & Sanguinetti, G. (2014). Single-trial classification of EEG in a visual object task using ICA and machine learning. *Journal Of Neuroscience Methods*, *228*, 1-14. doi:10.1016/j.jneumeth.2014.02.014
- Taghizadeh-Sarabi, M., Daliri, M. R., & Niksirat, K. S. (2015). Decoding objects of basic categories from electroencephalographic signals using wavelet transform and support vector machines. *Brain Topography*, *28*(1), 33-46. doi:10.1007/s10548-014-0371-9
- Tong, F., & Pratte, M. S. (2012). Decoding patterns of human brain activity. *Annual Review Of Psychology*, *63*, 483-509. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100412
- Walther, D. B., Caddigan, E., Fei-Fei, L., & Beck, D. M. (2009). Natural scene categories revealed in distributed patterns of activity in the human brain. *The Journal Of Neuroscience*, *29*(34), 10573-10581. doi:10.1523/JNEUROSCI.0559-09.2009

- Wolpaw, J. R., & Wolpaw, E. W. (2012) Brain-Computer Interfaces: Something new under the sun. I J. R. Wolpaw, & E. W. Wolpaw, (Eds.), *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice* (pp. 3-12). New York, NY: Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:oso/9780195388855.001.0001
- Young, K. D., Zotev, V., Phillips, R., Misaki, M., Yuan, H., Drevets, W. C., & Bodurka, J. (2014). Real-time fMRI neurofeedback training of amygdala activity in patients with major depressive disorder. *Plos One*, 9(2), e88785. doi:10.1371/journal.pone.0088785
- Zeng, L., Shen, H., Liu, L., Wang, L., Li, B., Fang, P., ... Hu, D. (2012). Identifying major depression using whole-brain functional connectivity: A multivariate pattern analysis. *Brain: A Journal Of Neurology*, 135(5), 1498-1507. doi:10.1093/brain/aws059

## Appendix

Ordlista	Ledtråd	Bildlista-A1	Ordlista	Ledtråd	Bildlista-B1	Ordlista	Ledtråd	Bildlista-C1
1	koncept	Albert Einstein	1	koncept	Skiftnyckel	1	koncept	Akropolis
1	patos	Carl XVI Gustaf	1	patos	Yxa	1	patos	Alcatraz
1	session	Angelina Jolie	1	session	Ryggsäck	1	session	Auschwitz
1	kurage	Rowan Atkinson	1	kurage	Sång	1	kurage	Universitetsbiblioteket
1	paradox	Arnold Schwarzenegger	1	paradox	Öfflaska	1	paradox	Berlinmuren
1	ironi	Barack Obama	1	ironi	Cykel	1	ironi	Big Ben
1	tabu	Beyoncé	1	tabu	Kikare	1	tabu	Brandenburg
1	essens	Bill Clinton	1	essens	Bokhylla	1	essens	Buckingham Palace
1	manér	Brad Pitt	1	manér	Hink	1	manér	Central Park
1	koncern	Britney Spears	1	koncern	Miniräknare	1	koncern	Chichen Itza
1	nyans	Bruce Willis	1	nyans	Kamera	1	nyans	Colosseum
1	finess	Cameron Diaz	1	finess	Stol	1	finess	Den lilla sjöjungfrun
1	satir	Angela Merkel	1	satir	Kam	1	satir	Disneyland
1	reform	Carola Häggkvist	1	reform	Tärning	1	reform	Dubaitornet
1	misär	Carolina Klüft	1	misär	Borr	1	misär	Eiffeltornet
1	reserv	Kronprinsessan Victoria	1	reserv	Elgitarr	1	reserv	Empire State Building
1	premie	Drottning Silvia	1	premie	Ficklampa	1	premie	Frihetsgudinnan
1	fiktion	Elvis Presley	1	fiktion	Gaffel	1	fiktion	Fujiberg
1	exil	Emma Watson	1	exil	Kylskåp	1	exil	Förbudna Staden
1	amnesti	Fredrik Reinfeldt	1	amnesti	Stekpanna	1	amnesti	Globen
1	elit	Moder Teresa	1	elit	Glasögon	1	elit	Golden Gatebron
1	vigör	George Clooney	1	vigör	Jordglob	1	vigör	Grand Canyon
1	tragedi	Jennifer Aniston	1	tragedi	Hammare	1	tragedi	Kalmar slott
1	frenesi	Mona Sahlin	1	frenesi	Solfjäder	1	frenesi	Kaknästornet
1	kliché	Johnny Depp	1	kliché	Hörlurar	1	kliché	Kinesiska muren
1	blunder	John Travolta	1	blunder	Skridsko	1	blunder	Klagomuren
1	nonsens	Julia Roberts	1	nonsens	Strykbräda	1	nonsens	Kristusstatyn
1	fars	Justin Bieber	1	fars	Nyckel	1	fars	London Eye
1	celibat	Katy Perry	1	celibat	Kniv	1	celibat	Louvren
1	mani	Kristen Stewart	1	mani	Stege	1	mani	Lunds Domkyrka
1	harmoni	Charlie Chaplin	1	harmoni	Glödlampa	1	harmoni	Lunds Universitet
1	advent	Lady Diana	1	advent	Tändare	1	advent	Lutande tornet i Pisa
1	defekt	Leonardo DiCaprio	1	defekt	Mikrovågsugn	1	defekt	Machu Picchu
1	slang	Loreen	1	slang	Mugg	1	slang	Manneken Pis
1	symbios	Madonna	1	symbios	Nagellack	1	symbios	Mecca
1	blues	Margaret Thatcher	1	blues	Pensel	1	blues	FNs högkvarter
1	utlägg	Marilyn Monroe	1	utlägg	Gem	1	utlägg	Mount Everest
1	monarki	Meryl Streep	1	monarki	Penna	1	monarki	Mount Rushmore
1	resurs	Michael Jackson	1	resurs	Parfymflaska	1	resurs	Niagarafallen
1	retorik	Miley Cyrus	1	retorik	Flygel	1	retorik	Notre Dame
1	voodoo	George Bush	1	voodoo	Kastrull	1	voodoo	Operahuset i Sydney
1	medling	Jim Carrey	1	medling	Rakhyvel	1	medling	Pentagon
1	börda	Nicolas Cage	1	börda	Linjal	1	börda	Petra
1	diagnos	Nicole Kidman	1	diagnos	Säkerhetsnål	1	diagnos	Påskön
1	gudinna	Zlatan Ibrahimovic	1	gudinna	Såg	1	gudinna	Sagrada Familia
1	hertz	Paris Hilton	1	hertz	Väg	1	hertz	Sergels Torg
1	anekdot	Pierce Brosnan	1	anekdot	Sax	1	anekdot	Sfinxen
1	svindel	Robin Williams	1	svindel	Tejp	1	svindel	Sixtinska Kapellet
1	autism	Annie Lööf	1	autism	Skruvmejsel	1	autism	Stockholms slott
1	rutin	Sanna Nielsen	1	rutin	Symaskin	1	rutin	Stonehenge
1	access	Scarlett Johansson	1	access	Spade	1	access	Taj Mahal
1	kredit	Sean Connery	1	kredit	Handfat	1	kredit	Tower Bridge
1	mantra	Stefan Löfven	1	mantra	Fotboll	1	mantra	Triumfbågen
1	övertid	Sylvester Stallone	1	övertid	Häftapparat	1	övertid	Turning Torso
1	överdos	Tina Turner	1	överdos	Brödrost	1	överdos	Moskva
1	beta	Tom Cruise	1	beta	Tandborste	1	beta	Vatikanen
1	hysteri	Tom Hanks	1	hysteri	Pincett	1	hysteri	Venedig
1	verb	Will Smith	1	verb	Klocka	1	verb	Vita Huset
1	rang	Vladimir Putin	1	rang	Vattenkanna	1	rang	World Trade Center
1	timing	Oprah Winfrey	1	timing	Fiol	1	timing	Öresundsbron
1	triumf	Astrid Lindgren	1	triumf	Skateboard	1	triumf	Poseidonstatyn i Göteborg
1	nisch	Dr. Phil	1	nisch	Slips	1	nisch	Stockholms stadshus
1	klarhet	Maria Montazami	1	klarhet	Tennisracket	1	klarhet	Kärnan i Helsingborg
1	kyla	Steve Jobs	1	kyla	Pipa	1	kyla	Sacré Coeur

Ordlista	Ledtråd	Bildlista-A2	Ordlista	Ledtråd	Bildlista-B2	Ordlista	Ledtråd	Bildlista-C2
2	glamour	Akropolis	2	glamour	Albert Einstein	2	glamour	Skiftnyckel
2	alias	Alcatraz	2	alias	Carl XVI Gustaf	2	alias	Yxa
2	dialekt	Auschwitz	2	dialekt	Angelina Jolie	2	dialekt	Ryggsäck
2	egoism	Universitetsbiblioteket	2	egoism	Rowan Atkinson	2	egoism	Säng
2	humbug	Berlinmuren	2	humbug	Arnold Schwarzenegger	2	humbug	Öfflaska
2	sarkasm	Big Ben	2	sarkasm	Barack Obama	2	sarkasm	Cykel
2	heder	Brandenburg	2	heder	Beyoncé	2	heder	Kikare
2	amok	Buckingham Palace	2	amok	Bill Clinton	2	amok	Bokhylla
2	tyranni	Central Park	2	tyranni	Brad Pitt	2	tyranni	Hink
2	respit	Chichen Itza	2	respit	Britney Spears	2	respit	Miniräknare
2	alfa	Colosseum	2	alfa	Bruce Willis	2	alfa	Kamera
2	basis	Den lilla sjöjungfrun	2	basis	Cameron Diaz	2	basis	Stol
2	teologi	Disneyland	2	teologi	Angela Merkel	2	teologi	Kam
2	apati	Dubaitornet	2	apati	Carola Häggkvist	2	apati	Tärning
2	favör	Eiffeltornet	2	favör	Carolina Klüft	2	favör	Borr
2	jargong	Empire State Building	2	jargong	Kronprinsessan Victoria	2	jargong	Elgitarr
2	karisma	Frihetsgudinnan	2	karisma	Drottning Silvia	2	karisma	Ficklampa
2	kriser	Fujiberget	2	kriser	Elvis Presley	2	kriser	Gaffel
2	realism	Förbjudna Staden	2	realism	Emma Watson	2	realism	Kylskåp
2	fobi	Globen	2	fobi	Fredrik Reinfeldt	2	fobi	Stekpanna
2	doktrin	Golden Gatebron	2	doktrin	Moder Teresa	2	doktrin	Glasögon
2	skandal	Grand Canyon	2	skandal	George Clooney	2	skandal	Jordglob
2	dravel	Kalmar slott	2	dravel	Jennifer Aniston	2	dravel	Hammare
2	romans	Kaknästornet	2	romans	Mona Sahlén	2	romans	Solfjäder
2	farväl	Kinesiska muren	2	farväl	Johnny Depp	2	farväl	Hörlurar
2	myteri	Klagomuren	2	myteri	John Travolta	2	myteri	Skridsko
2	minimum	Kristusstatyn	2	minimum	Julia Roberts	2	minimum	Strykbräda
2	legitim	London Eye	2	legitim	Justin Bieber	2	legitim	Nyckel
2	passion	Louvren	2	passion	Katy Perry	2	passion	Kniv
2	realist	Lunds Domkyrka	2	realist	Kristen Stewart	2	realist	Stege
2	elegans	Lunds Universitet	2	elegans	Charlie Chaplin	2	elegans	Glödlampa
2	info	Lutande tornet i Pisa	2	info	Lady Diana	2	info	Tändare
2	musa	Machu Picchu	2	musa	Leonardo DiCaprio	2	musa	Mikrovågsugn
2	maxim	Manneken Pis	2	maxim	Loreen	2	maxim	Mugg
2	motto	Mecca	2	motto	Madonna	2	motto	Nagellack
2	charm	FNs högkvarter	2	charm	Margaret Thatcher	2	charm	Pensel
2	tänkare	Mount Everest	2	tänkare	Marilyn Monroe	2	tänkare	Gem
2	parodi	Mount Rushmore	2	parodi	Meryl Streep	2	parodi	Penna
2	dyslexi	Niagarafallen	2	dyslexi	Michael Jackson	2	dyslexi	Parfymflaska
2	godhet	Notre Dame	2	godhet	Miley Cyrus	2	godhet	Flygel
2	odysse	Operahuset i Sydney	2	odysse	George Bush	2	odysse	Kastrull
2	novis	Pentagon	2	novis	Jim Carrey	2	novis	Rakhyvel
2	dekret	Petra	2	dekret	Nicolas Cage	2	dekret	Linjal
2	monopol	Påskön	2	monopol	Nicole Kidman	2	monopol	Säkerhetsnål
2	neutron	Sagrada Família	2	neutron	Zlatan Ibrahimovic	2	neutron	Såg
2	trauma	Sergels Torg	2	trauma	Paris Hilton	2	trauma	Våg
2	bojkott	Sfinxen	2	bojkott	Pierce Brosnan	2	bojkott	Sax
2	allians	Sixtinska Kapellet	2	allians	Robin Williams	2	allians	Tejp
2	hypnos	Stockholms slott	2	hypnos	Annie Lööf	2	hypnos	Skrummejsel
2	policy	Stonehenge	2	policy	Sanna Nielsen	2	policy	Symaskin
2	lektion	Taj Mahal	2	lektion	Scarlett Johansson	2	lektion	Spade
2	terapi	Tower Bridge	2	terapi	Sean Connery	2	terapi	Handfat
2	solo	Triumfbågen	2	solo	Stefan Löfven	2	solo	Fotboll
2	psyke	Turning Torso	2	psyke	Sylvester Stallone	2	psyke	Häftapparat
2	fras	Moskva	2	fras	Tina Turner	2	fras	Brödrost
2	klimax	Vatikanen	2	klimax	Tom Cruise	2	klimax	Tandborste
2	regim	Venedig	2	regim	Tom Hanks	2	regim	Pincett
2	komfort	Vita Huset	2	komfort	Will Smith	2	komfort	Klocka
2	diskurs	World Trade Center	2	diskurs	Vladimir Putin	2	diskurs	Vattenkanna
2	kvot	Öresundsbron	2	kvot	Oprah Winfrey	2	kvot	Fiol
2	stress	Poseidonstatyn i Göteborg	2	stress	Astrid Lindgren	2	stress	Skateboard
2	debut	Stockholms stadshus	2	debut	Dr. Phil	2	debut	Slips
2	välfärd	Kärnan i Helsingborg	2	välfärd	Maria Montazami	2	välfärd	Tennisrackett
2	expert	Sacré Coeur	2	expert	Steve Jobs	2	expert	Pipa

Ordlista	Ledtråd	Bildlista-A3	Ordlista	Ledtråd	Bildlista-B3	Ordlista	Ledtråd	Bildlista-C3
3	eufori	Skiftnyckel	3	eufori	Akropolis	3	eufori	Albert Einstein
3	merit	Yxa	3	merit	Alcatraz	3	merit	Carl XVI Gustaf
3	moment	Ryggsäck	3	moment	Auschwitz	3	moment	Angelina Jolie
3	empati	Säng	3	empati	Universitetsbiblioteket	3	empati	Rowan Atkinson
3	visdom	Öflaska	3	visdom	Berlinmuren	3	visdom	Arnold Schwarzenegger
3	logik	Cykel	3	logik	Big Ben	3	logik	Barack Obama
3	fascism	Kikare	3	fascism	Brandenburg	3	fascism	Beyoncé
3	aspekt	Bokhylla	3	aspekt	Buckingham Palace	3	aspekt	Bill Clinton
3	sympati	Hink	3	sympati	Central Park	3	sympati	Brad Pitt
3	mirakel	Miniräknare	3	mirakel	Chichen Itza	3	mirakel	Britney Spears
3	anarki	Kamera	3	anarki	Colosseum	3	anarki	Bruce Willis
3	dynamik	Stol	3	dynamik	Den lilla sjöjungfrun	3	dynamik	Cameron Diaz
3	dualism	Kam	3	dualism	Disneyland	3	dualism	Angela Merkel
3	axiom	Tärning	3	axiom	Dubaitornet	3	axiom	Carola Häggkvist
3	mildhet	Borr	3	mildhet	Eiffeltornet	3	mildhet	Carolina Klüft
3	dilemma	Elgitarr	3	dilemma	Empire State Building	3	dilemma	Kronprinsessan Victoria
3	mono	Ficklampa	3	mono	Frihetsgudinnan	3	mono	Drottning Silvia
3	etikett	Gaffel	3	etikett	Fujiberget	3	etikett	Elvis Presley
3	norm	Kylskåp	3	norm	Förbjudna Staden	3	norm	Emma Watson
3	metafor	Stekpanna	3	metafor	Globen	3	metafor	Fredrik Reinfeldt
3	taktik	Glasögon	3	taktik	Golden Gatebron	3	taktik	Moder Teresa
3	fiasko	Jordglob	3	fiasko	Grand Canyon	3	fiasko	George Clooney
3	kontext	Hammare	3	kontext	Kalmar slott	3	kontext	Jennifer Aniston
3	faser	Solfjäder	3	faser	Kaknästornet	3	faser	Mona Sahlin
3	obalans	Hörlurar	3	obalans	Kinesiska muren	3	obalans	Johnny Depp
3	demens	Skridsko	3	demens	Klagomuren	3	demens	John Travolta
3	raritet	Strykbräda	3	raritet	Kristusstatyn	3	raritet	Julia Roberts
3	livstid	Nyckel	3	livstid	London Eye	3	livstid	Justin Bieber
3	fantom	Kniv	3	fantom	Louvren	3	fantom	Katy Perry
3	genre	Stege	3	genre	Lunds Domkyrka	3	genre	Kristen Stewart
3	idiom	Glödlampa	3	idiom	Lunds Universitet	3	idiom	Charlie Chaplin
3	etik	Tändare	3	etik	Lutande tornet i Pisa	3	etik	Lady Diana
3	krångel	Mikrovågsugn	3	krångel	Machu Picchu	3	krångel	Leonardo DiCaprio
3	terror	Mugg	3	terror	Manneken Pis	3	terror	Loreen
3	syndrom	Nagellack	3	syndrom	Mecca	3	syndrom	Madonna
3	ekologi	Pensel	3	ekologi	FNs högkvarter	3	ekologi	Margaret Thatcher
3	impuls	Gem	3	impuls	Mount Everest	3	impuls	Marilyn Monroe
3	pakt	Penna	3	pakt	Mount Rushmore	3	pakt	Meryl Streep
3	alibi	Parfymflaska	3	alibi	Niagarafallen	3	alibi	Michael Jackson
3	halvtid	Flygel	3	halvtid	Notre Dame	3	halvtid	Miley Cyrus
3	ritual	Kastrull	3	ritual	Operahuset i Sydney	3	ritual	George Bush
3	barock	Rakhyvel	3	barock	Pentagon	3	barock	Jim Carrey
3	cyniker	Linjal	3	cyniker	Petra	3	cyniker	Nicolas Cage
3	missöde	Säkerhetsnål	3	missöde	Påskön	3	missöde	Nicole Kidman
3	analog	Såg	3	analog	Sagrada Familia	3	analog	Zlatan Ibrahimovic
3	aura	Våg	3	aura	Sergels Torg	3	aura	Paris Hilton
3	tribut	Sax	3	tribut	Sfinxen	3	tribut	Pierce Brosnan
3	kloning	Tejp	3	kloning	Sixtinska Kapellet	3	kloning	Robin Williams
3	omen	Skruvmejsel	3	omen	Stockholms slott	3	omen	Annie Lööf
3	snobb	Symaskin	3	snobb	Stonehenge	3	snobb	Sanna Nielsen
3	kult	Spade	3	kult	Taj Mahal	3	kult	Scarlett Johansson
3	paradis	Handfat	3	paradis	Tower Bridge	3	paradis	Sean Connery
3	klausul	Fotboll	3	klausul	Triumfbågen	3	klausul	Stefan Löfven
3	aptit	Häftapparat	3	aptit	Turning Torso	3	aptit	Sylvester Stallone
3	sabotör	Brödrost	3	sabotör	Moskva	3	sabotör	Tina Turner
3	skift	Tandborste	3	skift	Vatikanen	3	skift	Tom Cruise
3	orakel	Pincett	3	orakel	Venedig	3	orakel	Tom Hanks
3	tyfus	Klocka	3	tyfus	Vita Huset	3	tyfus	Will Smith
3	term	Vattenkanna	3	term	World Trade Center	3	term	Vladimir Putin
3	buffert	Fiol	3	buffert	Öresundsbron	3	buffert	Oprah Winfrey
3	bredd	Skateboard	3	bredd	Poseidonstatyn i Göteborg	3	bredd	Astrid Lindgren
3	talang	Slips	3	talang	Stockholms stadshus	3	talang	Dr. Phil
3	trend	Tennisracket	3	trend	Kärnan i Helsingborg	3	trend	Maria Montazami
3	variant	Pipa	3	variant	Sacré Coeur	3	variant	Steve Jobs