

Aus dem Klinischen Institut für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktorin Univ.-Prof. Dr. Ulrike Dinger-Ehrenthal

Vergleichende videographische und elektromyographische
Untersuchung fazialer Mimikry

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Jan-Frederik Westermann
2024

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Matthias Franz

Zweitgutachterin: Prof. Dr. med. Marion Rapp

Für meine Eltern und Geschwister

Zusammenfassung (deutsch)

Faziale Mimikry beschreibt die kongruente mimische Reaktion auf affektive Gesichtsausdrücke Anderer. Sie ist ein basaler Bestandteil des affektiven Miterlebens und somit der zwischenmenschlichen Kommunikation. Bisher wurde die faziale Mimikry mittels Elektromyographie (EMG) gemessen. Dazu sind ein komplexer Messapparat und Erfahrung in der Anwendung und Interpretation von EMG-Signalen notwendig. Durch Fortschritte auf dem Gebiet des maschinellen Lernens sind in den letzten Jahren Computerprogramme zur Messung affektiver Gesichtsausdrücke entwickelt worden. Bisher ist allerdings unklar, ob diese auch die sehr subtile faziale Mimikry messen können.

In dieser Studie wurde die auf maschinellem Lernen basierte Emotionserkennungs-Software „Affdex“ (*action units lip corner puller* und *brow lowerer* sowie Affekte *joy* und *anger*) mit der EMG, in Bezug auf ihre Fähigkeit faziale Mimikry zu messen, verglichen. Dafür wurde bei 33 Probanden faziale Mimikry induziert, indem naturalistische affektexpressive Videosequenzen (Wut, Freude) präsentiert wurden, die aus dem validierten Portrait-Set „*Karolinska Directed Emotional Faces*“ entwickelt wurden. Die Videos waren 3 Sekunden lang, begannen mit einem neutralen Gesichtsausdruck und erreichten nach 2 Sekunden den maximalen Affektausdruck. Die faziale Mimikry-Reaktion der Probanden auf die gezeigten affektexpressiven Stimuli wurde gleichzeitig mittels fazialem EMG (*M. corrugator supercillii*, *M. zygomaticus major*) und mit Affdex per Videoanalyse gemessen. Anschließend wurden die über alle Probanden gemittelten Messergebnisse von EMG und Affdex über einen Zeitraum von 5000 ms miteinander korreliert (3000 ms während der Stimuluspräsentation, je 1000 ms vor und nach der Stimuluspräsentation).

Nach Präsentation des Freude-Stimulus kam es zu einem Anstieg der EMG-Aktivität des *M. zygomaticus* ca. 400 ms nach Stimulusbeginn und zu einem Anstieg der von Affdex gemessenen *lip corner puller*- und *joy*-Aktivität etwa 1200 ms nach Stimulusbeginn. Die von Affdex ermittelten *joy*- und *lip corner puller*-Aktivitäten korrelierten signifikant mit der o.g. EMG-Aktivität. Nach Darbietung des Wut-Stimulus kam es zu einem Anstieg der EMG-Aktivität des *M. corrugator*, ebenfalls ca. 400 ms nach Stimulusbeginn, wohingegen die von Affdex gemessenen *brow lowerer*- und *anger*-Aktivitäten keine Reaktion zeigten. Während des gesamten Messintervalls korrelierten weder die *brow lowerer*- noch die *anger*-Aktivität mit der EMG-Aktivität des *M. corrugator*, womit die Affdex-Messung der Mimikry-Reaktion auf den Wut-Stimulus nicht erfolgreich war. Die Mimikry-Reaktion auf einen Freude-Stimulus hingegen konnte mit Affdex erfolgreich gemessen werden. Allerdings erkennt Affdex die Mimikry-Reaktion ca. 800 ms später als die EMG-Messung des *M. zygomaticus*. Somit bleibt im Vergleich zu Affdex die Elektromyographie das Mittel der Wahl für die Untersuchung subtiler mimischer Prozesse wie der fazialen Mimikry.

Zusammenfassung (englisch)

Facial mimicry describes the congruent mimic reaction to the affective facial expressions of others. It is a fundamental component of affective co-experience and thus of interpersonal communication. Until now, facial mimicry has been measured using electromyography (EMG). This requires a complex measuring apparatus and experience in the application and interpretation of EMG signals. In recent years, advances in the field of machine learning have led to the development of computer programs for measuring affective facial expressions. However, it is still unclear whether these programs can also measure the very subtle facial mimicry.

“Affdex” (action unit lip corner puller and brow lowerer, as well as affects joy and anger) was compared with the EMG in terms of its ability to measure facial mimicry. For this purpose, facial mimicry was induced in 33 subjects by presenting naturalistic affect-expressive (anger, joy) video sequences developed from the validated portrait set “Karolinska Directed Emotional Faces”. The videos were 3 seconds long, started with a neutral facial expression and reached maximum affect expression after 2 seconds. The subjects' mimicry reaction was measured simultaneously using facial EMG (M. corrugator supercilii, M. zygomaticus major) and Affdex. The results of the EMG and Affdex measurements averaged over all subjects were then correlated over a period of 5000 ms (3000 ms during the stimulus presentation, 1000 ms before and after the stimulus presentation).

After presentation of the joy stimulus, there was an increase in EMG activity of the zygomaticus muscle approximately 400 ms after stimulus onset and an increase in lip corner puller and joy activity measured by Affdex approximately 1200 ms after stimulus onset. The joy and lip corner puller activities determined by Affdex correlated significantly with the above-mentioned EMG activity. After presentation of the anger stimulus, there was an increase in EMG activity of the corrugator muscle, also approx. 400 ms after stimulus onset, whereas the brow lowerer and anger activity measured by Affdex showed no response. During the entire measurement interval, neither the brow lowerer nor the anger activity correlated with the EMG activity of the corrugator muscle, meaning that the Affdex measurement of the mimicry response to the anger stimulus was not successful. The mimicry response to a joy stimulus, on the other hand, could be successfully measured with Affdex. However, Affdex recognizes the mimicry reaction approx. 800 ms later than the EMG measurement of the zygomaticus muscle. Thus, electromyography remains the method of choice for the investigation of subtle mimic processes such as facial mimicry.

Abkürzungsverzeichnis

AFC	Automated Facial Coding
AU	Action Unit
EMFACS	Emotional Facial Action Coding System
EMG	Elektromyographie
FACS	Facial Action Coding System
M	Mittelwert (mean)
M.	Muskel (Musculus)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Emotion, Affekt und Gefühl	1
1.2	Neuroanatomische und neurophysiologische Grundlagen.....	3
1.3	Basisemotionen	5
1.4	Empathie	5
1.5	Mimikry	6
1.6	Faziale Mimikry	8
1.7	Messung fazialer Mimikry	9
1.7.1	EMG	9
1.7.2	Facial Action Coding System.....	10
1.7.3	Automatisierte faziale Emotionserkennung	11
1.8	Ziele der Arbeit	15
2	Publikation: Measuring facial mimicry: Affdex vs. EMG, Westermann, J.-F., Schäfer, R., Nordmann, M., Müller, T., Franz, M.	17
3	Diskussion	18
3.1	Schlussfolgerungen	21
4	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	23
5	Anhang	28

1 Einleitung

Mimikry beschreibt die Nachahmung von Gesichtsausdruck, Intonation und Körperhaltung zwischen zwei Interaktionspartnern. Faziale Mimikry beschreibt die automatische und schnelle kongruente mimische Reaktion auf die affektexpressive Mimik des Gegenübers und führt zu einer Übermittlung emotionaler Informationen in der interpersonellen Kommunikation. Sie wird als „sichtbare Reaktion emotionaler Ansteckung“ (Lundqvist 1995) oder auch als „emotionale Mimikry“ bezeichnet (Hess & Fischer 2014) und hat die Funktion das Affekterleben des Gegenübers zu teilen. Sie ist bereits nach 200-400 ms im Elektromyogramm (EMG) nachweisbar und erfolgt unbewusst. Es hat sich gezeigt, dass die faziale Mimikry auch dann ausgelöst wird, wenn affektive Hinweise nur unbewusst wahrgenommen werden (Dimberg & Thunberg 1998; Dimberg et al. 2000). Die folgenden Kapitel beschreiben die entwicklungspsychologischen, neurobiologischen und psychophysiologischen Grundlagen der fazialen Mimikry und Methoden, diese zu messen.

1.1 Emotion, Affekt und Gefühl

Affekte werden im deutschsprachigen Raum als kurze und besonders intensiv wahrgenommene Emotionen bei gleichzeitig verringerter rationaler Einflussnahme beschrieben (Köck & Ott 1994). Daraus lässt sich der Begriff der Affekthandlung ableiten. Zusätzlich werden die auch bei Emotionen auftretenden körperlichen Reaktionen, wie Veränderungen der Körperhaltung, der Stimmlage oder der fazialen Expression, als Affekte bezeichnet (Legewie & Ehlers 1995). Emotionen wiederum werden als umfassende Bezeichnung für psychophysiologische Zustandsveränderungen beschrieben, die durch innere, äußere und/oder kognitive Prozesse ausgelöst werden (Fröhlich 2010). Emotionen können im Allgemeinen über einen längeren Zeitraum anhalten. Während im deutschen Sprachraum klar zwischen Emotion und Affekt unterschieden wird, werden die englischen Wörter *emotion* und *affect* häufig synonym verwendet. Im deutschen Sprachraum existiert zudem der Begriff Gefühl. Gefühle sind sprachlich bewusst wahrgenommene affektive Zustände (Gerhards 1988) und dienen in der zwischenmenschlichen Kommunikation der reflektierenden Beziehungsregulation (Rudolf & Henningsen 2017).

Die psychologische, psychiatrische und psychosomatische Forschung beschäftigt sich seit ihren Anfängen mit Emotionen und Affekten. So veröffentlichte Charles Darwin bereits 1872 mit seinem Werk „*The Expression of the Emotions in Man and Animals*“ seine Theorien zur Emotionserkennung und war somit einer der ersten Emotionsforscher überhaupt. Darwin nahm an, dass bestimmte Emotionen angeboren seien und die damit einhergehenden Gesichtsausdrücke universell bei jedem Menschen gleich seien. Er setzte die Entstehung spezifischer Emotionen mit seiner kurz zuvor erschienenen Evolutionstheorie in Zusammenhang. So nahm er an, dass bestimmtes emotionales Verhalten von Individuen und Gruppen zu Überlebensvorteilen geführt habe. Dadurch hätten sich bestimmte emotionale Merkmalsausprägungen durch natürliche Selektion über Generationen herausgebildet (Darwin 1872).

In der Literatur wird der Emotions-Begriff nicht einheitlich definiert. Großheinrich et al. (2007) beschreiben Emotionen als „*kurzfristige Ereignisse des Fühlens und des damit assoziierten Verhaltens*“. Sie gehen davon aus, dass Emotionen in hohem Maße unser Handeln beeinflussen und ein wichtiger Bestandteil des bewussten und unbewussten Erlebens sind. Cabanac (2002) hingegen definiert Emotionen als jegliche psychische Erfahrung mit hoher Intensität und starkem hedonischem oder anhedonischem Inhalt.

Zur genauen Beschreibung von Emotionen hat sich zusätzlich ein zweidimensionales Modell etabliert, das zum einen die Valenz und zum anderen das Arousal betrachtet. Das Arousal wird auf einem Kontinuum von *ruhig* bis *erregt* beschrieben und die Valenz auf einem Kontinuum von *angenehm* bis *unangenehm* (Lang 1995; Russel 1980; Watson et al. 1988). Nach dieser Theorie können Emotionen zwischen diesen vier Polen eingeordnet werden (siehe Abb. 1).

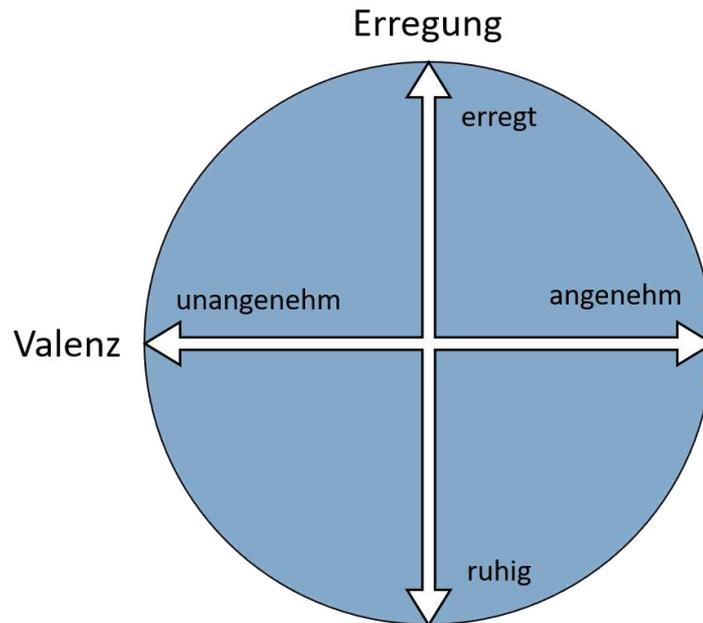


Abb. 1: **Emotionsdimensionen.** Jede Emotion kann nach Valenz und Erregung eingeordnet werden (Watson et al. 1988; Lang 1995).

1.2 Neuroanatomische und neurophysiologische Grundlagen

Mittels funktioneller Magnetresonanztomographie ist es möglich, während des Ablaufs zerebraler Prozesse im zeitlichen Verlauf die zerebrale Perfusion mit einem hohen räumlichen Auflösungsvermögen darzustellen. Dadurch können anatomische Strukturen, die für die Verarbeitung emotionaler Stimuli zuständig sind, identifiziert und der zeitliche Verlauf der Aktivitäten ermittelt werden (Schneider & Fink 2013).

Adolphs (2002) beschreibt in seiner Übersichtsarbeit den zeitlichen Verlauf der Emotionswahrnehmung im zentralen Nervensystem inklusive des körperlichen Feedbacks. Demnach beginnt nach 120 ms die Prozessierung von starken emotionalen Stimuli in Thalamus und Colliculus superior, die mit der Amygdala und dem visuellen Cortex kommunizieren. Nach 170 ms erfolgt eine detailliertere Wahrnehmung, bei der über die Amygdala und den orbitofrontalen Kortex somatomotorische und somatosensorische Bereiche des ZNS involviert werden. Nach 300 ms beginnt die affektgesteuerte mimische Gesichtsreaktion und die bewusste Wahrnehmung im sensomotorischen Kortex, der sowohl Reize in Form eines Feedbacks vom Körper erhält als auch vom orbitofrontalen Kortex und vom Gyrus temporalis superior (siehe Abb. 2).

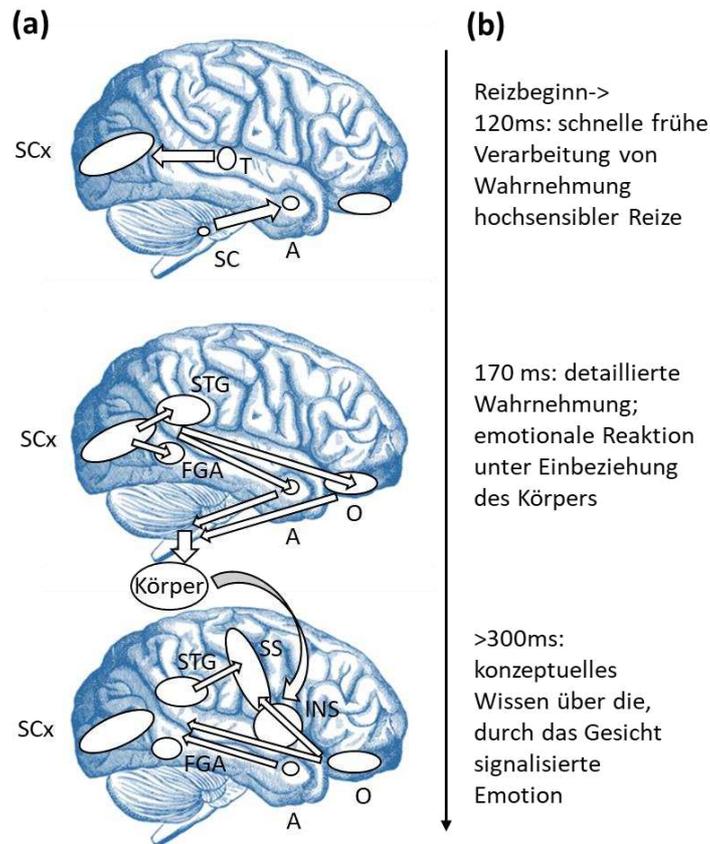


Abb. 2: **Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke.** (a) An der Emotionserkennung beteiligte Strukturen zu verschiedenen Zeitpunkten. A, Amygdala; FGA Fusiformes Gesichtsareal; INS, Insula; O, orbitofrontaler Kortex; SC, Superiorer Colliculus; SCx, Striataler Cortex; SS, Somatosensorischer Cortex; STG, Superiorer temporaler Gyrus; T, Thalamus. (b) Zeitlicher Verlauf der Erkennung von Emotionen, vom Einsetzen des Reizes (oben) über die Wahrnehmung bis zur endgültigen Erkennung der Emotion (unten). Versuche, die Wahrnehmung/Erkennung des Stimulus räumlich oder zeitlich zu lokalisieren, leiden unter der Tatsache, dass dieselben Gehirnstrukturen, die an den hier beschriebenen Prozessen beteiligt sind, auch bei der Erkennung von Emotionen aus anderen Klassen von Stimuli, wie z. B. Prosodie, aktiviert sein können (Adolphs 2002).

Phillips et al. (2003) beschreiben in ihrer Übersichtsarbeit zwei zerebrale Systeme, die unterschiedliche Aufgaben der Affektverarbeitung übernehmen. Zum einen das ventrale neuronale System, bestehend aus Amygdala, Insula, ventralem Striatum, ventralen Anteilen des anterioren Gyrus cinguli und präfrontalen Kortex, das dazu dient, externe oder interne Stimuli nach ihrem emotionalen Gehalt zu bewerten und die affektiven Zustände und vegetativen Reaktionen einzuleiten. Zum anderen das dorsale neuronale System, bestehend aus Hippocampus, dorsalen Regionen des anterioren Gyrus cinguli und dem präfrontalen Kortex, welches die affektiven Zustände reguliert. Somit ist das ventrale neuronale System für die Emotions-Entstehung zuständig und das dorsale neuronale System für die Emotionsregulation.

Der Prozess der Emotionsentstehung ist sehr komplex und bis heute nicht in allen Details erforscht.

1.3 Basisemotionen

In der psychologischen Forschung herrscht keine Einigkeit über die Eigenschaften von Basisemotionen. In einer Übersichtsarbeit von Ortony und Turner (1990) wurde sogar postuliert, dass Basisemotionen nicht existieren. Plutchik (1962) geht von einem Emotionsmodell aus, bei dem aus der Kombination der Basisemotionen Angst, Akzeptanz, Wut, Ekel, Erwartung, Freude, Überraschung und Trauer weitere Emotionen entstehen können. Paul Ekman geht von sieben Basisemotionen Angst, Ekel, Freude, Trauer, Überraschung, Verachtung und Wut aus und konnte deren Existenz vielfach empirisch nachweisen (Ekman 1984, 1992a, 1992b, 1999, 1972). Die Emotion Verachtung wird vielfach nicht als Basisemotion akzeptiert und zeigte geringe Erkennungsraten (Elfenbein & Ambady 2002). Der größte Konsens herrscht demnach aktuell für die sechs Emotionen Angst, Ekel, Freude, Trauer, Überraschung und Wut. Diese evolutionär erworbenen Basisemotionen ermöglichen die Anpassung von Wahrnehmung und Verhalten in spezifischen Situationen und haben sich phylogenetisch als günstige Reaktionen für das Überleben in einer potenziell gefährlichen Umwelt etabliert. Sie sind kulturell unabhängige, unwillkürlich ablaufende Programme mit jeweils typischem, evolutionär optimiertem adaptivem Verhalten, Ausdruck und Physiologie und können durch spezifische Auslöser hervorgerufen werden (Ekman 1992a).

1.4 Empathie

Der Empathie-Begriff wird in der Literatur auf unterschiedlichste Weise definiert. Sachse (2015) differenziert zwischen kognitiver und emotionaler Empathie.

- Die kognitive Empathie ist das rationale Verstehen der Gefühlslage des Gegenübers.
- Die emotionale Empathie ist die Fähigkeit sich in die Affektzustände des Gegenübers einzufühlen.

Dabei ist Empathie der psychische Prozess, bei dem eine Person versucht, die Verhaltensweisen, die Aussagen und die Empfindungen einer anderen Person aus der Sicht

dieser Person zu erkennen, zu verstehen und nachzuvollziehen. Von Bedeutung für das Einfühlen in die Gefühle Dritter ist nach Hatfield et al. (1994) die Gefühlsansteckung (*Emotional Contagion*). Demnach besteht die angeborene automatische Tendenz zwischen Kommunikationspartnern, die Mimik, Intonation, Prosodie und Körperhaltung zu synchronisieren. Durch die Synchronisierung wird eine Übertragung der Emotionen in das Gegenüber möglich beziehungsweise erleichtert. Diese Form des Aufeinander-Abstimmens ist essenziell für die menschliche Kommunikation. Dabei sind drei Mechanismen von großer Bedeutung:

1. Eine bewusste Reflexion über die emotionale Situation des Gegenübers
2. Eine konditionierte Reaktion auf das Verhalten des Gegenübers
3. Eine Mimikry-Reaktion und das körperliche Feedback

Die Mimikry bezieht sich dabei auf unwillkürliches nachahmendes Verhalten bezüglich Mimik, Körperhaltung und Intonation. Das körperliche Feedback ist die Wahrnehmung der Mimikry und die dadurch entstehenden affektiven Reize (Hatfield et al. 1992). Ekman (2010) definiert Empathie als die Reaktion auf das emotionale Erleben des Gegenübers. Ickes (1997) hingegen beschreibt Empathie als einen Vorgang, bei dem Gedächtnis, Beobachtung, Wissen und rationales Denken mit dem Ziel eingesetzt werden, einen Einblick in die Gefühlswelt und die Gedanken anderer Personen zu erhalten. In einer weiteren Definition von Decety und Jackson (2004) müssen drei Komponenten vorhanden sein, um Empathie zu ermöglichen: Erstens, die Emotionserkennung, bei der eigene und fremde Emotionen erkannt und voneinander unterschieden werden. Zweitens, die Perspektivenübernahme, bei der die Sichtweise des Gegenübers übernommen wird und drittens, das affektive Nacherleben, bei dem die Emotionen des Gegenübers nachempfunden werden. Fonagy und Target (1997) sehen die Fähigkeit zu mentalisieren in engem Zusammenhang mit Empathie. Beim Mentalisieren kann sich eine Person die eigenen mentalen Zustände und die des Gegenübers vorstellen und diese nachempfinden (Fonagy & Target 1997; Fonagy 2015).

1.5 Mimikry

Mimikry beschreibt das Nachahmen der Mimik, der Sprache oder der Körperhaltung zwischen zwei Personen (Hess et al. 1999). Hatfield et al. (1994) gehen davon aus, dass die Wahrnehmung der im Körper stattfindenden Mimikry-Reaktion zu einer Gefühlsansteckung

führt und somit das intuitive Verständnis und Nachvollziehen der Affektlage des Gegenübers erleichtert. Die *Embodiment-Theorie* beschreibt in ähnlicher Weise eine wechselseitige Beziehung zwischen Körper und Psyche. Nicht nur intrapsychische Prozesse beeinflussen somit den Körper, sondern auch Prozesse, die sich im Körper abspielen, haben einen Einfluss auf die Psyche (Shapiro 2019). Es konnte gezeigt werden, dass die Emotionserkennung des Betrachters präziser ist, wenn dessen Mimik und die zu erkennende Emotion kongruent sind (Niedenthal 2007). Ein weiteres Beispiel für Mimikry ist, wenn zwei Personen, die sich gegenüber sitzen, die Körperhaltung des anderen annehmen, um sich zu synchronisieren (Chartrand & Bargh 1999). Im Bereich der fazialen Mimikry läuft dieser Prozess sehr schnell ab und kann mittels Elektromyographie bereits nach 200-400 ms nachgewiesen werden (Dimberg & Thunberg 1998; Dimberg et al. 2000). Bei der fazialen Mimikry kommt es zu einer wechselseitig kongruenten mimischen Reaktion auf den affektiven Gesichtsausdruck des jeweiligen Gegenübers (Seibt et al. 2015). Lundqvist (1995) bezeichnet sie als eine sichtbare Reaktion der emotionalen Ansteckung. Es konnte bereits für verschiedene mimische Muskeln und Affekte gezeigt werden, dass eine Mimikry-Reaktion stattfindet (Wingenbach et al. 2020). Sie läuft automatisch und unbewusst ab, das heißt, dass die Affekte des Gegenübers nicht bewusst wahrgenommen werden müssen (Chartrand & Bargh 1999). Bereits unbewusst wahrgenommenes affektreiches Stimulusmaterial löst eine Mimikry-Reaktion aus (Dimberg et al. 2000; Neumann et al. 2014).

Die physiologischen Prozesse, die zur Mimikry führen, sind noch nicht eindeutig geklärt. Ein Erklärungsmodell geht davon aus, dass die Mimikry auf dem sogenannten *Perception-Behavior-Link* basiert. Dabei kommt es beim Beobachten eines Verhaltens zu einer Aktivierung ähnlicher Hirnregionen wie bei der Durchführung des Verhaltens. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Verhalten vom Beobachter ebenfalls durchgeführt wird (Chartrand & Bargh 1999). Die Spiegelneuronentheorie trifft eine ähnliche Aussage. Hierbei kommt es beim Betrachten eines Bewegungsvorganges zur Aktivierung der gleichen neuronalen Netzwerke des motorischen Kortex, die auch für die Ausführung des Bewegungsvorgangs nötig sind (Di Pellegrino et al. 1992). Dieser Zusammenhang wurde zunächst in Tierversuchen mit Primaten entdeckt und wird heute ebenfalls beim Menschen vermutet (Rizzolatti et al. 2002). Es bleibt allerdings unklar, wie groß die Rolle der Spiegelneuronen für das menschliche Verhalten ist (Hickok 2014).

1.6 Faziale Mimikry

Mimikry und insbesondere die faziale Mimikry werden als Vorstufen der Empathie betrachtet, da sie das Nachempfinden von Gefühlen des Gegenübers maßgeblich fördern (Hess & Fischer 2014; Blair et al. 1999). Es konnte gezeigt werden, dass eine Blockierung der fazialen Mimikry zu einer Verschlechterung der Emotionserkennung führt. Daher geht man davon aus, dass sie das Erkennen emotionaler Gesichtsausdrücke sowohl hinsichtlich der Geschwindigkeit als auch bezüglich der Genauigkeit unterstützt (Borgomaneri et al. 2020; Oberman et al. 2007).

Aus evolutionsbiologischer Perspektive ist es wahrscheinlich, dass die faziale Mimikry einen Überlebensvorteil darstellt. Sie unterstützt eine schnelle Abstimmung innerhalb sozialer Gruppen bezüglich gemeinsamer Ziele oder Gefahren, ohne auf Sprache angewiesen zu sein (Chartrand et al. 2006). War ein Individuum dazu in der Lage, innerhalb weniger Millisekunden Affekte wie Angst bei anderen Menschen zu erkennen, konnte es sich schnell auf eine mögliche Gefahr einstellen. Außerdem erleichtert die faziale Mimikry den Aufbau und Erhalt kooperativer sozialer Kontakte, da sie in der Regel als affiliatives Verhalten wahrgenommen wird (Hatfield et al. 1992; Hess & Fischer 2014; Drimalla et al. 2019). Faziale Mimikry unterstützt so die Bildung sicherer und langfristiger sozialer Bindungen, da sie das Nachempfinden des affektiven Erlebens des Gegenübers und somit das Verständnis füreinander erleichtert (Hess & Fischer 2014). Interaktionspartner werden zudem positiver bewertet, wenn sie die Mimik des Gegenübers leicht nachahmen. Dadurch unterstützt die faziale Mimikry die Akzeptanz eines Individuums durch die Gruppe (Chartrand & Bargh 1999). Evolutionär ist dies von Bedeutung, da dadurch der Gruppenzusammenhalt gestärkt wird und gemeinsame Ziele leichter erreicht werden können. (Baumeister & Leary 1995).

Die faziale Mimikry hat eine bindungsfördernde Wirkung, da hedonische Affekte mit höherer Wahrscheinlichkeit gespiegelt werden als anhedonische Affekte (Hess & Fischer 2014). So konnte gezeigt werden, dass in sozialen Situationen unter fremden Individuen Lächeln mit 53 % deutlich häufiger zu einer Mimikry-Reaktion führt als ein Stirnrunzeln, das nur in 7 % der Fälle gespiegelt wird (Hinsz & Tomhave 1991).

Im sozialen Kontext liegen verschiedene Faktoren vor, die die Auftrittswahrscheinlichkeit von fazialer Mimikry verstärken oder abschwächen. So führen der Wille zur Integration in eine soziale Gruppe, ein interdependentes Selbstbild, Empathiefähigkeit (Chartrand et al. 2006), Gruppenzugehörigkeit (van der Schalk et al. 2011) und eine harmonische Beziehung häufiger

zum Auftreten von fazialer Mimikry (Hatfield et al. 1994). Das Vorliegen von Antipathie und eine emotionale Abgrenzung dem Interaktionspartner gegenüber (van der Schalk et al. 2011) sowie ein independentes Selbstbild, führen hingegen zu einer verringerten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von fazialer Mimikry. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass eine positive Korrelation zwischen der Höhe des Oxytocin-Spiegels und der Auftrittswahrscheinlichkeit von fazialer Mimikry vorliegt. Ein erhöhter Spiegel des Bindungshormons führt also zu einer Verstärkung der Bindung und damit einhergehend mit stärker ausgeprägter fazialer Mimikry (Pavarini et al. 2019).

Von hoher Relevanz ist die faziale Mimikry bei der Eltern-Kind-Kommunikation. So führt ein reduziertes Mimikry-Verhalten der primären Bezugsperson zu einer gestörten Interaktion mit dem Kind. Klinisch relevant in diesem Zusammenhang ist die postpartale Depression, welche bei der Mutter zu einer Beeinträchtigung der fazialen Mimikry und somit der Eltern-Kinder-Interaktion führen kann. Dadurch kann es bei Andauern der postpartalen Depression zu erheblichen Entwicklungsrisiken des Kindes kommen (Weinberg & Tronick 1996; Tronick et al. 1978). Zudem konnte ein enger Zusammenhang zwischen dem Bindungsstil der Eltern und der Eltern-Kind-Kommunikation nachgewiesen werden. Hier zeigte sich, dass sicher gebundene Eltern im Vergleich zu unsicher gebundenen Eltern angemessener und feinfühlicher auf die angeborenen Affekte des Kindes reagieren (Spangler et al. 2010). Zudem ist Faziale Mimikry sehr früh im Leben ein elementarer Bestandteil für die Ausbildung einer sicheren Bindung zwischen Eltern und Kind, da bereits bei Neugeborenen faziale Mimikry nachgewiesen werden kann. Die Affekte Freude, Angst und Überraschung können bereits aktiv imitiert werden (Field et al. 1982). So konnten Isomura und Nakano (2016) nachweisen, dass bei fünf Monate alten Säuglingen faziale Mimikry durch akustische und visuelle Reize auslösbar ist.

1.7 Messung fazialer Mimikry

1.7.1 EMG

Der Goldstandard zur Messung fazialer Mimikry ist die elektromyographische (EMG) Messung der Muskelaktivität der mimischen Muskulatur. Die EMG ist dazu in der Lage, auch kleinste Veränderungen der Muskelaktivität zu detektieren. Dadurch können auch Muskelaktivitäten gemessen werden, die noch zu keiner sichtbaren Veränderung der Mimik führen.

Zur elektromyographischen Differenzierung hedonischer von anhedonischen Affektzuständen sind die beiden mimischen Muskeln M. zygomaticus major und der M. corrugator supercilii als Referenzmuskeln geeignet (Dimberg 1982; Jäncke 1992; Vrana 1993; Larsen et al. 2003). Beim Lächeln bewirkt der M. zygomaticus major eine Bewegung der Mundwinkel nach außen und oben, der M. corrugator supercilii hingegen ein Zusammenziehen der Augenbrauen.

Bilder von Gesichtern mit hedonischer Affektexpression (z.B. Freude) führen zu einer Erhöhung der Aktivität im M. zygomaticus major, Bilder mit anhedonischer Affektexpression (z.B. Wut) führen zu einer Erhöhung der Aktivität im M. corrugator supercilii (Dimberg 1982). Es konnte gezeigt werden, dass es bei der Präsentation hedonischer Affekte zusätzlich zu einer Hemmung des M. corrugator supercilii kommt. Im Gegensatz dazu führt die Präsentation anhedonischer Affekte zu keiner Hemmung des M. zygomaticus major. Der M. corrugator supercilii unterliegt somit einer stärkeren Tendenz, einen Mimikry-Effekt zu zeigen (Larsen et al. 2003).

1.7.2 Facial Action Coding System

Es konnte gezeigt werden, dass beim Auftreten spezifischer Affekte eine spezifische Veränderung der mimischen Muskulatur erfolgt (Ekman & Friesen 1978b). Daraufhin wurde das *Facial Action Coding System* (FACS) entwickelt, das jeder separaten Gesichtsbewegung eine sogenannte *action unit* (AU) zuweist. Insgesamt wird die mimische Muskulatur so in 44 AUs unterteilt (Ekman & Friesen 1976). In Tabelle 1 sind exemplarisch einige der AUs aufgelistet. Abgeleitet vom FACS wurde das *Emotional Facial Action Coding System* (EMFACS) vorgestellt, mit dem sich aus der Kombination von bestimmter AUs das Vorliegen spezifischer affektiver Gesichtsausdrücke bestimmen lässt (Friesen & Ekman 1983).

AU	Bezeichnung	AU	Bezeichnung
1	Heben der Augenbrauen innen	16	Nach unten Ziehen der Mundwinkel
2	Heben der Augenbrauen außen	17	Anheben des Kinns
4	Zusammenziehen der Augenbrauen	18	Spitzen der Lippen
5	Heben der oberen Augenlider	20	Dehnen der Lippen
6	Heben der Wangen	22	Trichterförmige Lippen
7	Spannen der Augenlider	23	Spannen der Lippen
9	Rümpfen der Nase	24	Zusammenpressen der Lippen
10	Anheben der Oberlippe	25	Öffnen der Lippen
11	Anheben der äußeren Oberlippe	26	Fallenlassen des Unterkiefers
12	Anheben der Mundwinkel	27	Weites Öffnen des Mundes
13	Spitzes Anheben der Mundwinkel	43	Schließen der Augen
14	Einziehen der Mundwinkel	45	Blinzeln mit beiden Augen
15	Herabziehen der Mundwinkel	46	Zwinkern mit einem Auge

Tabelle 1: **Action Units nach Ekman:** (Ekman und Friesen 1976)

Es konnte gezeigt werden, dass in der Anwendung des FACS ausgebildete Personen faciale Mimikry erkennen können (Sato et al. 2019).

1.7.3 Automatisierte faciale Emotionserkennung

Es existieren unterschiedliche computerbasierte Anwendungen, die mithilfe verschiedener Verfahren die facial exprimierten Emotionen einer Person automatisiert detektieren können. Die leistungsstärksten Anwendungen arbeiten mit künstlicher Intelligenz, welche auf *deep learning* Systemen basieren und mit *convolutional neural networks* (Künstliche neuronale Netzwerke für die Verarbeitung von Bilddateien) arbeiten (Gu et al. 2018), wohingegen die konventionellen Anwendungen auf Histogramm-orientierten Gradienten basieren (Gu et al.

2018; Shu et al. 2011). Eine weitere Unterteilung der Ansätze erfolgt durch die Differenzierung zwischen statischer oder sequenzieller Bildverarbeitung. Bei der Verarbeitung eines statischen Bildes enthalten die zur Bestimmung des Gesichtsausdrucks verwendeten Vektoren nur Informationen aus jeweils einem Bild. Dem gegenüber können bei der Analyse von Bild-Sequenzen zusätzlich zeitliche Informationen verarbeitet und Veränderungen berücksichtigt werden. So können moderne Algorithmen mit einer sogenannten *rolling baseline* arbeiten. Dies ist ein Vorgehen, bei dem in vorgegebenen zeitlichen Abständen der Nullpunkt der fazialen Messpunkte neu festgelegt wird. Dadurch können interindividuelle Unterschiede besser berücksichtigt werden (McDuff et al. 2016; Gu et al. 2018).

Für alle o.g. Verfahren erfolgt vor der Auswertung eine Vorbereitung des Bildmaterials. Dabei spielen mehrere Faktoren wie die Lichtverhältnisse, die Anzahl der zu erkennenden Gesichter, Blickrichtung bzw. Kopfeigung und Qualität des Bildmaterials eine Rolle. Zunächst erfolgt die Detektion des Gesichts, bei der nur die für die Messung relevanten Bereiche des Bildes verbleiben und die nicht relevanten Bereiche zugunsten der Effizienz der folgenden Schritte eliminiert werden. Daraufhin werden im nächsten Schritt die für die Affekt-Bestimmung wichtigen Merkmale durch Punkte markiert. Bei diesem *facial feature point detection* genannten Schritt werden Augenbrauen, Augen, Nase, Mund und Kinn markiert (siehe Abb. 3) (Candra Kirana et al. 2018; Kartali et al. 2018).

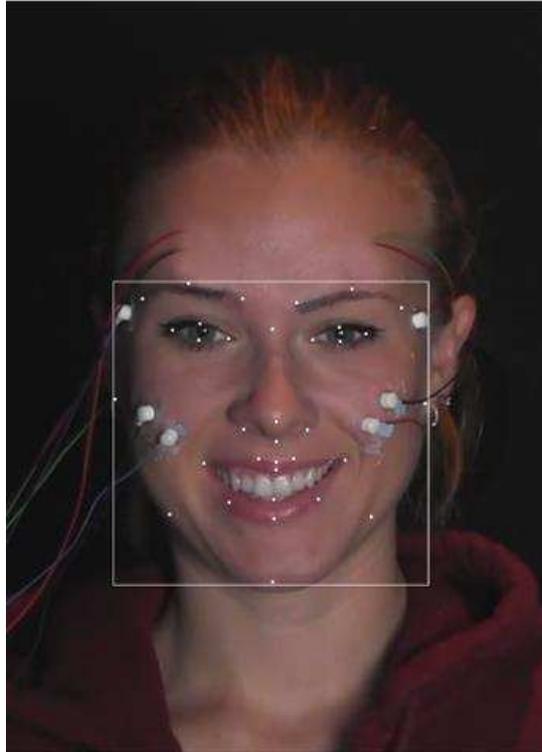


Abb. 3: **Facial feature point detection.** Reduktion der affektrelevanten Gesichtsmerkmale auf 34 Messpunkte zur Bestimmung der *action units* nach FACS

Die in der vorliegenden Studie verwendete Software Affdex (Senechal et al. 2015) wurde von Affectiva entwickelt und auf der iMotions-Plattform verwendet. Sie verspricht Benutzerfreundlichkeit und Synchronisation mit anderen psychophysiologischen Messungen. Die Software kann zur synchronen Messung und Auswertung verschiedener psychophysiologischer Signale verwendet werden. Sollte eine valide quantitative Messung und Erkennung affektexpressiver Mimik und von fazialer Mimikry erfolgreich möglich sein, könnten mit dieser Software komplexe experimentelle Paradigmen benutzerfreundlich umgesetzt werden. Affdex basiert auf einem *convolutional neural network* und gehört somit zu einem der leistungsstärkeren Verfahren zur automatisierten Erkennung von emotionalen Gesichtsausdrücken. Wie alle *deep learning* Ansätze wurde das System zunächst anhand von bekannten Datensätzen trainiert. Affdex wurde anhand von ca. 27.000 Videos trainiert, in denen affektexpressive Gesichter zunächst von humanen FACS-Ratern hinsichtlich der Aktivität der unterschiedlichen *action units* beurteilt wurden. In einem weiteren Schritt wurde die kombinierte Aktivität spezifischer *action units* verwendet, um die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins der Basisaffekte auf Grundlage von EMFACS abzuleiten (McDuff et al. 2016). In Abbildung 4 ist ein Bildschirm-Foto der Affdex-Software während einer videografischen Messung abgebildet. Bei dem ausgewählten Beispiel handelt es sich um ein fünf Sekunden langes Video eines sich in seiner Affektexpression verändernden Gesichts. Unterhalb des

Videos befinden sich die Messungen über den Zeitverlauf von den zuvor ausgewählten *action units* und Basisaffekten.

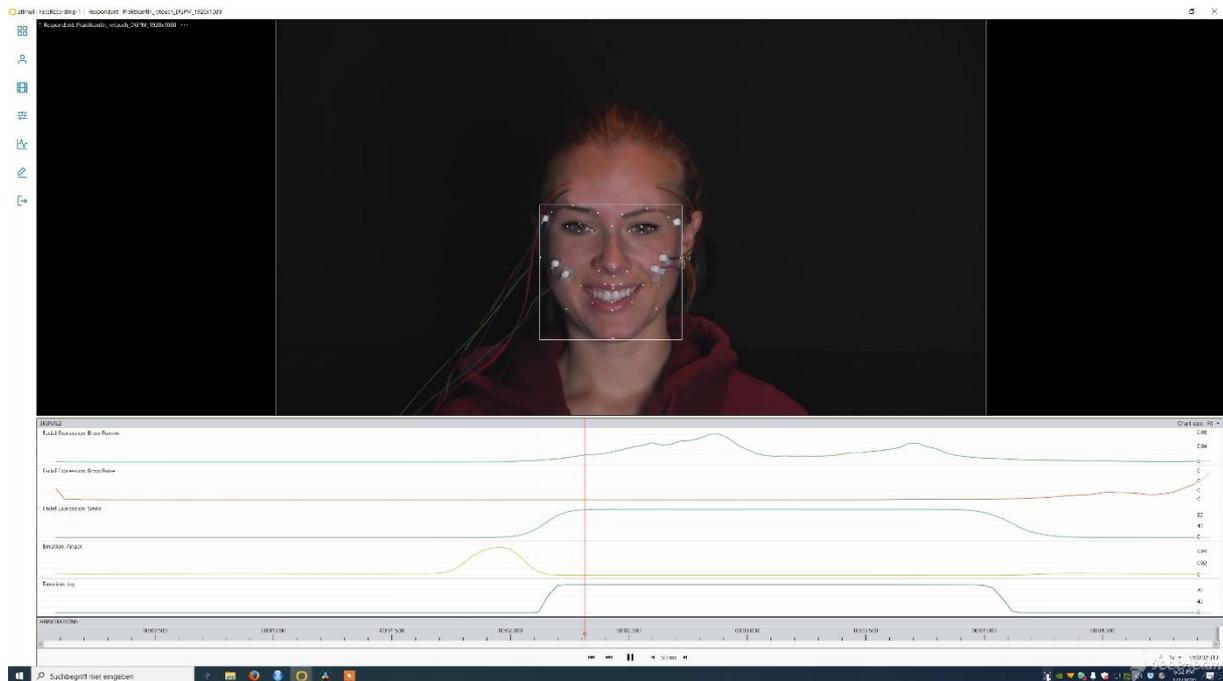


Abb. 4: **Affdex-Software.** Bildschirm-Foto während einer videografischen Messung. Im oberen Bereich befindet sich das Video, welches videografisch ausgewertet wird. Unterhalb des Videos sind die Verläufe der Auftrittswahrscheinlichkeiten in Prozent [%] über die Zeit von den *action units* *Brow Furrow*, *Brow Raise* und *Smile* und von den Basisaffekten *Anger* und *Joy* (von oben nach unten) zu sehen.

Die genaue Funktionsweise des zugrunde liegenden Algorithmus wird jedoch nicht von Affectiva offengelegt, sodass es für die Nutzer schwierig ist, die Software im Detail wissenschaftlich zu untersuchen.

Es gibt bereits einige Studien, die verschiedene *automated facial coding* (AFC) Softwareprodukte hinsichtlich bestimmter Merkmale untersucht haben. Stöckli et al. (2018) vergleichen Affdex mit der AFC-Software Facet und kommen zu dem Schluss, dass Facet Schwierigkeiten bei der Erkennung subtiler mimischer Affektexpression hat. In einer anderen Studie wurden Probanden gebeten, glückliche und wütende Gesichter nachzuahmen, während sowohl Affdex als auch die EMG-Aktivität des M. zygomaticus und des M. corrugator gemessen wurden. Es wurde eine hohe positive Korrelation zwischen der Wahrscheinlichkeit von Freude und der Aktivität des M. zygomaticus und zwischen Wut und der Aktivität des M. corrugator festgestellt (Kulke et al. 2020). Während hier intensiv realisierte, prototypische affektexpressive Gesichtsausdrücke gemessen wurden, vergleichen andere Studien (Höfling et al. 2021) die Fähigkeit der AFC-Software Facereader (Noldus), subtile Affektausdrücke im

Vergleich zu EMG zu messen. Hier wurden die Probanden nicht dazu aufgefordert, die Affektstimuli zu imitieren, sondern dazu, sich passiv zu verhalten. Es gab eine kongruente EMG-Aktivität für Wut und Freude, was auf eine Reaktion der entsprechenden mimischen Muskulatur hinweist, während die Facereader-Software Schwierigkeiten hatte, die negative Valenz für die Wut-Reize zu messen.

Die Fähigkeit von Affdex, speziell faziale Mimikry zu messen, wurde bisher nicht untersucht. Darüber hinaus gibt es bisher keine Studien darüber, inwieweit die AFC-Messungen für die *action units lip corner puller* und *brow lowerer* mit der EMG-Aktivität des M. zygomaticus und des M. corrugator korrelieren. Die Frage ist von Interesse, da diese Muskeln die zugrunde liegenden anatomischen Strukturen für die *action units* darstellen. In der vorliegenden Studie wird versucht, diese offenen Fragen zu beantworten.

1.8 Ziele der Arbeit

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Leistungsfähigkeit der Software Affdex zur Messung der fazialen Mimikry-Reaktionen auf Freude- und Wut-Stimuli zu ermitteln. Dazu wurde sie mit der, für diesen Zweck bereits etablierten, Elektromyographie (Dimberg 1982) verglichen.

Mit der vorliegenden Studie sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1. Ist Affdex dazu in der Lage, die Mimikry-Reaktion auf einen Freude-Stimulus zu messen und korreliert das Messergebnis mit der EMG-Messung für den M. zygomaticus?
2. Ist Affdex dazu in der Lage, die Mimikry-Reaktion auf einen Wut-Stimulus zu messen und korreliert das Messergebnis mit der EMG-Messung für den M. corrugator?
3. Wie leistungsstark ist Affdex beim Messen von fazialer Mimikry verglichen mit der EMG hinsichtlich Genauigkeit, Geschwindigkeit, und Sensibilität.

Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse wurden folgende Hypothesen geprüft:

1. Die elektromyographische Aktivität des *M. zygomaticus* korreliert mit der *action unit lip corner puller* und dem Messwert für *joy* in der Affdex-Messung.
2. Die elektromyographische Aktivität des *M. corrugator supercilii* korreliert mit der *action unit brow lowerer* und dem Messwert für *anger* in der Affdex-Messung.
3. Die Elektromyographie erkennt faziale Mimikry hinsichtlich Genauigkeit, Geschwindigkeit und Sensibilität besser als Affdex.

Diesen Fragen ist die folgende wissenschaftliche Publikation (Westermann et al. 2024) gewidmet.

- 2 Publikation: Measuring facial mimicry: Affdex vs. EMG, Westermann, J.-F., Schäfer, R., Nordmann, M., Müller, T., Franz, M.

RESEARCH ARTICLE

Measuring facial mimicry: Affdex vs. EMG

Jan-Frederik Westermann^{1*}, Ralf Schäfer, Marc Nordmann, Peter Richter, Tobias Müller, Matthias Franz

Medical Faculty, Clinical Institute for Psychosomatic Medicine and Psychotherapy, University Hospital of the Heinrich-Heine-University, Düsseldorf, Germany

* westermannjan@yahoo.de



OPEN ACCESS

Citation: Westermann J-F, Schäfer R, Nordmann M, Richter P, Müller T, Franz M (2024) Measuring facial mimicry: Affdex vs. EMG. PLoS ONE 19(1): e0290569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569>

Editor: Peter A. Bos, Leiden University, NETHERLANDS

Received: December 23, 2022

Accepted: August 9, 2023

Published: January 2, 2024

Peer Review History: PLOS recognizes the benefits of transparency in the peer review process; therefore, we enable the publication of all of the content of peer review and author responses alongside final, published articles. The editorial history of this article is available here: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569>

Copyright: © 2024 Westermann et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All Data files are available from the Figshare database: Links: S1_Measuring Facial Mimicry Affdex vs. EMG_Psychometric Data https://figshare.com/articles/dataset/Untitled_ItemMeasuring_Facial

Abstract

Facial mimicry is the automatic imitation of the facial affect expressions of others. It serves as an important component of interpersonal communication and affective co-experience. Facial mimicry has so far been measured by Electromyography (EMG), which requires a complex measuring apparatus. Recently, software for measuring facial expressions have become available, but it is still unclear how well it is suited for measuring facial mimicry. This study investigates the comparability of the automated facial coding software Affdex with EMG for measuring facial mimicry. For this purpose, facial mimicry was induced in 33 subjects by presenting naturalistic affect-expressive video sequences (anger, joy). The response of the subjects is measured simultaneously by facial EMG (corrugator supercillii muscle, zygomaticus major muscle) and by Affdex (action units lip corner puller and brow lowerer and affects joy and anger). Subsequently, the correlations between the measurement results of EMG and Affdex were calculated. After the presentation of the joy stimulus, there was an increase in zygomaticus muscle activity (EMG) about 400 ms after stimulus onset and an increase in joy and lip corner puller activity (Affdex) about 1200 ms after stimulus onset. The joy and the lip corner puller activity detected by Affdex correlate significantly with the EMG activity. After presentation of the anger stimulus, corrugator muscle activity (EMG) also increased approximately 400 ms after stimulus onset, whereas anger and brow lowerer activity (Affdex) showed no response. During the entire measurement interval, anger activity and brow lowerer activity (Affdex) did not correlate with corrugator muscle activity (EMG). Using Affdex, the facial mimicry response to a joy stimulus can be measured, but it is detected approximately 800 ms later compared to the EMG. Thus, electromyography remains the tool of choice for studying subtle mimic processes like facial mimicry.

1 Introduction

Mimicry describes the imitation of facial expressions, intonation, and body posture between two interaction partners [1]. Facial mimicry is of particular importance because it has a specific emotional meaning as it represents a congruent mimic response to an emotional facial expression [2]. It is detectable in the electromyogram (EMG) after only 200–400 ms [3, 4] and occurs unconsciously and automatically [5]. Facial mimicry has been shown to be triggered even when affective cues are perceived only unconsciously [4, 6].

Mimicry_Automated_Facial_Coding_vs_EMG_Psychometric_Data/21777281 S2_Measuring Facial Mimicry Affdex vs. EMG_EMG Data https://figshare.com/articles/dataset/Measuring_Facial_Mimicry_Automated_Facial_Coding_vs_EMG_EMG_Data/21777275 S3_Measuring Facial Mimicry Affdex vs. EMG_Affdex Data https://figshare.com/articles/dataset/Measuring_Facial_Mimicry_Automated_Facial_Coding_vs_EMG_Affdex_Data/21777200 S4_Measuring Facial Mimicry Affdex vs. EMG_Code for Statistics in R https://figshare.com/articles/software/S4_Measuring_Facial_Mimicry_Affdex_vs_EMG_Code_for_Statistics_in_R/22639150.

Funding: The authors received no specific funding for this work.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

The role of facial mimicry in the recognition of others' emotions is controversial. In a widely accepted concept, facial mimicry leads to emotional contagion through a feedback mechanism [7]. This is thought to improve affect perception and thus the ability to empathize. This concept has been further developed as part of an embodiment approach to emotion recognition [8]. According to this, facial mimicry facilitates the decoding of observed emotions [9]. This hypothesis is supported by the fact that it has been shown that emotion recognition can be impaired when the subject's facial mimicry is impaired. [10, 11]. Similarly, an increase in mimic muscle activity (e.g., due to a task such as biting on a pen or holding a pen with the lips), may result in lower accuracy in facial expression recognition. In contrast, there is also evidence that facial mimicry does not improve emotion recognition [12, 13] and no consistent evidence for the feedback hypothesis could be found in reviews [14]. A broader consensus exists for the assumption that mimicry has a positive influence on social relationships [15]. It has been demonstrated that facial mimicry occurs to varying degrees depending on the situation in which the subject finds himself. Thus, the probability for facial mimicry to occur is higher when there is a desire to cooperate and lower in a competitive situation [16, 17]. According to this assumption, facial mimicry can be understood as an affiliative behavior and supports the establishment and maintenance of interpersonal relationships. [18–20]. Interaction partners are perceived as more likable when they subtly imitate the others behavior [21]. This makes it easier for an individual to receive acceptance in a group. The individual thus satisfies his or her need to belong to the group and, at the same time, the collective achievement of relevant goals is facilitated [22]. Facial mimicry occurs with varying likelihood depending on the valence of the affect. Consistent with an attachment-reinforcing function, smiling is more frequently imitated as an expression of a happy facial expression [20]. In encounters between strangers, a frown (7%) is imitated significantly less often than a smile (53%) [23].

The gold standard for measuring facial mimicry is EMG measurement of affect-relevant mimic target muscles. Measurement of EMG activities of the zygomaticus and corrugator muscles is commonly used to distinguish between hedonic and anhedonic affects [24–26]. Activation of the corrugator muscle results in a frown and the contraction of the zygomaticus muscle results in a smile. Dimberg [24] showed that the presentation of happy faces led to an increase in EMG activity in the zygomaticus muscle and the presentation of angry faces led to an increase in EMG activity in the corrugator muscle. While zygomaticus and corrugator muscles are good indicators of the valence of mimicry, it has been shown that many emotions are subject to a specific pattern of muscle activity and that this pattern is also reflected in the mimicry response [27].

It has also been shown that the mimic response to angry and happy faces results in visible congruent changes in facial expression [28]. This allows to measure facial mimicry using the Facial Action Coding System (FACS) [29]. The FACS is currently the most comprehensive method for coding facial expressions. Using videotaped faces, specially trained human coders can encode so-called action units. According to FACS, there are a total of 44 action units, with each action unit describing a specific facial mimic activity. Ekman assumes that certain combinations of action units can be used to infer the basic affects of fear, disgust, joy, sadness, surprise, and anger. From this, Ekman derived his own coding system, the Emotional Facial Action Coding System (EMFACS) [30]. Although EMFACS has never been published in a peer review process, it is widely used.

Besides the aspects mentioned above, the measurement of facial mimicry is also relevant from a clinical perspective. Some mental disorders that lead to impaired interpersonal communication and thus to distress and further mental comorbidities are associated with altered facial mimicry. For example, slowed [31] or decreased [32] facial mimicry has been demonstrated in patients with autism on EMG. Individuals with alexithymia [33] and Parkinson's

disease [34] also exhibit a reduced facial mimicry response. Other mental disorders with impaired facial mimicry include schizophrenia [35, 36], borderline personality disorder [37], and depression [38]. The extent to which impaired facial mimicry moderates the severity and distress of these disorders is debated.

As already described, the measurement of facial mimicry is technically demanding. Measurement by EMG requires a complex measuring apparatus and experience in the application and interpretation of EMG signals. The analysis of video footage by FACS requires specially trained FACS raters and is very time-consuming. Recent methods for machine-learning assisted videographic measurement of mimic activity promise time-efficient and easy-to-interpret analysis. This could open up a large area of application in affect research.

The software Affdex (developed by Affectiva) investigated in this study is used on the iMotions platform. Affdex is one of the most widely used automated facial coding software. It promises ease of use and synchronization with other psychophysiological measures. It can be used to synchronously measure and evaluate various psychophysiological signals. Should a validation for the measurement of facial mimicry be successful, complex experimental paradigms could thus be performed in a relatively user-friendly manner. Affdex is based on a machine learning principle. A database of approximately 27,000 human FACS-encoded videos of affect-expressive faces is available. To evaluate the likelihood of activity of action units of new videos, Affdex compares them with the database [39]. In a further step, the combined activity of specific action units is used to derive the probability of the presence of a basic affect based on EMFACS [39]. However, the exact operation of the underlying algorithm is not disclosed, making it difficult for researchers to examine the software in detail.

There are already some studies available that have investigated different Automated Facial Coding (AFC) software concerning to certain features. Stöckli et al. [40] compare Affdex with the AFC software Facet and conclude that AFC has difficulties in detecting subtle affects. In another study, subjects were asked to mime happy and angry faces while both Affdex and EMG activity of zygomaticus and corrugator muscle were measured. A high positive correlation was found between the probability of joy and zygomaticus muscle activity and between anger and corrugator muscle activity [41]. While strong prototypical affect expressions were measured here, Höfling et al. [42] compare the ability of the AFC software Facereader (Noldus) with EMG to measure subtle affect expressions. Here, subjects were not asked to imitate the affect stimuli, but to behave passively. There was a congruent EMG activity for anger and joy, indicating a facial mimicry response, whereas the Facereader software had difficulty measuring the negative valence for the anger stimuli.

The ability of Affdex to measure facial mimicry has not yet been investigated. Furthermore, there have been no studies to date on the extent to which the AFC measurement for the lip corner puller and brow lowerer action units correlate with the EMG activity of the zygomaticus and corrugator muscles. This question is of interest because these muscles represent the underlying anatomical structures for the action units. The present study attempts to answer these open questions.

The aim of this study is to compare electromyography with the Affdex AFC software for measuring facial mimicry response to angry and happy faces.

For this purpose, a healthy cohort was shown videos of faces dynamically accumulating affect over time. The stimulus material consisted of video sequences of adult faces showing the basic affects of anger and joy. EMG measurements of the zygomaticus and the corrugator muscles and Affdex measurements were performed simultaneously. Subsequently, EMG activity of the zygomaticus and corrugator muscles was directly compared to the FACS-oriented Affdex action units lip corner puller and brow lowerer [43]. This allows for a direct comparison of measurement sensitivity, as these action units represent the visible correlates to the underlying

muscles [29]. Affdex uses additional information from the face for the measurements besides the lip corner puller and brow lowerer action units. Therefore, EMG activity was additionally compared with affect probabilities for joy and anger measured by Affdex.

We expected a positive correlation between the EMG-activity of zygomaticus muscle and action unit lip corner puller for affect joy. We also expected a positive correlation between the EMG-activity of corrugator muscle and action unit brow lowerer for affect anger [41]. However, there is also evidence that measuring subtle affect expressions may be more difficult for the Affdex software [40, 42].

2 Materials and methods

This study is part of a study project on differences in facial responsiveness of alexithymic and non-alexithymic subjects using EMG and Affdex [33]. In the study project, the mimic responses to video sequences with dynamically animated affective facial expressions of adults and children (anger, joy, disgust, surprise, sadness) were investigated. In the present study, only the response of the healthy control group to the adult stimuli of joy and anger was examined. The extent to which the EMG activity of the zygomaticus and corrugator muscles correlated with the Affdex measurements of lip corner puller, joy, brow lowerer, and anger was investigated.

2.1 Psychometric instruments

To ensure a psychologically healthy subject sample, exclusion criteria were screened by two structured interviews (Structured Clinical Interview for DSM-IV (SCID), Toronto Structured Interview for Alexithymia (TSIA)), questionnaires (Short version of the Autism Spectrum Quotient (AQ-short), Beck Depression Inventory II (BDI-II), Patient Health Questionnaire (PHQ-9), 20-item Prosopagnosia Index (PI-20), Toronto Alexithymia Scale (TAS-20)), and functional tests in the laboratory immediately before the start of the experimental part of the study.

The Structured Clinical Interview for DSM-IV (SCID) [44] used to identify psychiatric diagnoses according to the Diagnostic and Statistical Manual Fourth Edition (DSM-IV). The SCID is divided into two parts. The first part captures DSM-IV Axis I disorders (SCID-I) and the second part captures DSM-IV Axis II personality disorders (SCID II). In this study, only schizoid personality traits were recorded for the SCID-II, thus excluding schizoid traits in the subjects.

The Toronto Structured Interview for Alexithymia (TSIA) [45] is an instrument used for clinical and scientific purposes to identify alexithymic disorders, the regulation and processing of affects. In each case, the respondent is asked to name a corresponding situation from his or her life for different cases. A detailed coding catalog allows a three-level assessment of alexithymia development per item. Only non-representative norm data are available to serve as a guide. Reliability estimates of intraclass correlation correspond to 0.90 ($p < 0.01$) and reliability estimates to 0.88 ($p < 0.01$). A combined use of TAS and TSIA is suggested for effective assessment of alexithymia [46].

The short version of the Autism Spectrum Quotient (AQ-short) [47] consists of the three factors: interaction and spontaneity, imagination and creativity, and communication and reciprocity. The internal consistency of the factors ranged from 0.65 to 0.87, and the sensitivity analysis resulted in a cut-off value of 18.

The Beck Depression Inventory II (BDI-II) [48] is a self-report questionnaire with 21 multiple-choice questions. Cut-offs for BDI-II are as follows: 0–13 points no or minimal depressive symptoms, 14–19 points mild, 20–28 points moderate, 29–63 points severe depressive

symptoms. Retest reliability during one week is $r = 0.93$ with internal consistency in clinical and non-clinical samples of $0.84 \leq \alpha \leq 0.94$.

The Patient Health Questionnaire (PHQ-9) [49] is a nine-item component of the PHQ. Each item can be scored as 0 (not at all), 1 (on a single day), 2 (more than half of the days), or 3 (almost every day). Overall, the PHQ-9 score ranges from 0 to 27. Major depression can be diagnosed if any of the items indicate depressed mood and 5 or more items have a score of 2 or higher. Internal reliability was Cronbach's $\alpha = 0.89$ in a representative primary care study.

The 20-item Prosopagnosia Index (PI-20) [50] is used to identify prosopagnosia traits. The index is a self-report instrument used to assess experience with face recognition. It is scored using a five-point scale (strongly agree to strongly disagree). The Cronbach's α of 0.96 shows a high internal consistency of the 20 items. Cut-off scores are 65–74 for mild, 75–84 for moderate and 85–100 for severe developmental prosopagnosia.

The Toronto Alexithymia Scale (TAS-20) [51] is a questionnaire that refers to people who tend to minimize emotional experience and focus attention externally and who have trouble describing and identifying emotions. The TAS-20 uses cut-off scoring ≤ 51 = nonalexithymia, ≥ 61 = alexithymia. Scores of 52 to 60 = possible alexithymia [52]. It is recommended to use the 33rd percentile corresponding to ≤ 45 (threshold for being surely nonalexithymic) and the 66th percentile value corresponding to ≥ 52 (threshold for being alexithymic) for experimental studies. To ensure correct group classification [53]. We were able to determine reliability coefficients Cronbach's $\alpha = .86$ for the TAS-20 from the screening sample ($N = 2924$).

2.2 Participants

Subjects were recruited via posters and advertisements on social networks. The study procedure and data protection regulations were described in detail to the cted parties. Each subject received financial compensation of 25 Euro for expenses and signed an informed consent form. Subsequently, subjects accessed an online questionnaire [54] in which sociodemographic variables (age, gender, siblings, education), the PHQ-9, and the TAS-20 were collected and severe neurological or psychiatric disorders were queried. Exclusion criteria were insufficient knowledge of the German language, left-handedness, age under 18 or over 50 years, serious medical conditions such as endocrine disorders or coronary heart disease, use of psychotropic drugs, vigilance disorders, substance abuse, visual disorders, neurological disorders (including neuropathy and botulinum toxin use), or psychiatric disorders. The non-alexithymic control group studied here was characterized by a TAS-20 sum score < 45 and originally included 38 participants. For technical reasons, 5 subjects were excluded from this study. Reasons for this were misplaced Affdex measurement points due to unfavorable lighting conditions or glasses although not every subject wearing glasses had to be excluded. Thus, 33 participants between the ages of 20 and 42 years (mean age = 25.24, SD = 5.73, SE = 0.99, 22 females, 11 males) were included. The clinically defined thresholds of AQ-short (cut-off value = 18), BDI-II (cut-off value = 13), PI20 (cut-off value = 65), PHQ-9 (cut-off value = 9) and TAS-20 (cut-off value = 51) were not exceeded by any of the subjects. The results of the subjects' psychometric tests are shown in Table 1.

2.3 Stimulus material

The stimulus material consisted of video sequences of adult faces showing the five basic affects (fear, joy, sadness, surprise, anger). Each video began with a neutral face that continuously built up a maximum affect expression (apex) over 2 seconds, which was presented for one second afterwards. Original portraits of adult individuals were taken from the Karolinska Directed Emotional Faces image set [55]. Deindividualized affect-expressive portraits for each

Table 1. Descriptive statistics, n = 33.

Instrument	mean	sd	median	se
AQ-short	4.64	2.29	4.00	0.40
BDI-II	2.00	2.21	2.00	0.38
PI20	34.39	7.60	33.00	1.32
PHQ-9	2.73	2.00	3.00	0.35
TAS-20	31.94	5.34	31.00	0.93

AQ-short, Autism-Quotient short version sum score, cut-off value = 18; BDI-II, Beck Depression Inventory II sum score, cut-off value = 13; PHQ-9, 9-item depression module of the Patient Health Questionnaire sum score, cut-off value = 9; PI20, 20 item prosopagnosia index sum score, cut-off value = 65; sd, standard deviation; se, standard error; TAS-20, 20-item Toronto Alexithymia Scale sum score, cut-off value = 51.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.t001>

gender and affect (five basic affects and neutral) were developed from the most valid portraits for each affect category [56]. This was realized by a digital overlay of the individual faces and resulted in affect prototypical facial patterns of basic affects in a purified way. These averaged affect prototypical portraits served as visual source material for the creation of video sequences of each basic affect and gender. For this reason, a software based morphing algorithm was used, which generated a naturalistic affect enrichment by interpolating video frames from neutral to maximal affect expression within 2000 ms. The final videos show dynamic sequences of naturalistic sliding facial affect amplification (2000 ms), followed by a static presentation of the apex of each basic affect (1000 ms). Both the averaged portraits and the dynamic video sequences were created and edited by using the software package Abrasoft Fantamorph Deluxe 5. The whole process of stimulus development and the proof of validity of the dynamic stimulus material was demonstrated by Müller et al. [57]. Here, specific mimic responses could be detected for each basic affect.

2.4 Procedure

The study was approved by the Ethics Committee of the Medical Faculty of Heinrich Heine University under the registration number 2016116024. Subjects were recruited via posters and advertisements on social networks. The study procedure and data protection regulations were described in detail to the interested parties. Each subject received financial compensation of 25 Euro for expenses and signed an informed consent form. Before starting the experiment, all participants had to pass simple functional tests for checking the reactivity and function of the facial nerve and visual perceptual ability. Subsequently, subjects completed the various psychometric instruments and clinical interviews (TAS-20, BDI-II, SCID, TSIA, PI20, and AQ-short). Only participants whose test scores were below the defined clinical threshold were admitted to the study. At the beginning of the experiment, subjects were shown the investigation cabin and it was explained that affect-expressive faces would be presented as videos and "bodily signals" would be measured simultaneously. To this end, participants were told to watch the videos attentively and empathize with the affects shown without imitating them. The texts and images were presented on a 24-inch TFT screen (AMW) with a resolution of 1920 x 1080 (60 Hz), at a distance of 1 m. Coordination of the experiment and presentation were controlled using PsychoPy v1.82.01 software [58]. The EMG activity was measured bipolar with Ag/AgCl miniature electrodes (Easy Cap E220N-CS-120) according to the guidelines of Fridlund and Cacioppo [59]. The electrodes were filled with electrolyte paste and attached to the left and right zygomatic and corrugator muscle regions. In addition, two reference electrodes were attached to the mastoids, and two additional electrodes were attached to the

temporal bone region for measurement of the electrooculogram (for later correction of artifacts). To ensure impedances below 10 k [59], the skin of the subjects was cleaned with alcohol and rubbed with an abrasive electrode paste before attaching the electrodes. After these procedures, the experiment was started. The stimulus material was presented for 3 seconds as described above (videos of affect-expressive faces, 2 seconds of affect enrichment, 1 second of apex). A black fixation cross on a white background was presented for a mean inter-stimulus-interval time of 5 seconds before each video presentation. The videos were presented in randomized order. Each subject watched 40 videos (five affects, two age groups, two genders, two runs). Subjects were filmed throughout the procedure to enable offline Affdex measurement and to monitor their cooperation in following the instructions and their compliance (vigilance, attention, involvement). The filming was performed with a digital camera, which took frontal video recordings of the subjects at a distance of 1 m. The resulting videos were first stored locally and later imported into the iMotions software and analyzed in iMotions using Affdex software.

2.5 Measurement of facial EMG

EMG Data were acquired from both sides of the face (left and right) from each muscle (zygomaticus and corrugator muscle). EMG activity during stimulus presentation was measured digitally with a sampling rate of 2000 Hz (digital polygraph EEG 1100 G; Nihon Kohden). The EMG signal was further processed offline using the Brain Vision Analyzer. A high-pass filter at 10 Hz and a low-pass filter at 1000 Hz were used. A notch filter (50 Hz) was also used to reduce electromagnetic interference. Before the start of the measurements, the subjects were asked to grimace in order to check the function of the measuring chain based on the initial EMG signals. The recorded signals were stored on a hard disk for further offline analyses and parameterization. Two independent reviewers checked the EMG measurements for artifacts (e.g. subject movement, electrode movements, current voltage drifts). Subsequently, the EMG signal was rectified and integrated stepwise for each 200 ms interval over 5000 ms. For better comparability with the interstimulus interval, 1 s before stimulus presentation was included in the analysis. Due to the dynamic affect buildup during the first 2 s of the stimulus presentation and the expected delayed facial response, an additional 1 s after stimulus presentation was evaluated. For subsequent analysis, a total of 25 200 ms intervals were used, i.e., 1 s before stimulus presentation, 3 s during stimulus presentation, and 1 s after stimulus presentation were each included in the measurement. EMG activity was determined baseline-corrected. The baseline was defined as the mean of the last 1000 ms before stimulus presentation. The preprocessed EMG data were imported into the statistical software package R for further analysis.

2.6 Measurement with Affdex

Affdex is a software program for automatic recognition of facial expressions based on the Facial Action Coding System [29]. First, the Viola-Jones algorithm [60] is used to recognize faces and mark the area relevant to the facial expression with a rectangular frame. Within this frame, 34 relevant measurement points on the face are identified and marked, and histogram-of-oriented-gradient features are obtained from the relevant measurement area. Using support-vector-machine classifiers trained with 10000 manually coded facial expressions, percentile ranks are obtained for each facial expression-relevant motion. Subsequently, affect-expressive facial expressions are inferred from the combination of different facial movements using the Emotional Facial Action Coding System and percentile ranks are also determined for the occurrence of one of the basic affects (anger, disgust, fear, joy, sadness, surprise, contempt) [61]. The FACS action units lip corner puller (action unit 12 according to FACS) and brow

lowerer (action unit 4 according to FACS) examined in this study were renamed Smile and brow furrow by Affectiva. However, we continue to use the official FACS nomenclature in this paper.

During the EMG measurement, subjects' faces were filmed with a video camera (C920 HD Pro Webcam), in a resolution of 1920x1080 (30 frames per second), which was located above the presentation screen, providing frontal footage of the subjects throughout the experiment. Because the camera was turned on a few minutes before the experiment began, the videos were initially trimmed to the actual length of the experiment. During initial trial measurements with Affdex, it was noticed that measurement points in the eyebrow area partially jumped into the area of the EMG electrodes that were responsible for the measurements of the corrugator muscle. To avoid erroneous measurements, the electrodes were retouched using video editing software (DaVinci Resolve, Blackmagic design), in consultation with iMotions technical support. For this purpose, the electrodes were covered with skin-colored areas and tracked over the entire course of the video in every single frame (framerate: 30 FPS). As a result the covers reliably covered only the area of the electrodes during facial movements of the subjects, but did not affect any areas relevant for measurement.

The resulting videos were then imported into the iMotions software (iMotions version 7.2). Within iMotions, markers were now added to the time segments in which the stimulus presentations took place, which enabled an assignment to the affect-expressive stimuli. The automatic marker import of iMotions often led to an inaccurate placement of the markers. Therefore, the markers were placed manually. To ensure that the markers were placed at the correct times, there was a small red light behind the subjects that was controlled by PsychoPy and turned off each time a stimulus presentation began. The correct order of the stimulus presentation could be viewed in PsychoPy. "Postprocessing" by the Affdex algorithm and subsequent data export now took place. The resulting data sets were imported into R (Version 4.1.0) for further parameterization and analysis.

2.7 Data reduction and analysis

Rectified individual EMG data were integrated for each 200 ms interval over 5000 ms (1000 ms before stimulus onset and 1000 ms after stimulus termination). Integrals were then averaged for both sides of the face left and right, for female and male stimuli and for first and second measurement, resulting in 25 x 200 ms averaged EMG integrals for each affect and subject.

The output of the Affdex data was in 40 ms intervals. These were first averaged over 200 ms. Subsequently, the data were averaged according to the EMG data for female and male stimulus material and for the first and the second measurement. For the correlation calculations, first and second measurement were not averaged. No distinction was made between the left and right half of the face by Affdex. Measurements of response to children stimuli were excluded.

Spearman correlations were then calculated between EMG activity and Affdex measurements at each measurement time point. For the presentation of the joy stimulus, the correlations between the zygomatic muscle and the lip corner puller action unit and the joy probability were calculated. For the presentation of the anger stimulus, the correlations between the corrugator muscle and the brow lowerer action unit and the anger probability were calculated. The correlation probabilities were tested for significance, and the significance level was set at $\alpha = 0.05$. Because of repeated measures, Hochberg-Benjamini corrections were applied for p values ≤ 0.05 . The Affdex data, the EMG data, and the respective correlations were plotted graphically together in Figs 1–4. Measurement time points at which Affdex and

EMG were significantly correlated ($\alpha \leq 0.05$) were marked with an *. In addition, cross correlations were performed between the following time series: Zygomaticus muscle (EMG)- lip corner puller (Afdex); Zygomaticus muscle (EMG)- joy (Afdex); Corrugator muscle (EMG)- brow lowerer (Afdex); Corrugator muscle (EMG)- anger (Afdex).

3 Results

Fig 1 shows the facial mimicry response of the observer represented by the course of the EMG activity of the zygomaticus muscle and the probability of the lip corner puller action unit calculated by Afdex during the measurement interval when the video was displaying joy. In addition, the course of the Spearman correlation between EMG and Afdex at each measurement time point is shown. Fig 2 shows the course of the EMG activity of the corrugator muscle and the probability of the brow lowerer action unit calculated by Afdex. In addition, the course of the Spearman correlation between the two values is shown. Starting with the neutral face and extending to the apex, EMG activity for both affects is congruent with the affect enhancement of the stimuli. Approximately 400 ms after stimulus onset, EMG activity increases in parallel with the increasing affect expression of the stimulus. It increases to its maximum after 2000 ms, which corresponds to the arising apex of affect expression in the stimulus videos. In addition to the increase in mean values, an increase in variance is also evident. As expected, presentation of the joy stimulus led to an increase in zygomaticus muscle activity and presentation of the anger stimulus led to an increase in corrugator activity. The curve of the zygomaticus muscle reaches its maximum at a value of approx. 1800 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ and drops to approx.

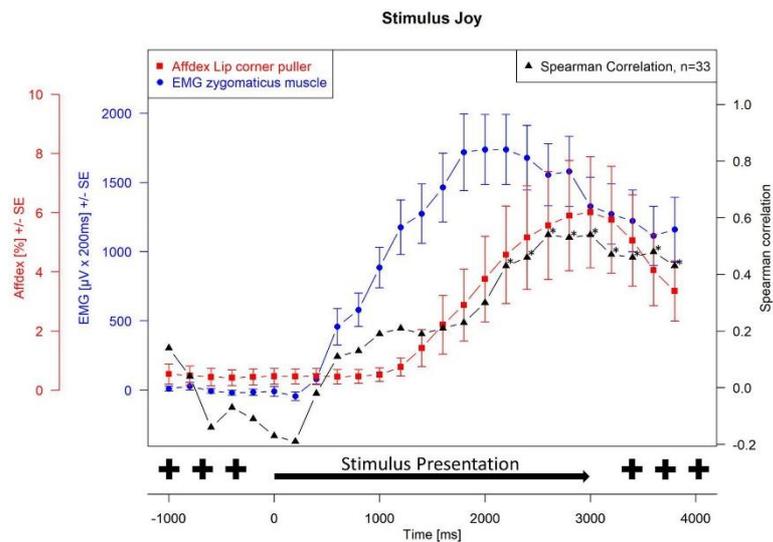


Fig 1. Stimulus joy, measurement of zygomaticus muscle (EMG) and lip corner puller (Afdex). Electromyographical activity [μV integrated over 25 x 200 ms interval ($\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$) +/- standard error] of zygomaticus muscle (blue line) and Afdex measurement (% +/- standard error) for the activity of the lip corner puller action unit (red line) in response to video clips of affect expressing faces of adults for the affect joy, whiskers represent the standard error, black line represents the Spearman correlation between electromyographical activity and Afdex at each measurement point, the symbol * indicates $p \leq 0.05$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.g001>

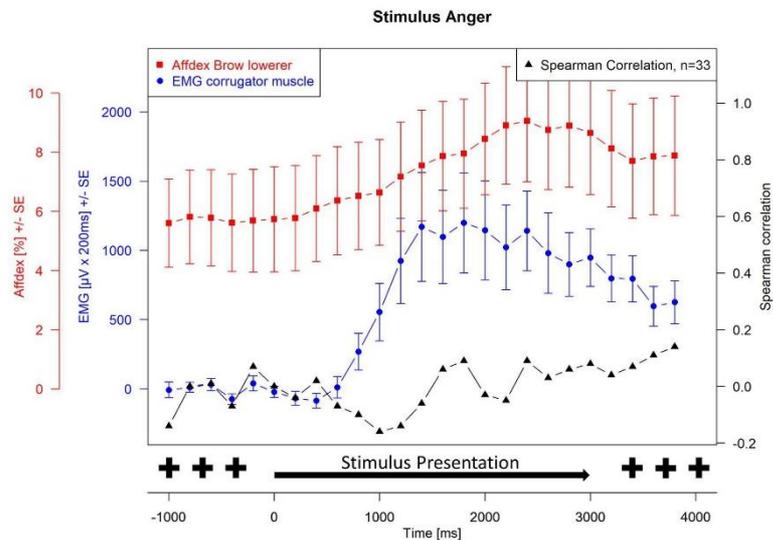


Fig 2. Stimulus anger, measurement of corrugator muscle (EMG) and brow lowerer action unit (Affdex). Electromyographical activity [μV integrated over 25 x 200 ms interval ($\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$) +/- standard error] of corrugator muscle (blue line) and Affdex measurement (% +/- standard error) for the brow lowerer actionunit (red line) in response to video clips of affect expressing faces of adults for the affect anger, whiskers represent the standard error, black line represents the Spearman correlation between electromyographical activity and Affdex at each measurement point, the symbol * indicates $p \leq 0.05$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.g002>

1200 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ at the end of the measurement interval. The curve of corrugator muscle rises to a maximum value of 1300 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ and drops to a value of approx. 500 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ by the end of the measurement interval.

Table 2 contains the results of Spearman correlation calculations between zygomaticus muscle and lip corner puller including alpha error corrected p-values. Table 3 contains the results of Spearman correlation calculations between corrugator muscle and brow lowerer including alpha error corrected p-values.

The activities determined by Affdex for lip corner puller and brow lowerer, respectively, run differently. The activity of the action unit lip corner puller starts to increase 1200 ms after stimulus onset. The activity increases over a period of 2000 ms to its maximum of 6% (3000 ms after stimulus onset and 1000 ms after stimulus apex). As with the EMG measurement, the variance also increases in addition to the mean values. Thus, both the EMG of the zygomaticus muscle and the Affdex measurement of the lip corner puller action unit show an increase in activity upon presentation of the joy stimulus. However, lip corner puller activity proceeds with a latency of 800 ms compared with the course of the stimulus material and EMG activity.

Brow lowerer activity calculated by Affdex shows an increase from 6% during stimulus onset to its maximum of 8% approximately 2500 ms after stimulus onset. Unlike EMG activity, there is no change in variance, suggesting that this is not a stimulus-associated increase in brow lowerer activity calculated by Affdex but a random fluctuation.

The calculation of the Spearman correlation between the EMG activity for the zygomaticus muscle and the activity of the lip corner puller action unit calculated by Affdex for the affect

Table 2. Stimulus joy, Spearman correlation between zygomaticus muscle (EMG) and lip corner puller (Affdex).

Time [ms]	n-value	r-value	Effect size	df	lower ci	upper ci	p-value	Corrected p-value
-1000	66	0.1389497	0.01930702	64	-0.1066704	0.3685868	0.2658492	-
-800	66	0.03903398	0.001523652	64	-0.2049349	0.2784362	0.7556689	-
-600	66	-0.1423648	0.02026774	64	-0.3715936	0.1032248	0.254162	-
-400	66	-0.0714157	0.005100206	64	-0.3081226	0.173618	0.568795	-
-200	66	-0.1102954	0.01216508	64	-0.3431673	0.1353505	0.3779834	-
0	66	-0.1694939	0.02872818	64	-0.3953098	0.07564198	0.1736616	-
200	66	-0.1941923	0.03771065	64	-0.4166425	0.0501999	0.1181946	-
400	66	-0.0209880	0.0004404974	64	-0.2616915	0.2221733	0.8671591	-
600	66	0.1098222	0.01206092	64	-0.1358208	0.3427446	0.3800456	-
800	66	0.1252305	0.01568268	64	-0.1204532	0.356459	0.316397	-
1000	66	0.1943012	0.03775296	64	-0.0500870	0.416736	0.1179845	-
1200	66	0.2110547	0.04454409	64	-0.0326456	0.4310676	0.0889287	-
1400	66	0.1922236	0.03694991	64	-0.0522396	0.414951	0.1220435	-
1600	66	0.2111252	0.04457385	64	-0.0325719	0.4311277	0.0888196	-
1800	66	0.2271216	0.05158422	64	-0.0157785	0.4447084	0.0666633	-
2000	66	0.3006293	0.09037798	64	0.06319469	0.505855	0.01417941	0.3544852
2200	66	0.4328895	0.1873933	64	0.2131938	0.6109147	0.00028311	0.00707775
2400	66	0.4593286	0.2109828	64	0.2444747	0.6311903	0.00010461	0.00261525
2600	66	0.542301	0.2940904	64	0.3456343	0.6933309	2.56027e ⁻⁰⁶	6.400675e ⁻⁰⁵
2800	66	0.5338247	0.2849688	64	0.3350861	0.6870841	3.91689e ⁻⁰⁶	9.792225e ⁻⁰⁵
3000	66	0.5420904	0.293862	64	0.3453717	0.693176	2.58782e ⁻⁰⁶	6.46955e ⁻⁰⁵
3200	66	0.467337	0.2184039	64	0.2540387	0.6372858	7.61925e ⁻⁰⁶	0.0001904812
3400	66	0.460306	0.2118816	64	0.2456397	0.6319354	0.00010075	0.00251875
3600	66	0.4806718	0.2310454	64	0.270057	0.6473885	4.40978e ⁻⁰⁵	0.001102445
3800	66	0.4313402	0.1860544	64	0.2113746	0.6097192	0.00029936	0.007484

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.t002>

joy shows an increase in Spearman correlation shortly after the onset of stimulus presentation, but without becoming significant. The Spearman correlation coefficients become significant ($p \leq 0.05$) from 2200 ms after the onset of stimulus presentation and increase to a maximum of approximately 0.5 3000 ms after stimulus presentation. Zygomaticus muscle activity and lip corner puller action unit activity calculated by Affdex correlate significantly with each other until the end of the measurement interval 4000 ms after stimulus presentation.

Calculation of Spearman correlation between EMG activities for corrugator muscle and brow lowerer action unit calculated by Affdex for affect anger shows no relevant increase in Spearman correlation. Corrugator muscle activity does not significantly correlate with brow lowerer action unit activity calculated by Affdex at any time point

Fig 3 shows again the course of the EMG activity of the zygomaticus muscle and the probability of joy calculated by Affdex. In addition, the course of the Spearman correlation between the two values is shown. Fig 4 shows the course of the EMG activity of the corrugator muscle and the probability of anger calculated by Affdex. The probability for the affect joy calculated by Affdex shows an increase 1400 ms after stimulus onset from 0% to 2.5%. The curve reaches its maximum 500 ms after the apex of the affect expression of the stimulus (2500 ms after stimulus onset). As with the EMG measurement and the action unit measurement, the variance increases here in addition to the mean values. Thus, both the EMG of the zygomaticus muscle and the Affdex measure of joy probability show an increase upon presentation of the joy stimulus. However, the joy probability calculated by Affdex progresses with a latency of 1000 ms compared with the progress of the stimulus material and EMG activity.

Table 3. Stimulus anger, Spearman correlation between corrugator muscle (EMG) and brow lowerer action unit (Affdex).

Time [ms]	n-value	r-value	Effect size	df	lower ci	upper ci	p-value
-1000	66	-0.1437431	0.02066208	64	-0.3728058	0.1018325	0.2495456
-800	66	0.001796796	3.228476e ⁻⁰⁶	64	-0.2403405	0.2437236	0.988576
-600	66	0.01142858	0.0001306124	64	-0.2312438	0.2527622	0.9274329
-400	66	-0.06701946	0.004491608	64	-0.3041192	0.177899	0.5928798
-200	66	0.07088798	0.005025106	64	-0.1741324	0.3076425	0.5716619
0	66	-0.00206789	4.276153e ⁻⁰⁶	64	-0.2439785	0.2400851	0.9868526
200	66	-0.04331385	0.00187609	64	-0.2823863	0.2008242	0.7298522
400	66	0.01619883	0.0002624021	64	-0.2267228	0.2572231	0.8972833
600	66	-0.06906	0.004769284	64	-0.3059784	0.1759131	0.5816441
800	66	-0.09947335	0.009894947	64	-0.3334774	0.1460763	0.4268122
1000	66	-0.1558416	0.0242866	64	-0.3834125	0.08956966	0.2114737
1200	66	-0.1362269	0.01855777	64	-0.366186	0.1094133	0.275422
1400	66	-0.05674876	0.003220422	64	-0.2947333	0.1878643	0.6508473
1600	66	0.06390056	0.004083282	64	-0.1809305	0.3012738	0.6102384
1800	66	0.08782626	0.007713452	64	-0.1575557	0.3229932	0.4831607
2000	66	-0.03159638	0.0009983312	64	-0.2715525	0.2120581	0.8011581
2200	66	-0.04826307	0.003229324	64	-0.286944	0.1960599	0.7003679
2400	66	0.08563286	0.007332987	64	-0.1597101	0.3210123	0.4941963
2600	66	0.03358398	0.001127884	64	-0.210157	0.2733945	0.7889302
2800	66	0.05541565	0.003070894	64	-0.1891541	0.2935117	0.6585348
3000	66	0.07864943	0.006185733	64	-0.1665538	0.3146918	0.5301898
3200	66	0.04100801	0.001681657	64	-0.20304	0.2802591	0.7437263
3400	66	0.07333763	0.005378408	64	-0.1717436	0.3098702	0.5584113
3600	66	0.1148427	0.01318885	64	-0.1308265	0.3472241	0.3585125
3800	66	0.0182875	0.1352313	64	-0.1104154	0.3653074	0.2789792

n-value, Number of cases per correlation, r-value, correlation coefficient, df, degrees of freedom, lower ci, lower confidence interval, upper ci, upper confidence interval

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.t003>

Table 4 contains the results of Spearman correlation calculations between zygomaticus muscle and Joy including alpha error corrected p-values. Table 5 contains the results of Spearman correlation calculations between corrugator muscle and anger including alpha error corrected p-values.

The probability for affect anger calculated by Affdex shows no increase and remains at 0% throughout the stimulus presentation.

The calculation of Spearman correlation coefficients between EMG activity of the zygomaticus muscle and the probability of detecting joy calculated by Affdex during the presentation of the joy video shows a value of -0.2 until it increases to 0 1000 ms after stimulus onset and increases from 1600 ms to a maximum value of 0.4, 2600 ms after stimulus onset. The Spearman correlation coefficients become significant ($p \leq 0.05$) at 3400 ms, 3800 ms and 4000 ms.

Calculation of Spearman correlation between EMG activities for corrugator muscle and anger probability for the anger affect calculated by Affdex shows an increase of Spearman correlation to nearly 0.2 from 3800 ms after stimulus presentation.

Fig 5 shows the results of the cross-correlation calculation between the EMG activity of the zygomaticus muscle and the lip corner puller activity determined by Affdex during the presentation of the joy stimulus. the largest cross-correlation coefficient was found at a lag of 5 and was 0.256, indicating lagged matching in temporal patterns between EMG and Affdex.

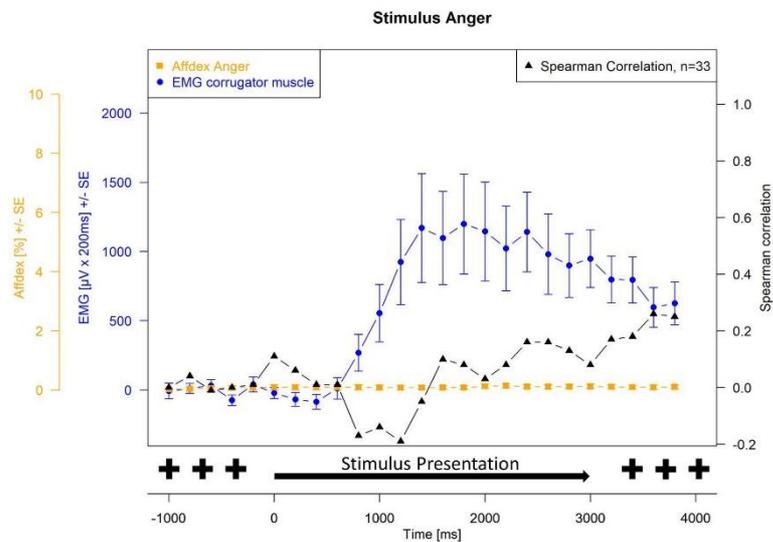


Fig 4. Stimulus anger, measurement of corrugator muscle (EMG) and affect anger (Affdex). Electromyographical activity [μV integrated over 25×200 ms interval ($\mu\text{V} \times 200$ ms) \pm standard error] of corrugator muscle (blue line) and Affdex measurement (% \pm standard error) for the affect anger (orange line) in response to video clips of affect expressing faces of adults for the affect anger, whiskers represent the standard error, black line represents the Spearman correlation between electromyographical activity and Affdex at each measurement point, the symbol * indicates $p \leq 0.05$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.g004>

Table 6 contains the cross-correlation coefficients of all measurements shown so far. For the calculation of the cross-correlation coefficient between zygomaticus muscle and the affect joy during the presentation of the joy stimulus, the largest value was also shown at a lag of 5. The cross-correlation coefficient here was 0.174. During the presentation of the anger stimulus, the cross-correlation coefficients show no relevant increase.

4 Discussion

This study is the first in which the facial mimicry response of healthy subjects to dynamic affect-enhancing videos (joy and anger) was measured simultaneously using EMG and Affdex to compare the suitability of these two measurement methods.

EMG measurement has been the gold standard for measuring facial mimicry. However, it requires a complex measuring apparatus and experience in the application and interpretation of EMG signals. Affdex promises a time-saving and easy-to-interpret analysis of facial expressions. In addition, measurement electrodes in the face would not be necessary. This could open up a wide range of applications in affect research.

First, the EMG activity of zygomaticus muscle and corrugator muscle was directly compared to each other using the Affdex action units lip corner puller and brow lowerer, which are based on FACS [43]. This allows for a direct comparison of measurement sensitivity, as these action units represent the visible correlates to the underlying target muscles [29]. Second, EMG activity was compared to affect probabilities measured by Affdex, as Affdex uses other

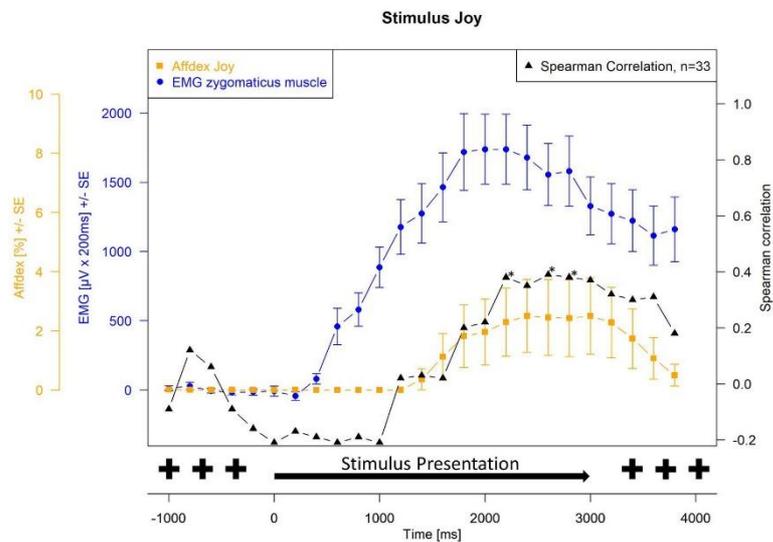


Fig 3. Stimulus joy, measurement of zygomaticus muscle (EMG) and affect joy (Affect). Electromyographical activity [μV integrated over 25×200 ms interval ($\mu\text{V} \times 200$ ms) \pm standard error] of zygomaticus muscle (blue line) and Affect measurement (% \pm standard error) for the affect joy (orange line) in response to video clips of affect expressing faces of adults for the affect joy, whiskers represent the standard error, black line represents the Spearman correlation between electromyographical activity and Affect at each measurement point, the symbol * indicates $p \leq 0.05$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.g003>

data for measurement in addition to the lip corner puller and brow lowerer action units according to EMFACS [39].

We expected comparable results for Affect and EMG measurements [41, 42]. However, there was also evidence for reduced measurement performance of Affect for subtle affect expressions, as expected for facial mimicry [40].

In healthy subjects, it has been shown that facial mimicry could be induced by affective stimulus material. The muscle activity of the zygomaticus and corrugator muscles measured by EMG reflected the valence of the presented affects joy and anger [33, 62].

The Affect measurement for the lip corner puller action unit and the affect joy also showed an increase and a significant correlation with the EMG measurement of the zygomaticus muscle during the presentation of the joy stimulus. However, the rise of the Affect trace for lip corner puller did not begin until 1200 ms after stimulus onset and approximately 800 ms after the rise of the EMG trace. Sato et al. [63] demonstrated that human FACS coders detect the facial mimicry response to a dynamic happy stimulus after 817 (± 200) ms after stimulus onset. The Affect trace for joy rose 200 ms later than the trace for lip corner puller. The Affect trace for lip corner puller reached its maximum at an average of 6.02% and the Affect trace for joy at an average of 2.51%. These values correspond to relatively low expressions. Kulke et al. [41] studied a healthy cohort who imitated faces with maximum affect expression. Here, Affect measured a maximum mean of 69.56% for lip corner puller and a maximum mean of 67.53% for joy when imitating joy. Thus, it was shown that Affect is generally capable of measuring the facial mimicry response to the joy stimulus, however its reactivity starts much later. The

Table 4. Stimulus joy, Spearman correlation between zygomaticus muscle (EMG) and affect joy (Affdex).

Time [ms]	n-value	r-value	Effect size	df	lower ci	upper ci	p-value	Corrected p-value
-1000	66	-0.0854732	0.007305663	64	-0.320868	0.1598668	0.4950049	-
-800	66	0.1178771	0.01389501	64	-0.1278019	0.3499264	0.345869	-
-600	66	0.06178529	0.003817422	64	-0.1829838	0.2993417	0.6221349	-
-400	66	-0.0896203	0.008031798	64	-0.3246119	0.1557918	0.4742325	-
-200	66	-0.1555527	0.02419664	64	-0.38316	0.0898633	0.212332	-
0	66	-0.2120662	0.04497207	64	-0.4319294	0.03158785	0.08737338	-
200	66	-0.1696811	0.02879168	64	-0.3954725	0.07545029	0.1731798	-
400	66	-0.1932284	0.03733721	64	-0.4158145	0.05119882	0.1200672	-
600	66	-0.2055995	0.04227115	64	-0.4264132	0.03834118	0.09769558	-
800	66	-0.0854732	0.007305663	64	-0.320868	0.1598668	0.4950049	-
1000	66	-0.2147373	0.04611211	64	-0.434203	0.02879192	0.08336919	-
1200	66	0.01678515	0.0002817413	64	-0.2261664	0.2577707	0.8935867	-
1400	66	0.03147738	0.0009908255	64	-0.2121718	0.2714422	0.8018917	-
1600	66	0.02088638	0.0004362409	64	-0.22227	0.2615967	0.8677967	-
1800	66	0.1979175	0.03917134	64	-0.0463349	0.4198389	0.111167	-
2000	66	0.2154148	0.04640354	64	-0.0280821	0.4347793	0.08237689	-
2200	66	0.3833971	0.1469933	64	0.155824	0.5723215	0.00148503	0.03712575
2400	66	0.3502786	0.1226951	64	0.1182729	0.5460204	0.00393588	0.098397
2600	66	0.3916563	0.1533947	64	0.1652921	0.5788205	0.00114594	0.0286485
2800	66	0.3758274	0.1412462	64	0.1471827	0.566344	0.00187239	0.04680975
3000	66	0.3703136	0.1371322	64	0.1409103	0.5619774	0.00220921	0.05523025
3200	66	0.3192721	0.1019347	64	0.08370778	0.5210417	0.00897530	0.2243825
3400	66	0.3043612	0.09263574	64	0.06728495	0.5089052	0.01296778	0.3241945
3600	66	0.3106878	0.09652691	64	0.07423745	0.5140647	0.01111744	0.277936
3800	66	0.03315688	-0.062706	64	0.1820903	0.4062202	0.1433829	-

n-value, Number of cases per correlation, r-value, correlation coefficient, df, degrees of freedom, lower ci, lower confidence interval, upper ci, upper confidence interval, corrected p-value (Benjamini Hochberg correction for multiple testing)

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.t004>

Affdex measurement for the action unit brow lowerer showed no stimulus-associated change and no significant correlation with the EMG measurement for the corrugator muscle at any time during the measurement. The Affdex trace for affect anger showed no deflection during stimulus presentation. Higher levels are found in a healthy cohort that imitated anger stimuli [41]. Here, Affdex measured a maximum mean of 36.72% for brow lowerer and a maximum mean of 8.88% for anger when imitating anger. Affdex thus performs relatively poor in our trials measuring the facial mimicry response to the anger stimulus.

Since the measurements are time series, we also calculated cross-correlation correlations. These additional calculations provided statistical evidence about a lagged matching in temporal patterns between EMG and Affdex.

For the measurements of corrugator muscle, brow lowerer and anger, the cross-correlation coefficients show no relevant increase.

Similar studies already indicated low sensitivity of automated affect detection for subtle affect expressions [40, 42, 64]. However, hedonic affect could be measured better than anhedonic affect [65], which is consistent with the results of present study.

It remains unclear why Affdex detects the mimicry response for joy but not for anger, although the EMG measures muscle activity in both cases. Other studies also showed weaker recognition performance of Automated Facial Coding for anger compared to joy [40, 66]. One

Table 5. Stimulus anger, Spearman correlation between corrugator muscle (EMG) and affect anger (Affdex).

Time [ms]	n-value	r-value	Effect size	df	lower ci	upper ci	p-value	Corrected p-value
-1000	66	-0.0045819	2.099417e ⁻⁰⁵	64	-0.2463415	0.2377145	0.9708735	-
-800	66	0.04370906	0.001910482	64	-0.2004442	0.2827506	0.7274827	-
-600	66	-0.0091734	8.415112e ⁻⁰⁵	64	-0.2506497	0.2333775	0.9417245	-
-400	66	0.004527421	2.049754e ⁻⁰⁵	64	-0.2377659	0.2462903	0.9712199	-
-200	66	0.0121565	0.0001477805	64	-0.2305546	0.2534436	0.9228245	-
0	66	0.1085402	0.01178098	64	-0.1370941	0.341599	0.3856662	-
200	66	0.05565026	0.003096951	64	-0.1889272	0.2937268	0.6571793	-
400	66	0.0129309	0.0001672082	64	-0.2298211	0.2541682	0.9179247	-
600	66	0.006851618	4.694467e ⁻⁰⁵	64	-0.2355718	0.2484723	0.9564572	-
800	66	-0.1680629	0.02824514	64	-0.3940664	0.07710626	0.1773758	-
1000	66	-0.1378292	0.01899689	64	-0.3675991	0.1077997	0.2697614	-
1200	66	-0.1923704	0.03700637	64	-0.4150772	0.05208755	0.1217531	-
1400	66	-0.04926441	0.002426982	64	-0.2878648	0.1950946	0.6944542	-
1600	66	0.0970532	0.009419324	64	-0.1484671	0.3313036	0.4382027	-
1800	66	0.07548504	0.005697991	64	-0.1696472	0.3118209	0.5469167	-
2000	66	0.0339959	0.001155721	64	-0.2097628	0.273776	0.7864023	-
2200	66	0.07830402	0.00613152	64	-0.1668917	0.3143786	0.5320032	-
2400	66	0.1555797	0.02420504	64	-0.0898359	0.3831835	0.2122518	-
2600	66	0.1603847	0.02572325	64	-0.0849456	0.38738	0.1982959	-
2800	66	0.1347437	0.01815586	64	-0.110906	0.364877	0.2807322	-
3000	66	0.08484137	0.007198058	64	-0.1604869	0.320297	0.4982106	-
3200	66	0.166375	0.02768064	64	-0.0788322	0.3925986	0.1818309	-
3400	66	0.1750089	0.03062812	64	-0.0699885	0.4000945	0.1598766	-
3600	66	0.2580593	0.0665946	64	0.01709419	0.4706931	0.0364382	0.910955
3800	66	0.2467782	0.06089948	64	0.00504685	0.4612606	0.0457665	1

n-value, Number of cases per correlation, r-value, correlation coefficient, df, degrees of freedom, lower ci, lower confidence interval, upper ci, upper confidence interval

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.t005>

reason for this could be that the joy stimulus leads to higher and longer-lasting muscle activity than the anger stimulus. While the zygomaticus muscle activity increases to about 1800 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ and remains at over 1200 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ until the end of the measurement interval, the corrugator muscle activity only increases to a maximum of about 1300 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ and decreases to about 500 $\mu\text{V} \times 200 \text{ ms}$ until the end of the measurement interval. The course of EMG activity could provide clues to the activity of the action units measured by Affdex. It is possible that the muscle activity of the corrugator muscle is not high enough to activate the brow lowerer action unit to a sufficient extent to detect it measurable by Affdex. Other studies also showed a stronger EMG response to hedonic stimuli than to anhedonic stimuli [42]. Even if EMG activity can be reliably measured, quantitatively these are extremely small increases in activation in the EMG. It is conceivable that EMG can measure muscle activity that does not result in any visible change in the face.

Another explanation could be the simultaneous application of EMG by skin electrodes and Affdex measurement. Kulke et al. [41] found that when measuring imitated affect with Affdex and simultaneous EMG measurement, the measurement result was only slightly worsened by the EMG electrodes used on the face. We observed that the Affdex measurement points, which are regularly located at the eyebrows, jumped over longer time intervals to the EMG electrodes located at the forehead above the eyebrows. This occurred even though the electrodes did not cover the areas relevant to Affdex. Therefore, in this study, to achieve consistently functioning

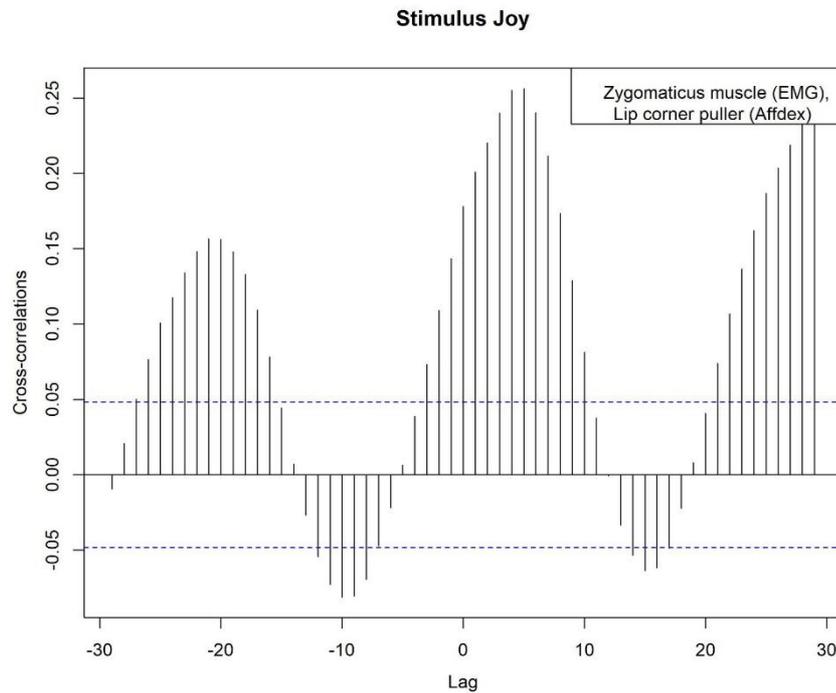


Fig 5. Stimulus joy, cross-correlation coefficients between zygomaticus muscle (EMG) and lip corner puller (Affdex). Cross-correlation coefficients between the EMG activity of the zygomaticus muscle and the lip corner puller activity determined by Affdex during the presentation of the joy stimulus (black vertical lines). The blue dashed line represents the 95% confidence interval.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.g005>

Affdex measurements, the EMG electrodes in the video footage of the test subjects observing the video sequences were retouched after consultation with the iMotions support team. After retouching, the measurement points were consistently located on the eyebrows, so that the Affdex measurement may no longer have been affected. Of course, it is conceivable that the retouching obscured needed cues, and thus impaired Affdex' anger and brow lowerer detection in particular. In this case, this study is not suitable to assess Affdex's performance for measuring brow lowerer activity. The measurement points responsible for measuring Affdex' lip corner puller action unit and joy were in the correct positions throughout the measurement interval.

In conducting this study, in addition to the above mentioned advantages of Affdex compared to EMG disadvantages of Affdex were also noticed. A total of 5 subjects were excluded due to incorrect measurements by Affdex caused by unfavorable lighting conditions or glasses. To prevent further measurement errors, EMG electrodes had to be retouched as described above, which was technically challenging and very time-consuming. We performed the Affdex measurements on post-processed videos. The import of stimulus markers provided by iMotions for this procedure sometimes resulted in temporally offset markers. As a result, the markers had to be inserted manually to accurately mark the times at which stimuli were presented. This procedure was also very time-consuming.

Table 6. Cross-correlation coefficients by lag.

Stimulus joy, cross-correlation coefficients between zygomaticus muscle (EMG) and lip corner puller (Affdex) by lag												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.178	0.201	0.220	0.240	0.255	0.256	0.240	0.211	0.173	0.129	0.081	0.038	-0.001
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-0.033	-0.053	-0.064	-0.062	-0.049	-0.022	0.008	0.041	0.074	0.107	0.137	0.162	0.187
Stimulus anger, cross-correlation coefficients between corrugator muscle (EMG) and brow lowerer (Affdex) by lag												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.038	0.045	0.051	0.055	0.058	0.055	0.049	0.039	0.033	0.023	0.013	0.006	0.003
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.007	0.013	0.019	0.025	0.031	0.039	0.045	0.050	0.058	0.067	0.072	0.079	0.085
Stimulus joy, cross-correlation coefficients between zygomaticus muscle (EMG) and joy (Affdex) by lag												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.114	0.128	0.143	0.157	0.170	0.174	0.161	0.135	0.103	0.073	0.045	0.019	-0.004
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-0.024	-0.038	-0.047	-0.044	-0.029	-0.010	0.008	0.029	0.051	0.074	0.096	0.116	0.132
Stimulus anger, cross-correlation coefficients between corrugator muscle (EMG) and anger (Affdex) by lag												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-0.004	-0.001	0.003	0.007	0.011	0.014	0.014	0.009	0.005	0.001	-0.001	-0.004	-0.006
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-0.007	-0.007	-0.005	-0.004	0.000	0.007	0.013	0.026	0.038	0.037	0.038	0.042	0.047

Numbers 0–25, lags, EMG, Electromyography

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290569.t006>

Technical improvements could resolve these problems and significantly improve the application.

As mentioned earlier, retouching the electrodes was time consuming. Future studies should either not use electrodes when measuring simultaneously with Affdex or place them on the face and cover them up so that they do not interfere with Affdex measurement.

Future studies could additionally check the subject videos with human FACS raters. This type of validity check would be very time-consuming but would clarify whether Affdex does not detect changes in mimic musculature that are visible to humans.

The present study focused on measuring the facial mimicry of the most commonly studied affects, joy and anger. Future studies could investigate other affects such as fear, disgust, sadness, and surprise.

4.1 Conclusion

The present study demonstrates that Affdex can measure a facial mimicry response for the affect joy. Despite the delayed measurement compared to the established EMG measurement, Affdex shows a valid performance. Nevertheless, it still does not match the highly sensitive EMG and therefore needs further improvement for measuring subtle affect expressions. It remains unclear how well Affdex detects the facial mimicry response to an angry stimulus, because in this study the electrodes measuring the corrugator muscle probably confounded Affdex. Should the measurement performance of Affdex improve significantly in the future and enable the measurement of subtle affect expressions, it could develop into a promising measurement instrument with a broad range of applications. Especially naturalistic experimental settings that require non-contact measurement of affective responses could benefit from Affdex. However, EMG has been superior in capturing the temporal and dynamic course characteristics of affect-expressive mimicry, at least for the basic affects studied here. EMG thus remains the gold standard for measuring facial mimicry.

Acknowledgments

We would like to thank Lotte Wagner-Douglas, Claudius Rehagel and Alexandra Schwatlo for help with data collection and data analysis.

Author Contributions

Conceptualization: Jan-Frederik Westermann, Marc Nordmann, Matthias Franz.

Data curation: Jan-Frederik Westermann, Ralf Schäfer, Marc Nordmann, Peter Richter.

Formal analysis: Jan-Frederik Westermann, Peter Richter.

Investigation: Jan-Frederik Westermann.

Methodology: Ralf Schäfer, Tobias Müller, Matthias Franz.

Project administration: Matthias Franz.

Resources: Matthias Franz.

Software: Jan-Frederik Westermann.

Supervision: Ralf Schäfer, Matthias Franz.

Validation: Ralf Schäfer, Matthias Franz.

Visualization: Jan-Frederik Westermann.

Writing – original draft: Jan-Frederik Westermann.

Writing – review & editing: Tobias Müller, Matthias Franz.

References

1. Hess U, Philippot P, Blairy S. Mimicry- Facts and fiction. The social context of nonverbal behavior. 1999;213–41.
2. Seibt B, Mülberger A, Likowski KU, Weyers P. Facial mimicry in its social setting. *Frontiers in psychology*. 2015; 6:1122. Epub 2015/08/11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01122> PMID: 26321970.
3. Dimberg U, Thunberg M. Rapid facial reactions to emotional facial expressions. *Scand J Psychol*. 1998; 39:39–45. <https://doi.org/10.1111/1467-9450.00054> PMID: 9619131.
4. Dimberg U, Thunberg M, Elmehed K. Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychological Science*. 2000; 11:86–9. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00221> PMID: 11228851.
5. Bargh JA, Chartrand TL. The Unbearable Automaticity of Being. *American Psychologist*. 1999; 54(7):228–49. <https://doi.org/10.4324/9780203496398-14>
6. Neumann R, Schulz SM, Lozo L, Alpers GW. Automatic facial responses to near-threshold presented facial displays of emotion: imitation or evaluation. *Biol Psychol*. 2014; 96:144–9. Epub 2013/12/24. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.12.009> PMID: 24370542.
7. Lundqvist LO. Facial EMG reactions to facial expressions: a case of facial emotional contagion. *Scand J Psychol*. 1995; 36:130–41. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1995.tb00974.x> PMID: 7644897.
8. Niedenthal PM, Barsalou LW, Winkielman P, Krauth-Gruber S, Ric F. Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Pers Soc Psychol Rev*. 2005; 9:184–211. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr0903_1 PMID: 16083360.
9. Niedenthal PM, Wood A, Rychlowska M, Korb S, editors. Embodied Simulation in Decoding Facial Expression. In Fernández-Dols J.-M& Russel J. A.(Eds.), *The Science of facial expression* (pp. 397–414). Oxford University Press; 2017.
10. Oberman LM, Winkielman P, Ramachandran VS. Face to face: blocking facial mimicry can selectively impair recognition of emotional expressions. *Soc Neurosci*. 2007; 2:167–78. <https://doi.org/10.1080/17470910701391943> PMID: 18633815.
11. Avenanti Alessio. Blocking facial mimicry affects recognition of facial and body expressions. *PLOS ONE*. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229364> PMID: 32078668

12. Blairy S, Herrera P, Hess U. Mimicry and the Judgement of Emotional Facial Expressions. *Journal of Nonverbal Behavior*. 1999; 23:5–41. <https://doi.org/10.1023/A:1021370825283>
13. Gump BB, Kulik JA. Stress, Affiliation, and Emotional Contagion. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1997; 72:305–19. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.72.2.305> PMID: 9107002
14. Hess U, Blairy S, Philippot P. Mimicry: Facts and Fiction. In: Hess U, Philippot P, Blairy S, Feldmann R, Coats E, editors. *The social context of nonverbal behavior*. Cambridge University Press; 1999. pp. 213–41.
15. Cappella JN. Mutual influence in expressive behavior: Adult–adult and infant–adult dyadic interaction. *Psychological Bulletin*. 1981; 89:101–32. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.89.1.101> PMID: 7232607
16. Lanzetta JT, Englis BG. Expectations of cooperation and competition and their effects on observers' vicarious emotional responses. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1989; 56:543–54. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.56.4.543>
17. Seibt B, Weyers P, Likowski KU, Pauli P, Mühlberger A, Hess U. Subliminal Interdependence Priming Modulates Congruent and Incongruent Facial Reactions to Emotional Displays. *Social Cognition*. 2013; 31:613–31. <https://doi.org/10.1521/soco.2013.31.5.613>
18. Hatfield E, Cacioppo JT, Rapson RL. *Emotional contagion*. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press; 1994.
19. Drimalla H, Landwehr N, Hess U, Dziobek I. From face to face: the contribution of facial mimicry to cognitive and emotional empathy. *Cognition & Emotion*. 2019; 33:1672–86. Epub 2019/03/21. <https://doi.org/10.1080/02699931.2019.1596068> PMID: 30898024.
20. Hess U, Fischer A. Emotional Mimicry: Why and When We Mimic Emotions. *Social and Personality Psychology Compass*. 2014; 8:45–57. <https://doi.org/10.1111/spc3.12083>
21. Chartrand TL, Bargh JA. The Chameleon Effect: The Perception–Behavior Link and Social Interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1996:893–910. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.76.6.893> PMID: 10402679
22. Baumeister RF, Leary MR. The Need to Belong: Desire for Interpersonal Attachments as a Fundamental Human Motivation. *Psychological Bulletin*. 1995:497–529. <https://doi.org/10.4324/9781351153683-3> PMID: 7777651
23. Hinsz VB, Tomhave JA. Smile and (Half) the World Smiles with You, Frown and You Frown Alone. *Personality and Social Psychology Bulletin*. 1991:586–92. <https://doi.org/10.1177/0146167291175014>
24. Dimberg U. Facial reactions to facial expressions. *Psychophysiology*. 1982; 19:643–7. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1982.tb02516.x> PMID: 7178381.
25. Larsen JT, Norris CJ, Cacioppo JT. Effects of positive and negative affect on electromyographic activity over zygomaticus major and corrugator supercilii. *Psychophysiology*. 2003; 40:776–85. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.00078> PMID: 14696731.
26. Vrana SR. The psychophysiology of disgust: differentiating negative emotional contexts with facial EMG. *Psychophysiology*. 1993; 30:279–86. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03354.x> PMID: 8497557.
27. Wingenbach TSH, Brosnan M, Pfaltz MC, Peyk P, Ashwin E. Perception of Discrete Emotions in Others: Evidence for Distinct Facial Mimicry Patterns. *Sci Rep*. 2020; 10:4692. Epub 2020/03/13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61563-5> PMID: 32170180.
28. Yoshimura S, Sato W, Uono S, Toichi M. Impaired overt facial mimicry in response to dynamic facial expressions in high-functioning autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*. 2015; 45:1318–28. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2291-7> PMID: 25374131.
29. Ekman P, Friesen WV. Facial Action Coding System (FACS). 1978 [updated 2 Dec 2021; cited 15 Dec 2021]. Available from: <https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2F127734-000>.
30. Friesen WV, Ekman P. EMFACS-7: Emotional facial action coding system, Version 7. Unpublished manuscript. Unpublished manuscript. 1984.
31. Oberman LM, Winkielman P, Ramachandran VS. Slow echo: facial EMG evidence for the delay of spontaneous, but not voluntary, emotional mimicry in children with autism spectrum disorders. *Dev Sci*. 2009; 12:510–20. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00796.x> PMID: 19635079.
32. McIntosh DN, Reichmann-Decker A, Winkielman P, Wilbarger JL. When the social mirror breaks: deficits in automatic, but not voluntary, mimicry of emotional facial expressions in autism. *Dev Sci*. 2006; 9:295–302. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00492.x> PMID: 16669800.
33. Franz M, Nordmann MA, Rehagel C, Schäfer R, Müller T, Lundqvist D. It is in your face—Alexithymia impairs facial mimicry. *Emotion*. 2021; 21:1537–49. Epub 2021/11/18. <https://doi.org/10.1037/emo0001002> PMID: 34793185.

34. Argaud S, Delplanque S, Houvenaghel J-F, Auffret M, Duprez J, Vérin M, et al. Does Facial Amimia Impact the Recognition of Facial Emotions? An EMG Study in Parkinson's Disease. *PLOS ONE*. 2016; 11:e0160329. Epub 2016/07/28. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160329> PMID: 27467393.
35. Varcin KJ, Bailey PE, Henry JD. Empathic deficits in schizophrenia: the potential role of rapid facial mimicry. *J Int Neuropsychol Soc*. 2010; 16:621–9. Epub 2010/04/07. <https://doi.org/10.1017/S1355617710000329> PMID: 20374674.
36. Sestito M, Umiltà MA, de Paola G, Fortunati R, Raballo ALeuci E, et al. Facial reactions in response to dynamic emotional stimuli in different modalities in patients suffering from schizophrenia: a behavioral and EMG study. *Front Hum Neurosci*. 2013; 7:368. Epub 2013/07/23. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00368> PMID: 23888132.
37. Matzke B, Herpertz SC, Berger C, Fleischer M, Domes G. Facial reactions during emotion recognition in borderline personality disorder: a facial electromyography study. *Psychopathology*. 2014; 47:101–10. Epub 2013/09/07. <https://doi.org/10.1159/000351122> PMID: 24021701.
38. Wexler BE, Levenson L, Warrenburg S, Price LH. Decreased Perceptual Sensitivity to Emotion-Evoking Stimuli in Depression. *Psychiatry Research*. 1993:127–38. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(94\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0165-1781(94)90032-9) PMID: 8022947
39. McDuff D, Mahmoud A, Mavadati M, Amr M, Turcot J, el Kaliouby R. AFFDEX SDK: A Cross-Platform RealTime Multi-Face Expression Recognition Toolkit. In: Kaye J, Druin A, Lampe C, Morris D, Hourcade JP, editors. *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM; 2016. pp. 3723–6.
40. Stöckli S, Schulte-Mecklenbeck M, Borer S, Samson AC. Facial expression analysis with AFFDEX and FACET: A validation study. *Behav Res Methods*. 2018; 50:1446–60. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0996-1> PMID: 29218587.
41. Kulke L, Feyerabend D, Schacht A. A Comparison of the Affectiva iMotions Facial Expression Analysis Software With EMG for Identifying Facial Expressions of Emotion. *Frontiers in psychology*. 2020; 11:329. Epub 2020/02/28. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00329> PMID: 32184749.
42. Höfling TTA, Alpers GW, Gerdes ABM, Föhl U. Automatic facial coding versus electromyography of mimicked, passive, and inhibited facial response to emotional faces. *Cognition & Emotion*. 2021; 35:874–89. Epub 2021/03/25. <https://doi.org/10.1080/02699931.2021.1902786> PMID: 33761825.
43. Senechal T, McDuff D, el Kaliouby R. Facial Action Unit Detection Using Active Learning and an Efficient Non-linear Kernel Approximation. 2015 IEEE International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW). IEEE; 2015. pp. 10–8.
44. Wittchen HU, Wunderlich U, Gruschwitz S, Zaudig M. SCID: Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders.
45. Grabe HJ, Löbel S, Dittrich D, Bagby RM, Taylor GJ, Quilty LC, et al. The German version of the Toronto Structured Interview for Alexithymia: factor structure, reliability, and concurrent validity in a psychiatric patient sample. *Compr Psychiatry*. 2009; 50:424–30. Epub 2009/01/16. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2008.11.008> PMID: 19683612.
46. Montebanacci O, Surcinelli P. Correlations between TSIA and TAS-20 and their relation to self-reported negative affect: A study using a multi-method approach in the assessment of alexithymia in a nonclinical sample from Italy. *Psychiatry Research*. 2018; 270:187–93. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.09.036> PMID: 30261408
47. Freitag CM, Retz-Junginger P, Retz W., Seitz C., Palmason H, and Meyer J. Evaluation der deutschen version des Autismus-Spektrum-Quotienten (AQ)-die Kurzversion AQ-k. *Klinische Psychologie und Psychotherapie*. 2007; 36. <https://doi.org/10.1026/1616-3443.36.4.280>
48. Hautzinger M, Keller F, Kühner C. Beck depressions-inventar (BDI-II). 2006.
49. Kroenke K, Spitzer RL, and Williams JB. The PHQ-9: validity of a brief depression severity measure. *Journal of General Internal Medicine*. 2001; 16:606–13. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1497.2001.016009606.x> PMID: 11556941
50. Shah P, Gaule A, Sowden S, Bird G, Cook R. The 20-item prosopagnosia index (PI20): a self-report instrument for identifying developmental prosopagnosia. *R Soc Open Sci*. 2015; 2:140343. Epub 2015/06/24. <https://doi.org/10.1098/rsos.140343> PMID: 26543567.
51. Bagby R, Parker JD, Taylor GJ. The twenty-item Toronto Alexithymia scale—I. Item selection and cross-validation of the factor structure. *Journal of Psychosomatic Research*. 1994; 38:23–32. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)90005-1) PMID: 8126686
52. Taylor GJ, Bagby R, Parker JD. *Disorders of affect regulation: Alexithymia in medical and psychiatric illness*. 1999th ed. Cambridge University Press; 1997.

53. Franz M, Popp K, Schaefer R, Sitte W, Schneider C, Hardt J, et al. Alexithymia in the German general population. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*. 2008; 43:54–62. Epub 2007/10/12. <https://doi.org/10.1007/s00127-007-0265-1> PMID: 17934682.
54. Leiner DJ. SoSci survey. Available Online at: <https://www.soscisurvey.de/> (accessed Decembre 13, 2021), 2014.
55. Lundqvist D, Litton JE. The averaged Karolinska directed emotional-KDEF (CD ROM). Stockholm: Karolinska Institute, Department of; 1998.
56. Goeleven E, Raedt R de, Leyman L, Verschuere B. The Karolinska Directed Emotional Faces: A validation study. *Cognition and Emotion*. 2008; 22:1094–118. <https://doi.org/10.1080/02699930701626582>
57. Müller T, Schäfer R, Hahn S, Franz M. Adults' facial reaction to affective facial expressions of children and adults. *Int J Psychophysiol*. 2019; 139:33–9. Epub 2019/01/26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.01.001> PMID: 30695699.
58. Peirce JW. PsychoPy—Psychophysics software in Python. *J Neurosci Methods*. 2007; 162:8–13. Epub 2007/01/23. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2006.11.017> PMID: 17254636.
59. Fridlund A. J., Cacioppo J.T. Guidelines for Human Electromyographic Research. *Psychophysiology*. 1986; 23:567–89. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1986.tb00676.x> PMID: 3809364
60. Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*. IEEE Comput. Soc; 2001. 1-511-1–518.
61. McDuff D, Mahmoud A, Mavadati M, Amr M, Turcot J, el Kaliouby R. AFFDEX SDK. In: Kaye J, Druin A, Lampe C, Morris D, Hourcade JP, editors. *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM; 2016. pp. 3723–6.
62. Dimberg U, Thunberg M, Grunedal S. Facial reactions to emotional stimuli: Automatically controlled emotional responses. *Cognition and Emotion*. 2002; 16:449–71. <https://doi.org/10.1080/02699930143000356>
63. Sato W, Yoshikawa S. Spontaneous facial mimicry in response to dynamic facial expressions. *Cognition*. 2007; 104:1–18. Epub 2006/06/14. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.001> PMID: 16780824.
64. Sato W, Hyniewska S, Minemoto K, Yoshikawa S. Facial Expressions of Basic Emotions in Japanese Laypeople. *Frontiers in psychology*. 2019; 10:259. Epub 2019/02/12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00259> PMID: 30809180.
65. Höfling TTA, Gerdes ABM, Föhl U, Alpers GW. Read My Face: Automatic Facial Coding Versus Psychophysiological Indicators of Emotional Valence and Arousal. *Frontiers in psychology*. 2020; 11:1388. Epub 2020/06/19. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01388> PMID: 32636788.
66. Lewinski P, Uyl TM den, Butler C. Automated facial coding: Validation of basic emotions and FACS AUs in FaceReader. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*. 2014; 7:227–36. <https://doi.org/10.1037/npe0000028>

3 Diskussion

Dies ist die erste Studie, in der die faziale Mimikry-Reaktion gesunder Probanden auf dynamisch affektanreichernde Stimulus-Videos (Freude und Wut) gleichzeitig mit EMG und Affdex gemessen wurde, um diese beiden Messmethoden miteinander zu vergleichen.

Die EMG-Messung ist der Goldstandard für die Messung der Aktivität mimischer Muskulatur und fazialer Mimikry. Sie erfordert jedoch eine komplexe Messapparatur und Erfahrung in der Anwendung und Interpretation von EMG-Signalen. Affdex verspricht eine zeitsparende und einfach zu interpretierende Analyse der Aktivität der mimischen Muskulatur. Zudem sind hier keine Messelektroden im Gesicht notwendig. Dies könnte ein breites Spektrum an Anwendungen in der Affektforschung eröffnen.

Zunächst wurde die EMG-Aktivität des M. zygomaticus und des M. corrugator unter Verwendung der auf FACS basierenden *action units lip corner puller* und *brow lowerer* (Affdex) direkt miteinander verglichen (Senechal et al. 2015). Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der Messempfindlichkeit, da diese *action units* die sichtbaren Korrelate der entsprechenden mimischen Muskulatur darstellen (Ekman & Friesen 1978a). Zweitens wurde die EMG-Aktivität mit den von Affdex gemessenen Affektwahrscheinlichkeiten verglichen, da Affdex neben den *action units lip corner puller* und *brow lowerer* gemäß EMFACS (McDuff et al. 2016) weitere Daten zur Messung verwendet.

Wir erwarteten vergleichbare Ergebnisse für die Affdex- und die EMG-Messungen (Kulke et al. 2020; Höfling et al. 2021). Es gab jedoch auch Hinweise auf eine geringere Messleistung von Affdex bei subtilen Affektausdrücken, wie sie für die faziale Mimikry zu erwarten war (Stöckli et al. 2018).

Bei gesunden Probanden konnte gezeigt werden, dass faziale Mimikry durch affektexpressives Stimulusmaterial ausgelöst werden kann. Die mittels EMG gemessene Muskelaktivität des M. zygomaticus und M. corrugator spiegelte die Valenz der dargebotenen Affektstimuli für Freude und Wut wider (Dimberg et al. 2002; Franz et al. 2021).

Die Affdex-Messung der fazialen Mimikry der beobachtenden Probanden für die *action unit lip corner puller* und den Affekt Freude zeigte ebenfalls einen Anstieg und eine signifikante Korrelation mit der EMG-Messung des M. zygomaticus während der Präsentation des Freude-Stimulus. Allerdings begann der Anstieg der Affdex Aktivität für die *action unit lip corner puller* erst vergleichsweise spät, 1200 ms nach Stimulusbeginn und etwa 800 ms nach dem

Anstieg der EMG-Aktivität. Sato und Yoshikawa (2007) wiesen nach, dass menschliche FACS-Rater die faziale Mimikry Reaktion auf einen dynamischen Freude-Stimulus nach 817 (± 200) ms nach dem Einsetzen des Reizes erkennen. Die Affdex Aktivität für Freude stieg in der vorliegenden Studie 200 ms später an, als die Aktivität für die *action unit lip corner puller*. Die Affdex Aktivität der *action unit lip corner puller* erreichte ihr Maximum bei durchschnittlich 6,02% und die Affdex Aktivität für Freude bei durchschnittlich 2,51%. Diese Werte entsprechen relativ niedrigen Ausprägungen. (Kulke et al. 2020) untersuchten eine gesunde Kohorte, die Gesichter mit maximalem Affektausdruck imitierte. Hier wurde mit Affdex ein maximaler Mittelwert von 69,56% für die *action unit lip corner puller* und ein maximaler Mittelwert von 67,53% für Freude bei der Nachahmung von Freude gemessen. Es konnte also gezeigt werden, dass Affdex generell in der Lage ist, die mimische Reaktion auf den Freude-Reiz zu messen, allerdings setzt die Reaktion erst später ein.

Die Affdex-Messung für die *action unit brow lowerer* zeigte in der vorliegenden Studie zu keinem Zeitpunkt der Messung eine Stimulus-assoziierte Veränderung und keine signifikante Korrelation mit der EMG-Messung für den M. corrugator. Die Affdex-Aktivität für den Affekt Wut zeigte keine Veränderung während der Stimuluspräsentation. Höhere Werte wurden in einer gesunden Kohorte gefunden, die Wutstimuli imitierte (Kulke et al. 2020). Hier maß Affdex einen maximalen Mittelwert von 36,72 % für die *action unit brow lowerer* und einen maximalen Mittelwert von 8,88 % für Wut bei der Nachahmung von Wut. Affdex weist also in der vorliegenden Studie zur Messung der mimischen Reaktion auf den Wut-Stimulus eine geringe Leistung auf.

Da es sich bei den Messungen um Zeitreihen handelte, wurden auch Kreuzkorrelationen berechnet. Diese zusätzlichen Berechnungen lieferten statistische Hinweise auf eine verzögerte Übereinstimmung der zeitlichen Muster zwischen EMG und Affdex für die Messung der Mimikry-Reaktion auf einen Freude-Stimulus. Für die Messungen des M. corrugator, der *action unit brow lowerer* und des Affektes Wut zeigen die Kreuzkorrelationskoeffizienten keinen relevanten Anstieg.

Ähnliche Studien wiesen ebenfalls auf eine geringe Sensitivität des *automated facial coding* für subtile Affektausdrücke hin (Stöckli et al. 2018; Höfling et al. 2021; Sato et al. 2019). Wiederum konnten hedonische Affektausdrücke besser gemessen werden als anhedonische Affektausdrücke (Höfling et al. 2020), was mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie übereinstimmt.

Auch andere Studien zeigten eine schwächere Erkennungsleistung des *automated facial coding* für Wut im Vergleich zu Freude (Lewinski et al. 2014; Stöckli et al. 2018). Es bleibt unklar, warum Affdex die faziale Mimikry für Freude, aber nicht für Wut erkennt, obwohl die EMG in beiden Fällen die Muskelaktivität messen kann. Ein Grund dafür könnte sein, dass der Freude-Stimulus zu einer höheren und länger anhaltenden Muskelaktivität führt als der Wut-Stimulus. Während die Aktivität des *M. zygomaticus* auf etwa $1800 \mu\text{V} \times 200 \text{ms}$ ansteigt und bis zum Ende des Messintervalls bei über $1200 \mu\text{V} \times 200 \text{ms}$ bleibt, steigt die Aktivität des *M. corrugator* nur auf ein Maximum von etwa $1300 \mu\text{V} \times 200 \text{ms}$ an und sinkt bis zum Ende des Messintervalls auf etwa $500 \mu\text{V} \times 200 \text{ms}$. Der Verlauf der EMG-Aktivität könnte Hinweise auf die Aktivität der mit Affdex gemessenen *action units* liefern. Es ist möglich, dass die Muskelaktivität des *M. corrugator* im Rahmen der fazialen Mimikry nicht ausreichend stark ausgeprägt ist, um die *action unit brow lowerer* in ausreichendem Maße zu aktivieren und um sie mit Affdex messen zu können. Andere Studien zeigten ebenfalls eine stärkere EMG-Antwort auf hedonische Reize als auf anhedonische Reize (Höfling et al. 2021). Selbst wenn die EMG-Aktivität zuverlässig gemessen werden kann, handelt es sich quantitativ gesehen um äußerst geringe Aktivierungssteigerungen im EMG. Es ist denkbar, dass EMG eine bereits „subkutan“ initiierte Muskelaktivität messen kann, die aber noch nicht zu einer makroskopisch sichtbaren Veränderung der mimischen Muskulatur führt.

Eine andere Erklärung könnte die gleichzeitige Anwendung von EMG-Hautelektroden und Affdex-Messung sein. Kulke et al. (2020) fanden heraus, dass bei der Messung von imitiertem Affekt mit Affdex und gleichzeitiger EMG-Messung das Messergebnis durch die verwendeten EMG-Elektroden im Gesicht nur geringfügig verschlechtert wurde. In der vorliegenden Studie war zu beobachten, dass die Affdex-Messpunkte, die sich an den Augenbrauen befanden, über längere Zeitintervalle zu den EMG-Elektroden sprangen, die sich an der Stirn oberhalb der Augenbrauen befanden. Dies geschah, obwohl die Elektroden nicht die für Affdex relevanten Bereiche abdeckten. Um konsistent funktionierende Affdex-Messungen zu erhalten, wurden daher in dieser Studie die EMG-Elektroden in den Videoaufnahmen der Probanden beim Betrachten der Video-Stimuli nach Rücksprache mit dem iMotions-Supportteam farbangepasst retuschiert. Nach der Retusche lagen die Messpunkte einheitlich auf den Augenbrauen, so dass die Affdex-Messung nicht mehr beeinträchtigt worden sein dürfte. Natürlich ist es trotzdem theoretisch denkbar, dass die durch die Retusche entstandene Modifikation des Probandenportraits insbesondere die Erkennung der fazialen Mimikry von Wut und der *action unit brow lowerer* durch Affdex beeinträchtigt wurde. In diesem Fall wäre diese Studie nicht geeignet, um die Leistung von

Affdex bei der Messung der Aktivität der *action unit brow lowerer* zu beurteilen. Die Messpunkte, die für die Messung von Affdex' *action unit lip corner puller* und *joy* zuständig waren, befanden sich während des gesamten Messintervalls an den korrekten Positionen.

Bei der Durchführung dieser Studie wurden neben den oben genannten Vorteilen von Affdex im Vergleich zum EMG auch Nachteile von Affdex festgestellt. Insgesamt 5 Probanden wurden aufgrund von Fehlmessungen durch Affdex, verursacht durch ungünstige Lichtverhältnisse oder Brillen, ausgeschlossen. Um weitere Messfehler zu vermeiden, mussten die EMG-Elektroden wie oben beschrieben retuschiert werden, was technisch anspruchsvoll und sehr zeitaufwendig war. Wir führten die Affdex-Messungen an nachträglich in die Software importierten Videos durch. Die von iMotions vorgesehene Funktion zum Import von Stimulus-Markern führte teilweise zu zeitlich versetzten Markern. Infolgedessen mussten die Marker manuell korrekt in der Zielregion eingefügt werden, um die Zeiten, zu denen die Stimuli präsentiert wurden, genau zu markieren. Auch dieses Verfahren war sehr zeitaufwändig.

Durch technische Verbesserungen könnten diese Probleme gelöst und die Anwendung erheblich verbessert werden.

Wie bereits erwähnt, war das Retuschieren der EMG-Elektroden zeitaufwendig. Zukünftige Studien sollten entweder keine Elektroden verwenden, wenn gleichzeitig mit Affdex gemessen wird, oder sie auf dem Gesicht platzieren und abdecken, damit sie die Affdex-Messung nicht stören. Darüber hinaus könnten Folgestudien zusätzlich die Videos der Probanden mit menschlichen FACS-Ratern überprüfen. Diese Art der Validitätsprüfung wäre sehr zeitaufwändig, würde aber darüber aufklären, ob Affdex eine ähnliche Erkennungsleistung für subtile mimische Aktivität aufweist wie der Mensch.

Die vorliegende Studie konzentrierte sich auf die Messung der fazialen Mimikry bei den am häufigsten untersuchten Affekten Freude und Ärger. Um weitere mögliche Einsatzfelder für Affdex zu prüfen könnten künftige Studien die Basisaffekte Angst, Ekel, Traurigkeit und Überraschung untersuchen

3.1 Schlussfolgerungen

Dies ist die erste Studie, in der die faziale Mimikry-Reaktion gesunder Probanden auf dynamisch affektanreichernde Stimulus-Videos (Freude und Wut) gleichzeitig mit EMG und

Affdex gemessen wurde, um diese beiden Messmethoden miteinander zu vergleichen. Mit der hier dargestellten Studie konnten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1. Ist Affdex dazu in der Lage, die Mimikry-Reaktion auf einen Freude-Stimulus zu messen und korreliert das Messergebnis mit der EMG-Messung für den M. zygomaticus?
2. Ist Affdex dazu in der Lage, die Mimikry-Reaktion auf einen Wut-Stimulus zu messen und korreliert das Messergebnis mit der EMG-Messung für den M. corrugator?
3. Wie leistungsstark ist Affdex beim Messen von fazialer Mimikry verglichen zur EMG hinsichtlich Genauigkeit, Geschwindigkeit, und Sensibilität?

Die vorliegende Studie zeigt, dass Affdex eine mimische Reaktion auf den Affekt Freude messen kann. Trotz der verzögerten Messung im Vergleich zur etablierten EMG-Messung, zeigt Affdex eine valide Leistung. Dennoch reicht es nicht an das hochempfindliche EMG heran und muss daher für die Messung subtiler Affektausdrücke weiter verbessert werden. Es bleibt unklar, wie gut Affdex die mimische Reaktion auf einen wütenden Stimulus erkennt, da in dieser Studie die EMG-Elektroden, die den M. corrugator messen, Affdex möglicherweise negativ beeinträchtigen. Sollte sich die Messleistung von Affdex in Zukunft deutlich verbessern und die Messung subtiler Affektausdrücke ermöglichen, könnte es sich zu einem vielversprechenden Messinstrument mit einem breiten Anwendungsspektrum entwickeln. Insbesondere naturalistische Versuchsanordnungen, die eine berührungslose Messung affektiver Reaktionen erfordern, könnten von Affdex profitieren. Die EMG hat sich jedoch, zumindest für die hier untersuchten Grundaffekte, als überlegen erwiesen, wenn es darum geht, die zeitlichen und dynamischen Verlaufscharakteristika der fazialen Mimikry in Reaktion auf naturalistisch ablaufende affektexpressive Mimik zu erfassen. Die EMG bleibt daher der Goldstandard für die Messung fazialer Mimikry.

4 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Adolphs, R. (2002): Neural systems for recognizing emotion. In *Current Opinion in Neurobiology* (12), pp. 169–177.
- Baumeister, R. F.; Leary, M. R. (1995): The Need to Belong: Desire for Interpersonal Attachments as a Fundamental Human Motivation. In *Psychological Bulletin* (117), pp. 497–529. DOI: 10.4324/9781351153683-3.
- Blairy, Sylvie; Herrera, Pedro; Hess, Ursula (1999): Mimicry and the Judgement of Emotional Facial Expressions. In *Journal of Nonverbal Behavior* 23 (1), pp. 5–41. DOI: 10.1023/A:1021370825283.
- Borgomaneri, Sara; Bolloni, Corinna; Sessa, Paola; Avenanti, Alessio (2020): Blocking facial mimicry affects recognition of facial and body expressions. In *PLOS ONE* 15 (2), e0229364. DOI: 10.1371/journal.pone.0229364.
- Cabanac, M. (2002): What is emotion? In *Behavioural Processes* (60), pp. 69–83.
- Candra Kirana, Kartika; Wibawanto, Slamet; Wahyu Herwanto, Heru (2018): Facial Emotion Recognition Based on Viola-Jones Algorithm in the Learning Environment. In : Proceedings, 2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic). Creative Technology for Human Life : September 21st - 22nd, 2018, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, Indonesia. 2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic). Semarang, 9/21/2018 - 9/22/2018. Piscataway, NJ: IEEE, pp. 406–410.
- Chartrand, T. L.; Bargh, J. A. (1999): The chameleon effect: the perception-behavior link and social interaction. In *Journal of Personality and Social Psychology* 76 (6), pp. 893–910. DOI: 10.1037//0022-3514.76.6.893.
- Chartrand, Tanya L.; Maddux, William W.; Lakin, Jessica L. (2006): Beyond the Perception-Behavior Link: The Ubiquitous Utility and Motivational Moderators of Nonconscious Mimicry. In Ran R. Hassin (Ed.): *The new unconscious*. Oxford: Oxford Univ. Press (Oxford series in social cognition and social neuroscience), pp. 334–361.
- Darwin, C. (1872): *The expression of the emotions in man and animals*. London: John Murray.
- Decety, Jean; Jackson, Philip L. (2004): The functional architecture of human empathy. In *Behavioral and cognitive neuroscience reviews* 3 (2), pp. 71–100. DOI: 10.1177/1534582304267187.
- Di Pellegrino, G.; Fadiga, L.; Fogassi, L.; Gallese, V.; Rizzolatti, G. (1992): Understanding motor events: a neurophysiological study. In *Experimental brain research* 91 (1), pp. 176–180. DOI: 10.1007/BF00230027.
- Dimberg, U. (1982): Facial reactions to facial expressions. In *Psychophysiology* 19 (6), pp. 643–647. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1982.tb02516.x.
- Dimberg, U.; Thunberg, M. (1998): Rapid facial reactions to emotional facial expressions. In *Scandinavian journal of psychology* 39 (1), pp. 39–45. DOI: 10.1111/1467-9450.00054.
- Dimberg, U.; Thunberg, M.; Elmehed, K. (2000): Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. In *Psychological Science* 11 (1), pp. 86–89. DOI: 10.1111/1467-9280.00221.
- Dimberg, Ulf; Thunberg, Monika; Grunedal, Sara (2002): Facial reactions to emotional stimuli: Automatically controlled emotional responses. In *Cognition and Emotion* 16 (4), pp. 449–471. DOI: 10.1080/02699930143000356.
- Drimalla, H.; Landwehr, N.; Hess, U.; Dziobek, I. (2019): From face to face: the contribution of facial mimicry to cognitive and emotional empathy. In *Cognition & Emotion* 33 (8), pp. 1672–1686. DOI: 10.1080/02699931.2019.1596068.

- Ekman, P. (1972): Universals and Cultural Differences in Facial Expressions of Emotions. Lincoln, NB: Nebraska Symposium on Motivation.
- Ekman, P. (1984): Expression and the Nature of Emotion. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ekman, P. (1992a): An argument for basic emotions. In *Cognition and Emotion* (6).
- Ekman, P. (1992b): Are there basic emotions? In *Psychological Review* (99), pp. 550–553.
- Ekman, P. (1999): Basic Emotions. In P. Ekman (Ed.): *Handbook of Cognition and Emotion*: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ekman, P. (2010): Gefühle lesen: Wie Sie Emotionen erkennen und richtig interpretieren. München: Elsevier Verlag.
- Ekman, P.; Friesen, W. V. (1976): Measuring facial movement. In *Environmental psychology and nonverbal behavior* (1), pp. 56–75.
- Ekman, P.; Friesen, W. V. (1978a): Facial Action Coding System (FACS). Available online at <https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2Ft27734-000>, updated on 12/2/2021, checked on 12/15/2021.
- Ekman, Paul; Friesen, Wallace V. (1978b): PsycTESTS Dataset.
- Elfenbein, H. A.; Ambady, N. (2002): On the universality and cultural specificity of emotion recognition: a meta-analysis. In *Psychological Bulletin* (128), pp. 203–235.
- Field, T. M.; Woodson, R.; Greenberg, R.; Cohen, D. (1982): Discrimination and imitation of facial expression by neonates. In *Science (New York, N.Y.)* 218 (4568), pp. 179–181. DOI: 10.1126/science.7123230.
- Fonagy, P. (2015): Affektregulierung, Mentalisierung und die Entwicklung des Selbst. With assistance of Peter Fonagy, György Gergely, Elliot L. Jurist, Mary Target. 5. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta (Fachbuch).
- Fonagy, P.; Target, M. (1997): Attachment and reflective function: their role in self-organization. In *Development and psychopathology* 9 (4), pp. 679–700. DOI: 10.1017/s0954579497001399.
- Franz, M.; Nordmann, M. A.; Rehagel, C.; Schäfer, R.; Müller, T.; Lundqvist, D. (2021): It is in your face-Alexithymia impairs facial mimicry. In *Emotion (Washington, D.C.)* 21 (7), pp. 1537–1549. DOI: 10.1037/emo0001002.
- Friesen, W. V.; Ekman, P. (1983): EMFACS-7: Emotional facial action coding system. Unpublished manuscript. San Francisco: University of California at San Francisco.
- Fröhlich, W. D. (2010): Wörterbuch Psychologie. München: Dt. Taschenbuch-Verlag.
- Großheinrich, N.; Fast, K.; Padberg, F. (2007): Emotionen. In H. R. Siebner, U. Ziemann (Eds.): *Das TMS-Buch: Handbuch der transkraniellen Magnetstimulation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gu, Jiuxiang; Wang, Zhenhua; Kuen, Jason; Ma, Lianyang; Shahroudy, Amir; Shuai, Bing et al. (2018): Recent advances in convolutional neural networks. In *Pattern Recognition* 77, pp. 354–377. DOI: 10.1016/j.patcog.2017.10.013.
- Hatfield, E.; Cacioppo, J. T.; Rapson, R. L. (1992): Primitive emotional contagion. *Emotion and Social Behavior*. In *Review of Personality and Social Psychology* (14).
- Hatfield, E.; Cacioppo, J. T.; Rapson, R. L. (1994): *Emotional Contagion*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Hess, U.; Fischer, A. (2014): Emotional Mimicry: Why and When We Mimic Emotions. In *Social and Personality Psychology Compass* 8 (2), pp. 45–57. DOI: 10.1111/spc3.12083.
- Hess, U.; Philippot, P.; Blairy, S. (1999): Mimicry- Facts and fiction. In *The social context of nonverbal behavior*, pp. 213–241.
- Hickok, Gregory (2014): *The myth of mirror neurons. The real neuroscience of communication and cognition*. First edition. New York: W. W. Norton & Company.
- Hinsz, V. B.; Tomhave, J. A. (1991): Smile and (Half) the World Smiles with You, Frown and You Frown Alone. In *Personality and Social Psychology Bulletin* (17), pp. 586–592. DOI: 10.1177/0146167291175014.

- Höfling, T. T. A.; Alpers, G. W.; Gerdes, A. B. M.; Föhl, U. (2021): Automatic facial coding versus electromyography of mimicked, passive, and inhibited facial response to emotional faces. In *Cognition & Emotion* 35 (5), pp. 874–889. DOI: 10.1080/02699931.2021.1902786.
- Höfling, T. T. A.; Gerdes, A. B. M.; Föhl, U.; Alpers, G. W. (2020): Read My Face: Automatic Facial Coding Versus Psychophysiological Indicators of Emotional Valence and Arousal. In *Frontiers in psychology* 11, p. 1388. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.01388.
- Ickes, W. (1997): Empathic accuracy. New York: Guilford.
- Isomura, Tomoko; Nakano, Tamami (2016): Automatic facial mimicry in response to dynamic emotional stimuli in five-month-old infants. In *Proceedings. Biological sciences* 283 (1844). DOI: 10.1098/rspb.2016.1948.
- Jäncke, L. (1992): EMG-Reaktionen mimischer Muskeln nach wiederholter Darbietung von Bildern mit positiver, negativer und neutraler Valenz. In *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* 39 (3), pp. 434–454.
- Kartali, Aneta; Roglic, Milos; Barjaktarovic, Marko; Duric-Jovicic, Milica; Jankovic, Milica M. (2018): Real-time Algorithms for Facial Emotion Recognition: A Comparison of Different Approaches. In : 2018 14th Symposium on Neural Networks and Applications (NEUREL 2018). Belgrade, Serbia, 20-21 November 2018. 2018 14th Symposium on Neural Networks and Applications (NEUREL). Belgrade, 11/20/2018 - 11/21/2018. Piscataway, NJ: IEEE, pp. 1–4.
- Köck, P.; Ott, H. (1994): Wörterbuch für Erziehung und Unterricht: 3100 Begriffe aus den Bereichen Pädagogik, Didaktik, Psychologie, Soziologie, Sozialwesen. Donauwörth: Auer.
- Kulke, L.; Feyerabend, D.; Schacht, A. (2020): A Comparison of the Affectiva iMotions Facial Expression Analysis Software With EMG for Identifying Facial Expressions of Emotion. In *Frontiers in psychology* 11, p. 329. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.00329.
- Lang, P. J. (1995): The emotion probe. Studies of motivation and attention. In *American Psychologist* (50), pp. 372–380.
- Larsen, J. T.; Norris, C. J.; Cacioppo, J. T. (2003): Effects of positive and negative affect on electromyographic activity over zygomaticus major and corrugator supercilii. In *Psychophysiology* 40 (5), pp. 776–785. DOI: 10.1111/1469-8986.00078.
- Legewie, H.; Ehlers, W. (1995): Knaurs moderne Psychologie. München: Droemer; Knaur.
- Lewinski, P.; Uyl, T. M. den; Butler, C. (2014): Automated facial coding: Validation of basic emotions and FACS AUs in FaceReader. In *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics* 7 (4), pp. 227–236. DOI: 10.1037/npe0000028.
- Lundqvist, L. O. (1995): Facial EMG reactions to facial expressions: a case of facial emotional contagion? In *Scandinavian journal of psychology* 36 (2), pp. 130–141. DOI: 10.1111/j.1467-9450.1995.tb00974.x.
- McDuff, D.; Mahmoud, A.; Mavadati, M.; Amr, M.; Turcot, J.; el Kaliouby, R. (2016): AFFDEX SDK: A Cross-Platform RealTime Multi-Face Expression Recognition Toolkit. In J. Kaye, A. Druin, C. Lampe, D. Morris, J. P. Hourcade (Eds.): Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI'16: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. San Jose California USA, 07 05 2016 12 05 2016. New York, NY, USA: ACM, pp. 3723–3726.
- Neumann, Roland; Schulz, Stefan M.; Lozo, Ljubica; Alpers, Georg W. (2014): Automatic facial responses to near-threshold presented facial displays of emotion: imitation or evaluation? In *Biological psychology* 96, pp. 144–149. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2013.12.009.
- Niedenthal, Paula M. (2007): Embodying emotion. In *Science (New York, N.Y.)* 316 (5827), pp. 1002–1005. DOI: 10.1126/science.1136930.

- Oberman, L. M.; Winkielman, P.; Ramachandran, V. S. (2007): Face to face: blocking facial mimicry can selectively impair recognition of emotional expressions. In *Social neuroscience* 2 (3-4), pp. 167–178. DOI: 10.1080/17470910701391943.
- Ortony, A.; Turner, T. J. (1990): What's basic about basic emotions? In *Psychological Review* (97), pp. 315–331.
- Pavarini, Gabriela; Sun, Rui; Mahmoud, Marwa; Cross, Ian; Schnall, Simone; Fischer, Agneta et al. (2019): The role of oxytocin in the facial mimicry of affiliative vs. non-affiliative emotions. In *Psychoneuroendocrinology* 109, p. 104377. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2019.104377.
- Phillips, M. L.; Drevets, W. C.; Rauch, S. L.; Lane, R. (2003): Neurobiology of emotion perception I: the neural basis of normal emotion perception. In *Biological Psychiatry* (54), pp. 504–514.
- Plutchik, R. (1962): *The emotions: Facts, theories and a new model*. New York: Crown Publishing Group/Random House.
- Rizzolatti, Giacomo; Fogassi, Leonardo; Gallese, Vittorio (2002): Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. In *Current opinion in neurobiology* 12 (2), pp. 149–154. DOI: 10.1016/s0959-4388(02)00308-2.
- Rudolf, G.; Henningsen, P. (2017): *Psychotherapeutische Medizin und Psychosomatik*. 8., unveränderte Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Russel, J. (1980): A circumplex model of affect. In *Journal of Personality and Social Psychology* (39), pp. 1161–1178.
- Sachse, R. (2015): Empathie. In M. Linden, M. Hautzinger (Eds.): *Verhaltenstherapiemanual. Empathie*. With assistance of R. Sachse. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sato, W.; Hyniewska, S.; Minemoto, K.; Yoshikawa, S. (2019): Facial Expressions of Basic Emotions in Japanese Laypeople. In *Frontiers in psychology* 10, p. 259. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00259.
- Sato, Wataru; Yoshikawa, Sakiko (2007): Spontaneous facial mimicry in response to dynamic facial expressions. In *Cognition* 104 (1), pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.cognition.2006.05.001.
- Schneider, F.; Fink, G. R. (2013): *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*: Springer-Verlag.
- Seibt, Beate; Mühlberger, Andreas; Likowski, Katja U.; Weyers, Peter (2015): Facial mimicry in its social setting. In *Frontiers in psychology* 6, p. 1122. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01122.
- Senechal, T.; McDuff, D.; el Kaliouby, R. (2015): Facial Action Unit Detection Using Active Learning and an Efficient Non-linear Kernel Approximation. In : 2015 IEEE International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW). 2015 IEEE International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW). Santiago, Chile, 07.12.2015 - 13.12.2015: IEEE, pp. 10–18.
- Shapiro, Lawrence (2019): *Embodied Cognition*. [Place of publication not identified]: Taylor & Francis (CAM); Routledge.
- Shu, Chang; Ding, Xiaoqing; Fang, Chi (2011): Histogram of the oriented gradient for face recognition. In *Tinshhua Sci. Technol.* 16 (2), pp. 216–224. DOI: 10.1016/S1007-0214(11)70032-3.
- Spangler, Gottfried; Maier, Ursula; Geserick, Barbara; Wahlert, Angelika von (2010): The influence of attachment representation on parental perception and interpretation of infant emotions: A multilevel approach. In *Developmental psychobiology* 52 (5), pp. 411–423. DOI: 10.1002/dev.20441.
- Stöckli, S.; Schulte-Mecklenbeck, M.; Borer, S.; Samson, A. C. (2018): Facial expression analysis with AFFDEX and FACET: A validation study. In *Behavior research methods* 50 (4), pp. 1446–1460. DOI: 10.3758/s13428-017-0996-1.

- Tronick, E.; Als, H.; Adamson, L.; Wise, S.; Brazelton, T. B. (1978): The infant's response to entrapment between contradictory messages in face-to-face interaction. In *Journal of the American Academy of Child Psychiatry* 17 (1), pp. 1–13. DOI: 10.1016/s0002-7138(09)62273-1.
- van der Schalk, Job; Hawk, Skyler T.; Fischer, Agneta H.; Doosje, Bertjan (2011): Moving faces, looking places: validation of the Amsterdam Dynamic Facial Expression Set (ADFES). In *Emotion (Washington, D.C.)* 11 (4), pp. 907–920. DOI: 10.1037/a0023853.
- Vrana, S. R. (1993): The psychophysiology of disgust: differentiating negative emotional contexts with facial EMG. In *Psychophysiology* 30 (3), pp. 279–286. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1993.tb03354.x.
- Watson, D.; Clark, L. A.; Tellegen, A. (1988): Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. In *Journal of Personality and Social Psychology* (54), pp. 1063–1070.
- Weinberg, M. K.; Tronick, E. Z. (1996): Infant affective reactions to the resumption of maternal interaction after the still-face. In *Child development* 67 (3), pp. 905–914.
- Westermann, Jan-Frederik; Schäfer, Ralf; Nordmann, Marc; Richter, Peter; Müller, Tobias; Franz, Matthias (2024): Measuring facial mimicry: Affdex vs. EMG. In *PLOS ONE* 19 (1), e0290569. DOI: 10.1371/journal.pone.0290569.
- Wingenbach, Tanja S. H.; Brosnan, Mark; Pfaltz, Monique C.; Peyk, Peter; Ashwin, Chris (2020): Perception of Discrete Emotions in Others: Evidence for Distinct Facial Mimicry Patterns. In *Scientific reports* 10 (1), p. 4692. DOI: 10.1038/s41598-020-61563-5.

5 Anhang

Studennummer des Ethikvotums: 2016116024

Danksagung

Herrn Prof. Matthias Franz danke ich für die Überlassung des Themas und seine tatkräftige Unterstützung und Beratung.

Herrn Dr. Ralf Schäfer danke ich für seine ausgezeichnete Betreuung und Unterstützung bei der Durchführung der gesamten Arbeit.

Mein Dank gilt außerdem Marc-André Nordmann für die Mitarbeit bei Vorbereitung und Durchführung der Untersuchung sowie allen Probanden, die durch ihre Teilnahme diese Studie erst ermöglicht haben.

Auch möchte ich allen Mitarbeitern und Forschungspraktikanten des Klinischen Instituts für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie danken, die dazu beigetragen haben, dass ich dieses Thema mit Freude bearbeiten konnte. Insbesondere Frau Dr. Mahboobeh Dehghan Nayyeri, Herrn Peter Richter und Herrn Claudius Rehagel möchte ich an dieser Stelle für ihre unermüdliche Hilfsbereitschaft danken.

Meinen Geschwistern danke ich für ihre Hilfe und mentale Unterstützung. Auch meinen Freunden und meinem Selbsterfahrungstherapeuten möchte ich für ihren Rückhalt danken.

Meinen Eltern möchte ich für Ihre stetige Unterstützung und Ermutigung sowohl während des Studiums als auch darüber hinaus danken.