

Aus dem Institut für Medizinische Psychologie

Institut der Universität München

Vorstand: Prof. Martha Merrow, PhD

**Neuronale Korrelate komplementärer kognitiver Funktionen
alltäglicher Wahrnehmungs- und Beurteilungsprozesse**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Fabian Simmank

aus Kassel

2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Ernst Pöppel, ML, MAE

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Daniel Chappell

Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter: Dr. Kai Fehse

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.05.2022

Abstract (English)

Processing of external information as a starting point for conscious actions is an essential area of research in the field of systemic neuroscience. This thesis explores the question of how everyday perception and assessment processes can be related to each other and be described on a neural level. For this purpose, five studies were carried out, which deal with evaluations of various types of stimulus content. Providing experimentally generated results with regard to these evaluations, neural correlates of identity categorization, meaning attribution and judgment formation are shown. The first study examines the placebo effect of differently labeled placebo preparations in relation to their influence in expectation of pain relief. The second study analyzes the mental examination of spiritual content in a single case study. The third study compares moral statements with advertising slogans. The fourth study builds on the abovementioned one and discusses the function of an aesthetic assessment as a processing basis for the stimulus categories mentioned. The fifth study deals with the handling of unexpected feedback in the context of controlling a semi-autonomous vehicle. In the evaluation of the experimental data, areas in the prefrontal and temporoparietal brain areas in particular were identified that are important for the relevant cognitive functions. In order to understand the generative complementarity of logistical and content-related cognitive functions, the brain areas are examined in more detail, discussed based on the state of research and further implications are considered.

Zusammenfassung (Deutsch)

Die Verarbeitung externer Information als Ausgangspunkt für bewusste Handlungen ist ein wesentliches Forschungsgebiet der systemischen Neurowissenschaften. Diese Arbeit geht der Frage nach, wie sich alltägliche Wahrnehmungs- und Beurteilungsprozesse auf neuronaler Ebene in Beziehung setzen und beschreiben lassen. Dafür wurden insgesamt fünf Studien durchgeführt, die sich mit Evaluierungen verschiedener Inhaltsformen beschäftigen und anhand derer experimentell neuronale Korrelate von Identitätskategorisierung, Bedeutungszuschreibung und Urteilsbildung nachgewiesen werden. Die erste Studie untersucht die Placebowirkung unterschiedlich markierter Placebopräparate in Bezug auf ihren Einfluss auf erwartete Schmerzlinderung. Die zweite Studie analysiert die mentale Verarbeitung spiritueller Inhalte in einer Einzelfallstudie. Die dritte Studie vergleicht moralische Statements mit Werbeslogans. Die vierte Studie baut auf der vorhergenannten auf und diskutiert die Funktion einer ästhetischen Bewertung als Verarbeitungsgrundlage für die genannten Inhaltskategorien. Die fünfte Studie befasst sich mit dem Umgang von unerwartetem Feedback im Kontext des Steuerns eines teilautonomen Fahrzeugs. In der Auswertung der Experimentdaten wurden insbesondere Areale in präfrontalen und in temporoparietalen Hirnbereichen identifiziert, die bei den relevanten kognitiven Funktionen von Bedeutung sind. Im Sinne des Verständnisses einer generativen Komplementarität von logistischen und inhaltlichen kognitiven Funktionen werden die Hirnareale näher beleuchtet und anhand des Forschungsstands diskutiert, zudem werden weiterführende Implikationen betrachtet.

Abkürzungsverzeichnis

ACC	anteriores Cingulum (<i>anterior cingulate cortex</i>)
ASS	Acetylsalicylsäure
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomografie
OFC	Orbitofrontalkortex
PFC	Präfrontalkortex
STG	Gyrus temporalis superior (<i>superior temporal gyrus</i>)
STS	Sulcus temporalis superior (<i>superior temporal sulcus</i>)
TPJ	temporoparietale Kreuzung (<i>temporoparietal junction</i>)

Inhaltsverzeichnis

Abstract (English).....	3
Zusammenfassung (Deutsch).....	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Inhaltsverzeichnis.....	6
Publikationsliste	7
1. Kognitionswissenschaftliche Ein- und Herleitung.....	8
2. Neurowissenschaftliche Grundlagen.....	10
2.1 Neuronale Korrelate der Integration kognitiver Funktionen	11
2.2 Die vorliegende Arbeit	13
2.2.1 Placebo-modulierte Schmerzidentität: Bedeutungsgenerierung im dmPFC	14
2.3.2: Funktionelle Konnektivität im Ruhezustand: Bedeutung spiritueller Rituale.....	15
2.3.3: Bausteine der Bedeutungserzeugung: Domänenübergreifende neuronale Urteilsbildung	16
2.3.4: Die Bedeutung ästhetischer Urteile: Ein orbitofrontaler Grundbaustein.....	17
2.3.5: Sicherheitsempfinden durch Selbstwirksamkeit: Das dorsale und das ventrale Aufmerksamkeitsnetzwerk.....	17
3. Veröffentlichte Arbeiten	19
3.1 Placebo responses to original vs generic ASA brands during exposure to noxious heat: A pilot fMRI study of neurofunctional correlates	19
3.2 Does a bishop pray when he prays? And does his brain distinguish between different religions?.....	20
3.3 Morality in advertising: An fMRI study on persuasion in communication	21
3.4 Aesthetics as a common denominator for moral and commercial judgments	22
3.5 Suddenly safe: Processing of conflicting feedback in assisted driving	23
4. Referenzen.....	24
5. Danksagung	28
6. Eidesstattliche Versicherung	29

Publikationsliste

1. Fehse, K., Maikowski, L., **Simmank**, F., Gutyrchik, E., & Meissner, K. (2015). Placebo responses to original vs generic ASA brands during exposure to noxious heat: A pilot fMRI study of neurofunctional correlates. *Pain Medicine*, 16(10), 1967-1974. <https://doi.org/10.1111/pme.12783>
2. Silveira, S., Bao, Y., Wang, L., Pöppel, E., Avram, M., **Simmank**, F., Zaytseva, Y., & Blautzik, J. (2015). Does a bishop pray when he prays? And does his brain distinguish between different religions? *PsyCh Journal*, 4(4), 199-207. <https://doi.org/10.1002/pchj.116>
3. **Simmank**, F.*, Avram, M.*, Fehse, K., Sander, T., Zaytseva, Y., Paolini, M., Bao, Y., & Silveira, S. (2020). Morality in advertising: An fMRI study on persuasion in communication. *PsyCh Journal*, 9(5), 629-643. <https://doi.org/10.1002/pchj.358>
4. Wang, X.*, **Simmank**, F.*, Zhang, D., Zeng, Y., Silveira, S., Sander, T., Bao, Y., & Paolini, M. (2021). Aesthetics as a common denominator for moral and commercial judgments. *PsyCh Journal*, 10(2), 187-189. <https://doi.org/10.1002/pchj.407>
5. Tanida, K.*, **Simmank**, F.*, Silveira, S., & Paolini, M. (2021). Suddenly safe: Processing of conflicting feedback in assisted driving. *PsyCh Journal*, 10(3), 491-493. <https://doi.org/10.1002/pchj.427>

* geteilte Erstautorenschaft

1. Kognitionswissenschaftliche Ein- und Herleitung

Es ist eine etablierte Erkenntnis in der wissenschaftlichen Erforschung des Individuums, dass es stark vom Blickwinkel abhängt, ob man zur Feststellung kommt, dass alle Menschen gleich funktionieren, sie sich gruppenweise untereinander mehr ähneln als anderen, oder kein Mensch dem anderen gleicht (Kluckhohn, Murray, & Schneider, 1953). Während diese Blickwinkel entlang verschiedener Wissenschaftsdisziplinen und Beobachtungsgegenstände ganz verschieden ausfallen, beschreibt diese Erkenntnis als solche eine Komplementarität von Betrachtungsweisen: Die jeweilige der genannten Feststellungen ist nicht notwendigerweise richtig oder falsch. Der passende Blickwinkel ergibt sich erst durch die Fragestellung. Somit sind alle Menschen sich auf manche Arten gleich – etwa beim generellen Funktionsprinzip ihrer chemischen Stoffwechselprozesse – und in mancher Hinsicht ist jedes Individuum ganz und gar einzigartig – etwa im Repertoire seiner episodischen Erinnerungen.

Eine ähnlich komplementäre Betrachtung setzt sich in der Handlungsphilosophie fort, also bei der Analyse beobachtbaren Handelns, welches die sichtbare Ausprägung individuellen Verhaltens ist: „[Das] Verhältnis von normativer Stellungnahme und individuellem, kollektivem, auch politischem Handeln, von Werten und Institutionen, lässt sich in zwei, scheinbar gegensätzlichen, Weisen beschreiben“, so Nida-Rümelin (2016), und zwar entweder, „[i]n der stoizistischen [...] wonach jede Handlung eine (normative) Stellungnahme, ein Urteil ist, wonach ich also durch die Praxis wertend Stellung nehme oder in der pragmatistischen, wonach jeder Praxis Werte und Normen inhärent sind, Werte und Normen außerhalb jeder Praxis ohne Bedeutung sind.“ Auch hier schließen sich die Blickwinkel miteinander gegenseitig aus, vielmehr erklärt sich erst aus der beidseitigen Betrachtung, was eine Handlung ausmacht: Eine Idee, eine Position, ein Ziel zu haben, die den Handlungsraum vorgeben. Und ein durch äußere

Umstände vorgegebener, pragmatischer Handlungsraum, der Motive bedingt und Ziele entstehen lässt.

Die Kognitionspsychologie gestattet einen Blick hinter diese Handlungsebene. Demnach ist für selbstorganisierende Systeme die Erfahrung von Selbstwirksamkeit (als Aspekt von *Agency*) die Voraussetzung intentionalen Handelns. Durch die Kopplung eines entwickelten lebenden Organismus mit der Welt entsteht eine „koordinative Struktur“ (Kelso, 2016), die über ungerichtete Impulse hinausgeht und dem Organismus die Wirkkraft der eigenen Handlung erkennbar macht. Durch die Unmittelbarkeit solcher Strukturen stellt sich die gesamte Lebensumwelt als ein Raum von Möglichkeiten dar, bestimmte Kopplungen einzugehen und – weiterhin mit Kelso (2016) – hierin wiederum ein komplementäres Regime aus gleichsam aus sich heraus gerichteten und sich selbstorganisierenden Prozessen zu erleben.

Auf der neurowissenschaftlichen Ebene lässt sich dieses Komplementaritätsprinzip weiter fortsetzen, und zwar im Hinblick auf logistische und inhaltliche kognitive Funktionen (Bao, Stosch, Park, & Pöppel, 2017). Wie zuvor angedeutet, entstehen koordinative Strukturen in einer raumzeitlichen Begrenzung, sodass die temporale Dimension eine wesentliche Rolle spielt. Die Herstellung einer solchen zeitlichen Plattform (Pöppel & Bao, 2014) dient als logistische Funktion für die Ermöglichung bewusster Aktivität, komplementär zu der die inhaltliche Funktion, das Handlungsmotiv, zum Tragen kommt, um eine Handlung erfolgen zu lassen. Ersteres wird hier als Identität bezeichnet und als Resultat einer logistischen Funktion begriffen – und damit selbstreferentiellen, sozialen oder kulturellen Kategorisierungen vorgelagert –, letzteres als Bedeutung: Ohne stabile Identität keine bedeutsamen Anker in der Welt, ohne diese Bedeutungsanker keine erkennbare Identität der Eindrücke. Inwiefern es auf neurowissenschaftlicher Ebene Grund zu dieser Annahme gibt und wie die vorgestellten Untersuchungen darauf eingehen, wird nachfolgend kurz skizziert.

Anschließend werden die hier vorliegenden Untersuchungen im gegebenen Zusammenhang vorgestellt.

2. Neurowissenschaftliche Grundlagen

Die bildgebenden Verfahren der Hirnforschung konnten kognitive Abläufe vieler Prozesse beleuchten, die sich auf alltagsbezogene Urteile beziehen (Pöppel et al., 2013; Park et al., 2014; Zaytseva et al., 2014; Fehse, Silveira, Elvers, & Blautzik, 2015). Wesentlich dabei ist, dass nur in der zeitlichen Perspektive eine bedeutungsvolle Information entstehen kann (Pöppel, 1994; 2009; Bao et al., 2015; Schirmer, Meck, & Penney, 2016). Im Sinne der zuvor dargestellten koordinativen Struktur ergibt sich die logistische Komponente durch die perzeptive und kognitive kurzfristige Stabilität der äußeren Ereignisse, mit denen eine Kopplung stattfindet. Eine gewisse temporale Beständigkeit – und sei es durch die Illusion von Kontinuität – ist Voraussetzung für die Wahrnehmung des Selbst (Bao et al., 2017). Jede individuelle Erfahrung der Interaktion mit der Welt trägt dann zu einer weiteren Koordinationsstrukturierung bei, welche mit der Zeit individuelle Handlungsmuster schafft. Die stabile Identität von Wahrnehmungen für mindestens zwei bis drei Sekunden konnte als wesentliche Verarbeitungsgrundlage für die inhaltlichen Komponenten herausgearbeitet werden (Pöppel, 2009; Pöppel, Bao, & Zhou, 2011; Pöppel & Bao, 2014).

Dieser Zeitraum korrespondiert mit der typischen Akquisitionsdauer eines vollständigen Hirnbildes der funktionellen Magnetresonanztomografie, was die Methode geeignet erscheinen lässt für die Untersuchung entsprechender Urteile. Die Bedeutungszuschreibung von Wahrnehmungen unterschiedlicher Identität lässt sich in diesem Rahmen mit ökologisch validen Stimuli durchführen und mit bestimmten Organisationsstrukturen im Hirn in Verbindung bringen. Nachfolgend werden einige zentrale Prozesse und Areale beschrieben, die für diese Abläufe wichtig sind.

2.1 Neuronale Korrelate der Integration kognitiver Funktionen

Funktionen zur Koordination kognitiver Vorgänge wurden in vielfältigen experimentellen Situationen nachgewiesen und im Kontext von Exekutivfunktionen oder *Higher-Order*-Repräsentationen zusammengeführt. Auf der Ebene inhaltlicher kognitiver Funktionen lassen sich *Higher-Order*-Repräsentationen als bewusste Abbildung emotionalen Erlebens betrachten (LeDoux & Brown, 2017). Auf kortikaler Ebene, dort, wo die – nach Le Doux & Brown als *autonoietisch* zu bezeichnenden – Erfahrungen konstruiert werden, ist im Wesentlichen der Präfrontalkortex benannt, der als ein zentraler Verarbeitungsort für die weiter oben beschriebenen Kopplungen verstanden werden kann. Unter dem Sammelbegriff *Appraisal* lässt sich die Verarbeitung vielfältiger Bewertungen, Nutzenkalküle oder Handlungsgrundlagen als Zusammenführung von wahrgenommenen Zuständen innerer Erregung und äußerer Einflüsse zur Ableitung von Zielen beschreiben. Laut Dixon, Thiruchselvam, Todd, & Christoff (2017) sind sensorische Vorgänge, handlungsbezogene Zielvorstellungen und emotionale Verarbeitung Eigenschaften, die von Mechanismen getrieben werden, welche innerhalb des *Appraisal*-Paradigmas taxonomiert und in ihrer Verarbeitung Teilbereichen des PFC zugeordnet werden können.

Das innere Abbild einer koordinativen Struktur, hier als *State Space* bezeichnet, wird auch dem Orbitofrontalkortex (OFC) zugeschrieben, der eine abstrakte Aufgabenrepräsentation speichert (Sharpe & Schoenbaum, 2016). Für das Zustandekommen von Kommunikationsvorgängen – als Kopplung zwischen zwei Organismen – wird eine Zustandsabbildung in ähnlicher Form vorgeschlagen (Stolk, Verhagen, & Toni, 2016): Hier verschiebt sich die frontale Aktivierung Richtung ventromedialem Präfrontalkortex (vmPFC), insbesondere zu Beginn des Kommunikationsvorgangs. Eine tonische Aktivierungserhöhung wurde bei Experimenten im rechtsseitigen Temporallappen festgestellt sowie gleichzeitig eine

verstärkte Aktivierung im Verlauf des Austauschs im posterioren Sulcus temporalis superior (pSTS). Im inter-individuellen Zusammenspiel wird dieses Muster als *Conceptual Alignment* bezeichnet. Bei wiederholten Kommunikationsvorgängen ist zunehmend Aktivität im rechtsseitigen posterioren Gyrus temporalis superior (pSTG) festzustellen.

Diese frontoparietalen Ko-Aktivierungsmuster fanden sich auch bei der Betrachtung symbolischer Artefakte: Besonders der dorsomediale Präfrontalkortex (dmPFC), aber auch weitere frontale Areale und die temporoparietale Kreuzung (TPJ) waren in einem Experiment, bei dem bedeutungsvolle Spielzeugmodelle konstruiert wurden, aktiv, wenn der Fokus nicht auf der technischen Konstruktion, sondern der dahinterliegenden Intention lag (Tylén, Philipsen, Roepstorff, & Fusaroli, 2016). Eine solche Aktivierung bei starkem Abstraktionsgrad (*High Construal*) hat sich als wichtiger Funktion-Struktur-Zusammenhang des dmPFC erwiesen, der sowohl in sozialen als auch nicht-sozialen Handlungen eine Rolle spielt (Baetens, Ma, & Van Overwalle, 2017).

Aus Sicht logistischer Funktionen ist zunächst die globale Konnektivität zu nennen: Der Wechsel zwischen reizunabhängigem Ruhezustandsnetzwerk (*Default Mode Network*; Raichle, 2015) und Aufmerksamkeitsnetzwerken (*Dorsal/Ventral Attention Network*; Fox, Corbetta, Snyder, Vincent, & Raichle, 2006) stellt eine grundsätzliche Modusveränderung dar, die auf variierende Einflüsse und Motive reagieren kann.

Solche veränderten Einflüsse werden in der Insula integriert, wo interne und externe Information zusammengebracht wird (Schirmer, Meck, & Penney, 2016). Eine Rolle bei der Überwachung von Zustandsinformationen und damit die Modulation einer Kontrollsignalidentität wird dem anterioren Cingulum (ACC) zugesprochen (Shenhav, Botvinick, & Cohen, 2013). So lässt sich etwa die Insula als generelle Entscheidungshilfe für Annäherungs- und Vermeidungsverhalten begreifen, während der Hippocampus sensorische Information generalisiert, was wiederum die Bedeutungszuschreibung beeinflusst (Howard, Gottfried, Tobler, & Kahnt, 2015).

Ein weiterer logistischer Aspekt, auch wenn in den vorgestellten Studien nicht von Relevanz, ist der Vorhersagefehler bei Belohnungserwartung (*Reward Prediction Error*), der im ventralen Striatum durch die Dopaminfreisetzung moduliert wird. Dieser kann als eine wesentliche logistische Funktion zur Handlungsmotivation und ihrer zeitlichen Steuerung angesehen werden (Takahashi, Langdon, Niv, & Schoenbaum, 2016).

Die vorliegenden Untersuchungen behandeln die beschriebenen Vorgänge aus einer Perspektive, die individuelles Erleben auszeichnet: Aus Sicht der Probanden geht es um Überzeugungen somatosensorischer, perzeptueller und emotional-kognitiver Natur. Oder aus Sicht von Lebensrealitäten betrachtet: Überzeugungen zu Schmerzwahrnehmung, Glaube, Moral, Konsum und Ästhetik sowie Sicherheitsempfinden.

2.2 Die vorliegende Arbeit

In den vorgestellten Experimenten geht es also um Urteile und Überzeugungen als Reaktion auf verschiedene Identitäten von äußeren Eindrücken. Das Zusammenspiel der kognitiven Funktionen, logistischen *Bottom-up*- und inhaltlichen *Top-down*-Prozessen, ist das Leitmotiv der hier vorgestellten Arbeiten.

Identität, also stabile Wahrnehmungsparameter über die Zeit, und Bedeutung, also intendierte Kopplung mit der Außenwelt, werden in dieser Arbeit als Phänomene generativer Komplementarität verstanden, die Sinnerleben gleichermaßen ermöglichen und gestalten. Die Experimente sind allesamt so angelegt, dass es zu keiner normativen Konfrontation kommt. Es gibt kein *richtig* oder *falsch* (jedenfalls kein normativ begründbares), keine Inzentivierung wie in der Verhaltensökonomik, keine

soziale Objektivierbarkeit. Insgesamt fünf Aufsätze zeigen auf, inwiefern diese Phänomene auf neuronaler Ebene ablaufen.

2.2.1 Placebo-modulierte Schmerzidentität: Bedeutungsgenerierung im dmPFC

Dieser Teil der Arbeit – publiziert als Fehse, Maikowski, Simmank, Gutyrchik, & Meissner (2015) – befasst sich mit der Placebowirkung von Zuschreibungen zu Wirkstoffen und Markennamen und geht der Frage nach, welchen zusätzlichen Effekt der Markenname über den vermeintlichen Wirkstoff eines Placebopräparats hinaus hat. Konkret wurden in einem 2-x-2-Design den 30 männlichen Probanden über eine Thermode schmerzhafte Hitzereize appliziert. Diese Prozedur erfolgte im Rahmen einer nativen und einer darauffolgenden interventionellen Bedingung (Faktor 1): Als Intervention wurde ein angebliches ASS-Präparat (Acetylsalicylsäure) zur Schmerzlinderung verabreicht. Dieses Placebo-Präparat war auf zweierlei Arten markiert (Faktor 2): Die Hälfte der Teilnehmer erhielt die Information, es handle sich um das weithin bekannte Original „Aspirin“, der anderen Hälfte wurde ein günstiges Generikum („1A Pharma“) vorgestellt. Sämtliche Probanden wurden auf Basis ihrer angegebenen regelmäßigen Einnahme von Aspirin ausgewählt.

Die Auswertung der behavioral abgefragten Schmerzeinschätzungen ergab eine signifikante Schmerzlinderung in der interventionellen Bedingung im Vergleich zur nativen, was auf einen Placebo-Effekt schließen lässt. Im Vergleich der Markierungen wurden bei der Hirnaktivierung bei Aspirin deutlich stärkere Aktivierungen im präfrontalen Kortex gemessen: Insbesondere im dorsomedialen PFC wurden bei der etablierten Marke stärkere Aktivierungen gemessen als bei dem eher unbekanntem und wenig umworbenen Generikum. Die Interpretation zielt darauf ab, dass eine Bedeutungszuschreibung stattfindet, die sich im *Appraisal*-Vorgang äußert, der nicht

nur die placebo-modulierte Anpassung des Schmerzreizes, sondern zusätzlich die Erwartungshaltung des Markenstimulus berücksichtigt.

2.3.2: Funktionelle Konnektivität im Ruhezustand: Bedeutung spiritueller Rituale

Diese Studie (Silveira et al., 2015) befasst sich mit dem bedeutungszuschreibenden Aspekt des Glaubens und wurde als Einzelfallstudie durchgeführt: Einem katholischen Bischof wurden dazu kurze Aussagen aus der Bibel, dem Koran und dem chinesischen Daodejing gezeigt und dazu seine Zustimmung abgefragt. Im zweiten Teil der Untersuchung wurde eine funktionelle Konnektivitätsmessung mittels *Resting-State*-Sequenzen durchgeführt und dabei eine Ruhemessung mit einer zweiten Episode verglichen, in der der Bischof wiederholt gedanklich das Vaterunser rezitierte.

Der untersuchte Einzelfall verkörpert die starke langfristige Kopplung mit der Identität einer der experimentellen Bedingungen: Die Verarbeitung der Bibel-bezogenen Stimuli unterlag generell schwächeren Aktivierungsmustern. Die Aktivierungszunahme von Koran und Daodejing im Vergleich zur Bibel konnte in verschiedenen *Region-of-Interest*-Analysen anhand der gemessenen Intensitätswerte aufgezeigt werden. Dies wird im Kontext der anstrengungslosen Verarbeitung diskutiert. Auch das zweite Experiment im Rahmen dieser Studie weist in eine ähnliche Richtung: Eine Unabhängigkeitsanalyse (*Independent Component Analysis*) hat wesentliche Komponenten des Ruhezustandsnetzwerks in der *Resting-State*-Bedingung nachgewiesen. Im Vergleich mit der anderen Bedingung, in der gedanklich das Gebet gesprochen wurde, fanden sich interessanterweise sehr ähnliche Komponenten und keine eindeutigen Unterschiede. Es wird daher diskutiert, inwiefern ein routinierter meditativer Ablauf so verinnerlicht sein kann, dass er keinen nennenswerten Unterschied zum Ruhezustand darstellt. Die Bedeutung wird hier also in Form einer –

vielleicht meditativen – Anstrengungslosigkeit aufgezeigt, die durch ihre Omnipräsenz kaum noch kognitiver Integration Bedarf.

2.3.3: Bausteine der Bedeutungserzeugung: Domänenübergreifende neuronale Urteilsbildung

Die Studie Simmank et al. (2020) vergleicht die Verarbeitung verschiedenartiger Überzeugungen, die sich auf die Beurteilung sprachlicher Statements beziehen, die nach moralischen und werbewirksamen Gesichtspunkten evaluiert werden sollten.

Das Kontrastieren der Statement-Kategorien mit drei Kontrollbedingungen – Fragen zu Allgemeinwissen, poetische Verse und eine bedeutungsfreie visuelle Kontrolle – soll die Ebenen der Bedeutungsverarbeitung sichtbar machen.

17 männlichen Teilnehmern wurden die Statements während der Messung zur Bewertung vorgestellt. Die neuronalen Korrelate der Urteile zeigten aufeinander aufbauende Komponenten: Verglichen mit der visuellen Kontrollbedingung wurden typische Areale der Sprachverarbeitung (Broca- und Wernicke-Areal) identifiziert, was sicherstellen konnte, dass in den aufbauenden Kontrasten keine ausschließlich semantischen Grundfunktionen dargestellt würden. Vielfältige Hypothesen zu den Zusammenhängen zwischen (linksseitiger) TPJ, dem Gyrus angularis und präfrontalen Subregionen werden diskutiert. Die Resultate geben Aufschluss über die neuronale Verankerung von Überzeugung von artifiziell konstruierten, aber langfristig gelernten Bedeutungszusammenhängen. Dabei konnte gezeigt werden, dass domänenübergreifende Prozesse eine wesentliche Rolle bei der Urteilsbildung spielen und auf gelernte Schemata zurückgegriffen wird.

2.3.4: Die Bedeutung ästhetischer Urteile: Ein orbitofrontaler Grundbaustein

Diese Studie (Wang et al., 2021) baut auf der vorgenannten (Simmank et al., 2020) auf und widmet sich vertieft dem Faktum, dass die ästhetische Bedingung als Grundbaustein für komplexere kognitive Urteile dient. Auf einer abstrakten Ebene wird auf die hierarchische Beziehung der Urteilskategorien eingegangen. Damit wird auf das generative Prinzip der Komplementarität in der kognitiven Verarbeitung verwiesen. Der stufenweise Aufbau von involvierten Arealen wird genauer beschrieben und in einer visuellen Darstellung erläutert.

2.3.5: Sicherheitsempfinden durch Selbstwirksamkeit: Das dorsale und das ventrale Aufmerksamkeitsnetzwerk

Diese Untersuchung (Tanida, Simmank, Silveira, & Paolini, 2021) hat insbesondere das Ansinnen verfolgt, einen existierenden theoretischen Rahmen zu operationalisieren, der ein hierarchisches Modell von operativen Erwartungsfenstern beim Autofahren beschreibt (Tanida & Pöppel, 2006). In diesem geht es darum, dass in unterschiedlichen temporalen Größenordnungen verschiedene Handlungsziele realisiert werden können und unvorhersehbare Zwischenfälle verarbeitet werden müssen.

Bedingt durch die zeitliche Auflösung der fMRT ist bei der vorliegenden Studie die Verarbeitung von Kontrollfunktionen im Zeitraum von etwa 3 Sekunden relevant – in besagtem Modell bezeichnet als antizipative Kontrollebene – auf der die operativen Schritte des Autofahrens (beschleunigen, verzögern, steuern) ausgeführt werden. Auch hier finden sich also die beschriebenen Funktionen wieder, anhand derer sich die Bedeutungszuschreibung ergibt: Neuronal ist auch für diese Verarbeitungen die Verbindung von Exekutivfunktionen und sensorischen Wahrnehmungen relevant.

29 Probanden haben im Rahmen dieser Studie an einer durch ein kurzes Video simulierten Autofahrt teilgenommen, bei der eine schlingende Episode dargestellt wurde. Die Probanden hatten daraufhin die Möglichkeit, einen Spurhalteassistenten zu aktivieren, der – in zwei nachfolgenden Feedback-Stadien – aber nicht immer wie erwartet reagierte. In einer weiteren Episode führte der aktivierte Assistent entweder zur Korrektur der Fahrt oder aber nicht.

In verschiedenen Kontrasten wurden deutliche Aktivierungsunterschiede bei den unerwarteten Rückmeldungen festgestellt, darunter einerseits die erhöhte Relevanz der anterioren Insula, wenn ein der Erwartung widersprechendes negatives Feedback verarbeitet werden musste. Andererseits wurden dann wesentliche Areale des frontoparietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks stärker genutzt. Zunächst auf dem ventralen Pfad und – in der zeitlich weiter versetzten Bedingung – zusätzlich auf dem dorsalen Pfad. Diese unerwarteten Feedbacksignale zeigten die Verarbeitung von Erwartungsverletzung gegenüber autonomen Agenten auf einer operativen Ebene.

Ein genaueres Verständnis davon, wie visuelle Aufmerksamkeit *top-down* gesteuert wird ist gerade im Kontext des Studienkontextes – Fahrassistenzsysteme und autonomes Fahren – ein Themengebiet, welches künftig immer wichtiger werden wird.

3. Veröffentlichte Arbeiten

3.1 Placebo responses to original vs generic ASA brands during exposure to noxious heat: A pilot fMRI study of neurofunctional correlates

Pain Medicine, 2015

<https://doi.org/10.1111/pme.12783>

Accepted: 04 April 2015

Published: 12 October 2015, 16(10), 1967-1974.

3.2 Does a bishop pray when he prays? And does his brain distinguish between different religions?

PsyCh Journal, 2015

<https://doi.org/10.1002/pchj.116>

Accepted: 17 September 2015

Published: 10 December 2015, 4(4), 199-207.

3.3 Morality in advertising: An fMRI study on persuasion in communication

PsyCh Journal, 2020

<https://doi.org/10.1002/pchj.358>

Accepted: 11 November 2019

Published: 20 October 2020, 9(5), 629-643.

3.4 Aesthetics as a common denominator for moral and commercial judgments

PsyCh Journal, 2021

<https://doi.org/10.1002/pchj.407>

Accepted: 10 October 2020

Published: 26 April 2021, *10*(2), 187-189.

3.5 Suddenly safe: Processing of conflicting feedback in assisted driving

PsyCh Journal, 2021

<https://doi.org/10.1002/pchj.427>

Accepted: 10 December 2020

Published: 01 June 2021, 10(3), 491-493.

4. Referenzen

- Baetens, K. L. M. R., Ma, N., & Van Overwalle, F. (2017). The dorsal medial prefrontal cortex is recruited by high construal of non-social stimuli. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *11*, 44, 1–12. <http://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00044>
- Bao, Y., Pöppel, E., Wang, L., Lin, X., Yang, T., Avram, M., et al. (2015). Synchronization as a biological, psychological and social mechanism to create common time: A theoretical frame and a single case study. *PsyCh Journal*, *4*(4), 243–254. <http://doi.org/10.1002/pchj.119>
- Bao, Y., von Stosch, A., Park, M., & Pöppel, E. (2017). Complementarity as generative principle: A thought pattern for aesthetic appreciations and cognitive appraisals in general. *Frontiers in Psychology*, *8*, 727, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00727>
- Dixon, M. L., Thiruchselvam, R., Todd, R., & Christoff, K. (2017). Emotion and the prefrontal cortex: An integrative review, *143*(10), 1033–1081. <http://doi.org/10.1037/bul0000096>
- Fehse, K., Maikowski, L., Simmank, F., Gutyrchik, E., & Meissner, K. (2015). Placebo responses to original vs generic ASA brands during exposure to noxious heat: A pilot fMRI study of neurofunctional correlates. *Pain Medicine*, *16*(10), 1967–1974. <https://doi.org/10.1111/pme.12783>
- Fehse, K., Silveira, S., Elvers, K., & Blautzik, J. (2015). Compassion, guilt and innocence: An fMRI study of responses to victims who are responsible for their fate. *Social Neuroscience*, *10*(3), 243–252. <http://doi.org/10.1080/17470919.2014.980587>
- Fox, M. D., Corbetta, M., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., & Raichle, M. E. (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention

- systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(26), 10046–10051. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604187103>
- Howard, J. D., Gottfried, J. A., Tobler, P. N., & Kahnt, T. (2015). Identity-specific coding of future rewards in the human orbitofrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(16), 5195–5200. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503550112>
- Kelso, J. A. S. (2016). On the self-organizing origins of agency. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(11), 490–499. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2016.04.004>
- Kluckhohn, C. E., Murray, H. A., & Schneider, D. M. (Eds.). (1953). *Personality in Nature, Society, and Culture*. New York: Knopf.
- LeDoux, J. E., & Brown, R. (2017). A higher-order theory of emotional consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(10), E2016–E2025. <http://doi.org/10.1073/pnas.1619316114>
- Nida-Rümelin, J. (2016). *Humanistische Reflexionen*. Berlin: Suhrkamp.
- Park, M., Gutyrchik, E., Bao, Y., Zaytseva, Y., Carl, P., Welker, L., et al. (2014). Differences between musicians and non-musicians in neuro-affective processing of sadness and fear expressed in music. *Neuroscience Letters*, 566, 120–124. <http://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.02.041>
- Pöppel, E. (1994). Temporal mechanisms in perception. *International Review of Neurobiology*, 37(4), 185–202. [http://doi.org/10.1016/S0074-7742\(08\)60246-9](http://doi.org/10.1016/S0074-7742(08)60246-9)
- Pöppel, E. (2009). Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1887–1896. <http://doi.org/10.1098/rstb.2009.0015>
- Pöppel, E., Avram, M., Bao, Y., Graupmann, V., Gutyrchik, E., Lutz, A., et al. (2013). Sensory processing of art as a unique window into cognitive mechanisms: evidence from behavioral experiments and fMRI studies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 86, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.517>

- Pöppel, E., & Bao, Y. (2014). Temporal windows as a bridge from objective to subjective time. *Subjective Time: The Philosophy, Psychology, and Neuroscience of Temporality*, 241–261. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8516.003.0020>
- Pöppel, E., Bao, Y., & Zhou, B. (2011). “Temporal windows” as logistical basis for cognitive processing. *Advances in Psychological Science*, 19(6), 775–793.
- Raichle, M. E. (2015). The brain's default mode network. *Annual Review of Neuroscience*, 38(1), 433–447. <http://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014030>
- Schirmer, A., Meck, W. H., & Penney, T. B. (2016). The socio-temporal brain: Connecting people in time. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(10), 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2016.08.002>
- Sharpe, M. J., & Schoenbaum, G. (2016). Back to basics: Making predictions in the orbitofrontal–amygdala circuit. *Neurobiology of Learning and Memory*, 131, 201–206. <http://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.04.009>
- Shenhav, A., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2013). The expected value of control: An integrative theory of anterior cingulate cortex function. *Neuron*, 79(2), 217–240. <http://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.07.007>
- Silveira, S., Bao, Y., Wang, L., Pöppel, E., Avram, M., Simmank, F., et al. (2015). Does a bishop pray when he prays? And does his brain distinguish between different religions? *PsyCh Journal*, 4(4), 199–207. <https://doi.org/10.1002/pchj.116>
- Simmank, F., Avram, M., Fehse, K., Sander, T., Zaytseva, Y., Paolini, M., et al. (2020). Morality in advertising: An fMRI study on persuasion in communication. *PsyCh Journal*, 9(5), 629–643. <https://doi.org/10.1002/pchj.358>
- Stolk, A., Verhagen, L., & Toni, I. (2016). Conceptual alignment: How brains achieve mutual understanding. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(3), 180–191. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2015.11.007>

- Takahashi, Y. K., Langdon, A. J., Niv, Y., & Schoenbaum, G. (2016). Temporal specificity of reward prediction errors signaled by putative dopamine neurons in rat VTA depends on ventral striatum. *Neuron*, *91*(1), 182–193.
<http://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.05.015>
- Tanida, K., & Pöppel, E. (2006). A hierarchical model of operational anticipation windows in driving an automobile. *Cognitive Processing*, *7*(4), 275–287.
<http://doi.org/10.1007/s10339-006-0152-9>
- Tanida, K., Simmank, F., Paolini, M., & Silveira, S. (2021). Suddenly safe: Processing of conflicting feedback in assisted driving. *PsyCh Journal*, *10*(3), 491-493.
<http://doi.org/10.1002/pchj.427>
- Tylén, K., Philipsen, J. S., Roepstorff, A., & Fusaroli, R. (2016). Trails of meaning construction: Symbolic artifacts engage the social brain. *NeuroImage*, *134*, 105–112. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.03.056>
- Wang, X., Simmank, F., Zhang, D., Zeng, Y., Silveira, S., Sander, T., et al. (2021). Aesthetics as a common denominator for moral and commercial judgments. *PsyCh Journal*, *10*(2), 187-189. <http://doi.org/10.1002/pchj.407>
- Zaytseva, Y., Gutyrchik, E., Bao, Y., Pöppel, E., Han, S., Northoff, G., et al. (2014). Self processing in the brain: A paradigmatic fMRI case study with a professional singer. *Brain and Cognition*, *87*, 104–108.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.03.012>

5. Danksagung

Mein Interesse galt seit jeher der Schnittstelle von Forschung und Anwendung, den verschiedenen Blickwinkeln und der Hinterfragung von Wissensgebieten. Nach einem abwechslungsreichen Weg durch verschiedene Gebiete der neurowissenschaftlichen Forschung danke ich Prof. Ernst Pöppel für die Schaffung des Raumes, in dem dieses Unterfangen möglich wurde, bezeichnenderweise ein Keller. Kaum sonstwo hätte sich die experimentelle Forschung mit Ausflügen in Redaktionsstuben, Marketingabteilungen und Konzernleitungen derart verbinden lassen. Vorbildhaft in dieser Vermittlung zwischen den Welten war Dr. Kai Fehse. Für die methodischen Aspekte und den Mut, komplexe Dinge umzusetzen, Dr. Evgeny Gutyrchik.

Für hilfreichen Austausch, ein stets offenes Ohr und die Entwicklung von Perspektiven danke ich Dr. Michael Öllinger und Dr. Maria Reinisch.

Neben Dr. Janusch Blautzik und Dr. Marco Paolini als Partner in der klinischen Radiologie gehören auch die „Keller-Kollegen“ und alle Ko-Autoren dazu. Auf dem Weg zur Veröffentlichung der Forschungsergebnisse habe ich die Unterstützung von Prof. Yan Bao schätzen gelernt.

6. Eidesstattliche Versicherung



Eidesstattliche Versicherung

Simmank, Fabian

.....

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

*Neuronale Korrelate komplementärer kognitiver Funktionen
alltäglicher Wahrnehmungs- und Beurteilungsprozesse*

.....

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Starnberg, 01.06.2022

Fabian Simmank

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand