



# **Towards the Applicability of Measuring the Brain Activity in the Context of Process Model Comprehension**

Bachelorarbeit an der Universität Ulm

**Vorgelegt von:**

Daria Waldow  
daria.waldow@uni-ulm.de  
932616

**Gutachter:**

Prof. Dr. Manfred Reichert

**Betreuer:**

Michael Winter

2021

Fassung 19. Juli 2021

© 2021 Daria Waldow

Satz: PDF-L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub>

# Abstract

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, herauszufinden, ob die Messung der Gehirnwellen durch ein mobiles EEG (mEEG) für weitere Forschungsstudien, im Kontext von Lesen und Verstehen von Prozessmodellen, genutzt werden kann. Für diese erste explorative Machbarkeitsstudie, wurden 14 Probanden akquiriert, welche zwei Prozessmodelle mit unterschiedlicher Komplexität betrachteten und anschließend prozess-spezifische Fragen beantworten sollten. Währenddessen wurden nicht nur die Gehirnströme mit dem *EMOTIV EPOC+* Headsets gemessen, sondern auch visualisiert. Danach wurden die gemessenen CSV-Daten aufbereitet und ausgewertet. Die daraus resultierenden Ergebnisse haben bestätigt, dass die Probanden bei dem komplexeren Prozessmodell eine stärkere Gehirnaktivität vorwiesen. Weiterhin wurden die während der Studiendurchführung gesammelten Erfahrungen und Verbesserungsvorschläge in dieser Arbeit behandelt. Schlussendlich ließ sich feststellen, dass die mEEG-Messung zukünftig zur Verbesserung des Verständnisses, der Modellierung und Optimierung von Prozessmodellen beitragen kann.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	2
1.3 Ansatz . . . . .	2
1.4 Struktur der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Ähnliche Arbeiten</b>	<b>4</b>
2.1 Sensorischer Ansatz . . . . .	4
2.2 Kognitiver Ansatz . . . . .	5
2.3 Neurowissenschaftlicher Ansatz . . . . .	6
<b>3 Fundamentales</b>	<b>7</b>
3.1 Aufbau des Gehirns und seine Funktion . . . . .	7
3.2 Messung der Gehirnaktivität . . . . .	9
3.2.1 EEG . . . . .	10
3.2.2 Delta-Wellen . . . . .	10
3.2.3 Theta-Wellen . . . . .	11
3.2.4 Alpha-Wellen . . . . .	11
3.2.5 Beta-Wellen . . . . .	12
3.2.6 Gamma-Wellen . . . . .	13
<b>4 Emotiv</b>	<b>14</b>
4.1 EMOTIV EPOC+ Headset . . . . .	14
4.1.1 EmotivPRO . . . . .	15
4.1.2 Emotiv BrainViz . . . . .	16

## *Inhaltsverzeichnis*

---

<b>5 Studienaufbau</b>	<b>17</b>
5.1 Probanden . . . . .	17
5.2 Objekte . . . . .	19
5.3 Instrumente . . . . .	21
5.4 Studiendesign . . . . .	22
<b>6 Ergebnisse</b>	<b>23</b>
<b>7 Diskussion</b>	<b>27</b>
<b>8 Fazit</b>	<b>30</b>
<b>A Anhang</b>	<b>31</b>
A.1 Einführung in BPMN . . . . .	31
A.2 Mittelwerte der Leistungskennzahlen . . . . .	37
A.3 Fragebogen aus der Studie . . . . .	43
<b>Literatur</b>	<b>56</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Befestigung des Sensors EdaMove 3 [14]	5
2.2	Auszug aus einer EDA-Messung [14]	5
2.3	Beispielhaftes Studien-Setup [10]	6
3.1	Anatomie des menschlichen Gehirns [15]	7
3.2	Der Frontallappen via Emotiv APP	8
3.3	Der Parietallappen via Emotiv APP	8
3.4	Der Okzipitallappen via Emotiv APP	9
3.5	Der Temporallappen via Emotiv APP	9
3.6	Delta-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]	10
3.7	Theta-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]	11
3.8	Alpha-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]	12
3.9	Beta-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]	12
3.10	Gamma-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]	13
4.1	mEEG ( <i>EMOTIV</i> ) Headset mit Zubehör	14
5.1	Vereinfachtes Prozessmodell der Motorenmontage nach [9]	19
5.2	Prozessmodell der Fahrzeugproduktion in vier Schritten nach [8]	20
5.3	Setup der Studie	21
5.4	Proband mit dem <i>EMOTIV</i> Headset	22
6.1	Stresslevel eines Probanden bei Betrachtung (l.) und Quiz (r.)	23
6.2	Visualisierung der Gehirnwellen bei Prozessbetrachtung	25
6.3	Visualisierung der Gehirnwellen bei Quiz	26
A.1	Mittelwerte Engagement von <i>PM1</i>	37
A.2	Mittelwerte Excitement von <i>PM1</i>	37
A.3	Mittelwerte Focus von <i>PM1</i>	38

## Abbildungsverzeichnis

---

A.4 Mittelwerte Interest von <i>PM1</i> . . . . .	38
A.5 Mittelwerte Relaxation von <i>PM1</i> . . . . .	39
A.6 Mittelwerte Stress von <i>PM1</i> . . . . .	39
A.7 Mittelwerte Engagement von <i>PM2</i> . . . . .	40
A.8 Mittelwerte Excitement von <i>PM2</i> . . . . .	40
A.9 Mittelwerte Focus von <i>PM2</i> . . . . .	41
A.10 Mittelwerte Interest von <i>PM2</i> . . . . .	41
A.11 Mittelwerte Relaxation von <i>PM2</i> . . . . .	42
A.12 Mittelwerte Stress von <i>PM2</i> . . . . .	42

# Tabellenverzeichnis

3.1	Überblick der verschiedenen Gehirnwellen . . . . .	13
5.1	Überblick der Studienteilnehmer . . . . .	18
5.2	Komplexität der beiden Prozessmodelle . . . . .	19
6.1	Mittelwert der Leistungskennzahlen während Prozessbetrachtung . .	24
6.2	Mittelwert der Leistungskennzahlen während Quiz . . . . .	24

# 1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden viele Versuche unternommen Prozessmodelle aufgrund physiologischer Merkmale zu optimieren. Grund dafür ist, dass Prozessmodelle nicht nur Abläufe der realen Welt abbilden, sondern auch durch ihren Aufbau und ihre Struktur die Möglichkeit bieten einen Prozess zu analysieren, optimieren und automatisieren. Die zentralen Fragen für die Entwicklung von praxisorientierten Prozessmodellen, können wie folgt formuliert werden: "In welcher Darstellungstechnik sind die Modelle zu erzeugen? Welcher Detaillierungsgrad ist zu wählen? Wie kann gewährleistet werden, dass die Prozessmodelle von Rezipienten aus unterschiedlichen Fachabteilungen und Länderorganisationen auch verstanden werden? Und wann empfinden sie diese Modelle für ihre individuelle Arbeit überhaupt als nützlich?" [12].

## 1.1 Motivation

Seit mehr als einem Jahrhundert wird die Gehirnaktivität des Menschen mit Hilfe der Elektroenzephalographie, kurz EEG, untersucht und ausgewertet [6]. Dazu werden Elektroden an den menschlichen Kopf angebracht und über Kabel mit einem EEG-Gerät verbunden. Mittlerweile ist die Technik so weit vorangeschritten, dass es möglich ist Aktivitäten des Gehirns mittels mobilen EEGs und der dazugehörigen Software, die via Bluetooth gekoppelt werden, zu messen und die gemessenen Gehirnwellen zu visualisieren und auszuwerten.

Bisher wurde die Elektroenzephalographie größtenteils im Bereich der Medizin und Psychologie angewendet, um Krankheiten wie Epilepsie und Hirnaneurysmen zu erkennen und zu behandeln. Vor einem Jahrzehnt wurde schließlich der Neurowissenschaftliche Ansatz auf den Bereich der Informationssysteme projiziert [12].

Die Simplizität des mobilen EEGs, welches den Fokus ausschließlich auf die haupt-sensorischen Areale legt, erlaubt mit einer geringeren Anzahl von Elektroden und Anschlüssen auszukommen. Diese sollen nun auch anderen Forschungsinstituten und sogar privaten Unternehmen die Möglichkeit bieten, die Aussagekraft der Gehirnwellen zu nutzen, um ökonomische Entscheidungen verfeinern zu können.

Diese Arbeit versucht nun den Ansatz der Neurowissenschaft mit dem der Prozessmodellierung und deren Verständnis zu verknüpfen, um die Forschung an prozessorientierten Informationssystemen, an denen das Institut für Datenbanken und Informationssysteme seit 1990 forscht, zu unterstützen [20]. Hierbei handelt es sich um eine explorative erste Machbarkeitsstudie, mit der Forschungsfrage: Kann die mobile EEG-Messung (mEEG) für weitere Studien, im Kontext von Lesen und Verstehen von Prozessmodellen, genutzt werden?

### 1.2 Ziel der Arbeit

Für den Anwender sind Prozessmodelle bedingt durch die Komplexität oft unverständlich, deshalb liegt es in der Verantwortung des Modellierers diese zugänglicher und verständlicher zu gestalten. Hierbei kann das mobile EEG Einsatz finden, indem es die Betrachtungsweise auf ein Prozessmodell eines Anwenders mittels Gehirnwellen Monitoring erfasst und auswertet. Anhand der ausgewerteten Daten kann nun im Optimalfall die Komplexität des Modells bestimmt und angepasst werden [12]. Durch die daraus resultierenden Erkenntnisse von Faktoren, die das Lesen und Verstehen von Prozessmodellen beeinflussen, sollen zukünftig entsprechende Maßnahmen getroffen werden. Ob sich diese Annahme bewahrheitet, wird in dieser Arbeit durch zu Hilfenahme des *EMOTIV EPOC+* Headsets untersucht.

### 1.3 Ansatz

Basierend auf der noch jungen Forschung von EEGs in Verbindung mit Prozessmodellen, erfolgte selektiv die Einarbeitung in den Themenbereich Gehirnaktivität sowie Gehirnwellen und deren neurologische Funktion. Diese werden in *Kapitel 2*

vorge stellt. Um einen einwandfreien Ablauf der Studie zu gewährleisten fanden zuvor Selbsttests mit dem *EMOTIV EPOC+* statt.

Zur Vorbereitung auf den Prozessmodellierungs-Aspekt der Bachelorarbeit wurden Module wie *Business Process Management*, *Business Process Intelligence* und *Business Prozess Modeling Lab* erfolgreich an der *Universität Ulm* absolviert. Der für die Studie verwendete Prozess zur Fahrzeugherstellung in der Automobilindustrie, wurde in zwei verschiedenen Komplexitäten mit BPMN 2.0, welches für die zweite Version von Business Process Model and Notation steht, modelliert.

### 1.4 Struktur der Arbeit

Diese Arbeit soll einen ersten Überblick vermitteln, in wie weit das mobile EEG (mEEG) für die Prozessmodellierung von Nutzen sein kann. Zunächst werden in *Kapitel 2* ähnliche Arbeiten vorgestellt, die sich mit mobilen EEGs, jedoch in einem anderen Fachgebiet, oder mit Prozessmodellen, aber anderen Messtechniken, beschäftigen. *Kapitel 3* veranschaulicht den theoretischen Hintergrund von Gehirnaktivität und -wellen. Darauf folgend werden das *EMOTIV EPOC+* Headset und alle relevanten Applikationen vorgestellt. In *Kapitel 5* werden der Studienaufbau und die Studiendurchführung beschrieben und es erfolgt die Vorstellung der Probanden, Objekte und Instrumente. Als Nächstes werden alle Ergebnisse in *Kapitel 6* aufbereitet und zusammengefasst woraufhin in *Kapitel 7* die Diskussion stattfindet. Die Arbeit endet mit einem Fazit und einem kurzen Ausblick.

## 2 Ähnliche Arbeiten

Viele Studien, die das Prozessmodellverständnis untersuchen, benutzen bisher Methoden, wie Eye-Tracking, Herzfrequenz oder seit neustem auch die Leitfähigkeit der Haut, um Verständnisprobleme zu erkennen und zukünftig zu vermeiden. Ein weiterer Ansatz ist seit wenigen Jahren die Neurowissenschaft. Hierbei wurden Studien anhand einer funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRTs) und auch medizinischen EEGs bereits durchgeführt. Jedoch war dies für Einrichtungen beziehungsweise private Unternehmen zu kostspielig und aufwändig [12]. Durch die Entwicklung der mobilen EEGs soll dies nun erleichtert werden.

Die folgenden Abschnitte geben Einblick in drei Studien, die zum einen ähnlichen Studienablauf mit Prozessmodellen verfolgt und zum anderen die gleichen Studienobjekte, das *Emotiv Epoc+* Headset, verwendet.

### 2.1 Sensorischer Ansatz

In der hier vorgestellten Arbeit, untersuchten die Autoren von [14], ob die Messung der elektrodermalen Aktivität (EDA), mit dem *EdaMove 3*, während der Betrachtung eines Prozessmodells eine angemessene Methode ist, um das Verständnis von Prozessmodellen zu erweitern und zu verbessern. EDA beschreibt die Veränderung des elektrischen Leitungswiderstands der Haut, verursacht durch übermäßige oder verringerte Schweißproduktion, welche von dem sympathischen Nervensystem gesteuert wird. Vergleichsstudien bestätigen, dass diese Art der Erregung im Zusammenhang mit der Gehirnaktivität steht, welche für die motorischen, sensorischen und kognitiven Fähigkeiten verantwortlich ist. Die genaueste Messung kann an den Fußsohlen oder Handflächen mittels Sensoren erfolgen, da an diesen beiden Stellen am meisten Schweißdrüsen vorhanden sind [13].

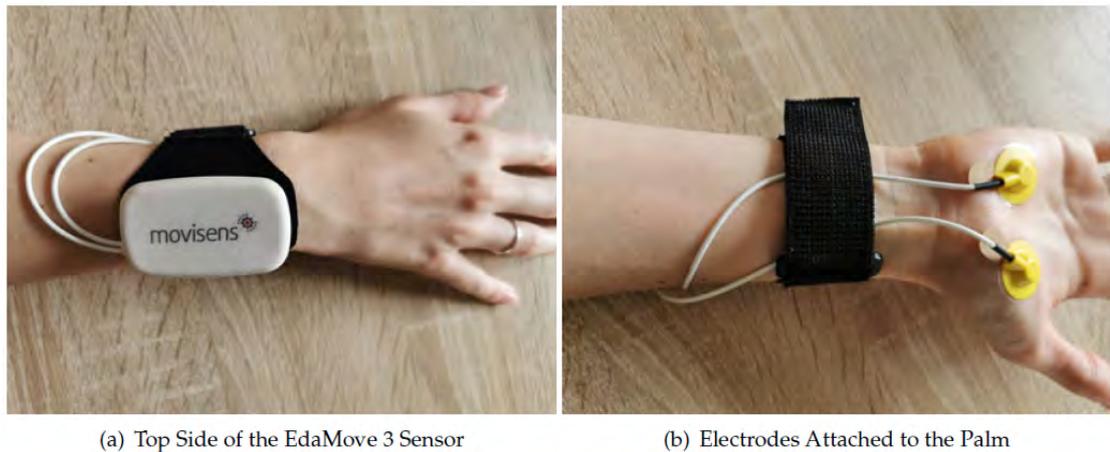


Abbildung 2.1: Befestigung des Sensors EdaMove 3 [14]

Den Probanden wurden an den Handinnenseiten Sensoren angelegt (Abb. 2.1) und daraufhin ein einfaches und ein komplexes Prozessmodell vorgelegt. Nach der Auswertung der Studienergebnisse, konnte festgestellt werden, dass ein Zusammenhang zwischen Stress und Komplexität der Prozessmodelle besteht (Abb. 2.2). Die Arbeit bestätigt somit die These, dass die Messung der elektrodermale Aktivität eine angemessene Methode ist. Jedoch reichen die Ergebnisse nicht aus, um auf konkrete Interpretationen, bezüglich kognitiver Prozesse während der Betrachtung eines Prozessmodells, schließen zu können. [14]

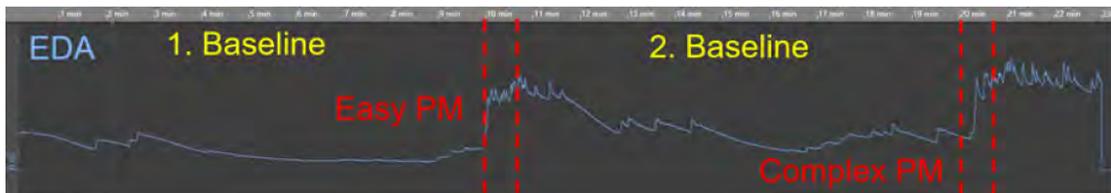


Abbildung 2.2: Auszug aus einer EDA-Messung [14]

## 2.2 Kognitiver Ansatz

Ein weiterer Ansatz, um das Verständnis von Prozessmodellen zu verbessern und zu erforschen, ist die Eye-Tracking-Methode. Hierbei wird die Augenbewegung anhand von Fixationen, Sakkaden und Blickpfade gemessen. Fixationen sind langsame Augenbewegungen an einem bestimmten Punkt während eines Reizes. Sakkaden

den wiederum sind schnelle Augenbewegungen und der Blickpfad stellt die zeitliche Abfolge zwischen Fixationen und Sakkaden dar [22]. In der Studie von [22] konnte anhand des Eye-Trackings gezeigt werden, dass die Dauer einer Betrachtung Auswirkungen auf die Korrektheit der Beantwortung von Fragen hat [17]. Weiterhin kann das Eye-Tracking dabei helfen, die Messmethode der *Visual Literacy*, Visuellen Kompetenz, extern zu validieren [19].

### 2.3 Neurowissenschaftlicher Ansatz

Wie auch in dieser Arbeit, wurde in dem Paper, verfasst von [10], das *EMOTIV EPOC+* Headset verwendet, um die Gehirnströme zu messen (Abb. 2.3). Der Schwerpunkt lag allerdings auf der Marktforschungsanalyse, genauer gesagt auf dem Design und der Präsentation von Produkten, um diese möglichst kompatibel mit Konsumentenpräferenzen zu gestalten. Zur Ermittlung wurden den Probanden eine Reihe von Entscheidungsmöglichkeiten vorgelegt, welche sie nach individuellem Ermessen bewerten sollten. Die Aussagekraft des EEG-Geräts war nicht ausreichend, sodass ein Eye-Tracker-System hinzugezogen wurde, der ausschließlich dazu verwendet wurde, den Übergang zwischen den Auswahlsets und der tatsächlichen Objektwahl zu erfassen.

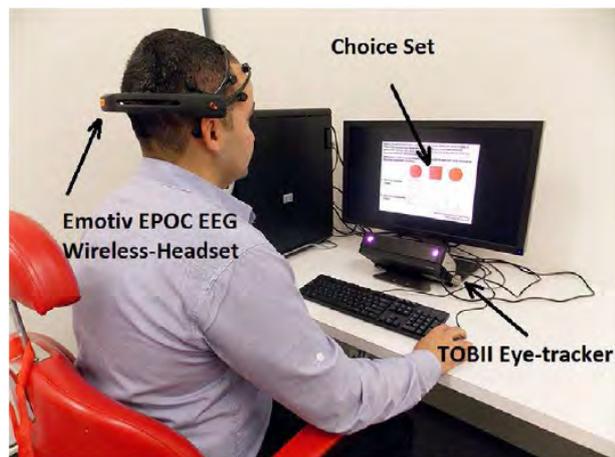


Abbildung 2.3: Beispielhaftes Studien-Setup [10]

## 3 Fundamentales

Um den Aufbau des Emotiv Epoc+ und seinen Nutzen besser verstehen zu können, wird ein kurzer Exkurs in die neuronale Biologie benötigt. Hierbei wird erläutert, wie das Gehirn aufgebaut ist, wie es kommuniziert und wie diese Kommunikation gemessen wird.

### 3.1 Aufbau des Gehirns und seine Funktion

Das menschliche Gehirn wird in fünf Abschnitte eingeteilt, dem Großhirn, Zwischenhirn, Mittelhirn, Kleinhirn und Nachhirn [2]. Das Großhirn, welches für die Studie relevant ist, besteht aus vier Sektionen, wie in Abbildung 3.1 veranschaulicht.

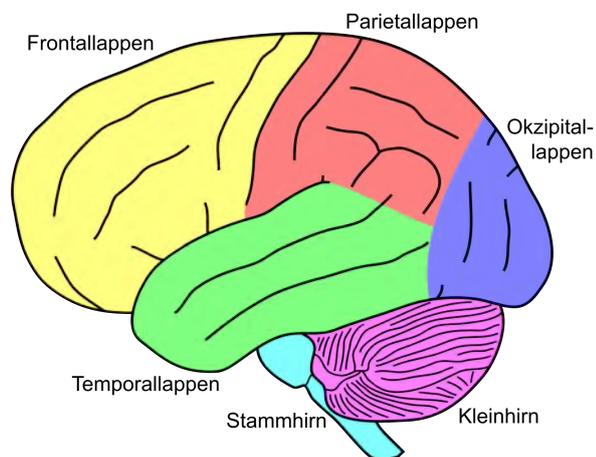


Abbildung 3.1: Anatomie des menschlichen Gehirns [15]

Mit etwa 30% nimmt der Frontallappen, farblich mit blau in der Abb. 3.2 hervorgehoben, auch Stirnlappen genannt, den größten Bereich des Großhirns ein. Dieser ist beim Menschen sehr hoch entwickelt und besitzt umfangreiche Funktionen wie

zum Beispiel die Regulierung des Sozialverhaltens und der motorischen Fähigkeiten. Außerdem gilt der Frontal Cortex als Sitz der individuellen Persönlichkeit [2].

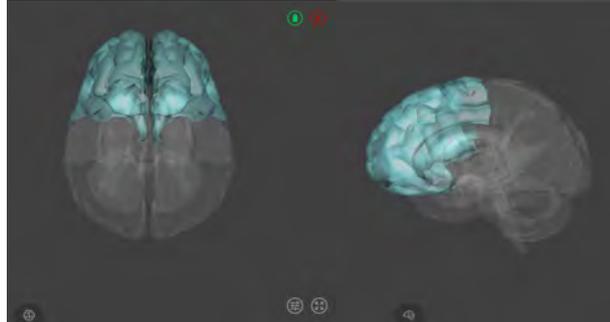


Abbildung 3.2: Der Frontallappen via Emotiv APP

Der Parietallappen oder auch Scheitellappen, Abb. 3.3, spielt eine große Rolle bei der Verarbeitung von sensorischer Information. Der vordere Bereich ist an somatosensorischen Funktionen beteiligt und dient somit der Umwandlung von haptischer Wahrnehmung. Der hintere Bereich ist für das räumliche Denken zuständig [2].

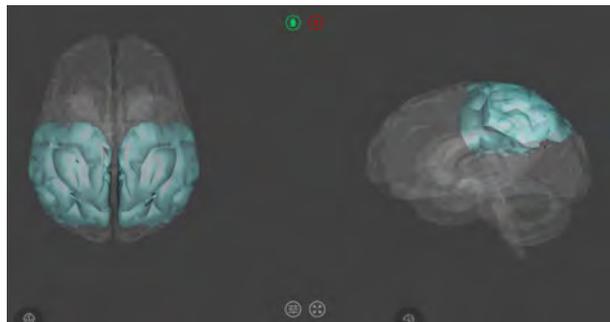


Abbildung 3.3: Der Parietallappen via Emotiv APP

Der hinterste und kleinste Teil des Großhirns ist der Okzipitallappen, farblich in Abbildung 3.4 markiert. Er ist Teil des visuellen Systems und bildet das Sehzentrum des Gehirns. Der Hinterhauptlappen verarbeitet visuelle Impulse, wie Farben, Formen und Bewegungen [2].

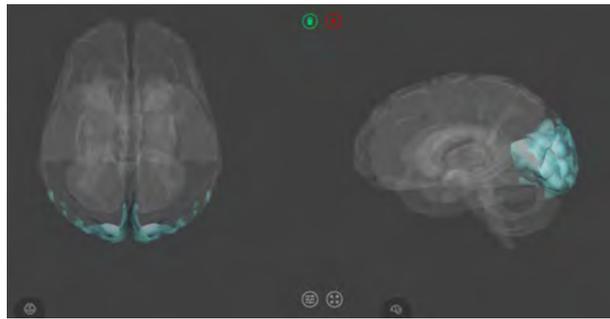


Abbildung 3.4: Der Okzipitallappen via Emotiv APP

Für die Verarbeitung von auditiver Information ist der Temporallappen, welcher auch als Schläfenlappen bezeichnet wird, zuständig. Zudem ist er essentiell für das menschliche Sprachverständnis und die Gedächtnisleistung [2]. In Abbildung 3.5 wird dieser visuell dargestellt.

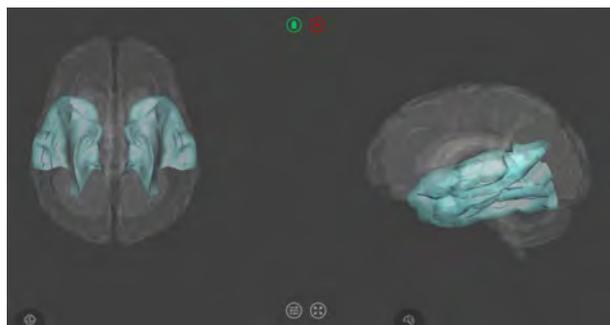


Abbildung 3.5: Der Temporallappen via Emotiv APP

## 3.2 Messung der Gehirnaktivität

Die ungefähr 100 Milliarden Neuronen des menschlichen Gehirns stehen in ständiger Kommunikation miteinander und tauschen Informationen aus. Die für den Informationsfluss bestehende Gehirnaktivität, verursacht Spannungsschwankungen, welche durch den Einsatz eines EEGs gemessen und aufgezeichnet werden können und somit sichtbar werden [16].

### 3.2.1 EEG

Elektroenzephalographie (EEG) ist eine Untersuchungsmethode, bei der die elektrische Aktivität der Hirnrinde, beziehungsweise die Spannungsschwankungen im Gehirn, über Elektroden gemessen werden, unterschieden zwischen Langzeit-, Wach- und Provokations-EEG. Letzteres wird vor allem bei Patienten mit Anzeichen von Epilepsie verwendet [5]. Die 21 Elektroden des EEGs sind in einer Art Haube eingearbeitet, die dem Patienten auf dem Kopf platziert wird, sodass alle Elektroden exakt auf ihrer vorbestimmten Position sitzen. Die gemessene elektrische Aktivität entsteht durch die Entladung von Nervenzellverbänden. Das Ergebnis des EEGs wird nach Form, Frequenz und Amplitude der Wellen beurteilt. Es gibt fünf verschiedene Gehirnwellen. Diese liegen jeweils in unterschiedlichen Frequenzbereichen, mit der Einheit Hertz (Hz). Die folgenden Wellen sind die Alpha-, Beta-, Gamma-, Theta- und Delta-Wellen, auf die nun ausführlich eingegangen wird und die am Ende des Kapitels in Tabelle 3.1 zusammenfassend zu finden sind [11].

### 3.2.2 Delta-Wellen

Die Delta-Wellen liegen in einer Spanne von 0 Hz bis 4 Hz (Abb. 3.6) und besitzen somit die niedrigste Frequenz. Sie entstehen, wenn sich eine Person in einer tiefen Meditation oder in der traumlosen Tiefschlafphase, der non-REM-Phase befindet. In dieser Phase, in der die Delta-Wellen dominieren, findet die Regenerierung und Heilung des menschlichen Körpers statt. Daher ist der Tiefschlaf essentiell für die Heilung von Körper und Geist. Treten jedoch zu viele Delta-Wellen auf, können daraus Gehirnschäden oder Lernproblemen resultieren. Zu wenige Delta-Wellen deuten darauf hin, dass die Person nicht genug Schlaf bekommt oder schlecht schläft. Dies verursacht eine Unfähigkeit der Revitalisierung des Gehirns [18].

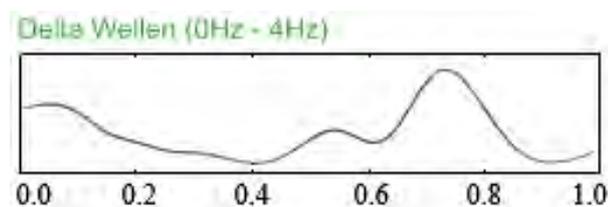


Abbildung 3.6: Delta-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]

### 3.2.3 Theta-Wellen

In der Tiefschlafphase, die Träume beinhalten, auch REM-Phase genannt, dominieren meistens die Theta-Wellen (Abb. 3.7). Diese besitzen eine Frequenzbreite von 4 Hz bis 7 Hz und sind mit der Beruhigung des Körpers, den Emotionen und Gedanken verbunden. Es wird ihnen nachgesagt, dass sie das Lernen und die Speicherung von Informationen verbessert, beziehungsweise erst ermöglicht. Des Weiteren weisen neue Studien auf einen Zusammenhang zwischen Theta-Wellen und dem räumlichen Vorstellungsvermögen hin [3].

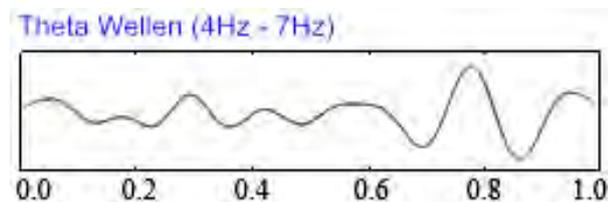


Abbildung 3.7: Theta-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]

Wie bei allen Wellen spielt das Maß eine große Rolle. Bei zu vielen Theta-Wellen kann es zu Depressionen, ADHS, beziehungsweise zu Unaufmerksamkeit kommen. Außerdem treten bei zu geringer Anzahl Ängste, Stress und mangelndes emotionales Bewusstsein auf [3].

### 3.2.4 Alpha-Wellen

Die Alpha-Wellen, welche in Abbildung 3.8 zu sehen sind, auch milde Gehirnwellen genannt, oszillieren in einem Frequenzbereich von 7 Hz bis 13 Hz. Sie werden erzeugt, wenn der Geist der Person gelassen ist und sich in einem Ruhezustand befindet. Alpha-Wellen werden automatisch produziert, wenn die Augen geschlossen sind. Somit sind sie am häufigsten während des Aufwachens oder des Einschlafens vertreten [18].

Diese milden Wellen fördern bei einer wachen Person die allgemeine mentale Koordination, Ruhe, Wachsamkeit und das Lernen. Weiterhin werden die Wellen mit Stresslinderung und Angstabbau, sowie der Fähigkeit Erinnerungen abzurufen in Verbindung gebracht. Bei zu vielen Alpha-Wellen kann es zu Tagträumerei und Un-

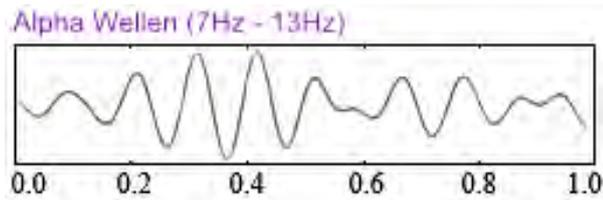


Abbildung 3.8: Alpha-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]

konzentriertheit kommen. Während Angst, Stress, Schlaflosigkeit und Zwangsstörungen ein Resultat von zu wenigen Alpha-Wellen sind.

#### 3.2.5 Beta-Wellen

Die hochfrequenten Gehirnwellen oder auch als Beta-Wellen bezeichnet, werden erzeugt, wenn eine Person mit dem Lösen von Problemen oder einer konzentrierten geistigen Aktivität beschäftigt ist [18]. Dieser wache, aufmerksame Zustand dominiert unseren Alltag, in dem wir normalen Lebensaufgaben nachgehen. Da der Frequenzbereich der Beta-Wellen eine breite Spanne von 13 Hz bis 40 Hz besitzt (Abb. 3.9), wird er in drei Wellen unterteilt [18].

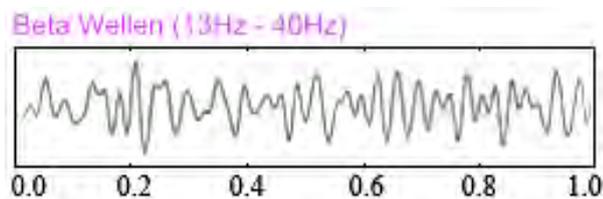


Abbildung 3.9: Beta-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]

Die erste Kategorie enthält die Beta1-Wellen, die auf einer Frequenz von 13 Hz bis 15 Hz liegen. Jene treten im Zusammenhang mit dem Tätigkeitsanstieg („fast idle“) auf. Die Beta2-Wellen dominieren, wenn wir in etwas involviert sind. Diese haben eine Spanne von 15 Hz bis 22 Hz [11]. Das höchste Frequenzspektrum mit 22 Hz bis 40 Hz weisen die Beta3-Wellen auf. Diese findet man während komplexen Gedankengängen vor. Wie zuvor ist das Maß der Wellen sehr wichtig. Bei einem zu hohen Aufkommen von Beta-Wellen kann dies Ängste, Aufregung und Stress verursachen. Bei einem zu geringen Maß resultieren daraus ADHS, Depressionen, Tagträumen und schlechte Kognition [18].

### 3.2.6 Gamma-Wellen

Die schnellsten Gehirnwellen mit den höchsten Frequenzen sind die Gamma-Wellen. Ihr Frequenzbereich liegt zwischen 40 Hz und 100 Hz, welcher in Abbildung 3.10 veranschaulicht ist. Sie werden durch Angstzustände, Hyperaktivität, Spannungen, aber auch bei körperlichen und geistigen Spitzenleistungen hervorgerufen. Gamma-Wellen sind die am wenigsten erforschten Wellen. Allerdings korrelieren die negativen Aspekte der Gamma-Wellen mit denen der Beta-Wellen [18].

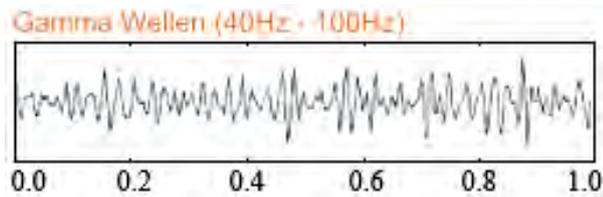


Abbildung 3.10: Gamma-Wellen und ihr Frequenzbereich [21]

	Delta	Theta	Alpha	Beta	Gamma
Frequenzbereich (Hz)	0 - 4	4 - 7	7 - 13	13 - 40	40 - 100
Funktion	Regenerierung und Heilung des menschlichen Körpers	Beruhigung des Körpers, der Emotionen und der Gedanken	fördern mentale Koordination, Ruhe, Stresslinderung, Angstabbau, Wachsamkeit	Lösen von (komplexen) Problemen, konzentrierter geistiger Aktivität	polarisierende Gemütszustände (wie Angst, Spannung, Hyperaktivität)
Vorkommen	bei der Meditation und der traumlosen Tiefschlafphase (non-REM-Phase)	bei der Tiefschlafphase (REM-Phase)	bei einem gelassenen und ruhigen Gemütszustand und bei dem Schließen der Augen	wacher, aufmerksamer Zustand und geistiger Anstrengung	bei körperlicher und geistiger Spitzenleistung

Tabelle 3.1: Überblick der verschiedenen Gehirnwellen

## 4 Emotiv

Emotiv ist ein Unternehmen, welches sich auf Neurotechnologie für die globale Gesellschaft und somit nicht für den medizinischen Bereich, fokussiert hat. Emotiv gibt den Benutzern durch eine Vielzahl an unterschiedlichen Wireless-Headsets, die Möglichkeit Gehirnströme zu messen, zu analysieren und zu veranschaulichen.

### 4.1 EMOTIV EPOC+ Headset

Das in der Abschlussarbeit verwendete Headsets ist das *EMOTIV EPOC+*, welches der Nachfolger des *EMOTIV EPOC* ist. Es besteht aus 14 Elektroden, welche die gesamte Gehirnaktivität erfassen können. Der Vorteil dieses Headsets ist die schnelle Einrichtungszeit, welche nicht zuletzt dadurch erzielt wird, dass das *EMOTIV EPOC+* kabellos zum Einsatz kommt. Des Weiteren passt sich das Headset an jede normale Kopfform, aufgrund ihrer beweglichen Seitenarme, gut an. Für die bessere Leitfähigkeit und den Kontakt, wird eine Kochsalzlösung auf die Elektroden gegeben, welche zuvor in das Headset geschraubt werden. Das Headset mit den Filz-Elektroden und der Kochsalzlösung, wird in Abbildung 4.1 dargestellt.



Abbildung 4.1: mEEG (*EMOTIV*) Headset mit Zubehör

Die Datenverarbeitung und -aufzeichnung erfolgt über Applikationen, die via Bluetooth mit dem Gerät verknüpft sind. Für diese Arbeit wurden zwei der vier Anwendungen verwendet, die nun im Detail vorgestellt werden.

### 4.1.1 EmotivPRO

Die *EmotivPRO* Lizenz ist für die Aufzeichnung, Visualisierung der Daten und deren Speicherung in EEG-Rohdaten, Leistungsmetriken, Bewegungssensordaten und FFT-/Bandleistungsdaten in Echtzeit zuständig. Die wichtigste Funktion für diese Arbeit war die Leistungsmetrik. Anhand dieser konnte die Stimmung und der Gemütszustand der Probanden beobachtet und untereinander verglichen werden. Die gemessenen Daten bestanden aus *Engagement*, *Excitement (Aufregung)*, *Focus (Fokus)*, *Interest (Interesse)*, *Relaxation (Entspannung)* und *Stress*.

Der Parameter Engagement beschreibt die Wachsamkeit beziehungsweise die bewusste Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf aufgabenrelevante Reize. Außerdem ist er gekennzeichnet durch eine erhöhte physiologische Erregung und ein Zusammenspiel von Beta- und Alpha-Wellen. Das Engagement errechnet sich anhand der Aufmerksamkeit, dem Fokus und der Arbeitsbelastung. Excitement, zu deutsch Erregung, wird durch das sympathische Nervensystem aktiviert [4]. Dies führt zu physiologischen Reaktionen, wie zum Beispiel Pupillenerweiterung, Schweißdrüsenstimulation, Erhöhung der Herzfrequenz oder Muskelspannung. Bei der Messung gilt, je größer der Anstieg der physiologischen Erregung, desto höher ist die Leistungskennzahl. Der dritte Parameter Focus, zu deutsch Fokus, ist ein Maß für die fixierte Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Aufgabe. Ablenkungen oder mangelnde Fokussierung können durch einen häufigen Aufgabenwechsel erkannt werden. Das Interesse (Interest) misst den aktuellen Grad der Anziehung oder Abneigung gegenüber der Umgebung oder Aktivität und wird auch als Valenz bezeichnet. Ein hohes Interesse deutet auf eine positive Neigung hin, während niedrige Werte auf eine Abneigung gegenüber der Aufgabe hinweisen. Relaxation beschreibt den Grad der Entspannung einer Person und die Fähigkeit sich von intensiver Konzentration zu erholen. Der letzte Parameter, Stress, misst das Wohlbefinden des Probanden während der Aufgabenstellung. Im Allgemeinen kann ein niedriges bis moderates Stressniveau die Produktivität verbessern, während ein höheres Niveau kontraproduktiv ist [4].

Die Applikation ist für den internationalen Einsatz ausgerichtet und dementsprechend ausschließlich auf Englisch verfügbar. Daher werden ab hier die englischen Begriffe benutzt.

Es gibt drei Abstufungen der Lizenz, die *EmotivPro Academic*, *EmotivPro Business* und *EmotivPro Student*. Für diese Abschlussarbeit wurde die letzte Variante benutzt, welche alle Feature besitzt, bis auf die hochauflösende Leistungsmetriken und deren API-Zugang [4] .

### 4.1.2 Emotiv BrainViz

Zur Veranschaulichung der Gehirnwellen wurde die *BrainViz* Anwendung benutzt, welche eine Visualisierungssoftware ist. Jede der Wellen, bis auf die Delta-Wellen, werden durch eine andere Farbe repräsentiert und können manuell in ihrer Intensität eingestellt werden. Bei jeglicher Synapsenaktivität leuchten die zugehörigen Gehirnwellen auf. Mit der Applikation können auch die verschiedenen Hirnareale von allen Seiten hervorgehoben werden, wie in Kapitel 3.1 zu sehen ist.

## 5 Studienaufbau

Die Studie fand innerhalb von zwei Wochen statt, in denen täglich jeweils ein Proband unter strengen Hygienemaßnahmen, aufgrund der COVID19-Pandemie, zur Teilnahme eingeladen wurde. Das Hygienekonzept bestand aus der kontinuierlichen Desinfizierung der Studienobjekte, Einhaltung des Mindestabstands, sowie dem regelmäßigem Lüften. Vor der Studiendurchführung mussten alle Probanden eine Einverständniserklärung unterschreiben, dass sie keine Symptome aufweisen und keinen Kontakt zu einer positiv getesteten Person in den letzten zwei Wochen hatten. Weiterhin unterzeichneten alle Studienteilnehmer eine Einwilligungserklärung für die Studienteilnahme.

Vor der Datenerfassung wurde, in Form eines selbsterstellten fünfseitigen Dokuments, eine kurze Einführung in die Prozessmodellnotation *BPMN 2.0* gegeben, welches im Anhang A.1 zu finden ist.

### 5.1 Probanden

Trotz der vorherrschenden Pandemie, konnten mit Hilfe des Hygienekonzepts und deren strenger Einhaltung, 15 Studienteilnehmer akquiriert werden. Da bei der EEG-Aufnahme von *Proband 07* technische Probleme auftraten, wird ab hier nur noch von 14 Teilnehmern gesprochen.

Die Probanden wurden nicht in Gruppen eingeteilt, sondern bekamen nacheinander die beiden Prozessmodelle vorgelegt. Um ein großes Spektrum abzudecken, wurde sich nicht auf ein Berufsfeld oder Alter festgelegt, so entstand die große Variation von gelernter Brauer und Mälzer, über Bachelor Studenten bis hin zu Doktorand der Wirtschaftswissenschaften. Alle Probanden waren in einem Alter zwischen 22 und 31, von denen 12 männlich und zwei weiblich sind. Weiterhin ergab sich eine

## 5 Studienaufbau

---

Diversität bei der Erfahrung von Prozessmodellierung und des Lesens eines Prozessmodells. Vier Studienteilnehmer hatten bereits Erfahrung, drei ein wenig und die Mehrheit mit sieben, verfügten über keinerlei Vorkenntnisse. In der Tabelle 5.1 werden alle Probanden nochmals detailliert aufgeführt.

ID	m/w/d	Alter	höchster Bildungsabschluss	Berufsfeld	Erfahrung mit Prozessmodellen	Gesamtpunktzahl
01	m	26	Abitur	Bachelor Biochemie	Nein	10 / 12
02	m	23	Abitur	Student / Journalismus	Nein	10 / 12
03	m	25	Bachelor of Science	Informatik	Ein wenig	05 / 12
04	m	23	Bachelor of Science	Chemie Studium Master	Nein	10 / 12
05	m	24	Abitur	Game-Design Studium	Nein	08 / 12
06	m	25	Ausbildung	Bachelor Informatik	Nein	09 / 12
07	m	27	Fachabitur	Schreiner	Nein	06 / 12
08	m	25	Abitur	Bachelor Medieninformatik	Ja	11 / 12
09	m	25	Bachelor of Science	Master Informatik	Ein wenig	10 / 12
10	w	25	Bachelor of Science	Master Informatik	Ja	12 / 12
11	m	31	M.Sc. Wirtschaftswissenschaften	Doktorand Wirtschaftswissenschaften	Ein wenig	12 / 12
12	m	23	Bachelor of Science	Master Informatik	Ja	09 / 12
13	m	22	Berufsausbildung zum Brauer und Mälzer	Aufstieg zum Brau- und Malzmeister	Nein	08 / 12
14	w	24	Abitur	Bachelor Informatik	Nein	12 / 12
15	m	22	Bachelor of Science	Master Informatik	Ja	10 / 12

Tabelle 5.1: Überblick der Studienteilnehmer

## 5.2 Objekte

Die Studie verwendete zwei verschiedene Prozessmodelle, die mit unterschiedlicher Komplexität modelliert wurden. Als Modellierungssprache wurde *BPMN 2.0* genutzt, da diese von den meisten Modellierungstools unterstützt und mittlerweile als Standard für Prozessmodellierung angesehen wird [1]. Das erste Modell (PM1), in Abbildung 5.1 zu sehen, beschreibt den vereinfachten Prozess der Motorenmontage eines PKWs [9]. Es besteht, neben einem Start- und End-Event, lediglich aus sieben Aktivitäten und zwei parallelen Gateways.

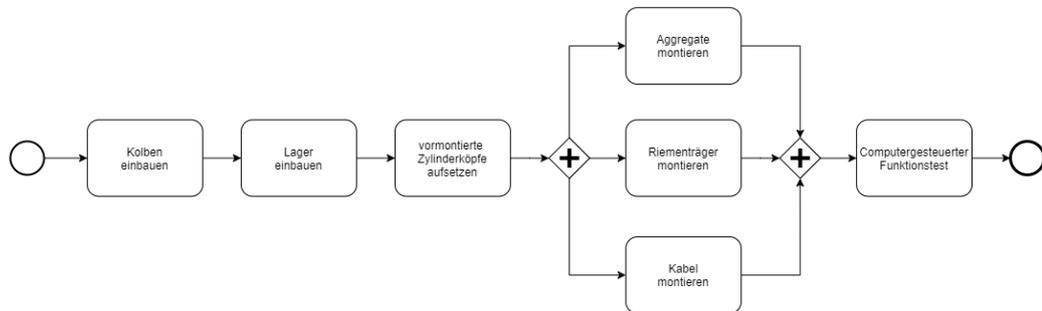


Abbildung 5.1: Vereinfachtes Prozessmodell der Motorenmontage nach [9]

Das zweite und komplexere Prozessmodell (PM2) behandelt die Fahrzeugproduktion in vier Schritten, die jeweils ein Pool darstellen [8]. Der erste Prozessschritt beinhaltet das Presswerk, mit den Lanes *Produktion* und *Qualitätssicherung*. Danach folgen der Karosseriebau, die Lackiererei und zuletzt die Montage, welche alle jeweils aus den Lanes *Werkstatt* und *Qualitätssicherung* bestehen. Das Prozessmodell, in Abbildung 5.2 gezeigt, besitzt insgesamt 39 Aktivitäten, 17 Events, zehn exklusiven und acht parallelen Gateways. In Tabelle 5.2 wird eine Übersicht der genannten Komplexitätsunterschiede gegeben.

	Events	Aktivitäten	Gateways	Pools	Lanes	Gesamt
PM1	02	07	02	0	0	11
PM2	17	29	18	4	8	76

Tabelle 5.2: Komplexität der beiden Prozessmodelle

## 5 Studienaufbau

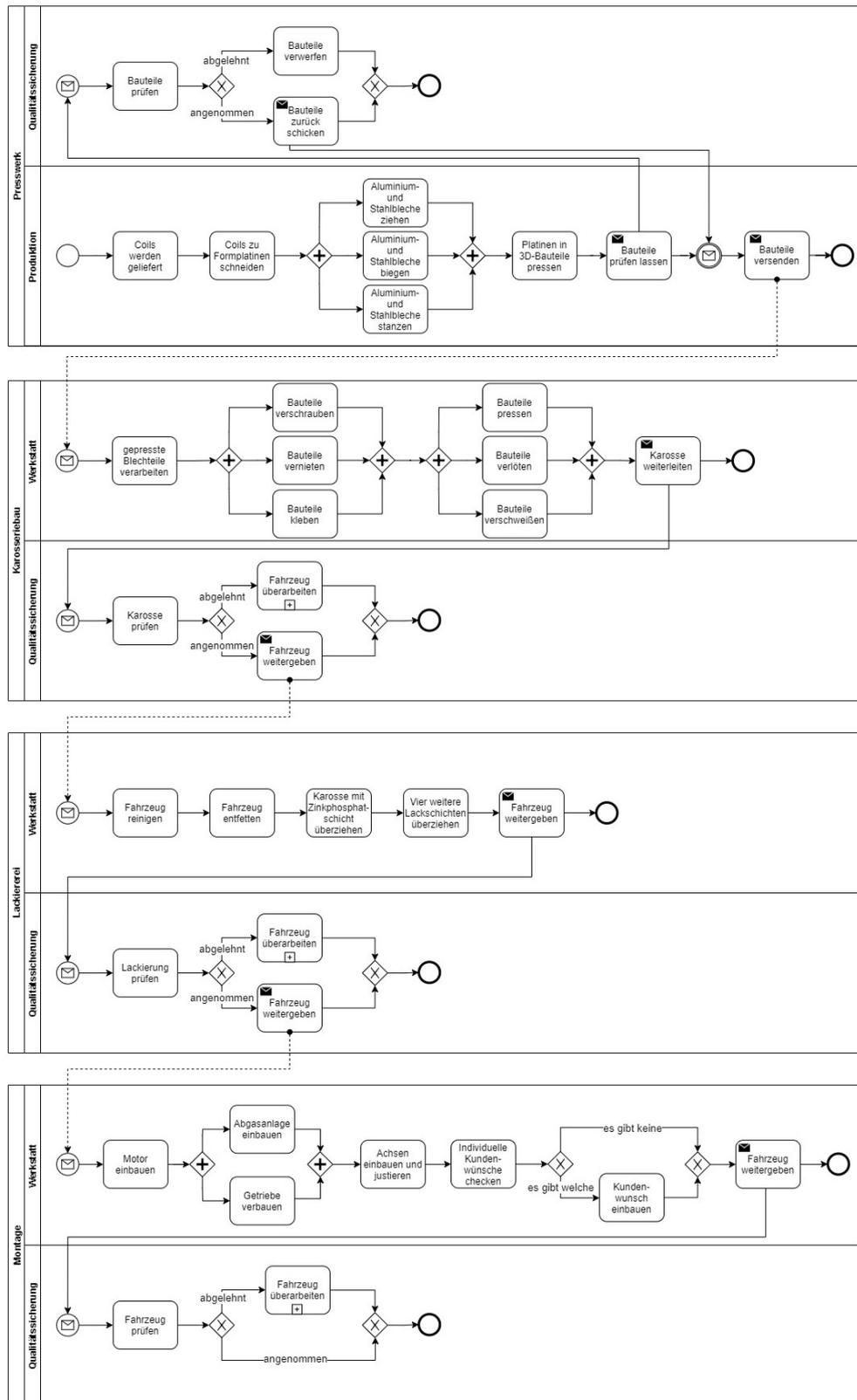


Abbildung 5.2: Prozessmodell der Fahrzeugproduktion in vier Schritten nach [8]

Nach der Betrachtung der jeweiligen Prozessmodelle, wurden den Probanden modell-spezifische, digitale Fragenkataloge via *Google Formulare* zur Bearbeitung vorgelegt, welche im Anhang A.3 beigefügt sind. Die Probanden wurden zunächst gebeten je Prozessmodell sieben Fragen, die mit einer Likert-Skala vorgegeben waren, zu beantworten. Hiermit sollte festgestellt werden, ob die Komplexität der Prozessmodelle im Vorfeld richtig eingeschätzt wurde. Danach sollten die Studienteilnehmer sechs Verständnisfragen mit wahr oder falsch bearbeiten.

### 5.3 Instrumente

Für die Messung der Gehirnwellen, während der Betrachtung der Prozessmodelle und Bearbeitung des Fragenkatalogs, wurde das in *Kapitel 4* bereits vorgestellte *EMOTIV EPOC+* Headset, sowie die Anwendungen *EmotivPRO* und *Emotiv BrainViz* verwendet. Des Weiteren wurde ein Desktop PC mit zwei Monitoren genutzt, einer für die Studiendurchführung (links) und der Andere für das Monitoring (rechts), wie auf *Abbildung 5.3* gezeigt.

Für die Aufzeichnung der Gehirnwellenvisualisierung durch die *Emotiv BrainViz* Anwendung, wurde die Bildschirmaufnahme von *Windows 10* genutzt. Dank der integrierten Aufnahmefunktion in der *EmotivPRO* Applikation, konnten die Gemütszustände, wie zum Beispiel Stress, parallel dokumentiert werden.

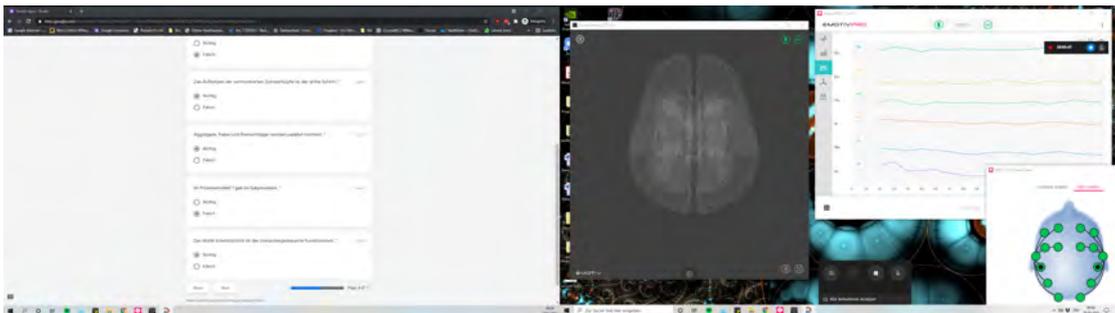


Abbildung 5.3: Setup der Studie

## 5.4 Studiendesign

Nachdem alle Formalien erfüllt waren, wurde den Probanden das *EMOTIV EPOC+* Headset auf den Kopf gesetzt, justiert und kalibriert (Abb. 5.4). Diese drei Schritte erfolgten so lange, bis alle Elektroden guten Hautkontakt hatten. Hierbei ist direkt aufgefallen, dass das Einstellen des Headsets bei Menschen mit langem und dichten Haar, oder sogar mit einem zu zierlichen Kopf, zu Problemen führen kann, was sich in fehlenden Messwerten widerspiegelt.



Abbildung 5.4: Proband mit dem *EMOTIV* Headset

Als nächstes wurden die Probanden angewiesen ihre anonymisierten Daten in ein vorgelegtes *Google Formular* (A.3) einzutragen und anschließend die zusammengestellte Einführung in *BPMN 2.0* (A.1) zu studieren. Es wurde stets die Möglichkeit gegeben Fragen zu stellen, welche auch beantwortet wurden.

Alle Studienteilnehmer reagierten aufgeschlossen und interessiert auf die vorangestellte Vorstellung des Studienablaufes und der Aufklärung zur Abfolge und Durchführung und fühlten sich bereit mit dem aktiven Teil der eigentlichen Studie zu beginnen. Zuerst wurde ihnen das einfache Prozessmodell aus Abbildung 5.1 vorgelegt. Danach erfolgte ein Erhebungsverfahren mittels Likert-Skala, welches die persönliche Meinung bezüglich des ersten Prozessmodells (*PM1*) in Erfahrung bringen sollte [7]. Daraufhin folgte ein Quiz, welches das Prozessmodellverständnis von *PM1* abgefragt hat. Das komplexe Prozessmodell *PM2*, aus der Abbildung 5.2, wurde den Probanden stets nach *PM1* vorgelegt. Danach wiederholte sich der Ablauf, wie bereits für *Prozessmodell 1* beschrieben.

## 6 Ergebnisse

Durchschnittlich benötigten die Teilnehmer 105 Sekunden, um das *PM1* anzuschauen und zu verinnerlichen, um das Quiz zu bearbeiten nur 60,71 Sekunden. Im Unterschied zu *PM1* brauchten die Befragten bei der Prozessbetrachtung von *PM2*, im Durchschnitt 230,71 und bei der Beantwortung des Quiz (*PM2*) 94,29 Sekunden. Damit wurde bestätigt, dass das erste Prozessmodell einfacher zu verstehen ist als das zweite. Weiterhin muss nun untersucht werden, ob der gewonnene Datensatz der Gehirnwellen, eine Aussage über das Maß der Komplexität treffen kann.

Die erhobenen Daten im CSV-Format wurden in Excel aufbereitet, sortiert und in Diagrammen visualisiert. Abbildung 6.1 repräsentiert beispielhaft alle 86 erstellten Plots. Dabei steht die blaue Kurve für Prozessmodell *PM1* und die rote Kurve für Prozessmodell *PM2*.

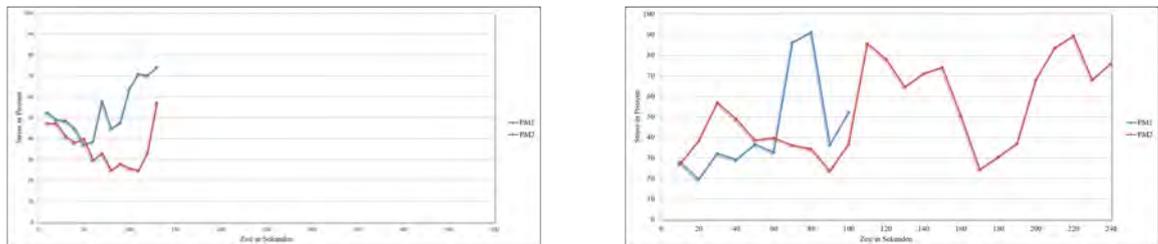


Abbildung 6.1: Stresslevel eines Probanden bei Betrachtung (l.) und Quiz (r.)

Da die individuellen Messwerte und Plots eines einzelnen Probanden wenig Aussagekraft besaßen, wurden Mittelwerte aller Teilnehmer je Leistungskennzahl errechnet und visualisiert. Die sechs Leistungskennzahlen sind definiert als Engagement, Excitement, Focus, Interest, Relaxation und Stress, wie in *Kapitel 4.1.1* erläutert.

Im Folgenden werden zunächst die Werte bei der Prozessbetrachtung von *Prozessmodell 1* und *Prozessmodell 2* beschrieben. Engagement bei *PM1* war mit 74,04% um 11% erhöht, im Vergleich zu *PM2* mit 63,65%. Die Werte von Excitement waren

## 6 Ergebnisse

bei *Prozessmodell 1* (30,72%) um 4% höher, als bei *Prozessmodell 2* (26,94%). Bei den anderen vier Kennzahlen lagen die Abweichungen zwischen 1% und etwas über 2%, wobei *PM1* stets den größeren Wert besaß. Bei *Prozessmodell 1* ergaben sich die Mittelwerte Focus 39,02%, Interest 56,89%, Relaxation 32,25% und Stress 43,85%. *Prozessmodell 2* besaß die Werte Focus 37,82%, Interest 55,47%, Relaxation 30,06% und Stress 41,72%.

Die Mittelwerte der Leistungskennzahlen während der Quiz-Bearbeitung sahen bei *Prozessmodell 1* wie folgt aus: Engagement 69,94%, Excitement 33,39%, Focus 45,34%, Interest 58,45%, Relaxation 30,31% und Stress 47,22%. Engagement hatte bei *Prozessmodell 2* den Wert 60,89%, Excitement 29,03%, Focus 44,04%, Interest 59,77%, Relaxation 29,82% und Stress 49,81%.

In den Tabellen 6.1 und 6.2 sind die Mittelwerte für einen besseren Überblick aufgelistet, die Kurvendigramme werden im Anhang A.2 (Abb. A.1 - A.12) hinterlegt.

Prozessmodell	Engagement	Excitement	Focus	Interest	Relaxation	Stress
PM1	74,04%	30,72%	39,02%	56,89%	32,25%	43,85%
PM2	63,65%	26,94%	37,82%	55,47%	30,06%	41,72%

Tabelle 6.1: Mittelwert der Leistungskennzahlen während Prozessbetrachtung

Prozessmodell	Engagement	Excitement	Focus	Interest	Relaxation	Stress
PM1	69,94%	33,39%	45,34%	58,45%	30,31%	47,22%
PM2	60,89%	29,03%	44,04%	59,77%	29,82%	49,81%

Tabelle 6.2: Mittelwert der Leistungskennzahlen während Quiz

Des Weiteren konnten über die *Emotiv BrainViz* Anwendung während des gesamten Studienverlaufs zahlreiche Gehirnwellen visualisiert werden. Da die Applikation jedoch keine messbaren Daten liefert, kann lediglich durch die Farbcodierung der Gehirnwellen eine Aussage getroffen werden, wann und in welcher Großhirnregion diese auftreten. Theta-Wellen wurden mit der Farbe blau, Alpha-Wellen mit lila, Beta-Wellen mit pink und Gamma-Wellen mit rot-orange visualisiert. In den Abbildungen 6.2 und 6.3 wird dies anhand eines Probanden dargestellt.

Bei der Betrachtung des ersten Prozessmodells wurde bei allen Studienteilnehmern eine geringe Gehirnaktivität beobachtet. Die wenigen Wellen befanden sich hauptsächlich in der linken, vorderen Gehirnhälfte, dem Frontallappen. Dabei handelte es sich um Theta-, Alpha- und Beta-Wellen. Teilweise waren Beta-Wellen auch im vorderen rechten Frontallappen zu finden. Bei einigen Studienteilnehmern haben die Theta-Wellen die komplette linke Gehirnhälfte dominiert. Während der Betrachtung von *Prozessmodell 2* war deutlich mehr Aktivität in der rechten Hemisphäre, in Form von Alpha- und Beta-Wellen, vorhanden. Wie zuvor waren die Theta-Wellen in der linken Gehirnhälfte am stärksten vertreten. Die Aufnahmen von *Proband 6* in Abbildung 6.2 zeigen beispielhaft die Beobachtungen.

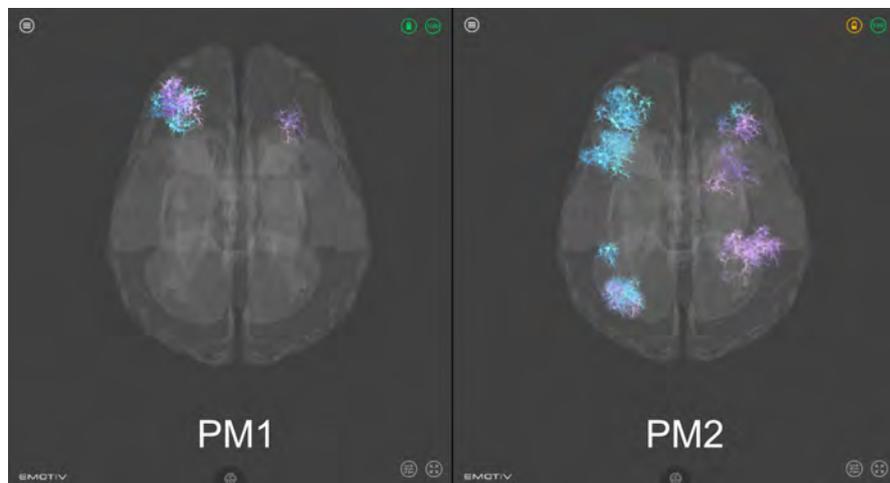


Abbildung 6.2: Visualisierung der Gehirnwellen bei Prozessbetrachtung

Die Visualisierung der Gehirnwellen während der prozess-spezifischen Wissensabfrage von *PM1* zeigten, dass die meiste Erregung im linken Frontal- und Parietallappen stattfand. Die dominierenden Wellen waren die blauen Theta-Wellen, während vereinzelt auch pinke Beta-Wellen zu sehen waren. Bei der Beantwortung der Quizfragen von *Prozessmodell 2* wurden bei vier Teilnehmern erstmalig Gamma-Wellen beobachtet, welche ausschließlich im vorderen Teil des rechten Frontallappens auftraten. Weiterhin wurde eine starke Aktivität im hinteren linken Parietal- und gesamten linken Okzipitallappen wahrgenommen, in denen Theta- und Beta-Wellen dominierten. Die Alpha- und vor allem Beta-Wellen, waren in der rechten Gehirnhälfte umfangreich vertreten.

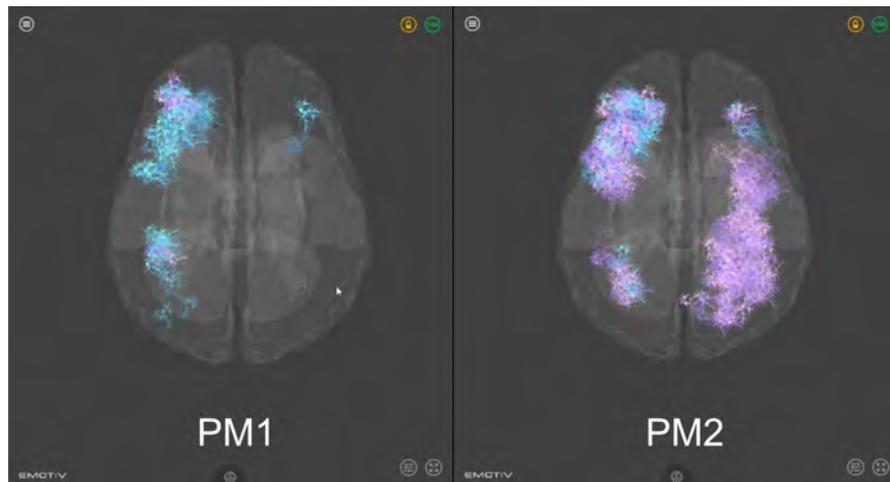


Abbildung 6.3: Visualisierung der Gehirnwellen bei Quiz

Zuletzt lässt sich sagen, dass sowohl bei der Betrachtung von *Prozessmodell 2*, als auch dessen Quizbeantwortung, mehr Erregung bei den Probanden stattfand, als bei *Prozessmodell 1*. Weiterhin wurde beobachtet, dass die Theta-Wellen bei *PM1* durchgehend in der linken Gehirnhälfte dominierten. Bei *PM2* waren es die Beta-Wellen in der rechten Hemisphäre.

## 7 Diskussion

Das Ziel der Arbeit war es herauszufinden, ob das mobile EEG, wie zum Beispiel das *EMOTIV EPOC+*, für die Messung der Gehirnströme während einer Prozessmodellbetrachtung geeignet ist und sich aus den gesammelten Daten Rückschlüsse ziehen lassen, die zur Prozessmodelloptimierung verwendet werden können. Auf Grundlage der Ergebnisse aus *Kapitel 6* können nun Vergleiche zwischen beiden Prozessmodellen gezogen werden, sowohl bei der Prozessbetrachtung als auch bei der Beantwortung der Fragen. Generell ist vorab zu sagen, dass es schwer ist eine Interpretation bezüglich der individuellen Gehirnwellen oder auch Leistungskennzahlen zu treffen.

Aus Tabelle 6.1 lässt sich ablesen, dass die Probanden bei der Prozessmodellbetrachtung von *Prozessmodell 1* allgemein im Schnitt höhere Leistungskennzahlen vorwiesen, als bei *Prozessmodell 2*. Daraus lässt schließen, dass die Teilnehmer sich bei der Betrachtung von *PM1* intensiver mit der Darstellung beschäftigten, was die Erwartungen nicht erfüllt. Durch die Kombination von Stress-Level, welcher bei *PM1* um 2% höher ist als bei *PM2*, der durchschnittlichen Betrachtungszeit und der fehlenden Vorkenntnisse von 50% der Probanden, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit zu sagen, dass die Probanden bei der ersten Prozessmodellbetrachtung nervöser waren. Eventuell könnte das auch auf einen Lernprozess zurückzuführen sein, der bei *PM1* stattfand.

Das durchschnittliche Stress-Level erreichte seinen Höhepunkt bei der Beantwortung der Fragen von *PM2*, wie in Tabelle 6.2 zu sehen ist. Dies beruht darauf, dass die Rekapitulation von Informationen anspruchsvoller ist, als die reine Betrachtung. Außerdem zeigten die Probanden das höchste Interesse bei der Bearbeitung der Quizfragen von *Prozessmodell 2*.

Der Vergleich beider Tabellen, 6.1 und 6.2, lässt sich die Mutmaßung aufstellen, dass *Prozessmodell 2* für die Probanden unattraktiver oder zu komplex war, da

die Excitement- und Engagement-Werte deutlich unter denen von *PM1* lagen. Abschließend ist zur *EmotivPro* Anwendung zu sagen, dass sie eine Vielzahl an Möglichkeiten besitzt, EEG-Rohdaten aufzunehmen und zu speichern. Bei der Datenanalyse fällt jedoch auf, dass das Headset alleine nicht ausreicht, um genaue Faktoren zur Optimierung von Prozessmodellen bestimmen zu können.

Weiterhin bietet auch die *BrainViz* Applikation Interpretationsspielraum, allerdings kann dabei nicht auf messbare Daten zurückgegriffen, sondern nur das Visuelle diskutiert werden. Die Annahme, dass bei dem komplexen Modell (*PM2*) mehr Gehirnaktivität zu finden ist, als bei *PM1*, wurde durch die Visualisierungs-Software bestätigt. Wie bereits erwähnt, dominierten allgemein die Theta-Wellen, welche für das Speichern von Informationen und den Lernvorgang zuständig sind. Somit erfolgte stets ein Lernprozess der Teilnehmer über die gesamte Studie hinweg.

Bei dem Betrachten des *Prozessmodells 1* waren, wie in *Kapitel 6* beschrieben, wenig Alpha-Wellen vorhanden, was für ein erhöhtes Stresspotential steht. Diese Annahme stimmt mit Tabelle 6.1 überein. Ein weiterer Stressfaktor ist das übermäßige Auftreten von Beta-Wellen. Dies konnte bei den Probanden während der Fragenbeantwortung von *Prozessmodell 2* beobachtet werden.

Weiterhin lässt sich sagen, dass bei der Beantwortung der Fragen beider Modelle mehr Erregung und Gehirnaktivität sichtbar war, als bei der Betrachtung. Dies hängt damit zusammen, dass nicht nur Informationen gespeichert, sondern diese auch abgerufen werden mussten. Dies bestätigt auch das Auftreten der vielen Alpha- und Beta-Wellen bei den Probanden (6.3), während des Quiz von *Prozessmodell 2* im Temporallappen, welcher für die Gedächtnisleistung zuständig ist.

Das Auftreten von Gamma-Wellen bei körperlicher und geistiger Spitzenleistung, welches in *Kapitel 3.2.6* erläutert wurde, konnte bei der Beantwortung der Fragen von *PM2* bei vier Probanden sehr gut beobachtet werden. Daraus resultiert, dass *PM2* besonders für diese Teilnehmer eine Herausforderung dargestellt hat.

Da es sich hierbei um eine erste explorative Machbarkeitsstudie handelt, um herauszufinden ob die mEEG-Messung für weitere Studien im Kontext von Lesen und Verstehen von Prozessmodellen genutzt werden kann, lässt sich nun sagen, dass es zukünftig eine Möglichkeit darstellen kann. Dies wird aber nur der Fall sein, wenn die Visualisierungs-Software *BrainViz* noch zusätzlich messbare Daten liefert.

Eine mögliche Verbesserung der Kontaktqualität der Elektroden, könnte die jüngst überarbeitete Version des Headsets, das *EMOTIV EPOCx* darstellen, um lückenlose Daten erfassen zu können. Dieses Upgrade stand zu Studienbeginn noch nicht zur Verfügung. Auch könnte ein additives Messinstrument, wie zum Beispiel Eye-Tracking, mehr Aufschluss bei dem Verstehen von Prozessmodellen geben.

Weiterhin sollte die Studiendurchführung im Bereich der Informationssysteme und Prozessmodellierung einige Parameter anpassen. Von Vorteil wäre beispielsweise eine homogene Probandengruppe, damit alle Teilnehmer das gleiche Vorwissen besitzen. Ein weiterer relevanter Faktor ist die Vorgabe eines bestimmten Zeitraums, so dass die Streuung der Werte geringer ausfällt und sie sich somit besser vergleichen lassen.

Es soll beachtet werden, dass diese Arbeit sich mit der Leistungsmetrik, aber nicht mit den anderen Funktionen der *EmotivPro* Anwendung auseinander gesetzt hat. Somit ergibt sich hierbei ein weiterer Forschungsbedarf, wie zum Beispiel das Betrachten der raw-EEG Daten.

## 8 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das *EMOTIV EPOC+* Headset viele auswertbare Daten im Hinblick auf die Neurowissenschaft liefert und durch seine einfache Handhabung zukünftig eine Vielzahl an Möglichkeiten für die Forschung bietet. Die Studie hat gezeigt, dass das *EMOTIV EPOC+* Headset eine Unterstützung der Messung von Hirnaktivität im Kontext des Prozessmodellverständnisses ist, somit die Forschungsfrage dieser Arbeit bestätigt. Jedoch sollte die Erfassungssoftware durch zusätzliche Algorithmen erweitert werden, sodass die messbaren Gehirnaktivitäten und entsprechenden Gehirnwellen, bezüglich ihrer jeweiligen Eigenschaften, in Ausmaß und Vorkommen detailliert analysiert werden können. Weiterhin wäre es von Vorteil zusätzlich ein additives Messinstrument, wie zum Beispiel *Eye-Tracking*, hinzunehmen, um eindeutige Ergebnisse zu erhalten.

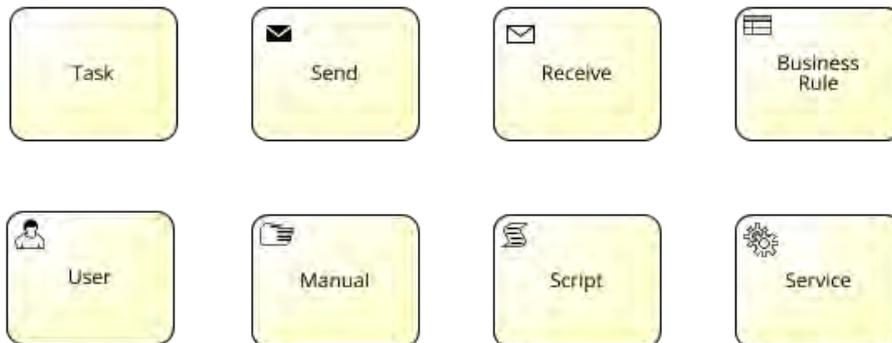
# **A Anhang**

## **A.1 Einführung in BPMN**

# Einführung in BPMN

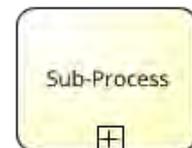
## 1. Task

In den Tasks werden die einzelnen Prozessschritte beschrieben. Neben normalen Tasks, gibt es unter anderem Send-Tasks (auslösende Einheiten) und Receive-Tasks (passive Einheiten). Eine Send-Aktivität ist zum Beispiel „send document“, während „receive document“ eine Receive-Aktivität ist.



## 2. Sub-Process

Wenn ein Prozess zu unübersichtlich wird, wird ein Modellabschnitt zu einem Sub-Prozess zusammengeführt. Sub-Prozesse können unter anderem auch auftreten, wenn ein Teil des Prozesses nicht detailliert genug beschrieben wurde, oder dieser belanglos für das übergeordnete Modell ist.

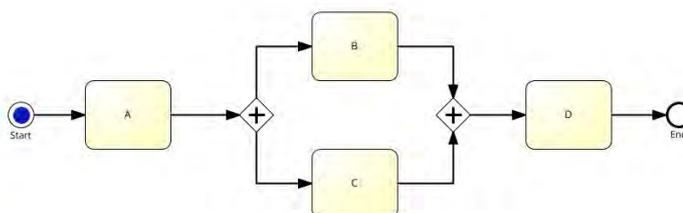


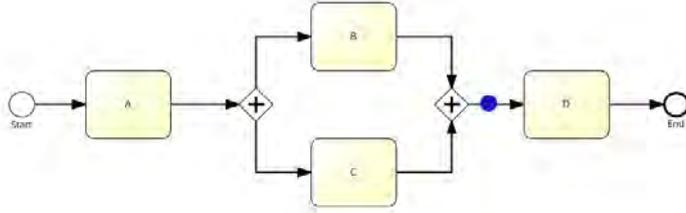
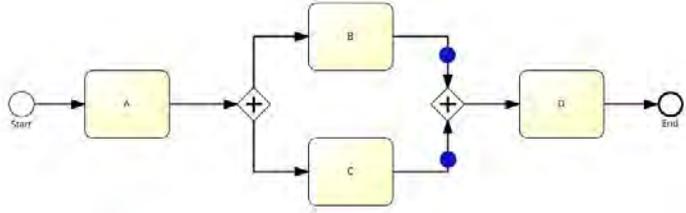
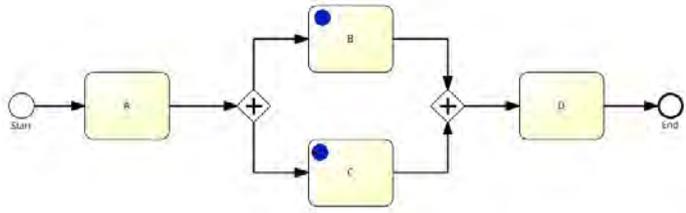
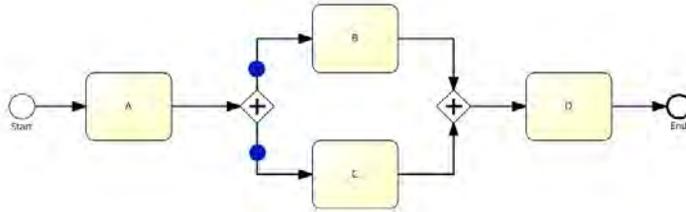
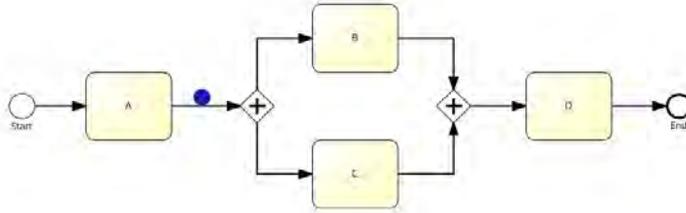
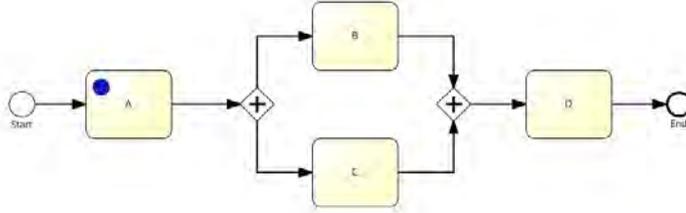
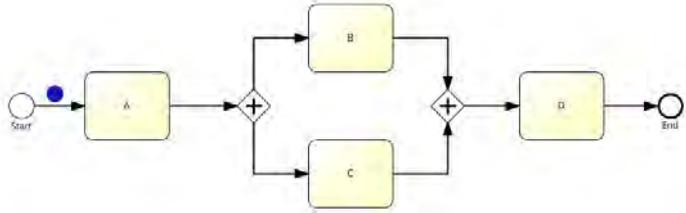
## 3. Gateways

Gateways sind Entscheidungspunkte. Bisher gibt es sieben verschiedene Arten von Gateways. Die beiden wichtigsten sind das parallele (AND) und das exklusive (XOR).

### 3.1. Parallel (AND)

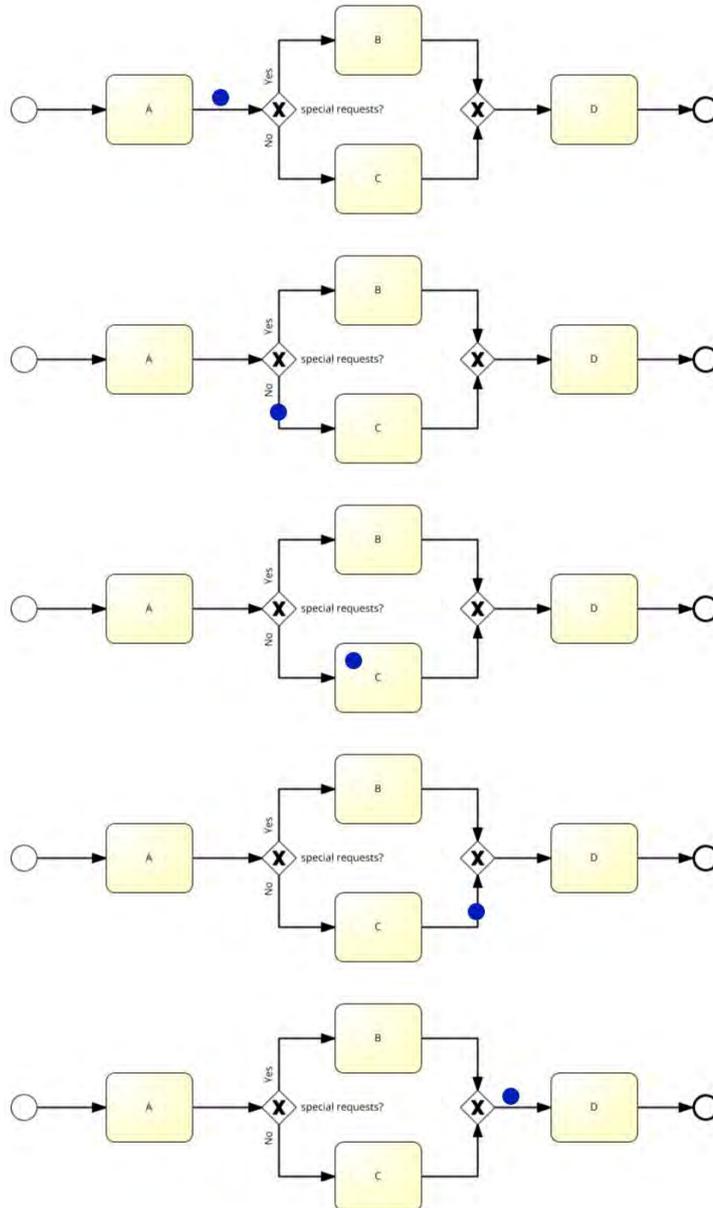
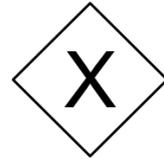
Hierbei werden mehrere Pfade parallel ausgeführt. Eine Entscheidung zwischen den Pfaden nach einem AND-Gateway ist nicht möglich, es werden alle ausgewählt. Um dies besser zu veranschaulichen, wurde mit Hilfe eines Token-Based Replay das unten stehende Beispielmodell durchgespielt.





### 3.2. Exclusive (XOR)

Bei einem XOR gibt es die Möglichkeit eine Entscheidung zu treffen. Es muss genau ein Pfad genommen werden. Weiterhin ist zu beachten, dass alle möglichen Eintrittsfälle bedacht wurden oder ein *Default*-Pfad eingefügt wird.



## 4. Events

Events bilden Ereignisse in einem Geschäftsprozess (BP) ab. Es gibt Start-, Zwischen- und End-Ereignisse. Diese können jeweils, genauso wie Tasks, unterteilt werden. Damit die Einführung nicht ausartet, wird die Erklärung der Events auf die None- und Message-Events begrenzt.

### 4.1. Start-Events

Diese Ereignisse stehen am Anfang eines Prozessmodells. Start-Events lösen somit die Ausführung des Prozesses aus.



None



Message

#### 4.2. Intermediate-Events

Die Zwischen-Ereignisse, oder auch Intermediate-Events genannt, stehen, wie der Name schon sagt, zwischen zwei Aktivitäten. Weiterhin wird zwischen *catching* und *throwing* unterschieden. *Catching*-Events müssen getriggert, also angestoßen werden, damit der Prozess weiter laufen kann. Im Gegensatz dazu übernehmen die *Throwing*-Events die aktive Rolle.



#### 4.3. End-Events

Der letzte Event-Typ ist das End-Ereignis. Dies ist das Pendant zu dem Start-Event und kann somit nur am Ende eines Prozessmodells stehen.



#### 5. Pool and Lanes

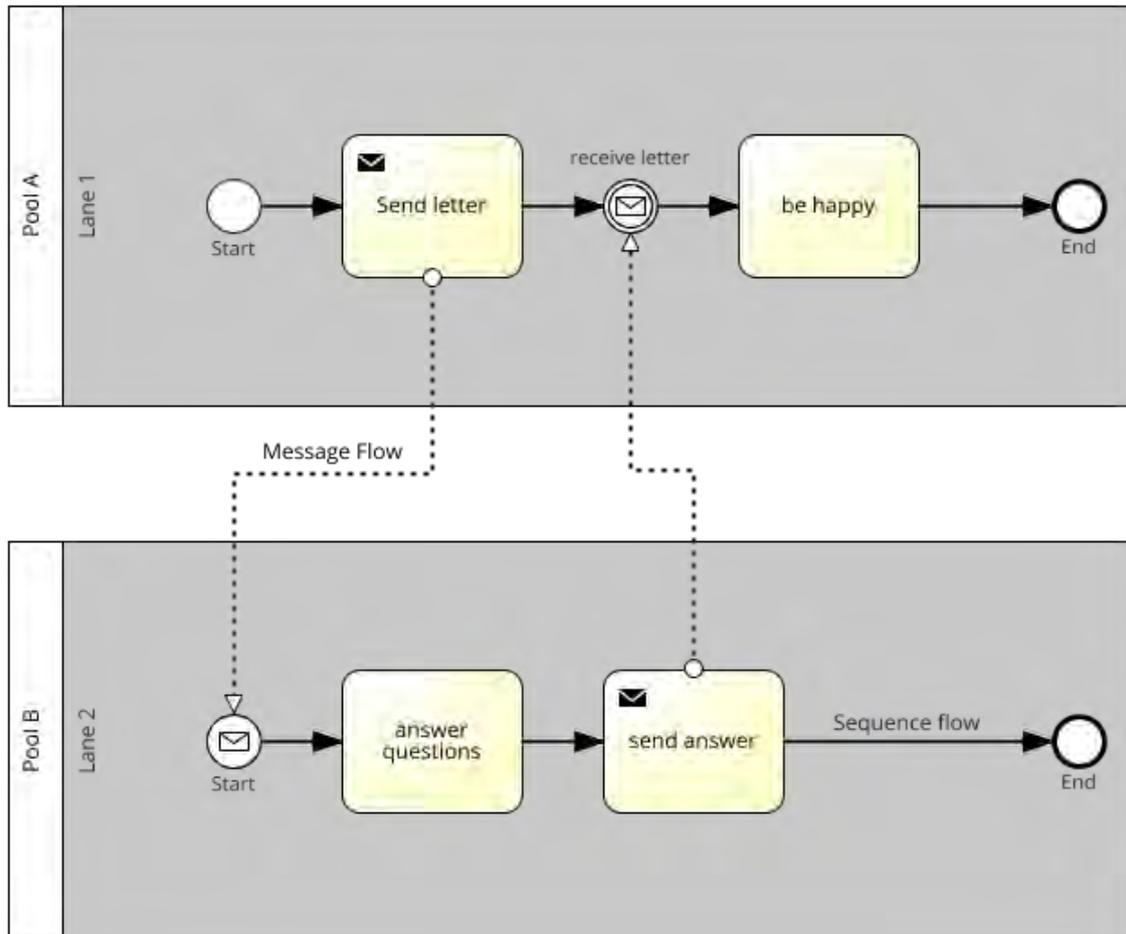
Ein Prozess kann aus mehreren Komponenten bestehen. Um diese ordentlich modellieren zu können, wurden Pools eingeführt. Ein Pool beschreibt die Obereinheit, wie z.B. einen Konzern oder einen Kunden.

Sei nun unser Konzern die *Example Inc* und wir würden einen Prozess abbilden wollen, der mehrere Abteilungen betrifft. Um dies darstellen zu können, werden Lanes benötigt. Somit kann *Lane 1* die HR-Abteilung und *Lane 2* die Finance-Abteilung repräsentieren. Dies sieht dann wie folgt aus.



## 6. Flows

Der Letzte, aber sehr wichtige Punkt bei der Prozessmodellierung, ist die Verwendung von Flüssen (Flows). Es gibt zum einen die **Sequence-Flows**, die nur innerhalb eines Pools vorkommen und zum anderen die **Message-Flows**, die für die Kommunikation zwischen verschiedenen Pools zuständig ist.



## A.2 Mittelwerte der Leistungskennzahlen

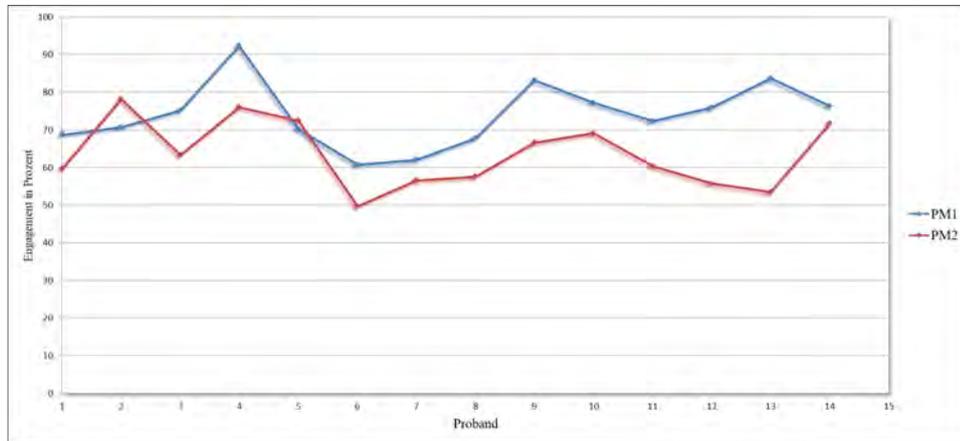


Abbildung A.1: Mittelwerte Engagement von PM1

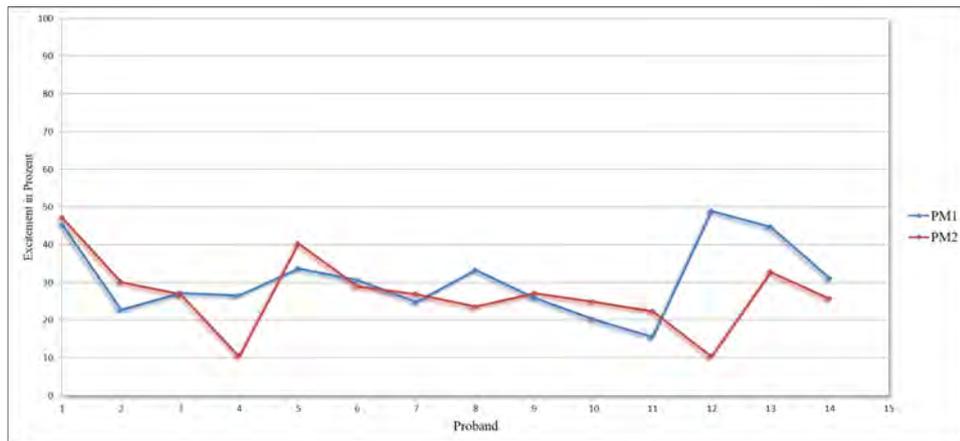


Abbildung A.2: Mittelwerte Excitement von PM1

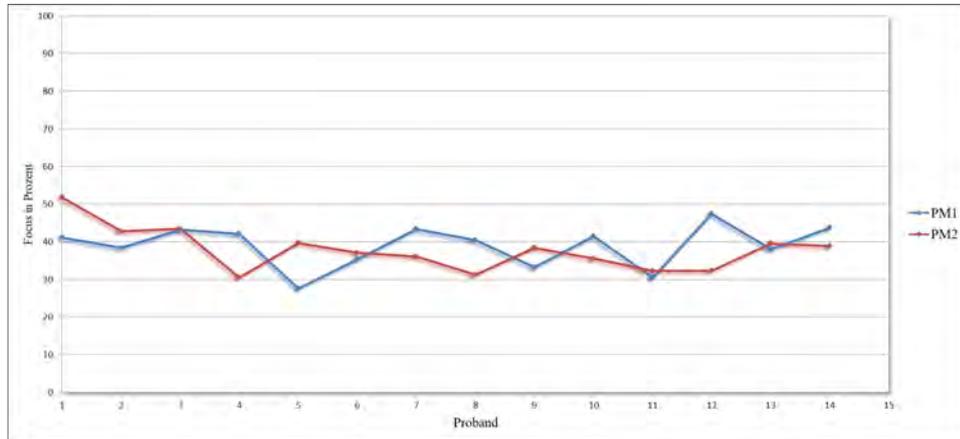


Abbildung A.3: Mittelwerte Focus von *PM1*

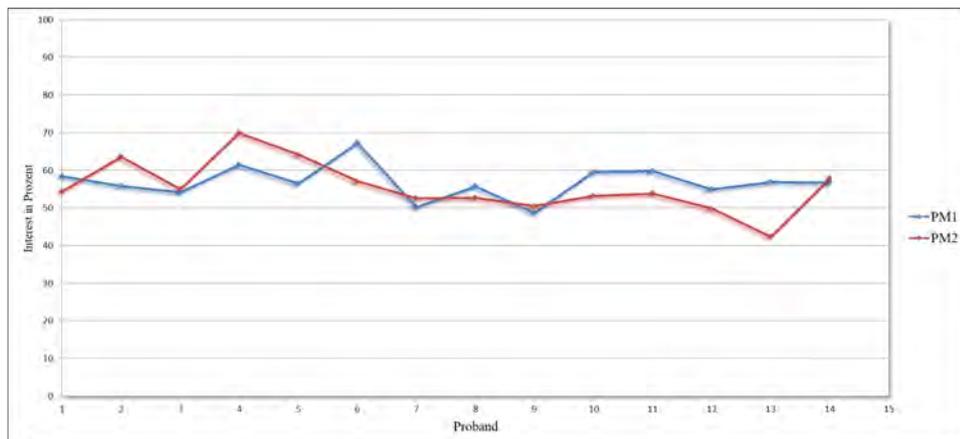


Abbildung A.4: Mittelwerte Interest von *PM1*

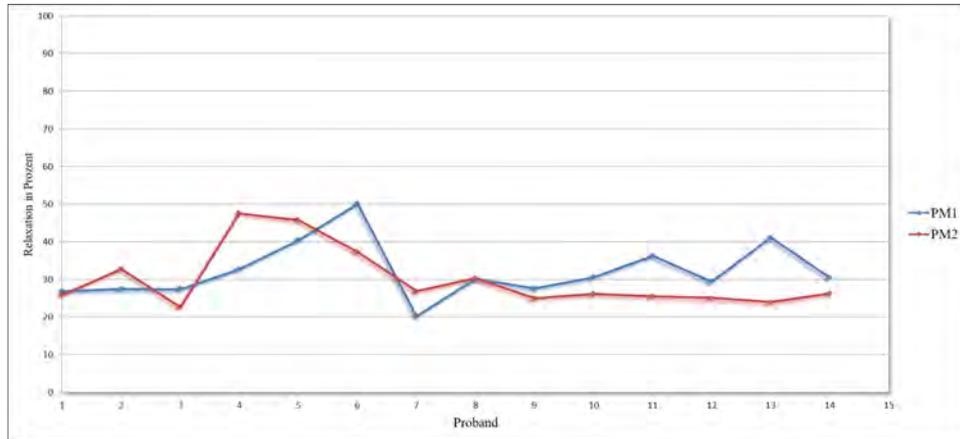


Abbildung A.5: Mittelwerte Relaxation von *PM1*

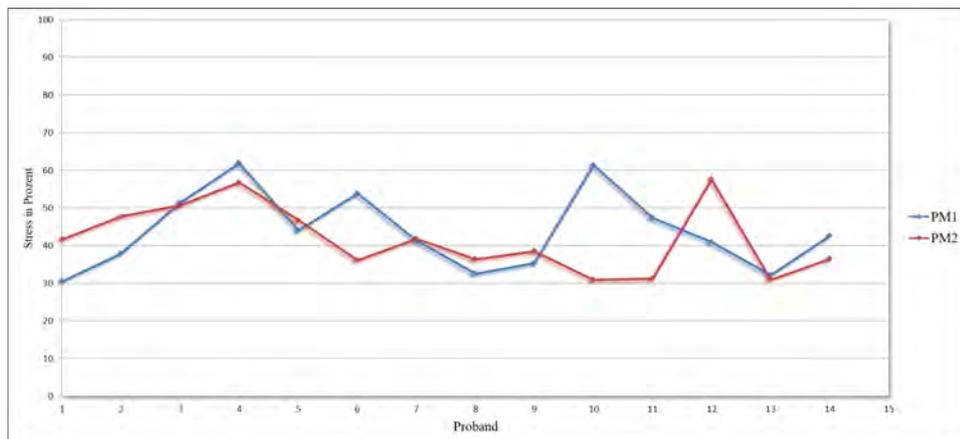


Abbildung A.6: Mittelwerte Stress von *PM1*

## A Anhang

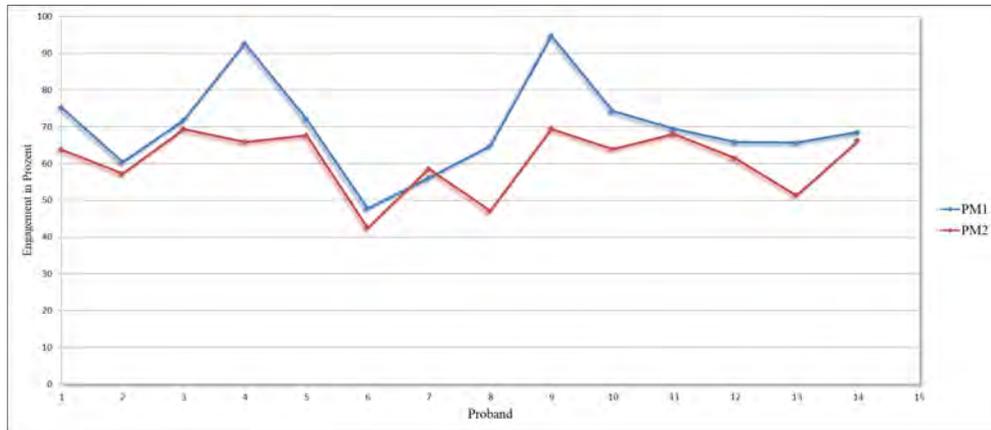


Abbildung A.7: Mittelwerte Engagement von *PM2*

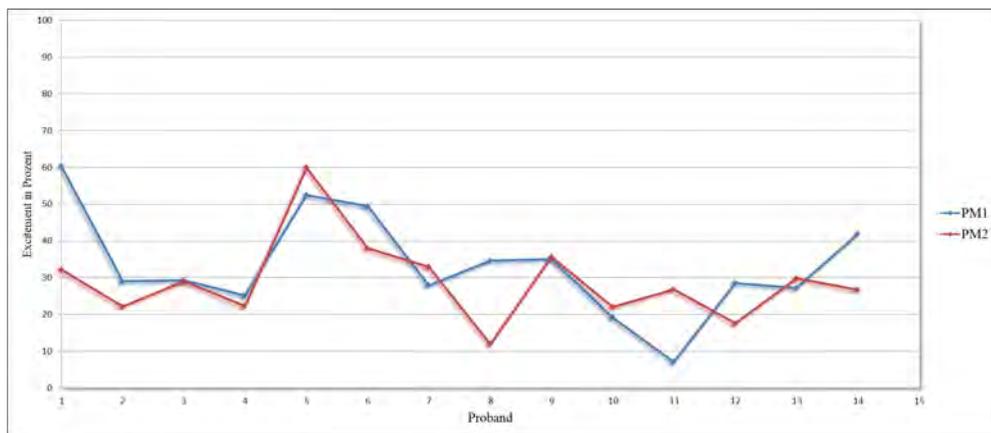


Abbildung A.8: Mittelwerte Excitement von *PM2*

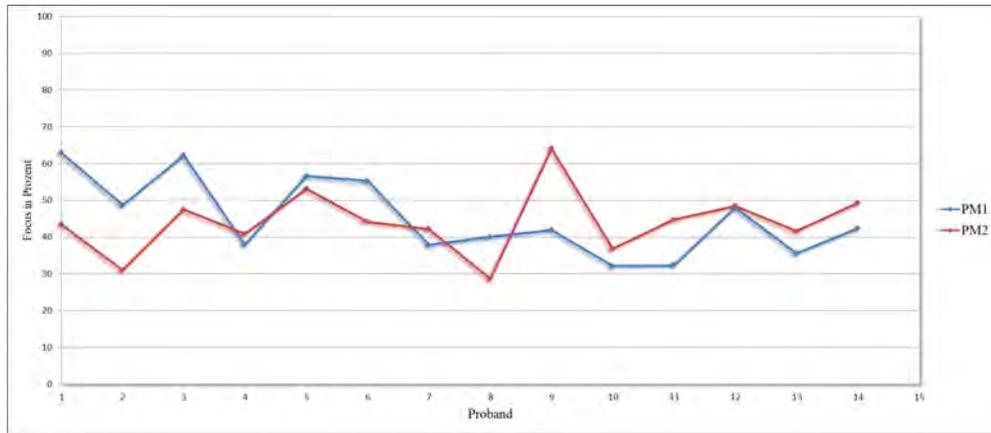


Abbildung A.9: Mittelwerte Focus von PM2

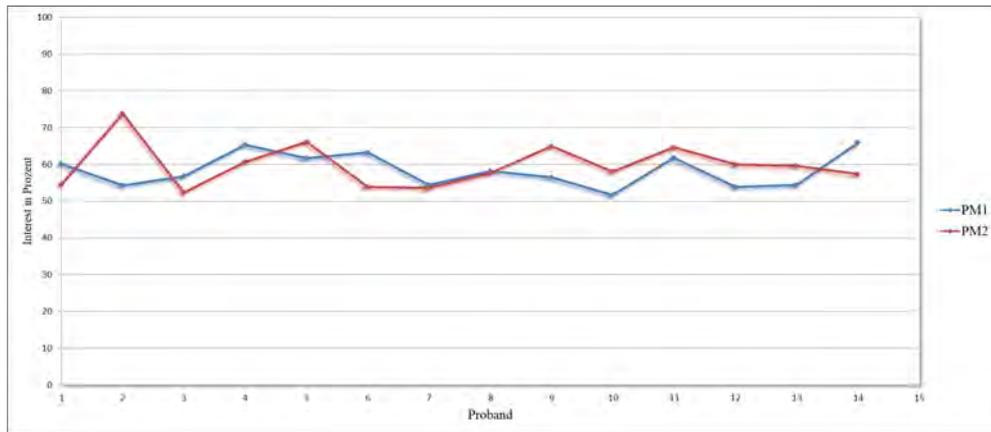


Abbildung A.10: Mittelwerte Interest von PM2

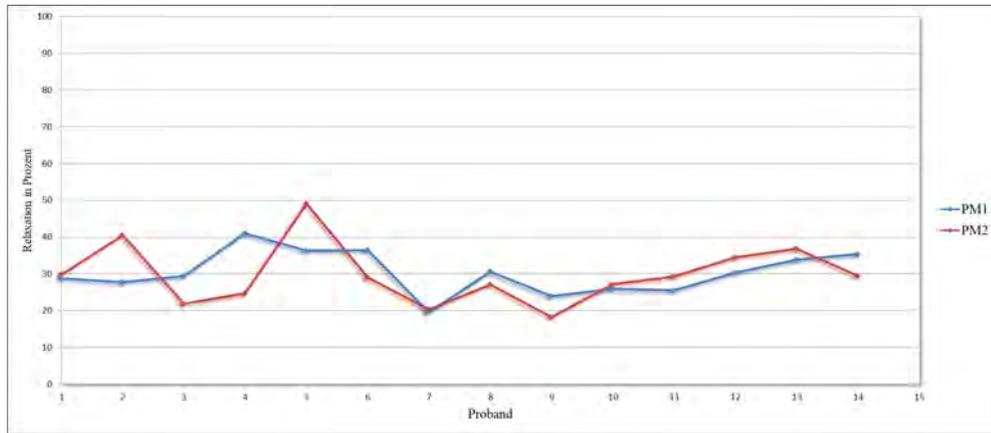


Abbildung A.11: Mittelwerte Relaxation von *PM2*

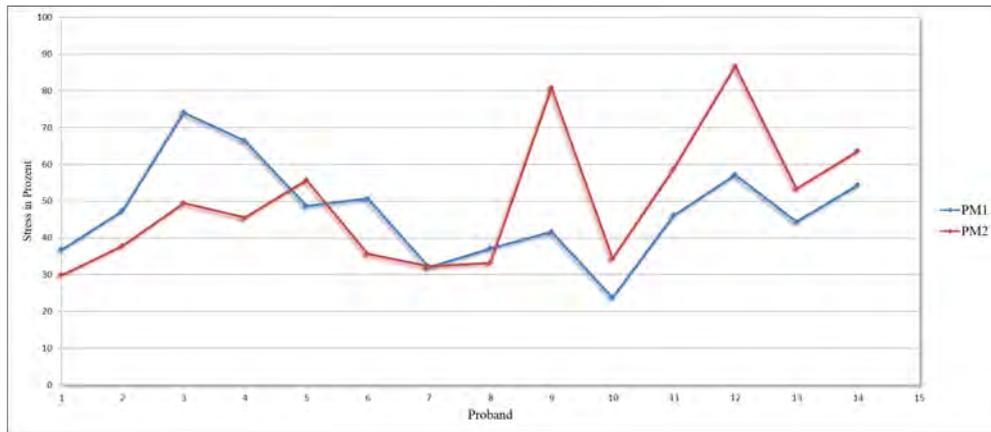


Abbildung A.12: Mittelwerte Stress von *PM2*

## **A.3 Fragebogen aus der Studie**

# Emotiv Epoc+ Studie

\* Erforderlich

Sehr geehrte Studienteilnehmende,  
hiermit lade ich Sie zur Teilnahme  
an der Studie zur Evaluierung  
von Parametern der Gehirnaktivität  
im Kontext der Lesbarkeit und  
Verständlichkeit von Prozessmodellen ein  
und bedanke mich bereits für Ihre Teilnahme.

## Demografischer Fragebogen

Bitte beantworten Sie die untenstehenden Fragen.

1. Proband-ID \*

---

2. Geben Sie Ihr Geschlecht an \*

*Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.*

- weiblich
- männlich
- divers

3. Geben Sie Ihr Alter ein \*

---

4. Geben Sie Ihren höchsten Bildungsabschluss an: \*

---

5. In welchem Berufsfeld sind Sie tätig? Als Student schreiben Sie bitte Ihre Studienfachrichtung dazu. \*

---

6. Haben Sie bereits Erfahrung mit Prozessmodellen bzw. Prozessmodellierung? \*

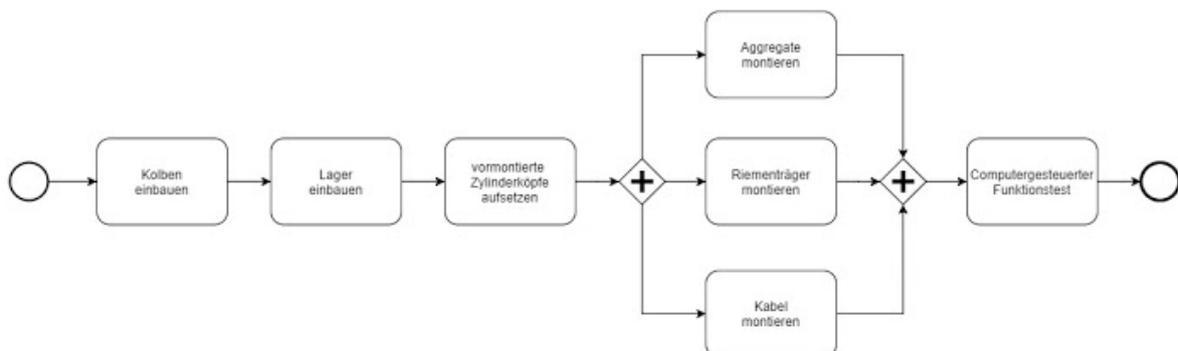
Markieren Sie nur ein Oval.

- Ja
- Ein wenig
- Nein

Fragen zu  
Prozessmodell 1

Schauen Sie sich das Prozessmodell genau an und beantworten Sie danach die unten stehenden Fragen.

PM 1



7. Das Prozessmodell ist einfach zu verstehen. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

8. Das Prozessmodell ist übersichtlich. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

9. Mein Vorwissen hat mir geholfen das Prozessmodell zu verstehen. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

10. Ich kann den Prozess ohne Probleme wiedergeben. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

11. Ich fühle mich sicher genug den Prozess selbst zu modellieren. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

12. Das Prozessmodell war zu komplex. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

13. Ich hatte bei dem Modell große Verständnisprobleme. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

14. Haben Sie Anmerkungen oder Verbesserungsvorschläge?

---

---

---

---

---

Fahren Sie mit Frage 15 fort

Quiz zu Prozessmodell 1

Bitte beantworten Sie folgende Fragen zu Prozessmodell 1.

15. Der Kolben wird vor dem Lager eingebaut. \* 1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

16. Aggregate, Riementräger und Zylinderköpfe werden parallel montiert. \* 1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

17. Das Aufsetzen der vormontierten Zylinderköpfe ist der dritte Schritt. \* 1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

18. Aggregate, Kabel und Riementräger werden parallel montiert. \* 1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

19. Im Prozessmodell 1 gab es Subprozesse. \* 1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

20. Der letzte Arbeitsschritt ist der computergesteuerte Funktionstest. \* 1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

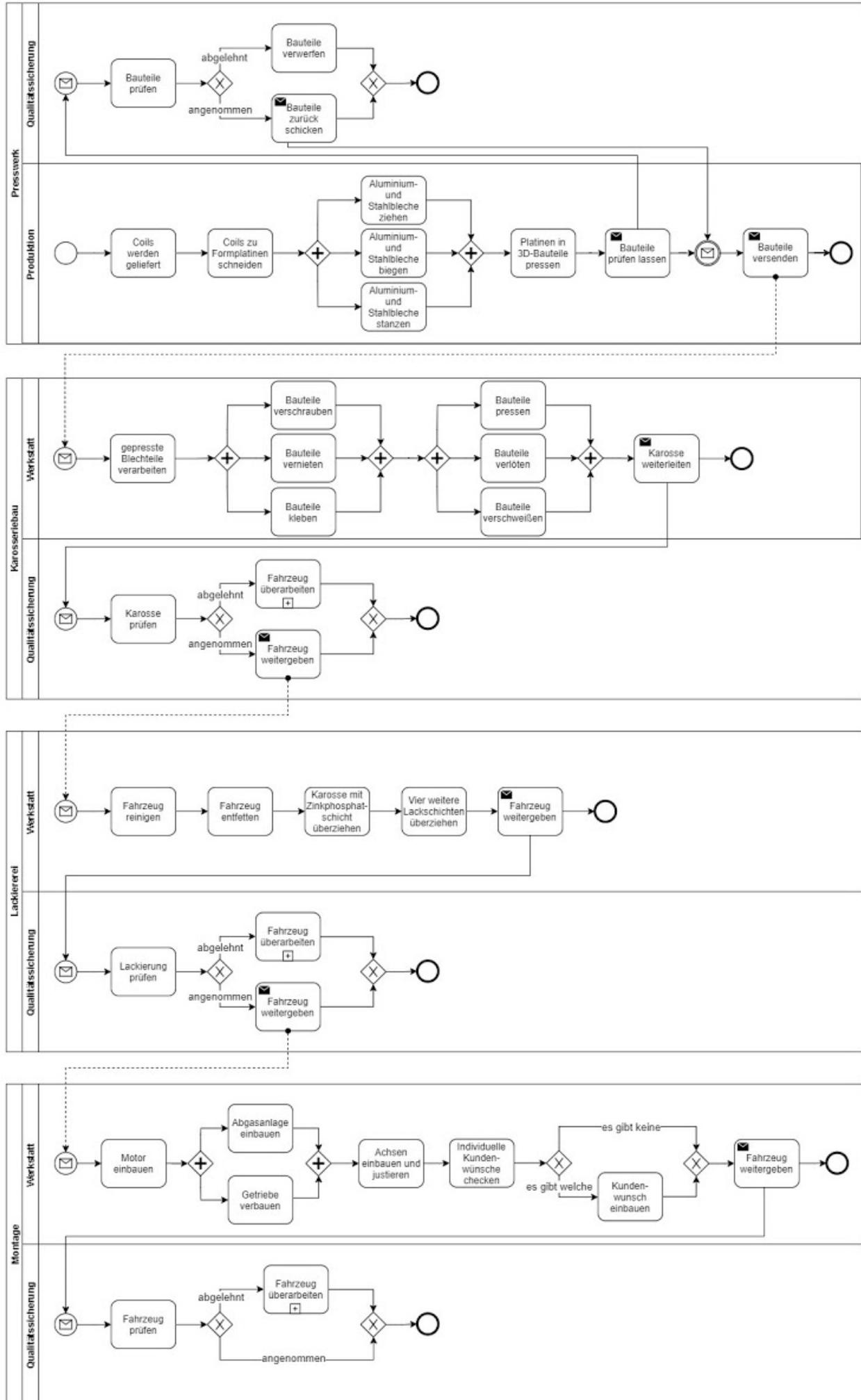
Falsch

*Fahren Sie mit Frage 21 fort*

Fragen zu  
Prozessmodell 2

Schauen Sie sich das Prozessmodell 2 genau an und beantworten Sie danach die unten stehenden Fragen.

PM 2



21. Das Prozessmodell ist einfach zu verstehen. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

22. Das Prozessmodell ist übersichtlich. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

23. Mein Vorwissen hat mir geholfen das Prozessmodell zu verstehen. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

24. Ich kann den Prozess ohne Probleme wiedergeben. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

25. Ich fühle mich sicher genug den Prozess selbst zu modellieren. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

26. Das Prozessmodell war zu komplex. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

27. Ich hatte bei dem Modell große Verständnisprobleme. \*

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	
Stimme überhaupt nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme voll und ganz zu				

28. Haben Sie Anmerkungen oder Verbesserungsvorschläge?

---

---

---

---

---

Fahren Sie mit Frage 29 fort

Quiz zu Prozessmodell 2

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen zu Prozessmodell 2.

29. Es gibt fünf Pools. \*

1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

30. Der zweite Pool ist der "Karosseriebau"-Pool. \*

1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

31. Die Lane "Produktion" existiert nur im Pool "Presswerk". \*

1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

32. Die Coils werden in der Produktion direkt zu 3D-Bauteilen gepresst. \*

1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

33. Im Prozessmodell 2 gibt es Subprozesse. \*

1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

34. Die Karosse wird nach der Montage lackiert. \*

1 Punkt

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Richtig

Falsch

*Wechseln Sie zu Abschnitt 7 (Ende der Studie)*

Ende der Studie

Vielen Dank  
für Ihre Teilnahme  
an meiner Studie!

Fragen oder Anmerkungen  
können Sie mir über die unten  
stehende E-Mail Adresse zusenden.

[daria.waldow@uni-ulm.de](mailto:daria.waldow@uni-ulm.de)

---

Dieser Inhalt wurde nicht von Google erstellt und wird von Google auch nicht unterstützt.

Google

Formulare

# Literatur

- [1] Thomas Allweyer. *BPMN 2.0-Business Process Model and Notation: Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung*. BoD–Books on Demand, 2020.
- [2] R.M. Bösel. *Das Gehirn: ein Lehrbuch der funktionellen Anatomie für die Psychologie*. Einführungen und Allgemeine Psychologie. Kohlhammer, 2006. ISBN: 9783170191839.
- [3] Christine Scholtyssek Dr. Hartwig Hanser Waldkirch. *Lexikon der Neurowissenschaft: Theta-Wellen*. 2000. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/theta-wellen/12919>.
- [4] EMOTIV. *Performance metrics*. 2021. URL: <https://emotiv.gitbook.io/emotivpro-v2-0/data-streams/performance-metrics-needs-image#turn-channels-on-off>.
- [5] G. Ebner A. und Deuschl. *EEG*. 2010.
- [6] Werner E Gerabek u. a. *Enzyklopädie Medizingeschichte*. Walter de Gruyter, 2011.
- [7] Simone Gritsch. „Die Likert-Skala–Meinungen abbilden“. In: *ergopraxis* 5.01 (2012), S. 16–17.
- [8] BMW Group. *FASZINATION PRODUKTION. WIE EIN FAHRZEUG ENTSTEHT: DER PRODUKTIONSPROZESS IN VIER SCHRITTEN*. 2021. URL: <https://www.bmwgroup-werke.com/de/produktion/fahrzeugproduktion.html>.
- [9] BMW Group. *MOTORENMONTAGE: HOCHZEIT MIT DEM HERZSTÜCK*. 2021. URL: <https://www.bmwgroup-werke.com/de/produktion/motorenbau.html>.

- [10] Rami N. Khushaba u. a. „Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking“. In: *Expert Systems with Applications* 40.9 (2013), S. 3803–3812. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412013371>.
- [11] M Krzovska. *Neurologie*. 2012.
- [12] Peter Loos u. a. „NeuroIS: Neurowissenschaftliche Ansätze in der Erforschung und Gestaltung von Informationssystemen“. In: *Wirtschaftsinformatik* 52.6 (2010), S. 391–399.
- [13] R. Mertens. „Aussagekraft der elektrodermalen Aktivität in Laborexperimenten mit Schwerpunkt Lärm-Literaturstudie zu wichtigen Einflussfaktoren und gesundheitlichen Implikationen“. Diss. Universitäts- und Landesbibliothek der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2016.
- [14] Thomas Probst Michael Winter Rüdiger Pryss und Manfred Reichert. „Towards the Applicability of Measuring the Electrodermal Activity in the Context of Process Model Comprehension: Feasibility Study“. In: *Sensors* 20.4561 (2020). URL: <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/1940/>.
- [15] NEUROtiker. *Seitenansicht eines menschlichen Gehirns, Großhirnlappen, Kleinhirn und Stammhirn farblich hervorgehoben*. 2007. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2650117>.
- [16] Julia Peter-Krull. „EEG-Aktivität und Stimmungslage von routinierten Feldhockeyspielern bei Ausübung einer intensiven Intervallsportart im Mannschaftssetting“. Diss. Universitäts- und Landesbibliothek der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2020.
- [17] Razvan Petrusel und Jan Mendling. „Eye-tracking the factors of process model comprehension tasks“. In: *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Springer. 2013, S. 224–239.
- [18] D. Riemann. *Schlaf*. 1999. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/schlaf/59346>.
- [19] Miles Tallon u. a. „Comprehension of business process models: Insight into cognitive strategies via eye tracking“. In: *Expert Systems with Applications* 136 (2019), S. 145–158.

- [20] Universität Ulm. *Institut für Datenbanken und Informationssysteme (DBIS)*. 16.09.2020. URL: <https://www.uni-ulm.de/in/iui-dbis/startseite/>.
- [21] S. Chaising W. Srimaharaj R. Chaisricharoen und P. Sittiprapaporn. „Classification of human brain attention focused on meditation, effected by L-theanine acid in Oolong tea - Scientific Figure on ResearchGate“. In: (2018).
- [22] Michael Zimoch u. a. „Eye tracking experiments on process model comprehension: lessons learned“. In: *Enterprise, business-process and information systems modeling*. Springer, 2017, S. 153–168.

Name: Daria Waldow

Matrikelnummer: 932616

### **Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Ulm, den .....19.07.2021.....

A handwritten signature in blue ink that reads "D. Waldow". The signature is written in a cursive style with a large, looped initial "D".

Daria Waldow