



“Essays on the Application of mfNIRS for Marketing Research“

Kumulative Inauguraldissertation zur Erlangung der Doktorwürde

Doctor rerum politicarum (Dr. rer. pol.)

an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Vorgelegt

von

Caspar Krampe, M.Sc., M.Sc.

Düsseldorf, im Januar 2020

“How do we justify [science], as it were, that science would give us the truth? It works! Planes fly, cars drive, computers compute. If you base medicine on science, you cure people; if you base the design of planes on science, they fly; if you base the design of rockets on science, they reach the moon. *It works ... bitches.*”

Richard Dawkins

*Für
Anne, Henry
und Rosi*

I. Inhaltsverzeichnis

I. Inhaltsverzeichnis	IV
II. Abkürzungsverzeichnis	VII
III. Abbildungsverzeichnis	X
IV. Tabellenverzeichnis	XI
V. Zusammenfassung	XII
1. Einleitung	1
1.1 Zur Relevanz der methodischen Weiterentwicklung der „Consumer Neuroscience“.....	1
1.2 Gang der Arbeit	6
2. Begriffsdefinition, Anwendungsbereiche und Herausforderungen der Consumer Neuroscience	8
2.1 Begriffsdefinition der Consumer Neuroscience	8
2.2 Anwendungsbereiche der Consumer Neuroscience.....	11
2.3 Bestehende Herausforderung der Consumer Neuroscience	14
3. Neurowissenschaftliche Methoden zur methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience	25
3.1 Bestehende neurale bildgebende Verfahren der Consumer Neuroscience	26
3.2 Die mobile funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (mfNIRS)	28
3.3.1 Die Funktionsweise der mfNIRS.....	29
3.3.2 Technische Parameter der mfNIRS.....	30
3.3.3 Vorteile und Nachteile der mfNIRS.....	31
3.3 Die Rolle des präfrontalen Kortex in der Consumer Neuroscience.....	35
4. Systematische Einordnung der Beiträge zur Bearbeitung der Forschungslücke	38
Beitrag 1: „Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): A new Tool for Consumer Research?“	39
Beitrag 2: „Leaving the Lab: Can Mobile fNIRS Enhance Consumer Research“	40
Beitrag 3: „Mobile fNIRS a New Tool for Decision Neuroscience“	41

Beitrag 4: „The Application of Mobile fNIRS to “Shopper Neuroscience” – First Insights from a Merchandising Communication Study”	41
Beitrag 5: „The Application of Mobile fNIRS in Marketing Research – Detecting the ‘First-Choice-Brand’ Effect“	42
Beitrag 6: „Beyond Traditional Neuroimaging: Can mobile fNIRS Add to NeuroIS“	42
Beitrag 7: „The Application of Mobile functional Near-Infrared Spectroscopy for Information Systems Research“	43
Beitrag 8: „Utilizing Mobil fNIRS to Investigate Neural Correlated of the TAM in eCommerce“	43
5. Ausgewählte Beiträge zur Beantwortung der Forschungsfrage	47
5.1 Beitrag 1: Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): A new Tool for Consumer Research?	47
5.1.1 Short Abstract.....	47
5.1.2 Extended Abstract.....	47
5.2 Beitrag 2: Leaving the Lab: Can Mobile fNIRS Enhance Consumer Research?.....	51
5.2.1 Abstract.....	51
5.2.2 How Neuroscientific Tools Enrich the Understanding of Consumer Behaviour	51
5.2.3 Task and Procedure.....	52
5.2.4 Preliminary Results.....	53
5.2.5 Mobile fNIRS as a Promising Tool for Consumer (Neuroscience) Research.....	53
5.3 Beitrag 3: Mobile fNIRS a new Tool for Decision Neuroscience?	55
5.3.1 Extended Abstract.....	55
5.4 Beitrag 4: The Application of mobile fNIRS to “Shopper Neuroscience” – First Insights from a Merchandising Communication Study	57
5.4.1 Abstract.....	57
5.4.2 Introduction.....	58
5.4.3 Conceptual Background.....	60
5.4.4 Method and Results	62
5.4.5 Study 1	64
5.4.6 Study 2	65
5.4.7 Functional Connectivity.....	67
5.4.8 Discussion and Implications.....	68
5.4.9 Conclusion and Future Research	73
5.5 Beitrag 5: The Application of Mobile fNIRS in Marketing Research – Detecting the “ <i>First-Choice-Brand</i> ” Effect	75
5.5.1 Abstract.....	75
5.5.2 Introduction.....	76
5.5.3 Proof of Concept – the mobile fNIRS Validation Approach.....	77
5.5.4 Theoretical Background – “the <i>First-Choice-Brand</i> ” Effect.....	79
5.5.5 Method.....	80
5.5.6 Data collection, (Pre-)Processing and Results.....	83
5.5.7 Mobile fNIRS – a Validated Neuroimaging Method?.....	86
5.5.8 Mobile fNIRS – a Short Guideline for Marketing Research.....	87
5.5.9 Conclusion	93
5.5.10 Supplementary material.....	93

5.6 Beitrag 6: Beyond Traditional Neuroimaging: Can Mobile fNIRS Add to NeuroIS?	94
5.6.1 Abstract.....	94
5.6.2 Neuroimaging Tools in NeuroIS – Potentialities and Obstacles	95
5.6.3 Functional Near-Infrared Spectroscopy—Functionality and Application	96
5.6.4 Application of Mobile fNIRS to NeuroIS	100
5.7 Beitrag 7: The Application of mobile functional Near-Infrared Spectroscopy for Information Systems	102
5.7.1 Abstract.....	102
5.7.2 Introduction	103
5.7.3 Overview of the Current Neuroimaging Methods.....	104
5.7.4 Mobile functional Near-Infrared Spectroscopy (mfNIRS)	105
5.7.5 Methodological Issues Related to mobile fNIRS.....	110
5.7.6 Mobile fNIRS Application Examples for IS Research.....	121
5.7.7 Conclusion	124
5.8 Beitrag 8: Utilizing Mobile fNIRS to Investigate the TAM in eCommerce	125
5.8.1 Abstract.....	125
5.8.2 Introduction	126
5.8.3 Neural Foundations.....	127
5.8.4 Hypotheses Development.....	128
5.8.5 Study 1: Survey to Select Shopping Websites.....	129
5.8.6 Study 2: Mobile fNIRS Experiment.....	131
5.8.7 Discussion and Limitations	134
5.8.8 Theoretical and Practical Implications.....	136
6. Zusammenfassung, wissenschaftliche und praktische Implikationen und ethische Reflexion	138
6.1 Zusammenfassung des Erkenntnisbeitrags.....	138
6.2 Handlungsimplicationen und Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf	140
6.2.1 Handlungsimplicationen für die Wissenschaft	140
6.2.2 Handlungsimplicationen für die Praxis.....	146
6.3 Ethische Reflexion zur methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience..	151
7. Schlussbemerkung	158
VI. Literaturverzeichnis	159
VII. Anhang	180

II. Abkürzungsverzeichnis

ACR	Association for Consumer Research
ANOVA	Analysis of Variances (Varianzanalyse)
BA	Brodmann Area (Brodmann-Areale)
BCI	Brain-Computer-Interface
BOLD	Blood Oxygenation Level Dependent
bzw.	Beziehungsweise
β	Beta
CA	Conversational Agents
cm	Zentimeter (centimetre)
CW	Kontinuierliches Wellenlängenverfahren (Continuous Wave)
D	Diverse (Brand)
DD	Diverse-Diverse (Brand)
Deoxy-Hb	Sauerstoffungesättigtes Hämoglobin (deoxygenated haemoglobin)
d. h.	Das heißt
dIPFC	dorsolateraler, präfrontaler Kortex (dorsolateral prefrontal cortex)
dmPFC	dorsomedialer, präfrontaler Kortex (dorsolateral prefrontal cortex)
<i>df</i>	Degrees of Freedom
DPT	Differential Path Length Factor
EEG	Elektroenzephalografie (electroencephalography)
e.g.	Exempli gratia
et al.	Et alii
ERP	Enterprise Resource Planning
FCB	First-Choice-Brand

FD	Frequenzbereichsverfahren (Frequency-Domain)
fMRI	functional Magnetic Resonance Imaging
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
fNIRS	funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (functional Near-Infrared Spectroscopy)
GLM	General Linear Model
GUI	Graphical User Interface
HCI	Human-Computer-Interaction
H_i	Hypothesen
ICT	Information and Communication Technologies
i.e.	Id est
IS	Informational Systems
M	Arithmetisches Mittel (arithmetic mean)
MEG	Magnetoenzephalographie (magnetoencephalography)
mfNIRS	mobile, funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (mobile functional near-infrared spectroscopy)
MNI	Montreal Neurological Institute
ms	Millisekunden (milliseconds)
N	Teilnehmeranzahl (number of subjects)
NeuroIS	Neuro Informational Systems
Non-TBG	Non-target brand group (diverse brand group)
OFC	Orbifrontaler Kortex (orbitofrontal cortex)
Oxy-Hb	Sauerstoffgesättigtes Hämoglobin (oxygenated haemoglobin)
p	P-Wert (p-Value)
PFC	Präfrontaler Kortex (prefrontal cortex)
PoS	Verkaufsort (Point-of-Sale)
r	Korrelationskoeffizient (correlation coefficient)

R^2	Bestimmtheitsmaß (coefficient of determination)
ROI	Region of Interest (Region von Interesse)
SD	Standardabweichung (standard deviation)
sek. / sec.	Sekunden (seconds)
t	T-Wert (t-value)
T	Target (Brand)
TBG	Target Brand Group
TD	Zeitbereichsverfahren (Time-Domain)
TD	Target-Diverse (Brand)
TMS	Transkranielle Magnetstimulation (Transcranial magnetic stimulation)
vgl.	vergleiche
VHB	Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft
u. a.	unter anderem
vmPFC	Ventromedialer, präfrontaler Kortex (ventromedial prefrontal cortex)
WTP	Willingness-To-Pay
z. B.	zum Beispiel

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Gang der Untersuchung	6
Abbildung 2. Prozessuale Darstellung der Consumer Neuroscience.....	10
Abbildung 3. Strukturelle Darstellung des menschlichen präfrontalen Kortex.....	36
Abbildung 4. Darstellung der systematischen Einordnung der Beiträge	39
Abbildung 5. Experimental design and research results of Study 1	65
Abbildung 6. Experimental design of Study 2	66
Abbildung 7. PFC activation maps for every merchandising communication strategy	69
Abbildung 8. Functional connectivity.....	70
Abbildung 9. Experimental design	83
Abbildung 10. The topographical layout.....	84
Abbildung 11. Bilateral dIPFC decreased neural activity when participants who rated the target brand first are confronted with a TD decision.	85
Abbildung 12. Systematic representation of the neuroscientific tools applied in consumer neuroscience and related research fields	89
Abbildung 13. Measurement sites of mfNIRS	90
Abbildung 14. Schematic representation of mobile fNIRS methodology	97
Abbildung 15. Significant activation pattern contrasting the two groups TB versus non-TB during target-brand decisions at $p < 0.01$ (left) and $p < 0.001$ (right).	99
Abbildung 16. mfNIRS functionalities	106
Abbildung 17. Example of a generated standard brain image.....	117
Abbildung 18. Systematic display of the data analysis process	118
Abbildung 19. mfNIRS verification of application schema.....	120
Abbildung 20. Contrasts of the neural activity differences between websites	134

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Darstellung der Eigenschaften, Vor- und Nachteile, sowie die Fragestellung der mobilen Einsatzfähigkeit von existierenden bildgebenden Verfahren	27
Tabelle 2. Systematische Einordnung der Beiträge eins bis acht	44
Tabelle 3. Applied neuroimaging methods in the field of NeuroIS.....	105

V. Zusammenfassung

In der vorliegenden kumulativen Inauguraldissertation wird die systematische, methodische Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience mittels der mobilen, funktionellen Nahinfrarotspektroskopie (mfNIRS) anhand verschiedener empirischer sowie theoretischer Beiträge herausgearbeitet.

Aufbauend auf den in dieser Arbeit dargestellten wissenschaftlichen Beiträgen wird somit das übergeordnete Ziel verfolgt, **die systematische Darstellung des Potentials der innovativen, mobil einsatzfähigen funktionellen Nahinfrarotspektroskopie als neurowissenschaftliches bildgebendes Verfahren der Consumer Neuroscience zur Erhöhung der „ökologischen Validität“**, darzustellen.

Der übergeordneten Fragestellung folgend, werden zunächst relevante begriffliche Grundlagen, welche zur Beantwortung der Zielstellung bedeutsam sind, geschaffen. Im Anschluss wird anhand bestehender Herausforderungen der Consumer Neuroscience, die Forschungslücke der „*limitierten ökologischen Validität*“ bildgebender neurowissenschaftlicher Verfahren herausgearbeitet. Aufbauend auf den zuvor dargestellten neurowissenschaftlichen und methodischen Grundkenntnissen wird die dargestellte Forschungslücke im Nachgang systematisch, durch die dieser Arbeit zugrundeliegenden Beiträge, geschlossen.

Konkret weisen die acht Beiträge darauf hin, dass das innovative, neurale, bildgebende Verfahren der mfNIRS eine valide Messmethode in diversen Forschungsbereichen des Marketings darstellt, welches die *ökologische Validität* – ergänzend zu bestehenden Marketingmethoden – erhöhen kann. Zudem wird der generelle Nutzen der methodischen Erweiterung der Consumer Neuroscience für das Marketing, die Marketingforschung, die Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung sowie verwandter Disziplinen diskutiert und wissenschaftliche, praktisch-normative sowie ethisch-normative Implikationen präsentiert.

1. Einleitung

1.1 Zur Relevanz der methodischen Weiterentwicklung der „Consumer Neuroscience“

Das übergeordnete Ziel der Betriebswirtschaftslehre¹ besteht darin, die Effizienz in der Produktion zu erhöhen (Wöhe und Döring, 2010, S. 8). Wie gut dies gelingt manifestiert sich unter anderem in der Ausprägung der folgenden betriebswirtschaftlichen Kennzahlen – Umsatz, Gewinn, Rendite – welche für die Erfolgsmessung der strategischen Unternehmensziele² maßgeblich sind (Hutzschenreuter, 2015, S. 52).

Zur Erreichung der strategischen Unternehmensziele scheint ferner eine Kenntnis der für den absatzwirtschaftlichen Erfolg wesentlichen Kundenbedürfnisse³ entscheidend zu sein (Meffert, 1974, S. 8). Um weitere Erkenntnisse über die Kundenbedürfnisse zu erlangen und somit das Käufer-/Konsumentenverhalten besser beschreiben, erklären und im Sinne der unternehmerischen Zielstellung gestalten zu können, hat sich mit der Käufer/Konsumentenverhaltensforschung ein weiteres eigenständiges interdisziplinäres und fruchtbares Feld der Marketingforschung⁴ entwickelt (Kroeber-Riel und Gröppel-Klein, 2019, S. 4 ff.).

Die Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung ist dabei – fast schon traditionell – durch die Entwicklungen von sogenannten Nachbardisziplinen, immer wieder und zum Teil maßgeblich, beeinflusst worden (Kroeber-Riel, 1979; Zaltman, 2000, Gröppel-Klein, 2005). Eine Nachbardisziplin, die in den letzten 20 Jahren einen starken Einfluss auf die Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung genommen hat, ist die

¹ Die Betriebswirtschaftslehre – als anwendungsorientierte Wissenschaft – zielt darauf ab, Entscheidungsprozesse in einem Betrieb/Unternehmen im marktwirtschaftlichen Wettbewerb zu untersuchen. Ziel der Betriebswirtschaftslehre ist es somit, Entscheidungsprozesse in Unternehmen zu beschreiben, zu erklären und zu unterstützen (Wöhe & Döring, 2010, S. 27).

² Unternehmen werden gegründet, um Ziele zu erreichen (Hutzschenreuter, 2015, S. 52). Die mit der Gründung eines Unternehmen verbundenen strategischen Unternehmensziele repräsentieren somit einen vom Unternehmen oder Betrieb angestrebten Soll-Zustand.

³ Kundenbedürfnisse bilden die Grundlage für die Kundenorientierung eines Betriebes oder Unternehmens und nehmen somit eine wesentliche Rolle im Marketing bzw. der Marketingforschung ein (Meffert, 1974, S. 8).

⁴ Die Marketingforschung umfasst die Gewinnung, Auswertung und Interpretation von Informationen über gegenwärtige und zukünftige Marketingsituationen und Entscheidungen eines Unternehmens (Meffert et al., 1980, 1992, 2019).

Neurowissenschaft⁵ bzw. die Neuropsychologie (Camerer, Loewenstein und Prelec, 2005; Kenning, Plassmann und Ahlert, 2007, Kenning, 2014).

Das daraus resultierende Forschungsfeld der *Consumer Neuroscience* (Kenning und Plassmann, 2005; Kenning und Plassmann, 2008; Plassmann, Venkatraman, Huettel und Yoon, 2015; Shiv et al., 2005) – im betriebswirtschaftlichen Kontext irrtümlicherweise oft auch *Neuromarketing*⁶ genannt (Hubert & Kenning, 2008) – ist dabei in besonderer Weise durch den Einsatz neurowissenschaftlicher, bildgebender Verfahren gekennzeichnet.

Die in diesem Zusammenhang bedeutsame funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) (Kenning, Plassmann und Ahlert, 2007) hat jedoch einige Schwächen, wenn es zur Anwendung in der Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung kommt, die eine Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience an einigen Stellen erschwert. Eine in der Literatur oftmals zitierte wesentliche Schwäche ist die mit der fMRT verbundenen Immobilität (Spence & Piqueras-Fiszman, 2014; Spence, 2016), welche die Untersuchung einer marketingrelevanten Entität⁷ innerhalb eines realistischen Umfelds z. B. am Point-of-Sale (PoS)⁸ unmöglich macht (Spiers und Maguire, 2007).

Das hier angesprochene *Mobilitätsproblem*⁹ ließe sich gegebenenfalls dadurch lösen, dass mobile fMRT-Geräte entwickelt würden. Jedoch sind in naher Zukunft entsprechende technologische Weiterentwicklungen der mobilen fMRT nicht erkennbar. Dies insbesondere deswegen, weil eine fMRT-Messung – zum Schutz vor

⁵ Als Neurowissenschaften werden die naturwissenschaftlichen, biologischen Forschungsbereiche bezeichnet, in denen der Aufbau und die Funktionsweise von Nervensystemen untersucht werden. Durch die vielfältige Anwendung neurowissenschaftlicher Methoden wird neurowissenschaftliche Forschung in vielen verschiedenen Forschungsbereichen, wie beispielsweise der Psychologie oder der Betriebswirtschaftslehre, betrieben (Kenning, 2014).

⁶ In der Praxis wird oftmals der Begriff „*Neuromarketing*“ verwendet (Hubert & Kenning, 2008). Hierbei handelt es sich jedoch laut Kenning (2014) um einen *Misnomer*, denn Marketing, definiert nach Meffert & Bruhn (1979), wird üblicherweise als das Konzept der marktorientierten Unternehmensführung beschrieben. Dieser Definition folgend, würde „*Neuromarketing*“ also die marktorientierte Unternehmensführung von Neuronen bedeuten (Kenning, 2014); eine Sichtweise, die nur bedingt sinnvoll erscheint.

⁷ Als marketingrelevante Entitäten werden im Folgenden alle Prozesse, Sachverhalte und Ergebnisse bezeichnet, welche im Sinne der marktorientierten Unternehmensführung einen Einflussfaktor darstellen.

⁸ Der Point-of-Sale nimmt eine wichtige Position innerhalb des Marketings ein und bedeutet so viel wie Verkaufsort.

⁹ Das Mobilitätsproblem beschreibt die Tatsache, dass die meisten neurowissenschaftlichen, bildgebenden Verfahren lediglich stationär einsetzbar sind. Demzufolge ist ein *realitätsnaher* Einsatz der hier angesprochenen stationären neurowissenschaftlichen Methoden nicht möglich.

dem für die Messung benötigten, starken magnetischen Feld – in einem faradayschen Käfig zur Abgrenzung von ferromagnetischen Objekten¹⁰ und weiteren für den Probanden potenziell gefährlichen Störeinflüssen, durchgeführt werden muss. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob eventuell andere neurowissenschaftliche bildgebende Verfahren der Consumer Neuroscience – gegebenenfalls komplementär zur fMRT – geeignet sind, das Mobilitätsproblem aufzulösen und somit die *ökologische Validität*¹¹ zu erhöhen.

Im Hinblick darauf verspricht der Einsatz des bildgebenden Verfahrens der Elektroenzephalografie (EEG)¹² (Cooper, Osselton und Shaw, 2014; Kenning, 2014) einen Ansatz, um das Mobilitätsproblem zu lösen. Hierbei zeichnet sich die EEG durch eine sehr gute zeitliche Auflösung sowie moderate Betriebskosten aus (Cooper, Osselton und Shaw, 2014). Dennoch scheint die EEG bei mobilen Messungen an ihre Grenzen zu stoßen. Dies deswegen, weil das mobile, neurale Verfahren der EEG sehr stark durch Bewegungsartefakte (z. B. Augenblinzeln oder abrupte Kopfbewegungen) beeinflusst wird (O'Regan, Faul und Marnane, 2013). Ein weiteres bildgebendes Verfahren, welches das Mobilitätsproblem auflösen könnte, stellt die *mobile* Magnetoenzephalographie (MEG)¹³ dar. Da sich die Entwicklung der mobilen MEG jedoch erst am Anfang befindet (Boto et al., 2018), scheidet ein mobiler, kosten-nutzen orientierter Einsatz der MEG im Forschungsbereich der Consumer Neuroscience zum jetzigen Zeitpunkt ebenfalls aus.

Demzufolge bleibt zu prüfen, ob es gegebenenfalls im Hinblick auf das Mobilitätsproblem und die damit verbundene ökologisch valide Messung einer Entität weitere bildgebende Verfahren gibt, welche im Bereich der Consumer Neuroscience erfolgsversprechend sind.

¹⁰ Das Einbringen von ferromagnetischen (eisenhaltige) Objekten in den fMRT-Magentraum ist strengstens verboten, insbesondere deswegen, da ferromagnetische Objekte durch das Magnetfeld auf Geschwindigkeiten einer Pistolenkugel beschleunigt werden können und somit zu schweren Verletzungen (bis hin zum Tod) führen können (Schneider & Fink, 2013).

¹¹ Gemeint ist in diesem Zusammenhang die realitätsnahe Messung einer marketingrelevanten Entität.

¹² Die Elektroenzephalografie (EEG) ermöglicht die Messung der summierten elektrischen Aktivität des Gehirns durch die Aufzeichnung der Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche (z. B. Telpaz et al., 2015).

¹³ Die Magnetoenzephalographie (MEG), ist eine sensorische Messung der magnetischen Aktivität des Gehirns. Dabei werden die Magnetfelder durch supraleitende Spulen oder Spulensysteme erfasst und dann durch Sensoren an der Kopfoberfläche gemessen (z. B. Harris, Ciorciari & Gountas, 2018).

Tatsächlich weisen erste wissenschaftliche Arbeiten (z. B. Kopton und Kenning, 2014; Gefen, Ayaz und Onaral, 2014, Scholkmann et al., 2014; Quaresima und Ferrari, 2016) darauf hin, dass mittels der mobil einsetzbaren funktionellen Nahinfrarotspektroskopie (mfNIRS) das methodisch bedingte Mobilitätsproblem potenziell gelöst werden könnte und somit die ökologische Validität einer zu bemessenden, marketingrelevanten Entität erhöht werden kann. Auch wenn die mfNIRS Potenzial im Bereich der Consumer Neuroscience verspricht, sollte es dennoch deutlich sein, dass es bis heute noch **keine systematische Untersuchung** über das absatzwirtschaftliche und wissenschaftliche Potenzial der mfNIRS für das Marketing, die Marketingforschung sowie die Käufer/Konsumentenverhaltensforschung gibt. Vor diesem Hintergrund soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu leisten:

Systematisch zu untersuchen, ob das **mobil einsetzbare Verfahren der mfNIRS** eine valide bildgebende Methode für das Marketing ist und somit zur **methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience** beitragen kann.

Aufbauend auf primären Untersuchungen (z. B. Kopton und Kenning, 2014; Gefen et al., 2014) wird konkret zunächst die Frage beantwortet, ob die stationäre funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) ein valides Instrument für die Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung darstellt. Im Anschluss daran wird untersucht, ob dies auch für die mobil einsetzbare mfNIRS gilt. Dem folgend, wird die mfNIRS im spezifischen Kontext der Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung angewendet und das Käuferverhalten am PoS untersucht. In diesem Zusammenhang wird auch ein spezifisches Forschungsfeld der Consumer Neuroscience, namentlich die *Shopper Neuroscience*¹⁴ (Krampe, Strelow, Haas und Kenning, 2018), tangiert. Als drittes spezifisches Anwendungsfeld wird dann der, in der Marketingforschung seit den 2000er Jahren prägende Bereich, der Markenführung (Esch, 2014, S. 4 ff.) angesprochen. Schließlich wird die mfNIRS in den Kontext des digitalen Marketings transferiert und ihr Potenzial zur Erklärung des Käuferverhaltens im elektronischen Handel untersucht. Da der hier angesprochene Bereich des digitalen Marketings maßgeblich durch die technologische Weiterentwicklung im Bereich der

¹⁴ Die *Shopper Neuroscience* als Teilbereich der Consumer Neuroscience, umfasst die Erforschung von dynamischen, emotionalen wie auch kognitiven Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozessen in der Einkaufsstätte (Krampe et al., 2018).

Wirtschaftsinformatik – präziser der Informationssystemforschung (IS) – beeinflusst wird, wird in diesem Zusammenhang auch das spezifische Forschungsfeld *NeuroIS*¹⁵ (Riedl, Banker, Benbasat et al., 2010) angesprochen.

Der übergeordneten Fragestellung folgend, das Forschungsfeld der *Consumer Neuroscience* methodisch weiterzuentwickeln, adressiert die vorliegende Arbeit somit die Fragestellung, ob die innovative, mobile einsatzfähige neurowissenschaftliche Methodik der mfNIRS, absatzwirtschaftlich relevantes und nicht direkt beobachtbares Verhalten auf neuraler Ebene valide messen kann. Darüber hinaus sollen auf Basis der gewonnen Erkenntnisse praktisch-normative und ethisch-normative Implikationen sowie zukünftige Forschungsfragen der *Consumer Neuroscience* herausgearbeitet werden.

¹⁵ Das Forschungsfeld *NeuroIS* befasst sich mit der Entwicklung, Nutzung und Wirkung von Informations- und Kommunikationstechnologien mittels neurowissenschaftlicher und/oder neurophysiologischer Verfahren. Hierbei wird zum einen die Entwicklung neuer Theorien sowie die Gestaltung von Informationssystemen forciert (Riedl et al., 2010).

1.2 Gang der Arbeit

Zum Erreichen der genannten, übergeordneten Zielstellung, ist die vorliegende Arbeit wie folgt strukturiert.

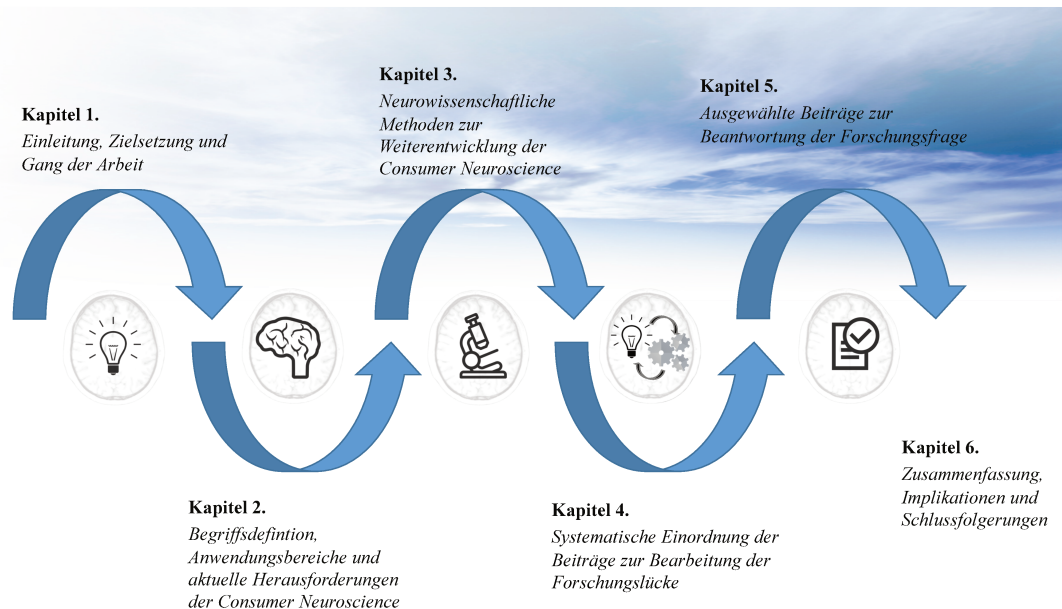


Abbildung 1. Gang der Untersuchung (Quelle: Eigene Darstellung)

Nachdem zunächst die Relevanz des Themas und die übergeordnete Zielstellung der vorliegenden Arbeit dargestellt wurde, werden im Folgenden *zweiten Kapitel* die begrifflichen Grundlagen sowie die Herausforderungen der *Consumer Neuroscience* herausgearbeitet. Hierbei soll zunächst der aktuelle Forschungsstand der Consumer Neuroscience anhand der zuvor aufgezeigten Herausforderungen dargestellt werden. Insbesondere wird dabei auf die noch immer bestehende Herausforderung des Mobilitätsproblems von bildgebenden, neurowissenschaftlichen Verfahren hingewiesen.

Das *dritte Kapitel* widmet sich der methodischen Weiterentwicklung des Forschungsgebietes der Consumer Neuroscience. Hierbei werden zunächst die gegenwärtigen bildgebenden Verfahren der Consumer Neuroscience dargestellt. Insbesondere wird dabei das Potential des innovativen bildgebenden Verfahrens der mobilen Nahinfrarotspektroskopie zur Lösung des Mobilitätsproblems aufgezeigt. Aufbauend auf den technologischen Möglichkeiten der mfNIRS werden ferner neuroanatomische Grundkenntnisse über die für die Consumer Neuroscience wichtige

Hirnregion des präfrontalen Kortex¹⁶ geschaffen (z. B. Yoon, Gonzalez, Bechara et al., 2012).

Im folgendem *vierten Kapitel* werden die sich mit der Beantwortung der Forschungsfrage beschäftigenden Beiträge **systematisch** eingeordnet. Dabei werden die einzelnen Beiträge inhaltlich dargestellt und nachfolgend erläutert, wie diese zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage beitragen, bei welchen Zeitschriften die Beiträge eingereicht und/oder publiziert wurden sowie der aktuelle Status des Verfahrens abgebildet.

Das *fünfte Kapitel* beinhaltet die acht Beiträge, welche zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage beitragen.

Das *sechste Kapitel* fasst die gewonnenen Erkenntnisse noch einmal zusammen und diskutiert diese auf der deskriptiven, der explikativen sowie der ethisch- und praktisch-normativen Ebene. Hierbei werden insbesondere die wissenschaftlichen praktisch-normativen und ethisch-normativen Implikationen sowie der weitere Forschungsbedarf der einzelnen Beiträge im Kontext der vorliegenden Arbeit sowie die der damit verbundenen Zielstellung, reflektiert und diskutiert. Abschließend wird ein Resümee gezogen.

¹⁶ Der Kortex (oder auch Großhirnrinde) ist die äußere, an Nervenzellen reiche Schicht des Großhirns. Dieser kann durch verschiedene, in der Wissenschaft etablierte, Systeme strukturiert werden. Eine bekannte Einteilung des Kortex stellen hierbei die Brodmann-Areale (BA) dar, welche den Kortex in 52 Teilbereiche unterteilen (Brodmann, 1909). Zudem gibt es, aufbauend auf aktuellen Forschungsarbeiten, Systematisierungsansätze, welche eine Strukturierung anhand der neuralen Funktionen der Hirnregionen vornehmen (vgl. Carlén, 2017).

2. Begriffsdefinition, Anwendungsbereiche und Herausforderungen der Consumer Neuroscience

2.1 Begriffsdefinition der Consumer Neuroscience

Die *Consumer Neuroscience* als Teilbereich der Neuroökonomie¹⁷ verfolgt das übergeordnete Ziel, Methoden, Erkenntnisse und Theorien aus der Neurowissenschaft systematisch in die Marketingforschung zu integrieren, um somit das Käufer und Konsumentenverhalten innerhalb eines marketingrelevanten, ökonomischen Kontextes wissenschaftlich zu durchdringen (Shiv et al., 2005; Kenning, 2014; Plassmann, Venkatraman, Huettel und Yoon, 2015).

Dabei stehen Käufer und Konsumenten¹⁸, oder präziser ausgedrückt, die im Gehirn ablaufenden verhaltensrelevanten (neuralen) Prozesse dieser, im Forschungsmittelpunkt, welche es gilt mittels neurowissenschaftlicher Methoden zu untersuchen. Die *Consumer Neuroscience* stellt somit eine Ergänzung zum *traditionellen Marketing*¹⁹ bzw. der Marketingforschung, welche mittels neurowissenschaftlicher Methoden eine Erhöhung der Varianzaufklärung anstrebt (Kenning und Plassmann, 2005; Kenning und Plassmann, 2008; Knutson, Rick, Wimmer, Prelec und Loewenstein, 2007; Plassmann et al., 2015), dar. Dem folgend, geht die *Consumer Neuroscience* von einem positivistischen, biologisch determinierten Menschenbild aus, welches das menschliche Verhalten anhand von biologischen neuralen Prozessen erklärt.

¹⁷ Als Neuroökonomie wird die interdisziplinäre Verknüpfung der Neurowissenschaften mit den Wirtschaftswissenschaften (sowie der Psychologie) bezeichnet. Die Neuroökonomie beschäftigt sich demnach mit Fragestellungen der Volks- und Betriebswirtschaftslehre, welche anhand von neurowissenschaftlichen und wirtschaftswissenschaftlichen Verfahren und Theorien wissenschaftlich durchdrungen werden (Glimcher & Fehr, 2013). Im Gegensatz hierzu beschäftigt sich die Consumer Neuroscience mit der neurowissenschaftlichen Untersuchung des Menschen – definiert als Käufer/Konsumenten – in bestimmten wirtschaftlichen Entscheidungssituationen oder Kontexten.

¹⁸ Zur besseren Lesbarkeit werden im Folgenden lediglich die männlichen Bezeichnungen gewählt. Selbstverständlich sind Männer, Frauen und diverse Personen gleichermaßen gemeint.

¹⁹ Marketing umfasst die Planung, Koordination und Kontrolle aller auf die aktuellen und potenziellen Märkte ausgerichteten Unternehmensaktivitäten. Durch eine dauerhafte Befriedigung der Kundenbedürfnisse sollen die Unternehmensziele verwirklicht werden (vgl. Meffert et al., 1980, 1992, 2019). Marketing kann somit als marktorientierte Unternehmensführung beschrieben werden.

Aufbauend auf technologischen Weiterentwicklungen neurowissenschaftlicher Verfahren und den damit verbundenen ersten wissenschaftlichen Erfolgen (z. B. McClure et al., 2004; Sanfey, Rilling, Aronson, Nystrom und Cohen, 2003), konnte sich die Consumer Neuroscience im Laufe der Zeit bereits als eine feste Größe im Marketing und der Marketingforschung etablieren und sich zudem kontinuierlich weiterentwickeln (Ariely und Berns, 2010). Die damit einhergehende Spezifizierung der Consumer Neuroscience ermöglicht es, das Fachgebiet auf der deskriptiven Ebene in mindestens drei Formen des menschlichen Verhaltens zu unterscheiden (Kenning, 2014, S. 26 ff.). Hier ist zum einen der Bereich der *Individual Consumer Neuroscience* (1) zu nennen, welcher die individuelle, menschliche Wahrnehmung, die neuronalen Prozesse sowie das damit einhergehende Verhalten untersucht. Ein Beispiel stellt dabei das Konstrukt der Preiswahrnehmung eines Produktes oder einer Dienstleistung auf den Käufer/Konsumenten dar (z. B. Knutson et al., 2007; Hare, Camerer und Rangel, 2009; Berns, Laibson und Loewenstein, 2007). Daneben betrachtet die *Social Consumer Neuroscience* (2) das menschliche Verhalten in sozialen Kontexten. Dabei werden insbesondere interaktionale Konstrukte wie Altruismus, Fairness, Vertrauensbildung und/oder kooperationsrelevante Fragestellungen untersucht (z. B. Crockett, 2013; Riedl, Hubert und Kenning, 2010; Corradi-Dell'Acqua, Civai, Rumiati, et al., 2012). Beide Forschungsgebiete der Consumer Neuroscience beinhalten zudem betriebswirtschaftlich relevante Fragestellungen und Implikationen. Diese werden oftmals in die betriebswirtschaftliche Praxis aufgenommen, sodass Unternehmen mittels neurowissenschaftlicher Verfahren, Theorien und Konzepte in der Lage sind ihre Marketingaktivitäten weiterzuentwickeln. Dies ermöglicht es die Bedürfnisse der Kunden zu erkennen, zu untersuchen, zu verstehen und nicht zuletzt zu befriedigen. Dieser Teilbereich der Consumer Neuroscience wird auch *Commercial Consumer Neuroscience* oder „*Neuromarketing*“ (3) genannt (Hubert und Kenning, 2008) (Abbildung 2).

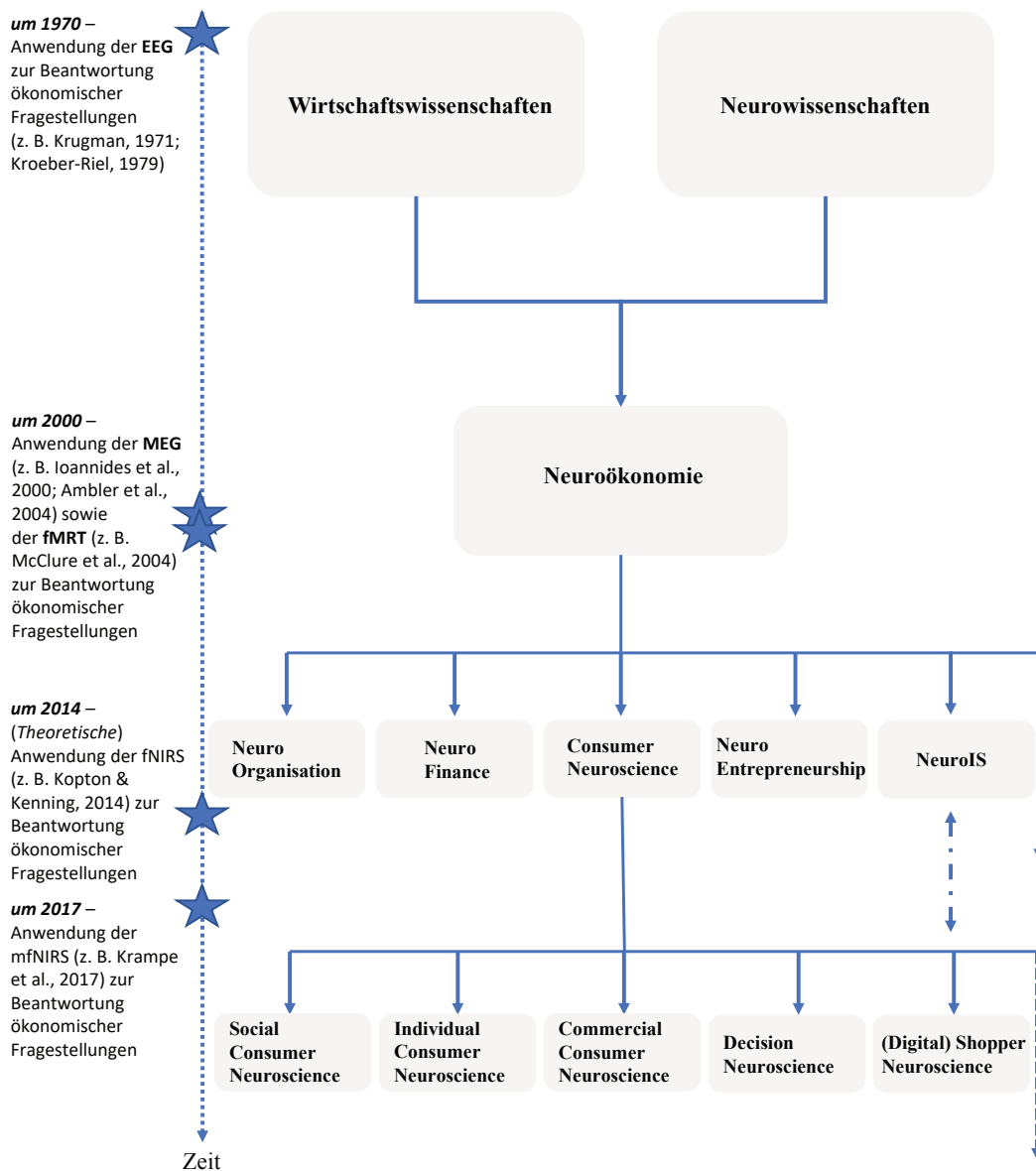


Abbildung 2. Prozessuale Darstellung des Forschungsfeldes der Consumer Neuroscience (Quelle: Eigene Darstellung)

Zudem haben sich im Laufe der Zeit, aufbauend auf neuen technologischen und wissenschaftlichen Erkenntnissen weitere Teilbereiche der Consumer Neuroscience entwickelt. Die hier angesprochene, auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende, Entwicklung wird im Folgenden der übergeordneten Fragestellung nachkommend, noch einmal ausführlich thematisiert.

2.2 Anwendungsbereiche der Consumer Neuroscience

Wie bereits erwähnt hat die Consumer Neuroscience als interdisziplinäres Forschungsfeld durch die ergänzende Untersuchung neuropsychologischer Prozesse – die mit einer marketingrelevanten Entität assoziiert sind – bereits eine bedeutsame Grundlage an Wissen für das Marketing, die Marktforschung sowie die Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung generiert (Ariely und Berns, 2010; Lee, Chamberlain und Brandes, 2018). Jedoch scheint, wie bereits durch Levallois et al. (2012) festgestellt, der weitere Fortschritt der Consumer Neuroscience davon abhängig zu sein, inwieweit grundlegende neuropsychologische Erkenntnisse praktische und theoretische Anwendung im Marketing bzw. der Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung finden. Zudem ist es irrtümlich zu glauben, dass die Consumer Neuroscience *existierende* Marketingmethoden ersetzen kann, ersetzt werden will oder ersetzt wird. Vielmehr sollte die Consumer Neuroscience als ergänzendes, interdisziplinäres Forschungsfeld gesehen werden, welche das Marketing, die Marketingforschung sowie die Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung durch den Einsatz von neurowissenschaftlichen Verfahren unterstützen kann (Plassmann et al., 2015). Dabei sollte nicht nur durch neurowissenschaftliche Erkenntnisse der aktuelle Wissensstand vergrößert werden, sondern insbesondere auch die Entwicklung der (Marketing)Theorie – u.a. durch den kontinuierlichen Einsatz von innovativen, neurowissenschaftlichen Methoden – vorangetrieben werden (Kenning und Plassmann, 2005; Kenning, 2014); eine Tatsache, welche im gleichem Maße für die Erweiterung des Kenntnisstandes in den Neurowissenschaften durch die Integration von marketingbezogenem (theoretischem) Wissen, gilt.

Konkret haben neurowissenschaftliche zumeist bildgebende neurale Verfahren dabei geholfen:

(1) Neuropsychologische Prozesse und Mechanismen einer marketingrelevanten Entität, welche von affektiver oder kognitiver Natur sein kann, wissenschaftlich zu durchdringen. Dies führte dazu, dass bestehende Marketingtheorien validiert, verfeinert und erweitert werden konnten (z. B. Linzmajer, Huber, Eberhardt, Fojcik und Kenning, 2014; Krampe, Meißner, Gier und Kenning, 2019). Darüber hinaus ermöglicht der explorative Einsatz von neurowissenschaftlichen Verfahren, dass trotz theoriegeleiteter

Forschung, Zufallsbefunde zur Entwicklung von neuen Theorien führen können (Hubert, 2010);

(2) Implizite, oftmals unbewusste (neurale) Prozesse simultan zu beforschen, welche mittels bestehender Marketingmethoden (z. B. Fragebögen, Selbstauskünfte) nicht zugänglich sind (Ariely und Berns, 2010; Camerer et al., 2005; Hubert und Kenning, 2008) und welche direkt während des (Entscheidungs-)Prozesses bemessen werden können;

(3) Dissoziationen²⁰ von neuropsychologischen Prozessen aufzuzeigen. Dabei können bildgebende neurale Verfahren darstellen, ob zwei verschiedene (Entscheidungs-) Prozesse in ähnlichen oder unterschiedlichen Hirnstrukturen verarbeitet werden, was nachfolgend bei der Einordnung der dabei relevanten Entscheidungsmuster helfen kann (Plassmann et al., 2015);

(4) Individuelle Unterschiede zu untersuchen und damit die Quelle der Heterogenität im Konsumverhalten aufzuklären (Venkatraman, Clithero, Fitzsimons und Huettel, 2012; Plassmann und Weber, 2015);

(5) Die Vorhersage von marketingrelevantem Kundenverhalten durch die Integration von neuronalen Messdaten zu verbessern (z. B. Boksem und Smidts, 2015, Telpaz et al., 2015);

(6) Die Eliminierung von strategischem Verhalten im Hinblick auf z. B. die soziale Erwünschtheit²¹, welche häufig bei der traditionellen direkten Befragung von Käufern und Konsumenten vorliegt (Camerer et al., 2005).

²⁰ Der Begriff Dissoziation bezeichnet in der (Neuro-)Psychologie das Auseinanderfallen von (psychischen) Funktionen, die normalerweise zusammenhängen (Goldstein, 2010, S. 89 ff).

²¹ Die soziale Erwünschtheit beschreibt die Antworttendenz oder -verzerrung bei Befragungen in der Sozialwissenschaft, der Psychologie oder der Marktforschung. Sie liegt immer dann vor, wenn Befragte bevorzugt Antworten geben, von denen sie glauben, dass diese eher auf soziale Zustimmung stoßen, als die „wahre“ Antwort (Winkler, Kroh & Spiess, 2006).

Auch wenn diese Erkenntnisse bereits einen substantiellen Beitrag zur weiteren Varianzaufklärung geleistet haben, verspricht die Consumer Neuroscience – als innovative, dynamische und technologie-getriebene Forschungsdisziplin – noch viel Entwicklungspotenzial. Um diese Entwicklung zu forcieren ist es jedoch essentiell, dass sich die Consumer Neuroscience den bestehenden Herausforderungen stellt.

2.3 Bestehende Herausforderungen der Consumer Neuroscience

Zur systematischen methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience werden in diesem Abschnitt die in der aktuellen Literatur genannten Herausforderungen der Consumer Neuroscience skizziert. Einer Literaturanalyse folgend, wurden demnach *vier* übergeordnete Herausforderungen der Consumer Neuroscience definiert. Diese werden im Nachgang fokussiert und – wenn möglich – erste Lösungsansätze präsentiert.

Herausforderung #1: Die Consumer Neuroscience erforscht neuropsychologische Prozesse, nicht aber das tatsächliche Käufer und Konsumentenverhalten.

Ein Kritikpunkt, dem neuropsychologische Studien oftmals ausgesetzt sind, ist der, dass diese zwar korrelierende nicht aber kausale Zusammenhänge darstellen können (Plassmann et al., 2015). Der hier dargestellte Kritikpunkt umfasst drei Aspekte:

(1) Bildgebende neurale Verfahren und die damit gewonnenen neuropsychologischen Befunde beruhen auf Korrelationen (Plassmann et al., 2015). Nicht invasive neurale bildgebende Verfahren – welche meistens in der Consumer Neuroscience Anwendung finden – bemessen demzufolge lediglich *indirekt* die Hirnaktivität, d. h. ein Messwert liegt erst nach einer oder einigen Zwischenstufen vor. Beispielsweise wird die Gehirnaktivität nicht durch die direkte Messung des Aktionspotenzials (AP)²² bestimmt, sondern durch die sekundäre physiologische Reaktion quantifiziert. Ein weiteres Beispiel hierfür bietet das *Blood-Oxygenation-Level-Dependent* (BOLD) Signal, welches bei fMRT-Messungen Auskunft über den Sauerstoffgehalt der roten Blutkörperchen (Erythrozyten) in einer bestimmten Hirnregion gibt (Kwong, Belliveau, Chesler et al., 1992). Das BOLD-Signal gilt somit als indirekter Schätzwert (Proxy), welcher die neurale Aktivität in einer bestimmten Hirnregion angibt (z. B. Belliveau, Kennedy, McKinstry et al., 1991).

²² Als Aktionspotential (AP) wird eine vorübergehende, charakteristische Abweichung des Membranpotentials einer Zelle vom Ruhepotential bezeichnet. APs werden auch „Nervenimpulse“ genannt und treten immer bei einer Erregung der Zelle auf. APs breiten sich als elektrisches Signal über die Zellmembran aus.

(2) Hypothesen und Annahmen über eine zu beforschende Entität basieren oftmals auf den Ergebnissen von existierenden neurowissenschaftlichen Studien (Plassmann et al., 2015). Da diese Ergebnisse auf dem Einsatz korrelativer neuraler, zu meist bildgebender Verfahren beruhen, könnten auf Basis des (korrelativen, nicht aber kausalen) empirischen Vorwissens demnach falsche Hypothesen formuliert werden. Hierbei sollte es deutlich sein, dass Korrelationen lediglich einen ersten Hinweis geben, ob zwei Entitäten kausal miteinander zusammenhängen. Um zu prüfen, ob eine Kausalität vorliegt, müssen die Zusammenhänge dementsprechend weiterführend geprüft werden. Dabei ist es notwendig zu verstehen, dass wenn eine bestimmte Hirnregion für ein bestimmtes Verhalten zwingend benötigt wird, das Verhalten nur dann auftreten kann, wenn die entsprechende Hirnregion aktiviert ist. Zudem sollte sich bei einem kausalen Zusammenhang die Häufigkeit oder Stärke der neuralen Aktivität in einer bestimmten Hirnregion auf das Verhalten auswirken und *vice versa* (Plassmann et al., 2015). Zur wissenschaftlichen Prüfung, ob ein korrelativer oder kausaler Zusammenhang vorliegt, ist der Einsatz von bildgebenden (z. B. fMRT) oder stimulierenden/inhibierenden (z. B. Transkranielle Magnetstimulation, TMS²³) Verfahren denkbar. Hierbei könnte die TMS Auskunft darüber geben, ob eine bestimmte Hirnregion tatsächlich für einen neuropsychologischen Prozess sowie dessen Ausführung benötigt wird, indem die mit dem Prozess assoziierte Hirnregion während der Ausführung eines neuropsychologischen Prozesses mittels TMS interferiert/stimuliert wird. Ebenfalls kann das bildgebende Verfahren der fMRT genutzt werden, um zu bemessen, ob ein bestimmtes Verhalten – welches mit einem neuropsychologischen Prozess in Verbindung gebracht wird – bei einer Verstärkung des Verhaltens zu einer erhöhten oder reduzierten neuralen Aktivität in der zuvor definierten Hirnregion führt.

(3) Oftmals wird die neurale Aktivierung als vorgelagerter Prozess, nicht aber das tatsächliche Käufer-/Konsumentenverhalten, bemessen. Dies führt dazu, dass die bemessenden neuralen Prozesse detailliert dargestellt werden können – das damit verbundene Verhalten jedoch lediglich, aufbauend auf bereits bekannten Studien, geschätzt werden kann. Ein multimethodischer Ansatz, welcher sowohl Verhaltensmanipulationen mit biometrischen, neurowissenschaftlichen, stimulierenden

²³ Die transkranielle Magnetstimulation (TMS) ist ein neurales Verfahren, bei der mit Hilfe starker Magnetfelder bestimmte Bereiche des Gehirns sowohl stimuliert als auch interferiert werden können (Hallett, 2000).

Verfahren sowie der Messung des tatsächlichen Käufer-/Konsumentenverhaltens integriert und kombiniert, mit dem Ziel die Stärken jeder Methode zu nutzen, ist demnach denkbar und wünschenswert (Plassmann et al., 2015).

Herausforderung #2: Die Consumer Neuroscience ist dem Problem der „Umgekehrten Schlussfolgerung (reverse inference)“ ausgesetzt.

Eine zweite Herausforderung der sich die Consumer Neuroscience ausgesetzt sieht, besteht darin, dass mitunter falsche Rückschlüsse, aufbauend auf neuropsychologischen Ergebnissen – also affektiven oder kognitiven Prozessen –, abgeleitet werden. So beruhen die meisten Studien auf einer „vorwärts gerichteten Schlussfolgerung“ („*forward inference*“), welche einen psychologischen Prozess manipuliert und diesen mit einer Kontrollkondition vergleicht (Plassmann et al., 2015). Der hier dargestellte Ansatz verfolgt somit das Ziel, einen psychologischen Prozess, welcher bereits bekannt bzw. erforscht wurde, mit einer bestimmten Hirnregion in Verbindung zu setzen, die bis dahin unbekannt war. Während diese Vorgehensweise – der „vorwärts gerichteten Schlussfolgerung“ – in der Consumer Neuroscience weitgehend akzeptiert ist (Plassmann et al., 2015), wird in der Praxis oftmals eine Form des deduktiven Denkens, dass der "umgekehrten Schlussfolgerung" („*reverse inference*“) angewendet (Ariely und Berns, 2010; Plassmann et al., 2015). Dabei ist die gemessene neurale Aktivität in einer bestimmten Hirnregion der Ausgangspunkt, welche in einem weiteren Schritt ein bestimmter psychologischer Prozess zugeordnet wird (Poldrack 2006, 2011).

Der Einsatz der beschriebenen „umgekehrten Schlussfolgerung“ ist problematisch, da Konzepte, die von Psychologen, Marketingwissenschaftlern und/oder Verhaltenswissenschaftlern untersucht werden, nicht immer durch „*nur*“ eine bestimmte Hirnregion abgebildet werden können. Konkret bedeutet dies, dass komplexe kognitive Konzepte zumeist in komplexen neuronalen Netzwerken²⁴ bzw. Verbindungen zwischen Hirnregionen verarbeitet werden. Des Weiteren ist eine

²⁴ Als neurales Netzwerk wird in den Neurowissenschaften eine beliebige Anzahl miteinander verbundener Nervenzellen (Neuronen) bezeichnet, die als Teil eines Systems einen Zusammenhang bilden, welcher einer bestimmten Funktion oder einem Prozess zugeordnet werden kann.

Hirnregion oftmals mit einer Vielzahl an affektiven und/oder kognitiven Prozessen assoziiert, sodass eine Ergebnisinterpretation mitunter arbiträr erscheint.

Um das Problem der „umgekehrten Schlussfolgerung“ zu lösen werden in der Literatur mehrere Lösungsvorschläge adressiert. Ein Lösungsvorschlag ist die Implementierung eines theoriegetriebenen experimentellen Designs, welches den vorhergesagten und zugrunde liegenden neuropsychologischen Prozess direkt manipuliert und dementsprechend bemisst (Plassmann et al., 2015). Aufbauend auf aktuellen technologischen Entwicklungen ist es heutzutage möglich, eine theoriegetriebene Datenauswertung zu sichern und somit eine „umgekehrte Schlussfolgerung“ zu vermeiden. Wissenschaftler können hierzu *vor* einer geplanten Studie ihre Hypothesen sowie die geplanten theoriegetriebenen Datenanalysen detailliert auf etwaigen wissenschaftlichen Plattformen veröffentlichen, sodass eine retrospektive Interpretation der Ergebnisse vermieden und kontrolliert werden kann. Des Weiteren bietet der hier dargestellte Ansatz die Möglichkeit, dass Wissenschaftler die avisierte Studie kommentieren und eventuell wichtige Hinweise zur Verbesserung des Studiendesigns beitragen können. Ein Beispiel für eine solche Plattform bietet der „Open Science Framework“ (<https://osf.io/>).

Während dieser Lösungsansatz in Situationen, in welchen bereits umfassende Erkenntnisse über eine zu bemessende Entität vorliegen, das „Problem der umgekehrten Schlussfolgerung“ auflöst, scheint dieses Vorgehen bei explorativen Forschungsansätzen an seine Grenzen zu stoßen (Plassmann et al., 2015) – insbesondere deswegen, da bei explorativen Studien kein oder nur ein limitiertes Vorwissen über eine zu bemessende Entität vorliegt.

Die wissenschaftliche explorative Untersuchung einer Entität erfordert somit in erster Linie weiteres Wissen über einen zu beforschenden (neuro-)psychologischen Prozess und die mit dem Prozess assoziierte Verortung im Gehirn. Um einen neuropsychologischen Prozess und die damit verknüpfte Hirnstruktur zu bestimmen, muss somit das Ausmaß festgestellt werden, wie eine Hirnregion konsistent und selektiv durch einen zu bemessenden psychologischen Prozess aktiviert wird (Ariely und Berns 2010; Poldrack 2006, 2011) – eine Tatsache, welche als „*lokalisatorische Signifikanz*“ bekannt ist (Kenning, 2014).

Die Verwendung einer bayesianischen Analyse²⁵, die es ermöglicht die Spezifität der Aktivierung in einer bestimmten Hirnregion für einen bestimmten neuropsychologischen Prozess zu schätzen (Ariely und Berns, 2010), bietet eine Möglichkeit neuropsychologische Prozesse im menschlichen Gehirn zu verorten. Dabei kann die bayesianische Analyse mit der folgenden Gleichung spezifiziert werden:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (1)$$

$$P(A|\neg B) = \frac{P(A \cap \neg B)}{P(\neg B)} \quad (2)$$

$$P(B|A) = \frac{P(A|B)}{P(A|B) + P(A|\neg B)} \quad (3)$$

Legende: Gleichung (1) gibt die Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeit von A, gegeben das B auftritt, an ($P(A|B)$). Gleichung (2) gibt die Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeit von A, gegeben das B nicht auftritt, an ($P(A|\neg B)$). Gleichung (3) stellt, aufbauend auf Gleichung 1 und 2, die Berechnung der bayesianischen Analyse für die Wahrscheinlichkeit von B, wenn A auftritt, dar ($P(B|A)$).

Ein Anwendungsbeispiel zur Beantwortung der Forschungsfrage: „Inwieweit das marketingrelevante Konstrukt „Aufmerksamkeit“ mit der Hirnregion des linken und rechten dorsolateralen, präfrontalen Kortex (dlPFC) zusammenhängt?“, könnte somit anhand der bayesianischen Analyse wie folgt aussehen:

(i) In einem ersten Schritt sollten alle Montreal Neurological Institute (MNI) Koordinaten²⁶, welche eine neurale Aktivität in Verbindung mit dem kognitiven Prozess (in diesem Beispiel „Aufmerksamkeit“) aufweisen, aus einer Datenbank (z. B. *Neurosynth* – <http://neurosynth.org/>²⁷) extrahiert werden.

²⁵ Die bayesianische Analyse beruht auf einem mathematischen Ansatz aus der Wahrscheinlichkeitstheorie (Satz von Bayes), welcher die Berechnung bedingter Wahrscheinlichkeiten beschreibt. Ariely und Berns (2010) beschreiben in ihrem Beitrag „Neuromarketing: The Hope and Hype of Neuroimaging in Business“ wie die bayesianische Statistik im Kontext der Consumer Neuroscience Anwendung finden kann, um die Wahrscheinlichkeit der Zusammenhänge von neuropsychologischen Prozessen und bestimmten Hirnregionen zu bestimmen.

²⁶ Das Montreal Neurological Institute (MNI) Koordinatensystem bildet das menschliche Gehirn in einem 3-dimensionalen Raum ab, welche neben dem Talairach Koordinatensystem, die Vorlage für aktuell verwendete „Brain Mapping“ Analyse Programme in den Neurowissenschaften darstellt (z. B. das MatLab basierte Programm: Statistical Parametric Mapping).

Bezugnehmend auf das hier dargestellte bayesianische Rechenbeispiel wurden 19.993 MNI-Koordinaten, welche mit dem marketingrelevanten Konstrukt der „Aufmerksamkeit“ in Verbindung gebracht werden, aus der Datenbank *Neurosynth* extrahiert.

(ii) Aufbauend auf einer parallel stattfindenden Literaturrecherche sollten zudem die MNI-Koordinaten der zuvor festgelegten und zu beforschenden Hirnregionen, in diesem Fall die des linken und rechten dorsolateralen, präfrontalen Kortex, bestimmt werden (MNI-Koordinaten für den linken dlPFC $x=-26, y=0, z=52$ und den rechten dlPFC $x=30, y=0, z=52$).

(iii) Im Nachgang – zur Berechnung der bayesianischen Analyse – müssen weitere marketingrelevante Konstrukte und die dazu gehörigen neuronalen Aktivitäten anhand der MNI-Koordinaten lokalisiert werden.

In Bezug auf das hier dargestellte Beispiel wurden die MNI-Koordinaten für die marketingrelevanten Konstrukte „*Einstellung, Motivation und Belohnung*“ extrahiert (insgesamt 313.623 MNI-Koordinaten). Aufbauend auf diesen Merkmalen ergibt sich zur Berechnung des *Bayes-Wertes* die folgende Rechnung:

Die Wahrscheinlichkeit das der (linke und rechte) dlPFC aktiviert ist, gegeben einer Aufmerksamkeit Aufgabe = $7/1.697 = 0,004$;

Die Wahrscheinlichkeit das der (linke und rechte) dlPFC aktiviert ist ,gegeben keiner Aufmerksamkeit Aufgabe= $34/2.997 = 0,011$;

Die Wahrscheinlichkeit auf einen Aufmerksamkeitsprozess, gegeben das der (linke und rechte) dlPFC aktiviert ist = $0,004/(0,011+0,004) = 0,26$.

Der hier dargestellte *p*-Wert, gibt somit eine Wahrscheinlichkeit an, wie sehr Bereiche der Hirnregion des rechten und linken dorsolateralen präfrontalen Kortex mit dem marketingrelevanten Konstrukt der „Aufmerksamkeit“ verbunden sind, gegeben dass es

²⁷ Neurosynth.org ist eine Plattform, welche eine automatisierte Synthese von Daten der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) vornimmt. Aktuell verfügt die Datenbank über 14.371 Studien, 1.335 Meta-Analysen und über 150.000 Gehirnregionen, welche in 3-dimensionalen Talairach Koordinaten organisiert sind (Stand 05.06.2019).

sich um keinen neuronalen Prozess handelt, welcher mit den marketingrelevanten Konstrukten „*Einstellung, Motivation und Belohnung*“ und den damit assoziierten MNI-Koordinaten verbunden ist.

Es sollte jedoch deutlich sein, dass der Bayes-Wert immer in Abhängigkeit zu den Eingangsgrößen berechnet wird. So würde eine größere Anzahl an MNI-Koordinaten, die Integration von weiteren marketingrelevanten Konstrukten (neben den hier verwendeten Konstrukten der *Einstellung, Motivation und Belohnung*) sowie die Vergrößerung der MNI-Zielkoordinaten (Erweiterung der Zielkoordinaten im 3-dimensionalen MNI-Raum) der zuvor festgelegten und zu beforschenden Hirnregion, folglich zu einem valideren Ergebnis führen.

Zudem wurden in den letzten Jahren Methoden und Techniken entwickelt, welche Meta-Daten und Bayes-Statistiken kombinieren, um ein umfassendes Bild der Gehirnstruktur und der damit verbundenen Funktionen automatisch zu synthetisieren (Poldrack 2011; vgl. auch Yarkoni et al. 2010, 2011). Die bereits dargestellte Datenbank *Neurosynth* (<http://neurosynth.org/>) bietet ein passendes Beispiel für eine solche Meta-Datenbank, welche es Wissenschaftlern erlaubt ohne eigene Berechnungen kognitive Prozesse im menschlichen Gehirn zu verorten.

Herausforderung #3: Studien der Consumer Neuroscience scheinen weniger zuverlässig und generalisierbar als verhaltensbasierte Marketingstudien.

Die hier dargestellte Herausforderung beschäftigt sich mit dem Aspekt, dass die wahrgenommene Reliabilität neurowissenschaftlicher Studien, insbesondere durch die relativ gesehen kleinen Stichprobengrößen (im Vergleich zu Verhaltensstudien), limitiert zu sein scheint (Button, Ioannidis, Mokrysz, et al., 2013). Insbesondere wird hierbei der Vergleich zu traditionellen verhaltensbasierten Marketing- und Psychologiestudien, welche weitaus größere Stichproben integrieren, angesprochen. Während aktuelle neurowissenschaftliche Studien für gewöhnlich eine Stichprobengröße von circa 15 bis 40 Teilnehmern aufweisen (z. B. Friston, 1996; 2004; Herold, Wiegel, Scholkmann et al., 2018), integrieren Verhaltensstudien im Vergleich oftmals eine vielfache Anzahl an Teilnehmern (z. B. Rashidian, Miles, Russell et al., 2006). Dennoch, auch wenn der hier angesprochene Aspekt der kleinen Stichprobengröße valide erscheint, gibt es Grund zur Annahme, dass diese Bedenken

ungerechtfertigt sind (Plassmann et al., 2015). So zeigen Studien (z. B. Berns und Moore, 2012; Boksem und Smidts, 2015; Telpaz, Webb und Levy, 2015; Venkatraman et al., 2015), dass es möglich ist mittels neurowissenschaftlicher Verfahren bei kleinen Stichprobengrößen von 14 bis 29 Teilnehmern, die Entscheidungswahl von Produkten oder die Wahl einer Dienstleistung mit einer über dem Zufall liegenden Wahrscheinlichkeit auf Populationsniveau vorauszusagen. Des Weiteren beruhen die zu bemessenden neuropsychologischen Prozesse auf biologischen Determinanten, sodass davon auszugehen ist, dass diese bei höheren Säugetieren in ähnlicher Art und Weise ablaufen (vgl. Seth, Baars und Edelman, 2005 – am Beispiel „Bewusstsein“). Ferner gibt es auch statistische sowie methodische Gründe anzunehmen, dass die relativ gesehen kleine Stichprobengröße von neurowissenschaftlichen Studien die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse auf Populationsniveau zulässt (Friston, 1996; 2004; 2012). So werden die zur Erkenntnisgewinnung genutzten Stimuli – nach neurowissenschaftlichen Standards – immer wiederholt angezeigt. Dies ist nötig, da eine neurowissenschaftliche Messung zumeist mit vielen Störgeräuschen konfrontiert ist, für welche durch eine wiederholte Darbietung des Stimulimaterials korrigiert werden kann (Plassmann et al., 2015). Betrachtet man demnach die Gesamtanzahl der gezeigten Stimuli im Vergleich zu einer „zwischen den Probanden angelegten“ („Between-Subject-Design“) Verhaltensstudie, zeigt sich, dass die tatsächliche Anzahl der gezeigten Stimuli in einer neurowissenschaftlichen Studie sich nicht signifikant von der einer zwischen den Probanden angelegten Verhaltensstudie unterscheidet, was noch einmal die statistische Aussagekraft neurowissenschaftlicher Studien bestätigt (Plassmann et al., 2015; Hensel, Iorgo, Wolter und Znanewitz, 2017).

Herausforderung #4: Neurowissenschaftliche (bildgebende) Verfahren der Consumer Neuroscience haben eine limitierte ökologische Validität.

Während für die zuvor genannten Herausforderungen (*eins bis drei*), wie dargestellt, bereits erste Lösungsansätze existieren, stellt die *vierte* Herausforderung – welche das *Mobilitätsproblem* und die damit assoziierte *limitierte ökologische Validität* von neurowissenschaftlichen Verfahren thematisiert – die Forschergemeinschaft der Consumer Neuroscience noch immer vor eine wesentliche Aufgabe. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass der Erkenntnisgewinn durch die Integration von (mobilen)

bildgebenden neurowissenschaftlichen Verfahren oftmals undeutlich ist. Zudem fehlen in der fragmentierten Literatur benutzerorientiertere Grundlagen, welche klare Leitlinien zur Integration von neurowissenschaftlichen Verfahren und dem damit assoziierten Wissen darstellen (Lee, Chamberlain und Brandes, 2018). Des Weiteren – wie zuvor dargestellt – sind die meisten neurowissenschaftlichen, bildgebenden Verfahren lediglich stationär einsetzbar. Infolgedessen erscheint es schwierig, das *reale* Käufer und Konsumentenverhalten, z. B. in einer natürlichen (Einkaufs-)Umgebung, wie am PoS, mit Hilfe der zuvor angesprochenen stationären Verfahren zu untersuchen. Die Untersuchung des natürlichen (Entscheidungs-)Verhaltens und die damit verbundenen neuropsychologischen Prozesse der Käufer/Konsumenten sind jedoch entscheidend. Insbesondere deswegen, weil das (Entscheidungs-)Verhalten in einem dynamischen, naturalistischen Umfeld durch eine Vielzahl von (entscheidungsrelevanten) Faktoren beeinflusst wird. So zeigen Studien, dass beispielsweise Kommunikationsmaßnahmen am PoS einen signifikanten Einfluss auf das Entscheidungsverhalten der Käufer und Konsumenten haben (z. B. Krampe, Strelow, Haas und Kenning, 2018, Liu, Kim und Hong, 2018). Die Untersuchung einer marketingrelevanten Entität innerhalb eines realistischen Umfelds, erscheint deswegen bedeutsam und sinnvoll, auch um zu überprüfen, ob die in Experimenten erzielten Ergebnisse – welche oftmals vereinfachte Stimuli verwenden – unter natürlichen Bedingungen ihre Gültigkeit beibehalten (Spiers und Maguire, 2007). Darüber hinaus können bestimmte Forschungsfragen nur in wirklichkeitsnahen Aufgaben mit einer geringen zeitlichen Regelmäßigkeit evaluiert werden (Spiers und Maguire, 2007). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob die *ökologische Validität* beim Einsatz von stationären neurowissenschaftlichen bildgebenden Verfahren tatsächlich gegeben ist (Spence und Piqueras-Fiszman, 2014, Spence, 2016).

Betrachtet man die dargestellte Herausforderung, vor dem Hintergrund der Erhöhung der *ökologischen Validität*, scheint der Einsatz von bereits existierenden mobilen neurophysiologischen Verfahren denkbar. Aufbauend auf den in der Consumer Neuroscience *bis dato* verwendeten mobil einsetzbaren bildgebenden Verfahren, verspricht insbesondere das Verfahren der Elektroenzephalografie (EEG)²⁸ Potenzial

²⁸ Die Elektroenzephalografie (EEG) ermöglicht die Messung der summierten elektrischen Aktivität des Gehirns durch die Aufzeichnung der Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche (z. B. Kenning, 2014, S. 128 ff.; Telpaz et al., 2015).

mobile Messungen durchzuführen. Hierbei zeichnet sich die EEG durch eine sehr gute zeitliche Auflösung (*i*), moderate Ausstattungskosten (*ii*) sowie eine – im Vergleich zur fMRT – unkomplizierte Datenanalyse (*iii*) aus – Faktoren, die bei der Entscheidung, ob ein neurowissenschaftliches Verfahren zur Beantwortung einer marketingrelevanten Fragestellung integriert werden soll, essentiell sind. Dennoch, auch wenn die EEG in stationären Kontexten ihr Potenzial für die Consumer Neuroscience dargestellt hat (z. B. Ravaja, Somervuori und Salminen, 2013; Telpaz et al., 2015), scheint auch die EEG bei mobilen Messungen an ihre Grenzen zu stoßen. Dies deswegen, weil das mobile, neurale bildgebende Verfahren der EEG sehr stark durch Bewegungsartefakte (z. B. Augenblinzeln oder abrupte Kopfbewegungen) beeinflusst wird (vgl. O'Regan, Faul und Marnane, 2013) – ein Aspekt, welcher bei mobilen Messungen essentiell erscheint.

Neben der EEG lassen auch neuartige Entwicklungen im Bereich der Magnetoenzephalographie (MEG) einen interessanten Lösungsansatz – auch um im Bereich der Consumer Neuroscience mobile Messungen durchführen zu können – vermuten (Boto et al., 2018). Obwohl die EEG und MEG denselben neurophysiologischen Prozess bemessen, gibt es zwischen beiden Verfahren bedeutende methodische Unterschiede. Während die EEG oberflächennahe Spannungsschwankungen der summierten elektrischen Aktivität als indirekten Schätzwert der neuronalen Aktivität bemisst, quantifiziert die MEG die neurale Aktivität mittels magnetischer Wellen, welche bei der Aktivierung von Nervenzellen ausgestrahlt werden. Um diese magnetischen Wellen effektiv und effizient mittels der MEG zu bemessen, war es *bis dato* unerlässlich, dass Versuchspersonen bei der Ausführung einer experimentellen Aufgabe jegliche Bewegungen (insbesondere Kopfbewegungen) vermeiden (Boto et al., 2018). Die dadurch hervorgerufene künstliche Umgebung macht das Verfahren der stationären MEG für Forschungsfragen der Consumer Neuroscience unzugänglich. Primäre Entwicklungen zeigen jedoch, dass die innovative mobile MEG in der Lage ist physiologische Messungen mit einer Auflösung im Millisekundenbereich während natürlicher Bewegungen zu bemessen (Boto et al. 2018).

Trotz diesem vielversprechenden Fortschritt, sollte es dennoch deutlich sein, dass die Entwicklung der mobilen MEG gerade erst am Anfang steht (Boto et al., 2018), sodass

der mobile kosten-nutzen orientierte Einsatz im Bereich der Consumer Neuroscience erst in einigen Jahren wahrscheinlich erscheint.

Ein weiterer für die Consumer Neuroscience innovativer Lösungsansatz die ökologische Validität zu erhöhen, könnte daher der Einsatz der innovativen mobilen funktionellen Nahinfrarotspektroskopie (mfNIRS) darstellen.

Da der **systematische Einsatz** der mfNIRS in der Consumer Neuroscience *bis dato* noch nicht *durchleuchtet* wurde und somit ein potenzieller Mehrwert für die Consumer Neuroscience unklar ist, versucht diese Arbeit – dem übergeordneten Ziel folgend – den Nutzen der mfNIRS für die Consumer Neuroscience systematisch herauszuarbeiten. Hierbei soll vor allem die zuvor definierte und immer noch bestehende *vierte* Herausforderung, nämlich die Erhöhung der *ökologischen Validität* durch das Auflösen des – mit der Anwendung von stationären bildgebenden Verfahren verbundene – Mobilitätsproblems, *avisiert* werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden über drei Jahre verschiedene Aspekte des innovativen bildgebenden Verfahrens der mfNIRS im Kontext der Consumer Neuroscience sowie weiterer Forschungsbereiche des Marketings umfassend untersucht und der generelle Einsatz des neurowissenschaftlichen bildgebenden Verfahrens der mfNIRS wissenschaftlich durchdrungen.

Im nächsten dritten Kapitel werden demnach zuerst die bestehende neurowissenschaftlichen bildgebenden Verfahren der Consumer Neuroscience dargestellt; bevor – zur Lösung der *vierten* Herausforderung – die mobile funktionelle Nahinfrarotspektroskopie vorgestellt sowie die zugrundeliegende Funktionsweise dargelegt wird. Aufbauend auf den technischen Fähigkeiten der mfNIRS, welche lediglich eine oberflächennahe, kortikale Bemessung des menschlichen Kortex zulassen (McCormick, Stewart, Lewis, Dujovny und Ausman, 1992; Scholkmann et al., 2014), wird zudem die für die Consumer Neuroscience wesentliche Hirnregion des präfrontalen Kortex (PFC) sowie die in dieser Hirnregion verorteten marketingrelevanten Konstrukte beschrieben (Yoon, Gonzalez, Bechara et al., 2012).

3. Neurowissenschaftliche Methoden zur methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience

Bevor im Nachgang auf die zur Beantwortung der übergeordneten Fragestellung erstellten Beiträge und den damit verbundenen Erkenntnisgewinn eingegangen wird, werden zuvor die gegenwärtigen neurowissenschaftlichen Verfahren der Consumer Neuroscience und insbesondere die Funktionsweise der mobilen funktionellen Nahinfrarotspektroskopie erläutert. In diesem Zusammenhang werden ebenfalls die technischen Fähigkeiten der mfNIRS sowie die damit verbundenen Vor- und Nachteile dargestellt. Im Nachgang wird dann die – mittels der mfNIRS messbare und für die Consumer Neuroscience essentielle – Hirnstruktur des *präfrontalen Kortex* beschrieben.

Konkret werden in diesem dritten Kapitel demnach zuerst die bestehenden neuronalen, bildgebenden Verfahren der Consumer Neuroscience, welche sich insbesondere – aber nicht ausschließlich – zur Untersuchung des präfrontalen Kortex eignen, abgebildet, bevor das innovative bildgebende Verfahren der mfNIRS vorgestellt und die zugrundeliegende Funktionsweise sowie die mit der Methodik verbundenen Vor- und Nachteile dargelegt werden.

Da der Hirnregion des präfrontalen Kortex (PFC) vor allem komplexe kognitive Prozesse des Entscheidungsverhaltens sowie die Koordination von zielgerichteten Verhaltensweisen (z. B. Carlén, 2017; Teffer und Semendeferi, 2012) zugeordnet werden, spielt der PFC – wie zuvor angedeutet – insbesondere im Bereich der Consumer Neuroscience eine exponierte Rolle. Die mfNIRS hat mit ihren technischen Fähigkeiten – welche eine oberflächennahe Messung der neuronalen Aktivität des präfrontalen Kortex zulässt (McCormick et al., 1992) – das Potenzial insbesondere die Hirnregionen des PFCs zu bemessen. Demzufolge wird im letzten Absatz die Hirnregion des PFCs umfassend beschrieben.

3.1 Bestehende neurale bildgebende Verfahren der Consumer Neuroscience

Wie bereits erwähnt, ist es das übergeordnete Ziel dieser Arbeit die Consumer Neuroscience systematisch, durch die Integration der mfNIRS, methodisch weiterzuentwickeln. Um diese methodische Weiterentwicklung darzustellen, sollten bestehende Verfahren der Consumer Neuroscience bekannt sein.

Im Allgemeinen können bildgebende, nicht invasive Verfahren der Consumer Neuroscience als Verfahren definiert werden, welche es ermöglichen, *in vivo* Bilder des menschlichen Gehirns zu erzeugen (Kenning, 2014). Im Wesentlichen lassen sich diese Verfahren in zwei übergeordnete Gruppen unterteilen. So gibt es ***direkte bildgebende Methoden***, die es ermöglichen, sofortige neurophysiologische Reaktionen zu messen, wie beispielsweise die zuvor erwähnte Magnetenzephalographie (MEG) und die Elektroenzephalographie (EEG). Andererseits gibt es ***indirekte bildgebende Verfahren***; Methoden, die auf menschlichen Stoffwechselprozessen basieren und die neuronalen Aktivitätsunterschiede nicht direkt bemessen können. Diesen Verfahren ist neben der – in der Consumer Neuroscience – vielfach zitierten fMRT auch die mfNIRS zuzuordnen.

Im Vergleich zu direkten bildgebenden Verfahren messen indirekte bildgebende Verfahren die Gehirnaktivität unter der Prämisse, dass aktive Hirnregionen mehr Energie und damit mehr sauerstoffreiches Blut – was als ein Proxy zur Quantifizierung der neuronalen Aktivität anhand physiologischer Merkmale gilt – benötigen. Folglich basieren die indirekten bildgebenden Verfahren auf einem korrelativen (manchmal auch kausalen) Ansatz.

Darüber hinaus zeichnet sich die Anwendung der bildgebenden Verfahren durch ihre Prävalenz in der Nutzung aus; hierbei ist anzunehmen, dass die fMRT – als „*goldener Standard*“ – die häufigste Anwendung in der Consumer Neuroscience erfahren hat (Krampe et al., 2018). Der Einsatz eines neurowissenschaftlichen bildgebenden Verfahrens ist jedoch vor allem vom Forschungsschwerpunkt, den technischen Möglichkeiten sowie der Funktionalität abhängig. Um einen Überblick über die gebräuchlichsten direkten und indirekten bildgebenden Verfahren, deren Vor- und Nachteile sowie deren Einsatzfähigkeit zu geben, fasst die folgende Tabelle 1 existierende und in der Consumer Neuroscience angewendete neuropsychologische bildgebende Verfahren zusammen.

Neurale, bildgebende Verfahren der Consumer Neuroscience	Vor- und Nachteile	Forschungsarbeiten	Mobiler Einsatz
Direkte bildgebende Verfahren			
Magnetoenzephalographie MEG	Quantifizierung der neuronalen Aktivität mittels der Messung magnetischer Wellen an der Oberfläche des Kortex + gute zeitliche Auflösung (ermöglicht die Messung von Veränderungen der neurale Aktivität in Sekunden) + nicht-invasives Verfahren - hohe Messkosten - ziemlich komplizierte Datenanalyse - schlechte räumliche Auflösung (begrenzt in ihrem Potenzial Gehirnaktivität des ganzen Kortex zu bemessen)	z.B. Ioannides et al., 2000; Zaltman & Kosslyn, 2000; Ambler et al., 2004 Boto et al., 2018	teilweise
Elektroenzephalographie EEG	Messung von Spannungsschwankungen an der Oberfläche des Kortex + sehr gute zeitliche Auflösung (ermöglicht die Messung von Veränderungen der neurale Aktivität in Millisekunden) + moderate Ausrüstungskosten + unkomplizierte Datenanalyse + nicht-invasives Verfahren - schlechte räumliche Auflösung (begrenzt in ihrem Potenzial Gehirnaktivität des ganzen Kortex zu bemessen) - komplizierte Datenerhebung	z.B. Pynta et al., 2014; Vecchiato et al., 2010; Ohme & Matukin, 2012; Gountas, Gountas, Soutar, & Mavondo, 2014; Boksem & Smids, 2015; Harris, Ciorciari, and Gountas, 2018	teilweise
Indirekte bildgebende Verfahren			
Positronen-Emissions-Tomographie PET	Nuklearmedizinische Technik zur Analyse indirekter metabolischer Prozesse + gute räumliche Auflösung (ermöglicht die Messung und Lokalisierung der neuronalen Aktivität im gesamten Gehirn) - sehr schlechte zeitliche Auflösung (im Vergleich zur EEG) - invasives Verfahren	z.B. Harris et al., 2018	nein
Funktionale Magnetresonanztomographie fMRT	Messung der indirekten, metabolischen Aktivität unter Verwendung der magnetischen Eigenschaft des Blutes (BOLD-Signal) + sehr gute räumliche Auflösung (ermöglicht die Messung und Lokalisierung der neuronalen Aktivität im gesamten Gehirn) + nicht-invasives Verfahren - hohe Messkosten - ziemlich komplizierte Datenanalyse - schlechte zeitliche Auflösung (im Vergleich zur EEG)	z.B. Dimoka, 2010; Falk et al., 2016; Hubert, Hubert, Linzmajer, Kenning, Plassmann, & Ahlert, 2007; Ogawa, Lee, Kay, & Tank, 1990; Knutson, Rick, Wimpe	nein

Tabelle 1. Darstellung der Eigenschaften, Vor- und Nachteile sowie der mobilen Einsatzfähigkeit von existierenden bildgebenden Verfahren (in Anlehnung an: Ahlert, Kenning und Plassmann, 2007; Kenning, 2014)

3.2 Die mobile funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (mfNIRS)

Vor mehr als zweiundzwanzig Jahren demonstrierte Jöbsis (1977), aufbauend auf dem Wissen der relativen Transparenz des menschlichen Gewebes im Nahinfrarotbereich (Scholkmann et al., 2014) die Möglichkeit, Veränderungen in der kortikalen Sauerstoffversorgung bei Erwachsenen während der Hyperventilation mittels der Nahinfrarotspektroskopie zu erkennen (Ferrari und Quaresima, 2012; Jöbsis, 1977; Kopton und Kenning, 2014). Aufbauend auf dieser Pionierarbeit, wurde das bildgebende neurowissenschaftliche Verfahren der fNIRS in vielen – der Consumer Neuroscience verwandten – Forschungsgebieten eingesetzt (z. B. Fishburn et al., 2014; Ferrari und Quaresima, 2016; Schaal, Hepp, Schweda, Wolf und Krampe, 2019). Die hier angesprochenen Forschungsarbeiten legen nahe, dass die **fNIRS** als neurowissenschaftliches stationäres Verfahren durchaus eine valide Messmethode – auch für das Marketing und die Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung – sein kann (Kopton und Kenning, 2014; Kopton, 2015).

Nichtsdestotrotz wurde der Einsatz der **mobilen fNIRS** im Marketing sowie der Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung bis heute noch nicht **systematisch** untersucht. Während vorläufige Forschungsarbeiten den Einsatz der mfNIRS als potenziell möglich erachten (z. B. Kopton und Kenning, 2014) und weitere zu meist in Nachbardisziplinen durchgeführte Studien bereits erste empirische Evidenzen liefern (Gefen et al., 2014; Piper et al., 2014; Von Lühmann et al., 2015, Quaresima & Ferrari, 2016), sollte es dennoch deutlich sein, dass die Anwendung der mfNIRS in den verschiedenen Teilbereichen des Marketings bzw. der Käufer/Konsumentenverhaltensforschung bis heute noch nicht **systematisch validiert** wurde. Bevor der Nutzen dieses innovativen bildgebenden neurowissenschaftlichen Verfahren auch im Marketing, der Marktforschung sowie der Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung anhand der dieser Arbeit zugrundeliegenden Beiträge eruiert wird, ist es zuvor erforderlich, dass (a) grundlegende Funktionsprinzip der (mobilen) fNIRS; (b) die technischen Parameter der mobilen fNIRS und (c) die Vor- und Nachteile, welche mit dem Einsatz der mfNIRS verbunden sind, zu verstehen.

3.3.1 Die Funktionsweise der (m)fNIRS

Nahinfrarotlichtes Licht (Licht in einem Wellenlängenspektrum von 650-950 Nanometern) hat den Vorteil, dass es biologisches Gewebe passieren und so das kortikale Gewebe des menschlichen Gehirns nicht-invasiv durchleuchten kann (Funane, Atsumori, Katura et al., 2014; Jöbsis, 1977; Kopton und Kenning, 2014; Krampe, Strelow, Haas, und Kenning, 2018; McCormick et al., 1992; Scholkmann et al., 2014). Ein weiterer Vorteil ist, dass die im nahinfraroten Licht enthaltenen Photonen²⁹ immer in einer „*bananenförmigen*“ Weise durch das menschliche Gewebe „reisen“ (Okada und Delpy, 2003). Die (mobile) funktionelle Nahinfrarotspektroskopie nutzt diese Eigenschaften, da Teile des emittierten und gestreuten nahinfraroten Lichts von sauerstoffgesättigtem oder sauerstoffungesättigtem Hämoglobin³⁰ absorbiert wird, wodurch die indirekte Quantifizierung der neuronalen Hirnaktivität möglich ist. Konkret ermöglicht die (m)fNIRS durch die Aussendung von nahinfrarotem Licht mittels Dioden (Lichtquellen) und die Aufnahme der Reflexion des nahinfraroten Lichts mittels Optoden (Lichtdetektoren), die indirekte Messung der Gehirnaktivität einer bestimmten, *ex ante*, definierten kortikalen oberflächennahen Hirnregion (z. B. Scholkmann et al., 2014; Quaresima und Ferrari, 2016; Torricelli et al., 2014). Dabei kann durch eine präzise Platzierung der Optoden und Dioden eine „*topografische Karte*“³¹ des menschlichen Kortex erstellt werden, welche es ermöglicht die indirekt bemessende Gehirnaktivität zu lokalisieren und im menschlichen Gehirn zu verorten. Die Durchdringungsrate von nahinfrarotem Licht hängt dabei von der Lichtstreuung, der Absorptionsrate sowie dem Abstand zwischen den Dioden und Optoden ab (Scholkmann et al., 2014; Quaresima und Ferrari, 2016; Torricelli et al., 2014). Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die (mobilen) fNIRS-Messungen am sensitivsten bei einer Lichtdurchdringung von ein bis zwei Zentimetern unterhalb der Schädeldecke sowie bei einem optimalen Trennungsabstand zwischen Optoden und Dioden von etwa drei Zentimetern ist (McCormick et al., 1992; Quaresima und Ferrari, 2016; Torricelli

²⁹ Ein Photon ist die kleinste Einheit des (nahinfraroten) Lichtes. Photonen werden auch Lichtquanten oder Lichtteilchen genannt.

³⁰ Hämoglobin (Hb) ist der eisenhaltige Proteinkomplex, der in den roten Blutkörperchen von Wirbeltieren Sauerstoff binden kann (vgl. Kenning, 2014, S. 90 ff.). Bei indirekten bildgebenden Verfahren, wie beispielsweise der (mobilen) fNIRS, spielt das sauerstoffgesättigte (oxy-Hb) und/oder sauerstoffungesättigte Hämoglobin (deoxy-Hb) eine wichtige Rolle bei der Quantifizierung neuronaler Aktivität.

³¹ Die topografische Darstellung des menschlichen Gehirn erlaubt die Lokalisierung/Verortung von Gehirnstrukturen anhand ihrer räumlichen Lagebeziehung.

et al., 2014). Die Auswahl der Optoden-Dioden Trennung sollte bei einer Messung jedoch immer in Abhängigkeit der NIR-Lichtintensität (z. B. Stärke der Dioden), den Kopfeigenschaften des Probanden sowie dem Alter des Probanden bestimmt werden (McCormick et al., 1992; Quaresima und Ferrari, 2016; Torricelli et al., 2014).

3.3.2 Technische Parameter der (m)fNIRS

Aktuell gibt es bereits eine Vielzahl an kommerziell verfügbaren fNIRS-Systemen, die auf verschiedenen Techniken basieren. Dabei haben die zugrundeliegende Techniken zum Teil ähnliche Merkmale und sind mit etwaigen Vor- und Nachteilen verbunden (Quaresima und Ferrari, 2016, Scholkmann et al., 2014). Die meisten, in den Neurowissenschaften eingesetzten (mobilen) fNIRS-Systeme beruhen auf der Continuous Wave (CW) Methode (Quaresima und Ferrari, 2016; Scholkmann et al., 2014), welche als kostengünstige, leicht transportierbare und kabellose Methodik bekannt ist (Kopton und Kenning, 2014). Das CW-fNIRS-System bemisst dabei die sauerstoffgesättigten, ungesättigten und totalen Hämoglobinkonzentrationen immer in Bezug zu einem Referenzwert von Null.

Ein zweites System ist das Frequenzbereichsverfahren (Frequency-Domain; FD), welches den Kopf mittels intensitätsmoduliertem Licht durchleuchtet und somit Dämpfungen als auch Verzögerungsphasen des versendeten Lichts bemisst (Quaresima und Ferrari, 2016, Scholkmann et al., 2014). Das Frequenzbereichsverfahren kann somit hypothetisch als eine Weiterentwicklung der CW-fNIRS Methode betrachtet werden, da es sowohl die Lichtintensitätsdämpfung als auch die Phasenverschiebung bemessen kann (Fantini, Hueber, Franceschini et al., 1999). Aktuelle Forschung deutet jedoch daraufhin, dass es keinen vorteilhaften methodischen Unterschied zwischen der FD- und CW-fNIRS Methode und den damit zu bemessenden Parametern gibt (Davies, Clancy, Lighter et al., 2017).

Ein drittes System stellt die Zeitbereichstechnik (Time-Domain; TD) dar, welche den Kopf mit kurzen Lichtimpulsen beleuchtet und die Form des Impulses nach der Ausbreitung durch das Gewebe erfasst (Quaresima und Ferrari, 2016). Zeitbereichstechniken haben jedoch in der Regel eine geringe zeitliche Auflösung im Vergleich zur CW Methode, sind oftmals kostenintensiv und können durch die

geringere Intensität des nahinfraroten Lichts keine schwachen, funktionellen, neuronalen Aktivierungsunterschiede darstellen (Scholkmann et al., 2014).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die CW-fNIRS-Systeme im Gegensatz zu FD- und TD-fNIRS-Systemen den Vorteil bieten, kostengünstig und mobil einsetzbar zu sein – ein wichtiger Entscheidungsfaktor bei der Frage, ob die mobile fNIRS im Bereich der Consumer Neuroscience Anwendung finden soll. Die FD- und TD-fNIRS-Techniken bieten wiederum die Möglichkeit optische Eigenschaften von Gewebe zu charakterisieren, die es ermöglichen absolute sauerstoffgesättigte und ungesättigte Hämoglobinkonzentrationsänderungen zu bestimmen.

Wie bereits beschrieben unterscheiden sich die fNIRS-Systeme neben dem zugrundeliegenden technischen Verfahren zudem in der Anzahl der Optoden und Dioden, also dem potenziell messbaren, kortikalen Bereich. So gibt es umfangreiche fNIRS-Systeme, welche den ganzen menschlichen Kortex abdecken und bemessen können. Ergänzend gibt es ebenfalls Ein- bis Zwei-Kanal-fNIRS-Systeme, welche lediglich einen spezifischen Bereich des menschlichen Kortex bemessen können. Die hier dargestellte Vielfalt an (mobilen) fNIRS-Systemen spiegelt sich auch in den am Markt geforderten Anschaffungskosten wieder. Während Ein-Kanal-fNIRS-Systeme für bereits um die 1.000 € erworben werden können, werden für fortschrittlichere Gerätschaften bis zu 100.000 € verlangt (vgl. Scholkmann et al., 2014).

3.3.3 Vorteile und Nachteile der mfNIRS

Wie jede wissenschaftliche Methodik ist auch die mfNIRS, als innovatives, bildgebendes, neurales Verfahren für die Consumer Neuroscience mit etwaigen Vor- und Nachteilen verbunden. Diese sollen im Nachgang im Detail dargestellt werden (vgl. auch Krampe et al., 2018; Quaresima und Ferrari, 2016; Kopton und Kenning, 2014; Scholkmann et al., 2014; Torricelli et al., 2014).

Die mit der mfNIRS verbundenen **Vorteile** sind:

(1) Die mfNIRS ist ein nicht invasives, neurales, bildgebendes Verfahren das es ermöglicht die Hirnaktivität indirekt zu bemessen (Nguyen, Tremblay, Pouliot et al.,

2012). So müssen im Vergleich zur PET keine fluoreszierenden Tracer injiziert werden, um eine Bildgebung der Hirnaktivität zu ermöglichen.

(2) Die mobile Einsetzbarkeit der mfNIRS ermöglicht es, neurale Aktivität in natürlichen Umgebungen zu bemessen (Krampe et al., 2018).

(3) Das der mfNIRS zugrundeliegende nahinfrarote Licht hat den Vorteil, dass es menschliches Gewebe nicht invasiv durchdringen kann. Zudem „reisen“ die im nahinfraroten Licht enthaltenen Photonen immer in einer „*Bananenform*“ durch das Gewebe (Okada und Delpy, 2003). Dies ermöglicht es, dass zerstreute und reflektierte nahinfrarote Licht mittels Optoden aufzufangen (Kopton und Kenning, 2014).

(4) Die Eindringungstiefe des nahinfraroten Lichts von ein bis zwei Zentimetern ermöglicht es zudem relevante kortikale neurale Prozesse der Consumer Neuroscience zu bemessen (McCormick et al., 1992; Quaresima und Ferrari, 2016; Torricelli et al., 2014) – insbesondere die Hirnregionen des OFC, dmPFC und dlPFC sind somit messbar.

(5) Im Vergleich zu anderen neurowissenschaftlichen Verfahren erlaubt die (mobile) fNIRS nicht nur sauerstoffgesättigtes Hämoglobin zu quantifizieren, sondern zudem auch die Konzentration von ungesättigtem Hämoglobin sowie die totale Konzentration von gesättigtem und ungesättigtem Hämoglobin zu bestimmen (Quaresima und Ferrari, 2016). Dies ermöglicht eine interne Validierung der gewonnenen Daten vorzunehmen.

(6) Die mfNIRS erlaubt Echtzeitmessungen, welche die Quantifizierung der Hirnaktivität bei der Ausführung einer natürlichen Aktivität – z. B. bei einem Einkauf im (online) Markt – zulässt (z. B. Krampe et al., 2018; Peck, Afegan, Yuksel et al., 2014; Nissen, Krampe, Schütte und Kenning, 2019).

(7) Die mittels der mfNIRS gewonnenen Daten erlauben eine vorsichtige Lokalisierung der mit dem neuronalen Prozess assoziierten Hirnregion. Zudem kann die Konnektivität von Hirnregionen mittels der mfNIRS analysiert werden (z. B. Nguyen, Babawale, Kim, Jo, Lui, Kim und Hong, 2018; Baker, Bruno, Gundran, Hosseini und Reiss, 2018).

(8) Im Vergleich zu anderen in der Consumer Neuroscience eingesetzten neuronalen bildgebenden Verfahren, ist die mfNIRS ein preiswertes, flexibles, kabelloses und transportierbares Verfahren (Kopton und Kenning, 2014). Hierbei zeichnet sich die mfNIRS als ein „leises“ Verfahren im Vergleich zur fMRT aus und ist zudem im Vergleich zur EEG robuster gegenüber (Bewegungs-)Artefakten (Kopton und Kenning, 2014).

(9) Zuletzt kann die mfNIRS auch mit anderen neurowissenschaftlichen Verfahren kombiniert werden. Hierbei ist beispielsweise die fMRT, die EEG, die PET oder aber das Eye-Tracking zu nennen (Kopton und Kenning, 2014).

Neben diesen Vorteilen, welche noch einmal die Relevanz der Forschungsfrage – der Prüfung des Einsatzes der mobilen fNIRS im Forschungsfeld der Consumer Neuroscience – verdeutlichen, gibt es auch **Nachteile**, die mit der mobilen fNIRS assoziiert sind. Diese sollen im Folgenden dargestellt werden:

(1) Die mfNIRS kann im Vergleich zur fMRT keine Informationen über die anatomische Struktur des menschlichen Gehirns liefern. Somit ist keine *exakte* Bestimmung der räumlichen neuronalen Aktivität, ohne den parallelen Einsatz der (f)MRT, möglich (Kopton und Kenning, 2014).

(2) Die Datenqualität der erhobenen mfNIRS Daten ist davon abhängig, wie genau die Dioden und Optoden auf der Kopfoberfläche platziert wurden (Scholkmann et al., 2014). So kann die mfNIRS Messung beispielsweise durch externes Licht oder die Absorptionseigenschaften von dunklem oder dichtem Haar beeinflusst werden. Um diese potenziellen Störvariablen zu reduzieren, sollte demnach das Haar, welches zwischen Dioden und Optoden und der Kopfhaut liegt, manuell entfernt bzw. verschoben werden; zudem sollte der Einsatz einer Licht schützenden Kappe geprüft werden.

(3) Tieferliegende Hirnstrukturen, welche bereits in einer Vielzahl von Studien ihre Relevanz für das Forschungsfeld der Consumer Neuroscience dargestellt haben, wie u. a. die Hirnregion der Amygdala, Basal Ganglia, des Nucleus Accumbens oder der Insula (z. B. Knutson et al., 2007; Knutson et al., 2001; Sergerie, et al., 2008; Kerns et

al., 2004), können mit der mfNIRS nicht bemessen werden (McCormick, Stewart, Lewis, Dujovny und Ausman, 1992).

(4) Die Trennung der hämodynamischen, kortikalen Veränderungen von Zerebralgewebe und Extrazerebralgewebe ist schwierig, da u. a. der Blutfluss der Muskeln der Kopfhaut oder des Schädels das fNIRS-Signal beeinflussen kann (Tachtsidis, Leung, Chopra et al., 2009). Demzufolge sind präventive, methodische oder statistische Korrekturmaßnahmen notwendig um etwaige konfundierende Einflüsse zu eliminieren (z. B. Funane et al., 2014).

(5) Aufbauend auf den zuvor genannten technischen Parametern (u. a. der ideale Abstand von drei Zentimetern zwischen den Optoden und Dioden), ist es unmöglich den gesamten Kortex im Detail – im Millimeterbereich – abzudecken (Quaresima und Ferrari, 2016; Torricelli et al., 2014).

(6) Durch den bis heute noch innovativem Charakter der (mobile) fNIRS in der Consumer Neuroscience, gibt es aktuell noch keine standardisierten Anwendungs- und Analysemethoden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die mfNIRS aufgrund der jüngsten Entwicklung – unter Einbezug der damit verbundenen Vor- und Nachteile – zu einem validen bildgebenden Verfahren der Neurowissenschaften herangereift ist (Scholkmann et al., 2014). Unter Berücksichtigung der mit der mfNIRS assoziierten technischen Möglichkeiten, verspricht die mfNIRS demzufolge auch für die Consumer Neuroscience vielversprechendes Potenzial.

Bevor die Validität und der Nutzen des hier dargestellten innovativen bildgebenden Verfahren der mfNIRS für die Consumer Neuroscience unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten anhand der dieser Arbeit zugrundeliegenden Beiträge systematisch untersucht wird, wird im Folgenden jedoch zunächst – wie bereits erörtert – die für die Consumer Neuroscience essentielle Hirnregion des präfrontalen Kortex (PFC) vorgestellt.

3.3 Die Rolle des präfrontalen Kortex in der Consumer Neuroscience

Wie bereits dargestellt, fokussiert die Consumer Neuroscience neurale Vorgänge im menschlichen Gehirn, welche mit marketingrelevanten Entitäten bzw. dem Käufer-/Konsumentenverhalten einhergehen (Kenning und Plassmann, 2005). Um diese neuronalen Prozesse wissenschaftlich zu durchdringen ist es unerlässlich, Grundkenntnisse über die menschliche Neuroanatomie zu besitzen. Folglich fokussiert dieser Absatz einen Teilbereich des menschlichen Gehirns, der eine wesentliche Rolle bei der neuronalen Betrachtung von Käufer-/Konsumentenverhalten und den damit einhergehenden, neuronalen Prozessen einnimmt. Dieser Teilbereich des menschlichen Gehirns ist der *präfrontale Kortex* (PFC). Wie bereits erwähnt erlaubt die mfNIRS und die damit verbundene räumliche Auflösung die Bemessung von kortikalen, oberflächennahen Hirnstrukturen. Demzufolge sollte deutlich sein, dass der PFC auch vor dem Hintergrund der mit der mfNIRS verbundenen technischen Möglichkeiten sowie in Anbetracht der übergeordneten Zielstellung dieser Arbeit, eine essentielle und potenziell messbare Hirnregion darstellt.

Der PFC, welcher im Vergleich zum Rest des menschlichen Kortex im Laufe der Evolution an Größe gewann, nimmt heute circa 30% der gesamten menschlichen kortikalen Fläche ein (Carlén, 2017) und spielt eine entscheidende Rolle bei der Betrachtung von marketingrelevanten neuropsychologischen Prozessen (z. B. Deppe et al., 2005; Knutson et al., 2007; Plassmann et al., 2008; Krampe et al., 2018, Yoon, Gonzalez, Bechara et al., 2012). Dennoch, auch wenn der PFC und die damit einhergehenden neuropsychologischen Prozesse das menschliche Handeln signifikant beeinflussen, sollte deutlich sein, dass das Gehirn immer als Ganzes betrachtet werden muss. Dies erscheint insbesondere vor dem Hintergrund, dass das Gehirn ein zusammenhängendes neurales System ist, welches aus verschiedenen neuronalen Netzwerken besteht, relevant. Zudem spielen die in diesem Absatz nicht thematisierten – zu meist subkortikalen – Hirnregionen ebenfalls eine entscheidende Rolle, welche für die Funktionalität der menschlichen Kognition zwingend erforderlich sind.

Die evolutionär geprägte Größenzunahme des präfrontalen Kortex und die damit verbundene spezifische Reorganisation wird im Wesentlichen dem Faktor der immer komplexer werdenden Lebensumgebungen zugeordnet (Teffer und Semendeferi, 2012). Dem PFC werden darum vor allem komplexe kognitive Prozesse zugeschrieben, die unter dem Begriff "*Exekutivfunktionen (executive functions)*" zusammengefasst

werden können (Teffer und Semendeferi, 2012). Die hier angesprochenen Exekutivfunktionen beinhalten u. a. Aufmerksamkeitsprozesse, Prozesse des Arbeitsgedächtnisses, Prozesse des Entscheidungsverhaltens sowie die Koordination von zielgerichteten Verhaltensweisen (z. B. Carlén, 2017; Teffer und Semendeferi, 2012) – also höhere, komplexe neuropsychologische Prozesse – welche insbesondere in der Consumer Neuroscience eine entscheidende Rolle spielen.

Eine erst kürzlich im renommierten Journal „*Science*“ veröffentlichte Literaturübersicht (Carlén, 2017), die eine funktionsorientierte systematische Strukturierung des PFC vornimmt, ermöglicht es, neuropsychologische Prozesse spezifischen Teilbereichen des präfrontalen Kortex zuzuordnen (Abbildung 3).

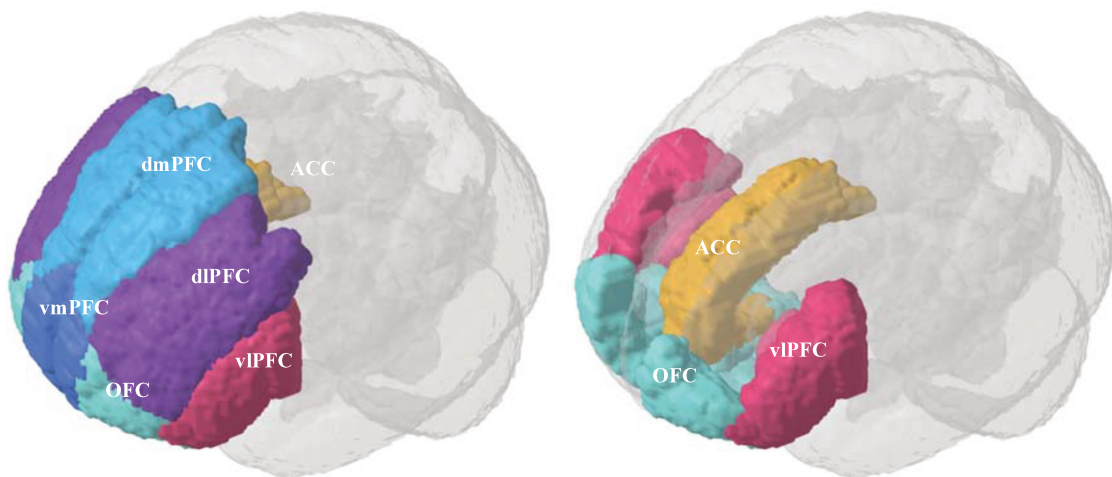


Abbildung 3. Strukturelle Darstellung der Teilbereiche des menschlichen präfrontalen Kortex (Carlén, 2017)

Betrachtet man die hier dargestellten Strukturierungen der Hirnregionen unter der Prämisse, inwieweit diese eine Rolle im Forschungsgebiet der Consumer Neuroscience spielen, lassen sich drei zentrale Hirnregionen ausmachen, welche im Nachgang im Detail betrachtet werden sollen:

Hier ist zum einen der dorsolaterale, präfrontale Kortex (dlPFC) zu nennen. Der dlPFC wurde in einer Vielzahl von Studien der Consumer Neuroscience untersucht (vgl. Harris et al., 2018). Die dabei erlangten Forschungsergebnisse weisen u. a. darauf hin, dass komplexe kognitive Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozesse im dlPFC verortet werden können (z. B. Deppe et al., 2005; Knutson et al., 2007; Krampe et al., 2017; Krampe et al. 2018).

Des Weiteren konnte der orbitofrontale Kortex (OFC) als eine zentrale Hirnregion der Consumer Neuroscience ausgemacht werden. Der OFC ist dabei insbesondere mit

Entscheidungsprozessen und marketingrelevanten Entitäten wie beispielsweise der Zahlungsbereitschaft assoziiert (z. B. Kühn, Strelow und Gallinat, 2016; Plassmann et al., 2007, 2008; Wallis, 2007). Zudem konnte der ventromediale/ventrolateral Kortex (vm/vlPFC) mit neuropsychologischen Prozessen, wie der Entscheidung zugrundeliegenden, individuellen Wertebrechung und Selbstkontrolle bei der Entscheidungsfindung, verbunden werden (z. B. Deppe et al., 2005; Hare et al., 2009, Hare et al., 2010).

Während die dargestellten Forschungsarbeiten die übergeordnete Rolle des PFC im Forschungsbereich der Consumer Neuroscience darlegen, sollte zudem deutlich sein, dass neben dem PFC auch weitere subkortikale Hirnregionen – wie beispielsweise der Nucleus Accumbens (i), der im Allgemeinen mit Belohnungsaspekten assoziiert ist (z. B. Knutson, Adams, Fong und Hommer, 2001); die Amygdala (ii), die mit emotionalen Verarbeitungsprozessen verbunden ist (z. B. Sergerie, Chochol und Armony, 2008) oder der Anterior Cingulate Kortex (ACC) (iii), der kognitive Prozesse der Konflikterkennung sowie der Konfliktlösungen integriert (z. B. Kerns, Cohnen, MacDonald, Cho, Stenger und Carter, 2004) – essentiell für die Untersuchung von marketingrelevanten Entitäten sind. Hierbei sind die einzelnen Hirnregionen immer als Teil eines neuronalen, sich gegenseitig beeinflussenden Netzwerks, anzusehen.

Aufbauend auf den mit der mfNIRS assoziierten Vor- und Nachteilen lässt sich zusammenfassend festhalten, dass das Verfahren der mfNIRS im Besonderen für die Bemessung des präfrontalen Kortex geeignet ist. Gleichwohl sollten die technischen Fähigkeiten bei der Anwendung der mfNIRS Berücksichtigung finden. Dieser Erkenntnis folgend wird im *vierten* Kapitel eine systematischen Einordnung der dieser Arbeit zugrundeliegenden wissenschaftlichen Beiträge – zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage – vorgenommen.

4. Systematische Einordnung der Beiträge zur Bearbeitung der Forschungslücke

In diesem *vierten* Kapitel werden die acht Beiträge vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse zur methodischen Weiterentwicklung der *Consumer Neuroscience* systematisiert dargestellt. Der Zweck dieser Systematisierung besteht darin, eine klare Struktur des Erkenntnisgewinns der zugrundeliegenden Zielstellung, darzustellen. Konkret versucht diese Arbeit zu evaluieren, ob die innovative, mobil einsetzbare neurowissenschaftliche Methodik der funktionellen Nahinfrarotspektroskopie, absatzwirtschaftlich relevantes und nicht direkt beobachtbares Verhalten auf neuraler Ebene valide messen kann. Ferner werden wesentliche marketingrelevante Fragestellungen der Consumer Neuroscience beantwortet.

Die systematische Darstellung der Beiträge (Abbildung 4) fokussiert dementsprechend nicht die Beschreibung der Erhöhung des *allgemeinen* Kenntnisstands, sondern verdeutlicht vorrangig den Erkenntnisgewinn, welcher zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage notwendig ist.

Aufbauend auf primären Forschungsarbeiten (Kopton und Kenning, 2014; Pipers et al., 2014; Quaresima und Ferrari, 2016) evaluiert der erste Beitrag im Wesentlichen den allgemeinen Nutzen der fNIRS im Forschungsfeld der Consumer Neuroscience bzw. der *Käufer/Konsumentenverhaltensforschung*. Die Beiträge zwei, drei, vier und fünf, untersuchen *systematisch* – aufbauend auf den Ergebnissen des ersten Beitrages –, ob auch die innovative mobileinsetzbare mfNIRS ein valides, bildgebendes Verfahren in den verschiedenen *Forschungsbereichen des Marketings* darstellt. Konkret wird hierzu im zweiten Beitrag der generelle Nutzen der mfNIRS im Bereich der *Käufer/Konsumentenverhaltensforschung* untersucht; während der dritte Beitrag das Ziel verfolgt die mfNIRS im spezifischen Forschungsbereich der „*Decision Neuroscience*“ zu validieren. Der vierte Beitrag eruiert wiederum, ob das Käuferverhalten mittels der mfNIRS auch in einem realistischen Umfeld – nämlich am PoS – untersucht werden kann, wodurch das Forschungsfeld der „*Shopper Neuroscience*“ eröffnet wird. Zuletzt wird im fünften Beitrag der Einsatz der mfNIRS im Anwendungsfeld der *Markenführung* erforscht.

Die Beiträge sechs und sieben weisen zudem darauf hin, dass die mfNIRS auch in Marketing verwandten Forschungsdisziplinen, wie beispielsweise in der

NeuroIS-Forschung, einen signifikanten Erkenntnisgewinn liefern kann. Ferner wird im achten Beitrag – den Erkenntnissen der Beiträge sechs und sieben folgend – die Anwendung der mfNIRS im *digitalen Marketing*, der *digitalen Shopper Neuroscience*, eruiert.

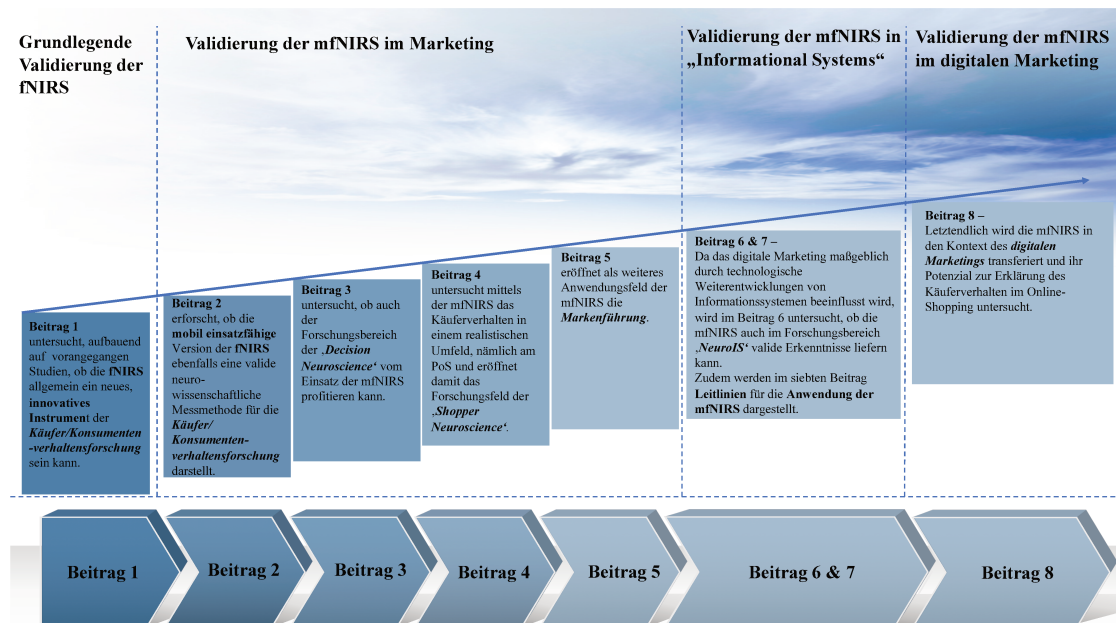


Abbildung 4. Darstellung der systematischen Einordnung der Beiträge (Quelle: Eigene Darstellung)

Zur besseren Einordnung der acht Beiträge wird im Folgenden noch einmal explizit dargelegt, in welchem Journal der jeweilige Beitrag veröffentlicht bzw. eingereicht wurde; welche Zielstellung der Beitrag verfolgt; welchen Anwendungsbereich der Beitrag abdeckt; welche Herangehensweise dem Beitrag zugrunde liegt sowie welchen Erkenntnisgewinn der Beitrag für das Marketing bzw. die Consumer Neuroscience aufweist.

Beitrag 1: „Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): A new Tool for Consumer Research?“

Beitrag 1 wurde in den “*Proceedings of the Advances of Consumer Research 2016*” veröffentlicht. Das **Ziel** dieses Beitrags bestand darin, die funktionelle Nahinfrarotspektroskopie als neurales bildgebendes Verfahren dem **Anwendungsfeld der Käufer- /Konsumentenverhaltensforschung** vorzustellen. Um dieses Ziel zu erreichen wurde im Beitrag eine experimentelle laborbasierte Studie durchgeführt. Die theoretische Grundlage der Studie stellte hierbei das Konstrukt des „*Framing-*

*Effektes*³² und die damit verbundene Relevanz für die Produktplatzierung dar. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die fNIRS als bildgebendes Verfahren insbesondere die neurale Aktivität, der durch den Framing-Effekt ausgelösten neuronalen Prozesse, im präfrontalen Kortex (PFC) bemessen kann. So liefern diese Studienergebnisse – aufbauend auf bereits existierenden Forschungsergebnissen (z. B. Kopton und Kenning) – einen Hinweis, dass die fNIRS auch im Bereich der Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung eingesetzt werden kann.

Beitrag 2: „Leaving the Lab: Can Mobile fNIRS Enhance Consumer Research“

Aufbauend auf den Erkenntnissen des ersten Beitrages wurde im zweiten Beitrag – welcher in den *“Proceedings of the Advances of Consumer Research 2017”* publiziert wurde – erforscht, ob die **mobil einsetzbare** Version der **fNIRS** ebenfalls ein valides, neurowissenschaftliches Verfahren für die **Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung** darstellt. Der Beitrag verfolgt somit das Ziel, anhand einer experimentellen Validierungsstudie, die mfNIRS als ein geeignetes bildgebendes Verfahren zur Messung der neuralen Aktivität von präfrontalen Hirnstrukturen zu validieren. Um dieses Ziel zu erreichen wurde ein robuster, marketingrelevanter neuraler Effekt mittels der mfNIRS wissenschaftlich durchdrungen. Hierzu wurde eine experimentelle Replikationsstudie durchgeführt. Die in diesem Beitrag publizierten vorläufigen Ergebnisse weisen darauf hin, dass der hier angesprochene *„First-Choice-Brand Effekt (FCB-Effekt)“* (Deppe et al., 2005), aufbauend auf den technischen Möglichkeiten der mfNIRS, teilweise repliziert werden kann – was die Validität und Reliabilität der mfNIRS im Forschungsbereich der Käufer/Konsumentenverhaltensforschung bestätigt.

³² Der „Framing-Effekt“ (auch Einrahmungseffekt genannt) besagt, dass unterschiedliche Formulierungen oder Darstellungen einer Botschaft – bei gleichem Inhalt – das Verhalten des Empfängers unterschiedlich beeinflussen (Tversky & Kahneman, 1981).

Beitrag 3: „Mobile fNIRS a New Tool for Decision Neuroscience”

Beitrag 3 wurde auf dem „*Interdisciplinary Symposium of Decision Neuroscience 2017*“ an der „Stanford University“ vorgestellt. Aufbauend auf den zweiten Beitrag verfolgt der dritte Beitrag ebenfalls das **Ziel**, anhand einer experimentellen Validierungsstudie, die mfNIRS als ein geeignetes bildgebendes Verfahren zur Messung der neuronalen Aktivität von präfrontalen Hirnstrukturen zu validieren. Die im dritten Beitrag dargestellten vorläufigen Ergebnissen weisen ebenfalls daraufhin, dass die mfNIRS im Forschungsbereich der „*Decision Neuroscience*“ zuverlässig eingesetzt werden kann.

Beitrag 4: „The Application of Mobile fNIRS to “Shopper Neuroscience” – First Insights from a Merchandising Communication Study”

Beitrag 4 wurde im „*European Journal of Marketing*“ publiziert. Die in diesem Beitrag dargestellten Studien verfolgen das **Ziel**, die neuronalen Reaktionen von Käufern und Konsumenten auf verschiedene PoS-Kommunikationsstrategien in der Einkaufsstätte, mittels der mobilen funktionellen Nahinfrarotspektroskopie, zu untersuchen. Hierzu wurden zwei laborbasierte experimentelle Studien durchgeführt, bei welchen Käufer und Konsumenten gebeten wurden ein realistisches Einkaufszenario virtuell zu durchlaufen, während ihre neurale, präfrontale Hirnaktivität bemessen wurde. Die Ergebnisse des vierten Beitrages weisen darauf hin, dass die mfNIRS eine valide Methode zur Untersuchung der neuronalen Aktivität des präfrontalen Kortex (PFC) – im **Anwendungsbereich der „Shopper Neuroscience“** (Krampe et al., 2018) – darstellt. Konkret zeigen die in diesem Beitrag gewonnenen Ergebnisse, dass die spezifische Hirnregion des orbitofrontalen Kortex (OFCs) entscheidend für die Verarbeitung von PoS-Kommunikationsmaßnahmen ist und somit eine exponierte Rolle bei der neuronalen Effektivitätsbewertung einer Kommunikationsmaßnahme spielt. Ergänzend konnten anhand einer explorativen, faktoriellen fNIRS-Datenanalyse zwei übergeordnete neurale Netzwerke ausgemacht werden, welche für die Verarbeitung sowie die Interpretation von PoS-Kommunikationsmaßnahmen verantwortlich sind.

Beitrag 5: „The Application of Mobile fNIRS in Marketing Research – Detecting the ‘First-Choice-Brand’ Effect“

Beitrag 5 wurde im Journal *“Frontiers in Human Neuroscience“* veröffentlicht. Aufbauend auf den vorläufigen Ergebnissen des zweiten und dritten Beitrages, verfolgt der fünfte Beitrag das **Ziel**, die mfNIRS, vor dem Hintergrund der übergeordneten Fragestellung als ein neurales bildgebendes Verfahren im marketingspezifischen Forschungsbereich der **Markenführung**, zu validieren. Dem Ziel folgend, wurde ein konvergenter Validitätsansatz gewählt, bei welchem ein robuster, marketingrelevanter Effekt – nämlich der *FCB-Effekt* (Deppe et al., 2005) – mittels der mfNIRS durchleuchtet wird. Im Gegensatz zu den bereits beschriebenen vorläufigen Studien der Beiträge 2 und 3, zeichnet sich die in diesem Beitrag erwähnte Studie durch eine erhöhte Stichprobengröße sowie eine erweiterte Datenanalyse aus.

Die in diesen Beitrag gewonnenen Erkenntnisse sind in Bezug auf die übergeordnete Forschungsfrage zweigeteilt. So zeigen die Ergebnisse hypothesenkonform, dass die mfNIRS die reduzierte neurale Aktivität im dlPFC – welche durch den FCB-Effekt ausgelöst wird – bemessen kann, nicht aber die mit dem FCB-Effekt assoziierte erhöhte neurale Aktivität in tieferliegenden Hirnregionen, wie dem ventromedialen, präfrontalen Kortex (vmPFC), darstellen kann.

Diese Ergebnisse liefern demnach nicht nur wichtige Antworten auf die Fragen „Ob?“ es sinnvoll erscheint die mfNIRS im Marketing beziehungsweise der Consumer Neuroscience einzusetzen, sondern beantworten ebenfalls die Frage „Wann?“ und „Wie?“ die mfNIRS eingesetzt werden kann.

Beitrag 6: „Beyond Traditional Neuroimaging: Can mobile fNIRS Add to NeuroIS“

Der sechste Beitrag wurde in *„Information Systems and Neuroscience 2017“* veröffentlicht. **Ziel** des Beitrages war es, den **Anwendungsbereich** der innovativen mfNIRS auf das Forschungsfeld *Informational Systems*³³ auszudehnen. Ferner wird auf aktuelle neurowissenschaftliche Forschungsarbeiten verwiesen, welche den Nutzen

³³ Das Forschungsfeld „Information Systems Research“ (IS research) orientiert sich am Ideal der behavioristischen Sozialforschung, d. h. es werden tatsächliche Formen betrieblicher Entwicklung sowie die Einführung und Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien untersucht. Die IS-Forschung unterscheidet sich hierbei von der Wirtschaftsinformatik hinsichtlich der Forschungsziele sowie der eingesetzten Forschungsmethoden (Frank, Schauer & Wigand, 2008) und ist weitgehend von der US-amerikanischen internationalen Forschungsszene geprägt (z. B. Keen, 1980).

des bildgebenden Verfahrens der mfNIRS in der Consumer Neuroscience darstellen sowie zukunftssträchtige Forschungsideen im Forschungsbereich *NeuroIS* vorschlagen. Der Beitrag thematisiert zudem die praktisch-normativen Implikationen im Forschungsfeld *NeuroIS*, welche mit der Integration der mfNIRS verbunden sind.

Beitrag 7: „The Application of Mobile functional Near-Infrared Spectroscopy for Information Systems Research“

Das Ziel des siebten – noch nicht veröffentlichten – Beitrages, einer methodischen Literaturübersicht, ist es Wissenschaftlern und Praktikern den Nutzen der mfNIRS zu veranschaulichen und gleichzeitig umfassende Leitlinien zur Anwendung der mfNIRS bereitzustellen. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Literaturübersicht weisen darauf hin, dass Wissenschaftler ein besonderes Augenmerk auf die Versuchsplanung, der multimodalen Kombination der mfNIRS mit anderen neurowissenschaftlichen Methoden, der Datenanalyse sowie der Dateninterpretation legen sollten.

Beitrag 8: „Utilizing Mobile fNIRS to Investigate Neural Correlates of the TAM in eCommerce“

Der achte Beitrag wurde in den *“Proceedings of the International Conference on Information Systems“* publiziert. Inhaltlich betrachtet der achte Beitrag, aufbauend auf den zuvor dargestellten Ergebnissen der Beiträge sechs und sieben, die **Anwendung** der mfNIRS im **digitalen Marketing**, dem *E-Commerce*. Anhand eines ökologisch validen experimentellen Forschungsdesigns wird in der diesem Beitrag zugrundeliegenden Studie untersucht, ob die mfNIRS ebenfalls ein valides bildgebendes Verfahren im digitalen Marketing – im Speziellen im *E-Commerce* – darstellt. Die gewonnenen Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass die mobile fNIRS in der Lage ist wichtige Konstrukte, welche für die Nutzung, die Benutzerfreundlichkeit sowie die Kaufabsicht entscheidend sind (Davis, 1985; Davis et al. 1989), in einem ökologisch validen Umfeld valide bemessen kann. Folglich lässt sich festhalten, dass die mfNIRS ebenfalls eine zuverlässige und valide Methode – auch im Bereich des *digitalen Marketings* sowie der *digitalen „Shopper Neuroscience“* – ist.

Tabelle 2. Systematische Einordnung der Beiträge eins bis acht

Autoren, Journal und aktueller Stand der Begutachtung	Zielsetzung des Beitrags	Herangehensweise	Anwendungsbereich
Grundlegende Validierung der fNIRS			
Beitrag 1: “Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): A new Tool for Consumer Research“ (veröffentlicht)			
Autoren: Caspar Krampe, Enrique Strelow und Peter Kenning			
Veröffentlicht als „Working Paper“ in <i>Advances of Consumer Research</i> (2016), Berlin, Germany <i>Volume 44</i> , Seite 744-744.	Untersuchung der generellen Einsetzbarkeit der fNIRS	Experimentelle Laborstudie	Verhaltensforschung/ Marketing
(Ranking: SJR 2017, “0.16”, Q3 (best quartile) Marketing; VHB-Jourqual 3 2016, “C”)			
Validierung der mfNIRS im Marketing			
Beitrag 2: „Leaving the Lab: Can Mobile fNIRS Enhance Consumer Research?“ (veröffentlicht)			
Autoren: Caspar Krampe, Nadine Gier, Enrique Strelow und Peter Kenning			
Veröffentlicht als „Working Paper“ in <i>Advances of Consumer Research</i> (2017), San Diego, USA <i>Volume 45</i> , Seite 1041-1041.	Validierung der mfNIRS im Bereich der Käufer- /Konsumentenverhaltensforschung	Experimentelle Laborstudie	Consumer Neuroscience/ Marketing
(Ranking: SJR 2017, “0.16”, Q3 (best quartile) Marketing; VHB-Jourqual 3 2016, “C”)			

Autoren, Journal und aktueller Stand der Begutachtung	Zielsetzung des Beitrags	Herangehensweise	Anwendungsbereich
Beitrag 4: „Mobile fNIRS a new Tool for Decision Neuroscience“ (veröffentlicht)			
Autoren: Caspar Krampe, Nadine Gier, Enrique Strelow und Peter Kenning			
Veröffentlicht als „Working Paper“ in Interdisciplinary Symposium in Decision Neuroscience (2017), Stanford, USA	Validierung der mfNIRS im Bereich der „Decision Neuroscience“	Experimentelle Laborstudie	Decision Neuroscience
(Ranking: SJR 2017, “not ranked”; VHB-Jourqual 3 2016, “not ranked”)			
Beitrag 2: „The Application of mobile fNIRS ‘Shopper Neuroscience’ – first Insights from a Merchandising Communication Study“ (veröffentlicht)			
Autoren: Caspar Krampe, Enrique Strelow, Alexander Haas und Peter Kenning			
Veröffentlicht als “Full Paper” im <i>European Journal of Marketing</i> (2018)	Untersuchung der spezifischen Einsetzbarkeit der mfNIRS im Rahmen einer PoS-Kommunikationsstudie	Experimentelle Laborstudie	Consumer Neuroscience/ Shopper Neuroscience
(Ranking: SJR 2017, “0.97”, Q1 (best quartile) Marketing; VHB-Jourqual 3 2016, “C”)			
Beitrag 5: „The Application of Mobile fNIRS in Marketing Research – Detecting the ‘First-Choice-Brand’ Effect“ (veröffentlicht)			
Autoren: Caspar Krampe, Nadine Gier und Peter Kenning			
Veröffentlicht als “Full Paper” in <i>Frontier in Human Neuroscience</i> (2018)	Validierung der mfNIRS im Marketing	Experimentelle Laborstudie	Marketing/Consumer Neuroscience
(Ranking: SJR 2017, “1.47”, Q1 (best quartile) Behavioral Neuroscience; VHB-Jourqual 3 2016, “not ranked”)			

Autoren, Journal und aktueller Stand der Begutachtung	Zielsetzung des Beitrags	Herangehensweise	Anwendungsbereich
Validierung der mfNIRS in „Informational Systems“			
Beitrag 6: „Beyond Traditional Neuroimaging: Can Mobile fNIRS Add to NeuroIS“ (veröffentlicht)			
Autoren: Caspar Krampe, Nadine Gier und Peter Kenning			
Veröffentlicht als „Book Chapter“ in <i>Information Systems and Neuroscience</i> (2018),	Begutachtung der Nützlichkeit der mfNIRS im Forschungsfeld Information Systems	Literatur Review	Neuro Informational Systems Research (NeuroIS)
(Ranking: SJR 2017, “not ranked”; VHB-Jourqual 3 2016, “not ranked”)			
Beitrag 7: „The Application of Mobile functional Near-Infrared Spectroscopy for Information Systems Research“ (noch nicht veröffentlicht)			
Autor: Caspar Krampe			
Wird als „Full Paper“ eingereicht werden	Darstellung von Leitlinien „wann“ und „wie“	Literatur Review	Informational Systems Research Digital Marketing Research
Validierung der mfNIRS im digitalen Marketing			
Beitrag 8: „Utilizing Mobile fNIRS to Investigate Neural Correlated of the TAM in eCommerce“ (veröffentlicht)			
Autoren: Anika Nissen, Caspar Krampe, Peter Kenning und Reinhard Schütte			
Veröffentlicht als „Working Paper“ in <i>Proceedings of the International Conference on Information Systems</i> (2019), München, Germany	Untersuchung der grafischen Benutzeroberfläche mittels der mfNIRS	Experimentelle Laborstudie	Marketing/ eCommerce Research
(Ranking: SJR 2017, “not ranked”, VHB-Jourqual 3 2016, “A”)			

5. Ausgewählte Beiträge zur Beantwortung der Forschungsfrage

5.1 Beitrag 1: Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): A new Tool for Consumer Research?

5.1.1 Short Abstract

As a new method for consumer research our study aims to validate the functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) in a laboratory experiment. Preliminary results indicate that the fNIRS is indeed a reasonable neuroscientific method to study consumer behaviour.

5.1.2 Extended Abstract

The implementation and application of new methods to consumer research has a long tradition. While in the early beginning research was predominantly based on observation and description, in the 20th century consumer behaviour has often been explored with pencil-paper questionnaires (Berkman & Falk, 2013). Recently, neuroscientific techniques and methods, in particular neuroimaging methods, are used to “shed light” on consumer behaviour (Ariely & Berns, 2010; Plassmann, Ramsøy, & Milosavljevic, 2012). As Shiv et al. (2005) highlighted neuroimaging methods (1) might provide confirmatory evidence regarding existing problems, (2) help us to understand underlying processes, (3) redefine existing conceptualizations and (4) provide methodologies for testing new and existing theories. Therefore, neuroscientific methods might help consumer research to overcome existing methodological and theoretical weaknesses e.g. in regard to the well-known attitude-behaviour gap (Jamieson & Bass, 1989). It is therefore, remarkable that neuroscientific methods and techniques are not applied more often, given that neuroscientific studies are recently found to –potentially– correspond more with the real world than self-reported results of subjects (Falk, Berkman, Whalen, & Lieberman, 2011).

A possible reason for the lack of application of neuroscientific methods and techniques might be that functional magnetic resonance imaging (fMRI), probably the most popular and most “*glamorous*” neuroimaging technique, is with all its benefits, expensive and

demands extensive expertise in data mining and data analysis. Furthermore, fMRI is a non-mobile stationary technique. As a consequence, consumer neuroscientists often cannot study consumer's real world behaviour (e.g. at the point of sale) by using fMRI. An alternative and in that sense fruitful new method might be the functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS). fNIRS can be defined as a mobile, non-invasive, non-ionizing method for functional monitoring and imaging of brain haemodynamics (Ferrari & Quaresima, 2012; Kenning, 2014; Kopton & Kenning, 2014; Scholkmann et al., 2014). It uses specific wavelengths of light to provide a valid measurement of cerebral oxygenated, deoxygenated and total haemoglobin, these are the main absorbers of near-infrared light, allowing the indirect quantification of neural activity to be measured. Several studies have shown that the fNIRS signal correlates with the functional magnetic imaging (fMRI) BOLD signal (Masataka, Perlovsky, & Hiraki, 2015). In addition, fNIRS is particularly suitable for measuring the prefrontal cortex which, plays a crucial role in buying decisions (Knutson, Rick, Wimmer, Prelec, & Loewenstein, 2007; Plassmann, O'Doherty, Shiv, & Rangel, 2008). Interestingly people are remarkably susceptible to the manner in which options are presented while making decisions, known as "*framing effect*" (De Martino, Kumaran, Seymour, & Dolan, 2006; Tversky & Kahneman, 1981). Deppe et al. (2005) found a neural correlation between the framing effect postulated by behavioural decision making that reflects interindividual differences in the degree of the sensitivity to the framing information. In line with their work, this research takes the first step to prove the advantages of the innovative fNIRS for consumer neuroscience research, by investigating consumers' neural activity in two different "framed" conditions in a daily grocery shopping situation. More precisely, the overall goal of our work in progress is to test the applicability of fNIRS to consumer research. Therefore, based on the aforementioned fMRI studies, we hypothesise:

H_1 : There is a significant difference in neural activity in the prefrontal cortex between the modified and non-modified condition that can be detected with the use of fNIRS.

H_2 : There is an increase in neural activity in the prefrontal cortex and frontopolar cortex in the modified condition compared to the non-modified condition that can be detected with the use of fNIRS.

H_3 : There is a decrease in neural activity in the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) in the modified condition compared to the non-modified condition that can be detected with the use of fNIRS.

In order to examine our hypotheses, we ran a computer lab experiment, in which two video sequences each with a length of approximately five minutes were shown to respondents. The video sequences showed a modified and non-modified market from a first-person perspective. The two video sequences were shown to the respondents in a pseudorandomised manner. Respondents were instructed to take the first-person perspective and imagine that they were shopping for groceries. Additionally, respondents were asked to remain still during the whole measurement procedure to prevent movement artefacts. Our sample consists of 21 female respondents (Friston, 2004) with an average age of 37.20 [$SD=6.99$] and an average net spending on groceries of 94.76 [$SD=53.16$] Euro per week.

fNIRS data was pre---processed and evaluated in MatLab, using NIRSLab Software (NIRx Medical Technologies). Data was modified by bandpass filtering, normalizing and reconstructed into 3D headspace. The resulting timeseries (total concentration of Hb) was analysed. For the group level analyses a GLM was calculated indicating the t-test based differences between both conditions.

Preliminary results regarding H_1 confirmed that there are significant differences in the neuronal activation of the prefrontal cortex between both conditions measured by fNIRS. We also found evidence for H_2 and H_3 showing that there is an increase in neural activity in the prefrontal cortex, frontopolar cortex and anterior cingulate cortex and a decrease in neural activity in the dorsolateral prefrontal cortex in particular situations in the video sequence. This confirms our hypothesis that the framing (modified market vs. non-modified market) of products has an effect on the consumer brain activation and the fNIRS is indeed able to demonstrate this effect.

Based on the preliminary research results the fNIRS seems to be a promising tool to understand consumer behaviour from a neuroscientific perspective. fNIRS could therefore be an attractive and relatively inexpensive alternative to other frequently and mostly stationary used neuroimaging techniques in consumer research. Further research

should be carried out to validate the existing results and apply the advantageous mobile usage of the fNIRS technique in a real-world field setting.

5.2 Beitrag 2: Leaving the Lab: Can Mobile fNIRS Enhance Consumer Research?

5.2.1 Abstract

This work aims to demonstrate that mobile fNIRS is an appropriate neuroimaging method for measuring consumers' prefrontal neural reaction to brand related information. To achieve this, we replicated the neural 'winner-take-it-all' effect of consumers' first-choice-brand, indicating the utility of applying mobile fNIRS in consumer research.

5.2.2 How Neuroscientific Tools Enrich the Understanding of Consumer Behaviour

Recent research in consumer neuroscience have gained insights into basic neural processes underlying consumer behaviour and decision making (Plassmann, Venkatraman, Huettel, & Yoon, 2015). Although a solid foundation for consumer neuroscience research has been laid over the past decade, consumer neuroscience is still facing some methodological limitations (Levallois, Clithero, Wouters, Smidts, & Huettel, 2012). Hence, the integration of mobile usable (neuro) scientific tools into the discipline of consumer research might enable researchers to leave their laboratories, allowing them to enrich their understanding of consumer behaviour in a naturalistic context (Kenning & Plassmann, 2005; Venkatraman et al., 2015).

In pursuance of this argument, this work proposes to highlight the potential of the innovative functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) to assess neuroscientific relevant entities and subsequently to implement mobile fNIRS in consumer research.

As it is indispensable to replicate confirmed consumer research relevant effects in order to validate an innovative neuroimaging method, this study examines if mobile fNIRS is able to investigate the 'winner-take-it-all' effect of consumers' first-choice-brands. This effect is characterized (1) by a decreased activity of brain regions ascribed to the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) and (2) by an increased activity of brain regions associated to the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC; Deppe, Schwindt, Kugel, Plassmann, & Kenning, 2005; Koenigs & Tranel, 2007). However, based on its technical capabilities, mobile fNIRS is able to measure cortical hemodynamics originated in the cortical tissue of up to two centimetres depth (McCormick, Stewart,

Lewis, Dujovny, & Ausman, 1992). Therefore, mobile fNIRS should be unable to measure brain regions located in subjacent brain tissue. Correspondingly, it is hypothesised:

H₁: fNIRS is capable of measuring decreased neural activity in the dlPFC when consumers' decision making is associated with their first-choice-brand.

H₂: fNIRS is not capable of measuring increased neural activity in the vmPFC when consumers' decision making is associated with their first-choice-brand.

5.2.3 Task and Procedure

To test our hypotheses, in line with work conducted by Deppe et al. (2005) a total of 23 female participants ($M = 41.13$, $SD = 8.48$ years of age) were examined, measuring participants prefrontal neural reaction to first-choice-brand related information with the use of the fNIRS. Mobile fNIRS (NIRx Medical Technologies, Berlin, Germany, <http://nirx.net>) allows quantification of neural activity to be measured, by using the light-absorption characteristics of cerebral de-/oxygenated haemoglobin (Kopton & Kenning, 2014). Consequently, the fNIRS signal acts as a valid proxy for neural activity, which correlates with the functional magnetic imaging signal (Fishburn, Norr, Medvedev, & Vaidya, 2014; Masataka, Perlovsky, & Hiraki, 2015).

Similar to the paradigm created by Deppe et al. (2005), participants were exposed to 100 different buying decision scenarios on a computer screen in the presence or absence of a specific target brand (T). For each trial participants had to mentally decide, within three seconds, between two different brands of the same product type. Resulting in a binary decision-making set of either Target-Diverse (TD) or Diverse-Diverse (DD) decisions. The trials were separated from each other by means of jittered fixation cross lasting four to six seconds. All trials were presented in a 10×10 block design in randomised order. The blocks consisted either of eight DD and two TD (20% TD) or two DD and eight TD (80% TD) decisions. After the experimental task participants were asked to rate all presented brands according to their personal preferences in order to identify each participants first-choice-brand. According to their ranking two groups were defined, resulting in a target brand group (TBG), including all participants who rated the target brand first and a non-target brand group (non-TBG).

5.2.4 Preliminary Results

After fNIRS data collection, data was pre-processed. To investigate the ‘winner-take-it-all’ effect of the first-choice-brand on between-subject level a general linear model (GLM) was estimated and t-contrast activation maps were generated, analysed and plotted on a standard brain for all participants. T-tests were calculated by contrasting TD decisions of the TBG (N = 12) in contrast to the non-TBG (N = 11). As hypothesised, our preliminary results show significant decreased neural activity within bilateral cortical dlPFC between the TBG and the non-TBG on a very strict significant level of $p < .01$ and $p < .001$ (see Figure 1). Whereas no neural activity changes were found for brain regions associated with the vmPFC (TBG vs. non-TBG).

5.2.5 Mobile fNIRS as a Promising Tool for Consumer (Neuroscience) Research

By indicating that the availability of brand information, given it is the consumers first-choice-brand, causes decreased activation in brain regions of the dlPFC (H_1), the given preliminary results support the hypotheses that by utilising mobile fNIRS it is possible to investigate the decreased neural activation during brand preference decision-making, strategy-based reasoning and judgments, compared with non-preference decision-making processes (Deppe et al., 2005). Nevertheless, based on its technical capabilities it becomes clear that the fNIRS is not capable of measuring subjacent brain regions, such as the vmPFC (H_2)

Extending recent research (Fishburn et al., 2014; Kopton & Kenning, 2014), our work indicates that mobile fNIRS is an appropriate but nonetheless complementary neuroimaging method for consumer neuroscience, capable of replicating the ‘winner-take-it-all’ effect of a consumer’s first-choice-brand (Deppe et al., 2005; Koenigs & Tranel, 2007).

Consequently, we conclude that:

First, as consumer preferences are susceptible to context (Venkatraman, Clithero, Fitzsimons, & Huettel, 2011), it is important to understand how context related interferences influence cognition and neural processes in a naturalistic setting. By applying mobile fNIRS in a field study these effects are commensurable.

Second, as it is crucial to ‘shed light’ on the profound interactional effects (e.g. between product and price), mobile fNIRS provides –under certain circumstances– a relatively inexpensive alternative to the gold standard in neuroimaging – the fMRI

5.3 Beitrag 3: Mobile fNIRS a new Tool for Decision Neuroscience?

5.3.1 Extended Abstract

The mobile fNIRS is an innovative tool with potential use in decision neuroscience as it allows the indirect quantification of neural activity to be measured by using the light-absorption characteristics of cerebral oxygenated and deoxygenated haemoglobin (Kopton & Kenning, 2014). Even though the fNIRS has been successfully applied in various disciplines (Bunce et al., 2011; Fishburn, Norr, Medvedev, & Vaidya, 2014), the measurement of neural activity associated with decision making by utilising the mobile fNIRS is not yet established in decision neuroscience.

Against this background, our work replicates a specific effect in the field of consumer neuroscience, namely the ‘winner-take-it-all’ effect (Deppe, Schwindt, Kugel, Plassmann, & Kenning, 2005; Koenigs & Tranel, 2007), to demonstrate the usefulness of the mobile fNIRS for decision neuroscience.

Given that the fNIRS is able to measure cortical hemodynamics originated in the cortical tissue of up to two centimetres (McCormick, Stewart, Lewis, Dujovny, & Ausman, 1992), we hypothesise that the mobile fNIRS is able to indicate reduced activity in brain regions ascribed to the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC), but is incapable of displaying an increased activation in patterns of the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC) due to the anatomical position of the given brain structure.

Extending recent research (Bunce et al., 2011; Kopton & Kenning, 2014), results indicate that the mobile fNIRS is indeed capable of replicating a well investigated consumer neuroscience relevant effect, such as the ‘winner-take-it-all’ effect (Deppe, Schwindt, Kugel, Plassmann, & Kenning, 2005), confirming our hypotheses that the mobile fNIRS is able to indicate the bilateral reduced neural activity of the dlPFC (channel 14 $t(21) = -4.16, p < .001$; channel 16 $t(21) = -3.63, p < .001$) but not activity in the vmPFC.

Based on our results, we would encourage researchers to investigate relevant entities and associated neural reaction in much greater detail by utilising the mobile fNIRS in a

naturalistic context. This opens up a promising new avenue in decision neuroscience as the mobile fNIRS appears to ‘shed light’ on context related interferences influencing cognition and neural processes in naturalistic settings and might have the potential to explore profound interactional effects.

As results show its boundaries, regarding its limited spatial resolution. Researchers should therefore localise brain regions for a particular scientific entity a priori in order to evaluate if the mobile fNIRS is capable of measuring them, depending on its technical capabilities. Another solution might be the development of enhanced mobile fNIRS optodes, making it feasible to investigate neural activity of subjacent brain structures.

5.4 Beitrag 4: The Application of mobile fNIRS to “Shopper Neuroscience” – First Insights from a Merchandising Communication Study

5.4.1 Abstract

Purpose – This study is the first to examine consumer’s neural reaction to different merchandising communication strategies at the point-of-sale (PoS) by applying functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). By doing so, the purpose of this study is to extend consumer neuroscience to retail and shopper research.

Design/methodology/approach – Two experiments were conducted in which 36 shoppers were exposed to a realistic grocery shopping scenario while their brain haemodynamics were measured using mobile fNIRS.

Findings – Results revealed that mobile fNIRS appears a valid method to study neural activation of the prefrontal cortex (PFC) in the field of “shopper neuroscience”. More precisely, results demonstrated that the orbitofrontal cortex (OFC) might be crucial for processing and predicting merchandising communication strategy effectiveness.

Research limitations/implications – This research gives evidence that certain regions of the PFC, in particular the OFC and the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC), are crucial to process and evaluate merchandising communication strategies.

Practical implications – The current work opens a promising new avenue for studying and understanding shopper’s behaviour. Mobile fNIRS enables marketing management to collect neural data from shoppers and analyse neural activity associated with real-life settings. Furthermore, based on a better understanding of shoppers’ perceptual processes of communication strategies, marketers can design more effective merchandising communication strategies.

Originality/value – The study is the first to implement the innovative, mobile neuroimaging method of fNIRS to a PoS setting. It, therefore, opens up the promising field of “shopper neuroscience”.

5.4.2 Introduction

Consumer neuroscience, being defined as an interdisciplinary research approach to understand consumers’ decision-making and its related processes by applying tools and theories from the field of neuroscience and traditional marketing research, has generated excitement in marketing and associated disciplines (Ariely and Berns, 2010; Camerer et al., 2005; Plassmann et al., 2012; Plassmann et al., 2015; Kenning and Plassmann, 2005; Daugherty et al., 2016). Consequently, the use of neurophysiological methods and techniques has increased tremendously among scholars and practitioners to better understand marketing entities (Plassmann et al., 2015; Venkatraman et al., 2015). This is demonstrated by a significant increase in publications in recent years (Plassmann et al., 2015) and also indicated by the fact that the largest (marketing and advertising) companies have founded “neuromarketing” divisions themselves (e.g. AC Nielsen and Deloitte).

Given that neuroscientific studies are found to –potentially– add validity to classical marketing methods, it is remarkable that neuroscientific methods and techniques are not applied more frequently (Falk et al., 2011; Venkatraman et al., 2015). A possible reason for the lack of application of neuroscientific methods and techniques might be that functional magnetic resonance imaging (fMRI), probably the most popular and most “glamorous” neuroimaging technique (Kable, 2011), is with all its benefits expensive (Ariely and Berns, 2010) and demands extensive expertise in data mining and data analysis (Dimoka, 2010). Furthermore, fMRI is a non-mobile technique. As a consequence, consumer neuroscientists often cannot study consumers’ real-world behaviour (e.g. in a naturalistic environment such as at the point-of-sale [PoS]) by using fMRI.

Investigating shopper’s naturalistic decision-making behaviour is crucial, as exploring the human function with dynamic naturalistic stimuli seems to be essential to verify whether results obtained in experiments, that used simplified stimuli, actually hold true under natural conditions (Spiers and Maguire, 2007). The question therefore remains whether ecological validity of isolated participants lying flat on their back, with their head restrained, exposed to loud background noise, inserted halfway down a narrow tube is given (Spence and Piqueras-Fiszman, 2014; Spence, 2016). Moreover, particular

research questions might only be addressed with naturalistic tasks where there is little temporal regularity (Spiers and Maguire, 2007). As most of the consumer neuroscience studies were conducted in an unrealistic environment (Boksem and Smidts, 2015; Cerf et al., 2015; Telpaz et al., 2015; Falk et al., 2016), there might be a potential discrepancy between the measured brain activity and the associated behaviour (Szalma and Hancock, 2011; Arnsten and Goldman-Rakic, 1998; Boksem and Smidts, 2015), making it necessary to study shopper’s real-world behaviour. Moreover, as consumers are likely to make many purchase decisions within the store in front of the shelves (Stilley et al., 2010; Bell et al., 2011; Haas and Kenning, 2014) or impulsively (Bellini et al., 2016), shopper neuroscience research seems to be particularly vulnerable to the mentioned constraints as contextual effects are frequently ignored. As a consequence, there is an urgent need to discuss the implementation and application of existing and innovative neuroimaging methods and techniques in naturalistic environmental settings.

Besides, most of the recently published studies only focus on one product, service or an advertisement in isolation (Boksem and Smidts, 2015; Telpaz et al., 2015). However, products are rarely arranged in isolation, but are surrounded by other products, services or advertisements (e.g. in a grocery store). Therefore, the environment in which a particular product is embedded is essential to understand shoppers’ decision-making behaviour and/or context-related interferences. In decision science, “framing” characterises the manner in which a problem of choice is presented (Tversky and Kahneman, 1985). The economic decision of a shopper is therefore strongly dependent on how a product or service is framed (Buda and Zhang, 2000). Several studies have provided evidence that the framing of products, for example, by modifying price (Knutson et al., 2007), changing informational context (Deppe et al., 2007) or interchanging informational order (Buda and Zhang, 2000) has an impact on consumers’ neural responses and associated behaviours. Furthermore, shoppers have been shown to use reference points as a basis for judging and comparing the value of decision alternatives (Puto, 1987), revealing the fundamental role of framing in shopper research. Against this background and given the complexity of shoppers’ making (purchase) decisions at the PoS, a discussion with regards to the implementation and application of mobile neuroimaging methods to explore marketing-related entities in naturalistic and realistic settings is inevitable. Therefore, the current research aims to demonstrate the potential of the innovative, mobile functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). To this end, two experimental studies were conducted. First, Study 1 was used to predefine

merchandising communication strategies which have the most variance in neural activity across observers. Second, based on the acquired results of Study 1, in Study 2, merchandising communication strategies were defined and subsequently used as stimuli to explore observer’s neural reactions, measured using mobile fNIRS. As mobile fNIRS has not been used in the field of “shopper (neuro)science”, we explain mobile fNIRS in broader detail, highlighting the added value to shopper neuroscience. Additionally, we discuss advantages and disadvantages of mobile fNIRS in comparison with a commonly used neuroimaging method – fMRI. Following the request for more advanced data analysis in consumer neuroscience (Hare et al., 2010; Friston, 2009; Friston et al., 2011), we apply an innovative and explorative cluster analysis to answer the question, where in the brain, more precisely where in the prefrontal cortex (PFC), merchandising communication strategies are processed and evaluated, determining the connectivity between the different brain regions. Subsequently, our research results, measured using mobile fNIRS, are discussed. The article closes with implications for marketing management and for designing effective (in-store) merchandising communication strategies. Additionally, as our study is one of the first to implement mobile fNIRS in the field of shopper neuroscience, our work aims to encourage scholars, marketers and retail managers to apply mobile fNIRS in the field of shopper neuroscience or, even more broadly, in the field of consumer neuroscience (Hubert and Kenning, 2008).

5.4.3 Conceptual Background

Nowadays, remarkably little is known about how the human brain, in particular, the shoppers’ brain, operates during real-world naturalistic shopping experiences. The fundamental premise of our study is, therefore, to demonstrate that mobile fNIRS is an appropriate neuroimaging technique to illustrate shoppers’ specific neural activation differences when exposed to diverse in-store merchandising communication strategies. To do so, our experimental design investigates shoppers’ neural reaction to different in-store merchandising communication strategies to shed light on shoppers’ specific neural activation patterns, developing an innovative research area called shopper neuroscience. Nevertheless, it has to be evident that our study does not exploit the full potential of mobile fNIRS but should rather be seen as a first step to understand the capabilities of this innovative neuroimaging method.

The PFC plays a crucial role in economic (buying) decisions (Knutson et al., 2007; Plassmann et al., 2008; Gonzalez et al., 2005; Deppe et al., 2007) and integrates several brain regions, which are, amongst other things, vital for decision-making processes. However, as our research is interested in the neural underpinnings of shoppers making (economic) decisions directly at the PoS, two brain regions are at the centre of interest, namely, the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) and the orbitofrontal cortex (OFC). The study examines two hypotheses.

In line with recent research, indicating that the OFC, a brain region associated with evaluation processes (Bartra et al., 2013), the willingness to pay (Plassmann et al., 2007), the interpretation of pleasantness (Kühn & Gallinat, 2012), brand preferences and (economic) decision-making (Knutson et al., 2007; Plassmann et al., 2008; Gonzalez et al., 2005), we hypothesise:

H₁. The OFC displays an increased neural activity when observers explore the in-store merchandising communication strategy with (a) wall decoration and (b) product display in contrast to the in-store merchandising communication strategy without the given communication elements.

Besides, the dlPFC has shown to be associated with judgment and decision-making processes (Duncan and Owen, 2000; Greene et al., 2001). More precisely, research has shown that the dlPFC reflects a decreased activity when participants are exposed to their favourite brand (Deppe et al., 2005; Koenigs and Tranel, 2007), indicated by a cortical relief effect, allowing participants to make a faster and simpler brand-driven decision. In line with this, research by Hare et al. (2009) demonstrated an increased activity of the dlPFC when subjects exercised self-control, providing further evidence that the dlPFC seems to be particularly important for cognitive control processes. Against this background, we hypothesise:

H₂. The dorsolateral prefrontal cortex reflects reduced activation patterns when observers explore the in-store merchandising communication strategy with communication elements (a) wall decoration and (b) product display - in contrast to the in-store communication strategy without these communication elements.

5.4.4 Method and Results

5.4.4.1 *The mobile functional Near-Infrared Spectroscopy*

As mobile fNIRS is an innovative, less obtrusive neuroimaging method in consumer neuroscience, we first explain mobile fNIRS in greater detail to guarantee a methodological understanding of the neuroimaging technique. Subsequently, we compare mobile fNIRS with the “golden standard” in neuroimaging, namely, the fMRI. Mobile fNIRS uses specific wavelengths of light (760 and 850 nm) to provide a valid measurement of cerebral oxygenated and deoxygenated haemoglobin (Kopton and Kenning, 2014). These are the main absorbers of near-infrared light, allowing the indirect quantification of neural activity to be measured. Mobile fNIRS, therefore, projects near-infrared light through the scalp and records optical density fluctuations resulting from metabolic changes within the brain. The spatial resolution and penetration depth of fNIRS is dependent upon the distances between light sources and detectors but generally capable of imaging depths of up to two centimetres (McCormick et al., 1992), making it particularly suitable for measuring brain regions of the PFC, brain region that plays a crucial role in economic decisions (Knutson et al., 2007; Plassmann et al., 2008; Gonzalez et al., 2005; Deppe et al., 2007).

The underlying mechanism of mobile fNIRS and fMRI are similar; both neuroimaging methods use the cerebral blood flow as a proxy for neural activity. In line with this, several studies have shown that the fNIRS signal correlates closely with the functional magnetic imaging BOLD signal (Masataka et al., 2015; Fishburn et al., 2014). Today, the majority of scientific studies in the field of consumer neuroscience or related disciplines investigate their phenomena of interest by utilising fMRI. Thereby, fMRI is demonstrated to be a valid and proficient neuroimaging tool in the context of consumer neuroscience. Nevertheless, as mentioned before, fMRI measurements have limitations with regards to ecological and external validity (Kopton and Kenning, 2014). Referring to this, mobile fNIRS has some advantages as it allows researchers and practitioners to measure consumers and shoppers in naturalistic environments. Research have shown that (mobile) fNIRS is indeed capable of measuring neural activity whilst walking (Atsumori et al., 2010; Miyai et al., 2001), whilst driving (Yoshino et al., 2013) and/or during communication processes (Funane et al., 2011). Moreover, mobile fNIRS is comfortable to administer and is, in comparison to fMRI, less expensive (Sato et al.,

2013). Although mobile fNIRS has undoubtedly some advantages over other neuroimaging tools, such as the fMRI, it also has its limitations. For example, the penetration depth and restricted spatial resolution makes it currently impossible to measure subjacent brain regions such as the amygdala or the hippocampus. Nevertheless, recent research suggests that mobile fNIRS appears to be a valid neuroimaging method in the context of consumer neuroscience (Krampe et al., 2017a, 2017b).

5.4.4.2 Mobile functional Near-Infrared Spectroscopy Data Processing

After raw data are collected, they to be pre-processed. Thus, the collected raw data were band-pass filtered to correct for artefacts (e.g. the heartbeat). Raw optical density signals were converted to haemoglobin concentration changes by using the modified Beer-Lambert law (Delpy et al., 1988; Scholkmann et al., 2014; Kopton & Kenning, 2014; Kocsis et al., 2006) within the NIRx Software package (NIRx Medical Technologies, Berlin, Germany, <http://nirx.net>). As the oxygenated haemoglobin signal has shown to correlate to cerebral blood flow better than the deoxygenated signal (Hoshi et al., 2001), the analysis concentrates on the oxygenated signal. Stimulus onsets were modelled using the haemodynamic response function (Worsley and Friston, 1995) implemented within NIRSLab to account for neurophysiological characteristics.

5.4.4.3 Mobile functional Near-Infrared Spectroscopy Imaging Procedure

Optical signals were recorded on a two-wavelength (760 and 850 nm) continuous-wave fNIRSport-System (NIRx Medical Technologies, Berlin, Germany, <http://nirx.net>). Data were collected from detectors in parallel at a sampling rate of 7.81 Hz. The optical channels comprised eight sources and eight detectors, optodes and diodes were separated from each other by a distance of three centimetres to guarantee signal quality. The topographical layout used subdivides the PFC into 22 brain regions. Participants were fitted with a headband, covering the parts of the PFC relevant to this study (i.e. the bilateral dlPFC and bilateral OFC). The NIRs-Star software package (version 14.2) was used for data collection and assessing signal quality.

5.4.5 Study 1

5.4.5.1 Shoppers

In Study 1, we analysed 21 female household running participants (Friston, 2004) with an average age of 37.20 [SD = 6.99]. All subjects provided informed consent and received a monetary incentive at the end of their participation. The sample was recruited through a market research organisation.

5.4.5.2 Task Procedure

Study 1 was conducted to identify merchandising communication strategies which evoke the most prefrontal activity changes. In this study, we ran a computer lab experiment in which two video sequences, each with a length of 297 seconds, were shown to the participants. The video sequences showed a retail outlet with different merchandising communications and a retail outlet without merchandising communication strategies in a pseudorandomised manner from a first-person perspective. The video sequences were separated from each other by means of a black screen lasting three seconds. In between both video sequences, observers had the opportunity to take a short break. To increase involvement, observers were instructed to take the first-person perspective and imagine that they were shopping for groceries. An adjustable chin rest was used to guarantee a proper head position and prevent strong head movements. Additionally, all observers were asked to remain still during the whole measurement procedure to prevent movement artefacts.

5.4.5.3 Analytical Approach and Results

After data pre-processing, the particular time series in which a specific merchandising communication was displayed to the participant was defined. The video sequences were divided into seven independent time intervals either including different merchandising communication strategies or the corresponding time intervals without the merchandising communication strategies. For each previously defined time interval pair, neural activity was computed separately and plotted on a standard brain (Figure 5).

Results identified wall decoration and product display as (most) influential merchandising communication strategies as both communication strategies displayed the most variance in neural PFC activity when contrasted with non-merchandising communication strategies. Moreover, because shoppers tend to buy sweets impulsively (Kacen et al., 2012) and are context-dependent (Haas & Kenning, 2014), we focused on the two merchandising strategies for confectionery, suggesting a greater impact of in-store merchandising communication strategies as mobile fNIRS should be particularly appropriate for analysing related automatic information processing by shoppers. To test our hypotheses, Study 2 was conducted to further analyse whether merchandising communication strategies evoke an increase in neural activity in the OFC and a decrease in neural activity in the dlPFC.

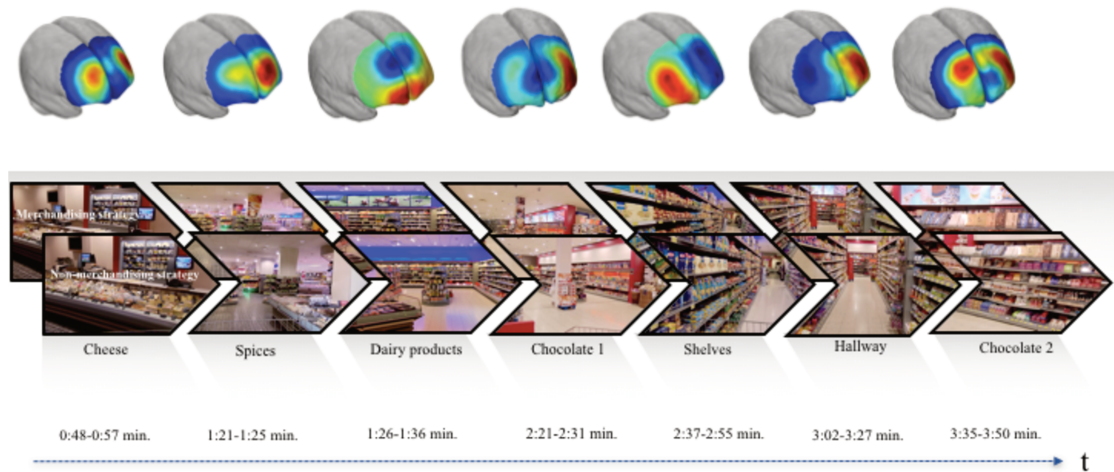


Abbildung 5. Experimental design and research results of Study 1

5.4.6 Study 2

5.4.6.1 Shoppers

The sample for Study 2 consists of 15 household running female participants (Friston, 2004), 24-45 years of age (mean = 37.21, SD = 7.56). Just as in Study 1, all participants provided informed consent and received a monetary incentive at the end of their participation. The sample was recruited through a market research organisation.

5.4.6.2 Task Procedure

Study 2 aims to examine whether the previously defined merchandising communication strategies evoke an increase in neural activity in the OFC and a decreased neural activity in the dlPFC. Extending Study 1, participants were shown four different video sequences in a pseudorandomized order. The video sequences were separated from each other by means of a black screen lasting three seconds. Two video sequences (1 and 2) showed the inside of a retail outlet with and without merchandising wall decorations from a first-person perspective. The other two video sequences (3 and 4) illustrated the inside of a retail outlet with and without a product display from a first-person perspective (Figure 5). In total, observers required 280 seconds to complete the whole paradigm. Again, to increase involvement, participants were instructed to take the first-person perspective and imagine that they were shopping for groceries. An adjustable chin rest was used to guarantee a proper head position and prevent strong head movements. Additionally, all participants were asked to remain still during the whole measurement procedure to prevent movement artefacts.

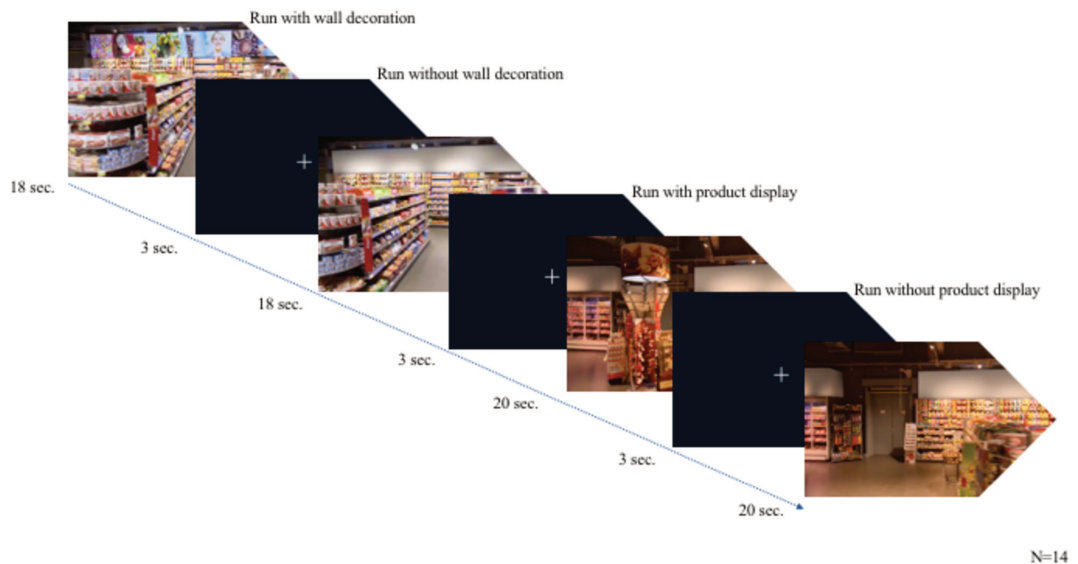


Abbildung 6. Experimental design of Study 2

5.4.6.3 Analytical Approach and Results

After pre-processing, to test our hypotheses, a general linear model was estimated on within-subject level, indicating the time series for the different merchandising communication strategies –with and without wall decorations and with and without product display. As extant literature suggests to exclude participants with two or more adjacent channels with t-values over three standard deviations from the group average (Fishburn et al., 2014) or who show significantly more spike artefacts, we excluded one subject, resulting in a sample size of $N = 14$. T-contrasts were used to generate statistical maps of prefrontal activation. Activation map threshold was set to $p < 0.05$. To investigate main effects on between-subject level, t-contrast activation maps ([1] with wall decoration versus [2] without wall decoration; and [3] with product display versus [4] without product display) were generated, analysed and plotted on a standard brain.

The results reveal that both predefined communication strategies evoke different neural activation patterns. As proposed in H_{1a} , the oxygenated haemoglobin level was significantly different in bilateral OFC brain regions, showing that the merchandising communication strategy with wall decorations evokes a significant increase in neural activity in bilateral OFC brain regions in contrast to the merchandising communication strategy without wall decorations by applying a threshold of $p < 0.05$ (channel 19: $t_{(13)} = 2.192$, $p < 0.05$; channel 22: $t_{(13)} = 2.183$, $p < 0.05$). As to H_{2a} , however, no significant decrease in neural activity in bilateral dlPFC was found.

The oxygenated haemoglobin level of the merchandising communication with product display versus without product display failed to show significant differences in neural activation patterns of the PFC when applying a threshold of $p < 0.05$, leading to a rejection of H_{1b} and H_{2b} (Figure 7).

5.4.7 Functional Connectivity

Following the request for more advanced data analysis in consumer neuroscience (Hare et al., 2010; Friston, 2009; Friston et al., 2011), we further analysed our data to categorise the connectivity between different prefrontal brain regions. More precisely, we conducted a principal component analysis with varimax rotation based on the

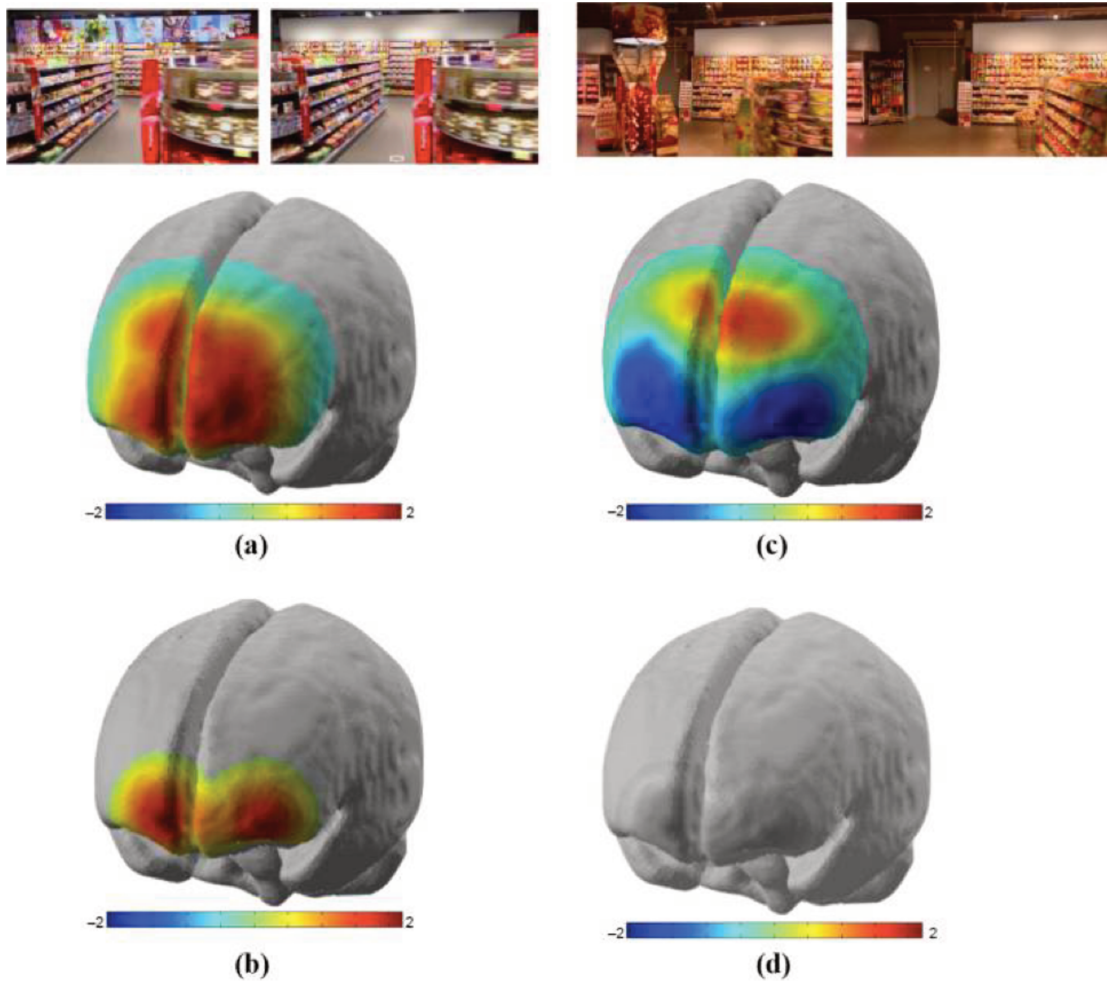
previously generated t-values of a given contrast for every participant individually. The factor loadings indicate that a subset of a total of 22 brain regions loading on the same factor makes it possible to identify an activation cluster of different brain regions for every contrast. For reliability testing, factor loadings higher than 0.7 can be viewed as having high reliability and factors with loadings lower than 0.5 were dropped and excluded from further analysis (Fornell and Larcker, 1981).

The results of the explorative factor analysis revealed that both in-store merchandising communication strategies were processed and evaluated in three homogeneous activity networks (Figure 8).

Both communication strategies (i.e. with and without wall decoration/with and without product display) are related to the following clusters: the first “processing” cluster integrates the Brodmann area (BA) 8 and 9; the second “evaluation” cluster integrates BA 11 and 45; and the third “premotor and attention” cluster integrates the BA 6, 9 and 44.

5.4.8 Discussion and Implications

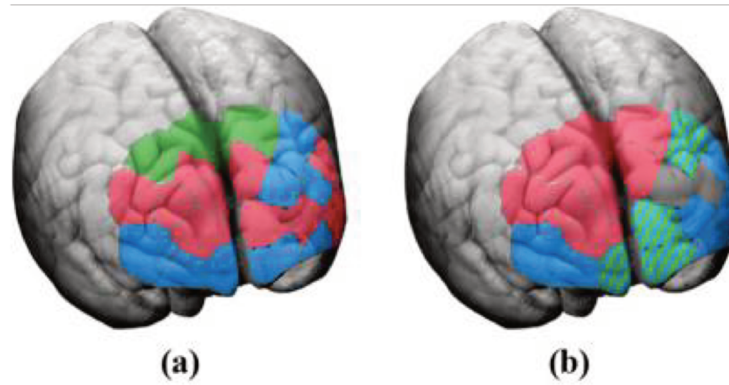
Given that merchandising characteristics often unconsciously shape shopper decisions and stimulate unplanned purchases (Inman et al., 2009; Muruganantham and Bhakat, 2013), for marketing research, it is vital to study shopper’s neural reaction and its associated behaviour in naturalistic, real-world settings (e.g. at the PoS). Therefore, our research aims to offer first insights on how an innovative, less obtrusive method for indirectly measuring brain activity ! mobile fNIRS ! can be used to study shoppers’ neural responses to retailers’ PoS activities. Such examination of shoppers’ neural activity in naturalistic settings is particularly relevant as neural activity has been shown to relate to subsequent buying behaviour and could therefore add significantly to more classical marketing methods (Boksem and Smidts, 2015).



Notes: (a) *T*-map statistic: contrast between the merchandising communication strategy with wall decoration versus without wall decoration; (b) significant *t*-value-based differences between the merchandising communication strategy with wall decoration versus without wall decoration, *Channel 19*: $t(13) = 2.19, p < 0.05$, *Channel 22*: $t(13) = 2.18, p < 0.05$; (c) *T*-map statistic: contrast between the merchandising communication strategy with product display versus without product display; (d) results showed no significant *t*-value-based differences between the merchandising communication strategy with product display versus without product display

Abbildung 7. PFC activation maps for every merchandising communication strategy

The findings reported in the preceding section are summarised briefly as follows. In line with H_{1a} , the merchandising strategy with wall decoration evoked bilaterally a significant increased haemodynamic response in the OFC in contrast to the merchandising strategy without wall decoration as a communication element. The exposure to a product display, on the other hand, did not significantly change observers' haemodynamic responses. Furthermore, the results of the explorative factor analysis revealed that merchandising communication strategies are processed and evaluated in two homogeneous activity networks within the PFC.



Notes: (a) Merchandising strategy with and without communication elements: the first processing cluster integrates BA 8 and 9, the second evaluation cluster integrates BA 11 and 45 and the third premotor and attention cluster integrates BA 6, 9 and 44;
(b) merchandising strategy with and without promotional booth: the first processing cluster integrates BA 8, 10, 44 and 45, the second evaluation cluster integrates BA 6, 9 and bilateral 11 and the third premotor and attention cluster integrates BA 6

Abbildung 8. Functional connectivity

As recent research demonstrated, the application of neural measurements provides information beyond shopper’s stated preferences, confirming that neural measures can significantly add to models predicting choice behaviour relative to models that include only stated preference measures (Boksem and Smidts, 2015; Falk et al., 2016; Venkatraman et al., 2015). Researchers and managers alike would be well-advised to use neuroimaging methods and techniques in the field of shopper neuroscience.

Our results support previous fMRI research (Bartra et al., 2013) indicating that the OFC is a focal brain region that processes and evaluates merchandising information (Bartra et al., 2013). As researchers have demonstrated, consumer’s willingness to pay (Plassmann et al., 2007), consumer’s interpretation of pleasantness (Kühn and Gallinat, 2012), consumer’s preference for a brand and consumer’s decision-making (Knutson et al., 2007; Plassmann et al., 2008; Gonzalez et al., 2005) are associated with increased neural activity of the OFC. Moreover, a recent fMRI study indicated that OFC activation is a strong predictor for consumers’ buying decision (Kühn et al., 2016). Therefore, as our results provide evidence that merchandising communication strategies (e.g. wall decorations) lead to an increase in OFC activity, measurable with mobile fNIRS, our

results imply that merchandising wall decoration is likely to have a noteworthy impact on shoppers’ in-store buying decisions.

Conversely, the dlPFC seems to display a decreased neural activity when observers were, for example, confronted with their preferred brand (Deppe et al., 2005) or imply a more impulsive, less self-controlled behaviour (Hare et al., 2009). However, our results do not support H₂, which signifies that the dlPFC showed a significant decrease in neural activity in either of the given merchandising communication strategies. Even though, t-values-based activation patterns revealed a decrease in neural activity but failed to reach the threshold of $p < 0.05$. This may be because several cortical processes interfere with the decreased neural activity of the dlPFC provoked by the merchandising communication strategies. For example, it might be that attentional processes (Häger et al., 1998; Adler et al., 2001) associated with the exposure to a new stimuli, namely, the merchandising communication strategy itself, leads to an increase in dlPFC activity. Furthermore, working memory processes (Kühn et al., 2016; Curtis and D’Esposito, 2003) might interfere with the decreased activity of the dlPFC initiated by the observation and evaluation of the merchandising communication strategies. A possible way to solve this problem might be a strict examination of distorting variables that affect observers’ informational processing.

The results of the explorative factor analysis show that the PFC could be grouped into three activation clusters which integrate crucial brain regions such as the OFC and dlPFC. The processing cluster integrates brain regions that are associated with informational processing, inductive reasoning (Goel et al., 1997) and short-term memory processes (Babiloni et al., 2005). Consequently, the processing cluster might be crucial for the interpretation of merchandising communication strategies – acting as an enlightener of the shoppers’ environment. The evaluation cluster might be associated with decision-making processes (Wallis, 2007) and the encoding (Frey and Petrides, 2000) and, therefore, evaluation processes of the merchandising information at the PoS. The evaluation cluster is therefore likely to be crucial for shoppers to actually make a shopping decision – acting as a decision maker. Hence, the results of the explorative factor analysis support previous research findings that brain regions such as the OFC and dlPFC are of great importance when it comes to interpretation and evaluation

processes of merchandising communication strategies. Moreover, these results imply that shoppers process and evaluate merchandising communication strategies within multiple layers within the brain or more precisely within the PFC. Given the importance of understanding neural activity in naturalistic settings, and the great potential of mobile fNIRS to this end, we believe that there is an urgent need to explore marketing relevant entities not only by utilising innovative neuroimaging methods but also by developing innovative data analysis approaches to account for considerably more variance. The results of the explorative factor analysis based on mobile fNIRS PFC data seem to be a successful first step in the right direction.

From a methodological perspective, our research shows that mobile fNIRS is highly functional when collecting relevant neural data and could therefore be a relevant and, perhaps, important neuroimaging tool for enabling the field of shopper neuroscience to blossom. However, in line with Wilkinson and Halligan (2004), the implementation of behavioural data in subsequent research seems, especially in the research field of consumer / shopper neuroscience, to be highly desirable as it adds further scope to existing marketing-related entities and might explain the exertion of influence. We therefore encourage scholars and practitioners to also integrate a behavioural component to their (mobile) fNIRS research to integrate neuroscientific measurement as a process variable, allowing scholars and practitioners to account for considerably more variance.

As this research work is the first to implement mobile fNIRS to marketing PoS research settings, our research offers at least three important, nevertheless preliminary managerial, implications. First, mobile fNIRS enables marketing managers and scholars to collect novel neural data from shoppers “on the spot” and analyse neural activity patterns associated within naturalistic PoS settings. The neural data collected in a real-life setting may complement “traditional” data and analyses from extant approaches of market research (e.g. pencil-paper questionnaires and observations), supporting practitioners and scholars in their quest to better understand shoppers and their in-store decision-making behaviour.

Second, managers may use mobile fNIRS to better understand shoppers’ perceptual processes related to communication strategies. As understanding these processes was shown to predict shoppers’ choice behaviour (Kühn et al., 2016), fNIRS may help managers improve their merchandising communication. For example, the impact of

staging, lighting, the assortment, the product price and their interactions could be tested, measured and evaluated in the field by utilising mobile fNIRS and the investigation of shoppers’ behavioural responses. Third, as neural measurements might improve the prediction of shoppers' choice behaviour (Kühn et al., 2016), practitioners in marketing may use mobile fNIRS, as it is particularly suited to test intended merchandising communication strategies when testing their experimental set-up with observed behaviour is cost-prohibitive. For example, OFC responses might be used as process variables to relate retailers’ in-store communication activities to shoppers’ behaviour. As a consequence, marketers may decide to design various types of wall decorations and product displays, expose shoppers to in-store prototypes or augmented reality versions of those communication strategies and use the shoppers’ neural responses to select the strategy which has the greatest potential to generate actual sales. Finally, we have reason to believe that the application of mobile fNIRS to the field of mobile shopping might yield some interesting results for both marketing research and management.

5.4.9 Conclusion and Future Research

In all, the results of the current study indicate that mobile fNIRS seems to be a promising new avenue to explore consumer behaviour from a neuroscientific perspective in naturalistic, environmental settings. Mobile fNIRS might therefore be an attractive and relatively inexpensive alternative to other frequently used and mostly stationary neuroimaging methods and techniques. Thus, this study should be seen as a first step towards a better understanding of shoppers’ processing of merchandising communications by using the innovative and mobile applicable fNIRS. In so doing, it opens up the promising field of shopper neuroscience.

Moreover, the results suggest that merchandising communication strategies are processed and evaluated in two different brain regions, indicating the importance of the OFC and dlPFC in processing and evaluating merchandising communication strategies. These findings imply that further interdisciplinary research is required to understand shoppers’ neural reaction to merchandising communication strategies in real-world scenarios. Besides, as described, the integration of behavioural data seems to increase our understanding of a marketing-related entity and should therefore be considered in

future research, especially in the field of shopper neuroscience. Using mobile fNIRS to measure shoppers’ neural prefrontal activity directly at the PoS is, therefore, a valuable development and should be considered in future research.

However, as this research focused only on one specific product category – namely confectionery, used only female observers and investigated only two specific communication strategies – the question remains if our results are generalisable. To demonstrate the validity of these findings, future research should also integrate additional product categories, increase the sample size by integrating male observers and apply diverse communication strategies. Furthermore, alternative experimental designs can be utilised to validate our findings. For example, researchers may combine laboratory and field experiments to investigate the role of shoppers’ neural responses in linking in-store communication and shopper behaviour. It is consequently evident that further research is required.

5.5 Beitrag 5: The Application of Mobile fNIRS in Marketing Research – Detecting the “*First-Choice-Brand*” Effect

5.5.1 Abstract

Recent research in the field of “neuromarketing” shows promise to substantially increase knowledge on marketing issues for example price-perception, advertising efficiency, branding and shopper behaviour. Recently, an innovative and mobile applicable neuroimaging method has been proposed, namely functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). However, this method is, in the research field of marketing, still in its infancy and is, consequently, lacking substantial validity. Against this background, this research work applied a convergent validity approach to challenge the validity of (mobile) fNIRS in the field of “neuromarketing” and consumer neuroscience. More precisely, we aim to replicate a robust and well-investigated neural effect previously detected with fMRI – namely the “*first-choice-brand*” effect – by using mobile fNIRS. The research findings show that mobile fNIRS appears to be an appropriate neuroimaging method for research in the field of “neuromarketing” and consumer neuroscience. Additionally, this research work presents guidelines, enabling marketing scholars to utilise mobile fNIRS in their research work.

5.5.2 Introduction

During recent decades, substantial milestones have been passed by marketing scholars moving marketing research forward (Eisend, 2015). Although this accumulation of knowledge has increased scholars and practitioners understanding, some marketing issues remain unsolved and might not be explorable using existing marketing methods (Zaltman, 2000; Eisend, 2015). To account for the diminishing utility of existing marketing methods (Eisend, 2015), scholars integrated innovative methods from cognate disciplines. Notably, the discipline of consumer neuroscience, in a business context also known as “neuromarketing” (Hubert and Kenning, 2008; Harris et al., 2018), promises to substantially increase knowledge of marketing issues, for example price-perception, advertising efficiency, branding, purchase and shopper behaviour (e.g. Kosslyn, 1999; Kenning and Plassmann, 2005; Knutson et al., 2007; Plassmann et al., 2015; Falk et al., 2016; Kühn et al., 2016; Barnett and Cerf, 2017). This progression is predominantly driven by the belief that the utilisation of neuroscientific methods will add supplementary information to existing concepts and theories (Zaltman, 2000; Kenning and Plassmann, 2005; Plassmann et al., 2015). Fortunately, marketing research can greatly benefit from methodological progress in the research field of neuroscience. Mainly because, just recently, a novel neuroimaging method, namely mobile, functional near infrared-spectroscopy (fNIRS), emerged (Kopton and Kenning, 2014).

fNIRS is a relatively new, non-invasive neuroimaging technique that utilises near-infrared light sources able to penetrate human tissue (Ferrari and Quaresima, 2012). More precisely, (mobile) fNIRS uses specific wavelengths of light (760 and 850 nm) to provide a measurement of cerebral oxygenated (oxy-Hb) and deoxygenated haemoglobin, which are the main absorbers of near-infrared light (Kopton and Kenning, 2014), allowing the indirect quantification of neural activity to be measured. There are several fNIRS technologies applied (for further information please see: Scholkmann et al., 2014; Torricelli et al., 2014; Brugnera et al., 2018). In this research work, we used one of the most commonly utilised fNIRS technology, namely the continuous wave (CW) method, which allows to compute changes in oxygenated, deoxygenated and total haemoglobin concentrations from a calculated baseline (Torricelli et al., 2014). There is profound evidence that the fNIRS signal correlates significantly with the functional magnetic imaging (BOLD) signal (Fishburn et al.,

2014; Masataka et al., 2015). The spatial resolution and penetration depth of mobile fNIRS is dependent upon the distances between light sources and detectors but generally capable of imaging depths of up to 2 cm (McCormick et al., 1992). This allows the measurement of neural activity in brain regions such as the prefrontal cortex (PFC), which plays a crucial role in consumers cognitive processing such as for example buying decisions (Deppe et al., 2005, 2007; Gonzalez et al., 2005; Knutson et al., 2007; Schaefer and Rotte, 2007; Plassmann et al., 2008; Quaresima and Ferrari, 2016; Goodman et al., 2017).

However, although previous research indicated the validity of fNIRS as a neuroimaging method in various scientific disciplines (Fishburn et al., 2014; Naseer and Hong, 2015; Kim et al., 2016; Werchan et al., 2016), to date, there is very little evidence supporting its utilisation in (neuro-)marketing research.

This is surprising given the fact that especially the application of the mobile applicable version of fNIRS might have the potential to overcome or at least reduce one of the major concerns of most neuroimaging techniques – it’s immobility (Arnsten and Goldman-Rakic, 1998; Miyai et al., 2001; Atsumori et al., 2010; Funane et al., 2011; Szalma and Hancock, 2011; Yoshino et al., 2013; Boksem and Smidts, 2015).

However, because mobile fNIRS is still in its infancy, at least in the research field of marketing, this appealing method is lacking substantial validation. To address this issue, we applied a convergent validity approach to challenge the validity of mobile fNIRS. In particular, we strive to replicate a robust and well-investigated neural effect, previously detected with fMRI – namely the “first-choice-brand” effect – by using mobile fNIRS.

5.5.3 Proof of Concept – the mobile fNIRS Validation Approach

The fact that the validity of mobile fNIRS has, to the present day, never been conventionally challenged in marketing research might be one reason for its limited utilisation. It is, however, fundamental that every novel method provides evidence of its validity specific to the scope of application. When discussing the concept of validity, it is essential to understand that validity, in a general sense, determines whether the research method truly measures that which it was intended to measure (Golafshani, 2003). However, in the literature there is a distinction between different kinds or “concepts” of validity that are (Gravetter and Forzano, 2003):

- (i) the predictive validity which is demonstrated when a measurement accurately predicts behaviour according to a theory;
- (ii) the construct validity which requires that the measurements obtained from a measurement procedure behave exactly the same as the variable itself;
- (iii) the divergent validity which is demonstrated by using two different methods to measure two different constructs, accordingly there should be no or only a little relationship between the measurement obtained from the two different constructs when they are measured by the same method; and
- (iv) the convergent validity which is demonstrated by a strong relationship between the scores obtained from two different methods of measuring the same construct (Gravetter and Forzano, 2003).

That said, it should be evident that scholars can choose from a set of validation approaches. For example, to validate mobile fNIRS scholars can follow the predictive validity approach (i), hypothesising that mobile fNIRS is able to quantify a particular neural brain activity based on a stimulus presented. Scholars could therefore assume, based on literature and theory, that visual stimuli lead to neural brain activity in the visual cortex, by testing this hypothesis utilising mobile fNIRS, scholars will be able to make an assumption about the validity of its utilisation.

By utilising the construct validity approach (ii), scholars can validate a neuroimaging method such as mobile fNIRS by showing that the same method can differentiate between two different and well investigated scientific constructs. Scholars could therefore, based on the knowledge that vision and motoric processes are located in different brain regions, indicate that it is possible, by means of mobile fNIRS, to distinguish neural cortical activity of visual and motoric stimuli, investigating the same construct namely neural activity. Consequently, depending upon the stimulus only one related brain region should be activated, allowing a proposition to be made about the operating principles of mobile fNIRS.

Moreover, scholars might choose to explore the validity of a neuroimaging method by utilising a divergent validity approach (iii), comparing two different deviating methods investigating two different entities. As a result, both methods should have contradictory outcomes.

Finally, in order to validate mobile fNIRS in a specific scope of application (as for example in the field of marketing), scholars could choose for a convergent validity approach (vi), replicating a robust and previously explored (neural) effect whilst

employing an existing and already validated neuroimaging technique. By applying the same research paradigm as used in a previous research work, scholars could compare data acquired with an innovative and a validated (neuroimaging) method, verifying the innovative methods in the scope of application whilst exploring an existing, validated entity.

Taking the aforementioned concepts into account, we chose the convergent validity approach in order to explore whether mobile fNIRS is a suitable neuroimaging method also for marketing research and consumer neuroscience. The reason for this relies on the unique characteristics of the marketing relevant, neural effect of the “first-choice-brand” (Deppe et al., 2005). Based on its two interrelated sub-effects, the “first-choice-brand” effect is capable of providing information about potentialities as well as limitations directly related to mobile fNIRS and its technical capabilities, e.g., when it comes to measure subjacent brain regions. Insights that are solely explorable whilst utilising a convergent validity approach.

Consequently, based on scientific evidence and based on the technical capabilities of mobile fNIRS, we aim to partly replicate the “first-choice-brand” effect (Deppe et al., 2005; Koenigs and Tranel, 2007).

This specific brand-related effect, was first reported by Deppe et al. (2005), indicating that participants have distinctive neural activity in brain regions of the PFC whilst making a binary buying decision when their favoured brand (first-choice-brand, FCB) is involved. The “first-choice-brand” effect, which will be discussed in the next section, was found in several subsequent studies and seems to be a robust neural effect.

5.5.4 Theoretical Background – “the *First-Choice-Brand*” Effect

In essence, the “*first-choice-brand*” effect consists of two interrelated sub-effects. The first sub-effect is characterised by an increased neural activity in the ventromedial PFC (vmPFC), a subjacent medial brain region involved in processing of emotions, episodic memory retrieval and self-reflection during decision making (Deppe et al., 2005), displaying self-referential processes during first choice brand decision-making. The second sub-effect is characterised by reduced neural activity in the dorsolateral PFC (dlPFC), a brain region generally associated with working memory, inductive reasoning, planning, cognitive control, strategy-based reasoning, judgments and reasoning-based decision making (Braver et al., 1997; Courtney et al., 1997; Pochon et al., 2001; Kroger

et al., 2002; Manes et al., 2002; Raye et al., 2002; Curtis and D’Esposito, 2003; Deppe et al., 2005). The reduced neural activity of the dlPFC might, potentially, indicate that strategy-based reasoning and judgments are reduced when participants are exposed to their favoured “target” brand compared to non-preference decision making trials (Deppe et al., 2005; Koenigs and Tranel, 2007; Schaefer and Rotte, 2007), allowing the consumers to take a quicker, straightforward and less complex decision when their individual target brand is present—a neural effect which is also called cortical relief effect (Kenning et al., 2002).

Based on the technical parameters of mobile fNIRS, in particular its spatial resolution and penetration depth (McCormick et al., 1992), mobile fNIRS is not capable of measuring subjacent medial brain regions lying deep in the brain. Consequently, we do expect that mobile fNIRS is solely able to partly replicate the “first-choice-brand” effect, namely only the second sub-effect. Against this background, we investigate the following hypotheses:

H₁: mobile fNIRS is capable of measuring decreased neural activity in the dlPFC when consumers’ decision making is associated with their first-choice-brand.

H₂: mobile fNIRS is not capable of measuring increased neural activity in the vmPFC when consumers’ decision making is associated with their first-choice-brand.

5.5.5 Method

5.5.5.1 Participants

In order to empirically test our hypotheses, a total number of $N = 42$ (Friston, 2003) right-handed (e.g. Toga and Thompson, 2003), female household running participants was recruited in order to take part in a fNIRS-experiment at University of Düsseldorf, Germany ($M = 38.07$, $SD = 11.13$ years of age, $M = 1.725.49$, $SD = 879.28$ net income in Euro). With regard to the fact that women are more frequent customers of grocery retailers and are, therefore, more frequently exposed to brand related decisions, only household running, female participants were recruited for this experiment (Rampl et al., 2012). All participants had normal vision and no history of neurological disorder and were informed about the nature of the experiment as well as the operating mode of mobile fNIRS, before the written informed consent was signed. All subjects gave

written informed consent in accordance with the Declaration of Helsinki. Subsequently, to increase their involvement, participants were requested to imagine that acquaintances had asked them to buy a high-quality filter coffee for their cream-tea appointment at the weekend. As they wanted to make a good impression, the participants needed to choose, whilst making their buying decision, the coffee brand which had, in their opinion, the highest quality. After completing the experiment, participants were asked to sort all coffee brands according to their preferences and buying intention. Based on the individual ranking, the selection of the target brand group (TBG) and the diverse brand group (non- TBG) was performed (Deppe et al., 2005). Only participants who rated the target coffee brand (the market leader) as their favourite brand, were assigned to the TB-group. This is essential in order to analyse the data, since the reduced dlPFC activity is only hypothesised for the TBG in comparison to the non-TBG. Furthermore, in post-experiment-interviews participants were enquired about their (filter coffee) shopping behaviour, asking if they are aware of the target brand as used in the experiment. This is inevitable to experience and consequently to display the “first-choice-brand” effect in the designed experiment, utilising mobile fNIRS. Only when participants indicated that they have never bought filter coffee before, they were excluded from further analysis. Following this procedure 10 participants were excluded, resulting in a sample size of $N = 32$ ($M = 37.97$, $SD = 10.97$ years of age) of which 16 participants selected the predefined target brand (T) as their favoured brand.

5.5.5.2 Mobile Near-Infrared Spectroscopy

Mobile near-infrared spectroscopy is a non-invasive method, simply projecting (near-infrared) light through the sculp. It is therefore with no advantages or disadvantages associated. Moreover, the utilised stimuli material integrated only coffee brands to which participants are confronted in every German grocery store. Consequently, an ethical approval for conducting the given experiment was not necessary. However, it should be evident that the experiment was conducted according to existing ethical standards (APA’s Ethics Code and in compliance with the Declaration of Helsinki). Therefore, before the experiment started, participants were informed about the nature of the experiment as well as the operating mode of mobile fNIRS. Subsequently, participants were asked if they would like to voluntarily participate in the experiment

and informed that they can stop the experiment at any time without any reasons, consequences and/or disadvantages.

5.5.5.2 Task Procedure

The experimental task aims to examine if the presence of a filter coffee target brand, evoke a reduced neural, bilateral activity in brain regions ascribed to the dlPFC for participants who rated the target brand, ex post, as their favoured brand, measurable with the use of mobile fNIRS. Extending previous research (Deppe et al., 2005; Koenigs and Tranel, 2007; Schaefer and Rotte, 2007), participants were shown 100 different buying decisions scenarios in the presence or absence of a specific target brand (T) in which participants had to take a binary buying decision. “Jacobs Krönung” as German market leader was defined, a priori, as the target brand (T). The other brands were classified as diverse (D), resulting in a binary decision-making set of either TD (TD decision = target brand vs. diverse brands) or DD (DD decision = diverse brand vs. diverse brands) decisions. All trials were presented in a 10×10 event-related design, whereby in alternating order two types of trial composition were displayed. The compositions consisted either of 8 DD and 2 TD (20% TD) or 2 DD and 8 TD (80% TD) decisions, whereby the order of DD and TD decisions was randomised (please see Figure 9). For each of the 100 trials, participants had the option of two different coffee brands, which were presented on a computer screen, lasting for 3 s. The trials were separated from each other by means of jittered fixation cross lasting 4 to 6 s. For each single decision trial, participants were requested to decide mentally, where no manual response was required, which of the two displayed coffee brands they would like to buy. No resting condition was implemented between the blocks, since participants needed merely 800 s (13.3 min) to complete the whole paradigm.

To assure the same environmental circumstances for every participant, the temperature and light conditions were kept equally and the background noises were kept to a minimum. Throughout the experimental task the experimenter left the room, but re-entered the room after participants indicated that they have completed the experimental task.

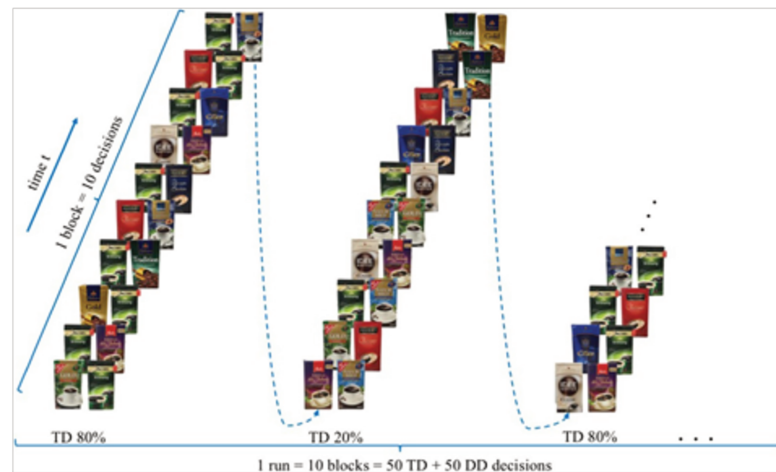


Abbildung 9. Experimental design – modified version of the paradigm created by Deppe et al. (2005)

5.5.6 Data collection, (Pre-) Processing and Results

5.5.6.1 Data Collection

Optical signals were recorded on a two-wavelength (760 and 850 nm) continuous-wave fNIRSport-System (NIRx Medical Technologies, Berlin, Germany). Data was collected from detectors in parallel at a sampling rate of 7.81 Hz. The optical channels were comprised of eight sources and eight detectors. Optodes and diodes are separated from each other by a distance of 3 cm in order to guarantee signal quality. Participants are fitted with a headband, covering most of the PFC in particular bilateral orbitofrontal cortex (OFC), bilateral dlPFC and bilateral premotor cortex. To ensure that the headband is located according to the anatomical brain structures of the participants, the craniometric point of the nasion, where the top of the nose meets the ridge of the forehead, was used to assure comparability between participants. Based on this configuration the “topographical layout,” a schematic representation of the measurement sites, integrating 22 channels was designed, allowing to measure cortical neural activity of the PFC and its sub-regions as previously described (please see Figure 10). The NIRS-Star software package (version 14.2) was used to check for signal quality and data collection.

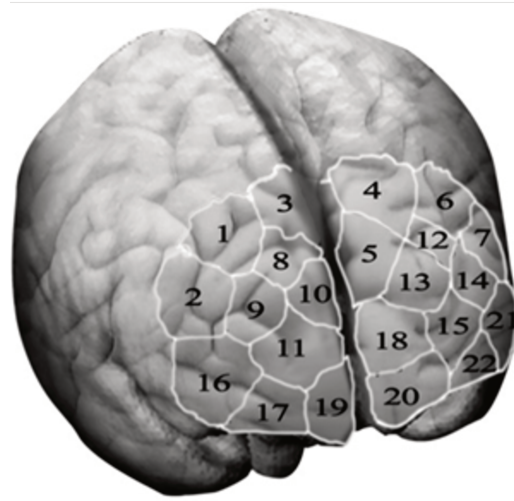


Abbildung 10. The topographical layout

5.5.6.2 Data (Pre-)Processing

Before further analysis, the collected fNIRS raw data were pre-processed. Therefore, to smooth the raw data a band-pass filtered (high/low frequency filter) was applied in order to control for artefacts that might interfere with the measurement of the intended effects, as for examples the heartbeat or strong and abrupt head movements. The lower cut off frequency value was set to 0.01 Hz, whereas the higher cut off frequency value was set to 0.2 Hz.

Raw optical density signals were converted to haemoglobin concentration changes using the modified Beer-Lambert law (Delpy et al., 1988; Kocsis et al., 2006; Kopton and Kenning, 2014; Scholkmann et al., 2014) within the NIRx Software package (NIRx Medical Technologies, Berlin, Germany²). The parameters used to compute the haemodynamic states were set as follows, the distance of the first channel was set to 3 cm, the wavelengths were specified to values of 760 and 850 nanometre and the associated pathlength factor (DPT) was set to 7.25 for the wavelength of 760 nm and 6.38 for the wavelength of 850 nm, in accordance with commonly utilised values reported in literature (Essenpreis et al., 1993; Kohl et al., 1998; Zhao et al., 2002). As the oxy-Hb signal has been shown to correlate with cerebral blood flow better than the deoxygenated signal (Hoshi et al., 2001), the analysis concentrates on the oxy-Hb signal. For every participant, a general linear model (GLM) was set up to model neural activity during the experimental task. The picture period, displaying the different coffee brands, was modelled separately for TD-trials and DD-trials, adding up to two event-related regressors together with an additional error term at the end ($Y_j + x_{j1}\beta_1 + x_{j2}\beta_2 + \epsilon_j$).

Each time course was further corrected for serial correlations such as physiological noise sources, modulating the stimulus onsets convolved by a haemodynamic response function (Worsley and Friston, 1995). No contrast was calculated for every participant individually (on within-subject-level). However, in order to investigate the estimated effects on group-level (between-subject-level), two groups were, based on the ex post conducted ranking of the coffee brands, created. Following the original article by Deppe et al. (2005) only participants who rated the target brand as their favourite brand, were assigned to the TB-group. T-contrasts were used to generate statistical parametric maps of activation by contrasting TD decisions of the TBG ($N = 16$) in comparison to TD decisions of the diverse brand group (non- TBG, $N = 16$). A t-contrast activation map of the neural PFC activity was plotted on a standardised brain. The activation map threshold was set to a p-value of $p < 0.05$ (please see Figure 11).

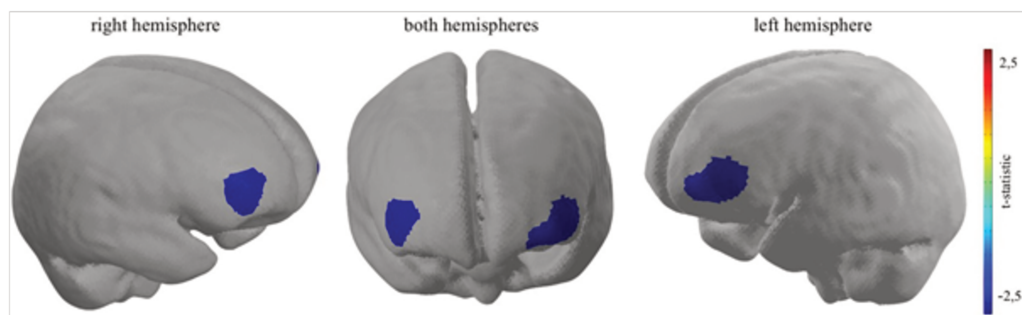


Abbildung 11. Bilateral dIPFC decreased neural activity when participants who rated the target brand first are confronted with a TD decision.

5.5.6.3 Data Results

As hypothesised, the results show significant bilateral cortical dIPFC decreased neural activity when participants take TD decisions, contrasting the TB-group and the non-TB group on a significant level of $p < 0.05$. Giving evidence for the second sub-effect, the cortical relief effect (Schaefer and Rotte, 2007; Kenning et al., 2002) in the TB-group, which was solely determined by the presence of the participant’s most favoured target brand during binary buying decisions. More precisely, channel 16 ($t(31) = 2.42$, $p < 0.05$, $d = 0.86$), channel 21 ($t(31) = 2.74$, $p < 0.01$, $d = 0.97$) and channel 22 ($t(31) = 2.49$, $p < 0.05$, $d = 0.88$), which are localised in dIPFC brain regions indicate a reduced neural activity when participants, who rated the target brand as their favoured brand, had to decide between a target and diverse brand in a binary buying decision task (please see Figure 11). Furthermore, as the effect size, measured with Cohen’s d , exceed the

value of 0.8 for all three reported effects, the magnitude of the measured effects can be defined as strong (Cohen, 1988). Moreover, confirming H₂ no significant increase in neural activity could be pictured in brain regions ascribed to the vmPFC, when the target brand was present, given participants ranked the target brand first (for detailed information, see Supplementary Appendix).

5.5.7 Mobile fNIRS – a Validated Neuroimaging Method?

The results of our study clearly support the assumption that mobile fNIRS has, in principle, the ability to assist scholars and marketers to enlarge knowledge, methods and analyses from extant approaches of consumer research, developing marketing theory and consumer research findings.

Whilst our research results indicated, in line with previous work (Deppe et al., 2005), that a participants’ first-choice brand decreases the neural activity in brain regions ascribed to the dlPFC, simplifying the participants buying decision (Schaefer and Rotte, 2007), our research results also indicate some limitations of mobile fNIRS when it comes to measure subjacent brain region such as (parts of) the vmPFC (Koenigs and Tranel, 2007). Based on our results and previous research findings (McCormick et al., 1992) it should therefore be evident that mobile fNIRS is not always a suitable neuroimaging method or even a panacea; and cannot be applied when the research focus relies on, for example, subjacent brain regions. An example in this regard might be the measurement of emotional and perception processes such as price (fairness) perception (Knutson et al., 2007; Linzmayer et al., 2014). Given the fact that emotional and perception processes find its neural origin in “deeper” brain regions such as e.g., the hippocampus, the insula, the nucleus accumbens and/or the amygdala, mobile fNIRS with its technical capabilities, might currently not be able to shed light on these processes. Moreover, next to its spatial resolution, the temporal resolution of mobile fNIRS seems to be lower in comparison to for example electroencephalography (EEG), but seems to outperform the temporal resolution of fMRI (Wilcox and Biondi, 2015). By keeping in mind that every neuroimaging method has its advantages and disadvantages, it should be noted that mobile fNIRS might have, in particular, the ability to: (1) minimise purchase and running costs; (2) increase the ecological validity, due to its potential mobile usage; and (3) exploit an extended sample, integrating participants that have been excluded earlier because of physical criteria (see Kopton and Kenning,

2014). Against this background, scholars and marketers should carefully select and verify the methodological instrument they would like to apply to answer a specific research focus. In the next section, we, therefore, aim to provide marketing scholars a short guideline of how to apply mobile fNIRS to their own research. In particular, we will try to answer the following questions: If fNIRS is the answer, what should be the question? When should mobile fNIRS be applied in marketing research? And, finally, how should mobile fNIRS be applied (in a real-world situation) and how to analyse the generated data?.

5.5.8 Mobile fNIRS – a Short Guideline for Marketing Research

5.5.8.1 *If fNIRS Is the Answer, What Should be the Question?*

As mentioned before, it should be evident that neuroscientific methods do not guarantee intended results and, consequently, increase the explained variance of a scientific entity. Instead, sometimes it is needless, costly and risky to utilise neuroscientific methods to answer a marketing related research question. Consequently, scholars need to be aware, ex ante, whether a neuroscientific tool has the potential to increase their understanding of a marketing related construct and can, therefore, add to existing marketing theories. In order to illuminate whether mobile fNIRS can add to marketing research, scholars should ask themselves two additional questions, keeping the capabilities of a mobile fNIRS in mind: (i) How is information processing implemented within the brain and how is this related to a particular entity/ability? And (ii) when are particular processes and brain structures invoked? (Kosslyn, 1999).

These essential questions might be answered by conducting a comprehensive literature review in which scholars assimilate crucial information about their research focus and its connection to cognitive processes manifested in particular brain structures, combining both, the marketing and neuroscientific knowledge in one nomological network.

For example, if a marketing scholar is interested in emotional processes associated with a certain product characteristic (e.g., a car design), it should be evident that mobile fNIRS is, at the present time, not suitable to measure emotional processes, which find their neural origins in subcortical brain regions like the amygdala or the hippocampus (McCormick et al., 1992). Moreover, it is essential for marketing scholars to assure themselves that a given research question cannot be answered with existing marketing

research methods, which might be more cost-effective (Ariely and Berns, 2010) and/or easier to administer (Dimoka et al., 2012).

As mobile fNIRS opens up the ability to gather neural data in a naturalistic environment, increasing the ecological validity, it should also be evident that the temporal resolution of mobile fNIRS might sometimes, depending on the research approach, be a limitation. This might especially be the case when a stimulus occurrence is uncontrolled in a naturalistic environment.

Against this background, marketing scholars should refrain from utilising mobile fNIRS when its application does not provide essential information above and beyond information quantifiable with existing measurements. Furthermore, they should refrain when no further information about the underlying cognitive processing mechanism, no information in regard to particular processes, the related brain structures and/or information about the temporal function of the process is provided.

5.5.8.2 When Should Mobile fNIRS be Applied in Marketing Research?

After the question ‘whether’ mobile fNIRS generated knowledge can increase the explained variance of a marketing relevant entity is answered, scholars should ask themselves ‘when’ to apply mobile fNIRS. Due to the rapid proliferation of neuroscientific methods and techniques, the absence of clear guidance how to conduct high-quality, user-oriented consumer neuroscience research and a possible ignorance of the added value of the integration of neuroimaging methods, it could become difficult for marketing scholars to decide, based on their research focus, which neuroscientific method to employ. So, scholars need to be aware about the technical capabilities of a given neuroscientific method. In line with this, neuroscientific methods could be categorised according to three dimensions, the temporal resolution, the spatial resolution and whether a neuroscientific method is portable or not.

Figure 12 compares the frequently applied neuroscientific methods, intends to summarise all three dimensions scholars need to be aware of, when applying neuroscientific methods.

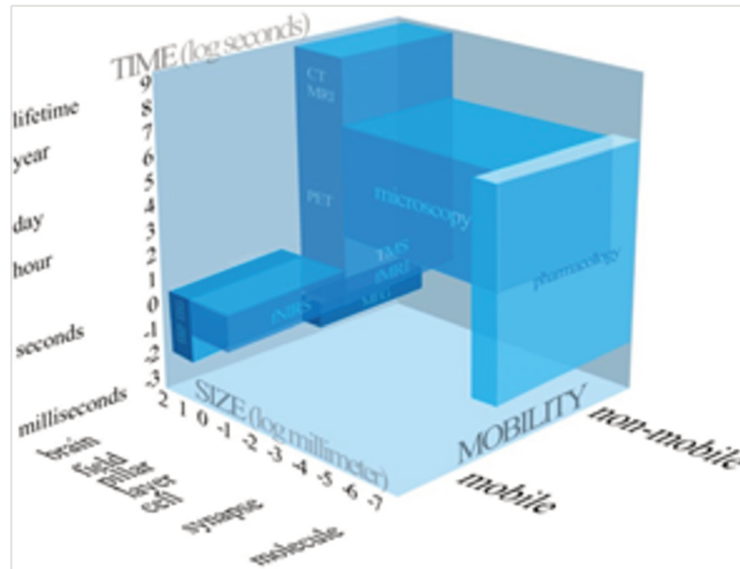


Abbildung 12. Systematic representation of the neuroscientific tools applied in consumer neuroscience and related research fields

Accordingly, scholars have to choose wisely, based on their research focus, whether to apply mobile fNIRS or not. As mentioned before, based on our research results it should be evident that mobile fNIRS is not able to measure the whole brain, but is capable of imaging depths of up to 2 cm (McCormick et al., 1992) of the human cortex. Consequently, subjacent medial brain regions cannot be measured by utilising mobile fNIRS. Hence, if the research focus relies on cognitive processes which are related to subjacent brain region, scholars might apply another neuroimaging methods, such as fMRI.

Even though, previous research indicated that fNIRS is capable of measuring brain regions such as for example the left anterior OFC (Ernst et al., 2013). There seems to be uncertainty regarding the technical capabilities of mobile fNIRS. Against this background, based on the fact that the previously mentioned brain regions are only vaguely defined and often incorporate wide areas of the PFC, it is particularly difficult for scholars to specify if mobile fNIRS is also capable of measuring subjacent brain regions which may interest them, such as the vmPFC. Consequently, based on the insufficient classification of cortical brain regions, our research work provides, based on our research results, a classification map (please see Figure 13), giving scholars the opportunity to decide if mobile fNIRS is able to measure a pre-defined region of the brain in which they are interested, or not. More precisely, a brain region such as the vmPFC might not be explorable (purple triangle) based on the technical capabilities of mobile fNIRS. Whereas brain regions which are located near the surface of the cortex,

such as the OFC, alPFC and dlPFC, might be explorable with mobile fNIRS (red quadrant and blue circle).

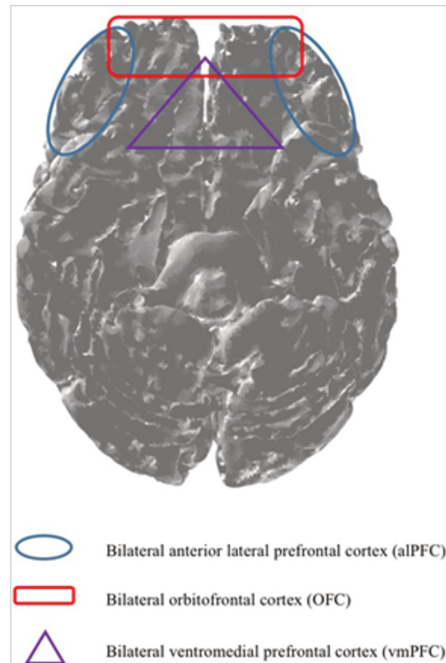


Abbildung 13. Measurement sites of mfNIRS

5.5.8.3 How Should Mobile fNIRS be Applied (in a real-world situation) and How Should the Generated Data be Analysed?

Mobile fNIRS has, in comparison to other neuroimaging methods, the advantage that it is portable administrable, allowing scholars to utilise mobile fNIRS in real world scenarios. Therefore, in order to collect real world neural data to answer a particular research question, marketing scholars should follow a three-step approach.

The first step is the preparation of the experimental setting – the environment. This is indispensable based on the temporal resolution of mobile fNIRS, which requires the appearance of a stimuli for around 2 s to 3 s in order to measure the associated neural response. Given that the ultimate goal is to measure consumers in a real-world situation, such as at the point-of-sale (PoS), at the moment it is still necessary to prepare the environmental settings in order to account and control for potential confounding effects and to guarantee the perception of a stimuli that might be manipulated in a research paradigm.

The second step is the acquisition of data. In order to collect mobile fNIRS data to answer a particular research question, participants need to be equipped with a headband or a cap, comprising light sources and detectors that cover parts or the whole cortex.

After the headband or cap is placed on the cortex scholars have to calibrate it to make sure that the signal quality is to their satisfaction. To check for the fNIRS signal quality, scholars could use several, mostly with the hardware delivered software packages. Before starting the calibration to check for the fNIRS-signal quality, scholars should eliminate external light sources which might interfere with the fNIRS-signal by protecting the measured brain region with a light impermeable cap. Moreover, before starting the experiment participants should be informed that strong and abrupt (head)movements during data collection should be avoided. This is essential in order to guarantee appropriate fNIRS data quality and prevent strong (movement) artefacts.

In comparison to a stationary conducted fNIRS experiment, the implementation of mobile fNIRS might be even more challenging, as it implies an adequate preparation of the experimental setting in which the data acquisition takes place. Moreover, given that it is rather difficult to define the occurrence of stimuli in a mobile, naturalistic experiment beforehand, it is necessary to combine mobile fNIRS with other neurophysiological methods such as eye-tracking to control for external, environmental cues. This is also relevant for the data analysis of fNIRS experiments conducted in the field, as it takes significantly more time and effort to analyse the data as the stimuli onsets have to be defined *ex post* and with the help of another neurophysiological methods such as e.g., eye-tracking. Nevertheless, based on our research work and recent research findings (Krampe et al., 2018), it should be evident that the advantages of conducting mobile fNIRS experiment may exceed potential disadvantages.

The third step in this process is the data analysis. Before starting the data analysis, scholars need to define task-specific events based on the *ex-ante* established paradigm or manually by defining the onsets (time a stimulus occurred) and length of the stimulus (time a stimulus was present) for every event respectively. This is essential in order to analyse the data statistically. Similar to other neuroimaging data analysis procedures, for example fMRI, the fNIRS analysis process may be subdivided into several components.

First, scholars need to check the signal quality of every diode and optode previously defined in a topographic map of the cortex (Figure 10). Second, irrelevant time series might be truncated in order to exclude time intervals from further consideration, which are not relevant to answer a particular research question. Third, scholars might remove discontinuities and spike artefacts from the data time series, which are clearly and apparently qualified as confounding effects. Thereby, abnormalities that have two or

more adjacent channels with t-values over three standard deviations from the group average (Fishburn et al., 2014) or which indicate significantly more spike artefacts might be excluded from further analysis. Fourth, scholars should apply a high, low or band-pass frequency filter in order to smooth the fNIRS data time series. Thereafter, scholars need to decide which light signal (alternatively raw data) they would like to investigate. As the oxy-Hb signal has been shown to correlate with cerebral blood flow better than the deoxygenated signal (Hoshi et al., 2001), most of the fNIRS data analysis focuses on the oxy-Hb light signal. It should, however, be evident that mobile fNIRS is capable of examining raw data, oxygenated, deoxygenated and total haemoglobin concentrations, which is one advantage in comparison to other neuroimaging methods. Thereafter, scholars might convert the raw near-infrared light absorption and attenuation data into oxy-, deoxy- and/or total- haemoglobin concentrations. The most common used algorithm for this progression is the modified Beer-Lambert law (Kocsis et al., 2006; Kopton and Kenning, 2014; Scholkmann et al., 2014), which is integrated in the previously described “NirsLab” toolbox, containing several parameters as described in the data analysis section above.

Once the data have been processed, scholars might analyse the haemodynamic-state time series, as defined before based on the ex-ante established paradigm, on within-session and/or within- subject level or across multiple sessions or between-subject level. Thereby, a GLM on individual level will be set up to model neural activity during the experimental task, based on the predefined stationary or mobile paradigm.

Finally, to identify the underlying brain regions involved, statistical results are depicted on a standardised brain to visually locate the neural activation patterns and interpret them. Scholars should be very careful about the localisation and designation of the associated brain regions, encouraging scholars to apply the previously introduced classification map of the PFC.

5.5.9 Conclusion

Returning to the research questions – is mobile fNIRS a valid neuroimaging method for “neuromarketing” and consumer neuroscience? – we suggest, the answer is “*yes, in principle but.*” confirming that mobile fNIRS is in some situations and circumstances an appropriate neuroimaging method able to expand knowledge on several marketing research related issues. Thereby, mobile fNIRS has a good temporal resolution but is restricted in its spatial resolution.

By keeping in mind that there are various mobile fNIRS technologies, which might also be applied in the research field of marketing, recent research demonstrated the usability of smaller, two-channel, portable fNIRS devices and its utility in order to investigate emotional and/or stress processes (Brugnera et al., 2017, 2018; Adorni et al., 2018), indicating the proliferous, ongoing technological progression of mobile fNIRS and its potential for marketing research.

Against this background and based on our research findings, we encourage marketing research to apply mobile fNIRS, following our and already established guidelines (Brouwer et al., 2015; Plassmann et al., 2015), whenever the immobility of another method becomes an issue and when previous research indicates that cortical, near surface brain regions are involved.

5.5.10 Supplementary material

The Supplementary Material for this article can be found online at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2018.00433/full#supplementary-material>

5.6 Beitrag 6: Beyond Traditional Neuroimaging: Can Mobile fNIRS Add to NeuroIS?

5.6.1 Abstract

NeuroIS research has shown that the application of neuroimaging methods (e.g. fMRI) could add to our understanding of human-human and human-computer interaction. However, taking the specific constraints of some neuroimaging methods into account, there is an ongoing discussion regarding the application and implementation of existing and innovative neuroimaging methods. Against this background, this work introduces an innovative neuroimaging method, namely mobile functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) to NeuroIS. By indicating that mobile fNIRS appears to be a valid neuroimaging tool, our work aims to encourage researchers to utilise mobile fNIRS in the field of NeuroIS.

5.6.2 Neuroimaging Tools in NeuroIS – Potentialities and Obstacles

In our digital world, the usage of electronic hardware, operating software and their potential failures keep challenging our understanding of human processing. Facing this challenge, researchers in the nascent field of NeuroIS have started to utilise neuroimaging tools to expand theoretical concepts and provide insights into neural mechanisms underlying human-computer interaction. Most of the research was done using functional magnet resonance imaging (fMRI). As a consequence, fMRI is a widely used neuroimaging method, exploring or “mapping” the user’s brain.

For example, NeuroIS researchers investigated human neural functioning in online environments by simulating a purchase scenario within fMRI (Riedl, Hubert & Kenning, 2010; Dimoka, 2010). Consequently, in line with recent research (Venkatraman, Dimoka, Pavlou, Vo, Hampton, Bollinger, Hershfield, Ishihara & Winer, 2015), results indicated that brain responses might provide better predictions for purchase intentions than self-reported measurements (Dimoka, 2010), signifying the added value of neuroimaging methods in NeuroIS. However, the question remains whether ecological validity is given from insights that were obtained within an artificially created and stationary experimental environment (Dimoka, Davis, Gupta, Pavlou, Banker, Dennis, Ischebeck, Müller-Putz, Benbasat, Gefen, Kenning, Riedl, vom Brocke & Weber, 2012). As a consequence, there might be a discrepancy between the neural insights gathered in a more or less artificial setting and the user’s real-world behaviour. Therefore, there is a need to develop and discuss new and complementary methods that allow NeuroIS to image brain activity in naturalistic settings.

A neurophysiological method that is capable of measuring brain activity outside a laboratory is the electroencephalography (EEG). The advantageous usability of EEG was also recognised by researchers in NeuroIS, who utilised EEG to assess brain activity during human-computer interaction (Li et al., 2014; Gregor et al., 2014; Minas et al., 2014; Léger et al., 2014). For example, the engagement with and usability of websites as well as computer games can be quantified by the use of electrophysiological signals (Li et al., 2014; Gregor et al., 2014). Moreover, whilst measuring brain activity utilising EEG, the distraction of work processes and potential reasons for poor decision-making have been investigated. The obtained insights have several implications for developing ERP-systems (Minas et al., 2014), giving reason to believe that human-computer

interaction can be captured by means of neuro-physiological tools. However, EEG measurements have the disadvantage of being very sensitive to movement artefacts. Meaning that if participants are freely moving within naturalistic settings, the application of EEG might be questionable.

Against this background, the use of mobile functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) (<http://nirx.net/nirsport/>) might be a fruitful avenue for NeuroIS. Like stationary fNIRS, mobile fNIRS is a relatively inexpensive and comfortably applicable alternative compared to other frequently and mostly stationary used neuroimaging techniques in NeuroIS research. However, due to the fact that mobile fNIRS is still a relatively novel technique, its validity has to be proven. To address this, the following section describes the methodological background and physiological parameters of fNIRS. Additionally, recent research is presented, indicating that mobile fNIRS is capable of successfully replicating a well-known brain mechanism from the field of decision neuroscience, namely the “winner-takes-it-all” effect (Deppe et al., 2005; Koenigs & Tranel, 2008), showing that mobile fNIRS might also be a valid neuroimaging method in NeuroIS.

5.6.3 Functional Near-Infrared Spectroscopy—Functionality and Application

Very briefly, functional Near-Infrared Spectroscopy is a neuroimaging tool to measure neural cortical activity by utilising the light absorption characteristics of de-/oxygenated haemoglobin. In order to understand the functionality of fNIRS, the following section describes its methodological background and physiological parameters.

5.6.3.1 Methodological Background of fNIRS Measurement

Up until the present day from forty years ago, Jöbsis (Jöbsis, 1977) was the first to explain how the optical properties of cerebral oxygenated and deoxygenated haemoglobin can be used to assess brain activity (Villringer et al., 1993; Funane et al., 2014; Kopton & Kenning, 2014). By irradiating near-infrared light into participants’ heads, scattered residuals of light can be captured, allowing the indirect quantification of neural activity to be measured. Until today the commercially available fNIRS is based on these technical and physiological principles. Using specific wavelengths of light (760

and 850 nm) that are mainly absorbed by oxygenated and deoxygenated haemoglobin, neural activity can indirectly be examined. More precisely, fNIRS projects near-infrared light through the scalp and records optical density fluctuations resulting from metabolic changes within the brain (Fig. 14). Like the BOLD-signal in fMRI, fNIRS uses cerebral blood flow as a proxy for neural activity, resulting in a high correlation between the two quantities (Masataka, Perlovsky & Hiraki, 2015; Fishburn et al., 2014). The spatial resolution and penetration depth of fNIRS is dependent on the distances between light sources and detectors, but generally fNIRS is capable of imaging depths of up to two centimetres (McCormick et al., 1992). This allows the measurement of cortical brain regions located near the scalp surface, making it particularly suitable for measuring brain regions of the prefrontal cortex, which plays a crucial role in the interpretation of information and decision-making processes (Li et al., 2014).

In line with the “*golden standard*” in neuroimaging – fMRI – researchers have to follow a three-step approach to make use of fNIRS.

The first step is the acquisition of data. Participants are fitted with a cap or, by utilising mobile fNIRS, with a headband, comprising light sources and detectors that cover parts or the whole cortex. Most commonly in mobile fNIRS a headband with an 8-source/8-detector NIRS layout is used. Subsequently, researchers have to check for signal quality. Hereby, they should be aware of the fact that mobile fNIRS detectors gather optical light signals. Therefore, it is important to avoid external light interferences that could possibly distort the relevant signal. The protection against external light interferences can be ensured by using a cap covering the mobile fNIRS tool.

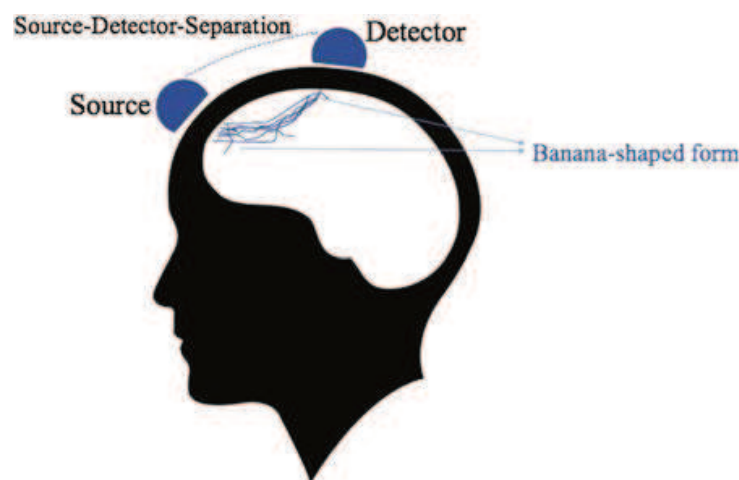


Abbildung 14. Schematic representation of mobile fNIRS methodology

The second step is the data analysis. In order to perform statistical tests, raw data has to be pre-processed. In doing so, light signals are separated in order to distinguish oxygenated from deoxygenated haemoglobin. Furthermore, artefacts for example heart rate or head movements are eliminated and task-specific events are defined.

Third and finally, the task-specific events are contrasted and statistically examined. In order to identify the underlying associated brain regions, the statistically calculated values are depicted on a standard brain to visually locate the activation and interpret the results.

Taking into account that mobile fNIRS is a portable device, researchers have to be aware of specific characteristics such as the mentioned light interferences. In addition, the portable application of mobile fNIRS leads inevitably to participants' movement. In order to reduce artefacts within the data signal, expansive or galvanic movements should be avoided.

5.6.3.2 Evidence for the Applicability of Mobile fNIRS Measurement

In order to answer the question whether mobile fNIRS is indeed appropriate to assess brain activity relevant for NeuroIS, we conducted a study investigating a well-known and replicated neuroscientific effect in the field of the decision neuroscience, namely the “*winner-take-it-all*” effect (Deppe et al., 2005; Koenigs & Tranel, 2008). It is characterized by a decreased neural activity in the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) – located laterally on the brain surface – and an increased neural activity in the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC) – located medially within the brain – when consumers are exposed to a binary decision-making set integrating their favourite brand. With regard to this robust effect and based on the technical capabilities of mobile fNIRS, we suggest that mobile fNIRS is only able to partially detect this typical activation pattern (McCormick et al., 1992). More precisely, we hypothesised:

H₁: Mobile fNIRS is able to capture decreased neural activity in the dlPFC.

H₂: Mobile fNIRS is not capable of indicating increased neural activity of deeper-lying brain regions associated with the vmPFC.

To test these hypotheses, 23 participants were equipped with the mobile fNIRS headband. This headband consisted of an 8-source/8-detector NIRS layout, covering most of the prefrontal cortex, in particular bilateral dorsolateral prefrontal cortex, bilateral premotor cortex and bilateral orbitofrontal cortex.

Whilst measuring their neural prefrontal cortex activity, participants were asked to mentally decide between two different brands of the same product type, following the instructions used in the original study (Deppe et al., 2005; Koenigs & Tranel, 2008). In total, 100 decisions had to be taken, of which half of them integrated a predefined target brand in randomised order. Based on the participants' subjective ranking of the brands, two groups were classified. Participants who rated the predefined target brand as their favourite brand (TB) were separated from participants who assigned another brand as their favourite (non-TB).

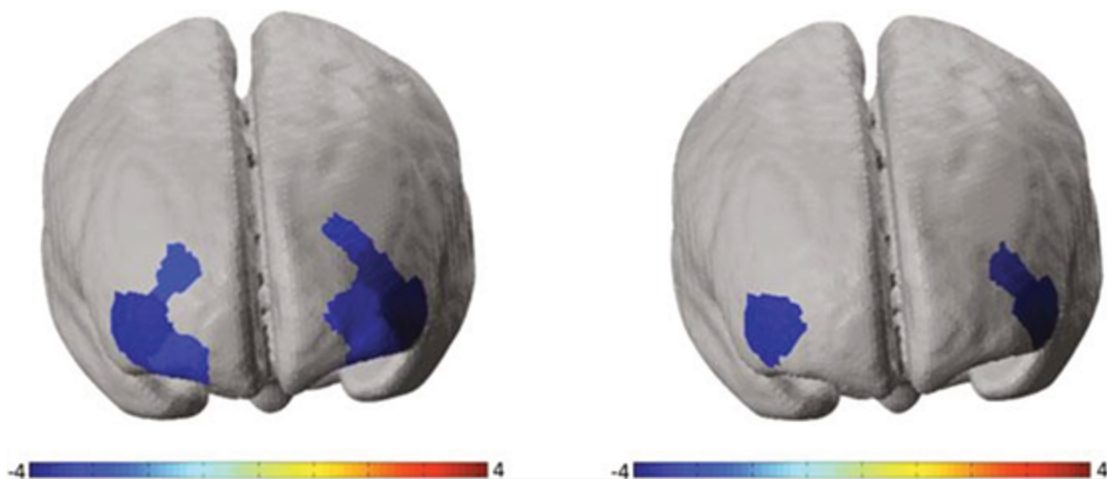


Abbildung 15. Significant activation pattern contrasting the two groups TB versus non-TB during target-brand decisions at $p < 0.01$ (left) and $p < 0.001$ (right).

Following the three-step approach afore-mentioned, the raw data of each participant was truncated in order to delete negligible time intervals before and after the experimental task. Next, artefacts and irrelevant frequencies (e.g. heart rate) were removed by applying a band-pass filter. Furthermore, haemodynamic states were computed. In the last step, as in the original task, the neural activity of the two groups (TB vs. non-TB) were contrasted on target brand decision-making events.

In line with our hypotheses, a significant decreased activity of the dlPFC was identified for target brand decisions in the TB-group in comparison to the non-TB-group. As

expected, no increased activity was found for brain regions associated with the vmPFC (Figure 15).

To conclude, our results partially replicate the “*winner-take-it-all*” effect as suggested, indicating the validity of mobile fNIRS. Nevertheless, based on our research results it is evident that mobile fNIRS is not capable of measuring subjacent brain regions, such as the vmPFC, due to its technical capabilities. Therefore, NeuroIS researchers have to wisely decide a priori whether this neuroimaging method is suitable to explore their scientific entity.

5.6.4 Application of Mobile fNIRS to NeuroIS

Assuming mobile fNIRS as a valid proven method, it might potentially improve research in the field of NeuroIS. In order to demonstrate its application in NeuroIS research, two future research applications are described in the following section.

Application 1: Machine Usability. Undoubtedly, digitalisation has changed our daily life, for example at work (CeBIT, 2017). In fact, human work life is often determined by innovative machines, that incorporate software intended to make them “smart”. Regarding productivity, users’ perceived usability and acceptance of such innovative machines is crucial. Consequently, it is essential to test the usability and practical application of innovative machines within their usual working environment (e.g. in regard to graphic-user-interfaces and human-computer interaction). However, the investigation of machine usability and human-machine interaction by means of fMRI is sometimes incompatible due to the magnetic nature of many machines. Therefore, in fMRI studies only simplified and less naturalistic versions of a scientific entity are feasible to be measured. As a consequence, relevant interaction and processing steps might be eliminated, increasing the discrepancy of the measured and actual human behaviour and its associated neural reactions. Here, mobile fNIRS has the advantage to assess relevant constructs within a naturalistic setting, including the natural usage of a machine and its associated effects evoked by the environment. Therefore, mobile fNIRS could be a promising, complementary and ecologically valid neuroimaging tool in field studies on machine usability.

Application 2: Enterprise Resource Planning (ERP). ERP-systems help organisations to deal with management processes that take place in modern business (Hartmann, De Angeli & Sutcliffe, 2008). Generally speaking, an ERP-system is a software tool that manages all the company's data to provide information to those who need it at the time they need it (Ragowsky, 2002). In addition to classical ERP-systems, in the future, in vivo-signals simultaneously gathered by using mobile fNIRS might indicate the cognitive load of employees and, therefore, allows an ERP-system to integrate neural data in order to optimize companies' workflow. By assessing the load-dependent activation of the dlPFC (Fishburn et al., 2014) – a brain region measurable by means of mobile fNIRS – workload can be quantified for each employee individually. The ERP-system detects their cognitive load and automatically assists employees to reduce or adjust their workload. Moreover, the total amount of work (e.g. in a call centre) might be distributed considering the mental capacity of each employee, enhancing the efficacy by competently shifting tasks and workload from one employee to another.

Against this background and based on these two examples, NeuroIS researchers and IS practice might consider mobile fNIRS as a novel neuroimaging tool. Compared to other frequently used neuroimaging tools in NeuroIS, mobile fNIRS provides some advantages that could encourage IS researchers to apply mobile fNIRS in future.

5.7 Beitrag 7: The Application of mobile functional Near-Infrared Spectroscopy for Information Systems

5.7.1 Abstract

To progress research and practice, this research work explores the application of an innovative and mobile applicable neuroimaging method – mobile functional near-infrared spectroscopy (mfNIRS) – to the research field of information systems. Recent research indicated that mfNIRS provides a cost-efficient alternative to other – mostly stationary utilised – neuroimaging methods; has the potential to measure neural processes directly on the spot – increasing the ecological validity; and appears to be a valid neuroimaging method to study neural activity of the prefrontal cortex in specific situations and circumstances. Against this background, the research objective of this methodological tutorial is to illustrate the utility of mfNIRS whilst providing comprehensive guidelines for information systems researchers. Conclusions of the empirical tutorial indicate that IS researchers have to be particularly prudent about the experimental design when conducting mfNIRS studies. Moreover, careful consideration should be taken in the multimodal combinations of mfNIRS with other neuroscientific methods, the data analysis and its associated interpretation. This research work is one of the first that provides comprehensive guidelines for information systems researchers of when and how to apply mfNIRS.

5.7.2 Introduction

With the progression of neuroscientific methods starting in the early 1990s (Kwong et al., 1992), innovative, neuroscientific research approaches have been used to generate advanced knowledge in various disciplines, enlarging scientific concepts and theory (Ariely & Berns, 2010; Dimoka, Pavlou, & Davis, 2011; Dimoka et al., 2012; Krampe, Strelow, Haas, & Kenning, 2018b; Riedl et al., 2016; Lee, Chamberlain, & Brandes, 2018; Plassmann, Venkatraman, Huettel, & Yoon, 2015; Telpaz, Webb, & Levy, 2015; Venkatraman et al., 2015). Nevertheless, whereas these research findings seem very promising and the general interest of integrating neuroscientific data into information systems (IS) research seems continuously to increase (Riedl & Léger, 2016), the application of neuroscientific methods to IS research is still in progression (Riedl, 2012; Fischer & Riedl, 2015; Gefen et al., 2014).

In order to facilitate this progression, this research work focus on the mobile applicable version of functional near-infrared spectroscopy (mfNIRS) and its utilisation in IS research. Mobile fNIRS, which quantifies brain activity by means of near-infrared light, has been applied and indicated its potentialities in several IS related disciplines (e.g. Fishburn, Norr, Medvedev, & Vaidya, 2014; Quaresima & Ferrari, 2016; Çakir, Çakar, Giriskan, & Yurdakul, 2018; Ferrari & Quaresima, 2012; Kopton & Kenning, 2014; Krampe, Gier, & Kenning, 2018b; Krampe, Strelow, & Kenning, 2016). Moreover, there is evidence that mfNIRS is capable of enlarging knowledge above and beyond the utilisation of existing IS research method (Gefen et al., 2014). By doing so mfNIRS has several advantages in comparison to other neuroimaging methods. For example, in contrast to functional magnetic resonance imaging (fMRI), the ‘golden-standard’ in neuroimaging, mfNIRS is inexpensive, mobile applicable and allows the integration of all participants as it is a non-invasive neuroimaging method that solely utilised near-infrared light to indirectly detect neural activity.

Against this background, the objective of this methodological tutorial is to provide comprehensive guidelines for IS research of how to conduct mfNIRS experiments as well as how to analyse and interpret the collected data. To achieve this, the research work is structured as follows:

In the first section, the most common neuroimaging methods applied in IS and cognate research disciplines are briefly reviewed. In the second section, the basic principles of (mobile) fNIRS, the technical parameters and functionalities as well as the availability of existing (mobile) fNIRS systems are described. The following third section, focuses on methodological issues of how to conduct mfNIRS experiments, analyse the data, reveal potential statistical inference and interpret the neural results. The last and final section displays application examples and future research suggestions of when and how to utilise mfNIRS in IS research. In particular, IS relevant themes such as the impact of information and communication technologies (ICT) on our daily life; and the human-computer interaction (HCI) will be considered.

5.7.3 Overview of the Current Neuroimaging Methods

In general, neuroimaging methods can be defined as methods that allow to produce in vivo images of the human brain. In essence, these methods can be subdivided into two groups. On the one hand, there are direct neuroimaging methods, which allow to measure immediate neurophysiological responses, like magnetoencephalography (MEG) and electroencephalography (EEG). On the other hand, there are indirect neuroimaging methods, methods which are based on human metabolism processes. In comparison to direct neuroimaging methods, indirect neuroimaging methods measure brain activity based on the premise that active brain regions need more energy and consequently more oxygenated blood, which is used as a proxy to quantify neural activity using physiological characteristics. Consequently, the indirect neuroimaging methods are based on a correlative research approach.

Besides, the application of neuroimaging methods distinguish in the prevalence of its usage, which is mostly dependent upon the research focus, the technical capabilities and functionality of a neuroimaging method. As there are several neuroimaging methods, used in various research fields, *Table 1* summarises the most common direct and indirect neuroimaging methods as well as the advantages and disadvantages related to information systems research and cognate disciplines.

5.7 Beitrag 7: The Application of mobile functional Near-Infrared Spectroscopy for Information Systems

Neuroimaging Methods	Advantages and Disadvantages	Related Research Work	Mobile Applicable
<i>Direct Neuroimaging Methods</i>			
Magnetoencephalography MEG	Registration of changes in magnetic streams, elicited by the electrophysical signal of neurons + good temporal resolution (allowing to measure neural activity changes in seconds) + non-invasive method - high measurement costs - rather complicated data analysis - poor spatial resolution (limited in its potential to localised brain activity on the cortex)	e.g. Ioannides et al., 2000; Zalman & Kostyn, 2000	no/partially
Electroencephalography EEG	Measurement of voltage fluctuations at the surface of the cortex + good temporal resolution (allowing to measure neural activity changes in milliseconds) + moderate equipment costs + rather uncomplicated data analysis + non-invasive method - poor spatial resolution (limited in its potential to localised brain activity on the cortex) - rather complicated data collection	e.g. Pynta et al., 2014; Vecchiato et al., 2010; Ohme & Matakis, 2012; Gountas, Gountas, Soutar, & Mavondo, 2014; Boksem & Smidts, 2015; Harris, Ciorciari, and Gountas, 2018	partly
<i>Indirect Neuroimaging Methods</i>			
Positron-Emission-Tomography PET	Nuclear medicine technique for analysing indirect, metabolic processes in neurons + good spatial resolution (allowing to measure and localise neural activity in the whole brain) - very poor temporal resolution (in comparison to EEG) - invasive method	e.g. Harris et al., 2018	no
Functional magnetic resonance imaging fMRI	Measurement of indirect, metabolic activity using the magnetic properties of blood (the BOLD-signal) + very good spatial resolution (allowing to measure and localise neural activity in the whole brain) + non-invasive method - high measurement costs - rather complicated data analysis - poor temporal resolution (in comparison to EEG)	e.g. Dimoka, 2010; Falk et al., 2016; Hubert, Hubert, Linzmajer, Riedl, & Kenning, 2018; Kenning, Plassmann, & Ahlert, 2007; Ogawa, Lee, Kay, & Tank, 1990; Knutson, Rock, Wimme	no

Tabelle 3. Applied neuroimaging methods in the field of NeuroIS

Taking into account that there is still a limited set of mobile applicable neuroimaging methods available, mfNIRS might have the potential to close the frequently mentioned ecological validity gap (Boto et al., 2018; Gordon, Ciorciari, & van Laer, 2018). Contributing to this ongoing progression (Boto et al., 2018), mfNIRS offers information systems research a fruitful new avenue to investigate the users' or customers' behaviour in real-world settings. Consequently, a detailed description of the mobile applicable neuroimaging methods of mfNIRS will be illustrated in the following section.

5.7.4 Mobile functional Near-Infrared Spectroscopy (mfNIRS)

More than twenty years ago, Jöbsis (1977) demonstrated the possibility to detect changes of adult cortical oxygenation during hyperventilation by near-infrared spectroscopy (Ferrari & Quaresima, 2012; Kopton & Kenning, 2014). Grounded on this work and the development which comes with it, (mobile) fNIRS have recently been applied in several research fields, for example in economics (e.g. Kopton & Kenning, 2014) and/or organisational research (e.g. Ferrari & Quaresima, 2016). However, in order to employ this innovative neuroimaging method to information systems research, researchers need to know about (i) the basic operating principle of mfNIRS; (ii) the technical parameters of mfNIRS; (iii) the penetration depth of mfNIRS; (iv) the commercially available mfNIRS systems and (v) potential confounding effects which might interfere with the fNIRS signal – information which are displayed in the subsequent sections.

5.7.4.1 (i) Basic operating principle of (mobile) fNIRS

Interestingly, near-infrared light, or more precisely, light in a wavelength spectrum of 650 to 950 nanometres has the advantage that it can pass biological tissue without difficulty and can non-invasively illuminate cortical tissue of the human brain (Funane et al., 2014; Jöbssis, 1977; Kopton & Kenning, 2014; Krampe, Strelow, Haas, & Kenning, 2018a; McCormick, Stewart, Lewis, Dujovny, & Ausman, 1992; Scholkmann et al., 2014). Functional near-infrared spectroscopy takes advantage of this characteristic as parts of the emitted and scattered near-infrared light are absorbed by oxy- and deoxygenated haemoglobin, which allows the indirect quantification of neural activity to be measured. Thus, by sending out near-infrared light with diodes (light sources), which always travels through tissue in a ‘banana-shaped’ form (Okada & Delpy, 2003), and measuring the reflection with optodes (light detectors), this method allows to indirectly measure brain activity of a particular, *ex ante*, defined brain region.

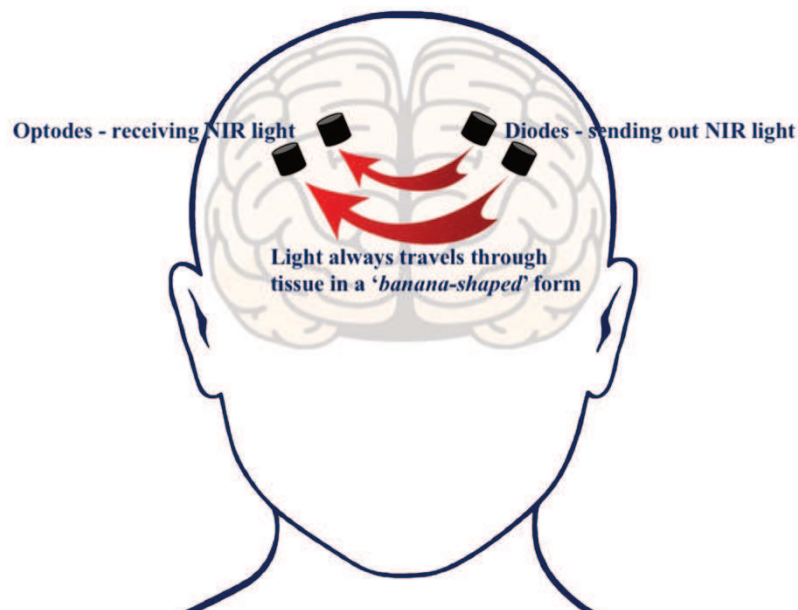


Abbildung 16. mfNIRS functionalities

5.7.4.2 (ii) *Technical Parameters of (mobile) fNIRS*

Currently, there are several fNIRS systems with related key features, advantages and disadvantages grounded on different techniques available (Quaresima & Ferrari, 2016a) (for a detailed review please see: (Quaresima & Ferrari, 2016a; Scholkmann et al., 2014; Torricelli et al., 2014). In brief, there are *three different NIRS techniques* available.

First, the *continuous wave (CW)* modality, which is probably the most commonly utilised fNIRS technique due to the advantage of being low in cost and easily transportable (Quaresima & Ferrari, 2016a), is based on constant tissue illumination, simply measuring light attenuation through the head.

Second, the *frequency-domain (FD)* method illuminates the head with intensity modulated light, measuring both attenuation and a phase of delay of the emerging light (Quaresima & Ferrari, 2016a).

Third, the *time-domain (TD)* technique, which illuminates the head with short pulses of light, detecting the shape of the pulse after propagation through tissue (Quaresima & Ferrari, 2016a).

In this regard, it needs to be evident that the CW-fNIRS system measures (de-)oxygenated concentrations/haemodynamic changes (with the modified Beer-Lambert law – for more information please see below or [press here](#)) with respect to an initial value arbitrarily set equal to zero. Furthermore, CW-fNIRS systems offer, in contrast to FD- and TD-fNIRS systems, the advantages of being low in cost and mobile applicable, which is an important factor for IS researchers to decide which fNIRS system to apply. The FD- and TD-fNIRS techniques offer, on the other hand, the possibility to characterise the optical properties of tissue, from which it is possible to retrieve absolute (de-)oxygenated concentrations changes.

5.7.4.3 (iii) *Near-Infrared Light Penetration Depth*

The penetration of NIR-light depends on the light scattering, absorption rate as well as the separation distance between light sources and detectors. Near-infrared light photons

are known to travel in a ‘*banana shape*’ form through tissue (figure 1), which makes (mobile) fNIRS measurements most sensitive to (de)-oxygenated haemoglobin molecules from 1.5 to 2.5 centimetre below the skull. When it comes to the actual measurement of neural cortical activity, the penetration depth of (mobile) fNIRS lies between one and two centimetre (McCormick et al., 1992); Quaresima and Ferrari (2016a); (Torricelli et al., 2014), whilst keeping an optimal separation distance between optodes and diodes of approximately three centimetre. However, the selection of the optode-diode separation is dependent upon the NIR-light intensity (e.g. strength of diodes), the subject’s head properties as well as the participant’s age (McCormick et al., 1992; Quaresima and Ferrari, 2016a; Torricelli et al., 2014).

It should, however, be evident that the penetration depth of one to two centimetres allow IS researchers the measurement of relevant, cortical brain regions as for example the dorsolateral prefrontal cortex as well as the orbitofrontal cortex. Notable, subcortical brain regions like the ventromedial prefrontal cortex could *not* be explorable with mobile fNIRS (Ernst et al., 2013; Krampe, Gier, et al., 2018b; Krampe, Strelow, et al., 2018b).

5.7.4.4 (iv) Available (mobile) fNIRS Systems

Next to the described technical parameters and penetration depth of (mobile) fNIRS, it should also be mentioned that (mobile) fNIRS systems, applied to measure cortical brain activity, vary in complexity from smaller, two-channel, portable fNIRS devices (Adorni et al., 2018; Brugnera, Adorni, Compare, Zarbo, & Sakatani, 2016; Brugnera et al., 2017) to stationary ‘*whole-head*’ arrays, integrating several dozen of channels and covering the whole human cortex. Whereas these ‘high-density 3-dimensional whole-head fNIRS system (integrating more than 50 fibre optical bundles)’ (for more information please see: Liao & Culver, 2014; Quaresima & Ferrari, 2016a; Scholkmann et al., 2014) improve the data quality by increasing the spatial and temporal resolution, these advanced fNIRS systems have the disadvantages of being heavy, limited in their flexibility and cable length as well as uncomfortable for the participants. To overcome these disadvantages different battery-operated, multichannel, wireless, mobile fNIRS system have been introduced (Quaresima & Ferrari, 2016a).

After this short description of the fundamental aspects associated with (mobile) fNIRS-technologies, the following section will focus on the methodological issues related to mobile fNIRS.

5.7.4.5 (v) *Potential Confounding Effects and Possible Solutions*

Motion artefacts have indicated to influence the mobile fNIRS data collection and in particular the data quality. Thereby, head movement and facial movements seems to be particular influential when collecting mobile fNIRS data (Girouard, Solovey, Hirshfield, Peck, Chauncey, Sassaroli, Fantini & Jacob, 2010). In order to prevent head movement artefacts, IS researcher have to make sure that the utilised headgear is correctly and stably placed on the participants forehead (for more information please see below). Moreover, researcher need to instruct participants to avoid strong and abrupt head movements.

Next to these preventive activities, researcher could control the collected mobile fNIRS raw data in order to verify the data quality and emend for spike artefacts. Following this procedure, researchers need to exclude participants, that had two or more adjacent channels with beta values over three standard deviations from the group average, from further analysis. Besides, the application of a filter allow to further correct for potential spike artefacts, which are mainly because of (head/jaw) movements (for more information please see below).

Additionally, in order to control the collected mobile fNIRS data sets *ex post*, other statistical approaches, mainly to correct for (movement) artefacts and blood circulation, have been introduced, please see: Zhang, Yiheng, et al., 2005 or Cooper, Robert, et al., 2012.

Ambient light might also be a cofounding variable. Consequently, researcher need to prevent external light sources that might distort the fNIRS signal. Thereby, a light shielded cap could be used in order to prevent light-based artefacts. The fNIRS signal is also influenced by respiration and heartbeat. Nevertheless, these confounding effects can be removed applying existing filtering techniques, as subsequently described.

5.7.5 Methodological Issues Related to mobile fNIRS

In order to apply mfNIRS in IS research, it is inevitable for researchers to have a methodological understanding about the following steps: (i) the experimental procedure; (ii) the data acquisition; (iii) the data analysis; (iv) the data (pre-)processing; (v) the (raw) data transformation; (vi) the statistical model fitting; (vii) the comparison of haemodynamic responses on group level; (viii) the data interpretation and, finally, (ix) the combination of mobile fNIRS with other neuroscientific methods.

5.7.5.1 (i) *Experimental Procedure*

Before conducting a (mobile) fNIRS experiment, IS researchers have to decide whether they would like to utilise fNIRS in a stationary experimental setting or in a mobile setting. Thereby and in general, researchers need to be aware of the fact that stationary designed experiments allow to control for various influential, mostly environmental factors. Consequently, researchers should choose a stationary fNIRS experiment when the estimated effect size, quantifiable with Cohen's d (Cohen, 1988), is rather small, unknown and/or significantly influenced by external cues; e.g., environmental characteristics, human interactions, etc.). However, when the estimated effect size (Cohen, 1988) seems to be robust, researchers might utilise mobile fNIRS, in order to increasing the ecological validity whilst measuring a given information systems relevant entity in naturalistic settings.

Regardless of whether researchers choose for a stationary or mobile experimental setting, the general procedure of the application of (mobile) fNIRS could be described as follows:

First, in order to collect fNIRS data participants (e.g. users) need to be equipped with a cap or a headband, comprising NIR-light optodes and diodes that cover parts or the whole human cortex. Thereby, the cap or headband have to be placed accurately, following a precise procedure. To place the cap on a participants head, researchers could follow the 10-20 system (Jasper, 1958), which is frequently utilised in EEG studies (Koessler et al., 2009).

In order to place the headband, it is important to ensure that it is located according to the anatomical brain structures of a participant, thereby the craniometric point of the nasion, where the top of the nose meets the ridge of the forehead, might be used as the lower bottom of the headband. Based on the limited spatial resolution of mobile fNIRS, this procedure is indispensable in order to guarantee a minimum of comparability between participants when analysing the headband collected data on group level.

Second, after the cap or headband is placed on the (fore)head, in dependence upon the measurement of the intended cognitive process as well as the associated brain regions (please see below or neurosynth.org), researchers have to make sure that the fNIRS-signal quality is to their satisfaction. To achieve this and before starting the calibration to check for the fNIRS-signal quality, external lights sources which interfere with the haemodynamic responses should be eliminated by means of a light impermeable cap. Additionally, researchers should search for and, consequently, reduce strong and intense light sources that may occur in the experimental environment and which might disrupt the data collection process. Moreover, before starting the experiment participants should be informed that strong and abrupt (head)movements during data collection should be avoided. This is essential in order to guarantee appropriate fNIRS data quality and prevent strong (movement) artefacts.

Third, researchers should explore whether sufficient near-infrared light travels through tissue in order to guarantee a descend data quality. For this, researchers could use several, mostly with the hardware delivered software packages (e.g., <https://nirx.net/software>; <https://www.nitrc.org/projects/homer2>) and calibrate the headgear.

Given the fact that mobile fNIRS allows to either choose, based on their research focus, for a stationary experimental setting or a mobile experimental setting, it should be mentioned that the data acquisition between the stationary and mobile data collection differs significantly. That said, this general review focuses only the mobile application of fNIRS.

5.7.5.2 (ii) Data Acquisition

Given that the goal is to measure costumers' or users' behaviour in real-world situations, such as in front of a computer or electronic devise, it is imperative to mention that, to date, the environmental setting needs to be prepared in order to account and control for potential confounding environmental factors. Due to the fact that it is rather difficult to determine all the occurrences of stimuli in a mobile experiment (e.g. human interactions, background noises, etc.), it is useful to combine mobile fNIRS with other neurophysiological methods such as eye-tracking to control for external, environmental cues, whilst recording eye directions. This additional effort leads to the fact that the data analysis of mobile conducted fNIRS experiments need, currently and without the help of innovative algorithms, significant more time and effort as the stimuli onsets (the time a stimuli occurs) has to be defined *ex post*. Moreover, due to the fact that researchers cannot define the exact time stimuli occurred, the *ex post* defined time series might not be as accurate as the defined time series in a stationary conducted experiment. Circumstances which could be solved with the integration and application of innovative algorithms and/or novel data analysis tool boxes, combining the data collection of mobile eye-tracking and mfNIRS.

5.7.5.3 (iii) Data Analysis

There are various different software packages available that allow researchers to analyse the collected fNIRS data (e.g. HOMER2 (<http://homer-fnirs.org/download/>); NirsLab (<https://nirx.net/nirslab-1/>)). Most of the software packages comes with a comprehensive manual of how use the software and, consequently, analyse the collected fNIRS data. As software packages vary in their complexity of application, researchers have to decide, based on their experiences with neuroimaging methods, which software package to use. A user-friendly software package might be the *MatLab*³⁴ based, data analysis toolbox '*NirsLab*' from NIRx Medical Technologies, Berlin, Germany (<http://nirx.net>). For simplicity, this review refers to this data analysis software package.

³⁴ MatLab is a multi-paradigm numerical computing environment and proprietary programming language developed by MathWorks.

5.7.5.4 (iv) Data (pre-)processing

Before starting the data (pre-)processing, in line with their research design, researchers need to define task-specific events based on the *ex-ante* designed paradigm. As mentioned before, in a mobile conducted experiment the information of the onset (point in time a stimulus is presented) and duration (length in time a stimulus is present) of stimuli has currently to be inserted manually by defining every event, individually. This is essential in order to statistically analyse the data as described in the following section.

The fNIRS data pre-processing could be subdivided into three stages: First, the signal quality for every diode and optode previously defined needs to be evaluated. Here, the ‘*NirsLab*’ toolbox automatically displays poor signal quality of a channel. However, in order to guarantee high quality data, researchers need to check the signal quality for every channel. In case of a poor signal quality, which might be the result of light oversaturation or strong (movement) artefacts, researchers could exclude the associated channel from further analysis. It should, however, be mentioned that this procedure leads indispensable to a loss of data. Therefore, researchers need to be very careful about the exclusion of channels and consequently data.

Second, researchers might remove discontinuities and movement (spike) artefacts from the data time series, which are clearly and apparent qualified as confounding effects to improve data quality. Thereby, abnormalities that have two or more adjacent channels with *t*-values over three standard deviations from the group average (Fishburn et al., 2014) or which indicate significantly more spike artefacts might be excluded from further analysis. Again, researchers need to be very careful about the exclusion of data and if applied they should report this.

Third, researchers could apply a frequency filter in order to smooth the fNIRS data. Thereby, researchers should choose a filter which improves their data quality based on the individual data characteristics. There are three basic types of frequency filter. The *low-pass* filter (*i*), which deletes all fluctuations that evolve over more rapid time scales from the data time series. This filter is often applied for de-noising the data. The *high-pass* filter (*ii*), which deletes all fluctuations that evolve over less rapid time scales. Consequently, the high-pass filters are often used for de-trending purposes. Finally,

there is a *band-pass* filter (*iii*), which combines the high- and low-pass filter. This filter is particularly relevant when experimental events occur at a regular time interval, as often the case in stationary mobile fNIRS experimental settings, utilising a mixed event/block design (Petersen & Dubis, 2012).

5.7.5.5 (v) (Raw) Data Transformation

After the data (pre-)processing is completed, researchers need to decide which signal they would like to investigate. As the oxygenated haemoglobin (oxy-Hb) signal has been shown to correlate with cerebral blood flow better than the deoxygenated signal (Hoshi, Kobayashi, & Tamura, 2001), most of the fNIRS data analysis focus on the oxygenated haemoglobin signal. However, it should be mentioned that one of the advantages of mobile fNIRS is that it allows to investigate also (de-)oxygenated and total haemoglobin concentrations as well as the raw data light absorption level, allowing researchers to increase the internal reliability of the collected data, whilst investigating them on several concentration levels.

Next, in order to analyse the (de-)oxygenated haemoglobin light signals, researchers need to convert the raw near-infrared light absorption and attenuation data into oxy- and/or deoxygenated haemoglobin concentration. The most common used algorithm for this procedure is the modified Beer-Lambert law (Kocsis, Herman, & Eke, 2006; Kopton & Kenning, 2014; Scholkmann et al., 2014), which is integrated in the previously described ‘*NirsLab*’ toolbox. The Beer-Lambert law is defined by the following equation (Lloyd-Fox, Blasi & Elwell, 2010):

$$(1) \Delta A = \alpha * \Delta c * L * DFC$$

The modified Beer-Lambert law considers a constant optical scattering of the light and related the change in chromophore concentration, the smallest unit of light, to change in light attenuation with A = light attenuation; α = absorption coefficient; c = concentration of specific chromophore; L = source-detector separation and DFC = differential path length factor, which may vary according to specific wavelength, gender, age and difference in tissue type (Kopton & Kenning, 2014; Lloyd-Fox, Blasi, & Elwell, 2010).

Depending on the research question and the brain regions associated with neural processing, several default values are needed to determine the modified Beer-Lambert law. These values have been comprehensively described in literature (for more information please see Essenpreis et al., 1993; Kohl et al., 1998; Zhao et al., 2002). Consequently, researchers should use previously defined default values (Essenpreis et al., 1993; Kohl et al., 1998; Zhao et al., 2002), when detailed information about the participants characteristics, such as information about the brain anatomic and/or differences in tissue types, are not available. The mentioned default values needed to calculate the modified Beer-Lambert law (Lloyd-Fox et al., 2010) are frequently integrated in the data analysis toolboxes, as for example in the ‘*NirsLab*’ toolbox.

5.7.5.6 (vi) Model Fitting

In the next step IS researchers can analyse the haemodynamic-state time series on within-session and/or within-subject level or across multiple sessions or subjects statistically. The standard approach is to fit a general linear model (‘GLM’) to each, *ex ante*, defined haemodynamic time series (Kenning et al., 2007). This model explains the response variable Y_c (e.g. the haemodynamic response function at the smallest unit of the cortex surface, mostly predefined in a topographical layout, called channel $c=1, \dots, C$) in terms of a linear combination of the explanatory variables plus an error term.

$$(2) Y_c = x_{c1}\beta_1 + \dots + x_{cl}\beta_l + x_{cL}\beta_L + \varepsilon_c$$

Here β_l is the unknown parameter, corresponding to each of the L explanatory variables x_{cl} (where $l=1, \dots, L$). The error terms ε_c are independent.

When writing the mentioned equation in full, for each channel c , yield the following set of simultaneous equations:

$$(3a) Y_1 = x_{11}\beta_1 + \dots + x_{1l}\beta_l + x_{1L}\beta_L + \varepsilon_1$$

$$(3b) Y_c = x_{c1}\beta_1 + \dots + x_{cl}\beta_l + x_{cL}\beta_L + \varepsilon_c$$

$$(3c) Y_C = x_{C1}\beta_1 + \dots + x_{Cl}\beta_l + x_{CL}\beta_L + \varepsilon_C$$

This has the equivalent matrix from:

$$(4) \begin{pmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_c \\ \dots \\ Y_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1l} & \dots & x_{1L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{c1} & \dots & x_{cl} & \dots & x_{cL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{C1} & \dots & x_{Cl} & \dots & x_{CL} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \dots \\ \beta_c \\ \dots \\ \beta_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \dots \\ \varepsilon_c \\ \dots \\ \varepsilon_C \end{pmatrix}$$

And can be written in matrix notation as follows:

$$(5) Y = X\beta + \varepsilon$$

Where Y is the column vector of observation, ε the column vector of error terms and β the column vector of parameters. The $C \times L$ matrix X with cl th element x_{cl} is the design matrix. For example, this matrix can be utilised to specify the covariates corresponding to the different conditions in the experiment. If the participant, for example, repeatedly alternated between ten measurements of the experimental condition and ten of the control conditions, the model might include a covariate with the value 1 for each measurement corresponding to the control condition. After the design matrix has been defined, the different parameters are estimated based on the GLM³⁵.

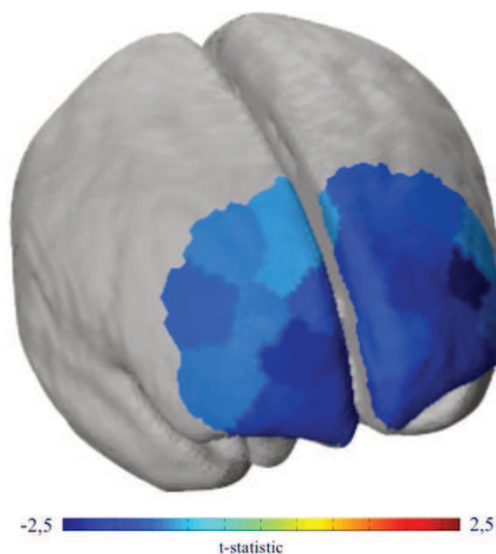
It should be noticed that the design matrix is dependent on the research questions. Consequently, researchers should define events or conditions beforehand, which could then be contrasted, in order to statistically explore neural activity differences of the human cortex whilst performing different tasks (the experimental or control task).

Next to the contrast analysis, also more advanced brain connectivity analysis have recently been developed and might in some circumstances, always in dependence on the research question, from importance (for more information see; e.g. Hubert, Linzmajer, Riedl, Kenning, & Hubert, 2012; Zhang, Zhang, Lu, Ma, Zang & Zhu, 2010; Lu, Zhang, Biswal, Zang, Peng & Zhu, 2010).

³⁵ See also Kenning et al., 2007 for fMRI analysis.

5.7.5.7 (vii) Comparing Haemodynamic Responses on Group Level

The regression coefficient associated with each covariate in the best fit are called β -values (please see above). These β -values are used to compute statistical values (e.g. t -values or F -values) associated with each, previously in a topographical map defined, channel for a given contrast of covariates. Here, the most common method is the contrast analysis, where different contrasts can be analysed in terms of the predefined experimental design and research questions. Once statistics have been computed for each channel, they can be displayed together in a statistical parametric map, which is a brain image in which the value of each channel is its corresponding statistic. Afterward, these maps can then be ‘*thresholded*’ and plotted on a ‘*standard brain*’. A ‘*standard brain*’ is a 2/3D computer generated brain image of the predefined topographical map that graphically displays which cortical brain regions exhibit activity that passes the desired threshold of statistical significance or display the generated statistical values of the neural activity changes (figure 23).



Example of a generated standard brain, indicating a reduced neural activity of brain regions of the prefrontal cortex.

Abbildung 17. Example of a generated standard brain image

However, in many cases, researchers need to analyse the collected data on group level (e.g. when comparing gender or age-related differences). Therefore, most importantly researchers have to make sure that the recruited sample represent their target population.

In order to compare neural cortical activity across individuals, the collected fNIRS data need to be plotted, aligned and illustrated on a standardised brain. Whereas fMRI has the advantage that it provides next to the functional brain activity, also structural information about a participant brain, allowing to ‘*normalise*’ the collected data on one ‘*standard brain*’, mobile fNIRS does not provide structural information. This lack of spatial resolution makes it, in the light of the desired comparability between participants, imperative to carefully place the diodes and optodes on the same cortical region for every participant, when placing the headband or cap on the cortex. Consequently, as mentioned before researchers need to be very precise when placing the headband or cap on the cortex. Whilst taking this into account, researchers will be able to analyse and most importantly compare the collected fNIRS data not only on within-level, for every participant individually, but also on between-subject level, comparing a group of participants (e.g. men vs. women; experimental vs. control group).

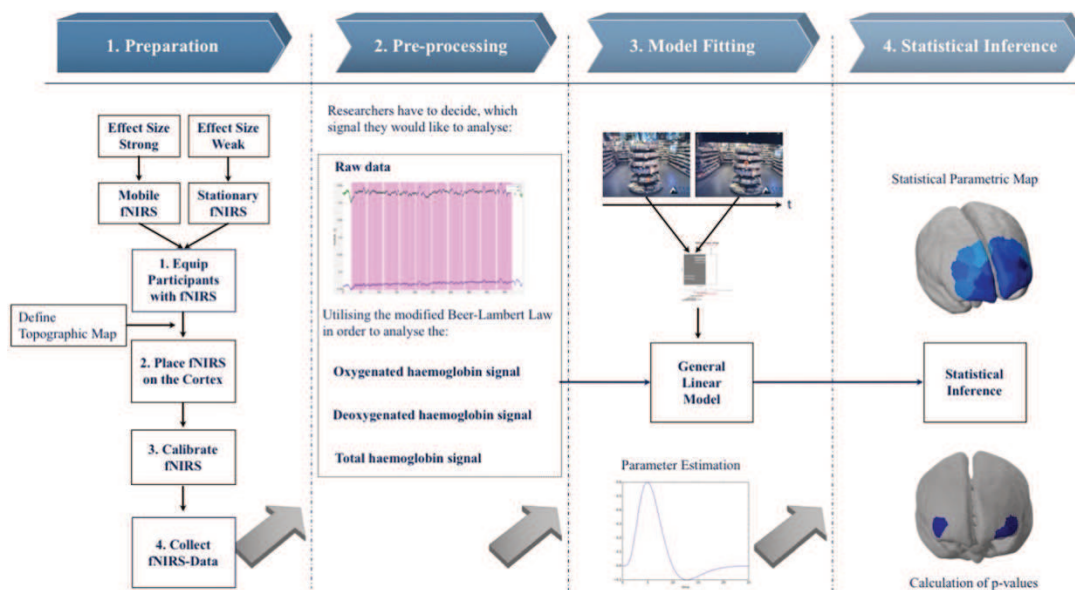


Abbildung 18. Systematic display of the data analysis process

5.7.5.8 (viii) Data Interpretation

Considering that most IS researchers have only a limited knowledge of the anatomic structures of the human brain as well as the associated cognitive processes, IS researchers might follow a three-step approach in order to interpret their neuroscientific research findings.

First, before collecting mobile fNIRS data it is recommended to clarify, which brain regions are involved in the (cognitive) processes of interest, thereby researchers could consolidate the neuroscientific database www.neurosynth.org, which provides information about the localisation of a cognitive process within the brain. It needs, however, to be evident that the information about the localisation of a cognitive process is based on the MNI Coordinate System – which is a 3-dimensional coordinate system of the human brain drawn on fMRI data. Based on the previously described technical capabilities of mobile fNIRS, researchers need to be aware of the fact that only near surface cortical brain regions can be examined whilst utilising mobile fNIRS (penetrating depth of 1-2 centimetre) (McCormick et al., 1992; Quaresima & Ferrari, 2016a; Scholkmann et al., 2014). Therefore, researchers need to be very precise whilst examining, based on the MNI coordinates (which are arranged in three axes of the human head: x-axis = left to right; y-axis = posterior to anterior; z-axis = bottom to top) whether a cognitive process and an associated brain region is indeed located near the cortical surface and can therefore be explored with mfNIRS.

Second, based on the insights provided by *neurosynth.org*, researchers should conduct a comprehensive literature review, acquiring advanced knowledge about their research focus, its localisation within the human brain and its connection to other brain regions. Moreover, IS researchers need to be aware of the fact that cognitive processes, such as decision-making, often integrate various brain regions (e.g. Broche-Pérez et al., 2016). A fact the *neurosynth.org* database counts for, whilst indicating the connectivity of brain regions associated with a cognitive process. To decide whether mobile fNIRS is a valid neuroimaging method to investigate a given marketing relevant entity, researchers might consolidate the following ‘mobile fNIRS verification of application schema’:

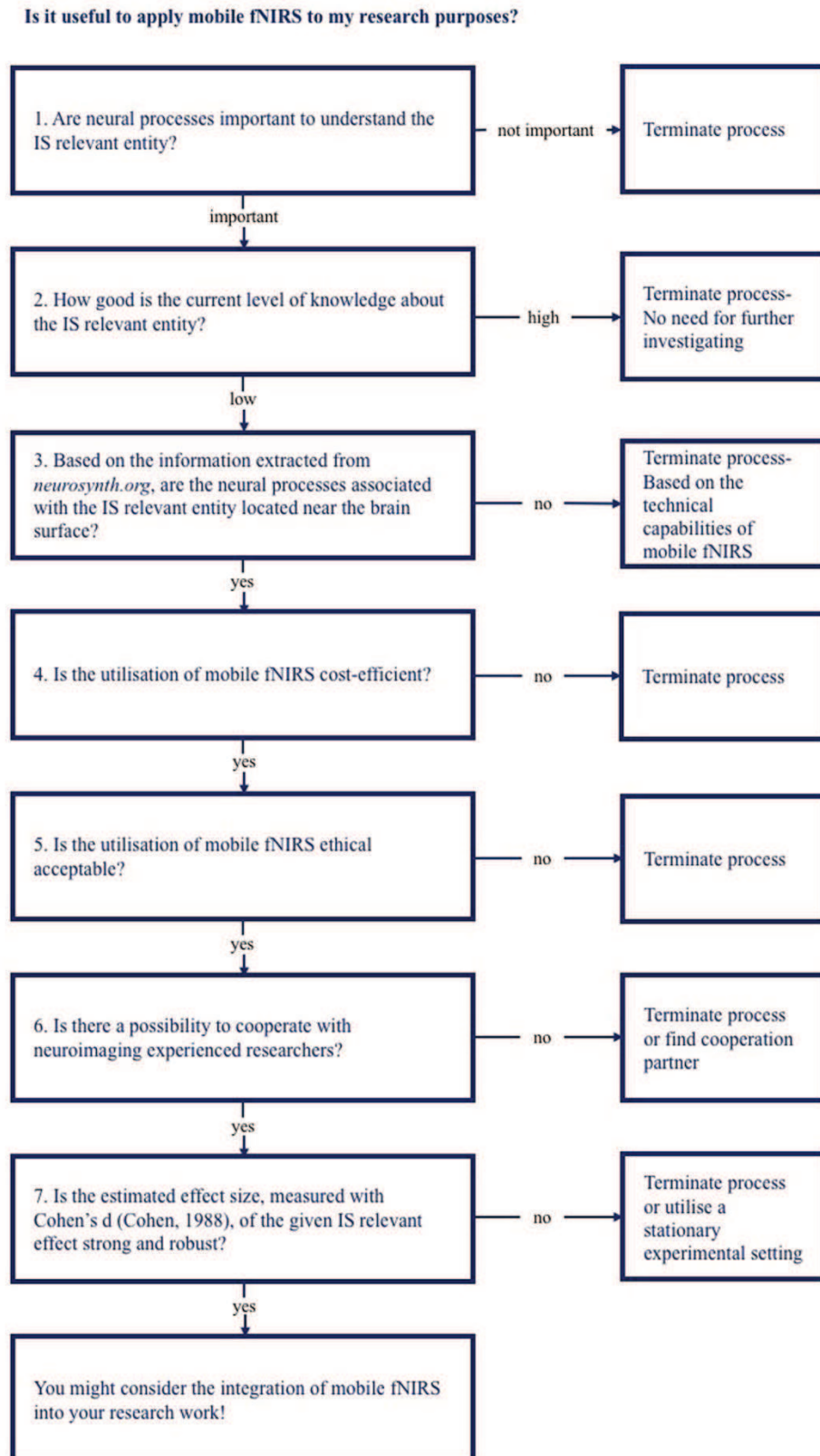


Abbildung 19. mfNIRS verification of application schema

Third, and most importantly researchers need to transfer the acquired knowledge of their research findings, interpreting their research results according to academic and scientific standards. In this regard, IS researchers should report all information about their research work, how it was conducted and how the data have been analysed, to allow the replication of their research findings and, consequently, to validate their research results.

5.7.5.9 (ix) Combining mobile fNIRS with other Neuroscientific Methods

As mentioned before the combination of neuroscientific methods is sometimes useful, especially when conducting real-world mobile fNIRS experiments. Examples are the investigation of human-computer interactions or shopping scenarios, where several confounding effects, which cannot be ascribed to intended neural effects, occur. In order to manage these potential confounding effects, IS researchers could combine mobile fNIRS with other neuroimaging methods, mobile eye-tracking might be just one example in this context and could be used to explore a scientific entity in a naturalistic environment.

To control for unforeseen, confounding events, researchers need to acquire information about potential extracting and confounding variables. Therefore, researchers might use a mobile eye-tracking device to measure eye-movements (saccades and fixations) as well as the associated viewing directions, determining influencing factors which result in neural prefrontal cortex activity, relevant or irrelevant to investigate a hypothesised neural effect. Thereby, the added value of combining neuroscientific methods, have been demonstrated in marketing research (e.g. Venkatraman et al., 2015). The combination of mobile fNIRS with existing research tools, acting as a control element, might therefore be capable of increasing the explained variance when investigating marketing relevant entities (Venkatraman et al., 2015).

5.7.6 Mobile fNIRS Application Examples for IS Research

Following the overarching goal of this methodological tutorial and given the fact that (mobile) fNIRS has not or only primarily been applied in IS research (Peck et al., 2013; Peck, Yuksel et al., 2013; Liu, Kim & Hong, 2018), the upcoming section presents two future research examples of when and how to apply mfNIRS in IS research.

The Application of mfNIRS in Information Systems Research – An Application Example to investigate “Conversational Agents (CAs)”

In order to foster organisational communication with their customers, organisations might implement conversational agents (CA) that enable users or customers to interact with a system in human language (Seeger and Heinzl, 2017). Recent research in the domain of information system (IS) and human-computer interaction (HCI) focusing on CAs signify that there are several challenges to understand the antecedences and consequences of what users are looking for when interacting with CA's and, consequently, how to design them effectively (Gnewuch et al., 2017). Against this background, a crucial challenge might be the exploration of users' perceptual processes as well as the associated behaviour in digital environments – a processes which is often unconscious for users or customer (e.g., Dimoka 2010; Riedl et al. 2010; Riedl et al. 2014).

Based on previous research (e.g., Riedl et al. 2014, Dimoka et al., 2010), indicating that neuroscientific approaches could lead to novel insights, particularly in regard to understand users' behaviour in digital environments, the measurement of cortical, neural brain activity, utilising mfNIRS, could add a new and naturalistic perspective to the understanding of CA's. Having this in mind, mfNIRS capabilities are able to measure cortical near-surface brain regions such as the dorsolateral prefrontal cortex (Kopton and Kenning 2014; Krampe et al. 2018), allowing to investigate potentially underlying (unconscious) neural processes that affect the user's experience.

Consequently, in line with previous research findings (Riedl et al. 2014) that indicated that brain regions of the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) are associated with the perception of certain types of CA (i.e. avatars), the dlPFC might also be decisive for perceptual neural processes, which could be directly related to the user or customer experience. In the wider scope, brain regions of the dlPFC are associated with attentional processes (Curtis and D'Esposito 2003) and the concept of cognitive load (Fishburn et al. 2014), which are also relevant when it comes to evaluation processes (of CA's). Against this background, mfNIRS might help to answer a research question such as: “How variations of CA's affect user experience in the context of a digital services”.

The Application of mfNIRS in Information Systems Research – An Application Example to investigate “Technostress” (ICT)

Individuals, organisations and society at large, have gained significant benefits from the rapid proliferation of information and communication technologies (ICT). In particular, ICT have been shown to improve human-machine and human-human communications, productivity and performance (Fischer & Riedl, 2015). Nevertheless, despite the undoubtedly positive impact of ICT on recent developments, ICT is also associated with some negative side effects, which impact individuals or organisations.

In this regard, one crucial IS related construct might be technostress. Technostress is defined as “any negative impact on attitudes, thoughts, behaviours, or body physiology that is caused either directly or indirectly by technology” (Weil & Rosen, 1997, p. 5). Research have shown that technostress is related to various negative outcomes, such as anxiety, fatigue, exhaustion, reduced job satisfaction, reduced job performance or reduced organisational commitment (Fischer & Riedl, 2015). Consequently, it comes as no surprise that the constructs of technostress have been extensively investigated in recent years (Riedl, 2012, Fischer & Riedl, 2015).

Thereby, the majority of IS research utilised self-report measurements to explore internal reasoning processing related to technostress, however, more recent research suggests a pluralistic measurement approach; or propose the integration of (neuro)physiological methods in order to gain a better understanding of technostress (e.g. Fischer & Riedl, 2017). The integration of such neural, biological and physiological measurements might particularly in regard to technostress prolific, given the fact that technostress – as a phenomenon – is in itself a biological/physiological reaction to an environmental event.

Supporting this idea, research which investigated general stress with the use of neuroimaging method have shown to significantly increase the understanding of general stress. For example, a fMRI study by Kogler and colleagues (2015) revealed neural activity changes in several brain regions for physiological and psychological stress, such as the insula, striatum, superior temporal gyrus and cingulate cortex. Besides, fMRI studies by Dedovic, Duchesne et al. (2009) and Deovic, Rexroth et al. (2009) supported the involvement of the prefrontal and orbitofrontal cortex when stress is experienced. Against this background, it should be evident that stationary neuroimaging studies have

already proven to improve the understanding of stress – a fact which is also relevant for IS research and in particular for the investigation of technostress.

Nevertheless, IS research – as an applied research discipline – needs to explore the user's behaviour in naturalistic environments to generate valid and reliable research findings. Consequently, the application of mobile neuroimaging methods such as EEG (Müller-Putz, Riedl & Wriessnegger, 2015) or mfNIRS might indeed heal the ecological validity gap (Krampe et al., 2018). In line with recent research, which provide initial evidence that it is indeed possible to measure neural activity changes exposed by physiological and psychological stress with (mobile) fNIRS (Rosenbaum, Hilsendegen et al., 2018), the application of mfNIRS might be seen as a fruitful new avenue to investigate technostress in a real-world environment, significantly increasing the ecological validity.

5.7.7 Conclusion

The goal of this methodological tutorial was to introduce the innovative neuroimaging method – mfNIRS – as a valid neuroimaging method to the research field of IS research. Subsequently, the functioning as well as technical capabilities of mfNIRS as a mobile neuroimaging method were described. Hereafter, this methodology review aims to facilitate IS researchers to utilise mfNIRS in their research work. To achieve this, the most relevant stages of a more or less typical mfNIRS experiment were described and decision-making aids of when and how to apply mfNIRS in IS research were presented. Against this background, it needs to be evident that for neophytes in the field of NeuroIS, the methodological issues and achievements of mfNIRS are relatively high. On the other hand, the application of mfNIRS is, in comparison to other neuroimaging methods such as fMRI, less costly, easy to apply and does not require a preselection of participants – three facts that might be fundamental for IS research. Against this background, demonstrated by recent research findings, the application of mfNIRS to the field of IS has the potential to improve our understanding of IS related issues. The next step in this progression is therefore the acquisition of ecologically valid, naturalistic data, utilising innovative algorithms to facilitate data analysis or applying hyper-scanning fNIRS techniques that allow the collection of not only ecologically valid individual data, but also enable IS researchers to investigate interbrain neural effects that appear in human-human or human-computer interactions (for more information please see: Babiloni & Astolfi, 2014).

5.8 Beitrag 8: Utilizing Mobile fNIRS to Investigate the TAM in eCommerce

5.8.1 Abstract

The investigation of user behavior in IS contexts is often conducted by utilizing self-report measurements. To complement these measurements, neuroscientific methods have indicated their potential for IS research. Most pioneering research work utilized fMRI as neuroimaging method, which is associated with a decreased ecological validity. To investigate whether mobile fNIRS – an innovative, portable and lightweight neuroimaging method – can overcome the limited ecological validity of fMRI, reproducing existing neuroscientific research results, this study aims to explore whether mobile fNIRS could be used as a valid neuroimaging method for IS research, or more precisely for eCommerce research. Preliminary research findings revealed that fNIRS is capable of partly reproducing pioneering research results. Consequently, fNIRS is found to be a reliable and valid neuroimaging method to increase the ecological validity in IS research in certain situations and circumstances, providing a fruitful new avenue to investigate IS research relevant scenarios.

5.8.2 Introduction

One crucial, long-term goal of information systems (IS) research is to explain user behavior. To achieve this, IS research has developed several theories, models, and related constructs. In this progress, traditionally, questionnaires or other types of self-report measurements have been utilized to scientifically develop and challenge theories, models and constructs (vom Brocke et al. 2013). However, IS users are often only capable of providing information about the given constructs, when they are consciously aware of their perception (Riedl et al. 2017). That said, purely applying these kinds of methods might neglect the influence of more unconscious constructs such as emotions, feelings and affect, resulting in limited levels of explained variance regarding user behavior. One way to overcome this constraint might be the complementary utilization of neural, psychophysiological measurements, allowing to gain a better understanding of the user information processing and human behavior in IS (Dimoka et al. 2012). As a consequence, a few years ago, NeuroIS requested to add a new theoretical perspective to IS research in order to complementarily explain users' unconscious (neural) processes and the associated behavior on a neurobiological level (Riedl et al. 2010, Dimoka et al. 2010).

Following this request, in the last decade most NeuroIS researchers utilized functional magnetic resonance imaging (fMRI) (Dimoka et al. 2012; Krampe et al. 2018). This sophisticated neuroimaging method is characterized by a great spatial resolution that allows to explore brain structures that lie deep in the human brain (Geuter et al. 2016) and has demonstrated to be a fruitful method for IS research (e.g. Dimoka 2010; Riedl, Hubert, et al. 2010). Nevertheless, fMRI is associated with several limitations that are repeatedly reported by NeuroIS researchers (e.g. Krampe et al, 2018). Probably one of the most important limitations, at least for IS research, is that fMRI experiments cannot be conducted in naturalistic, real-world environments, due to the fact that participants have to lie flat on their back, with their head restraint, fixated during the experimental measurement procedure (Kemp et al. 2015). One innovative method that could help to overcome this limitation is mobile functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) (Kopton and Kenning 2014). fNIRS has shown to be a cost efficient and effective neuroimaging method, which allows to integrate all participants (Krampe et al. 2018). Although recent research indicated the potential of mobile fNIRS in the research fields of organizational and marketing research (Kopton and Kenning 2014; Krampe et al. 2018), its application to IS research is still limited (Gefen et al. 2014; Krampe et al.

2017). To address this application gap, this research work aims to explore the potential of mobile fNIRS as a valid and reliable neuroimaging method in a certain field of IS research, i.e. the acceptance and usage of shopping websites (Dimoka and Davis, 2008). Consequently, the given manuscript is structured as follows. In the first section, we review current research findings that investigated the antecedents and consequences of users' acceptance of websites by means of the technology acceptance model (TAM) (Davis et al. 1989). Then the neuroimaging method fNIRS and the opportunities to measure IS relevant constructs such as the TAM constructs are discussed. Furthermore, the applied scientific research approach is explained, displaying the preliminary research results. Thereafter, the given research results are discussed. Finally, limitations and future research remarks as well as theoretical and practical implications and conclusions are drawn.

5.8.3 Neural Foundations

5.8.3.1 The TAM in the Frame of Neuroscience

Although the TAM has been introduced more than 30 years ago (Davis 1985; Davis et al. 1989), constructs such as the perceived usefulness (PU), perceived ease of use (PEOU), and purchase intention (PUI) are still crucial for IS research and in particular, for ecommerce research. One of the first studies that complementarily focused on technology acceptance utilizing neuroscientific methods has been conducted by Dimoka and Davis (2008). Their work identified that apparently, constructs of the TAM might be associated with certain brain structures, in particular the amygdala, the insula, the left putamen, the anterior cingulate cortex (ACC), the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC), and the ventrolateral prefrontal cortex (vlPFC) (Dimoka and Davis 2008). Some of these structures belong to the limbic system and are related to emotional processing (Purves et al. 2004), but also integrate brain regions, which are interconnected to cognitive processing such as deliberative reasoning (Cummins and Cummins 2012). Because Dimoka and Davis (2008) utilized fMRI in their pioneering research, their work faced some shortcomings when it comes to the ecological validity as well as the involved sample size. As previously described, participants have to lie flat on their back, with their head restraint during the measurement procedure, which does not reflect an application appropriate scenario, as for example browsing a shopping

website. However, since the TAM is an established and well-known model in IS research and has shown to be significantly associated with several distinct brain areas, our research aim is to reapply the research idea of Dimoka and Davis (2008) in order to demonstrate that mobile fNIRS provides a reliable and valid neuroimaging method for NeuroIS research.

5.8.3.2 Mobile fNIRS as an Opportunity for IS research?

Mobile fNIRS has been applied in the field of neuroscience, as well as cognate disciplines (Kim et al. 2017; Krampe et al. 2018). In earlier studies, fNIRS data was found to highly correlate with the more mature fMRI blood-oxygen level-dependent (BOLD) signal (Huppert et al. 2006; Strangman et al. 2002). In particular, fNIRS operates with near-infrared light that is absorbed, reflected or scattered by the human brain tissue, or more precisely by oxygenated and deoxygenated haemoglobin. As a consequence, fNIRS takes advantage of this characteristic as the amount of oxygenated and deoxygenated blood for a given brain region is calculated (Ferrari and Quaresima 2012; Funane et al. 2014) – which is an indirect parameter of neural cortical brain activity. Consequently, mobile fNIRS yields potential for IS research, as it is a portable and lightweight technology that appears to be robust to (movement) artefacts and can therefore be applied in practice-relevant scenarios (Brigadoi et al. 2014; Leff et al. 2011). However, fNIRS has also some shortcomings that might be relevant for IS research. Most predominately, fNIRS has a limited spatial resolution, allowing to penetrate the human brain tissue only up to three cm depth and thus, only cortical brain structures can be measured (Ferrari and Quaresima 2012; Scholkmann et al. 2014).

5.8.4 Hypotheses Development

Following the overarching research goal, this research work aims to partly – based on the technical capabilities of mobile fNIRS – reproduce the pioneering research results by Dimoka and Davis (2008). In their work, they utilized fMRI to investigate PU, PEOU, and PUI in ecommerce when participants had to purchase a digital camera on a website with low ratings of PU, PEOU, and PUI, and on a website where the given constructs have been rated high. They identified several neural activity patterns for the manipulated constructs. More precisely, results indicated increased neural activity in the

caudate nucleus and ACC for high PU, increased dlPFC activity for PEOU, and increased vlPFC activity for PUI on websites with both high PU and PEOU (Dimoka and Davis 2008). However, based on its technical capabilities, it should be evident that mobile fNIRS is only able to shed light on cortical but not subcortical, deeper lying brain regions (Krampe et al. 2018). Consequently, based on the capabilities of mobile fNIRS, we might only be capable of measuring neural activity in brain regions of the dlPFC and vlPFC elicited through different ratings of the TAM constructs (being PU, PEOU and PUI), leading to the following hypotheses:

H₁: By means of mobile fNIRS it is possible to indicate, that higher self-reported TAM constructs are associated with increased neural activity in the dlPFC.

H₂: By means of mobile fNIRS it is possible to indicate, that higher self-reported TAM constructs are associated with increased neural activity in the vlPFC.

5.8.5 Study 1: Survey to Select Shopping Websites

To keep the study comparable with the pioneering research work by Dimoka and Davis (2008), a similar target product – namely a digital camera – was chosen, acting as the stimulus, which needed to be searched for on different shopping websites. Consequently, five comparable ecommerce websites were chosen, which all sell electronic products; namely Alternate, Computeruniverse, Crowdfax, Digitalo, and PNShop. For the questionnaire employed in this survey, each website was screenshotted and the prices of the products on each website were manipulated so that there are no biases due to different pricing strategies. Before answering the questionnaire for each website, participants were asked whether they know the website or not. In case they knew the website, questions regarding PU, PEOU, and PUI were not shown for the respective website. In addition, the order in which the websites are portrayed was fully randomized. For each website, participants were asked to rate their overall impression of the website on a Likert scale ranging from 1 to 10, with 1 standing for the lowest score and 10 for the highest. Afterwards, users were asked to answer the TAM constructs, which were a slightly adapted version of the ones used by Dimoka and Davis (2008). The items in the questionnaire were translated and retranslated by an independent person to ensure linguistic correctness. The order in which the website with the associated questions were shown was also fully randomized. A recognition question

was included as a closing point for each website to ensure that participants did not know the website from prior use. This procedure was meant to avoid biases due to previous experiences or the desirability for a specific provider. Thereafter, participants were requested to provide demographical data as well as questions regarding their shopping behavior.

The sample of study 1 consists of 142 participants. Due to the marker variable, which was a comparatively long text (239 words), that required a predefined answer to test participants' attention, 17 datasets were eliminated. Additionally, ten datasets were deleted due to the recognition questions at the end of each website. As a result, the validated and analysed sample comprises $N=115$ participants (57.4% male, 36.2% female, 6.4% divers).

5.8.5.1 Results Study 1

On average participants made an online purchase 4.28 times per month ($SD=3.879$). A one-way analysis of variance (ANOVA) between the different websites was calculated to identify the two most contrasting websites in terms of the previous described constructs; the Tukey honest significance difference (HSD) post-hoc test was utilized allowing to run multiple comparisons between the group mean values (which in this case are the displayed websites, resulting in $k=4$). It further identifies homogenous subgroups within the sample while applying at least a significance level of $p < .05$ and a 95% confidence interval.

The questionnaire item overall impression indicates that PNShop is rated significantly lower than all the other websites at a high significance level of $p < .001$ (PNShop: 4.346, Crowdfox: 6.343, Alternate: 6.424, Digitalo: 6.46, Computeruniverse: 6.879). This effect can also be observed for the TAM constructs. PU has been rated lowest for PNShop, which significantly differs from all other websites at a significance level of $p < .001$ (PNShop: 2.585, Crowdfox: 3.36, Alternate: 3.226, Digitalo: 3.232, Computeruniverse: 3.724). Furthermore, PU for Computeruniverse is rated highest, which not only differs significantly from PNShop, but also from Alternate and Digitalo at a significance level of $p < .05$. Consequently, PNShop has the lowest PU and Computeruniverse the highest ratings. Similar trends are observed for PEOU (PNShop: 3.097, Crowdfox: 3.889, Alternate: 3.85, Digitalo: 3.817, Computeruniverse: 4.149), as

well as for PUI (PNShop: 2.259, Crowdfox: 2.984, Alternate: 2.929, Digitalo: 2.893, Computeruniverse: 3.306). In summary, the website PNShop could be identified to have the lowest and the website Computeruniverse the highest rankings on a significance level of $p < .001$. The website Digitalo provided a third subgroup lying between PNShop and Computeruniverse, although being closer to Computeruniverse than to PNShop. As a consequence, these three websites were chosen as stimuli material for study 2.

5.8.6 Study 2: Mobile fNIRS Experiment

5.8.6.1 Experiment Design and Sample Characteristics

Building upon the research results of study 1, the three chosen websites are used as stimuli in the given neuroscientific experiment. A mobile fNIRS system integrating an 8 source/8 detector headband was utilized to measure neural activity during actual website use. Before the experiment started, participants were informed about their privacy and data protection rights, as well as the operating principle of mobile fNIRS. After participants signed the informed consent, the mobile fNIRS headband was placed on the participants' head. To ensure that the headband is located according to the anatomical brain structures of the participants, the craniometric point of the nasion, where the top of the nose meets the ridge of the forehead, was used to assure comparability between participants. To avoid data biases due to experiment equipment interference, several variables were controlled for (Gefen et al. 2014). First, the room luminance was kept constant while using artificial luminance in the experiment room. Second, although being more robust to movement artefacts than EEG, the fNIRS signal might still be influenced by abrupt (head) movements. Therefore, participants were asked to avoid fast and abrupt (head) movements while wearing the fNIRS headband. Third, as dense and dark hair is likely to absorb the NIR-light, it was moved aside in order to allow the light to penetrate the scalp and tissue (Zhao and Cooper 2017). The headband was calibrated for every individual participant through which data quality was assured. Moreover, we noticed every unusual or uninstructed behavior by our participants in an experimental notebook, which was considered in the data analysis process. Having finished the calibration procedure, participants were instructed to start with the experiment, browsing the first website. After they completed the task for the first website, participants were instructed to close the webpage by clicking the home button and open the questionnaire for evaluating the used website, which was an app on the home screen. When they finished the questionnaire for website 1, they once again

had to close the app by clicking the home button and proceeded to website 2. The order in which the websites were presented to the participants was fully randomized for each participant. The questionnaires used to investigate the constructs were the same that were previously utilized in study 1, to keep the results comparable. Also, the task for each website was the same; participants were asked to browse for a digital camera for around 2-3 minutes and finally make a decision. The camera should then be placed in the shopping cart with which their interaction with the website ended. No further specifications were made. Thirty-one right-handed, healthy participants were measured from which 6 data sets had to be excluded due to corrupted fNIRS files. The resulting sample size of $n = 25$ consists of students (73%) and employees (27%); with 32% female. The average age was 25.9 years of age ($SD = 0.43$). The average number of purchases per month that are usually made by the participants was 3.53 ($SD = 1.776$). The sampling rate of the mobile fNIRS system was 7.81Hz. Before further analysis, the collected raw data were pre-processed (Pinti et al. 2019). Therefore, the raw data were bandpass filtered with a low cut-off frequency of 0.01Hz and a high cut-off frequency of 0.2Hz. Throughout this procedure, spike artefacts and irrelevant frequencies, as for example the heart rate, are removed. Afterwards, hemodynamic states have been calculated utilizing the Beer-Lambert Law (Kopton and Kenning 2014; Scholkmann et al. 2014). Given the fact that no information about the anatomical brain structure of the participants was available, the parameters used to compute the hemodynamic states were set as follows, the distance of the first channel was set to three cm, the wavelengths were specified to values of 760 and 850nm and the associated pathlength factor (DPT) was set to 7.25 for the wavelength of 760 nm and 6.38 for the wavelength of 850nm, in accordance with commonly utilized values reported in literature (Kohl et al. 1998; Zhao et al. 2002). As baseline function for the general linear model (GLM) the hemodynamic response function (hrf) was used. As the oxygenated haemoglobin (oxyHb) signal has been shown to correlate with cerebral blood flow better than the deoxygenated signal (Hoshi et al. 2001), the analysis concentrates on the oxyHb signal.

5.8.6.2 Results Study 2

For the self-reports, an ANOVA using the Tukey-HSD post-hoc test was calculated. Results indicate that the homogenous subgroups are consistent across all constructs for PNShop compared to Computeruniverse and Digitalo at a significance level of $p < .05$.

The results are for the overall impression 3.61, 7.1 and 7.26; for PU 2.68, 3.616, and 3.864, for PEOU 3.048, 4.056, and 4.168; and for PUI 1.88, 3.18 and 3.25 for PNShop, Digitalo, and Computeruniverse, respectively. Analogous to study 1, the used Likert scales ranging from 1 (very low)– 10 (very high) for overall impression, and from 1 (very low) – 5 (very high) for the remaining constructs (PU, PEOU, and PUI). Interestingly, while Digitalo and Computeruniverse were significantly differentiated from the sample of study 1, in study 2 Digitalo was rated only slightly lower than Computeruniverse. This might be due to the reduced sample size in this study, as the effect between Digitalo and Computeruniverse was not as significant in comparison to PNShop.

The groups were split according to the average ratings of the websites, assuming that users with higher ratings are generally less critical about the website's usability and design of ecommerce websites. An approach, which is supported by prior research findings, indicating that the importance of the design of websites and the correlated perception of PU and PEOU differs between individuals (Cyr and Head 2013; Pengnate and Sarathy 2017). In order to investigate whether there are differences in neural cortical prefrontal activity for each website, the neural activity patterns while browsing the websites of group 1 were contrasted to neural activity patterns of group 2. Figure 1 indicates the results for which the t-statistics have significant effects on a significance level of $p < .1$ and $p < .05$.

The contrast of the Computeruniverse website (high vs. low ratings) indicates an increased neural activity for participants that rated the website high versus those who rated it low in the right dlPFC and lateral parts of the dorsomedial prefrontal cortex (dmPFC), as well as the right orbitofrontal cortex (OFC) on a modest significance level of $p < .1$. For the website Digitalo, an increased neural activity in lower parts of the right dlPFC, dmPFC, as well as right OFC for the group that rated the websites high versus those who rated them low was shown on a significance level of $p < .05$. Consequently, the activity pattern of the right OFC is the same for both Digitalo and Computeruniverse. The PNShop website shows at a significance level of $p < .05$ an increased neural activity for the left OFC for high versus low ratings. Following these results, H_1 is supported. However, as no significant neural activity changes were found in the vlPFC, H_2 needs to be rejected.

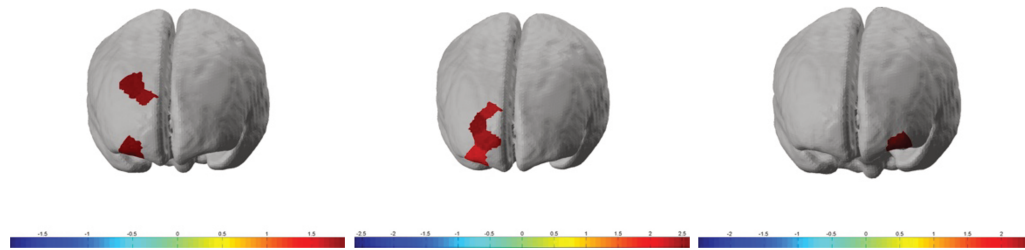


Figure 1: t-statistic Contrasts for High Ratings – Low Ratings

(a) (b) (c)

Abbildung 20. Contrasts of the neural activity differences between websites – (a) Computeruniverse ($p = 0.1$); (b) Digitalo ($p = 0.05$); (c) PNShop ($p = 0.05$)

5.8.7 Discussion and Limitations

The overarching aim of this research work is to identify, whether mobile fNIRS is capable to partly reproduce the research findings by Dimoka and Davis (2008). The results indicate that mainly areas of the right dlPFC, right dmPFC, and OFC show an increased neural activity for participants that rated PU, PEOU and PUI high in their self-reports, supporting the research findings by Dimoka and Davis (2008). As increased activity in brain regions of dlPFC and dmPFC imply emotional processing (Britton et al. 2006; Etkin et al. 2011), the preliminary results indicate that browsing ecommerce websites involves emotional processing, too. This effect seems especially relevant, given that participants consciously favour the utilized website. When taking a closer look on the neural correlates of the activated brains structures, further suggestions can be drawn regarding the underlying subconscious processes in the human brain that occur while browsing ecommerce websites. In a plethora of contexts, the dlPFC plays a role in working memory processes (Barbey et al. 2013; Dolcos et al. 2011), as well as (strategic) decision making processes (Krampe et al. 2018). These two constructs are often found in economic decision making related to online shopping. Consequently, being more willing to make a purchase on a website seems to lead to increased cognitive load (Mangina et al. 2009), which might be elicited by increased engagement with the respective website. Next to the dlPFC, brain regions of the OFC display a significant increased neural activity for the websites Computeruniverse and Digitalo, as well as for the website PNShop, however laterally different. Independent of the lateralization, the OFC is also interconnected to various cognitive processes, for example to (spatial) working memory, directing attention to relevant stimuli and evaluation processes (Dolcos et al. 2011). Furthermore, the OFC was also found to be activated while

appraising visual stimuli that are rated as beautiful and thus, as aesthetically pleasing (Brown et al. 2011; Cela-Conde et al. 2013). Moreover, the OFC also seems to be increasingly activated in combination with the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC) when general pleasantness is reported by participants (Kühn and Gallinat 2012). Furthermore, in shopping contexts, the OFC has also been shown to be activated in purchase decisions and is associated with an increased willingness to pay (Plassmann et al. 2007).

Although the given research results support H_1 , the preliminary results fail to display the increased neural activity in the vLPFC (H_2). In this regard, it should be evident that the original research work by Dimoka and Davis (2008) reported an increased neural activity in the vLPFC, which, however, failed to reach the required significant threshold of $p < .05$. The vLPFC lies anatomically next to the dLPFC and is typically associated with semantic processing and the categorization of objects (Dolcos et al. 2011). Furthermore, the vLPFC is also activated when being in a state of flow (Yoshida et al. 2014). While the used stimuli in this work are probably not sufficient to elicit a state of flow, the websites employed by Dimoka & Davis (2008) might have demanded more semantic processing than ours. This potential explanation is in line with the evolution of website design, shifting from text-heavy websites to clean and simple designed websites. Especially the increased use of images combined with better broadband availability, might reduce the cognitive load in semantic processing in brain regions of the vLPFC. However, until now there are no studies investigating this topic, indicating the need for further investigations to support our proposition.

With regard to the limitations of this work, at first it should be noted that the recruited sample for study 2 was locally bound by the same university. Moreover, the sample size of $n=25$ participants might be, especially in regard to the questionnaire-based utilized mean value distribution, a limitation. However, the current standard sample size in neuroscientific and fNIRS studies, which is known to incorporate sufficient statistical power, consists of 20 participants (Riedl, Banker, et al. 2010; Vassena et al. 2019). In comparison to these research findings, we included a larger sample to gain more statistical power. Consequently, our preliminary results might be *closer to reality*, including a greater sample size and thus, more variability. Furthermore, while the natural setting of the study is its ultimate strength, it might also be a limitation. Participants stayed differently long on each website, some spoke aloud while using the

websites, whereas others did not. While manipulating the prices for the products in study 1, the actual websites that were used in study 2 varied in their prices. Given the similar results in the self-reported ratings of study 1 and 2, it is shown that price did not strongly affect our data. Reasons for this might be, that participants did only put a chosen camera into a shopping cart but did not proceed further in the purchase process. Consequently, effects that prices of products may have on individual users cannot be accounted for in this study. In order to partly avoid biases, comparisons were made per website, and not across websites.

5.8.8 Theoretical and Practical Implications

Theoretically, our paper implies that NeuroIS research conducted with fNIRS is capable of partly reproducing research findings from conducted fMRI studies. This is especially relevant, given the fact that studies including neuroimaging tools as data input add further control variables to (TAM related) constructs, which might not be controlled for otherwise. For example, while education, age or gender are commonly used as control variables, variables such as the participants' neural activity, average ratings (as conducted here), or handedness have not been applied often. This seems especially relevant as IS research understands the "*human decision maker*" as a bodiless person. This implied assumption has been proven wrong given the fact that neurobiological (emotional) changes in the body reduce the number of alternatives a person might choose from in early stages (see i.e. Damasio 1994). These control variables might provide further information of how the perception of websites influences participants' rating of the TAM constructs. For instance, our preliminary findings which indicate an increased activity in the OFC in the right hemisphere for the two high rated websites and an increased activity in the left hemisphere for the low rated website. This finding leads to the presumption that depending on the individual perception and evaluated beauty of a stimuli, the lateralization of the OFC might be different and thus, could act as control variable. Furthermore, neuroscientific methods such as (mobile) fNIRS can help to solve or explain variations or contradictions in previous research works.

Practically, this paper implies that mobile fNIRS in itself might offer innovative perspectives for the investigation of brain-computer interfaces (BCI) and the design of graphical user interfaces (GUI) as it is an affordable user-friendly method, which is applicable in real-life contexts. Consequently, researchers and practitioners could

quantify neural activity while tracking mouse movements of users, to make predictions about their GUI's efficiency, without the need to ask users directly. Moreover, fNIRS allows researchers and practitioners to include participants, which might be rejected in other neuroscientific studies (e.g. fMRI) based on physical characteristics. In conclusion, this study should encourage the application of fNIRS to gain a deeper understanding of the antecedents of subjective ratings, as well as to make accurate predictions about user evaluations and, consequently, their behavior.

6. Zusammenfassung, wissenschaftliche und praktische Implikationen und ethische Reflexion

6.1 Zusammenfassung des Erkenntnisbeitrags

Die vorliegende Arbeit hat sich – wie bereits im Kapitel 1.1 dargelegt – das Ziel gesetzt, zur Lösung des Mobilitätsproblems von existierenden, bildgebenden, neuronalen Verfahren beizutragen. Dieser Zielstellung folgend untersucht die vorliegende Arbeit den systematischen Einsatz der mobilen funktionellen Nahinfrarotspektroskopie (mfNIRS) im Forschungsbereich der Consumer Neuroscience. Insbesondere wird dabei auf die methodische Weiterentwicklung verwiesen, die mit der mfNIRS verbunden ist und welche insbesondere die ökologische Validität (und Reliabilität) im Bereich der Consumer Neuroscience erhöht.

Beitrag 1 betrachtet dabei die generelle Einsetzbarkeit der fNIRS. Die in diesem Beitrag dargestellte Studie zeigt im Hinblick auf das übergeordnete Ziel, dass die fNIRS in der Lage ist, neurale Aktivität in Hirnstrukturen des präfrontalen Kortex abzubilden und somit ein wichtiges marketingrelevantes Konstrukt, wie den „*Framing Effekt*“, in einem Laborexperiment bemessen kann.

Anschließend wird in den **Beiträgen zwei, drei, vier und fünf**, aufbauend auf den Erkenntnissen des ersten Beitrages, der mobile Einsatz der mfNIRS in den spezifischen Forschungsfeldern des Marketings bzw. der Consumer Neuroscience wissenschaftlich durchdrungen. Hierbei wird insbesondere der mobile Einsatz der mfNIRS in der *Käufer-/Konsumentenverhaltensforschung*, im Forschungsfeld der „*Decision Neuroscience*“, im Forschungsfeld der „*Shopper Neuroscience*“ sowie im Forschungsfeld der *Markenführung* angesprochen.

Die Ergebnisse des **sechsten Beitrags** lassen zudem die Schlussfolgerung zu, dass die mfNIRS auch im Anwendungsbereich der „*NeuroIS*“-Forschung valide Ergebnisse liefern kann. Gleiches gilt für die, auf einer Literaturanalyse beruhenden Ergebnisse des **siebten Beitrages**, welcher weiterführende Informationen und Leitlinien „*ob*“, „*wann*“ und „*wie*“ die mfNIRS eingesetzt werden kann, liefert.

Der **achte Beitrag** stellt das Potential der mfNIRS im Anwendungsbereich des *digitalen Marketings* dar. Die Ergebnisse zeigen, dass die mfNIRS in der Lage ist – auch in einer natürlichen, digitalen Einkaufssituation – neurale Daten ökologisch valide zu erheben und somit zur effizienten und effektiven Untersuchung von grafischen Benutzeroberflächen und Webseiten beitragen kann.

Zusammenfassend stellen die Ergebnisse dieser Arbeit dar, dass mithilfe der neurowissenschaftlichen mobil einsatzfähigen funktionellen Nahinfrarotspektroskopie zusätzliches, ökologisch valides Potential gewonnen werden kann, welches zu einer weiteren Varianzaufklärung von marketingrelevanten Fragestellungen führen kann. Die mfNIRS eröffnet damit die Möglichkeit das zuvor beschriebene Mobilitätsproblem aufzulösen und kognitive und/oder affektive Prozesse, die bei Käufern und Konsumenten oftmals unbewusst auftreten, auf neuraler Ebene ökologisch valide zu durchleuchten.

6.2 Handlungsimplicationen und Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf

Der Zielstellung der vorliegenden Arbeit und dem damit verbundenen Erkenntnisgewinn folgend, bietet diese Arbeit nicht nur einen Erkenntnisgewinn für die wissenschaftliche methodische Forschung, sondern beinhaltet ebenfalls praktisch-normative Handlungsimplicationen. Die in den Beiträgen genannten und für die Wissenschaft und Praxis relevanten Implikationen sollen demnach im Folgenden explizit hervorgehoben und in ihrer Gesamtheit betrachtet werden. Im Zuge dessen werden zudem zukünftige Forschungsempfehlungen ausgesprochen.

6.2.1 Handlungsimplicationen für die Wissenschaft

Die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrundeliegenden Beiträge ergänzen die bestehende wissenschaftliche Literatur hinsichtlich unterschiedlicher Aspekte. Diese werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

6.2.1.1 Die methodische Erweiterung der Consumer Neuroscience und deren Nachbardisziplinen durch den Einsatz der mfNIRS

Die Marketingforschung kann – wie viele verwandte Forschungsbereiche – im Groben in zwei Ebenen unterteilt werden: (1) Die Ebene der Informationsgewinnung und die (2) Ebene der Informationsverarbeitung (Meffert, Burmann, Kichgeorg und Eisenbeiß, 2019, S. 169).

Die Informationsgewinnung beruht zumeist auf Primärdaten, welche in der Vergangenheit vor allem durch direkte Erhebungsmethoden (z. B. mittels persönlicher Befragungen oder Beobachtungen von Käufern und Konsumenten) erhoben wurden. Des Weiteren können ebenfalls Erkenntnisse über eine marketingrelevante Entität aus Sekundärdaten gewonnen werden (Meffert, Burmann, Kichgeorg und Eisenbeiß, 2019, S. 170). Dabei erlaubt die Nutzung und der Zugriff auf innovative (digitale) Technologien, dass Daten ohne großen Aufwand und in großen Mengen erhoben, gespeichert und verfügbar gemacht werden können (Meffert, Burmann, Kichgeorg und Eisenbeiß, 2019, S. 172). Aufbauend auf diesem bedeutsamen Datenmengenwuchs, haben sich ebenfalls die Auswertungsverfahren der Informationsverarbeitung weiterentwickelt. Die Digitalisierung ermöglicht es somit, komplexe Zusammenhänge

von großen Datensätzen („Big Data“) mittels Data Science³⁶ zu analysieren und zu interpretieren (Meffert, Burmann, Kichgeorg und Eisenbeiß, 2019, S. 172).

Betrachtet man die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse unter der Prämisse der aktuellen (methodischen und technologischen) Entwicklungen, lässt sich feststellen, dass die methodische Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience durch die Integration der mfNIRS und der damit verbundenen Datenanalyse beide der zuvor angesprochenen Ebenen der Marketingforschung, des Marketings und der Käufer/Konsumentenverhaltensforschung beeinflussen kann.

Demnach können, wie in dieser Arbeit dargestellt, mittels der mfNIRS Primärdaten über unbewusste neurale Prozesse – Informationen, welche mit existierenden Marketingverfahren oftmals nicht bemessen werden können (Kenning, 2014; Kopton und Kenning, 2014; Krampe et al., 2018) – valide erhoben werden. Hierbei ermöglicht die mfNIRS, dass neurale Daten von Käufern und Konsumenten "vor Ort", in einem realistischen Umfeld gesammelt und die damit verbundenen neuronalen Aktivitätsmuster analysiert werden können. Die in einer realitätsnahen Umgebung erhobenen neuronalen Daten können somit "traditionell" erhobene Daten (z. B. durch den Einsatz von Fragebögen, persönlichen Befragungen oder auch stationären neurowissenschaftlichen Verfahren) und Analysen aus bestehenden Ansätzen des Marketings ergänzen und in ihrem Bestreben unterstützen, Käufer/Konsumenten und ihr Entscheidungsverhalten auf neurowissenschaftlicher Ebene besser zu verstehen.

Des Weiteren scheint das Forschungsfeld „*Informational Systems*“, aufbauend auf der Tatsache, dass der Forschungsschwerpunkt auf der Betrachtung der Mensch-Maschinen-Interaktion beruht, insbesondere von der Integration der mfNIRS zu profitieren. Dem folgend könnten und sollten, aufbauend auf den hier dargestellten Ergebnissen, auch im Forschungsfeld „*(Neuro) Informational Systems*“ unbewusste neurale Prozesse erfasst werden.

Betrachtet man die im sechsten, siebten und achten Beitrag dargestellten Forschungsergebnisse lässt sich zudem feststellen, dass die mittels mfNIRS durchgeführte *NeuroIS-Forschung* in der Lage ist, existierende Forschungsergebnisse –

³⁶ Data Science kann laut Meffert et al. (2019) als wissenschaftliche Disziplin an der Schnittstelle von Statistik und Informatik verstanden werden. Zumeist beruhen die Verfahren der Data Science auf Algorithmen, mit denen Strukturen in Daten erkannt oder Prognosen getroffen werden können.

welche bereits mit der fMRT beforscht wurden – aufbauend auf den technischen Möglichkeiten der mfNIRS zu reproduzieren. Dies bestärkt noch einmal die Tatsache, dass die mfNIRS als eine *valide* und *zuverlässige* neurowissenschaftliche Methode betrachtet werden kann. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass die Anwendung neurowissenschaftlicher Verfahren die Integration von weiteren Kontrollvariablen ermöglicht. Während beispielsweise Bildung, Alter oder das Geschlecht häufig als Kontrollvariablen in existierenden Marketing- und IS-Studien verwendet werden, wurde die Möglichkeit, die neurale Aktivität von Teilnehmern als Kontrollvariable zu integrieren, zumeist ignoriert. Dies erscheint jedoch besonders relevant, da der Mensch als ein biologischer Organismus von biologischen neuronalen Prozessen beeinflusst und gesteuert wird und demnach nicht – wie fälschlicherweise in der IS-Forschung angenommen – als ein *körperloses Wesen* betrachtet werden kann (Damasio, 1994). Die Integration der neuronalen Aktivität als Kontrollvariable könnte somit weitere Informationen im Forschungsfeld *NeuroIS* und insbesondere im *E-Commerce* liefern und u. a. darstellen wie die Wahrnehmung von Käufern und Konsumenten von Webseiten betriebswirtschaftlich relevante Konstrukte beeinflusst. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten demnach den potenziellen Einsatz der mfNIRS auch in marketingverwandten Disziplinen, wie der *NeuroIS-Forschung*, in Betracht ziehen.

Aufbauend auf der Feststellung, dass die mfNIRS ein valides bildgebendes Verfahren für das Marketing, die Consumer Neuroscience und den Forschungsbereich NeuroIS darstellt, sollte es demnach deutlich sein, dass die Integration der mfNIRS bei der Erhöhung der zu erklärenden Varianz von forschungsrelevanten Entitäten behilflich sein kann. Dennoch zeigt die vorliegende Arbeit ebenfalls, dass die mfNIRS kein „Allheilmittel“ ist und in einigen Situationen oder unter bestimmten Umständen mitunter kein geeignetes neurowissenschaftliches Verfahren darstellt, um erweitertes Wissen über eine Entität zu liefern. Konkret weisen die hier dargestellten Beiträge unter anderem darauf hin, dass die mfNIRS mit einer guten **zeitlichen Auflösung** ausgestattet ist, jedoch über keine gute **räumliche Auflösung** verfügt. Eine Tatsache, welche bei der Entscheidung, ob das Verfahren der mfNIRS bei der Erforschung einer Entität valide Ergebnisse liefern kann, mitunter eine entscheidende Rolle spielt.

Aufbauend auf den in dieser Arbeit dargestellten Leitlinien, kann die Anwendung der mfNIRS den – sich zum Teil noch entwickelnden, Forschungsbereichen wie beispielsweise dem Forschungsbereich „*NeuroFinance*“ oder

„*NeuroEntrepreneurship*“ (siehe Abbildung 2) – dabei helfen, Investitionsentscheidungen auf neuraler Ebene wissenschaftlich zu durchdringen (Shane, Drover, Clingingsmith et al., 2019; Frydman und Camerer, 2016).

Wissenschaftler sollten sich demnach, aufbauend auf den in dieser Arbeit dargestellten Forschungsergebnissen, ermutigt fühlen, die mfNIRS in ihre Forschungsarbeiten zu integrieren, während die fortschreitenden technologischen Entwicklungen im Zuge der Digitalisierung und das damit verbundene Potential für die (Marketing)Forschung eine kontinuierliche Berücksichtigung findet.

6.2.1.2 Darstellung der anwendungsorientierten Leitlinien zur Integration der mfNIRS in die Consumer Neuroscience und deren Nachbardisziplinen

Vor dem Hintergrund der erweiterten Varianzaufklärung, welche durch den Einsatz, der Integration und der Kombination von neurowissenschaftlichen Verfahren potentiell erreicht werden kann (Venkatraman et al., 2015), erscheint die Tatsache, neurowissenschaftliches Wissen und die damit verbundene ergänzende Informationsgewinnung in die Marketingforschung zu integrieren, wünschenswert und zielführend zu sein.

Dennoch gibt es bisweilen einige Barrieren, welche Wissenschaftler davon abhalten, neurowissenschaftliches Wissen systematisch in die (Marketing)Forschung zu integrieren (Lee et al., 2018). Als ein potentielles Hindernis ist u. a. der kostenintensive Einsatz von neurowissenschaftlichen bildgebenden Verfahren zu nennen (Dimoka et al., 2010). Zudem schreckt mitunter die komplexe Datenanalyse von neurowissenschaftlichen Daten ab (Krampe et al., 2018); und schließlich gibt es nur wenige Forschungsarbeiten, welche die Anwendung von neurowissenschaftlichen Verfahren beschreiben oder stringente Leitlinien zur Anwendung formulieren (Lee et al., 2018). Demzufolge wird es Wissenschaftlern, welche bis dato noch keine Berührungspunkte mit dem Forschungsgebiet der Consumer Neuroscience hatten, erschwert neurowissenschaftliche Verfahren in ihre Forschungsarbeiten zu integrieren (Lee et al., 2018).

Um es jedoch auch Novizen im Forschungsfeld der Consumer Neuroscience zu erlauben die Methodik der mfNIRS zuverlässig und valide anzuwenden, werden in den **Beiträgen fünf** und **sieben** konkrete Leitlinien präsentiert, welches es Wissenschaftlern

ermöglichen ein neurowissenschaftliches Experiment sowie die damit verbundene Bemessung von neuronalen präfrontalen Hirnstrukturen mittels der mfNIRS durchzuführen. Explizit weisen die Schlussfolgerungen der beiden Beiträge darauf hin, dass Wissenschaftler besonderes Augenmerk auf den korrekten Aufbau des experimentellen Versuchsdesigns legen sollten. Demnach sollte das experimentelle Design in Anlehnung an bereits existierende neurowissenschaftliche Verfahren – welche sich bereits in der Consumer Neuroscience bewährt haben – konzipiert werden. Darüber hinaus sollte die multimodale Kombinationen der mfNIRS mit anderen (neuro)wissenschaftlichen Methoden und eventuell auftretende Interferenzen eruiert werden. Hierbei scheint die ergänzende Integration von Verhaltensdaten ebenfalls zielführend zu sein, auch um die neuronalen Ergebnisse zu validieren (Plassmann et al., 2015). Die Datenanalyse und die damit verbundene Interpretation der gewonnenen mfNIRS-Daten sollte zudem nach wissenschaftlichen Standards – so wie insbesondere im siebten Beitrag beschrieben – durchgeführt werden.

6.2.1.3 Die Entwicklung des innovativen Forschungsfeldes der „Shopper Neuroscience“

Die Consumer Neuroscience setzt sich – wie bereits im Kapitel zwei dargestellt – aus verschiedenen Teilbereichen zusammen. Hier sind u. a. die *Individual Consumer Neuroscience*, die *Social Consumer Neuroscience*, die *Commercial Consumer Neuroscience* (Kenning, 2014) sowie weitere innovative anwendungsorientierte Teilbereiche der Consumer Neuroscience zu nennen (Abbildung 2).

Auch wenn die zuvor dargestellten Teilbereiche einen bedeutenden Teil der Consumer Neuroscience abdecken, weisen die Ergebnisse dieser Arbeit darauf hin, dass die Consumer Neuroscience durch einen weiteren Teilbereich ergänzt werden kann.

Der hierbei angesprochene Teilbereich der „*(Digital) Shopper Neuroscience*“ zeichnet sich im Vergleich zu den bereits existierenden Teilbereichen der Consumer Neuroscience durch seine Spezifizierung der Untersuchung von neuronalen Prozessen in einer Einkaufsumgebung ab. So betrachtet die (digitale) *Shopper Neuroscience* die neuronalen und verhaltensrelevanten Prozesse der Einkäufer in einer realistischen Einkaufssituation. Die damit gewonnenen Erkenntnisse zeichnen sich dabei – im Vergleich zu *traditionell* erhobenen Daten – durch eine erhöhte ökologische Validität

aus, welche in Laborstudien der Consumer Neuroscience zumeist nicht gewährleistet ist (Spence und Piqueras-Fiszman, 2014, Spence, 2016).

Die Erweiterung des Forschungsfeldes der Consumer Neuroscience, durch die *Shopper Neuroscience*, ermöglicht es somit die neuronalen Prozesse von Einkäufern und Konsumenten („*Shoppern*“) direkt in der Einkaufsstätte oder der Einkaufssituation zu betrachten. Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungen von innovativen PoS-Kommunikationsmaßnahmen sowie die neurale Messung der Wahrnehmungsprozesse von Käufern und Konsumenten in einer digitalen Einkaufsumgebung mittels der mfNIRS stellt somit einen ersten Schritt dar, der den generellen Mehrwert der Erweiterung der Consumer Neuroscience durch die (*digitale*) *Shopper Neuroscience* erschließt – nämlich die Erforschung von dynamischen, emotionalen wie auch kognitiven Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozessen in der Einkaufsstätte/-umgebung.

Die (*digitale*) *Shopper Neuroscience* kann somit zu einem besseren Verständnis der individuellen Wirkung von Marketinginnovationen beitragen. Das innovative Forschungsfeld der (*digitalen*) *Shopper Neuroscience* könnte somit einen zentralen, innovativen und anwendungsorientierten Forschungsbereich der Consumer Neuroscience abdecken. Gleichwohl sollte es deutlich sein, dass zur Etablierung dieses Forschungsfeldes als feste Größe der Consumer Neuroscience es zwingend erforderlich ist, weitere Forschungsarbeiten voranzutreiben.

6.2.2 Handlungsimplicationen für die Praxis

Während die akademisch orientierte Forschung der Consumer Neuroscience das Ziel verfolgt die zu erklärende Varianz einer zu beforschenden Entität mittels neurowissenschaftlicher Verfahren zu erhöhen, ist die Erwartungshaltung der betriebswirtschaftlichen Praxis – dem „*Neuromarketing*“ (Hubert und Kenning, 2008) – eine grundlegend andere. In der Praxis wird vor allem ein unmittelbarer Zusatznutzen, also eine Umsatz- bzw. im besten Fall eine Gewinnsteigerung angestrebt, bei welcher die Verfahren der Consumer Neuroscience behilflich sein können. Im Folgenden sollen demnach die in den Beiträgen genannten, für die Praxis relevanten Implikationen, noch einmal im Detail hervorgehoben und in ihrer Gesamtheit betrachtet werden.

6.2.2.1 Prototypische Erprobung von Marketinginnovationen mittels der mfNIRS

Neben der Tatsache, dass sich die mfNIRS als ein valides neurales, bildgebendes Verfahren im akademischen Kontext der Consumer Neuroscience erwiesen hat, was im gleichen Maße für das „*Neuromarketing*“ gilt, kann die mfNIRS im „*Neuromarketing*“ dazu genutzt werden, die Wahrnehmungsprozesse von Käufern und Konsumenten gegenüber etwaigen Marketinginnovationen, z. B. PoS-Kommunikationsstrategien (z. B. Krampe et al., 2018, Liu et al., 2018), wissenschaftlich zu durchleuchten. Aufbauend auf aktuellen Forschungsarbeiten (z. B. Kühn et al., 2016; Lusk, Crespi, Cherry et al., 2015; Telpaz et al., 2015), welche darstellen, dass das Käufer-/Konsumentenverhalten über die präfrontal zu bemessenden neuronalen Wahrnehmungsprozesse von Kunden vorhergesagt werden kann, könnte der Einsatz der mfNIRS Marketingmanagern helfen, die Effizienz und Effektivität von Marketinginnovationen zu verbessern.

Dieser Idee folgend könnten beispielsweise die Auswirkungen von Produktinszenierungen oder Produktplatzierungen, die Beleuchtung, das Sortiment, der Produktpreis sowie deren Wechselwirkungen im Feld – also im Markt – durch den Einsatz der mfNIRS und die parallel stattfindende Betrachtung der Verhaltensdaten bemessen, bewertet und interpretiert werden. Anhand dieser Analyse wäre es möglich im Nachgang Handlungsempfehlungen für umsatzsteigernde Maßnahmen auszusprechen.

Wie in dieser Arbeit dargestellt, scheinen insbesondere die Hirnregionen des OFCs und dlPFCs in der Lage zu sein – als Prozessvariablen – Antworten über die Wirkung von Marketinginnovationen und das damit verbundene Käufer/Konsumentenverhalten zu geben. Infolgedessen können Marketingmanager verschiedene Arten von Marketinginnovationen entwickeln und Käufern/Konsumenten im Nachgang in einem mfNIRS Experiment (z. B. im Markt oder in Form von Augmented-Reality / Virtueller-Reality) darstellen, während parallel die neuronalen Reaktionen der präfrontalen Hirnregionen bemessen werden. Anhand der hierbei gewonnenen Daten und insbesondere der neuronalen Aktivitätsunterschiede im OFC und dl/dmPFC, könnten im Nachgang handlungsrelevante Ableitungen über die Effektstärken und somit über die Effizienz und Effektivität einer entwickelten Marketinginnovation ausgesprochen werden (Kühn et al., 2016; Krampe et al., 2018). Es sollte zudem erwähnt werden, dass eine prototypische Testung mit erheblichen Ersparnissen, im Vergleich zu einer misslungenen Produkteinführung im Markt, verbunden ist.

6.2.2.2 Anwendungsorientierte Darstellung des Erkenntnisgewinns im „NeuroIS“

Die Integration der mfNIRS bietet auch im praktisch-normativen Bereich des „NeuroIS“ relevante Handlungsimplicationen. Dies scheint vor allem vor dem Hintergrund der digitalen Transformation vieler Unternehmen relevant, führt diese doch dazu, dass Individuen disruptiven Veränderungsprozessen ausgesetzt sind, welche sowohl kognitive als auch affektive Auswirkungen haben (z. B. Adolph, Rothe und Windel, 2016; Schneider, 2018). Tatsächlich wird das gegenwärtige menschliche Arbeitsleben oftmals von der Interaktion zwischen Mensch und Maschine bestimmt (Bitkom, 2013, S. 7). Zur Erhöhung der Produktivität ist es demnach unerlässlich, Prozessvariablen, wie beispielsweise die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit, den wahrgenommenen Nutzen sowie die wahrgenommene Akzeptanz einer Technologie in der gewohnten Arbeitsumgebung, zu durchdringen (Davis, Bagozzi und Warshaw, 1989). Um diese dynamischen Kontaktpunkte von Arbeitnehmern mit innovativen technologischen Entwicklungen auf neuraler Ebene zu untersuchen, scheint die Nutzung von stationären, bildgebenden Verfahren – aufgrund der zuvor beschriebenen methodischen Einschränkungen – jedoch nur bedingt sinnvoll.

Wie in dieser Arbeit dargestellt, hat die Integration der mfNIRS im Gegensatz zur fMRT jedoch den Vorteil, relevante Konstrukte innerhalb eines naturalistischen Umfelds zu

untersuchen. So könnte mit Hilfe der mfNIRS die natürliche Nutzung einer Maschine (z. B. eines Computers oder Produktionsmaschine) und die damit verbundenen neuropsychologischen Prozesse betrachtet werden.

In diesem Zusammenhang bieten bildgebende Verfahren im Allgemeinen und die mfNIRS im Besonderen einen innovativen Ansatz, zusätzliche Daten zur Erweiterung des Wissens im IS-Kontext zu sammeln. Dem folgend sollten IS-Praktiker sorgfältig (den in dieser Arbeit vorgestellten Leitlinien folgend) die Verwendung der mfNIRS in Kombination mit anderen (Forschungs)Methoden prüfen. Während die (begrenzten) technischen Möglichkeiten der mfNIRS, die zu messenden neuronalen Effekte sowie die Qualität existierender Forschungsarbeiten im Auge behalten werden.

Um die hier angesprochenen praktisch-normativen Implikationen der mfNIRS zu verdeutlichen wird im Folgenden ein Anwendungsbeispiel, welches ebenfalls im sechsten Beitrag beschrieben wurde, dargestellt.

Anwendungsbeispiel – Die Integration von mfNIRS Daten in einem ERP-System

Ein Enterprise-Resource-Planning-System (ERP-System) ist im Allgemeinen ein Softwaretool, das alle Daten eines Unternehmens verwaltet und benötigte Informationen zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung stellt. In Zukunft könnten diese klassischen ERP-Systeme ebenfalls mit biologischen, neurowissenschaftlichen *in-vivo*-Signalen, welche mit Hilfe der mfNIRS erfasst werden und welche beispielsweise die kognitive Belastung von Mitarbeitern messen, „gefüttert“ werden.

Eine solche Integration von neuronalen, biologischen Determinanten ermöglicht es, den „Workflow“³⁷ eines Unternehmens zu optimieren. Aufbauend auf bestehenden (z. B. Deppe et al., 2005) und dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsarbeiten (z. B. Krampe et al., 2018), welche die entscheidende Rolle des dlPFC bei kognitiver Belastung und Entlastung darstellen, könnte durch eine direkte neurale Rückkopplung der Aktivierungsunterschiede des dlPFCs – der einen Schätzwert der kognitiven Auslastung eines Mitarbeiters angibt – mit Hilfe der mfNIRS die aktuelle kognitive Auslastung für jeden Mitarbeiter individuell quantifiziert werden. Die direkte Einspeisung dieser Daten in ein ERP-System, ermöglichen es im Anschluss, die

³⁷ Als „Workflow“ wird in einem Unternehmen die Abwicklung arbeitsteiliger Vorgänge bzw. Geschäftsprozess beschrieben, welche das Ziel der größtmöglichen Effizienz verfolgen.

Arbeitsbelastung eines Mitarbeiters anhand der neuralen, kognitiven Belastungsdaten automatisch zu reduzieren und/oder positiv anzupassen.

Darüber hinaus kann der gesamte Arbeitsaufwand (z. B. die ankommenden Telefonate und die damit verbundenen Problemstellungen in einem Call Center) unter Berücksichtigung der aktuellen kognitiven neural bemessenden Leistungsfähigkeit eines jeden Mitarbeiters optimiert verteilt werden, was folglich die Effizienz und die Effektivität erhöht, Aufgaben und die damit verbundene Arbeitsbelastung kompetent von einem Mitarbeiter auf einen anderen zu verlagern.

6.2.2.3 Anwendungsorientierte Darstellung des Erkenntnisgewinns für das digitale Marketing („E-Commerce/Digital Shopper Neuroscience“)

Im Zeitalter der Digitalisierung verlagert sich auch der Konsum in das Internet. Dabei erlaubt der elektronische Handel, durch eine unmittelbare Geschäftsbeziehung zwischen Anbieter und Abnehmer, die Transaktionskosten für Produzenten und Käufer/Konsumenten zu senken (vgl. Hüther, 2016). Ergänzend, haben auch disruptive, technologische (Weiter)Entwicklungen den Handel und somit das Einkaufsverhalten von Käufern und Konsumenten verändert (Inman und Nikolova, 2017). Die hier angesprochen Verhaltensänderungen der Käufer und Konsumenten sowie die zugrundeliegenden Prozesse wurden bis heute zu meist mit *traditionellen* Methoden untersucht (vom Brocke et al., 2013). Wie zuvor dargestellt, scheint die ausschließliche Anwendung dieser *traditionellen* Methoden jedoch dazu zu führen, dass wichtige, zu meist unbewusste kognitive und emotionale Prozesse, vernachlässigt werden (Riedl et al., 2017). Ähnlich wie im stationären Handel, scheinen diese Prozesse jedoch auch im digitalen Marketing, oder genauer gesagt im *E-Commerce*, eine entscheidende Rolle zu spielen. Die Integration der mfNIRS bietet darum auch und insbesondere im *E-Commerce* praktisch-normative Handlungsimplicationen, hat sie doch die Möglichkeit unbewusste neurale Prozesse zu durchleuchten.

Aufbauend auf den Erkenntnissen des dieser Arbeit zugrundeliegenden achten Beitrages, zeigt sich, dass die mobile fNIRS eine innovative Perspektive für die Untersuchung der Schnittstelle von Mensch und Computer sowie deren Interaktion (HCI) – wie beispielsweise der Untersuchung der grafischen Benutzeroberflächen von Webseiten – bietet. Folglich könnten Praktiker neurale Aktivitätsunterschiede bei der Nutzung von Webseiten quantifizieren, um Vorhersagen über die Effizienz und Effektivität der grafischen Benutzeroberfläche, des Designs und weiteren

Einflussfaktoren zu treffen, ohne die Käufer/Konsumenten *direkt* befragen zu müssen. Ergänzend könnten Praktiker, aufbauend auf den quantifizierten, neuronalen Aktivitätsmustern, Webseiten effektiv designen und anhand der gewonnenen Daten wichtige Stellschrauben wie beispielsweise die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit sowie den wahrgenommenen Nutzen (Davis, Bagozzi und Warshaw, 1989) einer zu designenden Webseite bedienen.

Zusammenfassend zeigen die hier dargestellten wissenschaftlichen und praktisch-normativen Implikationen, dass die mfNIRS die Förderung von weiterem Wissen auf verschiedenen Ebenen ermöglicht. Nichtsdestotrotz sollte in diesem Zusammenhang – auf Basis der in dieser Arbeit dargestellten Erkenntnisse – eine ethische Reflexion vorgenommen werden, auch um die ethische Anwendung der mfNIRS zu versichern. Der folgende Abschnitt nimmt darum eine ethisch-normative Reflexion, der mit der methodischen Erweiterung der Consumer Neuroscience einhergehenden Erkenntnisse, vor.

6.3 Ethische Reflexion zur methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience

Wie wichtig eine ethisch-normative Reflexion der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse ist, zeigen nicht nur die im oberen Absatz dargestellten praktisch-normativen Implikationen, sondern ebenfalls gesellschaftliche Ereignisse sowie die damit einhergehende Reaktion auf das unethische Handeln Einzelner. Ziel dieses Abschnittes ist es darum eine ethisch-normative Reflexion der in dieser Arbeit dargestellten methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience durch die Integration der mfNIRS vorzunehmen. Konkret stellt das folgende Kapitel, aufbauend auf einer umfassenden Literaturanalyse, ethisch-normative Aspekte – welche mit der Anwendung der mfNIRS einhergehen – dar. Die hierbei zusammengetragenen, wissenschaftlichen Erkenntnisse sollen dem Leser eine **Güterabwägung**³⁸ – also eine „praktische Überlegung, [welche für die] qualifizierte Lösung [einer Wahlentscheidung oder eines] Entscheidungskonfliktes erforderlich ist“ (Höffe, 2008, S. 125) – ermöglichen. Dieses Vorgehen zielt somit darauf ab, dem Leser, aufbauend auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen, individuelle Entscheidungshilfen zu liefern, *ob* und *wann* die mfNIRS im jeweiligen Forschungsfeld effektiv, effizient und vor allem ethisch-valide eingesetzt werden kann. Zuvor soll jedoch noch einmal die Bedeutung ethischen Handelns, anhand der gesellschaftlichen Reaktion bei einer Missachtung ethischer Prinzipien an zwei Beispielen verdeutlicht werden.

(1) Bereits im Jahre 1957 lösten die Behauptungen von James Vicary, dass unterschwellige Werbebotschaften während Kinovorstellungen den Verkauf von Popcorn und Coca-Cola steigerten, eine beachtenswerte gesellschaftliche Reaktion aus (Murphy, Illes und Reiner, 2008). Die Aussage, dass subliminale Reize³⁹ das

³⁸ Die Güterabwägung ist eine Methode des Rechtes und der Ethik. Sie kommt immer dann zum Tragen, wenn zwei oder mehrere *gleichwertige Güter* zu einem Zielkonflikt führen. Bei der Güterabwägung werden alle Gründe für oder gegen eine Lösung – in diesem Fall, die potenzielle Anwendung der mfNIRS – vom Entscheider individuell aufgelistet. Anschließend wird jeder Grund individual bewertet und erhält mehr oder weniger Gewicht was zu einer endgültigen Entscheidung führt (Höffe, 2008). Metaphorisch kann die Güterabwägung als eine Waage beschrieben werden, je nachdem wie viele und wichtige Argumente für oder gegen eine Tatsache sprechen, überwiegt eine der beiden Waagschalen die andere.

³⁹ Als subliminale Reize (unterschwellige Reize) werden alle sensorischen Reize beschrieben, welche nicht wahrgenommen bzw. nicht bewusst aufgenommen werden (unter der Wahrnehmungsschwelle liegen), welche sich aber dennoch nach wiederholender Darstellung als wirksam erweisen und auch registriert werden können.

Einkaufsverhalten von Käufern und Konsumenten manipulieren können, führte demnach zu einer mitunter heftig und kontrovers geführten Diskussion. Auch wenn James Vicary gestand, die Ergebnisse der hier dargestellten unveröffentlichten Studie frei erfunden zu haben, zeigt die damit ausgelöste Reaktion, dass die (amerikanische) Gesellschaft bei einer vermeintlichen Manipulation des „*Freien Willens*“ – also die uneingeschränkte Entscheidungsgewalt über das eigene Tun und Handeln – keinen Verhandlungsspielraum zulässt.

(2) Wie relevant die gesellschaftliche Wahrnehmung zum Erhalt des „*Freien Willens*“⁴⁰ und die damit verbundene (Daten-)Privatsphäre ist, zeigte darüber hinaus der Skandal um die Firma *Cambridge Analytica*. Die durch diesen Skandal ausgelöste gesellschaftliche Empörung, welche auf einem massiven Datenmissbrauch von 50 Millionen Facebook Nutzerinformationen beruhte, führte nicht nur dazu, dass in den zwei drauffolgenden Tagen der Börsenwert des Unternehmens *Facebook* um mehr als 60 Milliarden Dollar sank⁴¹ sowie einer Geldstrafe für das Unternehmen Facebook von 5 Milliarden Dollar⁴², sondern lässt zudem vermuten, dass wichtige politische Entscheidungen durch eine gezielte Fehlinformation bestimmter Gesellschaftsgruppen manipuliert worden waren. Diese Tatsache und die damit verbundenen gesellschaftlichen/politischen Folgen führten dazu, dass die – vor allem von „westlichen Gesellschaften“ – empfundene Empörung des Datenmissbrauchs noch einmal potenziert wurde.

Die gesellschaftliche Wahrnehmung zu Themen der Manipulation, der Autonomie sowie der Privatsphäre scheint somit immer dann gefährdet, wenn Käufer und Konsumenten die Information an sich oder die Informationsquelle nicht vollständig nachvollziehen können (Stanton, Sinnott-Armstrong und Huettel, 2017). Zudem wird der – wie zuvor definierte – „*freie Wille*“ als ein hohes, individuelles Gut angesehen

⁴⁰ Der „*freie Wille*“ wird in diesem Beispiel ebenfalls definiert als: „Die uneingeschränkte Entscheidungsgewalt über das eigene Tun und Handeln“.

⁴¹ Aufgerufen am 29.07.2019, auf <https://www.tagesspiegel.de/politik/skandal-um-cambridge-analytica-facebook-wegen-datenmissbrauch-unter-massivem-druck/21093546.html>.

⁴² Aufgerufen am 29.07.2019, auf <https://www.theguardian.com/technology/2019/jul/24/facebook-to-pay-5bn-fine-as-regulator-files-cambridge-analytica-complaint>.

und „verletzlichen“ Käufer-/Konsumentengruppen wird ein höheres Maß an Schutz zugeordnet (Bala und Müller, 2014).

Mit dem Wissen, dass das Gehirn – als Schaltzentrale des menschlichen Organismus – das menschliche Handeln steuert, scheint die Consumer Neuroscience und insbesondere das „Neuromarketing“ als hermetische Entität unter „Generalverdacht“ zu stehen, den Menschen durch den Einsatz von neurowissenschaftlichen Erkenntnissen manipulieren zu können (Murphy, Illes und Reiner, 2008). So dient die vielfach im „Neuromarketing“ beschriebene Suche nach dem „Buy Button“⁴³ metaphorisch als Wurzel allen Übels. Neben der gesellschaftlichen Angst zu einem „gläsernen Kunden“⁴⁴ zu werden, welcher durch neurowissenschaftliche Verfahren manipuliert werden kann, lassen sich ergänzend hierzu weitere ethisch gerichtete Kritikpunkte an dem Forschungsfeld der Consumer Neuroscience bzw. dem „Neuromarketing“ ausmachen (Stanton, Sinnott-Armstrong und Huettel, 2017). Insbesondere wird hierbei der unethische Einsatz von neurowissenschaftlichen Verfahren, unethischen Forschungspraktiken sowie der Verlust der (Käufer/Konsumenten-) Autonomie angesprochen (Murphy et al., 2008) – wichtige Merkmale, welche ebenfalls bei den zuvor dargestellten wissenschaftlichen und praktisch-normativen Implikationen eine übergeordnete Rolle spielen.

Laut Murphy et al. (2008) lassen sich die hier dargestellten ethischen Bedenken in zwei übergeordnete Kategorien einordnen. Die erste Kategorie umfasst den Schutz der verschiedenen Interessensgruppen (hier zumeist Käufer/Kunden/Konsumenten), die durch die Forschung, Vermarktung oder den Einsatz von neurowissenschaftlichen Verfahren verletzt werden könnten. Die zweite Kategorie umfasst zudem den Schutz der Käufer-/Kunden-/Konsumentenautonomie, gegeben, dass die Consumer Neuroscience bzw. das „Neuromarketing“ ein gewisses Maß an Wirksamkeit erreicht (Murphy et al., 2008). Dem folgend identifizieren Hensel, Wolter und Znanewitz (2016)

⁴³ Der „Buy Button“ ist eine Metapher, welche die Sorge darstellt, dass Verbrauchern mittels neurowissenschaftlicher Methoden in ihrem Einkaufsverhalten manipuliert werden können. Im übertragenen Sinn beschreibt die Metapher des „Buy Buttons“ die Tatsache, dass Neuromarketer diesen entdecken und vor allem drücken könnten.

⁴⁴ Die Bezeichnung „Gläserner Kunde“ wird als Metapher des Datenschutzes verwendet, die für die als negative empfundene vollständige „Durchleuchtung“ der Menschen und dem damit verbundenen Verhalten durch eine etwaige Instanz steht. So beinhaltet der Begriff „Gläserner Kunde“ den Trend immer mehr über den Kunden und Konsumenten wissen zu wollen.

innerhalb der von Murphy et al. (2008) vorgeschlagenen Kategorien, weitere ethisch relevante Perspektiven, welche bei der Anwendung von neurowissenschaftlichen Verfahren im Bereich des „Neuromarketing“ beachtet werden müssen und welche im Nachgang umfassend dargestellt werden (Hensel, Wolter und Znanewitz, 2016; Hensel, Iorgo, Wolter und Znanewitz, 2017). Die hier angesprochene Kategorisierung verfolgt dabei nicht nur das Ziel die ethischen Bedenken zu strukturieren und zu konkretisieren, sondern weist ergänzend auf die Etablierung von Richtlinien für einen ethisch korrekten Einsatz von neurowissenschaftlichen Methoden und Verfahren im „Neuromarketing“ hin.

Während im nationalen, akademischen Kontext, also im Bereich der Consumer Neuroscience, bereits umfassende Instanzen⁴⁵, welche die ethische Prüfung einer Studie zulassen, geschaffen wurden (Stanton, Sinnott-Armstrong und Huettel, 2017), sind solche Strukturen in der Praxis – dem „Neuromarketing“ – kaum etabliert. Dies verdeutlicht noch einmal die Tatsache, dass die Einführung ethischer Richtlinien im Bereich des „Neuromarketings“ unumgänglich ist – auch um ein ethisches Mindestmaß zu garantieren.

Im Folgenden werden darum die Richtlinien von Murphy et al., (2008) und Hensel, Iorgo, Wolter und Znanewitz (2017), unter der Prämisse der ethisch-korrekten Anwendung der mfNIRS, dargestellt. Die dabei gewonnen Erkenntnisse sollen dem Leser, wie bereits angeführt, eine **Güterabwägung** – also die „praktische Überlegung, [welche für die] qualifizierte Lösung [des] Wahl- oder Entscheidungskonfliktes [der Anwendung der mfNIRS]“ (Höffe, 2008, S. 125) notwendig ist – ermöglichen. Zudem sollte es ersichtlich sein, dass im Rahmen der in der Consumer Neuroscience durchgeführten Studien – aufbauend auf den in der Forschung etablierten Instanzen – ethische Standards gewährleistet werden können. Somit beziehen sich die hier dargestellten Richtlinien primär, aber nicht ausschließlich, auf die kommerzielle Anwendung der mfNIRS im Bereich des „Neuromarketings“.

⁴⁵ Hierbei ist u. a. die Etablierung von Ethikkommissionen zu nennen, welche die Einhaltung der Deklaration von Helsinki an den einzelnen Universitäten überwachen. Die Deklaration von Helsinki ist eine Erklärung des Weltärztebundes, welcher ethische Grundsätze für die (medizinische) Forschung am Menschen festlegt (World Medical Association, 2001).

Der Schutz der Versuchspersonen. Das Wohl der Versuchsperson gilt als höchstes Gut und ist demnach allem anderen übergeordnet (Murphy et al., 2008; Hensel et al., 2017). Bei einer mfNIRS Studie muss somit ausgeschlossen werden, dass Versuchspersonen, die von einer neurologischen oder psychologischen Krankheit betroffen sind, an der Studie teilnehmen. Zudem sollten Personen, welche aus einem situativ bedingten Zustand besonderen Schutz erfordern (z. B. Schwangere) von einer Teilnahme an einem neurowissenschaftlichen mfNIRS Experiment ausgeschlossen werden. Eine umfassende Aufklärung zur Studie sowie die damit verbundene Einwilligungserklärung sollte demnach genutzt werden, um den Ausschluss der genannten Risikogruppen zu garantieren und dient zugleich als Absicherung, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig erfolgt.

Des Weiteren sollte sichergestellt werden, dass sich keine Versuchsperson auf der Grundlage eines zu hohen Inzents zur Teilnahme an einer mfNIRS Studie entschließt. Der Inzents sollte lediglich die entstandenen Kosten sowie die zeitliche Vergütung, welche zur Teilnahme an der Studie benötigt wurden, abdecken.

Schutzbedürftige Bevölkerungsgruppen müssen vor kommerzieller Ausbeutung geschützt werden. Neben Versuchspersonen, welche aus einem situativ bedingten Zustand besonderen Schutz erfordern, müssen auch schutzbedürftige Bevölkerungsgruppen wie beispielsweise Kinder und Jugendliche vor bestimmten Kommunikationsinhalten geschützt werden (Hensel et al., 2017). Eine Tatsache die insbesondere im Bereich des „Neuromarketings“ relevant erscheint.

Auch wenn der methodische Einsatz der mobilen fNIRS mit keinen Vorteilen oder Nachteilen verbunden ist, sollte deutlich sein, dass die mfNIRS im Kontext des „Neuromarketings“ nur dann bei minderjährigen Versuchspersonen eingesetzt werden kann, wenn durch das Stimulimaterial jegliche (negative) Beeinflussung (z. B. die verharmlosende Darstellung von Alkohol oder Tabak Konsum) ausgeschlossen werden kann. Sollte es aus verschiedenen Gründen nicht möglich sein das Stimulimaterial vorab zu evaluieren, muss auf den Einsatz der mfNIRS verzichtet werden (Pop, Dabija and Iorga, 2016; Murphy et al., 2008).

Die vollständige Offenlegung der Zielstellung, Risiken und des Nutzens. Studien, welche die mfNIRS integrieren, müssen stets das zu verfolgende Ziel, den Nutzen sowie die damit verbundenen Risiken transparent und unmissverständlich kommunizieren

(Hensel et al., 2016; Murphy et al., 2008). Es sollte der Versuchsgruppe demnach immer der Ablauf, das zu benutzende Material sowie die zu absolvierende Aufgabe klar und verständlich dargestellt werden. Dieses Vorgehen hat zwei Vorteile: (1) Es ermöglicht die externe Kontrolle der erhobenen Daten durch eine Replikation der Studie und (2) hat zum anderen einen informierenden Charakter, welcher die Unsicherheit der teilnehmenden Personen reduziert.

Die präzise Mediale- und Marketingdarstellung. Um Interessierten einen Einblick in die Methodik, die Datenerhebung sowie die Dateninterpretation zu ermöglichen, sollte die experimentelle Anwendung der mfNIRS ausführlich und im Detail beschrieben werden. Nur wenn eine vollständige Beschreibung des Vorgehens vorliegt, kann die Validität und Reliabilität einer mfNIRS Studie bewertet werden, was essentiell für die Qualitätssicherung, Einordnung und Bewertung der gewonnenen Ergebnisse in die aktuelle Forschung ist (Hensel et al., 2016). Dennoch sollte bei einer vollständigen Transparenz darauf geachtet werden, dass die Privatsphäre der Versuchspersonen durch eine Anonymisierung oder zumindest einer Pseudonymisierung der erhobenen Daten gewährleistet ist (Stanton, Sinnott-Armstrong und Huettel, 2017). Zudem sollten die gewonnenen Erkenntnisse, wenn möglich, publiziert und somit einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Die Rekrutierung einer ausreichend großen Stichprobe. Wie bereits beschrieben ist die Stichprobengröße und die damit einhergehende statistische Aussagekraft von signifikanter Bedeutung für die Validität und Reliabilität der, mittels mfNIRS, erhobenen Daten (Button, Ioannidis, Mokrysz et al., 2013).

Der Einsatz der mfNIRS hat gezeigt, dass auch kleinere Stichprobengrößen valide Ergebnisse liefern können (Cakir, Çakar, Giriskan und Yurdakul, 2018; Fishburn et al., 2014; Friston, 2004; Krampe et al., 2018). Dies beruht u. a. auf der Tatsache, dass durch eine wiederholte Darbietung des Stimulimaterials in neurowissenschaftlichen Studien die Anzahl der gezeigten Stimuli erhöht wird (Plassmann et al., 2015).

Auch wenn es mitunter schwierig ist eine konkrete Zahl für eine valide Stichprobengröße für mfNIRS Studien zu nennen, lassen aktuelle Forschungsarbeiten vermuten (z. B. Cakir et al., 2018; Fishburn et al., 2014, Friston, 2004; Krampe et al., 2018), dass eine Stichprobengröße von 25 bis 30 Versuchspersonen in den meisten Fällen ausreichend ist, um eine Aussage über einen Forschungsgegenstand auf

Populationsniveau zu tätigen (vgl. Herold, Wiegel, Scholkmann et al., 2018). Es sollte jedoch deutlich sein, dass die Beforschung einer Entität nicht nur von der Stichprobengröße abhängig ist, sondern immer in Abhängigkeit zu der Effektstärke der zu beforschenden Entität, dem verwendeten Messinstrument sowie weiteren Einflussfaktoren steht. Dementsprechend kann die für eine valide Aussage benötigte Stichprobengröße je nach Forschungsfrage stark variieren.

Die spezifische Qualitätsprüfung von neurowissenschaftlichen Verfahren/Daten. In Bezug auf die oftmals kleinere Stichprobengröße bei der Durchführung von mfNIRS Studien ist eine spezifische Qualitätsprüfung, auch zum Schutz der Versuchspersonen, notwendig (Hensel et al., 2016). In regelmäßigen Abständen ist darum zu prüfen, ob eine Fehlfunktion der mfNIRS vorliegt (insbesondere sollten hierbei die Optoden und Dioden überprüft werden). Des Weiteren sollten die in dieser Arbeit dargestellten Richtlinien zur systematischen Integration der mfNIRS als Werkzeug dienen, um valide mfNIRS-Daten zu erheben, zu analysieren und zu interpretieren.

Der Ausschluss von bestimmten für die Versuchspersonen schädlichen Produktkategorien (z. B. Tabak, Alkohol oder Koffein). Um eine mfNIRS Studie ethisch-korrekt durchführen zu können, sollten keine Produktkategorien beforscht werden, welchen den Gesundheitszustand einer Versuchsperson beeinflussen. Dies gilt insbesondere für kommerziell durchgeführte Forschungsarbeiten, die lediglich den Zweck verfolgen absatzwirtschaftliches Potential zu generieren.

Vor diesem Hintergrund sollten Forschungsarbeiten, welche keinem ausreichenden ethischen Standard entsprechen, bei der mit einer zu beforschenden Entität verbundenen Literaturrecherche, keine Berücksichtigung finden.

Integration von neurowissenschaftlichen Experten. Wie bereits in den Beiträgen zur Beantwortung der übergeordneten Fragestellung dargestellt, sollte es evident sein, dass die Anwendung der mfNIRS ein gewisses Maß an Expertise im experimentellen Design, der Datenanalyse sowie der Dateninterpretation von neurowissenschaftlichen Studien voraussetzt. Sollte keine Expertise zur Durchführung von mfNIRS Studien vorliegen, sollte zur primären Datenerhebung ein mfNIRS Methodenexperte zur Studie hinzugezogen werden.

7. Schlussbemerkung

Zusammenfassend hat die vorliegende Arbeit das Potential zur methodischen Erweiterung der Consumer Neuroscience dargestellt. Das übergeordnete Ziel der Arbeit bestand darin, die **Consumer Neuroscience** – durch die **systematische Integration** der **mfNIRS** – **methodisch weiterzuentwickeln**. Bei der Bearbeitung dieser Zielstellung wurde anhand marketingrelevanter Forschungsfragen, Anwendungsbeispielen sowie der Darstellung von wissenschaftlichen, praktisch-normativen und ethisch-normativen Implikationen das Potential der methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience für zukünftige Forschungsarbeiten aufgezeigt. Konkret konnte dabei dargestellt werden, dass die Anwendung der mfNIRS relevante und vor allem *ökologisch valide* Erkenntnisse über marketingrelevante Entitäten für die Wissenschaft und Praxis liefern kann. Zudem sollte erwähnt werden, dass die vorliegende Arbeit – neben der methodischen Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience – auch inhaltlich zum wissenschaftlichen und theoretischen Fortschritt des Marketings, der Marketingforschung sowie der Käufer/Konsumentenverhaltensforschung beigetragen hat. Explizit wurde in dieser Arbeit auf das Potenzial der Erweiterung der Consumer Neuroscience durch das Forschungsfeld der (*digitalen*) *Shopper Neuroscience* hingewiesen, dass als einen ersten Schritt zur Etablierung des innovativen Forschungsfeldes innerhalb der Consumer Neuroscience verstanden werden kann. Des Weiteren wurden in dieser Arbeit wissenschaftliche, praktisch-normative und ethisch-normative Implikationen dargestellt sowie der sich aus den Erkenntnissen ergebende zukünftige Forschungsbedarf aufgezeigt.

Vor dem Hintergrund der dynamischen, technologischen und digitalen Entwicklung sollte es gleichwohl offensichtlich sein, dass diese Arbeit mit ihren Erkenntnissen lediglich eine Zeitpunktbetrachtung darstellt. Daher wäre es wünschenswert, wenn zukünftige Forschungsarbeiten die innovativen (technologischen) Entwicklungen und Einflussfaktoren auf Grundlage ergänzender theoretischer Überlegungen fortlaufend identifizieren, um aufbauend auf den hier dargestellten Erkenntnissen sowohl die methodische wie auch die theoretische Weiterentwicklung der Consumer Neuroscience voranzutreiben.

VI. Literaturverzeichnis

- Adler, C. M., Sax, K. W., Holland, S. K., Schmithorst, V., Rosenberg, L., & Strakowski, S. M.** (2001). Changes in neuronal activation with increasing attention demand in healthy volunteers: an fMRI study. *Synapse*, 42(4), 266-272.
- Adolph, L., Rothe, I., & Windel, A.** (2016). Arbeit in der digitalen Welt – Mensch im Mittelpunkt. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70(2), 77-81.
- Adorni, R., Brugnera, A., Gatti, A., Tasca, G. A., Sakatani, K., & Compare, A.** (2018). Psychophysiological responses to stress related to anxiety in healthy aging. *Journal of Psychophysiology*.
- Adorni, R., Gatti, A., Brugnera, A., Sakatani, K., & Compare, A.** (2016). Could fNIRS Promote Neuroscience Approach in Clinical Psychology?. *Frontiers in Psychology*, 7, 456.
- Ahlert, D., André, M., Duchmann, C., Elger, C., Esch, F. R., Evans, B., Gröppel-Klein, A., Haller, F., Häusel, H. G., Held, D. & Herrmann, A.** (2011). *Wie Marken wirken: Impulse aus der Neuroökonomie für die Markenführung*. Vahlen.
- Ambler, T., Braeutigam, S., Stins, J., Rose, S., & Swithenby, S.** (2004). Saliency and choice: neural correlates of shopping decisions. *Psychology & Marketing*, 21(4), 247-261.
- Ariely, D., & Berns, G. S.** (2010). Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(4), 284-292.
- Arik Ragowsky, T. M. S.** (2002). Enterprise resource planning. *Journal of Management Information Systems*. 19(1), 11-15.
- Arnsten, A. F., & Goldman-Rakic, P. S.** (1998). Noise stress impairs prefrontal cortical cognitive function in monkeys: evidence for a hyperdopaminergic mechanism. *Archives of General Psychiatry*, 55(4), 362-368.
- Atsumori, H., Kiguchi, M., Katura, T., Funane, T., Obata, A., Sato, H., Manaka, T., Iwamoto, M., Maki, A., & Koizumi, H.** (2010). Non-invasive imaging of prefrontal activation during attention-demanding tasks performed while walking using a wearable optical topography system. *Journal of Biomedical Optics*, 15(4).
- Babiloni, C., Ferretti, A., Del Gratta, C., Carducci, F., Vecchio, F., Romani, G. L., & Rossini, P. M.** (2005). Human cortical responses during one-bit delayed-response tasks: an fMRI study. *Brain Research Bulletin*, 65(5), 383-390.
- Baker, J. M., Bruno, J. L., Gundran, A., Hosseini, S. & Reiss, A. L.** (2018). fNIRS measurement of cortical activity and functional connectivity during a visuospatial working memory task. *PLoS One*, 13(8).
- Barbey, A. K., Colom, R., and Grafman, J.** (2013). Dorsolateral Prefrontal Contributions to Human Intelligence. *Neuropsychologia* (51,7), Elsevier Ltd, pp. 1361–1369.

- Bala, C., & Müller, K.** (2014). Der verletzlichste Verbraucher. *Die sozialpolitische Dimension der Verbraucherpolitik. Düsseldorf: Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen.*
- Barnett, S. B., & Cerf, M.** (2017). A ticket for your thoughts: method for predicting content recall and sales using neural similarity of moviegoers. *Journal of Consumer Research*, 44, 160-181.
- Bartra, O., McGuire, J. T., & Kable, J. W.** (2013). The valuation system: a coordinate-based Meta-analysis of BOLD fMRI experiments examining neural correlates of subjective value. *NeuroImage*, 76, 412-427.
- Bell, D. R., Corsten, D., & Knox, G.** (2011). From point of purchase to path to purchase: how preshopping factors drive unplanned buying. *Journal of Marketing*, 75(1), 31-45.
- Bellini, S., Cardinali, M. G., & Grandi, B.** (2016). Does shopping preparation influence consumer buying decisions?. *International Business Research*, 9(10), 201.
- Belliveau, J. W., Kennedy, D. N., McKinstry, R. C., Buchbinder, B. R., Weisskoff, R., Cohen, M. S., Vevea, J. M., Brady, T. J., & Rosen, B. R.** (1991). Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging. *Science*, 254(5032), 716-719.
- Berkman, E. T., & Falk, E. B.** (2013). Beyond brain mapping using neural measures to predict real-world outcomes. *Current Directions in Psychological Science*, 22(1), 45-50.
- Berns, G. S., Laibson, D., & Loewenstein, G.** (2007). Intertemporal Choice – Toward an Integrative Framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(11), 482-488.
- Berns, G. S., & Moore, S. E.** (2012). A neural predictor of cultural popularity. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 154-160.
- Bitkom e.V. (Hg.)** (2013): Arbeit 3.0 – Arbeiten in der digitalen Welt, Berlin
- Boksem, M. A., & Smidts, A.** (2015). Brain responses to movie trailers predict individual preferences for movies and their population-wide commercial success. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 482-492.
- Borges, A., Babin, B. J., & Spielmann, N.** (2013). Gender orientation and retail atmosphere: effects on value perception. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 41(7), 498-511.
- Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C.** (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *NeuroImage*, 5, 49-62.
- Brigadoi, S., Ceccherini, L., Cutini, S., Scarpa, F., Scatturin, P., Selb, J., Gagnon, L., Boas, D. A., and Cooper, R. J.** (2014). Motion Artifacts in Functional Near-Infrared Spectroscopy: A Comparison of Motion Correction Techniques Applied to Real Cognitive Data. *NeuroImage* (85), 181–191.

- Britton, J. C., Phan, K. L., Taylor, S. F., Welsh, R. C., Berridge, K. C., and Liberzon, I.** (2006). Neural Correlates of Social and Nonsocial Emotions: An fMRI Study. *NeuroImage* (31, 1), 397–409.
- Brocke vom, J., Riedl, R., and Léger, P.-M.** (2013). Application Strategies for Neuroscience in Information Systems Design Science Research. *Journal of Computer Information Systems* (53, 3), 1–13.
- Brodmann, K.** (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Barth.
- Brouwer, A.-M., Zander, T. O., van Erp, J. B., Korteling, J. E., & Bronkhorst, A. W.** (2015). Using neurophysiological signals that reflect cognitive or affective state: Six recommendations to avoid common pitfalls. *Frontiers in Human Neuroscience*. 9, 136.
- Brown, S., Gao, X., Tisdelle, L., Eickhoff, S. B., and Liotti, M.** (2011). Naturalizing Aesthetics: Brain Areas for Aesthetic Appraisal across Sensory Modalities. *NeuroImage* 58(1), 250–258.
- Brugnera, A., Adorni, R., Compare, A., Zarbo, C., & Sakatani, K.** (2018). Cortical and autonomic patterns of emotion experiencing during a recall task. *Journal of Psychophysiology*. 32, 53-63.
- Brugnera, A., Zarbo, C., Adorni, R., Tasca, G. A., Rabboni, M., Bondi, E., Compare, A. & Sakatani, K.,** (2017). Cortical and cardiovascular responses to acute stressors and their relations with psychological distress. *International Journal of Psychophysiology*. 114, 38-46.
- Buda, R., & Zhang, Y.** (2000). Consumer product evaluation: the interactive effect of message framing, presentation order, and source credibility. *Journal of Product & Brand Management*, 9(4), 229-242.
- Bunce, S. C., Izzetoglu, K., Ayaz, H., Shewokis, P., Izzetoglu, M., Pourrezaei, K., & Onaral, B.** (2011). Implementation of fNIRS for monitoring levels of expertise and mental workload. *International Conference on Foundation of Augmented Cognition* (pp. 13-22). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Button, K. S., Ioannidis, J. P., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S., & Munafò, M. R.** (2013). Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(5), 365.
- Cakir, M. P., Çakar, T., Giriskan, Y., & Yurdakul, D.** (2018). An investigation of the neural correlates of purchase behavior through fNIRS. *European Journal of Marketing*, 52(1/2), 224-243.
- Camerer, C., Loewenstein, G., & Prelec, D.** (2005). Neuroeconomics: How neuroscience can inform economics. *Journal of Economic Literature*, 9-64.
- Camerer, C. F., & Fehr, E.** (2006). When does "economic man" dominate social behavior?. *Science*, 311(5757), 47-52.

- Carlén, M.** (2017). What constitutes the prefrontal cortex?. *Science*, 358(6362), 478-482.
- CeBIT:** “d!conomy—no limits”. Cebit.de (2017). Accessed 19 April 2017 via <http://www.cebit.de/de/ausstellung/specials/topthema-dconomy/>
- Cela-Conde, C. J., Garcia-Prieto, J., Ramasco, J. J., Mirasso, C. R., Bajo, R., Munar, E., Flexas, A., del-Pozo, F., and Maestu, F.** (2013). Dynamics of Brain Networks in the Aesthetic Appreciation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 10454–10461.
- Cerf, M., Greenleaf, E., Meyvis, T., & Morwitz, V. G.** (2015). Using single-neuron recording in marketing: opportunities, challenges, and an application to fear enhancement in communications. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 530-545.
- Cohen, J.** (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd Edn. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- Cooper, R., Osselton, J. W., & Shaw, J. C.** (2014). *EEG Technology*. Butterworth-Heinemann.
- Corradi-Dell'Acqua, C., Civai, C., Rumiati, R. I., & Fink, G. R.** (2012). Disentangling self- and fairness-related neural mechanisms involved in the ultimatum game: an fMRI study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(4), 424-431.
- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V.** (1997). Transient and sustained activity in a distributed neural system for human working memory. *Nature*, 386, 608-611.
- Crockett, M. J.** (2009). The neurochemistry of fairness. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1167(1), 76-86.
- Crockett, M. J.** (2013). Models of morality. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(8), 363-366.
- Crockett, M. J., Clark, L., Tabibnia, G., Lieberman, M. D., & Robbins, T. W.** (2008). Serotonin modulates behavioral reactions to unfairness. *Science*, 320(5884), 1739-1739.
- Curtis, C. E., & D'esposito, M.** (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(9), 415-423.
- Cummins, D. D., and Cummins, R. C.** (2012). Emotion and Deliberative Reasoning in Moral Judgment. *Frontiers in Psychology* (3, 328), 1–16.
- Cyr, D., and Head, M.** (2013). Website Design in an International Context: The Role of Gender in Masculine versus Feminine Oriented Countries. *Computers in Human Behavior* (29, 4), 1358– 1367.
- Damasio, A. R.** (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, New York: Avon Books.

- Daugherty, T., Hoffman, E., & Kennedy, K.** (2016). Research in reverse: Ad testing using an inductive consumer neuroscience approach. *Journal of Business Research*, 69(8), 3168-3176.
- Davies, D. J., Clancy, M., Lighter, D., Balanos, G. M., Lucas, S. J. E., Dehghani, H., SU, Z., Forcine, M. & Belli, A.** (2017). Frequency-domain vs continuous-wave near-infrared spectroscopy devices: a comparison of clinically viable monitors in controlled hypoxia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 31(5), 967-974.
- Davis, F. D.** (1985). A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results, Massachusetts Institute of Technology.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R.** (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science* 35(8), 982-1003.
- Davis, R., Lang, B., & San Diego, J.** (2014). How gender affects the relationship between hedonic shopping motivation and purchase intentions?. *Journal of Consumer Behaviour*, 13(1), 18-30.
- De Martino, B., Kumaran, D., Seymour, B., & Dolan, R. J.** (2006). Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science*, 313(5787), 684-687.
- Dedovic, K., Duchesne, A., Andrews, J., Engert, V., & Pruessner, J. C.** (2009). The brain and the stress axis: The neural correlates of cortisol regulation in response to stress. *NeuroImage*, 47(3), 864-871.
- Delpy, D. T., Cope, M., Van Der Zee, P., Arridge, S., Wray, S., & Wyatt, J.** (1988). Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement. *Physics in Medicine and Biology*, 33(12), 1433.
- Deppe, M., Schwindt, W., Kugel, H., Plassmann, H., & Kenning, P.** (2005). Nonlinear responses within the medial prefrontal cortex reveal when specific implicit information influences economic decision making. *Journal of Neuroimaging*, 15(2), 171-182.
- Deppe, M., Schwindt, W., Pieper, A., Kugel, H., Plassmann, H., Kenning, P., Deppe, K., & Ringelstein, E.B.** (2007). Anterior cingulate reflects susceptibility to framing during attractiveness evaluation. *Neuroreport*, 18(11), 1119-1123.
- Dimoka, A.** (2010). What does the brain tell us about trust and distrust? Evidence from a functional neuroimaging study. *MIS Quarterly*, 34(2), 373-396.
- Dimoka, A., Davis, F. D., Gupta, A., Pavlou, P., Banker, Dennis, A. R., Ischebeck, A., Müller-Putz, G., Benbasat, I., Gefen, D., Kenning, P., Riedl, R., vom Brocke, J., & Weber, B.** (2012). On the use of neurophysiological tools in IS research: developing a research agenda for NeuroIS. *MIS Quarterly*. 36, 679-702.
- Dimoka, A., and Davis, F. D.** (2008). Where Does TAM Reside in the Brain? The Neural Mechanisms Underlying Technology Adoption. *Proceedings of the International Conference of Information Systems*, 1–18.

- Dolcos, F., Iordan, A. D., and Dolcos, S.** (2011). Neural Correlates of Emotion - Cognition Interactions: A Review of Evidence from Brain Imaging Investigations. *Journal of Cognitive Psychology* (23, 6), 669–694.
- Duncan, J., & Owen, A.M.** (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, 23(10), 475-483.
- Eckel, C. C., & Grossman, P. J.** (1996). The relative price of fairness: Gender differences in a punishment game. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 30(2), 143-158.
- Eisend, M.** (2015). Have we progressed marketing knowledge? A meta- meta-analysis of effect sizes in marketing research. *Journal of Marketing*, 79, 23-40.
- Engelmann, M., Landgraf, R., & Wotjak, C. T.** (2004). The hypothalamic neurohypophysial system regulates the hypothalamic-pituitary-adrenal axis under stress: An old concept revisited. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 25(3-4), 132-149.
- Ernst, L. H., Plichta, M. M., Lutz, E., Zesewitz, A. K., Tupak, S. V., Dresler, T., Ehlis, A., Fallgatter, A. J.** (2013). Prefrontal activation patterns of automatic and regulated approach- avoidance reactions-a functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Cortex*, 49, 131-142.
- Esch, F. R.** (2014). *Strategie und Technik der Markenführung*. Vahlen.
- Essenpreis, M., Elwell, C. E., Cope, M., Van der Zee, P., Arridge, S. R., & Delpy, D. T.** (1993). Spectral dependence of temporal point spread functions in human tissues. *Applied Optics*, 32, 418-425.
- Etkin, A., Egner, T., and Kalisch, R.** (2011). Emotional Processing in Anterior Cingulate and Medial Prefrontal Cortex. *Trends in Cognitive Sciences* 15(2), 85–93.
- Falk, A., & Fischbacher, U.** (2006). A theory of reciprocity. *Games and Economic Behavior*, 54(2), 293-315.
- Falk, E. B., Berkman, E. T., Whalen, D., & Lieberman, M. D.** (2011). Neural activity during health messaging predicts reductions in smoking above and beyond self-report. *Health Psychology*, 30(2), 177.
- Falk, E. B., O'donnell, M. B., Tompson, S., Gonzalez, R., Dal Cin, S., Strecher, V., Cummings, K. M., & An, L.** (2016). Functional brain imaging predicts public health campaign success. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(2), 204-214.
- Fantini, S., Hueber, D., Franceschini, M. A., Gratton, E., Rosenfeld, W., Stubblefield, P. G., Maulik, D. & Stankovic, M. R.** (1999). Non-invasive optical monitoring of the newborn piglet brain using continuous-wave and frequency-domain spectroscopy. *Physics in Medicine & Biology*, 44(6), 1543.
- Fehr, E., & Fischbacher, U.** (2002). Why social preferences matter – the impact of non-selfish motives on competition, cooperation and incentives. *The Economic Journal*, 112(478).

- Fehr, E., & Gächter, S.** (2000). Fairness and retaliation: The economics of reciprocity. *Journal of Economic Perspectives*, 14(3), 159-181.
- Fehr, E., & Schmidt, K. M.** (1999). A theory of fairness, competition, and cooperation. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 817-868.
- Ferrari, M., & Quaresima, V.** (2012). A brief review on the history of human functional near- infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 63(2), 921-935.
- Fishburn, F. A., Norr, M. E., Medvedev, A. V., & Vaidya, C. J.** (2014). Sensitivity of fNIRS to cognitive state and load. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 76.
- Fornell, C., & Larcker, D.F.** (1981). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and statistics. *Journal of Marketing Research*, 18(3), 382-388.
- Frank, U., Schauer, C. & Wigand, R. T.** (2008). Different Paths of Development of Two Information Systems Communities: A Comparative Study Based on Peer Interviews. *Communications of the Association of Information Systems*, 22, 389-412.
- Frey, S., & Petrides, M.** (2000). Orbitofrontal cortex: a key prefrontal region for encoding information. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(15), 8723-8727.
- Friston, K. J.** (1996). Statistical parametric mapping and other Analyses of Functional Imaging Data. *Brain Mapping: The Methods*, Academic Press, New York, 363-386.
- Friston, K. J.** (2004). Introduction: experimental design and statistical parametric mapping. *Human Brain Function*, 599-632.
- Friston, K. J.** (2009). Causal modelling and brain connectivity in functional magnetic resonance imaging. *PLoS Biology*, 7(2).
- Friston, K. J.** (2012). Ten ironic rules for non-statistical reviewers. *NeuroImage*, 61(4), 1300-1310.
- Friston, K. J., Li, B., Daunizeau, J., & Stephan, K. E.** (2011). Network discovery with DCM. *NeuroImage*, 56(3), 1202-1221.
- Frydman, C., & Camerer, C. F.** (2016). The psychology and neuroscience of financial decision making. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(9), 661-675.
- Funane, T., Atsumori, H., Katura, T., Obata, A. N., Sato, H., Tanikawa, Y., Okada E., Kiguchi, M.** (2014). Quantitative evaluation of deep and shallow tissue layers' contribution to fNIRS signal using multi-distance optodes and independent component analysis. *NeuroImage* 85, 150-165.
- Funane, T., Kiguchi, M., Atsumori, H., Sato, H., Kubota, K., & Koizumi, H.** (2011). Synchronous activity of two people's prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 16(7).

- Genco, S. J., Pohlmann, A. P. & Steidl, P.** (2013). *Neuromarketing for Dummies*. Canada: John Wiley & Sons.
- Gefen, D., Ayaz, H., and Onaral, B.** (2014). Applying Functional Near Infrared (FNIR) Spectroscopy to Enhance MIS Research. *AIS Transactions on Human-Computer Interaction* 6(3), 55–73.
- Geuter, S., Lindquist, M. A., and Wager, T. D.** (2016). Fundamentals of Functional Neuroimaging. *Handbook of Psychophysiology*, Cambridge Handbooks in Psychology, J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, and G. G. E. Berntson (eds.), Cambridge University Press, 41–73.
- Gigerenzer, G., & Selten, R.** (2002). *Bounded rationality: The adaptive toolbox*: MIT press.
- Glimcher, P. W., Dorris, M. C., & Bayer, H. M.** (2005). Physiological utility theory and the neuroeconomics of choice. *Games and Economic Behavior*, 52(2), 213-256.
- Glimcher, P. W., & Fehr, E.** (2013). *Neuroeconomics: Decision Making and the Brain*. Academic Press.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S.** (1997). The seats of reason? An imaging study of deductive and inductive reasoning. *NeuroReport*, 8(5), 1305-1310.
- Golafshani, N.** (2003). Understanding reliability and validity in qualitative research. *The Qualitative Report*, 8(4), 597-606.
- Goldstein, E. B.** (2016). *Sensation and perception*. Cengage Learning. 8th Edition.
- Gonzalez, C., Dana, J., Koshino, H., & Just, M.** (2005). The framing effect and risky decisions: examining cognitive functions with fMRI. *Journal of Economic Psychology*, 26(1), 1-20.
- Goodman, A. M., Wang, Y., Kwon, W.-S., Byun, S.-E., Katz, J. S., & Deshpande, G.** (2017). Neural correlates of consumer buying motivations: a 7T functional magnetic resonance imaging (fMRI) study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 512.
- Gossett, E. W., Wheelock, M. D., Goodman, A. M., Orem, T. R., Harnett, N. G., Wood, K. H., Mrug, S., Granger, D. A., Knight, D. C.** (2018). Anticipatory stress associated with functional magnetic resonance imaging: Implications for psychosocial stress research. *International Journal of Psychophysiology*, 125, 35-41.
- Gravetter, F. J., & Forzano, L. A. B.** (2018). *Research Methods for the Behavioral Sciences*. Cengage Learning.
- Green, D. P., & Fox, J.** (2007). Rational choice theory. *Social Science Methodology*. L.: Sage Publications, 269-281.
- Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., & Cohen, J. D.** (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293(5537), 2105-2108.

- Gregor, S., Lin, A. C., Gedeon, T., Riaz, A. & Zhu, D.** (2014). Neuroscience and a nomological network for the understanding and assessment of emotions in information systems research. *Journal of Management. Information Systems*, 30(4), 13-48.
- Groepel-Klein, A.** (2005). Arousal and consumer in-store behavior. *Brain Research Bulletin*, 67(5), 428-437.
- Haas, A., & Kenning, P.** (2014). Utilitarian and hedonic motivators of shoppers' decision to consult with salespeople. *Journal of Retailing*, 90(3), 428-441.
- Häger, F., Volz, H.-P., Gaser, C., Mentzel, H.-J., Kaiser, W. A., & Sauer, H.** (1998). Challenging the anterior attentional system with a continuous performance task: a functional magnetic resonance imaging approach. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 248, 161-170.
- Hallett, M.** (2000). Transcranial magnetic stimulation and the human brain. *Nature*, 406(6792), 147.
- Hare, T. A., Camerer, C. F., & Rangel, A.** (2009). Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system. *Science*, 324(5927), 646-648.
- Hare, T. A., Camerer, C. F., Knoepfle, D. T., O'doherty, J. P., & Rangel, A.** (2010). Value computations in ventral medial prefrontal cortex during charitable decision-making incorporate input from regions involved in social cognition. *The Journal of Neuroscience*, 30(2), 583-590.
- Harris, J. M., Ciorciari, J., & Gountas, J.** (2018). Consumer neuroscience for marketing researchers. *Journal of Consumer Behaviour*, 17, 239-252.
- Hartmann, J., De Angeli, A., & Sutcliffe, A.** (2008). Framing the user experience: information biases on website quality judgement. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (855-864). ACM.
- Haws, K. L., & Bearden, W. O.** (2006). Dynamic pricing and consumer fairness perceptions. *Journal of Consumer Research*, 33(3), 304-311.
- Herold, F., Müller, P., Gronwald, T., & Müller, N. G.** (2019). Dose-Response Matters!—A Perspective on the Exercise Prescription in Exercise-Cognition Research. *Frontiers in Psychology*, 10.
- Hensel, D., Wolter, L., & Znanewitz, J.** (2016). A Guideline for Ethical Aspects in Conducting Neuromarketing Studies. *Ethics and Neuromarketing - Implications for Market Research and Business Practice*, 65-87. Switzerland, Springer.
- Hensel, D., Iorga, A., Wolter, L., & Znanewitz, J.** (2017). Conducting Neuromarketing Studies Ethically-Practitioner Perspectives. *Cogent Psychology*, 4(1).
- Hoshi, Y., Kobayashi, N., & Tamura, M.** (2001). Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology*, 90(5), 1657-1662.

- Höffe, O.** (2008). *Lexikon der Ethik* (Vol. 152). CH Beck.
- Hubert, M.** (2010). Does neuroeconomics give new impetus to economic and consumer research?. *Journal of Economic Psychology*, 31(5), 812-817.
- Hubert, M., Hubert, M., Florack, A., Linzmajer, M., & Kenning, P.** (2013). Neural correlates of impulsive buying tendencies during perception of product packaging. *Psychology & Marketing*, 30(10), 861-873.
- Hubert, M., Hubert, M., Linzmajer, M., Riedl, R., & Kenning, P.** (2018). Trust me if you can—neurophysiological insights on the influence of consumer impulsiveness on trustworthiness evaluations in online settings. *European Journal of Marketing*, 52(1/2), 118-146.
- Hubert, M., & Kenning, P.** (2008). A current overview of consumer neuroscience. *Journal of Consumer Behaviour*, 7(4-5), 272-292.
- Huppert, T. J., Hoge, R. D., Diamond, S. G., Franceschini, M. A., and Boas, D. A.** (2006). A Temporal Comparison of BOLD, ASL, and NIRS Hemodynamic Responses to Motor Stimuli in Adult Humans. *NeuroImage* 29(2), 368–382.
- Hutzschenreuter, T.** (2015). *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Grundlagen mit zahlreichen Praxisbeispielen*. Springer-Verlag.
- Hüther, M.** (2016). *Digitalisierung: Systematisierung der Trends im Strukturwandel-Gestaltungsaufgabe für die Wirtschaftspolitik* (No. 15/2016). IW Policy Paper.
- Inman, J. J., & Nikolova, H.** (2017). Shopper-facing retail technology: a retailer adoption decision framework incorporating shopper attitudes and privacy concerns. *Journal of Retailing*, 93(1), 7-28.
- Inman, J. J., Winer, R. S., & Ferraro, R.** (2009). The interplay among category characteristics, customer characteristics, and customer activities on in-store decision making. *Journal of Marketing*, 73(5), 19-29.
- Jamieson, L. F., & Bass, F. M.** (1989). Adjusting stated intention measures to predict trial purchase of new products: A comparison of models and methods. *Journal of Marketing Research*, 336-345.
- Jöbsis, F. F.** (1977). Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 198(4323), 1264-1267.
- Kable, J. W.** (2011). The cognitive neuroscience toolkit for the neuroeconomist: a functional overview. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 4(2), 63.
- Kacen, J. J., Hess, J. D., & Walker, D.** (2012). Spontaneous selection: the influence of product and retailing factors on consumer impulse purchases. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 19(6), 578-588.
- Kahneman, D., & Tversky, A.** (2013). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Handbook of the fundamentals of financial decision making: Part I* (99-127).

- Keen, P. G. W.** (1980). MIS Research: Reference Disciplines and a Cumulative Tradition. *Proceedings of the International Conference of Information Systems*, 9-18.
- Kenning, P.** (2014). *Consumer Neuroscience: Ein transdisziplinäres Lehrbuch*: Kohlhammer Verlag.
- Kenning, P., & Linzmajer, M.** (2011). Consumer neuroscience: an overview of an emerging discipline with implications for consumer policy. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 6(1), 111-125.
- Kenning, P., & Plassmann, H.** (2008). How neuroscience can inform consumer research. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 16(6), 532.
- Kenning, P., & Plassmann, H.** (2005). NeuroEconomics: An overview from an economic perspective. *Brain research bulletin*, 67(5), 343-354.
- Kenning, P., Plassmann, H., & Ahlert, D.** (2007). Applications of functional magnetic resonance imaging for market research. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 10(2), 135-152.
- Kenning, P., Plassmann, H., Deppe, M., Kugel, H., & Schwindt, W.** (2002). *Neuroeconomic Research Reports: Neuromarketing*, 1-26.
- Kemp, A. H., Krygier, J., and Harmon-Jones, E.** (2015). Neuroscientific Perspectives of Emotion, in *The Oxford Handbook of Affective Computing*. Oxford University Press, 38–53.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S.** (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303(5660), 1023-1026.
- Kim, J.-Y., Kim, K.-I., Han, C.-H., Lim, J.-H., & Im, C.-H.** (2016). Estimating consumers' subjective preference using functional near infrared spectroscopy: a feasibility study. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 24, 433-441.
- Kim, H. Y., Seo, K., Jeon, H. J., Lee, U., and Lee, H.** (2017). Application of Functional Near-Infrared Spectroscopy to the Study of Brain Function in Humans and Animal Models. *Molecules and Cells* 40(8), 523–532.
- Knutson, B., Adams, C. M., Fong, G. W., & Hommer, D.** (2001). Anticipation of increasing monetary reward selectively recruits nucleus accumbens. *Journal of Neuroscience*, 21(16).
- Knutson, B., Rick, S., Wimmer, G. E., Prelec, D., & Loewenstein, G.** (2007). Neural predictors of purchases. *Neuron*, 53(1), 147-156.
- Kocsis, L., Herman, P., & Eke, A.** (2006). The modified beer–lambert law revisited. *Physics in Medicine and Biology*, 51(5), N91.
- Koenigs, M., & Tranel, D.** (2007). Prefrontal cortex damage abolishes Brand-cued changes in cola preference. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(1).

- Kogler, L., Muller, V. I., Chang, A., Eickhoff, S. B., Fox, P. T., Gur, R. C., & Derntl, B.** (2015). Psychosocial versus physiological stress - Meta-analyses on deactivations and activations of the neural correlates of stress reactions. *NeuroImage*, *119*, 235-251.
- Kohl, M., Nolte, C., Heekeren, H. R., Horst, S., Scholz, U., Obrig, H. & Villringer, A.** (1998). Determination of the wavelength dependence of the differential pathlength factor from near-infrared pulse signals. *Physics in Medicine & Biology*, *43*, 1771-1782.
- Kopton, I. M.** (2015). Beiträge zur Integration neurophysiologischer Methoden in das Innovationsmanagement (Doctoral dissertation, Zeppelin Universität Friedrichshafen).
- Kopton, I. M., & Kenning, P.** (2014). Near-infrared spectroscopy (NIRS) as a new tool for neuroeconomic research. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 549.
- Kosslyn, S. M.** (1999). If neuroimaging is the answer, what is the question? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *354*(1387), 1283-1294.
- Krampe, C., Gier, N., & Kenning, P.** (2017). Beyond traditional neuroimaging: Can mobile fNIRS add to NeuroIS?. *Information Systems and Neuroscience*, (Springer), 151-157.
- Krampe, C., Gier, N., Meißner, L. & Kenning, P.** (2019). Sweeten your (shopping) day! - How glucose affects the acceptance of dynamically priced products and goods. *Advances in Consumer Research*.
- Krampe, C., Gier, N., Strelow, E., & Kenning, P.** (2017). Leaving the lab: Can mobile fNIRS enhance consumer research?. *Advances in Consumer Research*.
- Krampe, C., Strelow, E., Haas, A., & Kenning, P.** (2018). The application of mobile fNIRS to “shopper neuroscience” - first insights from a merchandising communication study. *European Journal of Marketing*, *52*, 244-259.
- Kroeber-Riel, W.** (1979). Activation research: Psychobiological approaches in consumer research. *Journal of Consumer Research*, *5*(4), 240-250.
- Kroger, J. K., Sabb, F. W., Fales, C. L., Bookheimer, S. Y., Cohen, M. S., & Holyoak, K. J.** (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: a parametric study of relational complexity. *Cerebral Cortex*, *12*, 477-485.
- Krugman, H. E.** (1971). Brain wave measures of media involvement. *Journal of Advertising Research*, *11*(1), 3-9.
- Kühn, S., & Gallinat, J.** (2012). The neural correlates of subjective pleasantness. *NeuroImage*, *61*(1), 289-294.
- Kühn, S., Strelow, E., & Gallinat, J.** (2016). Multiple “buy buttons” in the brain: forecasting chocolate sales at point-of-sale based on functional brain activation using fMRI. *NeuroImage*, *136*, 122-128.

- Kwong, K. K., Belliveau, J. W., Chesler, D. A., Goldberg, I. E., Weisskoff, R. M., Poncelet, B. P., Kennedy, D. N., Hoppel, B. E., Cohen, M. S., & Turner, R.** (1992). Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(12), 5675-5679.
- Laessle, R. G., & Schulz, S.** (2009). Stress-Induced Laboratory Eating Behavior in Obese Women with Binge Eating Disorder. *International Journal of Eating Disorders*, 42(6), 505-510.
- Lalwani, A. K., & Monroe, K. B.** (2005). A reexamination of frequency-depth effects in consumer price judgments. *Journal of Consumer Research*, 32(3), 480-485.
- Lee, N., Chamberlain, L., & Brandes, L.** (2018). Welcome to the jungle! The neuromarketing literature through the eyes of a newcomer. *European Journal of Marketing*, 52(1/2), 4-38.
- Léger, P. M., Sénécal, S., Courtemanche, F., Ortiz de Guinea, A., Titah, R., Fredette, M., & Labonte-LeMoyné, É.** (2014). Precision is in the Eye of the Beholder: Application of Eye fixation-related Potentials to Information Systems Research. *Journal of the Association for Information Systems*, 15(10), 3.
- Levallois, C., Clithero, J. A., Wouters, P., Smidts, A., & Huettel, S. A.** (2012). Translating upwards: linking the neural and social sciences via neuroeconomics. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(11), 789-797.
- Leff, D. R., Orihuela-Espina, F., Elwell, C. E., Athanasiou, T., Delpy, D. T., Darzi, A. W., and Yang, G. Z.** (2011). Assessment of the cerebral cortex during motor task behaviours in Adults: A systematic review of functional near Infrared Spectroscopy (fNIRS) Studies. *NeuroImage*, 54(4), 2922–2936.
- Li, M., Jiang, Q., Tan, C. H. & Wei, K. K.** (2014). Enhancing user-game engagement through software gaming elements. *Journal of Management Information Systems*. 30(4), 115-150.
- Lim, W. M.** (2018). Demystifying neuromarketing. *Journal of Business Research*, 91, 205-220.
- Linzmajer, M., Hubert, M., Eberhardt, T., Fojcik, T., & Kenning, P.** (2014). The effect of glucose consumption on customers' price fairness perception. *Schmalenbach Business Review 2015*, 7-49.
- Liu, X., Kim, C. S., & Hong, K. S.** (2018). An fNIRS-based investigation of visual merchandising displays for fashion stores. *Plos one*, 13(12).
- Lloyd-Fox, S., Blasi, A., & Elwell, C.** (2010). Illuminating the developing brain: The past, present and future of functional near infrared spectroscopy. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(3), 269-284.
- Lusk, J. L., Crespi, J. M., Cherry, J. B. C., Mcfadden, B. R., Martin, L. E., & Bruce, A. S.** (2015). An fMRI investigation of consumer choice regarding controversial food technologies. *Food Quality and Preference*, 40, 209-220.

- Manes, F., Sahakian, B., Clark, L., Rogers, R., Antoun, N., Aitken, M. & Robbins, T.** (2002). Decision-making processes following damage to the prefrontal cortex. *Brain*, 125, 624-639.
- Mangina, C. A., Beuzeron-Mangina, H., Ricciardi, E., Pietrini, P., Chiarenza, G. A., and Casarotto, S.** (2009). Neural correlates of ‘analytical-specific visual perception’ and degree of task difficulty as investigated by the mangina-test: A functional magnetic resonance imaging (fMRI) study in young healthy adults. *International Journal of Psychophysiology* 73(2), 150–156.
- Masataka, N., Perlovsky, L., & Hiraki, K.** (2015). Near-infrared spectroscopy (NIRS) in functional research of prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 274.
- McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L. M., & Montague, P. R.** (2004). Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. *Neuron*, 44(2), 379-387.
- McCormick, P. W., Stewart, M., Lewis, G., Dujovny, M., & Ausman, J. I.** (1992). Intracerebral penetration of infrared light: Technical note. *Journal of Neurosurgery*, 76(2), 315-318.
- Meffert, H.** (1974). Absatzpolitik. 2 Bände. *Münster: Regensberg.*
- Meffert, H., Burmann, C., Kirchgeorg, M. & Eisenbeiß, M.** (2019). Marketing - Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung Konzepte - Instrumente - Praxisbeispiele. *Springer Gabler Verlag.*
- Minas, R. K., Potter, R. F. Dennis, A. R. Bartelt, V., Bae, S.** (2014). Putting on the thinking cap: using NeuroIS to understand information processing biases in virtual teams. *Journal of Management Information Systems*. 30(4), 49-82.
- Mishra, A., & Mishra, H.** (2010). We are what we consume: The influence of food consumption on impulsive choice. *Journal of Marketing Research*, 47(6), 1129-1137.
- Miyai, I., Tanabe, H. C., Sase, I., Eda, H., Oda, I., Konishi, I., Tsunazawa, Y., Suzuki, T., Yanagida, T., & Kubota, K.** (2001). Cortical mapping of gait in humans: a near-infrared spectroscopic topography study. *NeuroImage*, 14(5), 1186-1192.
- Murphy, E. R., Illes, J., & Reiner, P. B.** (2008). Neuroethics of Neuromarketing. *Journal of Consumer Behaviour*, 7, 293-302.
- Muruganatham, G., & Bhakat, R. S.** (2013). A review of impulse buying behavior. *International Journal of Marketing Studies*, 5(3), 149.
- Naseer, N., & Hong, K.-S.** (2015). fNIRS-based brain-computer interfaces: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 172.
- Noack, H., Nolte, L., Nieratschker, V., Habel, U., & Derntl, B.** (2019). Imaging stress: An overview of stress induction methods in the MR scanner. *Journal of Neural Transmission*, 1-16.

- Nguyen, T., Babawale, O., Kim, T., Jo, H. J., Liu, H., & Kim, J. G.** (2018). Exploring brain functional connectivity in rest and sleep states: A fNIRS study. *Scientific Reports*, 8(1), 16144.
- Nguyen, D. K., Tremblay, J., Pouliot, P., Vannasing, P., Florea, O., Carmant, L., Leopore, F., Sawan, M., Lesage, F. & Lassonde, M.** (2012). Non-invasive continuous EEG-fNIRS recording of temporal lobe seizures. *Epilepsy Research*, 99(1-2), 112-126.
- O'Connor, T. M., O'Halloran, D. J., & Shanahan, F.** (2000). The stress response and the hypothalamic-pituitary-adrenal axis: From molecule to melancholia. *International Journal of Medicine*, 93(6), 323-333.
- O'Regan, S., Faul, S., & Marnane, W.** (2013). Automatic detection of EEG artefacts arising from head movements using EEG and gyroscope signals. *Medical Engineering & Physics*, 35(7), 867-874.
- Pengnate, S. F. & Sarathy, R.** (2017). An Experimental Investigation of the Influence of Website Emotional Design Features on Trust in Unfamiliar Online Vendors. *Computers in Human Behavior* 67, 49–60.
- Peck, E. M., Afergan, D., Yuksel, B. F., Lalooses, F., & Jacob, R. J.** (2014). Using fNIRS to measure mental workload in the real world. *Advances in Physiological Computing* (pp. 117-139). Springer, London.
- Pinti, P., Scholkmann, F., Hamilton, A., Burgess, P., and Tachtsidis, I.** (2019). Current Status and Issues Regarding Pre-Processing of FNIRS Neuroimaging Data: An Investigation of Diverse Signal Filtering Methods Within a General Linear Model Framework. *Frontiers in Human Neuroscience* 12, 1–21.
- Piper, S. K., Krueger, A., Koch, S. P., Mehnert, J., Habermehl, C., Steinbrink, J., Obrig, H., & Schmitz, C. H.** (2014). A wearable multi-channel fNIRS system for brain imaging in freely moving subjects. *NeuroImage*, 85, 64-71.
- Plassmann, H., O'Doherty, J., & Rangel, A.** (2007). Orbitofrontal cortex encodes willingness to pay in everyday economic transactions. *The Journal of Neuroscience*, 27(37), 9984-9988.
- Plassmann, H., O'Doherty, J., Shiv, B., & Rangel, A.** (2008). Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(3), 1050-1054.
- Plassmann, H., Ramsøy, T. Z., & Milosavljevic, M.** (2012). Branding the brain: A critical review and outlook. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 18-36.
- Plassmann, H., Venkatraman, V., Huettel, S., & Yoon, C.** (2015). Consumer neuroscience: Applications, challenges, and possible solutions. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 427-435.

- Plassmann, H., & Weber, B.** (2015). Individual differences in marketing placebo effects: Evidence from brain imaging and behavioral experiments. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 493-510.
- Pochon, J.-B., Levy, R., Poline, J.-B., Crozier, S., Lehericy, S., Pillon, B., Deweer, B., Le Bihan, D. & Dubois B.** (2001). The role of dorsolateral prefrontal cortex in the preparation of forthcoming actions: An fMRI study. *Cerebral Cortex*, 11(3), 260-266.
- Poldrack, R. A.** (2006). Can Cognitive Processes be Inferred from Neuroimaging Data?. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(2), 59-63.
- Poldrack, R. A.** (2011). Inferring Mental States from Neuroimaging Data: From Reverse Inference to large-scale Decoding. *Neuron*, 72(5), 692-697.
- Pop, N. A., Dabija, D. C., & Iorga, A. M.** (2017). Ethical Considerations regarding Stakeholders in Neuromarketing Research. Empirical Insights from NMSBA Corporate Members, TAAN Advertising Agencies and Romanian Companies. *Ethics and Neuromarketing*, 123-146. Springer, Cham.
- Puto, C. P.** (1987). The framing of buying decisions. *Journal of Consumer Research*, 14(3), 301-315.
- Quaresima, V., & Ferrari, M.** (2016). Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations a concise review. *Organizational Research Methods*, 22(1), 46-68.
- Rampl, L., Eberhardt, T., Schütte, R., & Kenning, P.** (2012). Consumer trust in food retailers: Conceptual framework and empirical evidence. *International Journal of Retail Distribution Management*, 40, 254-272.
- Ravaja, N., Somervuori, O., & Salminen, M.** (2013). Predicting purchase decision: The role of hemispheric asymmetry over the frontal cortex. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 6(1), 1.
- Raye, C. L., Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Reeder, J. A., & Greene, E. J.** (2002). Neuroimaging a single thought: Dorsolateral PFC activity associated with refreshing just-activated information. *NeuroImage*, 15, 447-453.
- Riedl, R., Banker, R. D., Benbasat, I., Davis, F. D., Dennis, A. R., Dimoka, A., Gefen, D., Gupta, A., Ischebeck, A., Kenning, P., Müller-Putz, G., Pavlou, P. A., Straub, D. W., vom Brocke, J., and Weber, B.** (2010). On the Foundations of NeuroIS: Reflections on the Gmunden Retreat 2009, *Communications of the Association for Information Systems* 27(15), 243–264.
- Riedl, R., Davis, F. D., Banker, R., and H. Kenning, P.** (2017). *Neuroscience in Information Systems Research*, (Vol. 21). Lecture Notes in Information Systems and Organisation, Cham: Springer International Publishing.
- Riedl, R., Hubert, M., & Kenning, P.** (2010). Are there neural gender differences in online trust? An fMRI study on the perceived trustworthiness of eBay offers. *MIS Quarterly*, 34(2), 397-428.

- Riedl, R., & Léger, P. M.** (2016). Fundamentals of NeuroIS. *Studies in Neuroscience, Psychology and Behavioral Economics*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Rozanski, A., Blumenthal, J. A., & Kaplan, J.** (1999). Impact of psychological factors on the pathogenesis of cardiovascular disease and implications for therapy. *Circulation*, *99*(16), 2192-2217.
- Römhild, J.** (2017). *Kundenstolz im B2C-Bereich*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Rashidian, A., Miles, J., Russell, D., & Russell, I.** (2006). Sample size for regression analyses of theory of planned behaviour studies: Case of prescribing in general practice. *British Journal of Health Psychology*, *11*(4), 581-593.
- Sandi, C.** (2013). Stress and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Cognitive Science*, *4*(3), 245-261.
- Sanfey, A. G., Hastie, R., Colvin, M. K., & Grafman, J.** (2003). Phineas gauged: Decision-making and the human prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, *41*(9), 1218-1229.
- Sanfey, A. G., Rilling, J. K., Aronson, J. A., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D.** (2003). The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game. *Science*, *300* (5626), 1755-1758.
- Sato, H., Yahata, N., Funane, T., Takizawa, R., Katura, T., Atsumori, H., Nishimura, Y., Kinoshita, A., Kiguchi, M., Koizumi, H., Fukuda, M., & Kasai, K.** (2013). A NIRS-fMRI investigation of prefrontal cortex activity during a working memory task. *NeuroImage*, *83*, 158-173.
- Schaal, N. K., Hepp, P., Schweda, A., Wolf, O. T., & Krampe, C.** (2019). A functional near-infrared Spectroscopy Study on the cortical haemodynamic responses during the Maastricht Acute Stress Test. *Scientific Reports*, *9*(1), 1-11.
- Schaefer, M., & Rotte, M.** (2007). Favorite brands as cultural objects modulate reward circuit. *Neuroreport*, *18*, 141-145.
- Schneider, W.** (2018). Psychosoziale Folgen der Digitalisierung. *Psychotherapeut*, *63*(4), 291-300.
- Schneider, F., & Fink, G. R.** (2013). *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*. Heidelberg: Springer.
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Pavia, J. M., Wolf, U., & Wolf, M.** (2014). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *NeuroImage*, *85*, 6-27.
- Selten, R.** (2001). What is bounded rationality. *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*, *13*, 36.
- Sergerie, K., Chochol, C., & Armony, J. L.** (2008). The role of the amygdala in emotional processing: A quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *32*(4), 811-830.

- Seth, A. K., Baars, B. J. & Edelman, D. B.** (2005). Criteria for consciousness in humans and other mammals. *Consciousness and Cognition*, 14(1), 119-139.
- Shane, S., Drover, W., Clingsmith, D., & Cerf, M.** (2019). Founder Passion, Neural Engagement and Informal Investor Interest in Startup Pitches: An fMRI study. *Journal of Business Venturing*, 105949.
- Shiv, B., Bechara, A., Levin, I., Alba, J. W., Bettman, J. R., Dube, L., Isen, A., Mellers, B., Smidts, A., Grant, S. J. & McGraw A. P.** (2005). Decision neuroscience. *Marketing Letters*, 16(3-4), 375-386.
- Sinha, I., & Smith, M. F.** (2000). Consumers' perceptions of promotional framing of price. *Psychology & Marketing*, 17(3), 257-275.
- Smidts, A., Hsu, M., Sanfey, A. G., Boksem, M. A., Ebstein, R. B., Huettel, S. A., Kable J. W., Karmarkar U. R., Kitayama, S., Knutson, B., Liberzon, I., Lohrenz, T., Stallen, M. & Yoon, C.** (2014). Advancing consumer neuroscience. *Marketing Letters*, 25(3), 257-267.
- Solnais, C., Andreu-Perez, J., Sánchez-Fernández, J., & Andréu-Abela, J.** (2013). The contribution of neuroscience to consumer research: A conceptual framework and empirical review. *Journal of Economic Psychology*, 36, 68-81.
- Spence, C.** (2016). Neuroscience-inspired design from academic neuromarketing to commercially relevant research. *Organizational Research Methods*, 22(1), 275-298.
- Spence, C., & Piqueras-Fiszman, B.** (2014). *The Perfect Meal: The Multisensory Science of Food and Dining*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Spiers, H. J., & Maguire, E. A.** (2007). Decoding human brain activity during real-world experiences. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(8), 356-365.
- Stanton, S. J., Sinnott-Armstrong, W., & Huettel, S. A.** (2017). Neuromarketing: Ethical Implications of its use and potential misuse. *Journal of Business Ethics*, 144(4), 700-811.
- Stilley, K. M., Inman, J. J., & Wakefield, K. L.** (2010). Planning to make unplanned purchases? The role of in-store slack in budget deviation. *Journal of Consumer Research*, 37(2), 264-278.
- Strangman, G., Culver, J. P., Thompson, J. H., and Boas, D. A.** (2002). A Quantitative Comparison of Simultaneous BOLD FMRI and NIRS Recordings during Functional Brain Activation. *NeuroImage* 17(2), 719–731.
- Szalma, J. L. & Hancock, P. A.** (2011). Noise effects on human performance: A Meta-analytic synthesis. *Psychological Bulletin*, 137(4), 682.
- Tachtsidis, I., Leung, T. S., Chopra, A., Koh, P. H., Reid, C. B., & Elwell, C. E.** (2009). False positives in functional near infrared topography. *Oxygen Transport to Tissue* (pp. 307-314). Springer, Boston, MA.

- Telpaz, A., Webb, R., & Levy, D. J.** (2015). Using EEG to predict consumers' future choices. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 511-529.
- Teffer, K., & Semendeferi, K.** (2012). Human prefrontal cortex: Evolution, development, and pathology. *Progress in Brain Research* (Vol. 195, 191-218). Elsevier.
- Toga, A. W., & Thompson, P. M.** (2003). Mapping brain asymmetry. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(1), 37-48.
- Torricelli, A., Contini, D., Pifferi, A., Caffini, M., Re, R., Zucchelli, L. & Spinelli, L.** (2014). Time domain functional NIRS imaging for human brain mapping. *NeuroImage*, 85, 28-50.
- Tversky, A., & Kahneman, D.** (1985). The framing of decisions and the psychology of choice. *Environmental Impact Assessment, Technology Assessment, and Risk Analysis*, Springer, 107-29.
- Tversky, A., & Kahneman, D.** (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453-458.
- Vassena, E., Gerrits, R., Demanet, J., Verguts, T., and Siugzdaite, R.** (2019). Anticipation of a mentally effortful task recruits dorsolateral prefrontal cortex: An fNIRS validation study. *Neuropsychologia* 123, 106–115.
- Venkatraman, V., Clithero, J. A., Fitzsimons, G. J., & Huettel, S.** (2012). New scanner data for brand marketers: How neuroscience can help better understand differences in brand preferences. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 142-153.
- Venkatraman, V., Dimoka, A., Pavlou, P. A., Vo, K., Hampton, W., Bollinger, B., Hershfield, H. E., Ishihara, M., & Winer, R. S.** (2015). Predicting advertising success beyond traditional measures: New insights from neurophysiological methods and market response modeling. *Journal of Marketing Research*, 52, 436-452.
- Villringer, A., Planck, J., Hock, C., Schleinkofer, L. & Dimagl, U.** (1993). Near infrared spectroscopy (NIRS): A new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults. *Neuroscience Letters* 154(1-2), 101-104.
- Vohs, K. D., & Faber, R. J.** (2007). Spent resources: Self-regulatory resource availability affects impulse buying. *Journal of Consumer Research*, 33(4), 537-547.
- Von Lüthmann, A., Herff, C., Heger, D., & Schultz, T.** (2015). Toward a wireless open source instrument: Functional near-infrared spectroscopy in mobile neuroergonomics and BCI applications. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 617.
- Wallis, J. D.** (2007). Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 31-56.
- Werchan, D. M., Collins, A. G., Frank, M. J., & Amso, D.** (2016). Role of prefrontal cortex in learning and generalizing hierarchical rules in 8-month-old infants. *Journal of Neuroscience*, 36, 10314-10322.

- Wilcox, T., & Biondi, M.** (2015). fNIRS in the developmental sciences. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(3), 263-283.
- Wilkinson, D., & Halligan, P.** (2004). The relevance of behavioural measures for functional-imaging studies of cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(1), 67-73.
- Winkler, N., Kroh, M., & Spiess, M.** (2006). Entwicklung einer deutschen Kurzskala zur zweidimensionalen Messung von sozialer Erwünschtheit (No. 579). DIW Diskussionspapier.
- Wöhe, D., & Döring, U.** (2010). Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre.
- Wolf, O. T.** (2009). Stress and memory in humans: Twelve years of progress? *Brain Research*, 1293, 142-154.
- World Medical Association** (2001). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bulletin of the World Health Organization*, 79(4), 373.
- Worsley, K. J., & Friston, K. J.** (1995). Analysis of fMRI time-series revisited – again. *NeuroImage*, 2(3), 173-181.
- Yarkoni, T., Poldrack, R. A., Van Essen, D. C. & Wager, T. D.** (2010). Cognitive Neuroscience 2.0: Building a cumulative Science of Human brain function. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(11), 489-496.
- Yarkoni, T., Poldrack, R. A., Van Essen, D. C. & Wager, T. D.** (2011). Large-scale automated synthesis of human functional neuroimaging data. *Nature Methods*, 8(8), 665.
- Yoon, C., Gonzalez, R., Bechara, A., Berns, G. S., Dagher, A. A., Dubé, L., Huettel, S., Kable, J. W., Liberzon, I., Plassmann, H, m Smidts, A. & Spence, C.** (2012). Decision neuroscience and consumer decision making. *Marketing Letters*, 23(2), 473-485.
- Yoshino, K., Oka, N., Yamamoto, K., Takahashi, H., & Kato, T.** (2013). Functional brain imaging using near-infrared spectroscopy during actual driving on an expressway. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 882.
- Yoshida, K., Sawamura, D., Inagaki, Y., Ogawa, K., Ikoma, K., and Sakai, S.** (2014). Brain activity during the flow experience: A functional near-Infrared spectroscopy study, *Neuroscience Letters* 573, 30–34.
- Zaltman, G.** (2000). Consumer researchers: take a hike!. *Journal of Consumer Research*, 26, 423-428.
- Zhao, H., and Cooper, R. J.** (2017). Review of recent progress toward a fiberless, whole-scalp diffuse optical tomography system, *Neurophotonics* 5(1), 1.

Zhao, H., Tanikawa, Y., Gao, F., Onodera, Y., Sassaroli, A., Tanaka, K., & Yamada, Y. (2002). Maps of optical differential pathlength factor of human adult forehead, somatosensory motor and occipital regions at multi-wavelengths in NIR. *Physics in Medicine & Biology*, 47(12), 2075.

VII. Anhang

A. Präsentation des ersten Beitrages auf der „North American Conference of the Association for Consumer Research“ 2016 in Berlin, Deutschland



Faculty of Business Administration and Economics
Chair of Marketing – Prof. Dr. Kenning



Functional Near-infrared Spectroscopy (fNIRS): A New Tool For Consumer Research?

Caspar Krampe^A, Enrique Strelow^B, Peter Kenning^A

^A Faculty of Business Administration and Economics, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Germany
^B Department of Business Administration and Economics, Justus-Liebig Universität, Gießen, Germany

Background

The **functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)** is a new and innovative neuroimaging method. Due to its novelty this method has not been applied very often in consumer neuroscience. Based on the well established **framing effect** our study demonstrated that the fNIRS is indeed a **fruitful new method** to study consumers' decision making by investigating neuronal prefrontal activation patterns.

Introduction

fNIRS can be defined as a mobile, non-invasive, non-ionizing method for functional monitoring and imaging of brain hemodynamics¹.



Consumers are remarkably susceptible to the manner in which options are presented while making decisions, known as **framing effect**². Prior research on behavioural decision making demonstrated neural correlations between the framing effect and specific (prefrontal) brain regions³. By using fNIRS we explored consumers' neuronal activity while confronted with different market communication strategies, acting as a frame.

Objective

As a **new method** for consumer research our study aims to validate the **functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)** by investigating consumers' **neuronal activity to market communication strategies** in a laboratory experiment.

References (selective)

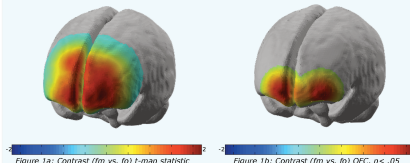
- ¹ Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 63(2), 921-935.
- ² Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211 (4481), 453-458.
- ³ Knutson, B., Rick, S., Wimmer, G. E., Prelec, D., & Loewenstein, G. (2007). Neural predictors of purchases. *Neuron*, 53(1), 147-156.
- ⁴ Kähn, S., Strelow, E. & Gallinat, J. (2016). Multiple "buy buttons" in the brain: Forecasting chocolate sales at point-of-sales based on functional brain activation using fMRI. *NeuroImage*, 136, 122-128.

Hypotheses & Results

H₁: There are differences in neural activity of the prefrontal cortex between the modified and non-modified market communication strategy that can be detected with the use of fNIRS.

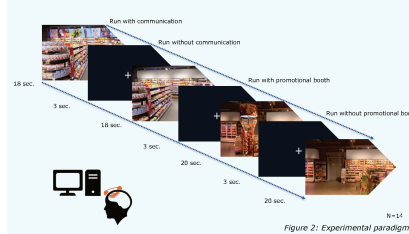
H₂: There is an increased neuronal activity of the orbitofrontal cortex (OFC) in the modified compared to the non-modified market communication strategy.

H₃: There is a decrease in neuronal activity in the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) in the modified compared to the non-modified market communication strategy.



Statistical evidence was found for **H₁** and **H₂**, indicating significant differences in neuronal activation patterns of the prefrontal cortex and OFC whilst comparing both market communication strategies, measured with the use of fNIRS. Furthermore, results show a reduced activation in the DLPFC (**H₃**), but failed to reach the statistical threshold of $p < .05$.

Method



Conclusion

- Based on our results the **fNIRS** seems to be a **promising tool** to understand consumer behaviour from a neuroscientific perspective.
- The **mobile fNIRS** could therefore be an attractive and relatively **inexpensive** alternative to other frequently and mostly stationary used **neuroimaging techniques** in consumer neuroscience.
- Our results support previous research findings that the **OFC** plays indeed a **crucial role in processing and evaluating information** and might therefore be essential in order to predict **future buying decisions**⁴.

Correspondence to:

Caspar Krampe
Faculty of Business Administration and Economics
E caspar.krampe@hhu.de
T +49 81 225 10278

Heinrich-Heine-University
Universitätsstraße 1
40225 Düsseldorf
Germany

B. Präsentation des zweiten Beitrages auf der „North American Conference of the Association for Consumer Research“ 2017 in San Diego, USA



Faculty of Business Administration and Economics
Chair of Marketing



Leaving the Lab: Can Mobile fNIRS Enhance Consumer Research?



Caspar Krampe^A, Nadine Gier^A, Enrique Strelow^B, Peter Kenning^A

^AFaculty of Business Administration and Economics, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Germany
^BDepartment of Business Administration and Economics, Justus-Liebig Universität, Gießen, Germany

Research Objective

As an innovative **neuroimaging tool** for consumer neuroscience our study aims to validate mobile **functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)** by replicating a specific effect in the field of consumer neuroscience, namely the 'winner-take-it-all' effect^{1,2}.

The 'winner-take-it-all' effect is characterised by a **decreased neural activity** in the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) and an **increased neural activity** in the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC).

Hypotheses


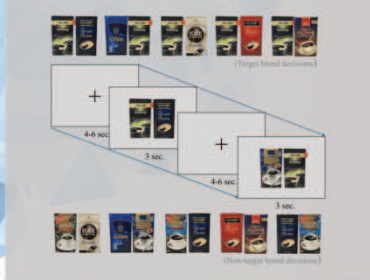
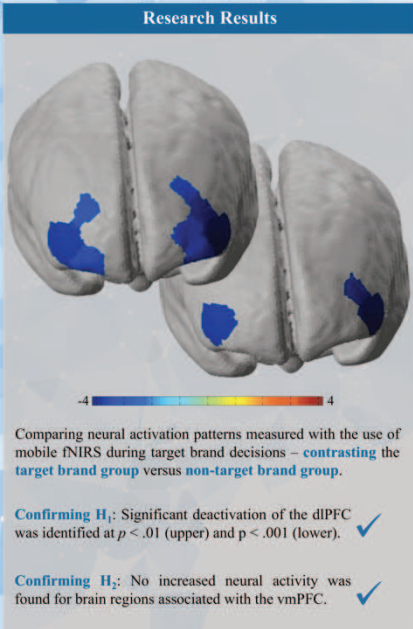
H₁: Mobile fNIRS is **able** to measure **reduced dlPFC activity** of the 'winner-take-it-all' effect.
H₂: Mobile fNIRS is **not able** to measure **increased vmPFC activity** of the 'winner-take-it-all' effect.

Paradigm

Participants were asked to **mentally decide** between two different brands of the same product type in a **binary choice-task**. In total, 100 decisions had to be taken in a **10x10 block design**. Half of them included a predefined target brand in randomised order. After task completion, participants were asked to **rank** the different brands according to their **preferences**. Participants, who rated the predefined target brand as their **favourite brand** were classified to the **target brand (TB) group** and separated from participants, who assigned another brand first (non-TB).


Mobile fNIRS

Mobile fNIRS as a **transportable neuroimaging** methods uses specific wavelengths of light (760 and 850 nm) to provide a valid measurement of cerebral oxygenated and deoxygenated haemoglobin³. These are the main absorbers of **near-infrared light**, allowing the **indirect quantification of neural activity** to be measured. More precisely, mobile fNIRS projects near-infrared light through the scalp and records optical density fluctuations resulting from metabolic changes within the brain. Thereby, the cerebral blood flow is used as a proxy for neural activity.

Experimental Procedure

The experimental procedure followed a four step approach:



Sample Characteristics

A total of **23 female household running participants** were examined ($M = 41.13$, $SD = 8.48$ years of age). To increase their involvement, participants were requested to imagine that acquaintances had asked them to by a high quality coffee for their cream-tea appointment on the weekend.

Conclusion

- (1) Mobile fNIRS is **capable of partly replicating the 'winner-take-it-all' effect**.
- (2) Mobile fNIRS **unfolds a promising new avenue in consumer neuroscience** as it appears to 'shed light' on context related interferences.
- (3) Our results show its **boundaries**, regarding its limited **spatial resolution**.
- (4) Researchers should therefore **localise brain regions** for a relevant scientific entity a priori in order to **evaluate if mobile fNIRS is capable of measuring them**, depending on its technical capabilities.

References (selective)

¹Diggle, M., Achaval, W., Kugel, H., Plummer, H. & Kenning, P. (2005). Neural response within the medial prefrontal cortex (vmPFC) directly related to preference formation during decision making. *Journal of Neuroimaging*, 15(2), 171-182.


²Kanwisher, N. & Truesdell, G. (2007). Prefrontal cortex damage abolishes brand- and taste preferences. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(2), 105-112.

³Krampe, C. S. & Kenning, P. (2016). Near-infrared spectroscopy (fNIRS) as a new tool for neuroscience research. *Frontiers Human Neuroscience*, 10(245).

Correspondence to:
Caspar Krampe
Faculty of Business Administration and Economics
E: caspar.krampe@bhu.de
T: +49 211 81-10278



C. Präsentation des zweiten Beitrages auf dem „Interdisciplinary Symposium for Decision Neuroscience“ 2017 in Stanford, USA



HEINRICH HEINE
UNIVERSITÄT DÜSSELDORF


Mobile fNIRS a new Tool for Decision Neuroscience?

Caspar Krampe^a, Nadine Gier^a, Enrique Strelow^a, Peter Kenning^b

A: Faculty of Business Administration and Economics, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Germany;
B: Department of Business Administration and Economics, Justus-Liebig Universität, Gießen, Germany

Objective

Communication at Point of Sale



As a **new tool** for decision neuroscience, our study aims to validate mobile **functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)** by replicating a specific effect in the field of consumer neuroscience, namely the 'winner-take-it-all' effect ^{1,2}.


The '**winner-take-it-all**' effect is characterised by a **decreased neural activation** in the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) and an **increased neural activation** of the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC).

Hypotheses

H₁: Mobile fNIRS is able to measure dlPFC deactivation of the 'winner-take-it-all' effect.
H₂: fNIRS is not able to measure vmPFC activation of the 'winner-take-it-all' effect.

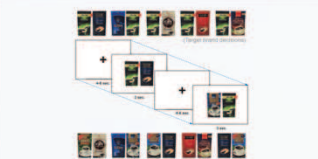
Mobile fNIRS

Source-Detector-Separation



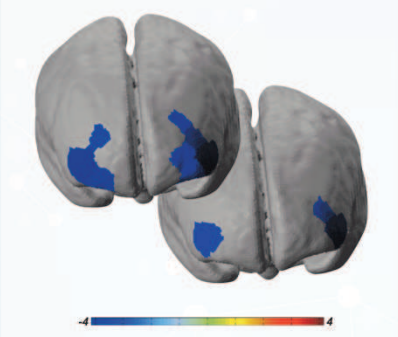
The **mobile fNIRS** is **transportable** and uses specific wavelengths of light (760 and 850 nm) to provide a valid measurement of cerebral oxygenated and deoxygenated haemoglobin³. These are the main absorbers of **near-infrared light**, allowing the indirect quantification of **neural activity** to be measured. More precisely, mobile fNIRS projects near-infrared light through the scalp and records optical density fluctuations resulting from **metabolic changes** within the brain.
 The cerebral blood flow is used as a proxy for neural activity.

Paradigm



Participants were asked to **mentally decide** between two different brands of the same product type in a **binary choice-task**.
 In total, **100 decisions** had to be taken in a **10x10 block design**. Half of them included a predefined target brand in randomised order. After task completion, participants were asked to **rank** the different brands according to their **preferences**. Participants, who rated the predefined target brand as their **favourite brand** were classified to the target brand (TB) group and separated from participants, who assigned another brand first (non-TB).


Results




Comparing activation patterns measured with the use of mobile fNIRS during target brand decisions between TB group and non-TB group. Significant deactivation of the dlPFC was identified at $p < .01$ (upper) and $p < .001$ (lower), **confirming hypothesis H₁**.

No increased neural activity was found for brain regions associated with the vmPFC, **confirming hypothesis H₂**.

Experimental Procedure



Future Research



Sample

A total of **23 female household running participants** were examined ($M = 41.13$, $SD = 8.48$ years of age). To **increase their involvement**, participants were requested to imagine that acquaintances had asked them to buy a high quality coffee for their cream-tea appointment on the weekend.

Conclusion

1. Mobile fNIRS is capable of partly replicating the 'winner-take-it-all' effect.
2. Mobile fNIRS unfolds a promising new avenue in decision neuroscience as it appears to 'shed light' on context related interferences.
3. Our results show its **boundaries**, regarding its limited **spatial resolution**.
4. Researchers should **localise brain regions** for a relevant scientific entity a priori in order to **evaluate if mobile fNIRS is capable of measuring them**, depending on its technical capabilities.

References

Dehaene S, Changeux JP, Reder L, Planchoux H, & Koenig P. Neuronal responses within the medial prefrontal cortex reveal when specific logical information influences economic decision making. *Journal of Neuroscience*, 15(2), 571-582 (1995).

Kenning P, & Thiel C. Frontal cortex damage abolishes contextual changes in risk preference. *NeuroImage*, 10(1), 1-10 (2007).

Wang L-M, & Kenning P. Near-infrared spectroscopy (fNIRS) as a new tool for neuroeconomic research. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(246) (2014).

Corresponding author

Caspar Krampe
 Faculty of Business Administration and Economics
 Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf
 E: caspar.krampe@uni-due.de