

Aus der Klinik für Neurologie  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

*Die Bedeutung einer Einzelfallstudie erworbener  
Prosopagnosie für das Verständnis der Gesichtererkennung*

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Frau Eva Katharina Else v. Laer, M.A.  
aus Berlin

Datum der Promotion: 09. September 2016

für JQ

## Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Zusammenfassung .....   | 5  |
| Abstract .....  | 7  |
| 1. Einleitung .....   | 9  |
| JQs Geschichte .....  | 10 |
| 2. Hintergründe der Kognitiven Neuropsychologie .....                                 | 12 |
| Geschichte der Kognitiven Neuropsychologie .....                                      | 12 |
| Vorannahmen der Kognitiven Neuropsychologie .....                                     | 15 |
| Einzelfallstudien in der Kognitiven Neuropsychologie .....                            | 20 |
| Doppeldissoziationen - Definition .....   | 21 |
| Doppeldissoziationen– Rechtfertigung der Inferenz auf (kognitive) Modularität .....   | 22 |
| 4. Schädel-Hirn-Traumata (SHT) und neuropsychologische Rehabilitation.....            | 26 |
| 5. Theorie der Gesichtererkennung .....   | 30 |
| I. Kognitives Modul des Gesichtererkennens und Prosopagnosie als Krankheitsbild ..... | 30 |
| I.1 1986: Das Jahr kognitiver Modelle der Gesichtererkennung .....                    | 31 |
| I.2 Konfigurale Verarbeitung von Gesichtern und Inversionseffekt.....                 | 33 |
| I.3 Dissoziation zwischen Gesichts- und Objekterkennung: Kognitive Hinweise .....     | 37 |
| I.4 Dissoziationen zwischen Gesichtsinformationen? - Kognitive Hinweise.....          | 39 |
| I.4.1 Dissoziation von Geschlechterkennen und Identitätserkennen.....                 | 39 |
| I.4.2. Dissoziation von Identitätserkennen und Emotionserkennen.....                  | 46 |
| II. Modell der neurologischen Modularität: Fokus auf Identitätserkennen .....         | 52 |
| 6. Fragestellung .....  | 57 |
| 7. Durchführung der Messungen und Auswertung.....                                     | 58 |
| Stichprobe.....   | 58 |
| Auswertungsmethoden .....   | 59 |
| MRT .....   | 65 |
| 8. Ergebnisse .....   | 66 |

|   |     |
|---|-----|
| I. Neuropsychologische Testungen.....             | 66  |
| I.1. Gruppe: Kognitive Basisfunktionen .....      | 66  |
| I.2. Gruppe: Gesichterspezifische Testungen ..... | 76  |
| II. MRT-Aufnahmen .....                           | 85  |
| 9. Diskussion .....                               | 87  |
| 10. Zusammenfassung und Ausblick.....             | 106 |
| 11. Danksagung.....                               | 108 |
| 12. Abkürzungsverzeichnis .....                   | 109 |
| 13. Abbildungsverzeichnis.....                    | 111 |
| Lebenslauf .....                                  | 113 |
| Eidesstattliche Versicherung.....                 | 114 |
| Literaturverzeichnis .....                        | 115 |

## Zusammenfassung

Einleitung: Einzelfallstudien sind in der Kognitiven Neuropsychologie ein wichtiges Standbein, da durch sie (Doppel)dissoziationen neuropsychologischer Fähigkeiten erkannt und kognitive Modelle verbessert werden können. Die der neuropsychologischen Forschung zugrundeliegenden Hintergrundannahmen sowie der Erklärungsanspruch ihrer Ergebnisse werden kritisch beleuchtet. Die Annahme eines modularen kognitiven Modells der Gesichtererkennung scheint gerechtfertigt. Vor diesem Hintergrund wurde eine Patientin mit erworbener Prosopagnosie nach einem Unfall über 16 Monate untersucht und mit einer Kontrollgruppe von 15 ProbandInnen verglichen.

Methode: Neuropsychologische Tests zu kognitiven Basisfunktionen (visuelle Basisfunktionen, allgemeine kognitive Leistung, Objekterkennung und Objektverarbeitung, visuell räumliche Wahrnehmung und visuelles Gedächtnis, Erinnerung visueller Objekte, auditives Lernen und Gedächtnis, Aufmerksamkeit) sowie gesichterspezifische Tests (Benton Facial Recognition Test, Warrington Recognition Memory Test for Faces, Cambridge Face Memory Test, Famous Faces/Houses Recognition Test, Test zur Geschlechtererkennung sowie zum Erkennen von Emotionen) und MRT-Untersuchungen des Cerebrums wurden durchgeführt. Da es sich hier wie bei Einzelfallstudien häufig um eine relativ kleine Kontrollgruppe handelt, wurde für die statistische Auswertung ein modifizierter T-Test herangezogen, der die Gruppengröße stärker gewichtet. Um triviale Dissoziationen zu vermeiden, wurde bezüglich der Frage nach einer Dissoziation von Objekt- und Identitätserkennung an Gesichtern beziehungsweise einer Dissoziation des Erkennens verschiedener Gesichtsinformationen (Identität, Geschlecht, Emotionen) die Forderung berücksichtigt, dass sich die Ergebnisse in den zwei betrachteten Tests auch signifikant *voneinander* unterscheiden.

Ergebnisse: Während sich die kognitiven Basisfunktionen im Verlauf der Testungen normalisierten, blieb das Defizit der Identitätserkennung anhand von Gesichtern bestehen. Es ließ sich eine Dissoziation der Gesichteridentitäts- und Häusererkennung nachweisen. Weiterhin fiel eine normale Geschlechtererkennung bei heterogenen Ergebnissen in der Emotionserkennung an Gesichtern bis 16 Monate nach dem Unfall auf. Bezüglich eines möglichen anatomischen Korrelats des

## Abstract

Defizits zeigen MRT-Aufnahmen eine unspezifische Signalanhebung in der Nähe der FFA, die sich im Verlauf reproduzieren ließ. Weitere pathologische Befunde wurden nicht detektiert.

Schlussfolgerung: Modulare kognitive Modelle der Gesichtererkennung liefern eine gute Erklärungsgrundlage auch für diesen Fall der erworbenen Prosopagnosie. Insbesondere bezüglich möglicher Dissoziationen von Fähigkeiten, verschiedene Gesichtsinformationen zu erkennen, sind detaillierte Darstellungen weiterer Fälle wünschenswert.

## **Abstract**

Introduction: Single case studies are an important mainstay in cognitive neuropsychology because of their potential to detect (double)dissociations of neuropsychological skills and thereby improve cognitive models. Underlying assumptions of cognitive neuropsychology as well as the explanatory potential of their results are critically examined. The assumption of a modular cognitive model of facial recognition seems to be justified. Against this background a patient suffering from acquired prosopagnosia after an accident was examined during a period of 16 months and compared to a control group of 15 participants.

Methods: Neuropsychological tests regarding basic cognitive functions (visual functions, intelligence, object recognition and processing, visual spatial perception and visual memory, memory of visual objects, auditory learning and memory, attention) and face-specific tests (Benton Facial Recognition Test, Warrington Recognition Memory Test for Faces, Cambridge Face Memory Test, Famous Faces/Houses Recognition Test, gender recognition test, emotion recognition test) as well as MRI-examinations of the cerebrum were carried out. Due to the small size of control groups in single case studies, a modified T-test was used that gives the group size a stronger weighting. Concerning the question whether there is a dissociation between face identity recognition and object recognition or, as the case may be, a dissociation between the recognition of different facial information (identity, gender, emotions), the consideration that the results in the two tasks should be significantly different *from one another* to avoid trivial dissociations was taken into account.

Results: While basic cognitive functions returned to a normal level during the period of testing the deficit of facial identity recognition remained. A dissociation between the recognition of famous faces and houses was seen. Furthermore normal gender recognition was apparent whereas emotion recognition showed heterogenous results until 16 months after the accident. With regards to a possible anatomical correlate, the MRI examinations detected a small reproducible unspecific signal enhancement near the fusiform face area. No other pathological findings appeared.

Conclusion: Modular cognitive models of face recognition provide a good background to explain this case of acquired prosopagnosia. In particular with respect to potential

## Abstract

dissociations of abilities to recognize different facial information, further detailed case studies are necessary.

## 1. Einleitung

Ein Gesicht beinhaltet viele verschiedene Informationen, die von uns sehr schnell und effizient verarbeitet werden können. Es sagt etwas aus über Stimmung und Intention der betreffenden Person, über Geschlecht und Alter, Gesundheit, Attraktivität, Emotion, zeigt die Blickrichtung und damit z.B. die Richtung möglicherweise drohender Gefahr; die Beobachtung von Lippenbewegungen hilft beim Verstehen von Sprache. Auch die Identität des Gegenübers erkennen wir normalerweise ohne Schwierigkeiten am Gesicht.

Die Unfähigkeit des Erkennens der Identität von Personen anhand ihrer Gesichter stellt das Kerndefizit des Krankheitsbildes der Prosopagnosie dar. Es kann angeboren oder als erworbenes Defizit in Folge von Gehirnschädigungen (z. B. Schlaganfall, Blutung, Schädelhirntrauma) auftreten. Betroffene identifizieren Personen statt anhand des Gesichts z.B. anhand von Stimme oder Gang, Körperbau, besonderer Gestik oder Kleidung und auch anhand des Kontextes, in dem sie sie normalerweise antreffen. Dies sind allerdings oft unzureichende Alternativstrategien und so führt das Defizit zu teils massiven Einschränkungen des Soziallebens.

Die vorliegende Arbeit will die Bedeutung einer Einzelfallstudie für das Verständnis der Gesichtererkennung in der Kognitiven Neuropsychologie beleuchten. JQ konnte nach einem Fahrradunfall ihr eigenes Gesicht plötzlich nicht mehr im Spiegel erkennen. Die Verdachtsdiagnose einer erworbenen Prosopagnosie wurde untersucht und mit einer Kontrollgruppe verglichen.

### Gliederung

Zunächst erfolgt eine Vorstellung des Falles. Anschließend wird auf den Status und Erklärungsanspruch der Kognitiven Neuropsychologie heute eingegangen, wobei die Rolle von Einzelfallstudien und insbesondere Doppeldissoziationen in der Kognitiven Neuropsychologie deutlich gemacht wird. Nach einem Überblick über Stand der Gesichterforschung werden die Ergebnisse der Untersuchungen vorgestellt und in die Literatur eingeordnet.

## JQs Geschichte

Am 3. Juni 2007 stürzte JQ während eines Fahrradrennens zusammen mit mehreren anderen Fahrern. Höchstwahrscheinlich erlitt JQ eine kurze, wenige Minuten andauernde Bewusstlosigkeit, an den Unfallhergang kann sie sich nicht erinnern. Der Helm der Patientin wurde schwer beschädigt, sie selbst erlitt keine außen sichtbaren Kopfverletzungen. Am Unfalltag selbst zeigte sie Verhaltensauffälligkeiten dergestalt, dass sie beispielsweise nicht mit den Eltern reden wollte („Wer sind diese Leute?“). Sie konnte sich später nicht an den Unfalltag erinnern, an den auf den Unfall folgenden Tag nur schemenhaft.

Im Rahmen des Fahrradtrainings war es auch zuvor schon zu Stürzen gekommen, bisher jedoch ohne relevantes Schädelhirntrauma, ohne Bewusstlosigkeit. Seit dem Unfall im Juni 2007 beklagte die Patientin hingegen Orientierungs-, Konzentrations- und Gedächtnisstörungen sowie vertieften Schlaf. Außerdem habe sie in den ersten Tagen nach dem Unfall ihr eigenes Gesicht nicht im Spiegel erkennen können. Das Problem, selbst hochvertraute Gesichter wie die der Eltern, des Bruders oder Freundes zu erkennen, bestehe erst seit dem Sturz, vorher habe sie keine entsprechende Beeinträchtigung gehabt. Den Bruder habe sie nun z.B. am Geruch erkannt, andere an Gangart, Stil und Stimme. Auch Angaben von Lehrern und anderen der Patientin gut bekannten Personen stimmen darin überein, dass JQ seit dem Unfall, wenn sie nicht zusätzliche Merkmale wie Sprache oder auffällige Kleidung zu Hilfe nehmen könne, um eine Person zu identifizieren, diese einfach ignoriere. Dies zeigte sich auch in der Interaktion mit den Mitgliedern der Arbeitsgruppe während der vorliegenden Untersuchungen. Sie gab weiterhin an, keine bestimmten Gesichter imaginieren zu können - bei dem Versuch erscheine ein Clownsgesicht. Andere komplexe Objekte wie Gebäude könne sie sich dagegen gut vorstellen. Gesichter *als Gesichter* zu erkennen, sei aber problemlos möglich, es sei nur immer so, als würde sie in ein Gesicht sehen, dessen „Besitzer“ sie nicht kenne. Im Gespräch ergaben sich bei der Initialexploration im Juni 2007 keine weiteren neuropsychologischen Auffälligkeiten. Im Befund imponierte eine leichte Ptosis und Miosis rechtsseitig, was in den Folgeuntersuchungen nicht mehr gesehen werden konnte. Ansonsten ergab sich klinisch kein fokal-neurologisches Defizit. Ein am Tag

der Erstvorstellung durchgeführtes Elektroenzephalogramm ergab einen Normalbefund.

Bereits im Oktober 2007 bemerkte JQ subjektiv eine Besserung ihres Orientierungs-, Konzentrations- und Gedächtnisdefizits. Zur Gesichtererkennung schrieb sie, hier liege weiterhin ihr größtes Defizit, auch wenn es sie nicht mehr so sehr einschränke: Sie habe sich angewöhnt, Personen anhand anderer Merkmale zu identifizieren, was ihr inzwischen recht gut gelinge: Ihren Freund erkenne sie inzwischen z.B. gut an seinen „sinnlichen Lippen“. An dem Defizit der Gesichtererkennung habe sich nichts geändert. Im Januar 2008 gab sie an, wieder offener und fröhlicher geworden zu sein. Von einigen Bekannten wurde sie im Januar 2008 noch als distanzierter und zurückgezogener als vor dem Unfall beschrieben. Dagegen berichtete sie selbst von einer Bemerkung ihrer Freunde, als sie ca. drei Monate nach dem Unfall einen für sie typischen Witz machte: „Jetzt haben wir unsere Freundin wieder!“

## **2. Hintergründe der Kognitiven Neuropsychologie**

Im folgenden Kapitel sollen die Hintergründe der Kognitiven Neuropsychologie beleuchtet werden, welche die Grundlage einer Einordnung von Einzelfallstudien wie der hier betrachteten darstellen.

In der Kognitiven Neuropsychologie kann zwischen verschiedenen Perspektiven unterschieden werden. Zum einen gibt es hier eine klinische Perspektive, die Untersuchung pathologischer Veränderungen menschlichen Verhaltens durch Gehirnschaden wird aus dieser unter diagnostischen und therapeutischen Gesichtspunkten betrachtet [1]. Neuropsychologische Forschung hat aber meist auch ein heuristisches Ziel, indem sie Patienten mit Gehirnläsionen als „Experimente der Natur“ [1] ansieht, um Theorien normaler kognitiver Strukturen und Prozesse zu entwickeln (vgl. [2], [3]).

Zunächst soll aus ihrer Entstehungsgeschichte ein Verständnis von Fähigkeiten und Zielen der Kognitiven Neuropsychologie heute erarbeitet werden. Anschließend werden die Vorannahmen umrissen, auf denen eine Kognitive Neuropsychologie, wie sie in dieser Arbeit verstanden wird, beruht. Dabei wird die Rolle von Einzelfallstudien deutlich, die (Doppel)dissoziationen liefern. Es wird zunächst eine tragfähige Definition von „Doppeldissoziation“ erarbeitet und mögliche Inferenzen aus solchen werden diskutiert.

### **Geschichte der Kognitiven Neuropsychologie**

Als Beginn moderner Neuropsychologie wird oftmals die Arbeit von Franz Joseph Gall angeführt (z.B. [4], [5], [1]), der Ende des 18. Jahrhunderts den Geist des Menschen für in verschiedene sogenannte „Fakultäten“ einteilbar hielt wie „Farbensinn“ oder „Wortsinn“. Für diese Fakultäten nahm er bestimmte Lokalisationen im Gehirn an, besondere Ausprägung einer Fakultät sollte sich durch eine Ausbuchtung der Schädeldecke an der betreffenden Stelle zeigen. So sollten in einer Persönlichkeit besonders ausgeprägte Fakultäten durch eine Vermessung des Schädels der betreffenden Person festgestellt werden können. Diese

Vorstellung wurde als „Phrenologie“<sup>1</sup> bezeichnet. Obgleich seine Folgerungen aus Schädelvermessungen schon damals breit abgelehnt wurden, begründeten seine Grundannahmen der Teilbarkeit des Geistes und der Lokalisierbarkeit dieser Teile im Gehirn eine Tradition: In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts begannen Größen wie Broca, Wernicke und andere, das Gehirn in verschiedene Bereiche einzuteilen und zu kartographieren, deren Aktivitäten jeweils mit bestimmten kognitiven Funktionen wie z.B. der Sprache identifiziert wurden (vgl. [6]). Vor diesen strikt reduktionistischen Grundannahmen wurden so Theorien einer „mentalinen Maschinerie“ [6] entwickelt. Methodisch bezog man sich auf Befunde einzelner Patienten, die beschrieben und im Rahmen ihrer Modelle interpretiert wurden. Damit war ein theoretischer Rahmen vorgeschlagen, um kognitive Defizite zu erklären, etwa durch Beschädigungen oder Unterbrechungen zwischen funktionellen Komponenten in ihren Modellen (z.B. im Wernicke–Lichtheim Modell der Aphasie [7]).

Es gab drei Hauptpunkte, an denen diese „Diagrammzeichner“ kritisiert wurden (vgl. [6]): Erstens behaupteten sie zwar, dass die von ihnen postulierten Funktionen genau lokalisierbar seien, die anatomischen Hinweise, die sie dann dafür liefern konnten, waren aber nicht besonders tragfähig. Beispielsweise wurde einerseits kritisiert, dass die Läsionen, die Brocas Patienten aufwiesen, das von ihm gekennzeichnete „Broca-Areal“ zwar beinhalteten, aber weit größer waren. Andererseits wurden Patienten vorgestellt, die zwar an den Symptomen einer „Broca-Aphasie“ litten, deren Läsionen aber nicht das Broca-Areal betrafen, sondern an anderen Stellen lokalisiert waren.<sup>2</sup> Zweitens wurde angemerkt, dass die psychologischen Begriffe und Modelle, die sie benutzten, inadäquat seien, indem sie die Natur der Defizite nicht gut beschrieben.<sup>3</sup> Desweiteren wurde kritisiert, dass die neuropsychologischen Hinweise selbst, die geliefert wurden, oft nicht besonders fundiert gewesen seien, beispielsweise beruhten Fallbeispiele lediglich auf den Berichten der Ehefrau des Patienten oder auf subjektiven Beobachtungen bzw.

---

<sup>1</sup> aus dem Altgriechischen: φρην – Geist, λογος - Lehre

<sup>2</sup> Eine ausführliche Darstellung der Diskussion würde den Rahmen der Arbeit sprengen, vgl. [8].

<sup>3</sup> Broca bezeichnete z.B. die Defizite „seiner“ Aphasie als „loss of motor images“. Als eine der am meisten hervorstechenden Eigenschaften der prototypischen motorischen Aphasie wird allerdings die Unfähigkeit beschrieben, ganze Sätze zu konstruieren, obwohl das Bilden einzelner Wörter nicht beeinträchtigt ist. Dies wird als „Agrammatismus“ bezeichnet und als Defizit in syntaktischen Operationen beschrieben. Dies werde durch „loss of motor images“ nicht gut getroffen.

nicht-standardisierten Aufgabenstellungen mit wenigen und / oder wechselnden Aufgaben<sup>4</sup> [1].

Mit dem Aufstieg und der Verfestigung wissenschaftlicher Standards im 20. Jahrhundert ging also auch in Bezug auf die Neuropsychologie eine breitere Ablehnung subjektiv gefärbter Herangehensweisen einher. Wissenschaftliche Daten sollten möglichst frei von subjektivem Einfluss und reproduzierbar sein, um gelten zu können. Auch der Herangehensweise, lediglich Einzelfälle zu untersuchen, stand man in diesem Zusammenhang kritisch gegenüber. Stattdessen wurden nun Patientengruppen systematisch untersucht.

Dabei waren Einschlusskriterien oft ziemlich allgemein, z.B. ein funktionelles Defizit wie eine Aphasie oder die ungefähre Lokalisation einer zerebralen Läsion. In Bezug auf diese Gruppenstudien zur Erforschung der normalen Funktion der Kognition sind aber ebenfalls methodische Probleme zu bedenken, denn es scheint schwierig zu sein, hier sinnvoll Patienten in Gruppen zusammenzufassen: Eine Zusammenfassung allein aufgrund der Lokalisation der Läsion beachtet nicht, dass eine solche verschiedenste Bereiche der Kognition beeinträchtigen könnte. Eine Einteilung aufgrund eines nur vage umrissenen Syndroms beachtet nicht, dass Patienten mit nicht-homogenen kognitiven Beeinträchtigungen eingeschlossen werden könnten. Entsprechend könnte das Ergebnis, der Durchschnitt einer solchen Gruppe, ein statistisches Artefakt sein, das heterogene Muster an Beeinträchtigungen kaschiert (vgl. z.B. [1]). Außerdem müssten auch andere wie z.B. demographische Faktoren, die die Gruppe inhomogen werden lassen, berücksichtigt werden, was das Finden ohnehin „seltener“ Krankheitsbilder noch schwieriger werden lässt.<sup>5</sup>

In den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wuchs die Rolle, die Einzelfallstudien in der Kognitiven Neuropsychologie einnahmen, auch darum wieder deutlich.

Wichtig war hier z.B. die Gründung der Zeitschrift *Cognitive Neuropsychology* durch Max Coltheart im Jahr 1984. Diese Zeitschrift bewirkte eine kleine Revolution in der

---

<sup>4</sup> Auch hier würde eine genauere Darstellung den Rahmen der Arbeit sprengen (für eine Übersicht siehe [1]).

<sup>5</sup> Genaugenommen lässt sich das Argument der interindividuellen Unterschiede natürlich auch auf gesunde Probanden anführen (vgl. z.B. [6], [1]). Darauf wird im Zusammenhang mit den Vorannahmen der Kognitiven Neuropsychologie noch genauer eingegangen.

experimentellen Psychologie mit einer Abkehr vom Gruppenstudien-Ansatz. Detaillierte Fallstudien von Patienten mit Hirnschädigung sollten auch zur Modifikation und Entwicklung von Theorien der Kognitiven Neuropsychologie beitragen können. Dabei wurde Versuchen der Lokalisation kognitiver Fähigkeiten im Gehirn zunächst wenig Beachtung geschenkt. Dies änderte sich mit der Zeit wieder [9].

Es wurden Modelle einer „kognitiven Architektur“ [4] entworfen und in sogenannten box-and-arrow-diagrams<sup>6</sup> dargestellt. In den Kästchen finden demnach die Informationsverarbeitungsschritte statt, die Pfeile transportieren das Ergebnis zum nächsten Kästchen weiter. Dabei sind die Kästchen relativ unabhängig voneinander – mit Ausnahme des Angewiesenseins auf Endprodukte des vorgeschalteten Kästchens. So sind aus den Zentren der Diagrammzeichner „Module“ geworden. Natürlich ist es nun umso wichtiger, nicht die gleichen Fehler zu wiederholen, die bei den Diagrammzeichnern kritisiert wurden. Der Anspruch der Lokalisation anatomischer Korrelate sollte nicht höher sein, als die vorhandenen Hinweise plausibel machen. Hier sollte die Frage nach der Hintergrundtheorie nicht aus den Augen verloren werden, die vorausgesetzt sein muss, um überhaupt nach Lokalisation zu suchen. Die Wahl des psychologischen Vokabulars zur Erklärung von Phänomenen muss sorgfältig gewählt werden. Außerdem ist es wichtig, objektive Beschreibungen der Defizite zu bekommen, indem objektivierende Tests und nicht nur subjektive Beschreibungen verwendet werden, so dass stichhaltige neuropsychologische Befunde entstehen.

### **Vorannahmen der Kognitiven Neuropsychologie**

Auch unter Beachtung dieser Punkte, für die die „Diagrammzeichner“ zu ihrer Zeit kritisiert wurden, bleibt Kritik bestehen, die die Aussagefähigkeit der Kognitiven Neuropsychologie über die menschliche Kognition aufgrund ihrer Vorannahmen anzweifelt. Diese sind im Wesentlichen Modularität (teilweise auch auf anatomischer Ebene), Subtraktivität und Universalität, sie werden im Folgenden vorgestellt.

---

<sup>6</sup> zu deutsch „Kästchen- und Pfeildiagramme“

### Annahme der Modularität

Unter der Annahme der Modularität wird verstanden, dass die Kognition aus Komponenten besteht, von denen jede einen gewissermaßen unabhängigen Beitrag zur Funktion des Systems als Ganzem leistet. Ob diese Module im Sinne Fodors gesehen werden sollten [10], ist fraglich (vgl. dazu [11]), aber durch seinen Definitionsversuch war die Wichtigkeit betont, sich mit dieser Hintergrundannahme auseinanderzusetzen (z.B. was „angeboren“ betrifft).

Wichtig ist zu unterscheiden, auf welcher Ebene Modularität angenommen wird. Entweder die Modularität wird nur für die Kognition angenommen, oder eine solche Modularität wird auch für das Gehirn angenommen. Hier besteht dann meist die Zusatzannahme einer Identität, kausalen Beziehung oder zumindest starken Korrelation zwischen einer bestimmten kognitiver Funktion und einem bestimmten Bereich des Gehirns, was einer zusätzlichen Rechtfertigung bedarf. Coltheart z.B. stellt in Frage, ob funktionelle Module mit anatomischen Modulen korrespondieren müssen. Die modulare funktionelle Architektur könnte in der anatomischen in einer komplexen, nicht-modularen Art und Weise kartographiert sein. Auf die Frage, inwiefern die Beobachtung spezifischer kognitiver Defizite (v.a. in Form von Doppeldissoziationen) als Hinweis auf eine zumindest auf der kognitiven Ebene modulare Struktur gewertet werden kann, wird weiter unten genauer eingegangen.

### Zusatzannahme bezüglich der Modularität des Gehirns

Umstritten bleibt, ob ein *neuro*-biologischer Bereich zur Kognitiven Neuropsychologie gerechnet werden sollte und damit verbunden, inwiefern Ergebnisse der Neurowissenschaften z.B. in Form von Lokalisationsstudien über die normale Funktion der Kognition Aufschluss geben können. Natürlich kann dieses Thema hier nicht angemessen diskutiert werden, es sollen aber pointierte Standpunkte kurz vorgestellt werden.

Max Coltheart vertritt z.B. einen „ultrakognitiven“ Ansatz,<sup>7</sup> der solche Lokalisationsstudien für grundsätzlich nicht gerechtfertigt hält. Das heißt, er sieht die Kognitive Neuropsychologie als Teil der Kognitiven Psychologie an und hält das „Neuro“ im Namen für streichbar [12]. Die Neurowissenschaft sieht er als völlig

---

<sup>7</sup> 'I'm still an ultra-cognitive-neuropsychologist after all these years,' [12], zu deutsch "Ich bin immernoch ein Ultrakognitivist nach all den Jahren."

getrenntes Unternehmen an. Diese untersucht das Gehirn, während der Geist von der Kognitiven Psychologie untersucht wird, indem sie normale Funktion betrachtet, und von Kognitiver Neuropsychologie, indem sie Patienten untersucht, bei denen kognitive Defizite vorliegen. Er nennt den Versuch, mit Bildern vom Gehirn den Geist zu erklären, in Anlehnung an Galls Schädelvermessungen abschätzig „chromophrenology“.<sup>8</sup> Coltheart argumentiert, Kognitive Neurowissenschaft sei von Kognitiver Neuropsychologie insofern abhängig, als man nur sinnvoll versuchen könne, kognitive Prozesse bildlich darzustellen, wenn man schon eine detaillierte Vorstellung davon hat, was für Prozesse man lokalisieren will (vgl. auch [9]). Harley führt an, die Identifikation distinkter neuronaler Strukturen im Gehirn könne in sich selbst nichts über die Kognition aussagen. Das Gehirn zu studieren könne nur einen Beitrag dazu leisten, den Geist zu verstehen, wenn wir die beiden schon irgendwie miteinander in Beziehung setzen können [9].

Caplan [14] argumentiert hingegen, dass es neben der Untersuchung der funktionellen Architektur der Kognition und ihrer Beeinträchtigungen mindestens zwei andere Forschungsthemen gebe, die legitim als Teil der Kognitiven Neuropsychologie angesehen werden könnten: die neuronale Basis einer normalen kognitiven Funktion und die Beziehung zwischen neurologischen Krankheiten und Beeinträchtigungen kognitiver Funktion zu charakterisieren. Dabei hält er es für eine zumindest gerechtfertigte Sicht anzunehmen, dass der menschliche Geist von einem physikalischen Substrat determiniert ist. Ob eine Determinierung anzunehmen korrekt sei, oder ob eine weniger kausale Beziehung zwischen physikalischen und mentalen Prädikaten bestehe, solch eine Beziehung könne nur zu einer neuronalen Basis bestehen. Diese Möglichkeit der Wahrheit eines solchen kausalen Verhältnisses biete eine starke Motivation, darin fortzufahren, das Gehirn in Relation zu kognitiven Architekturen zu studieren. Auch Vallar [1] hält physiologische Daten und die Existenz von Mustern von selektiven neuropsychologischen Beeinträchtigungen für eine gewisse Rechtfertigung der Ansicht, dass funktionelle *und* neurologische Architektur essentiell multikomponentiell seien.

---

<sup>8</sup> Eine ähnliche Haltung zeigen Veröffentlichungen wie z.B. von Uttal „The New Phrenology: The Limits of Localizing Cognitive Processes in the Brain“ [13] zu deutsch "Die neue Phrenologie: Die Grenzen der Lokalisation kognitiver Prozesse im Gehirn."

Nach Vorstellung dieser Positionen scheinen die groben Alternativen klar: Wenn man glaubt eine entsprechende Theorie schon zur Hand zu haben – in Form einer modularen Struktur von Geist *und* Gehirn, und das zusammen mit dem Verhältnis einer Identitäts-, Determinierungs- oder auch schwächeren *Kausalrelation* zwischen neuronalen Strukturen und mentalen Prozessen - steht dem Lokalisationsversuch nichts mehr im Wege.<sup>9</sup> Wenn nicht, scheint ein Lokalisationsversuch fragwürdig. Ein Paradigma, innerhalb dessen das Betreiben einer Normalwissenschaft im Sinne Kuhns möglich wäre [15], scheint sich für die Kognitive Neuropsychologie noch nicht durchgesetzt zu haben.<sup>10</sup>

Unabhängig davon, welchen Standpunkt man in dieser Debatte einnimmt, bleibt die Frage, wie in der Kognitiven Neuropsychologie mit bildgebenden Verfahren umgegangen werden sollte. Explizite Kritik an einem „ultrakognitiven“ Ansatz findet sich schon 1988 bei Shallice [6]. Der Ansatz von Coltheart zeuge von mangelndem Interesse an der neurobiologischen Verankerung von neuropsychologischen Befunden, die ja auch bei Ablehnung einer Identitätstheorie und eines Reduktionismus interessant und aufschlussreich sein könnten – vielleicht nicht was das Wesen der Krankheit ausmacht, aber zur klinischen Einschätzung von Patienten. Shallice fordert den Bericht von Läsionsinformationen, selbst wenn diese bei ungeklärtem Verhältnis zwischen physiologischen Befunden und mentalen Prozessen nicht den Status einer Erklärung einnehmen können. Vallar [16] weist darauf hin, dass sich, selbst wenn es wahr sei, dass eine einzelne Darstellung von Ergebnissen bildgebender Verfahren für sich allein betrachtet heute keinen Erklärungswert für kognitive Theorien darstelle, die Situation ändere, wenn die Darstellung – ob nun eine Einzelfallstudie oder eine Gruppenstudie – in längerer

---

<sup>9</sup> Kritik an den Deduktionen aus bildgebenden Verfahren gibt es noch weitere, z.B. die Frage, ob eine Erhöhung des Blutflusses wirklich einer erhöhten Aktivität der Neuronen im betrachteten Gebiet entsprechen muss und ob die Subtraktionsmethode so angewendet werden kann, vgl. [9]. Auch hierauf kann an dieser Stelle nicht in angemessener Ausführlichkeit eingegangen werden.

<sup>10</sup> Kuhn beschreibt die Entwicklung der Wissenschaft nicht als kontinuierlichen Fortschritt hin auf eine Entdeckung der Wahrheit, sondern als Abfolge sogenannter Paradigmata, die einander in „wissenschaftlichen Revolutionen“ ablösen. Ein Paradigma stellt jeweils eine Art dar, die Welt und damit auch in der Wissenschaft erhobene Daten zu sehen und zu interpretieren. Innerhalb eines Paradigmas kann wissenschaftlicher Dialog und Fortschritt stattfinden, was von Kuhn als „Normalwissenschaft“ bezeichnet wird. Als Beispiele für wissenschaftliche Revolutionen werden die Kopernikanische Wende oder die Ablösung von Newtons klassischer Physik durch Einsteins Relativitätstheorie angeführt. Ob und inwiefern insgesamt von einem Fortschritt der Wissenschaft ausgegangen werden kann, bleibt Thema wissenschaftstheoretischer Diskussion und kann hier nicht näher erörtert werden (vgl. [15]).

zeitlicher Perspektive betrachtet werde. Über neurologische und neuropsychologische Grundlageninformationen zu berichten zielt darauf ab, ein vollständiges Bild des Patienten bereitzustellen, das eventuell Jahre später von anderen Forschern benutzt werden könnte [16]. Auch im Rückblick wird deutlich, dass man nicht unterschätzen darf, wie fruchtbar auch Ungenaues manchmal sein kann [1]. Als Beispiel werden Brocas Areal und die Artikulation von Sprache angeführt: Obwohl sie nicht auf einem genauen und detaillierten funktionellen Modell beruhten, legte diese Assoziation den Grundstein für die Neuropsychologie der Sprache.

### Annahme der Subtraktivität

Unter der Annahme der Subtraktivität (vgl. z.B. [17]) wird verstanden, dass die Schädigung einer kognitiven Komponente keine massive Umorganisation der vorher modularen Struktur mit sich bringt und entsprechend die nicht beschädigten Teile grundsätzlich funktionieren wie bisher. Nur vor dem Hintergrund dieser Annahme wird es möglich, einen Schluss von einer isolierten gestörten Funktion auf die normale Funktion zu ziehen (vgl. [18], auch [9] und [1]). Diese Annahme bedeutet aber nicht, dass die Fähigkeit, einer Aufgabe gerecht zu werden, nicht wieder gewonnen werden könnte – sie erklärt solch eine Entwicklung aber durch Kompensationsstrategien auch bei gesunden Probanden vorhandener Komponenten. Die Möglichkeit der Rehabilitation und des Neu-Lernens verlangt natürlich Vorsicht bei der Interpretation neuropsychologischer Untersuchungen gerade auch im Verlauf. Ohne diese Grundannahme könnte „Rehabilitation“ verstanden werden als ein Gebrauch von funktionellen Komponenten, die es beim normalen Probanden nicht gibt. Entsprechend wäre das Verhalten der Patienten aufschlussreich in Bezug auf die Frage, wie das System mit einer pathologischen Situation durch eine Modifikation seiner Organisation zurecht kommt. Es könnte aber nicht das normale kognitive System selbst anhand solcher Patienten erforscht werden.

### Annahme der Universalität

Die Annahme der Universalität [18] beinhaltet, dass die modulare Struktur der Kognition insgesamt, und der einzelnen kognitiven Systeme, die für bestimmte

Aufgaben zuständig sind, bei allen neurologisch intakten Personen gleich ist. Natürlich schließt das interindividuelle Unterschiede nicht aus, aber z.B. das Fehlen einer Komponente würde als Abnormalität gewertet werden.

### **Einzelfallstudien in der Kognitiven Neuropsychologie**

Heutzutage stützt sich die Neuropsychologie wie beschrieben vielfach auf Ergebnisse aus Einzelfallstudien. Als mögliche Beobachtungsergebnisse werden Assoziationen, Dissoziationen und Doppeldissoziationen beschrieben, deren Aussagekraft im Folgenden kritisch beleuchtet werden soll.

Die Annahme der *Assoziation* von Beeinträchtigungen kann leicht missleiten, wenn sie als Hinweis dafür gewertet wird, dass zwei Aufgaben auf dieselbe neuronale Komponente zurückgreifen statt auf verschiedene. Denn ihre neuronale Lokalisation – z.B. direkte Nachbarschaft - könnte es überaus wahrscheinlich machen, dass auch zwei verschiedene Komponenten gleichzeitig betroffen sind (vgl. hierzu [2] und [19]). Lediglich als statistischer Hinweis auf eine Assoziation könnte eine größere Gruppe von Patienten mit entsprechenden Defiziten gesehen werden.

Als *Dissoziation* wird der Befund bezeichnet, dass ein Patient in einer Fähigkeit beeinträchtigt ist, während er es in einer anderen nicht ist. Solche Befunde wurden teilweise als Hinweise auf die Dissoziation kognitiver Module angesehen, was aber kritisch betrachtet werden muss. Denn auch wenn beide auf dieselbe Komponente zurückgreifen, könnte eine Fähigkeit geschädigt sein, während die andere nicht geschädigt ist, wenn nämlich eine der Aufgaben anspruchsvoller ist als die andere. So wäre nur die Bearbeitung der anspruchsvolleren beeinträchtigt, während die andere mit den noch vorhandenen Ressourcen unbeeinträchtigt ausgeführt werden könnte (vgl. [2]).

Erklärungen, die von Assoziationen auf geteilte oder von einfachen Dissoziationen auf verschiedene Komponenten schließen, müssen sich also mit den oben angeführten alternativen Erklärungen auseinandersetzen. Doppeldissoziationen aber können durch diese alternativen Erklärungen nicht erklärt werden, weswegen sie heute als schlagkräftigster Hinweis auf eine Unabhängigkeit kognitiver Komponenten gelten [16]. Es wird eine Definition von Doppeldissoziation erarbeitet und die Frage nach einer möglichen Inferenz von ihnen auf Modularität diskutiert.

### Doppeldissoziationen - Definition

Einen hohen Stellenwert erlangten Doppeldissoziationen spätestens mit Teubers Artikel *Physiological Psychology* [20]. Er definiert darin eine Doppeldissoziation folgendermaßen:

One brain-injured patient (A) shows unimpaired performance on Task I (...) but impaired performance on Task II (...) while a second patient (B), with a different lesion site, shows the reverse pattern, unimpaired on Task II but impaired on Task I.<sup>11</sup>

Das Argument von Doppeldissoziationen zu Modularität funktioniert folgendermaßen: Die Tatsache, dass Patient A in Aufgabe I beeinträchtigt ist, stützt die Hypothese, dass die Fähigkeit Aufgabe I zu lösen korreliert ist mit einer anatomischen Region, die innerhalb des Gebietes liegt, in dem die Läsion von Patient A zu finden ist. Dass Patient A in Aufgabe II nicht beeinträchtigt ist, stützt die Hypothese, dass die Fähigkeit, Aufgabe II zu lösen, nicht mit einem Gebiet korreliert ist, das von der Läsion von Patient A betroffen ist. Patient B, der eine Läsion an anderer Stelle aufweist und der in Aufgabe I nicht beeinträchtigt, in Aufgabe II aber beeinträchtigt ist, stützt zwei weitere Hypothesen: Dass das anatomische Gebiet, das mit der Fähigkeit Aufgabe I zu lösen korreliert ist, nicht in das Gebiet reicht, in dem die Läsion von Patient B gefunden wird. Außerdem, dass Aufgabe I nicht einfach schwerer ist als Aufgabe zwei, da Patient B Aufgabe I erfüllen, Aufgabe II dagegen nicht erfüllen kann.<sup>12</sup> So könnte die Dissoziation als Hinweis auf verschiedene kognitive und anatomische Module für die verschiedenen Fähigkeiten gedeutet werden (vgl. [2]).

Wenn aber lediglich gefordert ist, dass ein Patient in einem Test normal, im anderen nicht normal abschneidet, und die Muster entgegengesetzt sind, könnten die

---

<sup>11</sup> zu deutsch „Ein Patient mit einer Hirnverletzung (A) zeigt keine Beeinträchtigung in Aufgabe I (...) aber eine Beeinträchtigung in Aufgabe II (...), während ein zweiter Patient (B), mit einer an einer anderen Stelle verorteten Hirnläsion, ein gegenteiliges Muster aufweist, nämlich keine Beeinträchtigung in Aufgabe II, aber eine Beeinträchtigung in Aufgabe I.“

<sup>12</sup> Natürlich können die beiden Aufgaben trotzdem unterschiedlich schwer sein und das Abschneiden des Patienten davon abhängen, *wie sehr* das eine oder andere Modul betroffen ist. So kann eine Dissoziation durch zu unterschiedliche Läsionen *überdeckt* werden. Aber hier geht es zunächst darum zu zeigen, *was gute Kriterien für eine Dissoziation sein könnten*. Dass diese eventuell oft nicht erfüllt sind, obwohl eine Dissoziation vorliegt, ist die Konsequenz des Versuchs, „falsche Dissoziationen“ zu vermeiden.

Ergebnisse eines Patienten in zwei Tests aber immer noch dicht nebeneinander an der Grenze (z.B. 2 SD) liegen. Crawford fordert darum zusätzlich, dass die Testergebnisse eines Patienten in den zwei Tests sich *signifikant* voneinander unterscheiden. Patient A soll demnach bei Aufgabe I im Normalbereich liegen *und* sie *signifikant* besser erfüllen als Aufgabe II, während Patient B das entgegengesetzte Muster zeigt. Eine umfassende Definition einer *klassischen* Doppeldissoziation läuft demnach auf folgendes hinaus [21]:

1. Ein Patient erfüllt in Aufgabe X die Kriterien für ein Defizit
2. Sein Abschneiden in Aufgabe Y erfüllt diese Kriterien nicht
3. Sein Abschneiden in Aufgabe X ist *signifikant* schlechter als in Aufgabe Y<sup>13</sup>
4. Ein anderer Patient erfüllt das entgegengesetzte Muster.

Eine lediglich *starke* Doppeldissoziation (in Anlehnung an [6]) ist gegeben, wenn ein Patient Defizite in beiden Aufgaben zeigt, aber in einer *signifikant* besser abschneidet als in der anderen und ein zweiter Patient das entgegengesetzte Muster zeigt.

#### Doppeldissoziationen– Rechtfertigung der Inferenz auf (kognitive) Modularität

Allerdings bleibt zu klären, was für ein Inferenz-Anspruch Doppeldissoziationen auch nach Präzisierung der Definition zugesprochen werden kann.

Caramazza schreibt im Zusammenhang mit der Notwendigkeit methodologischer Strenge bezüglich Einzelfallstudien: “If advances in theory are to be sustainable they must be based on *unimpeachable* methodological foundations.”<sup>14</sup> [22]. Teuber behauptet nicht nur, dass Doppeldissoziationen bessere Hinweise auf Modularität liefern als Einzeldissoziationen, er schreibt auch, dass es diese sind, die wir brauchen für “conclusive proof”<sup>15</sup> [20]. Patterson und Plaut [23] beschreiben eine „cognitive neuropsychology logic”<sup>16</sup> als auf der Annahme beruhend, dass die funktionelle Organisation der Kognition eindeutig von Dissoziationen aufgedeckt

---

<sup>13</sup> Das heißt: Ist der Unterschied zwischen den z-Scores des Patienten *signifikant*?

<sup>14</sup> zu deutsch Wenn Fortschritte in der Theorie nachhaltig sein sollen, müssen sie auf *unanfechtbaren* methodischen Grundlagen beruhen.“ Hervorhebung KL

<sup>15</sup> “What is needed for conclusive proof is ‘double dissociation’”, zu deutsch “Was für einen endgültigen Beweis gebraucht wird sind Doppeldissoziationen.”

<sup>16</sup> zu deutsch „Logik der Kognitiven Neuropsychologie“

werden könne. Dies könnte so verstanden werden, als lieferten Doppeldissoziationen eine *logische Garantie* funktioneller Spezifität der Kognition. An einem solchen Anspruch wurde Kritik geäußert. Van Orden und Stonec [24] stellen die vermeintliche besondere Logik hinter einer Forschung, die auf der Suche nach Doppeldissoziationen beruht, infrage. Sie argumentieren, dass es schwierig sei, hier glaubhaft Module zu identifizieren, und besonders Module, die mit neuronalen Strukturen korrelieren, weil der Prozess schon Theorie-beladen sei. Sie führen außerdem an, dass es hier keine Theorie-freie Methode gebe festzulegen, ob ein Patient wirklich eine Instantiierung eines *reinen* Falles darstelle. Chater [25] gibt zu bedenken, dass Doppeldissoziationen nach Gehirnläsionen auch durch Unterschiede zwischen Kompensationsstrategien erklärt werden könnten und darum auch dort auftreten könnten, wo in der normalen Funktion der Kognition das ganze System an beiden Aufgaben beteiligt sein könnte. Er schließt daraus, dass Doppeldissoziationen nicht als ein abstraktes Prinzip zuverlässig dazu dienen können, kognitive Strukturen aufzudecken.

Diesen Anspruch erhebt aber die Kognitive Neuropsychologie ebensowenig bzw. ebensosehr wie der Rest der Wissenschaft. Die Kognitive Neuropsychologie fußt nicht auf einer bestimmten Logik, insbesondere wird keine spezielle Deduktionsregel für die Inferenz von Doppeldissoziationen auf Modularität angenommen (vgl. hierzu [2]). Zum einen behauptet niemand eine solche Inferenzregel, ebenso wenig, wie sie an anderer Stelle der Wissenschaft verneint werden muss, um nicht zum Vorwurf zu werden. Denn es kann nirgends eine logisch valide deduktive Inferenz von Evidenz zu erklärender Theorie geben, da eine Theorie, eben um erklärend sein zu können, immer hinter die Summe der Evidenz reichen muss und somit nicht selbst in dieser enthalten sein kann.<sup>17</sup> Die Behauptung einer speziellen Logik / spezieller Inferenzregeln scheint dennoch Teil eines Vorurteils über Kognitive Neuropsychologie zu sein, wie auch Titel von Veröffentlichungen wie „What can we infer from double dissociations?“<sup>18</sup> [3], „What do double dissociations prove?“<sup>19</sup> [24], „How much can we learn from double dissociations?“<sup>20</sup> [25] oder „Why double dissociations don't mean much“<sup>21</sup> [27]

---

<sup>17</sup> Zur Underdeterminiertheit empirischer Theorie durch Evidenz siehe Quine [26].

<sup>18</sup> zu deutsch „Was für Inferenzen aus Doppeldissoziationen sind möglich?“

<sup>19</sup> zu deutsch „Was können Doppeldissoziationen beweisen?“

<sup>20</sup> zu deutsch „Wieviele können wir von Doppeldissoziationen lernen?“

andeuten, während Titel wie “What can we infer from evidence?”<sup>22</sup>, “What does data prove?”<sup>23</sup> oder “Reaction time don´t mean much”<sup>24</sup> nicht vorkommen (vgl. [2]).

Der Versuch von Shallice, Doppeldissoziationen so zu definieren, dass sie nicht durch Schädigung verschiedener Ebenen eines einzigen Systems und damit besser durch die Annahme einer modularen Struktur der Kognition erklärt werden können, hat nicht zur Folge, dass er behauptet, es gäbe nur diese eine mögliche Erklärung so definierter Doppeldissoziationen: Er glaubt explizit nicht, einen logischen Inferenzzwang gefunden zu haben [6]. In Davies´ Worten: „Double dissociation arguments in cognitive neuropsychology, like arguments from evidence to theory throughout normal empirical science, are not deductive but abductive; they work by inference to the best - not the only possible – explanation”<sup>25</sup> ([2], vgl. auch [28]).

Wie Doppeldissoziationen dazu beitragen, solche intuitiv „besseren“ Erklärungen<sup>26</sup> für empirische Befunde zu stärken, soll an zwei Beispielen (Gedächtnis und Lesen) verdeutlicht werden (vgl. [2]).

### Gedächtnis

Nach dem hierarchischen Modell des Gedächtnisses muss ein Inhalt zunächst im Kurzzeitgedächtnis gespeichert werden, um ins Langzeitgedächtnis übergehen zu können. Demnach erfordert das Langzeitgedächtnis alles, was das Kurzzeitgedächtnis erfordert, und noch etwas darüber hinaus. Gestützt wurde dieses Modell scheinbar durch den Patienten HM, dem chirurgisch Teile des medialen Temporallappens beidseits entfernt worden waren. Er konnte neue Begebenheiten nicht ins Langzeitgedächtnis übertragen, obwohl sein Kurzzeitgedächtnis intakt war. Dies wurde als Bestätigung der These einer hierarchischen Organisation des Gedächtnisses gewertet. Dieses in den 60er Jahren dominante Modell forderte, wenn das Kurzzeitgedächtnis beeinträchtigt sei, müsse auch das Langzeitgedächtnis beeinträchtigt sein. Nun wurde aber eine

---

<sup>21</sup> zu deutsch „Warum Doppeldissoziationen nicht viel bedeuten“

<sup>22</sup> zu deutsch „Was für Inferenzen aus empirischer Evidenz sind möglich?“

<sup>23</sup> zu deutsch „Was können Daten beweisen?“

<sup>24</sup> zu deutsch „Reaktionszeit bedeutet nicht viel“

<sup>25</sup> zu deutsch: „Argumente mithilfe von Doppeldissoziationen in der Kognitiven Neuropsychologie sind nicht deduktiv, sondern abduktiv, wie Argumente von Evidenz zu Theorie überall in der empirischen Wissenschaft; sie funktionieren durch Inferenz auf die beste - nicht die einzig mögliche – Erklärung.“

<sup>26</sup> Natürlich ist der Begriff der „besseren Erklärung“ selbst erklärungsbedürftig, eines der Hauptthematika der Wissenschaftsphilosophie. Darauf kann hier nicht eingegangen werden.

Fallstudie über den Patienten KF veröffentlicht ([29], [30]), der eine Beeinträchtigung des Kurzzeitgedächtnisses bei erhaltenem Langzeitgedächtnis zeigte. Bei HM und KF lag demnach eine Doppeldissoziation vor. Dieses Muster von erhaltenen Leistungen und Beeinträchtigung war nicht mit dem hierarchischen Gedächtnismodell vereinbar. Dieser Befund verschob die Erklärungskraft in Richtung eines heterarchischen Modells von Gedächtnis, in dem eine Route zum Langzeitgedächtnis führt, die nicht den Weg via auditorisch-verbalem Kurzzeitgedächtnis in Anspruch nimmt.

### Lesen

Einen ähnlichen Fall stellt die Entwicklung von Hypothesen zur kognitiven Struktur des Lesens dar. Zunächst war auch hier ein hierarchisches Modell etabliert, das Lesen als abhängig von phonologischer Vermittlung ansah. Diesem Modell zufolge erfordert der Zugang von Orthographie zu lexikalischer Semantik zunächst eine Konversion von Orthographie zu Phonologie und darüber zu lexikalischer Semantik. Dann erschien aber eine Fallstudie des Patienten GR [31, 32]. GR machte oft semantische Fehler, wenn er gebeten wurde, einzelne Wörter laut vorzulesen, z.B. las er „daughter“ als „sister“ und „guilty“ als „hangman“.<sup>27</sup> Zwei Aspekte sind hier zu beachten: Zunächst haben guilty und hangman kein einziges Phonem gemeinsam. Dies bedeutet, dass GR nicht fähig war, die orthographische Vorgabe auf eine phonologische Ebene zu übertragen. Dennoch hatte er einen gewissen Zugang zur lexikalischen Semantik des gelesenen Wortes, denn das ausgesprochene Wort war semantisch mit dem geschriebenen verwandt. GR konnte also auf lexikalische Semantik zugreifen ohne eine Konversion auf die phonologische Ebene. Dieser Befund verschob die Erklärungskraft zugunsten eines Modells, das eine direkte Route von der Orthographie zu Semantik neben der indirekten Route über die Phonologie beschreibt.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> zu deutsch: daughter – Tochter, sister – Schwester, guilty – schuldig, hangman - Henker

<sup>28</sup> Wie schwer es solche neuen Befunde hatten, sieht man z.B. daran, dass Shallice Warrington zunächst vorwarf, ihre These sei „theoretically impossible“ (zu deutsch „theoretisch unmöglich“) und Young Mashall vorwarf, sie müsse sich geirrt haben. Die widersprechenden Ergebnisse wurden also zunächst als Anomalien im Kuhnschen Sinne empfunden (s.o.).

#### **4. Schädel-Hirn-Traumata (SHT) und neuropsychologische Rehabilitation**

In diesem Kapitel soll der Rahmen umrissen werden, in den der Fall JQ bezüglich natürlicher neuropsychologischer Rehabilitation nach Schädelhirntraumata eingeordnet werden kann. Dabei würde eine umfassende Behandlung der Möglichkeiten neuropsychologischer Regeneration nach Schädelhirntraumata oder des Einflusses von therapeutischen Interventionen oder Rehabilitationsprogrammen auf das Ergebnis der Rehabilitation den Rahmen dieser Arbeit sprengen (vgl. hierzu z.B. ([33], [34])). Auch die Frage nach der Neuroplastizität des Gehirns, die, abhängig von der zugrundeliegenden Theorie, ebenfalls zu diesem Thema gehören kann (vgl. z.B. [35]), wird hier nicht erörtert.

Gruppenstudien zur Möglichkeit neuropsychologischer Regeneration nach Schädelhirntrauma sind wie solche zu neuropsychologischen Defiziten insgesamt methodisch kritisiert worden (z.B. von [36], [37], [38] vgl. hierzu auch die Kritik in „Hintergründe der Kognitiven Neuropsychologie“). Auch die Vergleichbarkeit der Gruppenstudien miteinander wird entsprechend kritisch betrachtet (vgl. [36], z.B. aufgrund von signifikanten Unterschieden bezüglich demographischer Faktoren und Charakteristika der Verletzung, der Verwendung unterschiedlicher Testbatterien sowie der Testung zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten nach dem Ereignis.

Spezifischer auf die Literatur über Regeneration nach Schädelhirntrauma bezogen ist zusätzlich die Tatsache problematisch, dass oft nur zwei Testungen durchgeführt wurden, wodurch nur eine lineare Entwicklung darstellbar ist. Außerdem gibt es in longitudinalen Studien zu Schädelhirntraumata oft nicht für alle Zeitpunkte Daten von allen Patienten. Die Verwendung relativ unspezifischer Testbatterien könne desweiteren eine Aufdeckung subtiler und spezifischer Defizite individueller Funktionsdomänen nicht gewährleisten, was die Validität jener, bezogen auf den Rehabilitationsstatus eines festgesetzten Defizits, bedrohe [36].

Konsens ist, dass sich nach Schädelhirntraumata Defizite in verschiedensten kognitiven Bereichen manifestieren können. Hierzu zählen z.B. Aufmerksamkeit, Gedächtnisfunktion, Lernen, Sprache, visuelle und visuell-räumliche Fähigkeiten, sowie diverse exekutive Fähigkeiten (vgl. z.B. [39], [36] [40], [41], [42], [43]). Weithin akzeptiert ist außerdem, dass in den verschiedenen kognitiven Bereichen zu einem gewissen Grad eine Regeneration auftreten kann ([44], [40], [36]), sowie, dass die

Möglichkeit der Regeneration nach Schädelhirntrauma mit steigendem Alter abnimmt (vgl. zu schwerem SHT z.B. [45], [46]). Die Regeneration neuropsychologischer Fähigkeiten nach Schädelhirntraumata wird dabei größtenteils als nichtlinear, nämlich asymptotisch beschrieben (vgl. z.B. [38], [36]).

Auch zu der Frage danach, inwiefern verschiedene kognitive Bereiche sich in einer jeweils charakteristischen Art und Weise erholen, gibt es Hinweise. Z.B. scheinen sich Lernen, Gedächtnis, komplexe Aufmerksamkeit und komplexe Sprachfunktionen (z.B. inferentielle Semantik) langsamer und weniger gut zu erholen als andere Funktionen (vgl. z.B. [41], [47]). Andere Ergebnisse implizieren weiterhin, dass visuell-perzeptuelle Fähigkeiten sowie die verbale Intelligenz sich relativ schneller erholen (vgl. [48], [49]). Hier sind weitere vergleichbare Studien zu fordern, um diese Hinweise untermauern zu können.

Einige Studien haben die zeitliche Charakteristik der kognitiven Regeneration nach Schädelhirntraumata genauer untersucht. Die Ergebnisse unterscheiden sich allerdings stark im Hinblick auf die Annahme der Möglichkeit einer Regeneration über die Zeit betrachtet. Einige nehmen an, dass eine bestmögliche Regeneration schon sechs Monate nach der Verletzung zumindest nach schwerem SHT erreicht ist (vgl. [50]). Whitlock und Hamilton [45] konnten später als 12 Monate nach dem Ereignis keine Besserung der getesteten kognitiven Funktionen mehr feststellen. Andere Studien legen dagegen noch mehr als zwei Jahre nach der Verletzung die Möglichkeit weiterer Regeneration nahe (vgl. [51], [52], [53]). Shallice [54] z.B. berichtet von einem Patienten, der zwei Jahre nach einem Schlaganfall noch ein aphasisches Defizit zeigte, von welchem er sich weitere 18 Monate später fast vollständig erholt hatte. In diesen Untersuchungen wurde allerdings eher die generelle Möglichkeit der Regeneration in zeitlicher Perspektive bzw. die einer bestimmten kognitiven Funktion betrachtet, nicht so sehr die Frage, ob Unterschiede in Bezug auf die zeitliche Dynamik der Regeneration zwischen verschiedenen kognitiven Funktionen zu finden sind.

Die Frage nach der zeitlichen Charakteristik der Regeneration sowie eventueller Unterschiede in der Möglichkeit der Regeneration verschiedener kognitiver Bereiche wurde von Christensen und Kollegen angegangen [36]. Sie untersuchten 75 Patienten nach leichtem oder mittelschwerem Schädelhirntrauma zu drei Zeitpunkten (nach zwei, fünf und zwölf Monaten) hinsichtlich der Regeneration

verschiedener kognitiver Bereiche. Untersucht wurden hier der prämorbid Intelligenzquotient, kommunikative Fähigkeiten, visuell-räumliche Fähigkeiten, verbale und visuell-räumliche Aufmerksamkeit und Konzentration, die Verarbeitungsgeschwindigkeit, Lernen und Gedächtnis, exekutive Funktionen und intellektuelle Fähigkeiten. Dabei fanden sie eine signifikante Regeneration in allen Bereichen innerhalb der ersten fünf Monate. Außerdem war die Regeneration im Zeitfenster zwischen fünf und zwölf Monaten bezüglich aller Bereiche geringer als im Zeitfenster zwischen zwei und fünf Monaten. Das stützt die These einer asymptotischen Funktion für die Regeneration kognitiver Domänen. Im Vergleich der Daten nach fünf bzw. zwölf Monaten zeigte sich noch in zwei Bereichen ein signifikanter (positiver) Unterschied (Motorik und visuell-räumliche Fähigkeiten), bezüglich eines weiteren Bereichs wurde eine entsprechende Tendenz festgestellt (visuelles Gedächtnis). Dies wurde als Hinweis dafür gewertet, dass es für einzelne kognitive Bereiche bestimmte zeitliche Verläufe der Regeneration und damit ein breiteres therapeutisches Fenster geben könnte.

Speziell zur Frage der Regeneration erworbener Prosopagnosie ist es schwer, Literatur hinzuzuziehen, denn die vorgestellten Patienten wurden entweder nur zu einem Zeitpunkt getestet, oder aber mit verschiedenen Tests zu verschiedenen Fragestellungen (wie z.B. PS, die in [55], [56], [57], [58] untersucht wurde). Zieht man auch persönliche Berichte von Patienten als Hinweise auf den Verlauf heran, so finden sich dagegen einige Quellen. Bornstein und Kidron beschrieben einen Patienten, der eine erworbene Achromatopsie, Topographagnosie und leichte Simultanagnosie aufwies, die aber innerhalb einiger Tage verschwanden. Eine anfangs homonyme Hemianopsie verkleinerte sich zu einer Quadrantenanopsie. Außerdem zeigte er eine erworbene Prosopagnosie, wobei die Probleme der Gesichtererkennung auch noch vier Monate nach dem Ereignis andauerten und sich im Verlauf zwar besserten, aber doch auch sechs Monate nach dem Ereignis weiter bestanden [59]. Shuttleworth und Kollegen stellten eine Patientin vor, die nach Operation und Unfall eine langsame aber stetige Verbesserung ihrer anfänglichen neuropsychologischen Beschwerden zeigte, nach 16 Jahren aber immer noch große Schwierigkeiten bei der Identifikation von Gesichtern hatte [60]. Spillmann und Kollegen stellten ebenfalls einen Patienten mit erworbenem Defizit-Triplet (Achromatopsie, Prosopagnosie, Topographagnosie) vor, der eine

sukzessive Regeneration der Farbwahrnehmung erlebte, während seine Fähigkeit, Gesichter zu identifizieren oder Emotionen in Gesichtern zu erkennen, weiterhin beeinträchtigt blieb [61]. Auch Rezlescu und Kollegen berichteten, dass ihr Patient nach mehreren ischämischen Attacken und Schlaganfällen neben dem Defizit der Gesichtererkennung u.a. über visuelle Anomalien, Farbwahrnehmungsstörungen und Orientierungsschwierigkeiten klagte, die sich im Gegensatz zum Defizit der Gesichtererkennung gebessert hätten [62].

Die Gesichtererkennung scheint somit im Vergleich zu anderen kognitiven Funktionen eher regenerationsresistent zu sein.

## 5. Theorie der Gesichtererkennung

Nachdem die Grundannahmen der Kognitiven Neuropsychologie, die auch dieser Arbeit zugrunde liegen, offengelegt sind, wird der Stand der Forschung in der Gesichtererkennung vorgestellt. Es wird zunächst auf die an die Frage der kognitiven Modularität anknüpfende Diskussion um ein „Krankheitsbild Prosopagnosie“ eingegangen. Anschließend werden wegweisende Modelle der Gesichtererkennung vorgestellt – zunächst auf kognitiver, anschließend auf neurologischer Ebene. Im abschließenden Teil wird auf daran anknüpfende mögliche Erklärungen eines Krankheitsbildes Prosopagnosie eingegangen.

### I. Kognitives Modul des Gesichtererkennens und Prosopagnosie als Krankheitsbild

Berichte über Patienten mit Problemen bei der Identifizierung von Gesichtern gibt es schon mindestens seit Mitte des 19. Jahrhunderts [63]. Der erste, der dieses Phänomen als erworbenes Krankheitsbild ausführlich darstellte, scheint aber der Nervenarzt Joachim Bodamer gewesen zu sein [64]. Kurz nach dem Zweiten Weltkrieg beschrieb er drei Patienten mit schweren kriegsbedingten Hirnverletzungen, die ihnen eigentlich bekannte Gesichter nicht mehr erkennen konnten, und prägte dabei das Kunstwort „Prosopagnosie“<sup>29</sup>. 1976 wurde von McConachie erstmals eine hereditäre Form der Prosopagnosie ausführlich beschrieben [65]. Bezüglich der erworbenen Form wird unterschieden zwischen einer apperzeptiven und einer assoziativen Form, wobei die Unterscheidung nicht als apodiktische Trennung missverstanden werden sollte (vgl. [66]). Bei der assoziativen Form wird das Gesicht zwar wahrgenommen, seine Bedeutung, also die mit ihm verbundenen semantischen Informationen, werden aber nicht erfasst; bei der apperzeptiven Form dagegen ist schon die Wahrnehmung des Gesichts gestört ([66], vgl. auch [67]).

Prosopagnosie wurde in der Folge zwar auch als Symptom bei anderen Grunderkrankungen mit ausgedehnteren kognitiven Beeinträchtigungen beschrieben

---

<sup>29</sup> aus dem Altgriechischen: προσοπον - Gesicht, αγνωσια- Nicht-Erkennen

wie z.B. Alzheimer, Chorea Huntington, Parkinson, Autismus und Schizophrenie (für eine Übersicht siehe [68]). Ob und inwiefern aber auch von einem eigenständigen Krankheitsbild Prosopagnosie ausgegangen werden kann, wird im Folgenden erörtert.

### I.1 1986: Das Jahr kognitiver Modelle der Gesichtererkennung

Von den ersten Berichten über Prosopagnosie ausgehend, wurden bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts v.a. empirische Untersuchungen vorgenommen, die Daten sammelten und damit Beschreibungen von Patienten gaben, ohne jedoch ein Modell der Gesichtererkennung als Erklärungsgrundlage hinzuzuziehen. 1986 gelang es Bruce und Young, ein funktionelles Modell des Gesichter-Erkennens vorzustellen, das durch seine Begrifflichkeiten den weiteren Verlauf der Gesichterforschung entscheidend mitbestimmte und heute noch, wenn auch modifiziert, in vielen seinen Grundzügen angenommen wird ([69], für eine kritische Stellungnahme siehe [70]). Dabei werden die Vorwürfe, die in der Einleitung „Diagrammzeichnern“ gemacht wurden, so weit als möglich zu vermeiden versucht. Es soll in den Grundzügen im Folgenden vorgestellt werden.

Bruce und Young gehen davon aus, dass es verschiedene Arten von Informationen gibt, die aus einem Gesicht abgeleitet werden können, wenn wir es sehen. Diese sogenannten *codes* sollen als statische Produkte der dynamischen Operationen der funktionellen Komponenten des Systems verstanden werden.

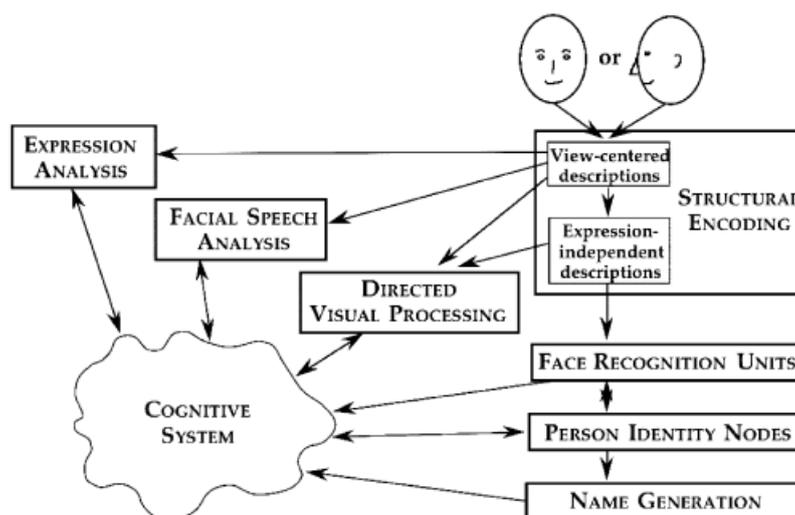


Abbildung 1: Kognitives Modell der Gesichtererkennung, aus [69]

Ein *piktorieller code* wird demnach für jede Wahrnehmung, unabhängig von ihrem Inhalt, geformt. Er ist also nicht gesichtsspezifisch, sondern eine Aufnahme eines einzelnen, statischen, visuellen Ereignisses, metaphorisch vergleichbar mit einer Photographie. Der *piktorielle code* hat wahrscheinlich nur geringe Bedeutung für Erkennensprozesse im Alltag, aber für Experimente eine hohe, da hier beim wiederholten Zeigen eines identischen Testbildes wohl auf den *piktoriellen code* zurückgegriffen wird für die Entscheidung darüber, ob es sich um ein bekanntes handelt oder nicht. So werde die höhere Geschwindigkeit verständlich, mit der die Bekanntheitsentscheidung bei wiederholter Präsentation des identischen Bildes im Vergleich zur Präsentation eines Bildes, bei dem z.B. der Blickwinkel auf das betreffende Objekt geändert wurde, getroffen wird. Unabhängig von der weiteren identitätsbezogenen Verarbeitung des betrachteten Gesichtes sind aufgrund des *piktoriellen codes* für den Betrachter schon Informationen z.B. über Alter, Geschlecht und Emotionen zugänglich.

In der *strukturellen Enkodierung* wird von diesen piktoriellen codes abstrahiert. Es entstehen *strukturelle codes*, die metaphorisch als abstraktere Repräsentationen des betrachteten Gesichts zu verstehen sind. Sie ermöglichen die situationsübergreifende Wiedererkennung eines Gesichts. Für die Alltagssituationen des Erkennens von anderen Personen spielen die *strukturellen codes* die entscheidende Rolle. Im Rückgriff auf sie werde verständlich, dass Menschen anhand ihrer Gesichter auch erkannt werden können, wenn diese gewissen Änderungen unterliegen, z.B. Änderung des Gesichtsausdrucks, der Beleuchtung oder Alterung. All diese in *strukturellen codes* gespeicherten Informationen, die zu einem Gesicht gehören, werden in einer *face recognition unit (FRU)* gespeichert.

Nicht verwechselt werden darf der Gebrauch des Begriffs der strukturellen Enkodierung im neuropsychologischen Zusammenhang, der in dieser Arbeit in Anlehnung an Bruce und Young verwendet wird, mit dem Gebrauch des Begriffs im Rahmen elektrophysiologischer Lokalisationsstudien wie z.B. bei Freiwald und Kollegen [71].

Zusammenfassend kann man das Erkennen eines bekannten Gesichtes nach Bruce und Young folgendermaßen beschreiben: *Produkte* der strukturellen Enkodierung werden mit gespeicherten *strukturellen codes* abgeglichen, die das Aussehen bekannter Gesichter beschreiben und in *face recognition units* gespeichert sind. Bei

erfolgreichem Abgleich werden identitäts-spezifische *semantische codes*, die in *person identity nodes (PINs)* gespeichert sind, abgerufen, und es wird eine Verbindung zu einem *Namen-code* hergestellt, in dem der Name der betreffenden Person gespeichert ist.

Bei der Verarbeitung unbekannter Gesichter bzw. beim Kennenlernen von unbekanntem Gesichtern dagegen spielt v.a. der *Prozess* der strukturellen Enkodierung eine wichtige Rolle. Andere Wege als das Erkennen der Identität eines Gesichts nehmen laut dem Modell von Bruce und Young demnach das Erkennen von Emotionen (*expression analysis*), das Lippenlesen (*facial speech analysis*), sowie das Erkennen von Alter und Geschlecht eines Gesichts (*directed visual processing*). Im gleichen Jahr (1986) legte Hadyn Ellis ebenfalls ein Modell des Gesichtererkennens vor [72]. Das Erkennen von Emotionen nimmt auch in Ellis' Modell einen anderen Weg als das Erkennen der Identität - im Gegensatz zum Modell von Bruce und Young schlug Ellis aber vor, das Erkennen von Geschlecht als eine Vorstufe auf dem Weg der Identitätserkennung zu betrachten. Die Frage nach der Dissoziation einzelner Gesichtsinformationen ist bis heute Gegenstand der Diskussion und wird später noch genauer vorgestellt.

### **I.2 Konfigurale Verarbeitung von Gesichtern und Inversionseffekt**

Aktuelle Gesichtsverarbeitungsmodelle gehen überwiegend von zwei Informationskategorien aus, die in Gesichtern gefunden werden können: lokale und konfigurale Informationen (vgl. z.B. [73]). Man kann lokale Information verstehen als die Informationen, die dem Betrachter durch Wahrnehmung isolierter Gesichtsmerkmale zugänglich sind – z.B. Haarschnitt, Augenbrauen, Augen, Nase, Mund, Wange, Kinn. Konfigurale Information bezeichnet dagegen die räumlichen Relationen zwischen diesen Merkmalen. Von manchen Autoren wird in Bezug auf konfigurale Verarbeitung zwischen verschiedenen Ebenen unterschieden. Dabei meinen Relationen erster Ebene z.B. die Tatsache, dass die Nase oberhalb des Mundes zu finden ist, Relationen zweiter Ebene beziehen sich auf für das Gesicht spezifische räumliche Beziehungen wie z.B. den Abstand zwischen Augen und Nase oder Nase und Mund. Meist wird in der Diskussion auf die Relationen zweiter Ebene rekuriert (vgl. [74]). Außerdem taucht in der Literatur ein weiterer Begriff auf: *holistisches* Gesichtererkennen. Dabei meint holistische Wahrnehmung die Fähigkeit,

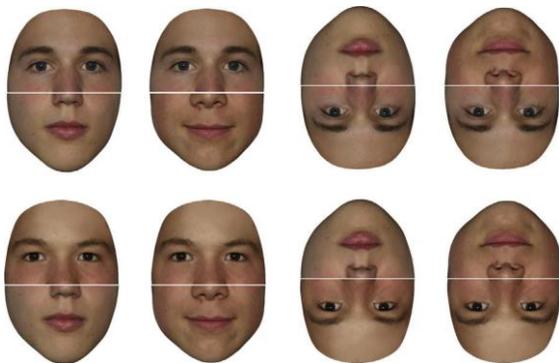
ein Gesicht als Ganzes, nicht nur als Zusammensetzung seiner Teile, wahrnehmen zu können. Bezüglich der Verwendung des Begriffs gibt es Unterschiede in der Literatur: Teils wird holistische Wahrnehmung als Kombination von merkmalsbasierter und konfiguraler Verarbeitung betrachtet [75], oder holistische Wahrnehmung wird in engeren Zusammenhang mit konfiguraler Verarbeitung gebracht (z.B. [58] oder [73] mit der Einstellung, dass holistische Wahrnehmung eine gleichzeitige Verarbeitung aller Beziehungen zwischen den Merkmalen meint). Für diese Arbeit stehen diesbezüglich die Fragen im Vordergrund, ob und inwiefern überhaupt zwischen solchen verschiedenen Informationskategorien unterschieden werden kann und ob und inwiefern sie eine Rolle für das Verständnis der Gesichtererkennung spielen. Darum wird die begriffliche Unklarheit in der Literatur hier nicht weiter thematisiert und es werden nur zwei Informationskategorien unterschieden: die merkmalsbasierte Verarbeitung einerseits und eine Verarbeitungsweise, die basierend auf der Analyse von Merkmalsrelationen zu einem holistischen Wahrnehmungseindruck des Gesichtes führt.

Die holistische Verarbeitung scheint bei dem Erkennen von Gesichtern gerade auf individueller Ebene eine besonders große Rolle zu spielen [76]. So weisen viele Patienten mit Prosopagnosie eine Beeinträchtigung der holistischen Verarbeitung auf (z.B. in [77]), [78], [79], [80], [58], [76]) und nur wenige sind beschrieben, die auf diesem Gebiet keine Beeinträchtigung zu haben scheinen ([81], [62]). Auch wurde hinsichtlich dieser Studien mit fehlendem Hinweis auf eine Beeinträchtigung der holistischen Verarbeitung Kritik an der Intensität der Prüfung geübt, insofern als bei genauerer Untersuchung vielleicht doch ein Defizit hätte demaskiert werden können [76]. Sie weisen darauf hin, dass mit der besonderen Rolle holistischer Verarbeitung bei der individuellen Gesichtererkennung nicht automatisch die Behauptung einhergehe, andere Objekte würden allein merkmalsbezogen verarbeitet (wie z.B. von [78], [82] und [83] nahegelegt), während Gesichter holistisch verarbeitet würden ([84], [85]). Denn in der Literatur finden sich schon früh auch Hinweise für holistische Verarbeitung bei der Objekterkennung [86]. Allerdings scheint die holistische Verarbeitung auf der Ebene des Erkennens *einzelner Individuen einer Kategorie* für die Gesichtererkennung wesentlich zu sein, während die Objekterkennung in dem Fall auf die Verarbeitung einzelner Merkmale gerichtet scheint ([76] [57]).

Als wichtiger Hinweis auf einen Unterschied zwischen der Gesichterverarbeitung und der Verarbeitung anderer Objekte wird in diesem Zusammenhang der sogenannte Inversionseffekt bei Gesichtern (face inversion effect, FIE) gesehen: Eine Drehung um 180° bzw. eine Inversion von Gesichtern erschweren das Erkennen und verlängern die zur Erkennung benötigte Zeit deutlich stärker, als es bei Inversion anderer Objekte der Fall ist. Beschrieben wurde dieser Effekt schon früh [87]. Über die Erklärung des Inversionseffekts vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Informationskategorien wird noch immer diskutiert. Dabei kann zwischen einem qualitativen und einem quantitativen Erklärungsansatz unterschieden werden (vgl. [88]). Der quantitative Ansatz leugnet einen qualitativen Unterschied der Wahrnehmung aufrechter und invertierter Gesichter. Er geht davon aus, dass Merkmals- wie holistische Verarbeitung gleich stark beeinträchtigt sind bei der Inversion eines Gesichts (vgl. z.B. [89], [90], [91]), [92], [93]) bzw. sogar von einer größeren Beeinträchtigung der Merkmals-Wahrnehmung [94]. Der qualitative Ansatz hingegen sieht einen qualitativen Unterschied hinsichtlich der Wahrnehmung aufrechter und invertierter Gesichter: Wird ein Gesicht invertiert, werde die holistische Verarbeitung viel wesentlicher beeinträchtigt als diejenige einzelner Gesichtsmerkmale. Darum muss der Betrachter die einzelnen Gesichtsmerkmale bei invertierten Gesichtern einzeln und unabhängig voneinander analysieren. Da Gesichter im Gegensatz zu anderen Objekten in aufrechter Präsentation v.a. holistisch wahrgenommen würden, trete für Gesichter auch im Vergleich zu anderen Objekten ein solcher Inversionseffekt auf. Dieser qualitative Ansatz dominiert die Diskussion (vgl. [95]), [96], [97]) siehe auch die Diskussion in ([75], [92], [93], [98]). Bei Prosopagnosie-Patienten scheint der FIE viel weniger ausgeprägt oder gar nicht vorhanden zu sein (vgl. z.B. [63]), es gibt sogar einzelne Hinweise darauf, dass Prosopagnosie-Patienten invertierte Gesichter besser als aufrechte erkennen ([99], [100]). Dies wird als Hinweis darauf gewertet, dass das neuropsychologische Defizit der Prosopagnosie in der Unfähigkeit der Patienten liegen könnte, holistische Informationen adäquat zu verarbeiten, welche bei der Erkennung aufrecht präsentierter Gesichter besonders zum Tragen kommen.

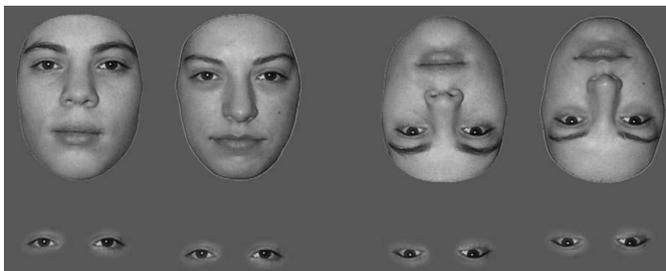
Veranschaulichungen für den qualitativen Ansatz der Erklärung des Inversionseffekts finden sich z.B. bei Rossion [98]: Werden Gesichter in Nasenhöhe in eine obere und eine untere Hälfte geteilt und dann die obere Hälfte eines Gesichts mit unteren

Hälften anderer Gesichter kombiniert, so machen bei Betrachtung des entstandenen ganzen Gesichts auch die oberen Hälften den Anschein, als zeigten sie unterschiedliche Gesichter, da das neu entstandene Gesicht holistisch verarbeitet wird. Dies wird als Kompositionseffekt (composite effect) bezeichnet. Werden die zusammengeschnittenen Gesichter invertiert, so fällt es dagegen nicht mehr schwer, die oberen Hälften als identische zu identifizieren. Dies wird als Hinweis darauf gewertet, dass die holistische Wahrnehmung durch Inversion gestört und die einzelnen Teile getrennt voneinander wahrgenommen werden. So wird eine Betrachtung der Hälften getrennt voneinander möglich.



**Abbildung 2: Veranschaulichung des Kompositionseffektes aus [98]: Bei Inversion fällt es viel leichter, die oberen Gesichtshälften als identische zu erkennen.**

Ein anderes Beispiel, das darauf hindeutet, dass Inversion die holistische Verarbeitung von Gesichtern beeinträchtigt, zeigt die Wahrnehmung eines Gesichtsmerkmals, das in verschiedene Gesichter integriert wird. Bei aufrechten Gesichtern wird das entsprechende Element nur schwer als identisch erkannt - werden die Gesichter aber invertiert, fällt dies wieder viel leichter, da das Gesichtsmerkmal isoliert vom Rest des Gesichts – als einzelnes Merkmal statt holistisch - betrachtet wird [98].



**Abbildung 3: Veranschaulichung des Teil-Ganzes-Effektes (part-whole effect) aus Rossion (2009)**

In Zusammenschau der Literatur kann der FIE also als Hinweis auf holistische Verarbeitung betrachtet werden.

In der Literatur wird aber auch eine Akzentuierung holistischer Verarbeitung bzw. ein Inversionseffekt bei Personen beschrieben, die in der Erkennung bestimmter Objekte trainiert, für diese also „Experten“ sind (z.B. Hunde in [101], Greebles in [102], Autos in [103]), allerdings gibt es auch gegenteilige Befunde (z.B. [104]). Auch sind Fälle beschrieben, in denen Prosopagnosie-Patienten neben ihrem Defizit in der Gesichtererkennung auch Defizite bezüglich der Erkennung von Objekten aufwiesen, in welcher sie vor der Schädigung Experten waren (z.B. bei Vögeln [105], Kälbern und Kühen [106], Fischen [107], Pflanzen und Bergen [107] (1997)). Ob Gesichtererkennung in diesem Zusammenhang als Folge von Expertise statt als eigenständiges Modul betrachtet werden sollte, bleibt weiter Gegenstand der Diskussion ([108], [109], [104], [57]).

### **I.3 Dissoziation zwischen Gesichts- und Objekterkennung: Kognitive Hinweise**

Ein wichtiges Argument für die Eigenständigkeit der Gesichtererkennung und damit der Prosopagnosie als Krankheitsbild beruht auf Daten, die auf eine Doppeldissoziation zwischen Gesichts- und anderer Objekterkennung hindeuten.

Viele Patienten mit Prosopagnosie können, anders als z.B. Patienten mit generalisierter visueller Agnosie, Gesichter problemlos noch als Gesichter erkennen (z.B. [110], [111], [112], [113], [114], [76], [56]). Es wurde eingewendet, die Objekterkennung könne dann nur deswegen nicht beeinträchtigt scheinen, weil sie in Studien nicht auf der gleichen Ebene geprüft werde wie die Gesichtererkennung: Objekte würden im Allgemeinen eher auf der Ebene der Kategorie erkannt, in die sie gehören, Gesichter hingegen spontan auf individueller Ebene. Entsprechend werde Objekterkennung auf der Ebene der Kategorie, Gesichtererkennung dagegen auf der individuellen Ebene *getestet* (vgl. [115]). Diese Art der Erkennung auf individueller Ebene könnte auch für andere Objekte erfolgen, wenn der Betrachter „Experte“ für sie sei, und dann ebenso wie die Gesichtererkennung beeinträchtigt sein - „Prosopagnosie“ wird in diesem Zusammenhang als die primär im Alltag wahrgenommene Ausprägung eines Unterscheidungs-Defizits zwischen sich ähnelnden Individuen einer Kategorie betrachtet ([116], [117], vgl. auch die Diskussion zu holistischer Verarbeitung und dem Inversionseffekt). Als Stütze für die

These, dass keine Dissoziation auf der Ebene individuellen Erkennens vorliegt, wurde angeführt, dass die meisten Prosopagnosie-Patienten neben dem Defizit der Gesichtererkennung bei genauerer Untersuchung auch Schwierigkeiten aufwiesen, andere Objekte einer Kategorie auf individueller Ebene zu erkennen (z.B. Tiere, Fahrzeuge und abstrakte Symbole [116] und inkomplette Buchstaben [118]).

Als Hinweis auf ein von der sonstigen Objekterkennung trennbares Modul des Gesichter-Erkennens wurden dagegen Befunde von Patienten gewertet, die eine Dissoziation von Gesichter- und Objekterkennen auch auf der individuellen Ebene zeigten. So wurden einerseits Patienten vorgestellt, die zwar eine Beeinträchtigung der Gesichtererkennensfähigkeit, aber kein Defizit in der Kategorisierung oder Unterscheidung ähnlicher Objekte zeigten. Es wurden hier unauffällige Ergebnisse gefunden bei der Identifikation persönlicher Eigentumsgegenstände [67], individueller Tiere ([111]; [119], [120], [121]), von Hunderassen [122], Vögeln ([123]), [56]), derjenigen bestimmter Plätze ([111], [124], [121]), von Gebäuden ([125], [62], [122]), Autos bzw. Automarken ([111], [67], [57], [62]), [56] bzw. [126], [127]), Booten [56], von Blumen ([124], [123]), Früchten und Gemüse ([120], [126], [127], [68], [123], [76]), Werkzeugen [62], Stühlen [56], Gewehren [62], Münzen ([67], [120]), Buchstaben und Symbolen [121], inkompletten Buchstaben [68], und Brillen ([128], [129], [130] [62]). Allerdings kann, wie in der Einleitung beschrieben, immer die Forderung nach einer noch genaueren Prüfung und damit verbunden die These vertreten werden, dass vorhandene Defizite nur aufgrund einer weiterhin unzureichenden Prüfung nicht aufgedeckt wurden (vgl. [117], [62]).

Entgegengesetzte Fälle sind in der Literatur nur spärlich vertreten. Einen solchen Fall präsentierten [131], die bei einer Probandin ohne Hirnschädigung eine Beeinträchtigung der Erkennung individueller Objekte aus sechs verschiedenen Kategorien (Gewehre, Pferde, Orte, Werkzeuge, Türen und Autos) fanden, während sie in sieben Tests zur Gesichtererkennung normal abschnitt. Auch [85] beschrieben einen Patienten, der zwar eine intakte Gesichtererkennung, aber eine Objektagnosie aufwies.

Damit sind zwar Hinweise auf eine Dissoziation zwischen Gesichtererkennen und dem Erkennen anderer Objekte auch auf individueller Ebene gegeben. Ob sie die Anforderungen Crawfords an Dissoziationen bzw. in Kombination an Doppeldissoziationen erfüllen würden, ist leider aus den vorliegenden Daten nicht

erkennbar. Prinzipiell erscheint es schwierig, Tests zu entwickeln, die Objekte anderer Kategorien und Gesichter testen, dabei gleich schwer und auch sonst in jeder Hinsicht vergleichbar sind. So bleibt die Forderung nach weiteren ausführlichen Darstellungen ähnlicher Fälle erhalten.

#### **I.4 Dissoziationen zwischen Gesichtsinformationen? - Kognitive Hinweise**

Vor dem Hintergrund der vorgestellten Modelle wurden Hinweise auf eine unabhängige bzw. gemeinsame Verarbeitung verschiedener Informationen eines Gesichtes gefunden. Die Unabhängigkeit einzelner Routen einerseits steht also der These der Abhängigkeit oder Hierarchie innerhalb solcher gegenüber. Für diese Arbeit wird der Schwerpunkt auf Fragen nach der Verarbeitung von Informationen über Emotionen, Geschlecht und Identität gelegt. Untersuchungen z.B. zu Unterschieden zwischen der Verarbeitung unbekannter und bekannter Gesichter bzw. der Verarbeitung von Identität und Lippenlesen treten hier in den Hintergrund. Auch auf Unterschiede zwischen bewegten und unbewegten Gesichtern wird hier nicht eingegangen (vgl. z.B. in [132]).

##### **I.4.1 Dissoziation von Geschlechtserkennen und Identitätserkennen**

Bruce und Young [69] neigten dazu, Geschlechtserkennen als unabhängig vom Erkennen der Identität eines Gesichts anzusehen. Ellis [72] dagegen erarbeitete den alternativen Vorschlag, dass das Erkennen der Identität bekannter Gesichter durch eine Hierarchie u.a. über das Geschlechtserkennen erreicht werden könnte, durch deren Stufen immer präzisere Klassifikationen gemacht werden könnten (s.o.). In der Folge wurden Hinweise für die eine wie die andere These gefunden. Der Stand der Forschung wird im Folgenden vorgestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Trennung schon der Begriffe der Identität bzw. des Geschlechts sicher schwierig ist: Inwiefern kann – oder kann überhaupt - die Identität einer Person unabhängig von ihrem Geschlecht gesehen werden? Abhängig von der positiven Beantwortung dieser Frage zeigen sich Fragestellung, Versuchsaufbau und Ergebnisinterpretation der vorgestellten Studien: Natürlich liegt es nahe, um Hinweise auf eine gemeinsame bzw. getrennte *Verarbeitung* von Geschlechts- bzw. Identitätsinformationen zu finden, zunächst von einer Trennbarkeit der zugrundeliegenden

Gesichts*informationen* auszugehen. Allerdings bleibt die Frage, was genau mit „Identität unabhängig von Geschlecht“ gemeint sein kann und damit, ob diese Trennung überhaupt begrifflich sinnvoll ist.

### Bereiche

Roberts und Bruce [133] fanden durch Abdecken verschiedener Gesichtsteile Hinweise darauf, dass Geschlechtsentscheidungen zumindest teilweise in anderen Bereichen eines Gesichts begründet sein könnten als Beurteilungen der Identität.

Schyns und Kollegen fanden durch Frequenzfilterung und Verdeckung für die Erkennung von Geschlecht und Identität voneinander verschiedene entscheidende Bereiche [134]. So zeigte sich, dass für das Erkennen des Geschlechts v.a. der Bereich um das rechte Auge, für das der Identität hingegen das ganze Gesicht in Anspruch genommen wurde.

### Reaktionszeit

Als Hinweis für eine Unabhängigkeit zwischen der Verarbeitung von Geschlecht und Identität argumentierten z.B. Bruce und Kollegen [135], dass es, wenn das Geschlecht von Gesichtern im Sinne einer Hierarchie *vor* der Identifikation derselben verarbeitet würde, mehr Zeit in Anspruch nehmen würde, Gesichter z.B. niedriger Maskulinität zu erkennen, deren Geschlecht also schwer zu erkennen ist. Sie fanden einen hochsignifikanten Effekt der Schwierigkeit der Geschlechtsbestimmung auf die Zeit, die gebraucht wurde, um über das Geschlecht zu entscheiden. Dagegen hatte die Schwierigkeit der Geschlechtsbestimmung eines Gesichts keinen signifikanten Effekt auf die Zeit, die gebraucht wurde, um die Gesichter als bekannt bzw. unbekannt zu beurteilen. Dies wurde als Hinweis auf eine getrennte Verarbeitung von Geschlecht und Identität gewertet [135]. Allerdings war die Verteilung weiblicher und männlicher Gesichter zunächst nicht ausgeglichen und die vorgestellten Ergebnisse konzentrieren sich darum auf männliche Gesichter. Richards und Ellis [136] untersuchten den Einfluss von Maskulinität sowie des Alters, in dem ein Gesicht kennengelernt wurde (age of acquisition, AoA), auf Familiaritäts- und Geschlechtsentscheidung - Maskulinität und AoA der Stimuli wurden von einer unabhängigen Probandengruppe vor Durchführung des Experiments eingeschätzt. Eine verminderte Reaktionszeit bei hoher im Vergleich zu niedriger Maskulinität

bezüglich Geschlechtsentscheidungen (vgl. [135], [137]) sowie eine verminderte Reaktionszeit eines frühen AoA bezüglich Bekanntheitsentscheidungen (vgl. [138]) ist vorbeschrieben und wurde auch bestätigt [136]. Sie fragten nun zusätzlich, ob und inwiefern AoA die Geschlechts- und Maskulinität die Bekanntheitsentscheidung beeinflusst bzw. ob diese Einflüsse miteinander in Beziehung gesetzt werden können. Sie fanden heraus, dass hohe Maskulinität, aber nur bei spätem AoA, die Bekanntheitsentscheidung verbessert (schneller, weniger Fehler) [136]. Die gleiche Interaktion von Maskulinität und AoA fanden sie für Geschlechtsentscheidungen bezüglich bekannter Gesichter. In dieser Ähnlichkeit des Einflusses sehen sie einen Hinweis auf eine gemeinsame Verarbeitung von Geschlecht und Identität: Bei frühem AoA seien semantische Informationen des Gesichts wie Bekanntheit und Geschlecht direkt - ohne Einfluss durch eine klare oder unklare Geschlechtszugehörigkeit - zugänglich. Bei spätem AoA helfe dagegen eine klare Geschlechtszugehörigkeit bei Bekanntheits- wie Geschlechtsentscheidungen.

Rossion [139] fand schnellere Geschlechtsentscheidungen bei bekannten als bei unbekanntem Gesichtern und deutete dies als Hinweis darauf, dass eine Aktivierung von Repräsentationen bekannter Gesichter die Geschlechtsentscheidung vereinfacht und damit die Verarbeitung von Geschlecht und Identität sich zumindest beeinflusst (vgl. auch [140]). Auch Balas und Kollegen fanden eine schnellere Geschlechtsentscheidung bei bekannten Gesichtern [141]. Sie hielten dieses Ergebnis aber für vereinbar mit beiden Modellen: Sowohl eine gemeinsame Verarbeitung wie auch getrennte Prozesse könnten durch Bekanntheit des Gesichts effizienter laufen und dadurch die Geschlechtsentscheidung vereinfachen.

### Priming und Garner-Interferenzeffekt

Ein Priming-Effekt liegt vor, wenn eine Aufgabe, hier bezüglich eines Gesichts (z.B. die Entscheidung „bekannt/unbekannt“ oder „männlich/weiblich“) dann schneller gelöst wird, wenn das Gesicht zuvor schon einmal beurteilt wurde. Ellis und Kollegen [142] fanden keinen Primingeffekt für Geschlechtsentscheidungen im Gegensatz zu Bekanntheitsentscheidungen (Priming-Aufgaben: Beruf angeben, Bekanntheit, Geschlecht). Dies deuteten sie als Hinweis auf eine getrennte Verarbeitung von Identitäts- und Geschlechtsinformationen: Während bei Bekanntheitsentscheidungen die Aktivierung der FRU für einen Primingeffekt Sorge, sei dies bei

Geschlechtsentscheidungen deswegen nicht der Fall, da sie über einen anderen Weg verarbeitet würden. Um diese Herausforderung der These getrennter Verarbeitung von Geschlechts- und Identitätsinformationen durch Ellis [142] anzugehen, stellten Goshen-Gottstein und Ganel die These auf, dass der fehlende Primingeffekt bei darauf zurückzuführen sei, dass die dort gezeigten Stimuli auch Haare beinhalteten und die Geschlechtsentscheidung darum nicht aufgrund interner Gesichtsmerkmale, sondern aufgrund des Haarschnitts getroffen worden waren [143]. Sie fanden zwar einen Primingeffekt der Geschlechtsentscheidung bei unbekanntem Gesichtern. Diesen Effekt fanden sie allerdings nicht für Gesichter, deren Haare mit präsentiert wurden.

In einem erweiterten Experiment konnten sie bei Gesichtern ohne im Gegensatz zu solchen mit Haaren einen Garner-Interferenzeffekt zwischen Geschlecht und Identität finden [144]. Unter dem Garner-Interferenzeffekt [145] versteht man die Interferenz zweier Parameter, wenn sie gemeinsam, also innerhalb einer Route, verarbeitet werden: Da eine selektive Aufmerksamkeitsausrichtung auf einen dieser Parameter dann nicht möglich ist, verlängert sich die Reaktionszeit zur Beurteilung der Parameter, wenn beide variieren. Auch diese Ergebnisse wurden entsprechend als Hinweis auf eine gemeinsame Verarbeitung von Geschlecht und Identität interpretiert [144].

### Categorial Perception (CP)

Campanella und Kollegen beschäftigten sich mit der Frage, ob männliche und weibliche Gesichter auf der Wahrnehmungsebene unterschiedlichen Kategorien angehören [146]. Werde die Entscheidung männlich/weiblich schon auf der Wahrnehmungsebene, also unabhängig vom Bekanntheitsgrad der betrachteten Gesichter, kategorisch getroffen, spräche dies für eine getrennte Verarbeitung von Geschlecht und Identität. Kategorie-Wahrnehmung (Categorial Perception, CP) bedeutet, dass Objekte einer Kategorie (hier als These weibliche bzw. männliche Gesichter) einem Objekt der eigenen Kategorie ähnlicher scheinen als einem Objekt der anderen Kategorie, auch wenn die physikalischen Unterschiede zwischen beiden gleich sind. Sie erstellten sogenannte Morphs von individuellen weiblichen und männlichen unbekanntem Gesichtern und fanden Hinweise auf eine kategoriale Wahrnehmung. Beim Morphing werden zwei individuelle Bilder durch Berechnung

von Zwischenübergängen ineinander überführt: Ausgehend von einem Bild werden Bildelemente so verzerrt, dass sie den entsprechenden Elementen im Zielbild immer ähnlicher werden. Die Zwischenübergänge zeigen hierbei realistische Abbildungen fiktiver Personen. Campanella und Kollegen deuteten die Ergebnisse entsprechend als Hinweis auf eine parallele Verarbeitung von Geschlecht und Identität. Im Gegensatz dazu konnten Bülthoff und Kollegen für ähnliche Stimuli keinen CP-Effekt für unbekannte Gesichter beobachten, sondern nur für bekannte [147]. Allerdings sei dieser Unterschied der Ergebnisse vielleicht auf den Wechsel sowohl von Geschlecht als auch von Identität der in der eigenen sowie in der von Campanella [146] durchgeführten Studie verwendeten Morphs zurückzuführen. Sie schlossen darum noch zwei weitere Experimente an, in denen ausgehend von individuellen weiblichen Gesichtern mithilfe eines Geschlechtsvektors ausschließlich das Geschlecht verändert wurde.

Zum besseren Verständnis des Vorgehens ist die Vorstellung der Verortbarkeit eines jeden Gesichts in einem mehrdimensionalen Gesichtsraum vonnöten, der durch verschiedene Parameter festgelegt ist. Vereinfacht nimmt in diesem Experiment jedes Gesicht einen solchen Punkt in einem zweidimensionalen Raum ein, der durch Geschlechtsmerkmale auf der x- und Identitätsmerkmale auf der y-Achse definiert wird. Von diesem Punkt ausgehend kann dann bei gleichbleibender Identität, also parallel zur x-Achse, ein reines Geschlechtsmorphing erfolgen. Hier werden also ausgehend von individuellen weiblichen Gesichtern durch Anwendung von Geschlechtsvektoren und damit Maskulinisierung den Identitätsmerkmalen entsprechende Morphs bis hin zu den entsprechenden männlichen Gesichtern erstellt. Dabei fand sich ebenfalls kein CP-Effekt für unbekannte, wohl aber für Gesichter, die zuvor – unabhängig ob im Hinblick auf Identität oder Geschlecht - kennengelernt worden waren. Armann und Bülthoff ließen die Gesichter dagegen durch Fragen zu Charakterzügen lernen, in denen die Nennung des Geschlechtsdefinierenden Namens bzw. Pronomens vorkam (z.B. „Wie intelligent ist Lisa?/sie“, „Wie glücklich ist John/er?“) [148]. Im nachfolgenden Experiment konnten sie einen CP-Effekt für zuvor gelernte Gesichter bei der Geschlechtsentscheidung bestätigen. Wurden die Gesichter zuvor nicht gelernt, fand sich auch kein solcher Effekt. Beide Gruppen interpretieren ihre Ergebnisse als Hinweis auf eine hierarchische Verarbeitung von Geschlecht und Identität (vgl. auch [149]). Die Tatsache, dass im

Alltag das Geschlecht des Gegenüber auch unabhängig vom Bekanntheitsgrad gewöhnlich sehr schnell und richtig bestimmt werden kann, erklären z.B. [148] durch die hier ebenfalls zugänglichen externen Merkmale. Allerdings soll betont werden, dass die Studien in ihrem Versuchsaufbau voraussetzen, dass die Anwendung eines Geschlechtsvektors keine Auswirkungen auf die Identität eines Gesichts hat – bei Bülthoff z.B. definiert als die „einzigartigen charakteristischen Merkmale eines Gesichts“ [147]. In der Beschreibung des dort für das Morphing herangezogenen Algorithmus von Blanz wird immerhin vorsichtiger formuliert, dass sie Vektoren definieren, die, wenn sie zu einem Gesicht addiert bzw. subtrahiert werden, ein spezifisches Attribut manipulieren, während alle anderen Attribute *so konstant wie möglich* bleiben<sup>30</sup> sowie, dass „Attribute, die für jedes Individuum invariant sind, schwieriger zu isolieren“ seien [150]. Die Bewertung der Ergebnisse der Studien hängt sicher davon ab, für wie überzeugend man die Möglichkeit getrennter Manipulation von Identität und Geschlecht hält.

### Face aftereffects (FAE) für geschlechtsspezifische Normgesichter

Viele Autoren gehen davon aus, dass Gesichter relativ zu einem Normgesicht (bzw. mehreren, s.u.) kodiert werden, wobei dieses Normgesicht ein Durchschnitt der Gesichter ist, die wir wahrnehmen (vgl. z.B. [101], [151], für eine Übersicht s. z.B. [152]) – wodurch es auch selbst einem stetigen Wandel durch den Einfluss unserer Wahrnehmung unterliegt [153]. Dafür gibt es verschiedene Hinweise - als wichtiger Hinweis wird der Nachweis von sogenannten „face aftereffects“ (FAE) gesehen: Betrachten wir ein Gesicht einige Zeit, dann beeinflusst das die Wahrnehmung nachfolgend betrachteter Gesichter.

So wird die Identität eines Gesichts, dessen Merkmale in Bezug auf das Normgesicht entgegengesetzt abweichen wie das zuvor betrachtete Bild auch dann gut erkannt, wenn es dem Normgesicht ähnlich ist. Erklärt wird dies durch eine vorübergehende Verschiebung der Norm in Richtung des zuvor betrachteten Gesichts, so dass das Stimulus-Gesicht nun weiter von der neuen Norm entfernt und dadurch leichter zu identifizieren ist [154]. Es wird allerdings angenommen, dass es nicht nur ein, sondern kategoriespezifisch verschiedene Normgesichter geben könnte (review in [152]). [155] untersuchten die Frage, ob Identitätserkennen als Unterscheidung von

---

<sup>30</sup> Hervorhebung KL

*einem androgynen* Normgesicht oder aber Unterscheidung von *geschlechtsspezifischen* Normgesichtern erfolgt, indem sie FAEs für Identitätsentscheidungen von sich gegenüberliegenden Gesichtspaaren in Bezug auf ein androgynes Normgesicht sowie von sich gegenüberliegenden Gesichtspaaren in Bezug auf ein männliches bzw. weibliches Normgesicht testeten. Aus signifikant größeren FAEs der in Bezug auf die geschlechtsspezifische Norm entgegengesetzten Gesichterpaare schlossen sie auf eine geschlechtsspezifische Norm als Bezugsgesicht für die Identitätserkennung (vgl. hierzu auch [156], [157], [158], [159], aber siehe auch [160] und [161]).

#### Untersuchungen an Patienten, die auf eine Dissoziation hindeuten

Es gibt aber auch Untersuchungen an Prosopagnosiepatienten, die als Hinweis auf eine getrennte Verarbeitung von Geschlechts- und Identitätsinformationen gedeutet wurden. Berichte von Patienten mit Schwierigkeiten bei der Identitäts- nicht aber der Geschlechtererkennung in Gesichtern finden sich bei verschiedenen Arbeitsgruppen (vgl. z.B. [162], [111], [163], [125]). Allerdings lägen erst dann wirklich Hinweise auf eine getrennte Verarbeitung vor, wenn es gelänge, Doppeldissoziationen in der Literatur zu finden. So sollte es auch Patienten geben, die zwar bekannte Gesichter erkennen können, aber darin beeinträchtigt sind, das Geschlecht eines unbekanntes Gesichts zu bestimmen. Humphreys und Kollegen berichten über einen Patienten, der zwar die Identität bekannter Gesichter erkennen konnte, aber bei der Beurteilung des Geschlechts unbekannter Gesichter Defizite zeigte [164]. Ähnliche Fälle finden sich in der Literatur allerdings nicht. Das könnte daran liegen, dass es sich eben um eine gemeinsame Verarbeitung bzw. Hierarchie statt um eine getrennte Verarbeitung der Wege handelt. Andererseits könnte es einfach ein noch nicht untersuchtes Phänomen sein. Wer ausschließlich Probleme bei der Bestimmung des Geschlechts einer Person anhand ihres Gesichts hat, dürfte im Alltag kaum Schwierigkeiten bekommen, da es viele andere Möglichkeiten dieser Bestimmung gibt, z.B. über Stimme, Körperform oder das Styling.

Hinsichtlich der Frage, ob Geschlechts- und Identitätsinformationen getrennt oder gemeinsam verarbeitet werden, herrscht also noch Unklarheit, wobei die Hinweise

auf eine zumindest teilweise gemeinsame Verarbeitung ohne den Nachweis einer Doppeldissoziation überwiegen.

#### **I.4.2. Dissoziation von Identitätserkennen und Emotionserkennen**

Für diese Arbeit steht hier die Frage im Vordergrund, ob und inwiefern es im Sinne der Modelle von Bruce und Young bzw. Ellis stichhaltige Hinweise auf separate Verarbeitungsmechanismen für Identitäts- bzw. Emotionserkennung bei Gesichtern gibt, und damit, ob die Fähigkeit des Erkennens von Identität und ausgedrückter Emotion eines Gesichts voneinander dissoziierbar sind. Unter Emotionserkennung soll vereinfacht die Wahrnehmung und Analyse von Gesichtsausdrücken verstanden werden, die bestimmte Emotionen ausdrücken.<sup>31</sup> Getestet wurden meist einige oder alle der Basisemotionen Freude, Überraschung, Furcht, Trauer, Wut, Ekel [166].

Erstmalig wurde eine mögliche Dissoziation zwischen Identitäts- und Emotionserkennen beschrieben von [105]. Plausibel wird die These der Dissoziation durch die Überlegung, dass die Repräsentation der Identität von derjenigen veränderbarer Gesichtsaspekte getrennt sein sollte, da sonst der Wechsel des Gesichtsausdrucks als Identitätswechsel missdeutet werden könnte (vgl. [167], variante vs. invariante Aspekte, s.u.). Zunächst werden Untersuchungen an gesunden Probanden und Gruppenvergleiche vorgestellt. Anschließend folgt eine Übersicht über die bisher in der Literatur vorgestellten Patienten, deren Beeinträchtigungsmuster Hinweise auf eine Dissoziation lieferten, sowie eine kritische Einschätzung der vorgestellten Literatur.

#### Bereiche

Schyns und Kollegen zeigten durch Frequenzfilterung und Verdeckung verschiedener Anteile des Gesichts, dass die Bereiche, die für die Entscheidungen über Emotionen (hier die Unterscheidung Freude – neutral) wichtig sind, andere zu sein scheinen als diejenigen, die für die Identitätsbestimmung entscheidend sind [134]. So zeigte sich, dass für das Erkennen von Freude v.a. die Mundregion, für

---

<sup>31</sup> Die Gleichsetzung von Gesichtsausdruck und Emotion wurde zwar kritisiert, da ein Gesichtsausdruck verschiedene Emotionen ausdrücken könne und Emotionskategorien unscharfe und überlappende Grenzen habe (Beispiele in [165]). Darauf wird hier nicht näher eingegangen. Auch wird die Frage, wie und inwiefern Emotionen von z.B. Stimmungen abgrenzbar sind, hier nicht weiter behandelt (vgl. hierzu [166]).

Identität dagegen das ganze Gesicht in Anspruch genommen wurde. Coolocan und Kollegen verglichen Emotions- und Identitätsurteile über chimäre Gesichter und fanden für Emotionsentscheidungen eine stärkere Fokussierung auf das linke Gesichtsfeld, für Identitätsentscheidungen dagegen eine Fokussierung auf das obere Gesichtsfeld, woraus sie auf eine getrennte Verarbeitung schlossen [168].

### Reaktionszeit und Beurteilung

Young und Kollegen stellten beim Abgleich bekannter Gesichter in Bezug auf Ihre Identität kürzere Reaktionszeiten als beim Abgleich unbekannter Gesichter fest [169]. War die Aufgabe hingegen ein Abgleich der ausgedrückten Emotion, so hatte die Bekanntheit des Gesichts keinen Einfluss auf die Reaktionszeit. Sie sahen hierin einen Hinweis auf getrennte Verarbeitung der beiden Gesichtsinformationen (vgl. auch Bruce [170], [171]).

Baudouin und Kollegen stellten dagegen einen positiven Einfluss von fröhlichem im Gegensatz zu neutralem Gesichtsausdruck darauf fest, ein unbekanntes Gesicht als bekannt zu bewerten bzw. ihm einen höheren Bekanntheitsgrad zuzuweisen, und Letzteres sowohl für bekannte als auch für unbekannte Gesichter [172]. Dies spreche für eine gewisse Interaktion von Emotions- und Identitätsverarbeitung. Kaufmann und Schweinberger fanden einen positiven Einfluss eines fröhlichen Gesichtsausdrucks auf das Erkennen bekannter Gesichter [173]. Auf die Beurteilung der Bekanntheit unbekannter Gesichter hatte die gezeigte Emotion hier hingegen keinen Einfluss. Dobel und Geiger stellten fest, dass zwar ein fröhlicher Gesichtsausdruck eine höhere Einstufung der Bekanntheit eines Gesichts bewirkte. Ein negativer Gesichtsausdruck zeigte keinen solchen Effekt [174]. Hierdurch stellten sie die These in Frage, dass emotionale Gesichtsausdrücke insgesamt im Vergleich zu neutralen eine Erhöhung der Bekanntheitsbewertung bewirken könnten [172]. Insgesamt werteten auch sie ihre Ergebnisse als Hinweis für eine gewisse Interaktion zwischen Identitäts- und Emotionsverarbeitung.

### Priming und Categorical Perception

Ellis und Kollegen fanden keinen Primingeffekt für Emotionsentscheidungen [142]. Auch konnte eine kategoriale Wahrnehmung von Emotionsausdrücken unbekannter

Gesichter gefunden werden (vgl. [175], [176]). Diese Ergebnisse wurden als Hinweis auf eine getrennte Verarbeitung gewertet.

### Aufmerksamkeitsausrichtung

Zur Frage nach der Möglichkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung auf Gesichtsidentität bzw. -emotion gibt es eine schon viele Jahre dauernde Diskussion: Etcoff interpretierte die Möglichkeit der selektiven Aufmerksamkeitsausrichtung auf Identität bzw. Emotion durch Probanden als Hinweis auf eine getrennte Verarbeitung dieser [177]. Schweinberger und Soukup fanden hingegen eine asymmetrische Abhängigkeit insofern, als die Reaktionszeit bei Identitätsentscheidungen zwar unabhängig von Änderungen der gezeigten Emotion erschien, allerdings wechselnde Identität durchaus einen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Emotionsentscheidung hatte ([178], vgl. auch [179], [180], [181], [182]).

Ganel und Goshen-Gottstein widersprachen aufgrund der Feststellung eines symmetrischen Garner-Interferenzeffekts bei bezüglich der Unterscheidbarkeit von Emotionen und Identitäten besser kontrollierten Stimuli der Möglichkeit selektiver Aufmerksamkeitsausrichtung auf Identität wie auch auf Emotion [183]. Eine beidseitige Abhängigkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung wurde auch von Stoesz and Jakobson bestätigt, wenn auch nur für statische Bilder von Gesichtern [132]. Yankouskaya und Kollegen führten eine Testung zu *geteilter* Aufmerksamkeit bei der Präsentation von Gesichtern durch, um das Verhältnis von Identitäts- und Emotionsverarbeitung zu untersuchen [184]. Sie fragten hier, wie sich die Reaktionszeiten verhalten, wenn Probanden bei der Präsentation verschiedener Gesichter entweder auf eine Zielidentität (z.B. John) oder auf eine Zielemotion (z.B. traurig) bzw. ein Gesicht, in dem sowohl Zielidentität als auch Zielemotion vereint sind (z.B. trauriger John), mit Zustimmung reagieren sollen. Sie fanden kürzere Reaktionszeiten für Gesichter, die beide „Ziele“ zeigten. Dies erklären sie durch eine gemeinsame Aktivierung der Identitäts- und Emotionsinformationen beim Betrachten eines Gesichts und damit als Hinweis auf eine gemeinsame Verarbeitung dieser. Es sollte hier erwähnt werden, dass Gesichter verschiedener Identitäten Emotionen eventuell verschieden deutlich ausdrücken, was einen Einfluss auf die Ergebnisse haben könnte.

### Face After Effects (FAE)

Ellamil und Kollegen fanden FAEs für Emotionspaare, allerdings verkleinerten sich diese signifikant, wenn die Identität von Adaptations- und Zielgesicht unterschiedlich war [185]. Hieraus schlossen sie auf eine zumindest teilweise Überlappung von Identitäts- und Emotionsverarbeitung. Fox und Barton fanden ebenfalls FAEs, die hier sowohl bei gleicher, als auch bei wechselnder Identität von Adaptations- und Zielgesicht signifikant waren [186]. Dass die FAE bei gleicher Identität deutlich größer waren, interpretierten sie aber als Hinweis auf zwei verschiedene Repräsentationen von Emotionen: einer identitätsabhängigen und einer identitätsunabhängigen Repräsentation. Fox und Kollegen fanden keine Veränderungen des FAE für Identität bei wechselnder Emotion [187]. Hieraus schlossen sie auf emotionsunabhängige Repräsentationen für Identität.

### Weitere Hinweise:

#### Zusammensetzungseffekt, Hauptkomponentenanalyse, Ortsfrequenzfokussierung

Calder und Kollegen testeten, ob Emotionen bei Zusammensetzungen von oberen und unteren Gesichtshälften verschiedene Emotionen zeigender Gesichter schwerer erkannt werden, als wenn die Gesichtshälften etwas verschoben zueinander gezeigt werden [188]. Sie fanden einen solchen Effekt, der oben im Bezug auf das Erkennen von Identität schon als Kompositionseffekt (composite-effect, CE) vorgestellt wurde. In einem weiteren Experiment zeigten sie aber, dass der CE bei Emotions- und der CE bei Identitätserkennung unabhängig voneinander zu sein scheinen, woraus sie schlossen, dass unterschiedliche Informationen für die jeweilige Verarbeitung gebraucht werden [188]. Desweiteren modellierten Calder und Kollegen den Prozess der strukturellen Enkodierung bei Bruce und Young durch computerbasierte Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis, PCA) von Gesichtern [189]. Sie stellten fest, dass Identitäts- bzw. Emotionsangaben einige Komponenten gemeinsam waren, der überwiegende Teil dieser aber unterschiedlich. Daraus schlossen sie – die Vorstellung einer Analogie humaner Gesichterverarbeitung mit computerbasierter PCA im Hintergrund - auf eine weitgehende, wenn auch nicht vollständige, Dissoziation zwischen Identitäts- und Emotionserkennung (vgl. auch [190]). [191] untersuchten den Einfluss verschiedener Ortsfrequenzen auf die Wahrnehmung von Identität und Emotion. Dafür erstellten sie hybride Gesichter aus

Gesichtern mit hoher bzw. niedriger Ortsfrequenz. Sie stellten fest, dass die Probanden bezüglich Identität eher ihre Aufmerksamkeit auf niedrige Ortsfrequenzen richteten, während bezüglich der Emotion eher auf Gesichter hoher Ortsfrequenzen fokussiert wurde. Sie schlossen daraus auf eine getrennte Verarbeitung von Gesichtsidentiät und –emotion.

### Studien an Patienten, die auf eine Dissoziation hindeuten

Bowers und Kollegen fanden in einem Vergleich gesunder, rechts- und linkshemisphärisch geschädigter Probanden Hinweise darauf, dass das Emotionserkennen in gewissem Maße von anderen kognitiven Mechanismen abhängig sein müsse als denen, die für Identitätserkennen notwendig sind [192]. Seit den 80er Jahren erschien eine Anzahl von Berichten über neuropsychologische Testungen bei einzelnen Patienten, die Schwierigkeiten aufwiesen, die Gesichtsidentiät zu erkennen, aber Emotionen in Gesichtern erkennen konnten ([162], [111], [60], [163], [124], [193], [194]). Humphreys und Kollegen fanden zwar eine Beeinträchtigung der Emotionserkennung bei Patienten mit erworbener Prosopagnosie, nicht aber bei Patienten mit angeborener Prosopagnosie [195]. Eine normale Emotionserkennung bei Patienten mit angeborener Prosopagnosie wurde auch in anderen Studien gefunden ([125], [196]). Hier könnten lebenslang trainierte Kompensationsmechanismen bei Patienten mit angeborener Prosopagnosie eine Rolle spielen (vgl. zur Diskussion [195]). Andere Patienten zeigten ein gegenteiliges Muster, also Probleme bei der Emotionserkennung bei erhaltener Identitätserkennung ([197], [198], siehe auch [165]).<sup>32</sup>

Die Einzelfallstudien, die für die Darstellung von Doppeldissoziationen herangezogen werden, werden oft aus solchen verschiedenen Untersuchungen zusammengetragen. Problematisch ist entsprechend, dass meist verschiedene Tests und Auswertungen angewendet wurden, um die fraglichen Fähigkeiten einzuschätzen, was es schwierig macht, die Patienten direkt zu vergleichen (vgl. [200] und auch Einleitung). Für die Frage nach der Dissoziation von Emotions- und

---

<sup>32</sup> An dieser Stelle sei auch auf das Capgras-Syndrom als Defizit der Identifikation hingewiesen. Es ist durch die Überzeugung charakterisiert, dass einige oder alle Menschen nicht mehr diejenigen sind, die sie einmal waren, sondern durch Doppelgänger, Betrüger, Roboter, Aliens oder ähnliches ersetzt wurden. Es ist deswegen an dieser Stelle interessant, weil entsprechende Patienten ihr Gegenüber zwar erkennen, aber nicht das gewohnte entsprechende eigene Vertrautheitsgefühl empfinden (vgl. [199]).

Identitätserkennung an Gesichtern gibt es aber auch einzelne Studien, die Patienten mit jeweils einem isolierten Defizit gemeinsam vorstellen und also zumindest die gleichen Tests und Auswertungen zur Feststellung der Defizite verwendeten ([201], [164], [200], eingeschränkt auch [202]). Auch an diesen wurde aber Kritik in Bezug auf Umfang und Auswertung geübt (vgl. [190]), so dass die Forderung nach der Darstellung weiterer Fallbeispiele bestehen bleibt.

Bei der Suche nach Doppeldissoziationen wurde auch die Frage nach Unterschieden zwischen verschiedenen Emotionen kaum beachtet (vgl. [190], [70]). In ihrer Rückschau weisen Young und Bruce darauf hin, dass sie für Emotionserkennung als von der Identitätserkennung unabhängigen Pfad in ihrer Veröffentlichung 1986 unausgesprochen eine ähnliche Einzigartigkeit wie die der Identitätserkennung vermuteten [70]. Auf dieser Basis erwarteten sie, neuropsychologische Defizite der Emotionserkennung zu finden, die zwar gesichtsspezifisch sind (also z.B. das Erkennen der Emotion durch die Stimme oder Körpersprache gewahrt bleibt), dabei aber alle Emotionen betreffen (also Angst genauso wie Ekel, Trauer, Ärger, Freude etc.). In der Folge wurde aber immer klarer, dass es unzureichend zu sein scheint, Emotionserkennen aus Gesichtern bzw. dessen Defizit allgemein zu untersuchen. Einzelne Emotionen fanden ihren eigenen Platz in der Forschung – neuropsychologisch wie anatomisch (vgl. z.B. [203]). Außerdem wurde deutlich, dass emotionsspezifische Probleme sich wohl nicht auf eine Wahrnehmungsdomäne – z.B. Gesichter *visuell* zu beurteilen – zu beschränken scheinen, sondern auch das Erkennen derselben Emotion durch andere Signale, z.B. Stimme oder Körperhaltung, beeinträchtigt ist ([204], [205], [206], [207]). Also scheinen Defizite der Emotionserkennung eher multimodal zu sein, und dabei manchmal ziemlich spezifisch für bestimmte Emotionen.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass über den Zusammenhang zwischen der Verarbeitung von Identitäts- und Emotionsinformationen aus Gesichtern noch Uneinigkeit besteht. Ein wichtiger Grund für diese Uneinigkeit könnte in der pauschalen Behandlung von sowie Schlussfolgerung auf „Emotions“verarbeitung als Sammelbecken für eigentlich einzeln zu betrachtende Basisemotionen bestehen, da in den einzelnen Studien meist nur einige wenige getestet worden sind.

## **II. Modell der neurologischen Modularität: Fokus auf Identitätserkennen**

Mit der Verbesserung technischer Möglichkeiten gab es immer mehr Versuche, kognitive Modelle der Gesichtererkennung im Gehirn räumlich und zeitlich zu verorten bzw. aus den gewonnenen Daten kognitive Modelle zu modifizieren. Eine kritische Einordnung solcher Versuche ist in der Einleitung gegeben worden. Hier soll der Stand der Forschung umrissen werden.

### Räumliche Verortung: Ein neuronales Netzwerk der Gesichtererkennung

In den frühen 90er Jahren wurden erstmals in positronenemissionstomographischen (PET-) Studien Aktivierungen im Bereich des fusiformen Gyrus während der Identifikation von Gesichtern festgestellt ([208], [209]). Mithilfe von funktionellen magnetresonanztomographischen (fMRT-) Untersuchungen konnte im Anschluss gezeigt werden, dass bestimmte fusiforme Regionen auch stärker auf Gesichter als auf Darstellungen anderer Objekte wie z.B. Buchstaben und Muster [210], Buchstaben [211], Blumen [212], Häuser ([213], [214]), Häuser und Stühle [215], Alltagsobjekte, Häuser und Hände [216], Werkzeuge [217] und sogar andere Körperteile [218] reagieren. Dabei scheint diese Aktivierung auch unabhängig von der Art der Darstellung für verschiedene Arten von Gesichterstimuli zu sein, z.B. Menschengesichter in Frontal- wie Profilansicht sowie Tier- und Kartoon-Gesichter [219] oder Strichzeichnungen von Gesichtern [220]. Auch konnte während der Wahrnehmung eines Gesichts bei Präsentation einer Rubin'schen Vase eine stärkere Aktivierung in diesem Bereich nachgewiesen werden, als bei der Wahrnehmung desselben Stimulus als Vase ([221], [222]). Auch im sulcus temporalis superior (STS) und in Teilen des Occipitallappens (occipital face area, OFA) wird gesichtsspezifische Aktivität vermutet (z.B. [213], [223], [224]). Allerdings war sie am deutlichsten in dem Bereich des rechten fusiformen Gyrus zu finden, welcher darum als fusiform face area (FFA) bezeichnet [216] und als Teil eines eigenen Gesichtermoduls betrachtet wird. Auf die Stellung der FFA in der Diskussion um die Modularität der Gesichtererkennung wird später noch genauer eingegangen.

Im Jahr 2000 stellten Haxby und Kollegen ausgehend v.a. von PET- und fMRT-Untersuchungen ein mögliches neuronales Netzwerk der Gesichtererkennung vor [167]. Dabei gehen sie von einer hierarchischen Organisation dieses Netzwerkes

aus, die sich in der Unterscheidung zwischen einem Kern- und einem erweiterten System widerspiegelt. Das Kernsystem sehen sie in occipitotemporalen Regionen des extrastriären visuellen Kortex verortet, genauer in den drei schon angesprochenen Regionen des inferioren occipitalen Gyri (OFA), des lateralen fusiformen Gyri (FFA) sowie des superioren temporalen sulcus (STS).

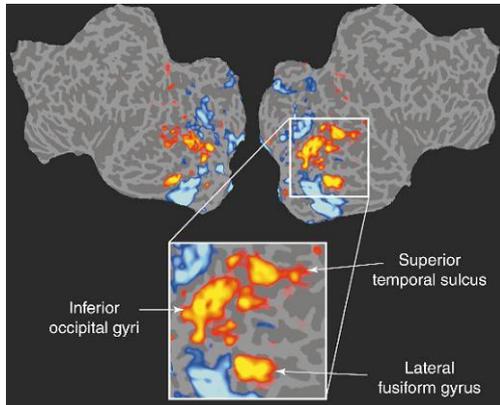


Abbildung 4: Teil der Graphik aus [167]: Kortikale Regionen eines Probanden, die das Kernsystem der visuellen Analyse von Gesichtern umfassen. Regionen in rot bis gelb reagierten stärker auf Gesichter als auf Häuser, während Regionen in blau mehr auf Häuser reagierten. Gezeigt ist die gesamte kortikale Oberfläche in zweidimensionaler Ansicht.

Weitere Regionen, die in anderen Bereichen des Gehirns auch Teil an der Verarbeitung von Gesichtsinformationen zu nehmen scheinen, werden von Haxby und Kollegen als *erweitertes System* bezeichnet. Zum Beispiel bewirkt die Wahrnehmung von Gesichtsausdrücken Aktivität in limbischen Regionen, die mit der Verarbeitung von Emotionen assoziiert scheinen ([225], [226], [227], [228], [229]).

Haxby und Kollegen gingen bezüglich des Kernsystems von einer Route für die Verarbeitung invarianter Aspekte, namentlich der Identität, eines Gesichts im lateralen fusiformen Gyri aus ([167, 223], s. auch [230], [231], [232]). Hiervon unterschieden sie eine zweite Route im superioren temporalen Sulcus für die Verarbeitung varianter Aspekte des Gesichts ([223], [233] vgl. auch [234], [235]). Allerdings gibt es auch Hinweise auf eine Beteiligung der FFA an der Emotionsverarbeitung in Gesichtern [236] sowie auf einen Einfluss von Emotion auf die Aktivität der FFA [237]. Ergänzungen fand die Arbeit an Haxbys neuronalem Netzwerk z.B. durch Fokussierung auf das erweiterte System [238] und durch Fokussierung auf das Erkennen bekannter Gesichter [239]. Bis heute sind Verfeinerungen und Erweiterungen dieses neuronalen Netzwerks Gegenstand der Diskussion ([240], [241], s. aber auch [242]).

### FFA als Gesichtsmodul?

Obwohl die FFA die höchste Aktivität als Antwort auf Gesichter zeigt, reagiert sie auch auf Objekte anderer Kategorien. Vor diesem Hintergrund haben sich alternative Hypothesen zur Sicht der FFA als gesichtsspezifischem Modul entwickelt, die im Folgenden kurz diskutiert werden sollen (vgl. auch [243]).

Laut der Individuationshypothese wird die FFA nicht durch Gesichtsverarbeitung an sich aktiviert, sondern durch die Verarbeitung einzelner Exemplare verschiedener Kategorien von Objekten, die wie Gesichter eine gemeinsame Form teilen [211]. Dagegen fanden Ishai und Kollegen maximale Aktivierungen für verschiedene Objektklassen an zwar benachbarten, aber doch verschiedenen Orten [215]. Auch konnten Yovel und Kanwisher bei Erstellung einander sehr ähnlicher Häuserstimuli im Vergleich der Präsentation von Gesichterstimuli mit jenen eine viel höhere Aktivität der FFA nachweisen ([91], vgl. auch [216], [212], [231]).

Die Expertenhypothese als spezielle Auslegung der Individuationshypothese geht davon aus, dass die FFA bei der Verarbeitung einzelner Exemplare verschiedener Objektkategorien wichtig ist, für die der Betrachter Experte ist ([102], [244], [117], [245]). Allerdings konnte eine erhöhte FFA-Aktivität bei experimentell trainierten Objekten später nicht repliziert werden ([246], [247], [248]). Der Einfluss einer *lebenslang* antrainierten Expertise, wie sie ja für Gesichter besteht, wurde von Gauthier und Kollegen an Auto- und Vogelexperten näherungsweise getestet, wobei sie einen größeren Aktivitätsanstieg der FFA für das jeweilige Expertengebiet feststellten [245]. Diese Ergebnisse konnten zwar teilweise bestätigt werden [249], andere Studien ergaben hingegen nur einen schwach signifikanten Effekt bei Lepidoptera-Experten [250], oder konnten keinen solchen Unterschied bei Autoexperten feststellen [231]. In allen drei Studien war die Aktivierung der FFA durch Gesichter aber deutlich größer als für Experten-Objekte. Auch wurden größere Effekte der trainierten Expertise in anderen Regionen als der FFA beobachtet, was die Interpretation der FFA-Aktivität als Hinweis auf Expertise erschwert [243].

Eine weitere Hypothese besagt, dass die Aktivierung der FFA durch eine bestimmte Art der Informationsverarbeitung, nämlich der konfiguralen Verarbeitung von Objekten im Allgemeinen bewirkt wird. Um diese Hypothese zu testen, entwickelten Yovel und Kanwisher Häuserstimuli, deren Konfiguration sowie Merkmalszusammensetzung derjenigen von Gesichtern ähnelte (Fenster und Tür

statt Augen und Mund) [91]. So versuchten sie, soweit möglich eine gleiche Verarbeitung der Stimuli zu erreichen. Zwei aufeinander folgende Stimuli sollten als „gleich“ oder „verschieden“ bewertet werden, verschiedene waren entweder in Bezug auf ihre Konfiguration oder auf einzelne Merkmalen verändert worden. Sie fanden trotz der weitgehenden Angleichung der Stimuli eine deutlich höhere Aktivierung der FFA für die Gesichterstimuli, aber keine höhere Aktivität bei Konfigurations- als bei Merkmalsänderung, weder bezüglich der Gesichts- noch der Häuserstimuli. Sie werteten ihre Ergebnisse als Hinweis auf eine gesichtsspezifische und dabei nicht nur auf Konfigurationsverarbeitung spezialisierte FFA.

Als eine weithin diskutierte und auch von der Arbeitsgruppe um Haxby und Ishai favorisierte Hypothese ist außerdem die sogenannte Verteilungsmuster-Hypothese zu nennen (distributed coding-Hypothese). Demnach stellt die FFA zwar ein Areal mit Präferenz zur Gesichterverarbeitung dar, aber die FFA-Aktivierungen bei anderen Stimuli werden als Teil ihres eigenen spezifischen Verarbeitungsmusters gesehen, nicht als der Ungenauigkeit der Untersuchungsmethoden geschuldet ([251], [252], [215]). Allerdings wird es vor dieser Hypothese schwierig, das Phänomen der von der Objektagnosie dissoziierbaren Prosopagnosie zu erklären – wenn auch nicht unmöglich (vgl. Einleitung). Pitcher und Kollegen fanden mithilfe von Transkranieller Magnetischer Stimulation (TMS) über zuvor funktionell lokalisierten objektcategoriespezifischen Regionen eine Dissoziation zwischen Gesichter-, Körper- und Objekterkennung: Bei Stimulation über der rechten OFA war nur die Erkennung von Gesichtern beeinträchtigt, ebenso bei Stimulation einer rechten extrastriären Körperregion nur das Erkennen von Körpern, bei Stimulation einer rechten lateralen occipitalen Region nur das Erkennen von Objekten [253]. Sie werteten ihre Ergebnisse als Hinweis auf einen modularen Aufbau des Gehirns. Inwiefern TMS spezifisch genug für diese Fragestellung ist, sei hier nicht weiter erörtert.

Insgesamt scheint es aber hinreichend Hinweise zu geben, die eine Einschätzung der FFA als Teil eines spezifischen Gesichtsmoduls rechtfertigen.

### Einzelzelleableitungen

Hinweise auf auf Gesichterverarbeitung spezialisierte Bereiche im Gehirn von Makaken wurden schon seit den frühen 80er Jahren durch Einzelzelleableitungen

gefunden [254]. Die Arbeitsgruppe um Tsao z.B. lokalisierte zunächst mithilfe von fMRT Regionen im rechten Temporallappen bei Makaken, die selektiv auf Gesichter reagierten. In der größten dieser Regionen konnten sie fast 500 Neuronen untersuchen. Sie stellten fest, dass 97% der Zellen gesichtsselektiv reagierten: Im Durchschnitt zeigten diese 20fach höhere Reaktion auf Gesichter als auf Nichtgesichtsobjekte [255]. Diese Region scheint homolog der menschlichen FFA zu sein [256], für eine Übersicht zur Homologie zwischen Makaken- und menschlichem Gesichtererkennungssystem und ihren Grenzen siehe [240].

Auch an Epilepsie-Patienten, die sich einem neurochirurgischen Eingriff unterzogen, konnten durch Ableitungen direkt von der kortikalen Oberfläche gesichtsselektive Potentiale gefunden werden ([257], [258], [259]).

### Zeitliche Auflösung

Während in Lokalisationsstudien mögliche neuronale Korrelate zu den kognitiven Modellen zu bestimmen versucht wurden, ergab sich durch die Ableitung ereigniskorrelierter Potentiale (ERPs) in elektrophysiologischen Untersuchungen die Möglichkeit, auch eine zeitliche Auflösung der während der Gesichtererkennung ablaufenden neuronalen Prozesse zu erhalten und mit den kognitiven Verarbeitungsschritten zu korrelieren (eine Übersicht findet man z.B. in [260]). Hierauf wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

## 6. Fragestellung

Aus der vorgestellten Literatur zur Theorie der Gesichtererkennung und bezüglich der Fragen nach der Dissoziierbarkeit von Gesichtern, anderen Objekten, sowie verschiedenen Gesichtsinformationen einerseits und der Frage nach der Möglichkeit einer Korrelation der Gesichtererkennung mit neuronalen Modulen andererseits wird die Rolle der Untersuchung von Patienten mit dem Krankheitsbild der Prosopagnosie deutlich. Anhand solcher sollen die genannten Fragen präziser gestellt, genauer eingeordnet und schließlich beantwortet werden können. Diese Fragen sind aus kognitionswissenschaftlicher Perspektive interessant, da sie genaueres Verständnis der Funktionsweise der Gesichtererkennung versprechen. Klinische Relevanz ergibt sich für Patienten, die an einem solchen selektiven Defizit leiden, um anhand des besseren Verständnisses des Defizits geeignete Strategien zu entwickeln, um das Defizit und damit den Leidensdruck zu minimieren.

In der Literatur gibt es nach wie vor wenige ausführlich beschriebene Fälle mit erworbener Prosopagnosie, insbesondere keine systematischen Darstellungen des zeitlichen Verlaufs im Anschluss an die Schädigung. Die vorliegende Arbeit verfolgte den Fall der Patientin JQ nach ihrem Unfall eineinhalb Jahre lang.

Leitfragen für diese Arbeit waren:

1. Lässt sich bei der vorgestellten Patientin die Verdachtsdiagnose der erworbenen Prosopagnosie bestätigen? Lassen die Daten eine Einordnung in modulare kognitive Modelle der Gesichtererkennung zu?
2. Was trägt der vorgestellte Fall hinsichtlich einer Differenzierung verschiedener Gesichtsinformationen zu kognitiven Modellen der Gesichtererkennung bei?
3. Was für Rückschlüsse lässt der Fall bezüglich der Rehabilitation nach Schädelhirntrauma bei Patienten mit Prosopagnosie zu?
4. Was trägt der vorgestellte Fall zur Frage nach der Korrelation zwischen kognitiven Modellen und neuronaler Basis bei?

## **7. Durchführung der Messungen und Auswertung**

Im folgenden Kapitel werden die Untersuchungs- und Auswertungsmethoden der vorliegenden Arbeit vorgestellt.

### Stichprobe

An den neuropsychologischen Testungen nahmen 15 gesunde Probanden (11 männliche, 4 weibliche) im Alter von 16 bis 21 Jahren teil (Median 17 [17,18]). JQ war zu Beginn der Testung 16, später 17 Jahre alt. Die Probanden durchliefen alle Testungen, die, wie auch bei JQ, in jeweils zwei Sitzungen durchgeführt wurden. Eine weitere Probandin war nach der ersten Sitzung aus persönlichen Gründen an der weiteren Teilnahme verhindert, weswegen sie aus der Wertung genommen wurde. 14 der untersuchten Probanden besuchten die 11. Klasse des gleichen Gymnasiums wie JQ. Außerdem wurde der Zwilling Bruder der Patientin in die Testung mit einbezogen, der die gleiche Klassenstufe eines anderen Gymnasiums besuchte. Voraussetzung für die Teilnahme an den durchgeführten Experimenten war für die Kontrollprobanden, dass anamnestisch keine schwerwiegenden, insbesondere keine neurologischen und psychiatrischen Vorerkrankungen vorlagen. JQ erfüllte die gleichen Voraussetzungen mit der Einschränkung, dass anamnestisch die Verdachtsdiagnose einer erworbenen Prosopagnosie vorlag. Die Händigkeit der Probanden wurde erfragt, es nahmen zwölf Rechtshänder und vier Linkshänder teil, JQ ist Rechtshänderin. Die Äugigkeit der Teilnehmer wurde mit einem Augendominanztest überprüft. Es nahmen fünf Probanden mit dominantem linkem und acht mit dominantem rechten Auge teil. Bei drei erwies sich kein Auge als dominant, so auch bei JQ.

Für die Teilnahme an den Experimenten wurde eine Aufwandsentschädigung von zehn Euro pro Stunde gezahlt. Die Probanden erhielten vor Beginn der Testungen Informationsmaterial sowie eine Einverständniserklärung, die bei den noch nicht volljährigen Probanden von den Eltern unterzeichnet zu den Testungen mitgebracht wurde.

### Auswahl der Neuropsychologischen Tests

Die durchgeführten Tests lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

Die erste Gruppe setzt sich aus neuropsychologischen Tests zu visuellen Basisfunktionen (Sehschärfe, Farbwahrnehmung, Kontrastsensitivität) sowie kognitiven Basisfunktionen (Intelligenz, Objekterkennung, visuelles Gedächtnis, auditives Lernen und Gedächtnis, Aufmerksamkeit) zusammen. Bei der zweiten Gruppe handelt es sich um gesichterspezifische Tests. Hier werden Tests zur Gesichtsidentifikation, Geschlechterkennung und Emotionserkennung unterschieden. Die genauen Testbeschreibungen, obschon Teil der Methodendarstellung, werden der Übersichtlichkeit halber erst vor der jeweiligen Ergebnisdarstellung im Ergebnisteil gegeben. JQ absolvierte die Tests im Zeitraum zwischen Juni 2007 und Oktober 2008, die meisten der Tests zu vier verschiedenen Zeitpunkten (Juni/Juli 2007, Januar 2008, Juni 2008, Oktober 2008). Die Zeitpunkte der jeweiligen Testungen sind aus den Ergebnisgraphiken ersichtlich.

In der ersten Testung, die im Zeitraum zwischen einer und vier Wochen nach dem Unfall stattfand, wurden nicht alle Tests vollständig durchgeführt, da JQ noch nicht so belastbar war. Wo dies der Fall war, wird aus den Testbeschreibungen erkenntlich.

### Auswertungsmethoden

Im Vergleich zur Auswertung in Studien mit größeren Probandenzahlen beinhaltet die Betrachtung eines Einzelfalls besondere Anforderungen an die statistische Auswertung. In der Literatur werden hierzu drei verschiedene Methoden verwendet, die im Folgenden kurz dargestellt werden (vgl. [21]).

Zunächst gibt es die Möglichkeit der Testung des untersuchten Patienten mit voll standardisierten neuropsychologischen Tests, wobei seine Ergebnisse mit denen einer großen normativen Gruppe verglichen werden. Allerdings kann diese Methode nur in wenigen Fällen angewendet werden, denn es entstehen dauernd neue Konzepte und Tests in der Neuropsychologie, während es lange dauert und aufwendig ist, zuverlässig große normative Daten zu erheben. Und selbst wenn entsprechende Normen für eine bestimmte Gruppe erhoben wurden, können sie eventuell nicht auf den Patienten angewendet werden, z.B. wenn der Patient sich wie in der vorliegenden Studie im Bezug auf Alter oder Bildungsgrad von der Vergleichsgruppe unterscheidet.

Das andere Extrem stellt ein nur intra-individueller Vergleich der Fähigkeiten des Patienten dar, ohne normative Daten oder eine Kontrollgruppe hinzuzuziehen. Teilweise beeindruckende Ergebnisse müssen hier mit Vorsicht betrachtet werden. Laws und Kollegen hinterfragten z.B. bei Alzheimerpatienten mit Hilfe von intraindividuellen Tests gefundene Dissoziationen zwischen der Benennung von lebendigen und nicht-lebendigen Dingen, indem sie sie mit Ergebnissen von Normalprobanden verglichen [261]. Hier zeigten sich viele der „Dissoziationen“ als mögliche Normalbefunde, andererseits wurden Dissoziationen bei Patienten gefunden, die im intraindividuellen Test nicht als solche klassifiziert worden waren. In einem Fall kehrte sich die Richtung der „Dissoziation“ sogar um.

Als dritte und am weitesten verbreitete Möglichkeit bietet sich der Vergleich des Patienten mit einer Gruppe eigens hierfür zusammengestellter Kontrollprobanden wie in der vorliegenden Arbeit an. Hierdurch wird der Mittelwert einer Normalverteilung gleich Null gesetzt, die Standardabweichung wird auf Eins normiert. Das Ergebnis des Patienten wird dabei in einen z-Wert umgewandelt, wobei der Mittelwert der Kontrollgruppe vom Ergebniswert des Patienten abgezogen und durch die Standardabweichung der Kontrollgruppe geteilt wird:

$$z = \frac{x^* - \bar{x}}{s_x}$$

$x^*$ : Ergebniswert des Patienten  
 $\bar{x}$ : Mittelwert der KG  
 $s_x$ : SD der KG

Wenn die Wahrscheinlichkeit, einen Wert wie den des Patienten zu haben, eine festgelegte Wahrscheinlichkeit (z.B. 0,05 oder 0,01) unterläuft, wird aus den Daten geschlossen, dass der Patient ein Defizit aufweist. Der Vergleich ist zulässig, obwohl der Wert des Patienten nicht in die Mittelwertbestimmung einbezogen wird, da als Nullhypothese angenommen wird, dass er zur Gruppe gehört, womit Mittelwert und Standardabweichung der Gruppe auch für ihn zutreffen. Die Ablehnung der Nullhypothese würde besagen, dass er nicht zur Gruppe gehört, womit seine Hinzuziehung zum Mittelwert eine Verfälschung desselben darstellen würde.

Ein Problem mit diesem Ansatz sehen Crawford und Kollegen darin, dass in der z-Transformation die Kontrollgruppe behandelt werde als sei sie eine Population, das heißt Mittelwert und Standardabweichung der Kontrollgruppe werden als

Populationsparameter und nicht nur als Kennwerte der Probanden betrachtet [21]. Das ist zwar zulässig, wenn die Kontrollgruppe groß ist und darum eine gute Abschätzung der Parameter liefert. In Einzelfallstudien ist das aber oft nicht der Fall ( $N < 5$  sei nicht unüblich und  $N < 15$  sehr häufig, [262]). Liegen aber nur kleine Kontrollgruppen vor, sei eine Behandlung ihrer Mittelwerte und Standardabweichungen als Parameter nicht gerechtfertigt [21]: Der praktische Effekt der z-Transformation bei kleinen Stichproben sei dann, dass die Abnormalität des Patienten-Ergebnisses eher überschätzt und damit die Fehleinschätzungsrate, dass ein Patient sich von einer Kontrollgruppe unterscheidet, obwohl er es nicht tut, erhöht werde.

Darum schlug Crawford schon 1998 eine Alternative der Testung der Fragestellung vor, ob ein Patient sich von einer kleinen ( $N < 50$ ) Kontrollgruppe unterscheidet, in der er die Größe der Probandengruppe stärker gewichten [263]. Dazu verwenden sie ein von Sokal vorgeschlagenes Formel-Set, bei dem es sich um einen modifizierten t-Test handelt [264]. Entsprechend nutzen sie die t-Verteilung statt der Normalverteilung um zu testen, ob der Patient signifikant schlechter abschneidet als die Gruppe. Ein einseitiger t-Test ist in diesem Fall ausreichend, da in der Praxis immer eine gerichtete Hypothese aufgestellt wird ( $H_1$ : „Der Patient ist signifikant *schlechter* als die Kontrollgruppe.“) - die Kontrollgruppe soll ja zur Abschätzung des *prä-morbiden* Levels des Patienten dienen.

$$t = \frac{X^* - \bar{X}}{S \sqrt{\frac{n+1}{n}}}$$

$x^*$ : Ergebniswert des Patienten  
 $\bar{X}$ : Mittelwert der KG  
 $S$ : SD der KG  
 $N$ : Größe der KG

Kritisiert wurde Crawfords Methode von Mycroft und Kollegen die behaupteten, es werde die ungleiche Verteilung der Varianz in den zwei zu vergleichenden *Gruppen* übersehen [265]. Dabei unterstellten sie, dass der Patient aus einer hypothetischen Patienten-Gruppe stamme, deren Varianz mit einbezogen werden müsse. Darum schlugen sie eine andere Methode, eine modifizierte ANOVA vor. Crawford und Kollegen entgegneten, der Patient stamme eben nicht aus einer Gruppe, sondern werde als Individuum betrachtet [266]. Sie betonen, in der Nullhypothese werde

dagegen angenommen, dass der Patient zur Kontrollgruppe gehöre, weswegen dann Mittelwert und Standardabweichung gleich seien.

Für die Auswertung der vorliegenden Studie wurden PASW 18 (Charité-Lizenz) und Excel verwendet. Die Ergebnisse der Kontrollgruppe wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung untersucht. JQs Ergebnisse wurden mit Ausnahme des Cambridge Face Memory Tests für die einzelnen Tests mit z-transformiertem Mittelwert und Standardabweichungen der Kontrollgruppe in Beziehung gesetzt und graphisch dargestellt. Die gerichtete Hypothese lautete hier, dass JQ nach Schädelhirntrauma *Defizite* im Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigen würde. Dabei wurde ein Signifikanzniveau von  $p = 0,05$  gewählt, was einer Abweichung des z-Wertes von 1,64 bei gerichteter Hypothese entspricht. Dieser Bereich wurde in den Graphiken übersichtshalber grau hinterlegt. Wo sich demnach ein signifikant defizitäres Ergebnis fand, wurde die Signifikanz aufgrund der Kritik von Crawford mithilfe des zur Verfügung gestellten modifizierten t-Tests [262] überprüft und entsprechend kommentiert. Für den Cambridge Face Memory Test wurde eine Verlaufsauswertung der kumulierten Werte vorgenommen, worauf ebenfalls der Übersichtlichkeit halber im Zusammenhang mit der Testbeschreibung genauer eingegangen wird.

#### d-prime

Für zwei der gesichterspezifischen Tests (Famous Faces / Houses Recognition Test sowie Test zur Erkennung von Emotionen) erschien es sinnvoll, den d-prime ( $d'$ ) zu berechnen. Im Famous Faces / Houses Recognition Test müssen bekannte und unbekannte Häuser und Gesichter als bekannt bzw. unbekannt erkannt werden - der  $d'$  ist dabei ein Maß für die Güte des Antwortverhaltens, indem er Probanden, die zwar oft richtig antworten, indem sie z.B. bekannte Gesichter als bekannt bezeichnen, aber auch oft die „falschen“ Stimuli als bekannte bezeichnen, in diesem Fall also unbekannte Gesichter, von solchen unterscheidet, die zwar nicht so oft richtig in obigem Sinne antworten, aber dafür sehr wenige oder gar keine solchen Fehler machen und ungeachtet der absoluten Trefferquote damit eventuell ein sensitiveres Antwortverhalten zeigen: Je höher der  $d'$ , desto besser das Antwortverhalten. Der  $d'$  ergibt sich als Differenz des z-transformierten Wertes der

Antworten, die bekannte Gesichter als solche erfassen und des z-transformierten Wertes der Antworten, die unbekannte Gesichter fälschlicherweise als bekannt kennzeichnen. Die Berechnung des z-transformierten Wertes ist deswegen nötig, weil die Absolutwerte wie auch die Verteilung der Antworten sich unterscheiden und man darum ein normiertes Vergleichsmaß für den  $d'$  benötigt. Das Ziel der z-Transformation ist also hier die Angabe der relativen Lage der Antwortwerte in einer Verteilung, so dass bezüglich der Auswertung der Messungen ein Vergleich der relativen Lage der Wertepaare stattfinden kann. Für den  $d'$ -prime ergibt sich:  $d' = z$  (famous faces, bekannt) –  $z$  (unfamous faces, bekannt).

### Dissoziation

Bezüglich der Feststellung einer Dissoziation in Einzelfallstudien schlugen Crawford und Kollegen ebenfalls eine modifizierte Berechnung vor [267]. Um eine triviale Dissoziation auszuschließen, führten sie als zusätzliche Forderung an, dass sich die Ergebnisse des Patienten in den beiden Tests auch signifikant *voneinander* unterscheiden müssen ([21], vgl. auch Einleitung). Da es sich für gewöhnlich um das Abschneiden in zwei verschiedenen Tests handelt, müssen die Ergebniswerte des Patienten standardisiert werden. Naheliegender war auch hier ein Vergleich der Differenz der beiden z-Werte des Patienten in Aufgabe A bzw. B. Payne und Jones hatten hierfür ein Verfahren vorgestellt, in dem die Differenz der z-Werte durch die Standardabweichung der Differenz der Kontrollgruppe geteilt wird, um einen z-Wert für die Differenz zu erhalten, der je nach Konfidenzintervall als signifikant galt oder nicht [268].

$$z_D = \frac{Z_X - Z_Y}{\sqrt{2 - 2r_{xy}}}$$

$Z_X$ : Ergebnis des Patienten in einem Test als z-Score  
 $Z_Y$ : Ergebnis des Patienten in anderem Test als z-Score  
 $r_{xy}$ : Korrelation zwischen den Aufgaben bei der KG

Allerdings birgt dieses Verfahren ebenfalls die oben genannten Probleme, dass die Werte der meist kleinen Kontrollgruppe als Parameter gehandelt werden. Crawford und Kollegen schlugen deswegen vor, zwar eine z-Transformation durchzuführen, aber auch hier die Gruppengröße mit einzubeziehen [269]:

$$t_D = \frac{Z_X - Z_Y}{\sqrt{(2 - 2r_{xy})\left(\frac{n+1}{n}\right)}}$$

$Z_X$ : Ergebnis des Patienten in einem Test als z-Score  
 $Z_Y$ : Ergebnis des Patienten in anderem Test als z-Score  
 $r_{xy}$ : Korrelation zwischen den Aufgaben bei der KG  
 $n$ : Größe der KG

In diesem Ansatz werden allerdings die Standardabweichungen der Ergebnisse der Kontrollgruppe benutzt, um die z-Transformation durchzuführen, womit jene weiterhin als Parameter behandelt werden. Darum modifizierten Crawford und Kollegen den Test noch einmal [267], indem sie einen von Garthwaite [270] entwickelten Test heranzogen, den Revised Standardised Difference Test (RSDT). Hierdurch sollte eine Standardisierung der Werte des Patienten möglich werden, ohne einen der beteiligten Werte der Kontrollgruppe unkorrigiert als Parameter zu gebrauchen:

$$\psi = \frac{\frac{(X^* - \bar{X})}{s_X} - \frac{(Y^* - \bar{Y})}{s_Y}}{\sqrt{\left(\frac{n+1}{n}\right) \left\{ (2 - 2r) + \frac{2(1 - r^2)}{n-1} + \frac{(5 + y^2)(1 - r^2)}{2(n-1)^2} + \frac{r(1 + y^2)(1 - r^2)}{2(n-1)^2} \right\}}}$$

$X^*$  bzw.  $Y^*$ : Ergebniswerte des Patienten  
 $\bar{X}$  bzw.  $\bar{Y}$ : Mittelwerte der KG  
 $s_X$  bzw.  $s_Y$ : SD der KG  
 $n$ : Größe der KG  
 $r_{xy}$ : Korrelation zwischen den Aufgaben bei der KG  
 $y$ : kritischer Wert für t bei n-1 Freiheitsgraden (zweiseitiger Test)

Damit wird die Wahrscheinlichkeit, dass Probanden der Kontrollgruppe eine Dissoziation zeigen, weiter gesenkt.

Zur Frage, ob sich eine Dissoziation im Sinne Crawfords zwischen Gesichter- und Objekterkennung darstellt, eignet sich der Famous Faces / Houses Recognition-Test. Dabei soll festgestellt werden, ob die Erkennung von Gesichtern als bekannt im Gegensatz zu der von Häusern als defizitär angesehen werden kann und ob die Erkennung der Bekanntheit von Gesichtern und Häusern sich auch signifikant voneinander unterscheiden. Hier wurden die Absolutwerte der Antworten richtig erkannter bekannter Gesichter und Häuser ausgewertet, da die Antworten bezüglich unbekannter Stimuli sowie die Antwort „unbekannt“ kein Entscheidungskriterium zwischen einer defizitären und einer normalen Leistung darstellen.

Zur Frage, ob sich eine Dissoziation im Sinne Crawfords zwischen Identitäts- und Geschlechtererkennung darstellen lässt, wurden die richtig erkannten bekannten

Durchführung der Messungen und Auswertung

Gesichter des Famous Faces/Houses Recognition Tests den richtigen Antworten bezüglich des Geschlechts aus dem Geschlechtertest gegenübergestellt.

### MRT

Es wurden MRT-Untersuchungen des Neurocraniums zu drei Zeitpunkten durchgeführt, zunächst direkt nach dem Unfall, drei Wochen später und 15 Monate nach dem Unfall. Die ersten beiden Aufnahmen erfolgten in der Praxis Kroll und Winter, die dritte in der Charité Campus Benjamin Franklin (CBF). Untersuchungsmethoden und Befunde werden im Anschluss an die Ergebnisse der neuropsychologischen Testungen dargestellt.

## **8. Ergebnisse**

Die Vorstellung der Ergebnisse erfolgt in zwei Teilen: Zunächst werden die Ergebnisse der neuropsychologischen Testungen (kognitive Basisfunktionen und gesichterspezifische Tests) vorgestellt. Dies erfolgt in Textform oder zusammengefasst in Graphiken, in denen die Entwicklung der Ergebnisse von JQ in Abhängigkeit von Mittelwert (0) und Standardabweichung(en) der Kontrollgruppe aufgetragen sind. Anschließend erfolgt die Vorstellung der Befunde der MRT-Aufnahmen.

### **I. Neuropsychologische Testungen**

#### **I.1. Gruppe: Kognitive Basisfunktionen**

##### **-Visuelle Basisfunktionen**

###### Sehschärfe

Zur Bestimmung der Sehschärfe wurde der Freiburger Visus Test eingesetzt ([271, 272]). Bei diesem computerbasierten Test muss die Richtung der Öffnung nacheinander in verschiedener Größe gezeigter Landoltringe angegeben werden. JQ sowie alle Probanden wiesen eine normale oder auf Normalwerte korrigierte Sehschärfe auf.

###### Farbwahrnehmung

Zur Untersuchung der Farbwahrnehmung wurde der Farnsworth-Panel D15-Test durchgeführt. Hierbei müssen 15 Farbtöne nach Ähnlichkeit geordnet werden. Dabei ergab sich bei zwei Probanden der Verdacht einer mit Protanopie kombinierten Deuteranopie, bei einem eine isolierte Deuteranopie. Für JQ ergab sich kein pathologischer Befund.

###### Kontrastsensitivität

Die Kontrastsensitivität wurde mit der Pelli-Robson Kontrastsensitivitäts-Karte getestet. In diesem Test muss der Proband schwarze Buchstaben vorlesen, die jeweils in Triplets und diese in Zeilen zusammengefasst sind und deren Kontrast zum Hintergrund von Triplet zu Triplet abnimmt. JQ sowie alle Probanden wiesen eine normale Kontrastsensitivität auf.

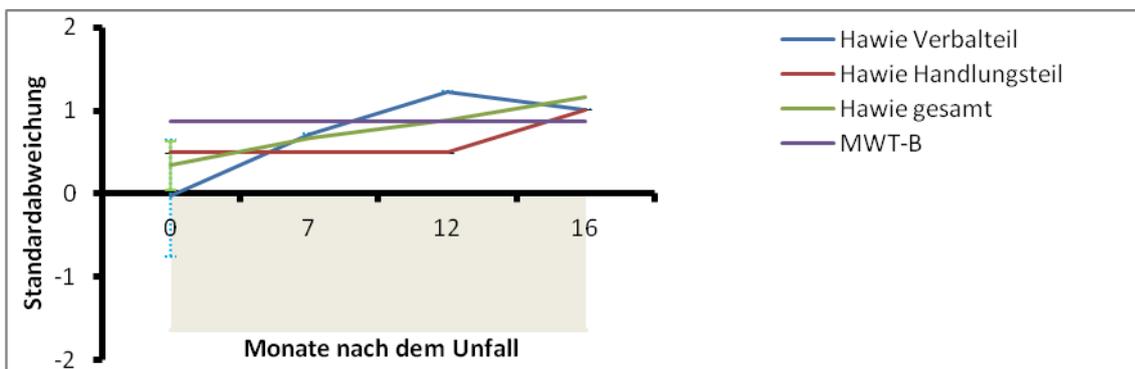
**-Allgemeine kognitive Leistung**

**HAWIE-R**

Der Hamburg-Wechsler Intelligenztest – Revised (HAWIE-R) wurde zur Abschätzung der allgemeinen kognitiven Leistung verwendet. Dieser Test ist eine deutsche Adaptation des Wechsler Adult Intelligence Scale Revised (WAIS-R). Der HAWIE-R erlaubt, sowohl getrennt eine verbale und eine Handlungs-Intelligenz zu beurteilen, als auch eine Gesamt-IQ-Kalkulation. Bei der ersten Testung von JQ (06/2007) wurde der Untertest „Rechnerisches Denken“ nicht durchgeführt, weswegen der erste Wert für den Verbal-Teil sowie für die Gesamtwertung als Range dargestellt ist, der einbezieht, wie viele Punkte sie in diesem Untertest mindestens (0) bzw. höchstens (19) hätte erreichen können.

**Mehrfachwortschatz-Test (Version b)**

Der MWTb besteht aus 37 Zeilen mit jeweils 5 Wörtern. Aufgabe des Probanden ist es, aus der jeweiligen Auswahl von fünf Wörtern das “richtige”, d.h. im normalen Sprachgebrauch verwendete Wort herauszufinden und anzustreichen. Der MWT-b erlaubt wegen seiner weitgehenden Störunabhängigkeit eine Abschätzung, wie hoch das Intelligenzniveau einer erwachsenen Person zu einem früheren Zeitpunkt, d.h. vor ihrer Erkrankung war (prämorbid IQ). Aus der Diskrepanz zum gegenwärtigen IQ lässt sich dann auf das Vorliegen und gegebenenfalls auf die Ausprägung einer Hirnfunktionsstörung oder –schädigung schließen. Der MWTb wurde nur zum ersten (07/2006) und vierten (10/2008) Zeitpunkt durchgeführt.



**Abbildung 5: Graphische Darstellung des Hawie-R sowie des MWTb. Die Ergebnisse von JQ sind gegen MW und SDs der KG zu den verschiedenen Testzeitpunkten aufgetragen, der Bereich nichtsignifikanter Unterscheidung ist grau hinterlegt.**

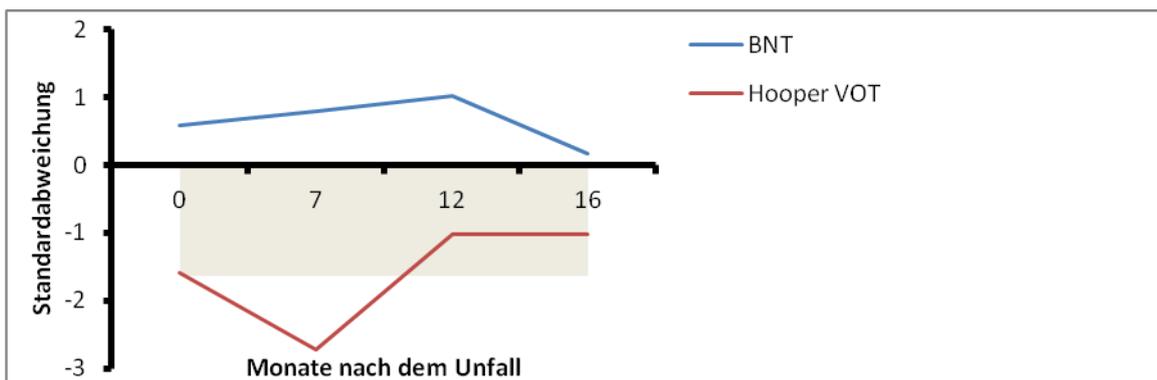
## **-Objekterkennung und Objektverarbeitung**

### **Boston Naming Test**

Der BNT ist ein Standardtest zur Objektbenennung. 60 Strichzeichnungen von Objekten müssen benannt werden, wobei es sich um eine Auswahl von häufig verwendeten Wörtern wie „Haus“ bis zu selten verwendeten wie „Abakus“ handelt. Die Auswertung wird anhand der Anzahl korrekt benannter Stimuli vorgenommen.

### **Hooper Visual Object Organisation Test**

Der Hooper VOT besteht aus 30 Strichzeichnungen von Objekten wie z.B. einem Fisch oder einem Ring, die allerdings wie bei einem Puzzle in Einzelteilen vorliegen und im Geiste richtig zusammengesetzt werden müssen. Die Probanden müssen angeben, was für Objekte dargestellt wären, wenn die Teile richtig zusammengesetzt würden. Die Auswertung wird anhand der Anzahl korrekt identifizierter Objekte vorgenommen.



**Abbildung 6: Graphische Darstellung von BNT und Hooper VOT**

Das signifikant defizitäre Ergebnis bei der zweiten Testung im Hooper-VOT wurde durch Crawfords modifizierten t-Test bestätigt ( $p = 0,01$ ).

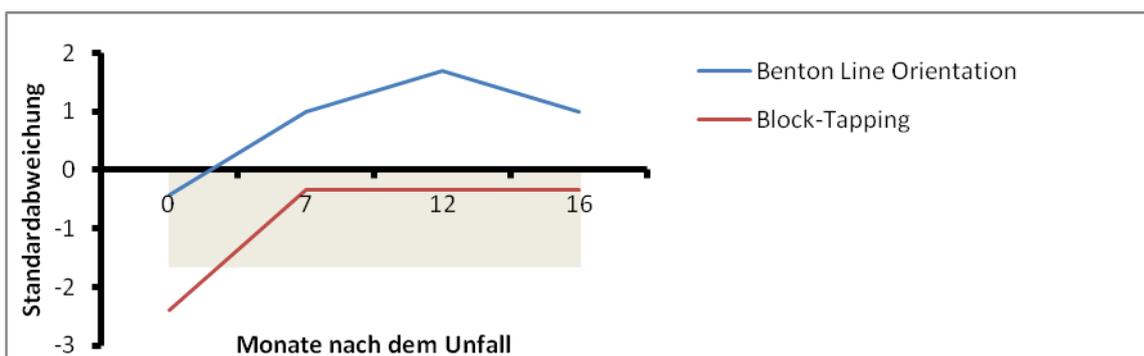
## **-Visuell räumliche Wahrnehmung und visuelles Gedächtnis**

### **Benton Judgement of Line Orientation**

Der Benton LO- Test wurde zur Abschätzung der Funktion des dorsalen Pfades der visuellen Wahrnehmung durchgeführt. Dieser Test besteht aus einem Testheft mit 30 Einheiten, jede Einheit besteht aus einer Doppelseite. Auf der linken Seite sind jeweils die gleichen elf im Halbkreis von einem imaginierten Mittelpunkt ausgehenden Striche, auf der rechten zwei kürzere (ein Stück vom Mittelpunkt entfernte) Striche zu sehen, deren Orientierung jeweils derjenigen einer der elf Striche der linken Seite entspricht. Der Proband muss die in Bezug auf ihre Orientierung korrespondierenden Striche auf der ersten Seite benennen, die zu diesem Zweck durchnummeriert sind. Als korrekt gewertet wird die richtige Antwort zu beiden Strichen.

### **Block-Tapping Test**

Als Indikator des visuellen Kurzzeit-Gedächtnisses wird mit diesem Test die visuell räumliche Merkspanne gemessen. Dazu wird eine Tafel mit neun schwarzen Quadrern verwendet. Der Testleiter tippt die Quader in vorgegebenen Reihenfolgen an. Er beginnt mit einer Reihe von drei Quadrern und präsentiert immer drei Reihen der gleichen Länge, die der Proband jeweils einzeln sofort nachbenennen muss. Als Blockspanne wird die Anzahl der Quader bezeichnet, von denen der Proband mindestens zwei Reihen derselben Länge wiederholen konnte.



**Abbildung 7: Graphische Darstellung des Benton Line Orientation sowie des Block-Tapping-Tests**

Das signifikant defizitäre Ergebnis im Blocktapping-Test bei der ersten Testung wurde durch Crawfords modifizierten t-Test bestätigt ( $p < 0,02$ ).

### -Erinnerung visueller Objekte

#### Benton Visual Retention Test (Benton VR)

Der Benton VR-Test wurde zur Messung der Fähigkeit zum sofortigen freien Aufrufen eines gelernten visuellen Objektes herangezogen. Zehn Strichzeichnungen mit einer oder mehreren geometrischen Form(en) werden dem Probanden für jeweils zehn Sekunden gezeigt. Anschließend soll der Proband die Formen sofort aus dem Gedächtnis nachzeichnen. Dieser Test misst also nicht nur das Gedächtnis geometrischer Figuren, sondern auch visuell-konstruktive Fähigkeiten. Die Anzahl der Fehler, die JQ machte, unterschied sich zu keinem Zeitpunkt signifikant von der Anzahl der Fehler in der Vergleichsgruppe.

#### Rey-Osterrieth Complex Figure Test (ROCF-Test)

Der ROCF- Test erfasst die Fähigkeit der räumlich visuellen Konstruktion sowie die visuelle Gedächtnisleistung. Er besteht aus einer Figur, die verschiedene geometrische Elemente beinhaltet. Die Durchführung des Tests erfolgt in zwei Phasen: Zunächst bekommen die Probanden die Figur vorgelegt und werden gebeten, diese so genau wie möglich abzuzeichnen. Nach 30 Minuten werden die Probanden gebeten, die Figur aus dem Gedächtnis noch einmal zu zeichnen.

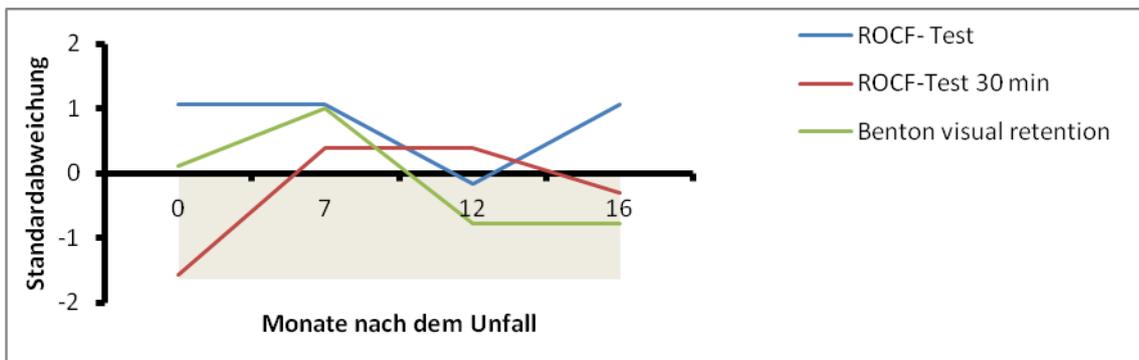
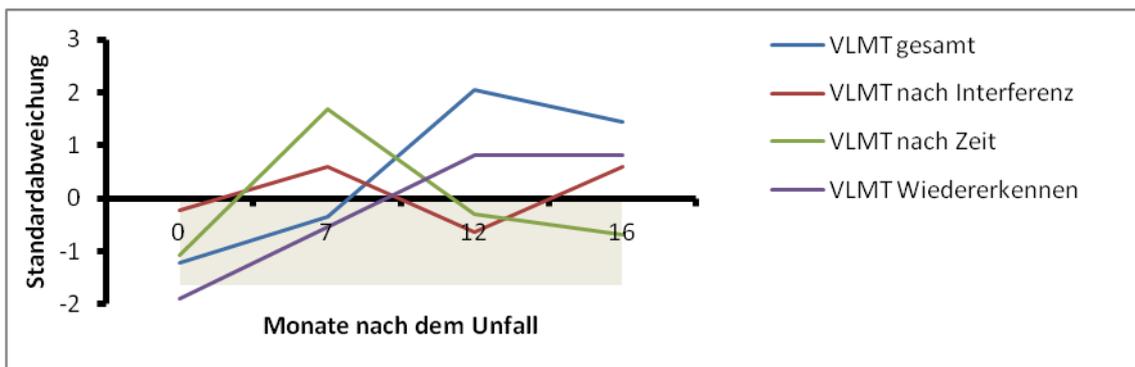


Abbildung 8: Graphische Darstellung des Benton Visual Retention sowie des ROCF-Tests

**-Auditives Lernen und Gedächtnis**

**Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest (VLMT)**

Der VLMT ist ein Test zum seriellen Listenlernen mit nachfolgender Distraction, Abruf nach Distraction und Abruf nach halbstündiger Verzögerung, sowie einem Wiedererkennungsdurchgang. Das Testmaterial des VLMT besteht aus zwei Wortlisten, die sich aus je 15 semantisch unabhängigen Wörtern zusammensetzen, und einer Wiedererkennen-Liste, die die 30 Wörter der beiden Wortlisten sowie 20 weitere semantisch bzw. phonematisch ähnliche Distraktorwörter enthält. Mit dem VLMT können unterschiedliche Parameter des Verbalgedächtnisses erfasst werden. In der folgenden Graphik sind die Lernleistung insgesamt, die Konsolidierung nach Interferenz, die Konsolidierung nach halbstündiger Verzögerung und die Wiedererkennen-Leistung angegeben.



**Abbildung 9: Graphische Darstellung des VLMT**

## -Aufmerksamkeit

### d2 – Test

Der d2-Test besteht aus den Buchstaben d und p, welche in 14 Reihen angeordnet sind und oben und/oder unten mit ein bis zwei senkrechten Strichen versehen sind. Die Aufgabe der Probanden besteht darin, in jeder Reihe innerhalb von 20 Sekunden möglichst viele der mit zwei Strichen markierten d durchzustreichen und dabei weder Auslassungs- noch Verwechslungsfehler zu machen.

### Trailmaking (A und B)

Der Trailmaking-Test ist ein Test zur visuellen Aufmerksamkeit (A und B) und zum Kontextwechsel (B). Im Teil A sind auf einem Blatt Papier die Zahlen von 1 bis 25 verteilt, die der Reihe nach möglichst schnell miteinander verbunden werden müssen. Im Teil B sind Zahlen und Buchstaben abwechselnd in der jeweiligen Reihenfolge (Zahlenreihe bzw. Alphabet) miteinander zu verbinden (1, A, 2, B, etc.).

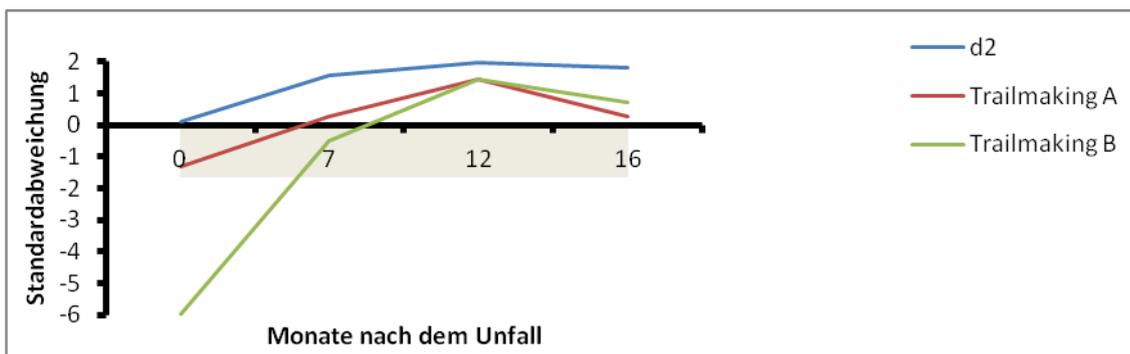


Abbildung 10: Graphische Darstellung des d2 sowie des Trailmaking Tests A und B

Das signifikant defizitäre Ergebnis bei der ersten Testung im Trailmaking (B) wurde durch Crawfords modifizierten t-Test bestätigt ( $p < 0,01$ ).

### Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)

Die TAP ist eine computerbasierte Zusammenstellung von Tests zur Aufmerksamkeitsprüfung, bei denen möglichst schnell auf verschiedene kritische Reize mittels Tastendruck reagiert werden soll. Durch die verschiedenen Tests können verschiedene Bereiche der Aufmerksamkeitsleistung geprüft werden. In der vorliegenden

Arbeit wurden die Tests zu Alertness, Arbeitsgedächtnis, geteilter Aufmerksamkeit und der Go-/NoGo-Test durchgeführt.

- Alertness

Getestet wird hier die Fähigkeit, in Erwartung eines Reizes das Aufmerksamkeitsniveau zu steigern und aufrechtzuerhalten. Dazu werden in vier Durchgängen in verschiedenen zeitlichen Abständen Kreuze gezeigt, auf die der Proband mittels Knopfdruck möglichst schnell reagieren soll. Jeder Durchgang besteht aus 20 solchen Aufgaben. In Durchgang zwei und drei geht der Präsentation des Kreuzes in jeweils unterschiedlichem Zeitabstand ein Warnton voraus. Bei Auslassern ( $>2$  s) und Fehlreaktionen ( $<100$  ms) wird eine weitere Aufgabe gestellt. Die Alertness wurde bei JQ direkt nach dem Unfall nicht getestet. Bezüglich der Fehler unterschied sich JQ nicht wesentlich von der Kontrollgruppe.

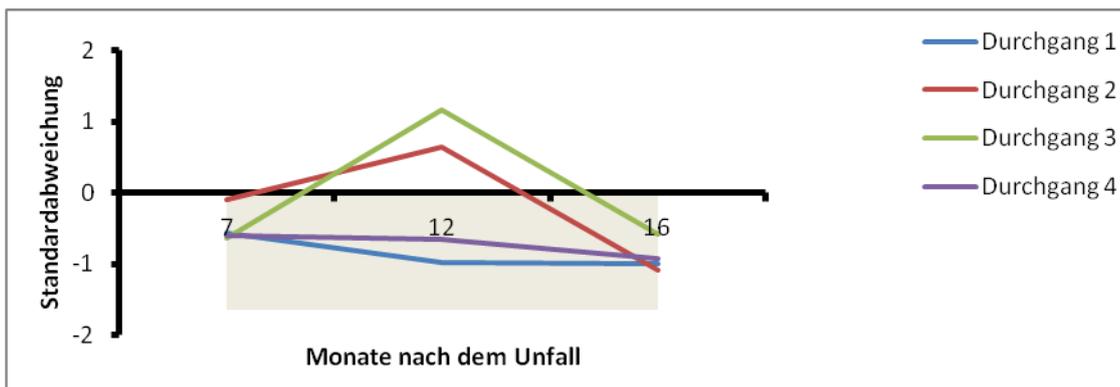


Abbildung 11: Graphische Darstellung des Tests zur Alertness der TAP, aufgeschlüsselt nach seinen vier Durchgängen

- Arbeitsgedächtnis

Dieser Test besteht aus 100 Darbietungen jeweils einstelliger Ziffern, wobei die Tatsache, dass eine Ziffer gleich der vorletzten ist, den kritischen Reiz darstellt. Es gibt insgesamt 15 kritische Reize. Mit diesem Test wird das Arbeitsgedächtnis als Arbeitsspeicher und damit als die Instanz für kontrollierte, das heißt aufmerksamkeitsgesteuerte Verarbeitung von Reizen getestet. Bezüglich der Fehler unterschied sich JQ nicht wesentlich von der Kontrollgruppe.

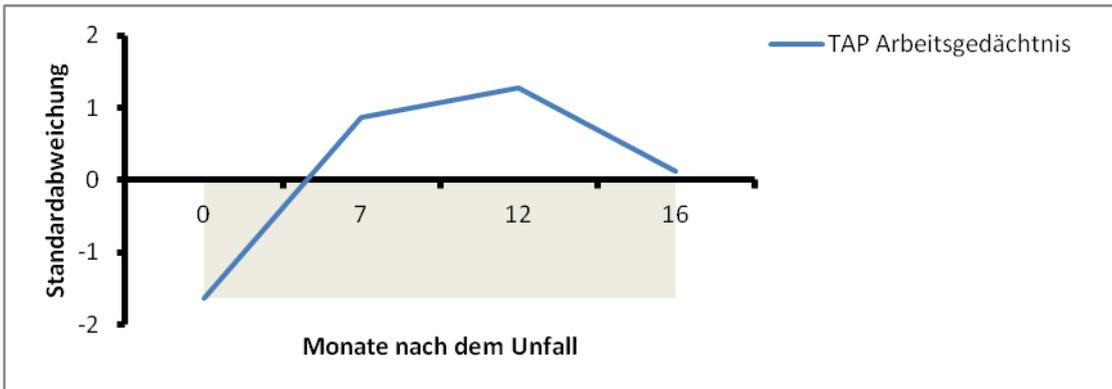


Abbildung 12: Graphische Darstellung des Tests zum Arbeitsgedächtnis der TAP

- Geteilte Aufmerksamkeit

Bei diesem Test werden sowohl visuelle als auch akustische kritische Reize präsentiert, unter denen die kritischen Reize mittels Tastendruck erkannt werden sollen. In einem Punktgitter erscheinen nacheinander verschiedene Anordnungen von Kreuzen. Bilden vier dieser Kreuze die Ecken eines kleinstmöglichen Quadrates, stellt dies den kritischen *visuellen* Reiz dar. Gleichzeitig erklingen alternierend ein hoher und ein tiefer Ton. Ertönt ein Ton der gleichen Tonhöhe zweimal hintereinander, stellt dies den kritischen *akustischen* Reiz dar. Insgesamt gibt es 100 visuelle (17 kritische) und 200 akustische (16 kritische) Reize. Zunächst sind die richtigen Reaktionen in einer Graphik dargestellt (visuell, akustisch und gesamt), anschließend werden die Fehler (gesamt) beschrieben.

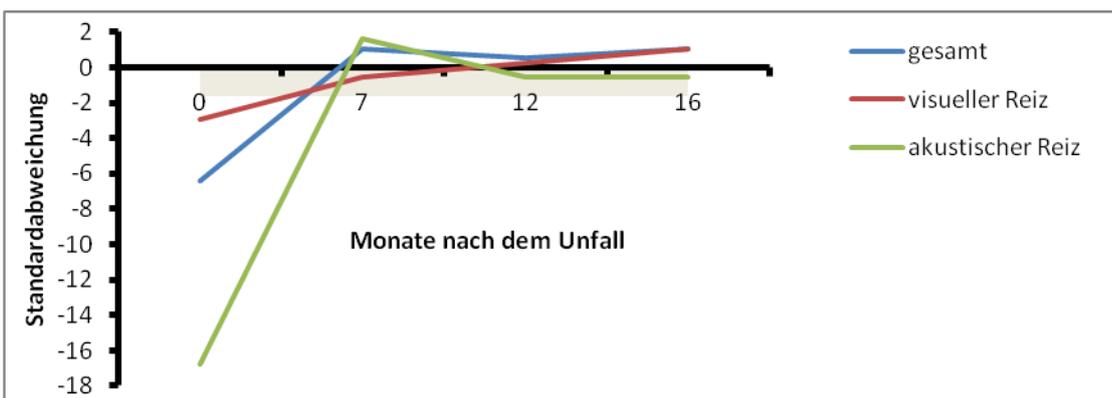


Abbildung 13: Graphische Darstellung des Tests zur Gesteilten Aufmerksamkeit der TAP

Das signifikant defizitäre Ergebnis bei der ersten Testung wurde durch Crawfords modifizierten t-Test bestätigt (gesamt  $p < 0,01$ , visueller Reiz  $p < 0,01$ , akustischer Reiz  $p < 0,01$ ).

Fehler: Es waren zwei Arten von Fehlern möglich: Der Reiz ohne Reaktion und die Reaktion ohne Reiz. JQ machte den Fehler „Reiz ohne Reaktion“ 06/2007 dreizehn-, 01/2008 zwei-, 06/2008 zwei-, 10/2008 einmal, in der Kontrollgruppe kam dieser Fehler kein- bis viermal vor. Den Fehler „Reaktion ohne Reiz“ machte JQ 06/2007 vier-, 01/2008 kein-, 06/2008 ein-, 10/2008 einmal, in der Kontrollgruppe kam dieser Fehler kein- bis sechsmal vor.

- Go/NoGo-Test

Bei diesem Test wird jeweils einer von fünf verschiedenen visuellen Stimuli präsentiert, von denen zwei vor Beginn des Tests als kritische Reize gelernt werden. Die Stimuli bestehen aus einem Rechteck, innerhalb dessen Striche und Punkte in verschiedener, aber jeweils regelmäßiger Beziehung zueinander angeordnet sind. Die kritischen Reize, insgesamt 24 von 60, sollen mittels Tastendruck identifiziert werden. JQ machte in diesem Test bei allen drei Testungen (01/08, 06/08, 10/08) keinen einzigen Fehler. Zwei Probanden ließen einen der kritischen Reize aus, ein Proband reagierte fälschlicherweise auf einen der anderen Stimuli.

## I.2. Gruppe: Gesichterspezifische Testungen

### Benton Facial Recognition Test

Im Benton Facial Recognition Test muss der Proband ein Gesicht mit sechs anderen Gesichtern vergleichen und entscheiden, welches von diesen sechs anderen dasselbe ist (die anderen fünf sind Distraktoren). In einem zweiten Teil zeigen drei von den sechs Bildern dieselbe Person (die anderen drei sind Distraktoren), allerdings entweder unter anderem Blickwinkel oder mit anderer Belichtungsrichtung, und müssen entsprechend herausgesucht werden. Bei der ersten Testung von JQ wurde nur der erste Teil des Tests, die Kurzversion, durchgeführt. Die anderen Testungen sowie die Testungen der Kontrollgruppe benutzten die lange Version. Für die Auswertung wurde deswegen die testinterne Hochrechnung für die Ergebnisse der ersten Testung verwendet. Betrachtet man die Kurzversion des ersten Tests, so unterschied sich JQ numerisch von der Kontrollgruppe (-1,38 SD).

### Warrington Recognition Memory Test for Faces

Im RMT werden dem Probanden 50 Photographien gezeigt, von denen er entscheiden muss, ob er sie sympathisch findet oder nicht. Anschließend werden 50 Mal jeweils zwei Gesichter gezeigt, von denen eines unbekannt ist, das andere eines der 50 zuvor implizit gelernten. Der Proband soll entscheiden, welches der beiden dieses ist.

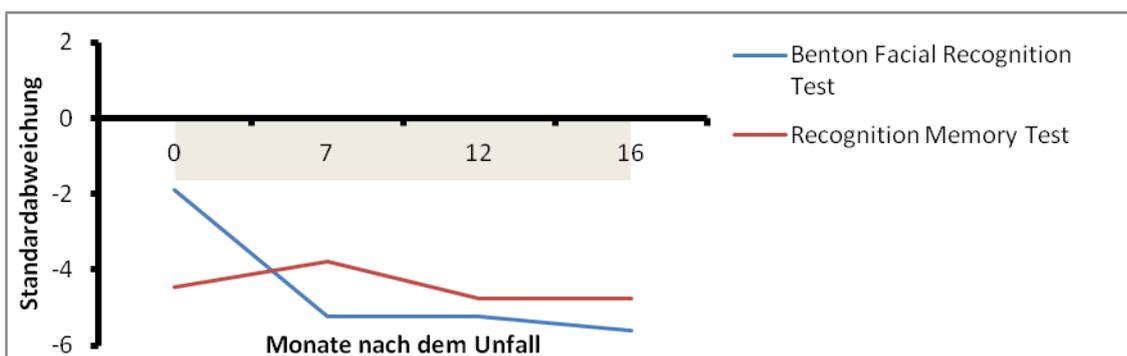


Abbildung 14: Graphische Darstellung des Benton Facial Recognition- sowie des Recognition Memory Tests für Gesichter

Das signifikant defizitäre Ergebnis in allen Testungen des BFRT wurde durch Crawfords modifizierten t-Test bestätigt (1.  $p < 0,05$ ; 2.  $p < 0,01$ ; 3.  $p < 0,01$ , 4.  $p < 0,01$ ).

Das signifikant defizitäre Ergebnis in allen Testungen des RMT wurde durch Crawfords modifizierten t-Test bestätigt (1.  $p < 0.01$ , 2.  $p < 0.01$ , 3.  $p < 0,01$ , 4.  $p < 0,01$ ).

### Cambridge Face Memory Test

Der computerbasierte CFMT besteht aus 6 Teilen, in Teil 1-3 werden Gesichter aufrecht gezeigt, in Teil 4-6 invertiert. In Teil 1 und 4 wird ein Gesicht gelernt, indem es drei Mal präsentiert wird (frontal und im Profil von beiden Seiten). Anschließend muss der Proband dreimal aus einer Auswahl von drei Gesichtern das zuvor gelernte auswählen. Dies wird sechs Mal (mit sechs verschiedenen Gesichtern) durchgeführt, es gibt also 18 Einzelaufgaben. In Teil 2 und 5 werden zunächst die sechs Gesichter aus Teil 1 bzw. 4 zusammen in Frontalansicht noch einmal 20 Sekunden lang gezeigt. Anschließend muss der Proband aus einer Auswahl von drei Gesichtern dasjenige auswählen, das einem der sechs gelernten Gesichter entspricht. Es gibt 30 Einzelaufgaben. In Teil 3 und 6 werden dieselben sechs Gesichter zusammen in Frontalansicht noch einmal 20 Sekunden lang gezeigt. Anschließend muss der Proband aus einer Auswahl von drei Gesichtern dasjenige auswählen, das einem der gelernten Gesichter entspricht, allerdings werden die jeweils drei Gesichter in diesem Durchgang verwechselt gezeigt. Es gibt 24 Einzelaufgaben. In den nachfolgenden Graphiken sind die kumulierten Werte der richtigen Antworten der Untertests dargestellt, zunächst des Teils mit aufrecht, anschließend des Teils mit invertiert präsentierten Gesichtern. Die Antworten sind dabei in Abhängigkeit von der Gesamtzahl der präsentierten Stimuli aufgetragen. Rot und fett ist die Kurve der Mittelwerte der Vergleichsgruppe dargestellt, zu welcher auch die 2. Standardabweichung aufgetragen ist. Außerdem sind in die Graphiken die Mittelwerte von Kontroll- und Prosopagnosie-Gruppe (diese wie bei Duchaine getestet nur für aufrechte Gesichter) einer Studie von Duchaine eingetragen, die ebenfalls den CFMT verwendete [273]. Hier wird ersichtlich, dass die Kontrollgruppe der vorliegenden Studie sich sehr ähnlich der von Duchaine verhält.

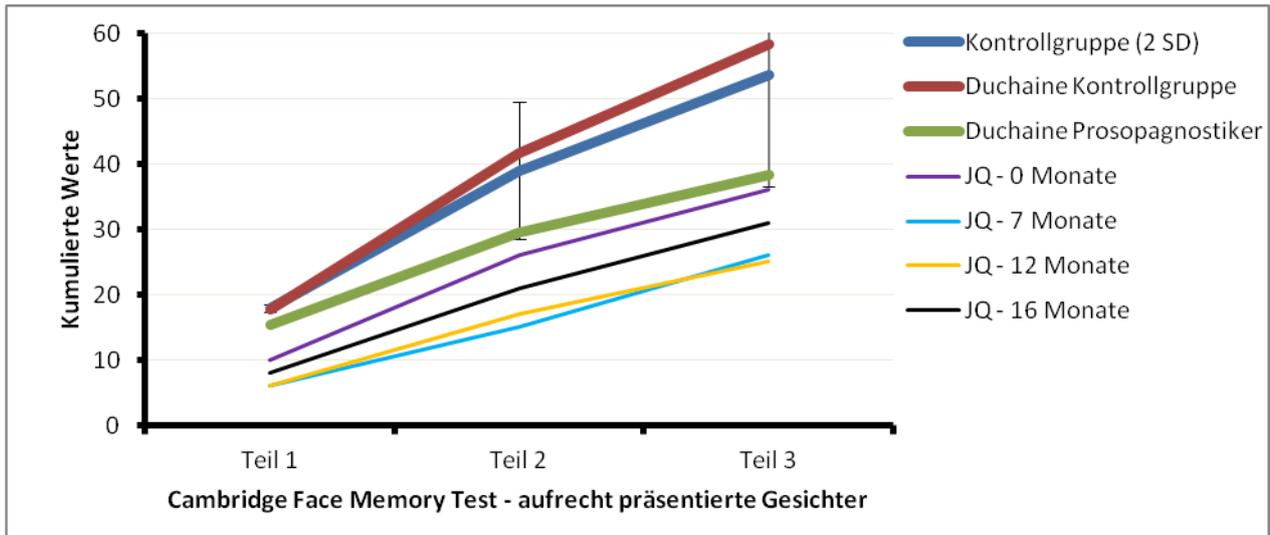


Abbildung 15: Graphische Darstellung des Cambridge Face Memory Tests für aufrechte Gesichter

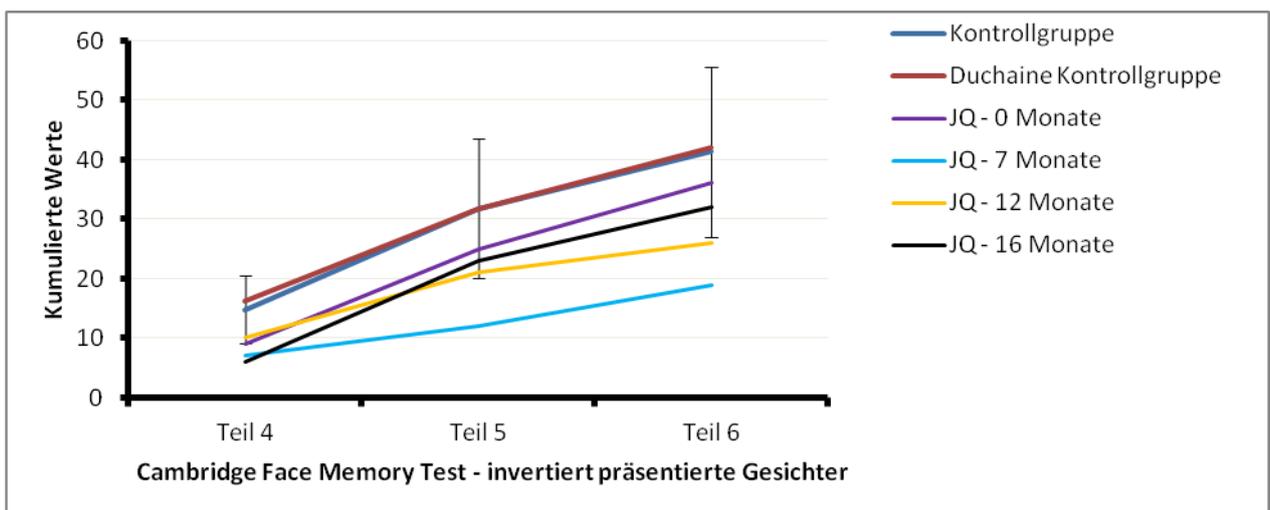
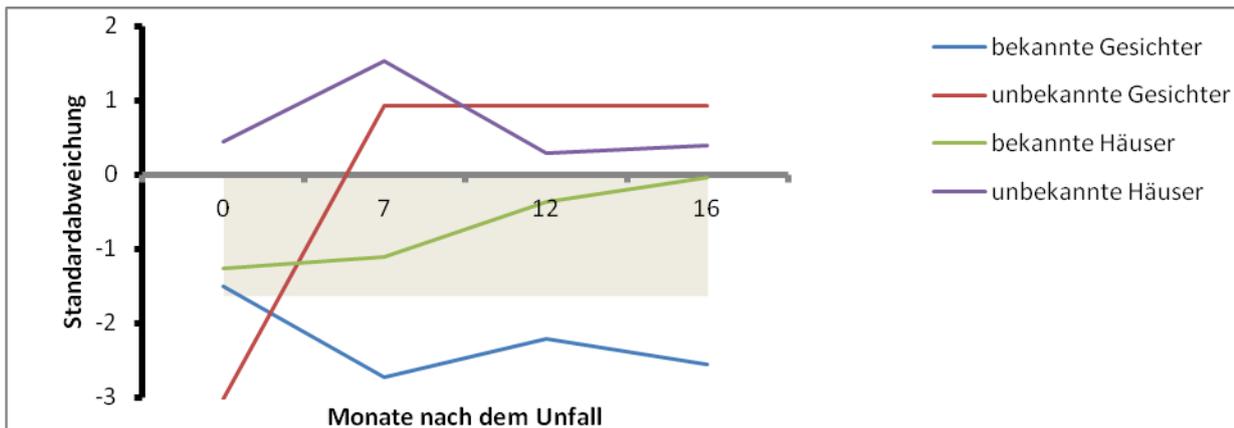


Abbildung 16: Graphische Darstellung des Cambridge Face Memory Tests für invertierte Gesichter

### **Famous Faces/Houses Recognition Test**

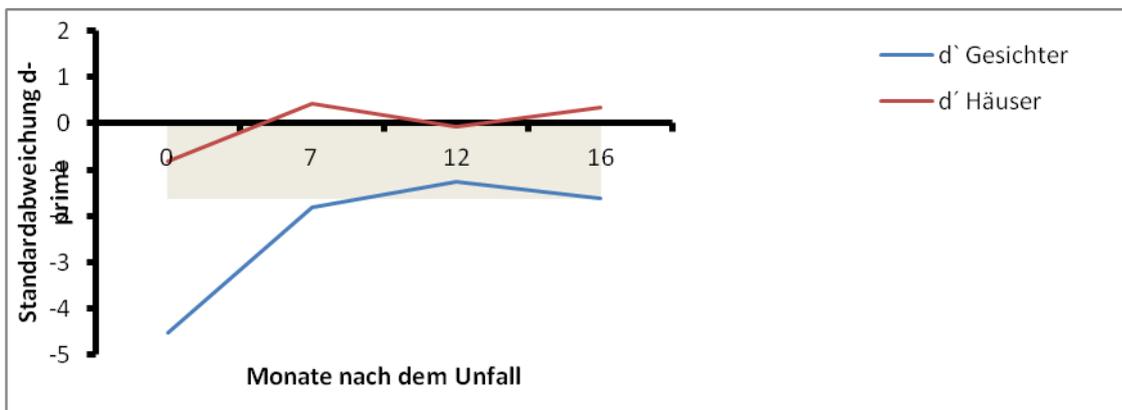
Ein von der Arbeitsgruppe Kognitive Neuropsychologie der Charité Universitätsmedizin Berlin entwickelter, computerbasierter Test wurde für eine Unterscheidung der Identifikationsfähigkeit bekannter Gesichter und Häuser verwendet. Jedes von jeweils 57 bekannten bzw. unbekanntem Gesichtern und bekannten bzw. unbekanntem Gebäuden wird jeweils 500 ms lang in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Zwischen den Stimulus-Präsentationen wird ein weißer Hintergrund, größengleich mit dem Stimulus, mit einem Fixationskreuz präsentiert. Der Proband wird gebeten, so schnell aber akkurat wie

möglich zu entscheiden, ob ihm das Gesicht bzw. Gebäude bekannt oder unbekannt ist. Bei den ersten drei Testungen von JQ beinhaltete der Test noch weniger Häuser- als Gesichter-Stimuli. Für diese Testungen wurden ihre Ergebnisse hochgerechnet. Der Prozentrang der korrekten Entscheidungen und die Reaktionszeiten der korrekten Antworten wurden ausgewertet und in der Graphik dargestellt.



**Abbildung 17: Graphische Darstellung des %-korrekt Antworten der verschiedenen Kategorien des Famous Faces/Houses Recognition Tests**

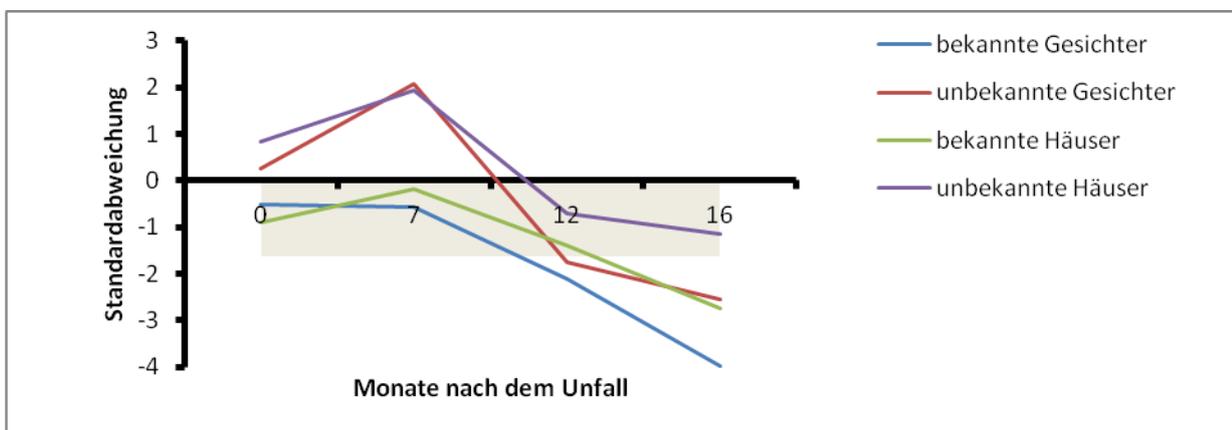
Hier scheint sich JQ in der ersten Messung nicht signifikant von der Kontrollgruppe zu unterscheiden, was das Erkennen bekannter Gesichter betrifft. Allerdings ergibt sich ein anderes Bild, wenn man wie im Methodenteil beschrieben ihren  $d'$ -prime für Gesichter berechnet und darstellt, der die Güte des Antwortverhaltens widerspiegelt:



**Abbildung 18: Graphische Darstellung des Antwortverhaltens ( $d'$ ) im Famous Faces / Houses Recognition Test**

Hier wird ersichtlich, dass der scheinbar noch normale Wert des Erkennens bekannter Gesichter in der ersten Testung ihrem sehr defizitären Antwortverhalten in dieser Testung geschuldet ist: Zwar erkannte sie 15 der bekannten Gesichter als bekannt, hielt allerdings auch 13 unbekannte Gesichter für bekannte. Das Antwortverhalten bezüglich der Häuser unterschied sich nie signifikant von der Kontrollgruppe. Nach Vorlage der Namen der gezeigten Personen gab JQ an, alle bis auf eine zu kennen.

Bezüglich der Reaktionszeiten zeigte JQ im Verlauf eine deutliche Verlangsamung, was in der folgenden Graphik veranschaulicht wird.



**Abbildung 19: Graphische Darstellung der Reaktionszeiten korrekter Antworten im Famous Faces / Houses Recognition Test. Eine negative Abweichung entspricht einer Verlangsamung.**

Mit Crawfords modifiziertem Test wurden die Ergebnisse wie im Methodenteil beschrieben auf das Vorliegen einer Dissoziation zwischen dem Erkennen von bekannten Gesichtern und bekannten Häusern geprüft. Hierbei zeigt sich, dass JQ in den ersten drei Testungen die Voraussetzungen für eine Dissoziation nicht erfüllt. In der letzten Testung hingegen zeigte sie das Muster einer klassischen Dissoziation.

### Geschlechtererkennung

Den Probanden werden bei diesem computerbasierten Test 112 Gesichter gezeigt, 56 weibliche und 56 männliche. Durch Tastendruck soll angegeben werden, welches Geschlecht die Person hat, zu der das gezeigte Gesicht gehört. Dieser Test wurde nur zu drei Zeitpunkten bei JQ durchgeführt und nach korrekten Prozent der Antworten sowie der entsprechenden Reaktionszeiten ausgewertet.

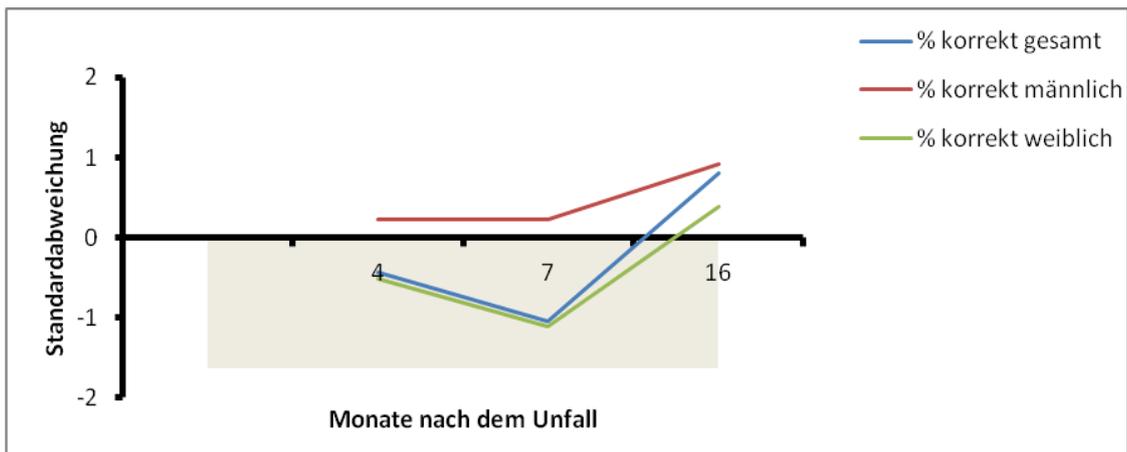


Abbildung 20: Graphische Darstellung der richtig anhand der präsentierten Gesichter erkannten Geschlechter

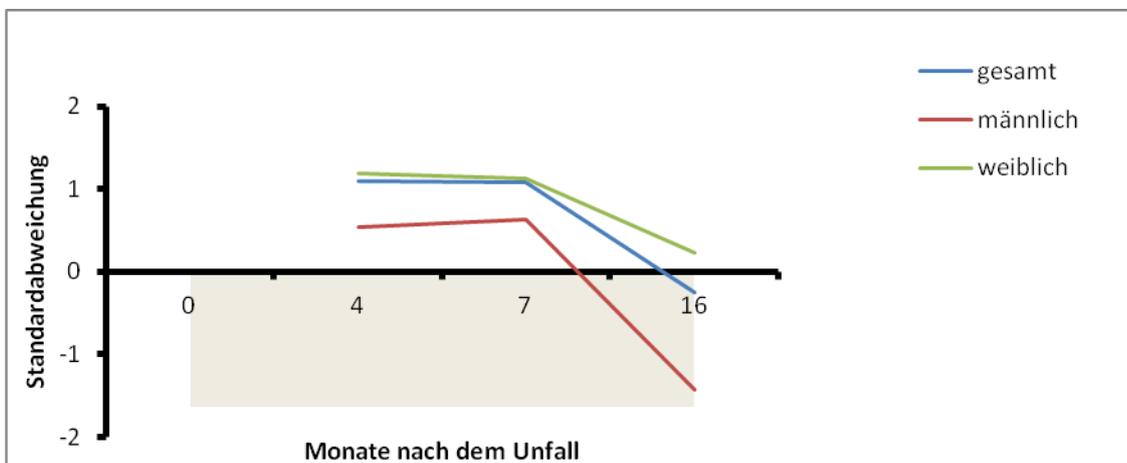


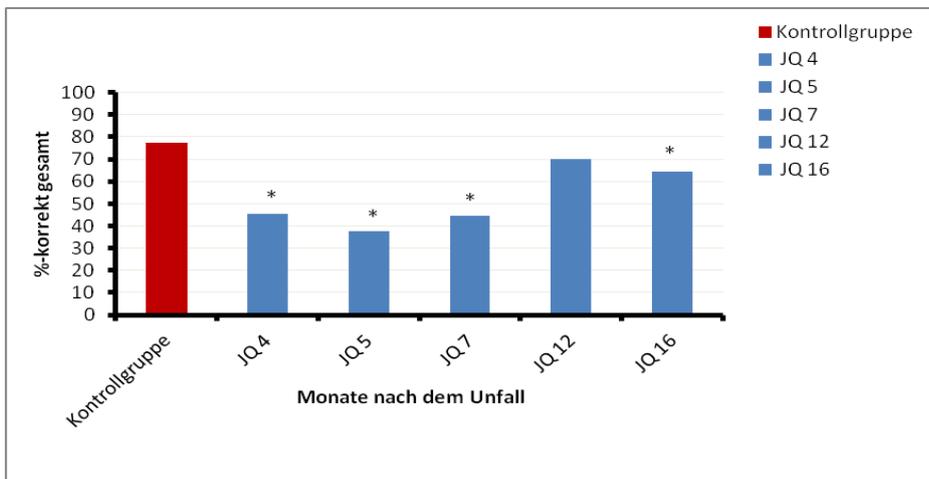
Abbildung 21: Graphische Darstellung der Reaktionszeiten korrekter Antworten bezüglich des Geschlechterkennens in Gesichtern. Eine negative Abweichung entspricht einer Verlangsamung.

Mit Crawfords modifiziertem Test wurden die Ergebnisse wie im Methodenteil beschrieben auf das Vorliegen einer Dissoziation geprüft (für die Identitätserkennung wurden die Ergebnisse des Famous Faces/Houses Recognition Tests verwendet). Hier erfüllte JQ zu keinem Zeitpunkt die Voraussetzungen für eine Dissoziation im Sinne Crawfords.

## Emotionserkennung

Bei diesem computerbasierten Test werden dem Probanden Gesichter gezeigt, die eine von fünf Emotionen (Furcht, Wut, Ekel, Freude, Trauer) ausdrücken bzw. einen neutralen Gesichtsausdruck zeigen [274]. Die Probanden werden gebeten, so schnell und dabei so akkurat wie möglich die gezeigte Emotion zu bestimmen. Die Antwort durch Tastendruck der Ziffern eins bis sechs (die Legende wird jeweils neben dem präsentierten Stimulus angezeigt) bewirkt die Präsentation des nächsten Stimulus. Es gibt zwei Durchgänge, einen ohne und einen mit zeitlicher Limitierung (200ms) der Stimuluspräsentation, in denen die 90 Stimuli (15 pro Gesichtsausdruck), jeweils sowohl einmal aufrecht, als auch einmal invertiert präsentiert werden. Ausgewertet wurden die Durchgänge, die ohne zeitliche Limitierung der Präsentationszeit gezeigt wurden. Nach Crawford signifikante Ergebnisse wurden mit Sternchen gekennzeichnet.

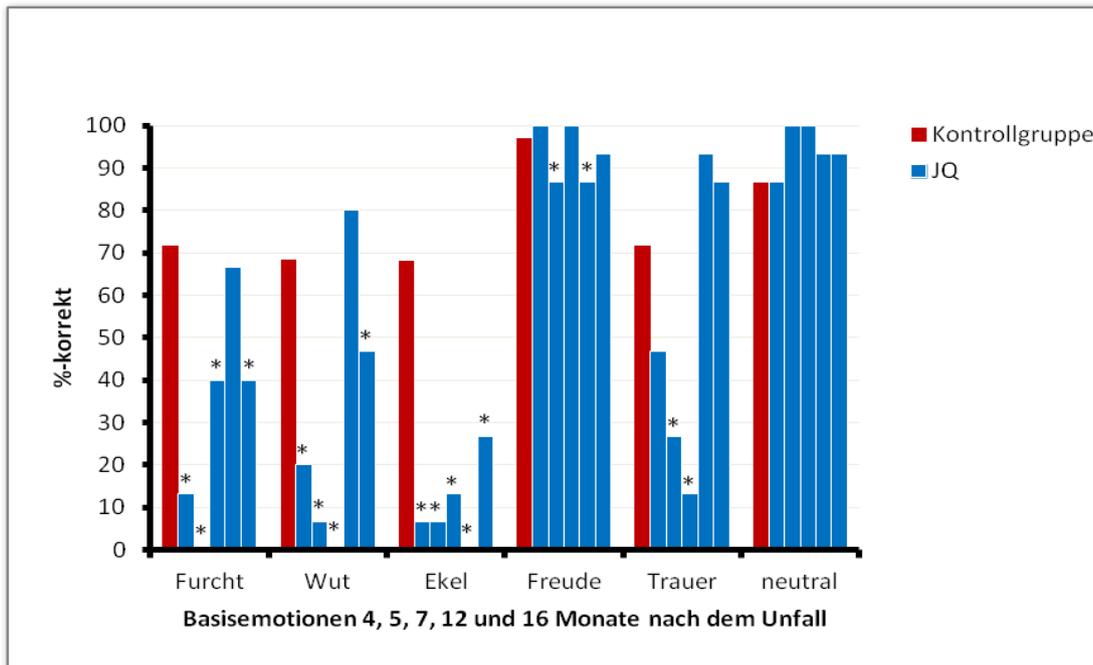
Zunächst werden die Ergebnisse der aufrecht präsentierten Emotionen detaillierter vorgestellt, im Anschluss findet sich eine Zusammenschau der Ergebnisse der invertiert präsentierten Emotionen.



**Abbildung 22: Graphische Darstellung der %-korrekt der aufrecht präsentierten Emotionen insgesamt**

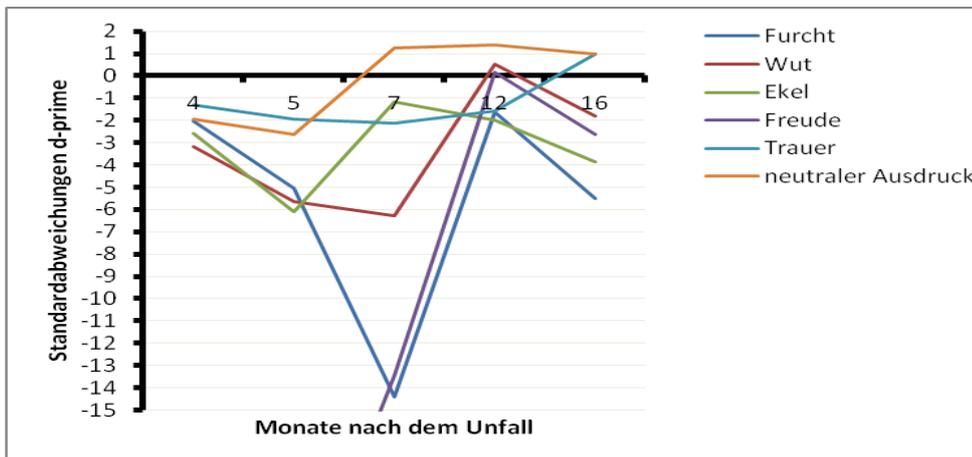
Insgesamt zeigt sich also eine tendenzielle Besserung des Emotionenerkennens durch JQ die %-korrekt betreffend, wenn auch in der letzten Testung die Unterscheidung von der Kontrollgruppe wieder signifikant war. Ein gemischteres Bild zeigt sich, wenn man die Basisemotionen einzeln betrachtet:

## Ergebnisse



**Abbildung 23:** Graphische Darstellung der %-korrekt der aufrecht präsentierten Emotionen, nach Basisemotionen bzw. neutralem Gesichtsausdruck differenziert. Die blauen Balken entsprechen den Ergebnissen von JQ zu den jeweiligen Testzeitpunkten (s.o.).

Allerdings gilt hier wie für den Famous Faces/Houses-Test, dass das Antwortverhalten für die Interpretation der Ergebnisse entscheidend ist, das im Anschluss graphisch dargestellt ist.



**Abbildung 24:** Graphische Darstellung des Verlaufs des Antwortverhaltens im Verlauf der fünf Testungen. Die weit abweichenden Werte für das Antwortverhalten bezüglich Freude 4 Monate nach dem Unfall (-32) und 5 Monate nach dem Unfall (-25) sind aus Gründen der Übersichtlichkeit der Graphik nicht mit eingetragen.

JQs Antwortverhalten war also insgesamt im Vergleich zur Gruppe stark defizitär. Auffällig war dabei, dass sie vor allem anfangs sehr häufig „Freude“ als Antwort angab und ein

neutraler Gesichtsausdruck der einzige Ausdruck war, bezüglich dessen sie bei stetig unauffälligen %korrekt-Ergebnis ein normales Antwortverhalten zeigte, den sie also zuverlässig erkannte.

### Verwechslungen

Es wurde aufgrund des auffälligen Antwortverhaltens untersucht, ob bestimmte Verwechslungen durch JQ besonders häufig waren. Dafür wurde jeweils die Testung untersucht, in der sie eine bestimmte Emotion am häufigsten als falsche Antwort angab. Hierbei ergab sich kein Hinweis darauf, dass bestimmte Verwechslungen besonders häufig gemacht wurden.

### Reaktionszeiten

Bezüglich der Reaktionszeiten bei richtigen Antworten unterschied sich JQ über alle Emotionen gemittelt nie signifikant von der Kontrollgruppe. Betrachtet man die Reaktionszeiten zu den richtig erkannten Basisemotionen einzeln, so zeigte JQ auch hier keine Unterscheidung von der Kontrollgruppe bei neutralen Gesichtsausdrücken, bei denen ihre Reaktionszeiten auch ziemlich konstant waren.

Bei der Erkennung von Freude unterschied sie sich lediglich bei der ersten Testung insofern, als sie schneller antwortete (in Bezug auf die richtigen Antworten signifikant, in Bezug auf die falschen numerisch). Im Verlauf nahm ihre Reaktionszeit bei der richtigen Erkennung von Freude zu, unterschied sich aber nicht signifikant insofern, als dass sie länger brauchte als die Kontrollgruppe.

Im Vergleich der richtig mit den fälschlicherweise als „Freude“ bezeichneten Gesichtsausdrücken zeigte sie über alle Testungen gemittelt keinen Unterschied bezüglich der Reaktionszeit.

Bezüglich der anderen Emotionen ergab sich auch bezüglich der Reaktionszeiten kein klares Bild.

### Zusammenschau der Ergebnisse der invertiert präsentierten Stimuli

Bezüglich der invertiert präsentierten Emotionen unterschied sich JQ was die %-korrekt angeht über alle Emotionen gemittelt außer bei der vorletzten Testung - wie bei den aufrecht präsentierten also - immer signifikant von der Kontrollgruppe. Nach den einzelnen Basisemotionen aufgeschlüsselt zeigte sie allerdings in Freude und neutralem Gesichtsausdruck nie, in Trauer in den letzten beiden Testungen keine Unterscheidung von der Kontrollgruppe. Allerdings war ihr Antwortverhalten auch bei den invertierten Stimuli stark defizitär, vor allem bezüglich Freude und neutralen Gesichtsausdrücken. Hier zeigte sie noch deutlicher als bei den aufrechten Gesichtern den Hang dazu, Freude oder neutral auch bei Präsentation anderer Basisemotionen als Antwort anzugeben. Auch bei den invertierten Stimuli besserte sich das Antwortverhalten im Verlauf, allerdings von 47 fälschlicherweise als Freude beurteilten Gesichtsausdrücken auf 14, bei jeweils ca. 14 richtig erkannten. Die negativen Emotionen „Furcht“, „Wut“ und „Ekel“ wählte sie nur selten und kaum öfter bei Präsentation der entsprechenden Emotion als bei Präsentation einer anderen.

Insgesamt ergibt sich ein Defizit im Bezug auf die Erkennung von Emotionen mit einzelnen Tendenzen zu Besserung im Verlauf.

### II. MRT-Aufnahmen

Es wurden drei magnetresonanztomographische Untersuchungen des Cerebrums durchgeführt.

Zunächst soll hervorgehoben werden, dass sich in allen Untersuchungen keine wesentlichen strukturellen Schädigungen oder Blutungen nachweisen ließen.

In der Untersuchung direkt nach dem Unfall zeigte sich interessanterweise in der T2 flair Wichtung eine unspezifische fokale Signalanhebung rechts im Bereich des mesialen Temporallappens, die sich in den folgenden Untersuchungen reproduzieren ließ. Leider liegen keine Untersuchungen aus der Zeit vor dem Unfall zum Vergleich vor.



Abbildung 25: MRT-Aufnahme 06/07.  
Befund markiert.



Abbildung 26: MRT-Aufnahme 07/07,  
Koronarschnitt. Befund markiert.



Abbildung 28: MRT-Aufnahme 07/07,  
Transversalschnitt. Befund markiert.

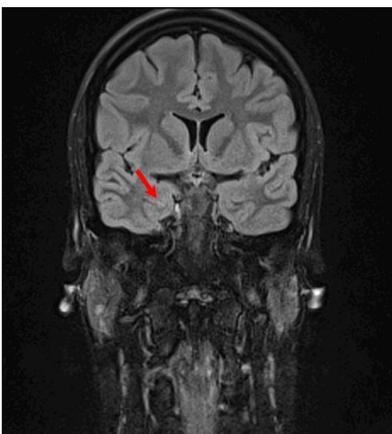


Abbildung 27: MRT-Aufnahme 09/08.  
Befund markiert.

## 9. Diskussion

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Untersuchung und Einordnung der Patientin JQ mit der Verdachtsdiagnose einer erworbenen Prosopagnosie im Vergleich mit einer Kontrollgruppe von 15 ProbandInnen. Die Kontrollgruppe setzte sich aus 14 KlassenkameradInnen von JQ sowie ihrem Zwillingsbruder zusammen, womit eine gute Vergleichbarkeit bezüglich des Alters und Bildungsstandes gewährleistet wurde, wenn auch die Verteilung des Geschlechts den Umständen entsprechend unausgeglichen war. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Testungen aus Kapitel 8 anhand der Leitfragen der Arbeit diskutiert.

### 1. Lässt sich bei der vorgestellten Patientin die Verdachtsdiagnose der erworbenen Prosopagnosie bestätigen? Lassen die Daten eine Einordnung in modulare kognitive Modelle der Gesichtererkennung zu?

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der neuropsychologischen Testungen mit Fokus auf die Frage betrachtet, ob sich die Verdachtsdiagnose der erworbenen Prosopagnosie durch Gegenüberstellung der Testergebnisse in kognitiven Basisfunktionen einerseits und gesichterspezifischen Tests andererseits bei JQ bestätigen lässt.

#### **1. Gruppe: Kognitive Basisfunktionen**

In den Testungen der visuellen Basisfunktionen wies JQ keine Beeinträchtigung auf und unterschied sich nicht von der Kontrollgruppe. Dies ist insofern wichtig, als Einschränkungen in den visuellen Basisfunktionen jede differenziertere Diagnostik durch visuelle Tests natürlich beeinträchtigen würden.

Bei den Testungen der allgemeinen kognitiven Leistung unterschied sich JQ nie signifikant von der Kontrollgruppe, auch nicht differenziert nach Verbal- bzw. Handlungsteil des HAWIE. Ihre Leistung zeigte keinen signifikanten Unterschied zu derjenigen der Kontrollgruppe und kann darum als unbeeinträchtigt gewertet werden. Im Verlauf konnte sogar tendenziell eine Leistungssteigerung beobachtet werden.

Der MWTb wurde nur bei der ersten und letzten Testung durchgeführt. JQ unterschied sich nicht signifikant von der Kontrollgruppe. Der zu beiden Zeitpunkten von ihr erreichte Wert liegt zwar etwas unter dem vorgegebenen Normalwert und entspricht damit nicht dem Ergebnis des HAWIE, der für sie in allen Testungen einen IQ über 100 ergab. Allerdings ist die Vergleichsgruppe des MWTb aus Probanden im Alter zwischen 20 und 64 Jahren zusammengesetzt, weswegen das junge Alter von JQ sowie der Kontrollgruppe als hinreichende Erklärung für diesen Unterschied angenommen werden kann. Dahin deutet auch eine Untersuchung von Wießner, in der 100 psychopathologisch auffällige Patienten mit beiden Tests getestet wurden und sich zwar ausschließlich aber doch für die Gruppe der unter 20-jährigen eine signifikante Unterscheidung der Ergebnisse zeigte [275]. Entscheidend bleibt auch hier, dass sich JQ nicht signifikant von der Kontrollgruppe unterschied.

Bezüglich der Tests zur Objekterkennung unterschied sich JQ im Hooper VOT lediglich in der Testung 01/2008 signifikant von der Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis wird unten im Zusammenhang mit den Ergebnissen der zweiten Testung in den gesichterspezifischen Tests aufgegriffen. Zu allen anderen Zeitpunkten des Hooper VOT wie auch in allen Testungen des BNT unterschied sie sich dagegen nicht signifikant von der Kontrollgruppe, was auf eine intakte Wahrnehmung und Verarbeitung von Objekten auf der Kategorie-Ebene hindeutet.

In den Tests zu visuell räumlicher Wahrnehmung und visuellem Gedächtnis unterschied JQ sich nur im Blocktapping-Test in der ersten Messung signifikant von der Kontrollgruppe. Hier normalisierten sich die Testergebnisse im Verlauf. In den Tests zur Erinnerung und Rekonstruktion visueller Objekte unterschied sie sich zu keinem Zeitpunkt signifikant von der Kontrollgruppe, was die oben genannten Ergebnisse im Hinblick auf Wahrnehmung und Verarbeitung von Objekten im Verlauf stützt. Auch im Test zu auditivem Lernen und Gedächtnis unterschied sie sich nie signifikant von der Kontrollgruppe, was zusammen mit den unauffälligen Tests zur Erinnerung visueller Objekte dafür spricht, dass es sich bei ihrem Defizit nicht um ein Gedächtnisproblem handelt.

In dem Aufmerksamkeitstest Trailmaking unterschied sie sich im Teilttest B in der ersten Testung (06/2007) signifikant von der Vergleichsgruppe. Zunächst scheint sie also nach dem Unfall mit dem Aufgabenwechsel (Zahlen – Buchstaben) Schwierigkeiten gehabt

zu haben – was sich aber ebenfalls schon zum Zeitpunkt der zweiten Testung normalisiert hatte. Hiermit in Einklang ist auch das Ergebnis des Geteilte-Aufmerksamkeit-Tests der TAP, bei dem sie sich in der ersten Testung bei beiden Reizen (visuell und akustisch) signifikant von der Kontrollgruppe unterschied. In allen anderen Tests zur Aufmerksamkeit und zu allen späteren Zeitpunkten der beiden genannten Trailmaking–B und TAP-Geteilte Aufmerksamkeit unterschied sie sich nicht signifikant von der Kontrollgruppe.

#### Zusammenfassung und Einordnung:

Bei JQ ist anamnestisch sowie durch die Testungen bestätigt rückblickend zunächst eine größere Spannbreite an kognitiven Funktionen beeinträchtigt: In Tests zu räumlicher Wahrnehmung und visuellem Gedächtnis sowie einigen Aufmerksamkeitstests zeigte sie anfangs signifikante Defizite im Vergleich mit der Kontrollgruppe, eine tendenzielle Leistungssteigerung in Tests zur allgemeinen kognitiven Leistung sowie auditivem Lernen und Gedächtnis konnten im Verlauf verzeichnet werden, wobei diese eventuell auf die Regeneration der Fähigkeit zur Aufmerksamkeitsausrichtung zurückgeführt werden könnten. Schon in der zweiten Testung, 7 Monate nach dem Unfall, zeigte sie keine signifikante Unterscheidung von der Kontrollgruppe mehr (mit Ausnahme des Hooper, auf den unten eingegangen wird). Dieses Ergebnis entsprach auch der von ihr geäußerten Einschätzung.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass sich JQ in den visuellen Basisfunktionen, der allgemeinen kognitiven Leistung, der Objekterkennung und Objektverarbeitung, der visuell räumlichen Wahrnehmung und des visuellen Gedächtnisses, der Erinnerung visueller Objekte, des auditiven Lernens und Gedächtnisses sowie der Aufmerksamkeit ab der zweiten Messung sieben Monate nach dem Unfall nicht signifikant von der Kontrollgruppe unterschied. Somit lagen für im Verlauf keine Hinweise auf allgemeine oder speziell die Objekterkennung / -verarbeitung betreffende neuropsychologische Defizite vor.

Im Folgenden werden nun diese Ergebnisse denen der gesichterspezifischen Tests gegenübergestellt. Da in diesem Bereich das entscheidende Defizit der Prosopagnosie besteht, ist diese Gegenüberstellung für die Fragestellung besonders interessant.

## 2. Gruppe: Gesichterspezifische Tests

Die Tests zur Identifikation von Gesichtern (Benton Facial Recognition Test, Untertest Faces des Warrington Recognition Memory Tests, Cambridge Face Memory Test, Famous Faces/Houses Recognition Test) werden im Folgenden zunächst einzeln diskutiert, da sich hier Unterschiede derart zeigten, dass JQ zu den meisten Zeitpunkten deutlich defizitäre Leistungen erzielte. Bezogen auf die Modelle der Gesichtererkennung von Bruce und Young [69] bzw. Ellis [72] kann anhand der Tests eine Einordnung des Defizits der Gesichtererkennung bei JQ vorgenommen werden.

Wie in der Einleitung beschrieben, wird im ersten gesichtsspezifischen Schritt der Weiterverarbeitung nach Bruce und Young, der strukturellen Enkodierung, von piktorialen Codes eines betrachteten Gesichts abstrahiert [69]. So entstehen strukturelle Codes, die metaphorisch als abstraktere Repräsentationen des betrachteten Gesichts zu verstehen sind. Sie ermöglichten es, ein Gesicht situationsübergreifend wiederzuerkennen. Tests, die die strukturelle Enkodierung und die Erstellung struktureller Codes untersuchen, sollten darum verschiedene Photographien des Zielgesichts verwenden, in denen z.B. Blickwinkel oder Beleuchtung des Gesichts geändert sind. Wurde ein Gesicht enkodiert, werden die in strukturellen Codes gespeicherten Informationen, die zu einem Gesicht gehören, in Gesichtererkennungseinheiten (face recognition units, FRUs) gespeichert.

Wie in der Einleitung beschrieben darf der Gebrauch des Begriffs der strukturellen Enkodierung im neuropsychologischen Zusammenhang nicht verwechselt werden mit dem Gebrauch des Begriffs im Rahmen elektrophysiologischer Lokalisationsstudien wie z.B. bei Freiwald und Kollegen [71].

Im Benton Facial Recognition Test unterschied sich JQ bei der Testung direkt nach dem Unfall (06/07) knapp signifikant von der Kontrollgruppe. Allerdings wurde hier nur der erste Teil des Tests, in dem dieselben Photographien von einem Zielgesicht identifiziert werden müssen, durchgeführt, und das Ergebnis mit dem testinternen Verfahren hochgerechnet. Betrachtet man nur das Ergebnis des durchgeführten ersten Teils, unterschied sie sich in der ersten Testung zwar numerisch, aber nicht signifikant von der Kontrollgruppe. In allen folgenden Testungen unterschied sie sich dagegen

signifikant von der Kontrollgruppe sowohl bezüglich der kurzen als auch bezüglich der langen Version – wobei die Ergebnisse im ersten Teil des Tests stets weniger defizitär waren als die im zweiten. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als durch die Präsentation derselben Fotografie in dem ersten Teil auch die Erstellung eines sogenannten piktorischen Codes nach Bruce und Young zur Identifikation genügt, welche wie in der Einleitung beschrieben nicht gesichtsspezifisch ist, sondern für jede Wahrnehmung erstellt wird.

Die Ergebnisse des BFRT dürfen nicht unkritisch betrachtet werden. Auch in der langen Version des Tests werden Test- und Zielstimuli gleichzeitig präsentiert. Zwar ist im zweiten Teil bei den Zielgesichtern Aufnahmewinkel oder Beleuchtung verändert, aber es ist auch hier ein direkter Vergleich gesichtsinterner wie –externer Merkmale möglich. Duchaine und Weidenfeld testeten hier den Einfluss der Merkmalspräsentation, indem sie von den Stimuli des Tests *nur* Augenbrauen und Haaransatz einer Gruppe von Normalprobanden präsentierten [276]. Nach dieser Modifikation erreichten immer noch 59% ein normales Resultat in der kurzen Version, 41% ein normales der langen Version des Tests. Deswegen könnte sowohl ein an Prosopagnosie leidender Patient über die Merkmalerkennung in dem BFR-Test Normalwerte erreichen - ein normales Ergebnis in diesem Test muss also nicht eine normale strukturelle Enkodierung nachweisen. Ebenso kann ein unzureichendes Ergebnis in dem Test auch anders als ein Nachweis einer defizitären strukturellen Enkodierung gedeutet werden, z.B. auch als Merkmalsverarbeitungsdefizit – der Test testet also nicht spezifisch die Fähigkeit der strukturellen Enkodierung. Dennoch finden sich in der Literatur meist Einschätzungen dahingehend, dass Patienten mit Prosopagnosie eher defizitäre Ergebnisse aufweisen (z.B. [76]). Eine Untersuchung der Reaktionszeiten, die Hinweise auf eine auf Merkmale fokussierte und darum länger dauernde Verarbeitung bei solchen Patienten detektieren könnte, ist bei diesem Test nicht vorgesehen. Eine Durchsicht von 14 zusammengestellten Fällen erworbener Prosopagnosie spiegelt die Probleme des BFRT [76]: Von den 14 Fällen wurden zehn mit dem BFRT getestet (einmal Japanische Version), von denen vier normale, sechs hingegen unterdurchschnittliche Ergebnisse erzielten. Teilweise ist zudem zwar angemerkt, dass die Patienten sehr lange zur Bearbeitung des Tests benötigten (in einem der vier Fälle führte die Reduktion der Bearbeitungszeit auf immerhin 17 Sekunden zu einem unterdurchschnittlichen

Ergebnis) – es werden aber wie gesagt in diesen Tests keine genaueren Angaben zu Reaktionszeiten erfasst, durch die eine alternative längerdauernde Verarbeitung von Merkmalen z.B. detektiert werden könnte.

Im Hinblick auf den Fall JQ können ihre Ergebnisse im BFRT in Anbetracht der unauffälligen Ergebnisse in den allgemeinen kognitiven Funktionen im Verlauf trotz der genannten Einschränkungen durchaus als erster Hinweis auf eine fehlerhafte Weiterverarbeitung von Identitätsinformationen an Gesichtern gedeutet werden. Gerade der durch einen Unfall verursachte plötzliche Verlust der Fähigkeit, Gesichter adäquat zu verarbeiten, lässt sie nicht in ausreichendem Maße eine merkmalsbezogene Verarbeitung von Gesichtern anwenden - welche sich vielleicht im längerjährigen Verlauf ihres Umgangs mit dem Defizit in Form normaler Ergebnisse im BFR-Test zeigen könnte.

Im Warrington Recognition Memory Test wird die Fähigkeit ein Gesicht implizit zu lernen getestet. Hier unterschied JQ sich zu allen Zeitpunkten signifikant von der Kontrollgruppe. Beim RMT-F sind für implizit gelerntes und später zu identifizierendes Gesicht identische Photographien gegeben, bei denen aber auch Teile der Kleidung und die Frisur der Personen sichtbar sind. So muss auch hier festgehalten werden, dass es sich nicht um einen reinen Gesichtererkennungstest handelt, sondern auch gesichtsexterne Merkmale für die Identifikation herangezogen werden können. Duchaine und Weidenfeld modifizierten auch die Stimuli dieses Tests, indem sie nur die externen Merkmale präsentierten [276]. Hier erzielten sogar noch 65% der Normalprobanden nach Verdeckung des Gesichtes Normalwerte. Deswegen kann bei Erfolg auch in diesem Test ein Merkmalserkennen statt eines Gesichtererkennens zugrunde liegen und ein Misserfolg nicht notwendigerweise auf einen Defekt der Gesichtererkennung hinweisen (vgl. BFRT). Es wurden von den 14 oben genannten Patienten nur vier mit dem RMT getestet, hier zeigten alle vier unterdurchschnittliche Ergebnisse. Auch im RMT werden die Reaktionszeiten nicht erfasst und eine Interpretation dieser im Hinblick auf eine mögliche Merkmalsverarbeitung ist damit nicht möglich. Auch in ihren Ergebnissen im RMT kann für JQ aufgrund o.g. Argumente eine Stützung der Hypothese gesehen werden, dass ein Defizit der Weiterverarbeitung von Identitätsinformationen an Gesichtern vorliegen könnte.

Das Problem, dass externe Merkmale zu einer Identifikation des Zielstimulus verwendet werden könnten, soll im CFMT vermieden werden [273]. Im Cambridge Face Memory Test werden die Fähigkeiten, gelernte Gesichter wiederzuerkennen, geprüft. Hierbei werden nur die Gesichter selbst, also ohne externe und ohne auffällige interne Merkmale, gezeigt. Außerdem wird hier ein Teil, in dem aufrechte Gesichter gezeigt werden, von einem zweiten Teil unterschieden, in dem die Gesichter invertiert gezeigt werden. Hierdurch wird der Inversionseffekt für Gesichter als Hinweis auf holistische Verarbeitung getestet. Darum ist der erwartete Leistungsabfall in der Kontrollgruppe größer als bei Patienten mit Prosopagnosie.

Zunächst ist zu bemerken, dass die Vergleichsgruppe von Duchaine und Nakayama sich sowohl im Untertest mit aufrechten als auch im Untertest mit invertierten Gesichtern des CFMT vergleichbar mit der in dieser Arbeit untersuchten Kontrollgruppe verhielt [273]. Bei dem Durchgang mit aufrechten Gesichtern unterschied sich JQ bei allen Testungen signifikant von der Kontrollgruppe insofern, als ihre Ergebnisse defizitär waren. Ihre Ergebnisse lagen dabei auch unterhalb des Mittelwertes der Gruppe der Prosopagnosiepatienten von Duchaine (Duchaine testete allerdings ausschließlich Patienten mit kongenitaler Prosopagnosie, weswegen ein weitergehender Vergleich unterbleibt).

In dem Teil, in dem die Gesichter invertiert präsentiert wurden, unterschied sich JQ zwar ebenfalls in einigen Untertests von der Kontrollgruppe, jeweils in dem Sinne, dass ihre Ergebnisse defizitär waren. Insgesamt unterschied sie sich damit aber im Teil mit invertierten Gesichtern weniger deutlich von der Kontrollgruppe als im CMTF mit aufrechten Gesichtern. Dies steht im Einklang mit der These, dass die Inversion von Gesichtern die holistische Verarbeitung behindert und deswegen besonders Probanden Schwierigkeiten mit der Verarbeitung invertierter Gesichter zeigen, die bei aufrechten Gesichtern im Gegensatz zu Patienten mit Prosopagnosie eine holistische Verarbeitung anwenden können. Bei invertierten Gesichtern greifen auch normale Probanden demnach auf eine merkmalsbasierte Verarbeitung zurück, die weniger effizient funktioniert. Im Einklang mit der These, dass Patienten mit Prosopagnosie diese Unterschiede in der Verarbeitungsweise bei aufrechten und invertierten Gesichtern nicht mehr aufweisen, zeigte JQ im Vergleich der Untertests des CMTF auch keinen bzw. einen paradoxen Inversionseffekt. Dies kann die aufgrund der Ergebnisse des

BFRT und RMT aufgestellte These eines Defizits der strukturellen Enkodierung insofern präzisieren, als es sich um die Enkodierung *holistischer Informationen* zu handeln scheint.<sup>33</sup> Ein paradoxer Inversionseffekt, also eine bessere Erkennung invertierter im Vergleich mit aufrecht präsentierten Gesichtern, kann durch eine Interferenz defekter Enkodierungsmechanismen bezüglich holistischer Informationen erklärt werden [99].

Da im CMTF Test- und Zielstimulus nicht gleichzeitig gezeigt werden, werden die Probleme eines möglichen Stimulus- bzw. Merkmalsvergleichs wie im BFRT und RMT vermieden. Allerdings ist auch im CMTF nicht vorgesehen, die Reaktionszeiten zu analysieren, um hierdurch eventuell einen Hinweis auf eine alternative, z.B. merkmalfokussierte Verarbeitung durch längere Reaktionszeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe festzustellen.

Darum wurde der Famous Faces/Houses Recognition Test entwickelt, der neben der Aufzeichnung der Reaktionszeiten auch weitere Probleme der Diagnostik der Gesichtererkennungsdefizite vermeidet. Zu jedem Stimulus (Gesicht/Haus) werden hier sowohl die Antworten (bekannt/unbekannt) als auch die Antwortzeiten aufgezeichnet. So kann einerseits das Antwortverhalten eines Probanden aufgedeckt und interpretiert werden – sonst hätte ein Proband, der immer „bekannt“ antwortet, letztlich immerhin eine Trefferquote von 50%, während jemand, der immer „unbekannt“ antwortet, auf 0% kommen würde, obwohl beider Antwortverhalten ein Defizit nahelegt. Desweiteren können Unterschiede in den Antwortzeiten als Hinweise auf Unterschiede in der Verarbeitung von Gesichtern interpretiert werden. Zudem werden in diesem Test sowohl Gesichter als auch andere Objekte (Häuser) in randomisierter Reihenfolge präsentiert, wodurch - im Gegensatz zur Präsentation der Stimuli in verschiedenen Tests oder auch in Blocks nacheinander - Ermüdungseffekte und eventuell damit einhergehende nur scheinbare Unterschiede in der stimulusspezifischen Leistung vermieden werden. Einschränkend muss bemerkt werden, dass auch in diesem Test nicht ausschließlich Gesichter gezeigt werden, sondern teilweise auch externe Merkmale zu erkennen sind.

---

<sup>33</sup> Auf die Ergebnisse der Testung 01/08, die scheinbar einen Inversionseffekt bei JQ ergaben, wird unten genauer eingegangen.

Hier unterschied sich JQ bezogen auf die Erkennungsrate zwar bei der ersten Testung (06/07) nicht signifikant in der Erkennung bekannter Gesichter als bekannt. Bei dieser ersten Testung zeigte sie allerdings auch signifikante Defizite bei der Erkennung unbekannter Gesichter als unbekannt – sie hielt 15 bekannt und 13 unbekannte Gesichter für bekannt - weswegen wie oben beschrieben der  $d'$  zur Einschätzung des Antwortverhaltens wichtig wird. Hier zeigte JQ zwar für Gesichter in allen Testungen tendenziell Defizite, diese waren in der ersten Testung aber mit Abstand am ausgeprägtesten und nur hier auch signifikant von der Kontrollgruppe verschieden. In Bezug auf die Erkennungsrate bei Häusern unterschied sie sich nie signifikant von der Kontrollgruppe. Auch was die Häuser angeht war ihr Antwortverhalten bei der Testung zwar 06/07 am unsichersten, unterschied sich aber nie signifikant von der Kontrollgruppe. Die Verbesserung des Antwortverhaltens kann im Rahmen der Regeneration der allgemeinen kognitiven Leistung erklärt werden, während der weiter bestehende deutliche Unterschied der Erkennungsleistung betreffend der Stimulusklassen die Selektivität des Gesichtererkennungsproblems stützt.

Was die Reaktionszeiten betrifft, kann - mit Ausnahme der unten gesondert diskutierten Testung (01/08) - tendenziell eine Verlangsamung verzeichnet werden: Während sie sich bei der Testung (06/07) nicht signifikant von der Kontrollgruppe unterschied, nahm sie sich (06/08) signifikant mehr Zeit als die Kontrollgruppe, bekannte Gesichter als bekannt zu erkennen, (10/08) unterschied sie sich in allen Reaktionszeiten mit Ausnahme derjenigen für unbekannte Häuser signifikant insofern, als sie sich für ihre Antworten mehr Zeit nahm.

Dieses Ergebnis kann zur Stützung der These angeführt werden, dass sie mit wachsendem zeitlichen Abstand vom Unfall zu einer eher merkmalsbasierten, zeitaufwändigeren Verarbeitung der Stimuli überging. Einschränkend muss allerdings bemerkt werden, dass JQ in diesem Test jeweils nur sehr wenige bekannte Gesichter als bekannt erkannte. Außerdem ist dies natürlich nicht die einzig mögliche Erklärung verlängerter Reaktionszeiten (es könnte z.B. auch eine Verlangsamung im Bereich der Gesichtererkennung aufgrund des Wissens um das eigene Defizit vorliegen). Dennoch scheint die Interpretation einer zunehmend merkmalsbasierten, zeitaufwändigeren Verarbeitung der Stimuli eine durchaus plausible auf der Suche nach einer möglichst guten Erklärung des Defizits zu sein.

### Interpretation der Testung (01/08)

Auf die Situation bei der Testung im Januar 2008 wird hier genauer eingegangen. Zu diesem Termin bestand das neuropsychologische Defizit der Prosopagnosie bei JQ seit einem guten halben Jahr und hatte noch keinerlei Besserung erfahren, während andere kognitive Funktionen anamnestisch wie durch die meisten Testungen belegt sich größtenteils regeneriert hatten. An diesem Termin zeigte JQ im Vergleich zur Kontrollgruppe ein signifikant defizitäres Ergebnis im Hooper VOT, wobei sich ihre Leistung in beiden weiteren Terminen oberhalb des Werts der ersten Testung stabilisierte. Außerdem erreichte sie im CFMT Werte unter oder im Bereich von Zufallstreffern. Sie erkannte auch nur ein einziges Gesicht im Famous Faces/Houses Recognition Test als bekannt (und hielt keines der unbekannteren für bekannt), wo sie auch sehr kurze Reaktionszeiten zeigte, für Gesichter noch kürzer als für Häuser.

Die Ergebnisse dieser Testung können gut im Rahmen eines Motivationsproblems an diesem Termin interpretiert werden. Die Testsituation, und hier v.a. diejenige, Gesichterstimuli erkennen zu sollen, wurde als frustrierend empfunden und darum abwehrend schnell und ungenau beantwortet. Klinisch erschien die Probandin an diesem Termin depressiv verstimmt. Hierzu passt auch ein Tagebucheintrag vom Oktober 2007, bei dem sie von einem Besuch ihrer bekannteren Schüler eines anderen Landes berichtet: „Von den Gesichtern habe ich natürlich kein einziges erkannt, aber das hatte ich auch nicht erwartet.“

Bezüglich der Leitfrage kann festgehalten werden:

Während sich die übrigen kognitiven Funktionen erholten, blieb ein Defizit der Gesichtererkennung bestehen. In den ersten Testungen mithilfe des Famous Faces- / Houses Recognition-Tests erfüllte JQ zunächst nicht die strengen Anforderungen an eine Dissoziation im Sinne Crawfords. In der letzten Testung hingegen erfüllt sie die Voraussetzungen. Dabei verbesserte sich das Antwortverhalten bezüglich der Gesichter im Vergleich zur ersten Testung, während die Erkennung stark defizitär blieb. Das Erkennen von Häusern entsprach bei der letzten Testung hingegen fast genau dem Mittelwert der Gruppe. Die Erkennungsleistung bezüglich bekannter Häuser erholte sich also offensichtlich im Laufe der Testungen.

Zusammenfassend konnte also beobachtet werden, wie sich das Defizit der Prosopagnosie im Verlauf der Testungen herauskristallisierte: aus einem anfangs breit gefächerten kognitiven Defizit bezüglich diverser Funktionen, über eine stetige Besserung bezüglich anderer kognitiver Fähigkeiten inklusive des Erkennens auch von schwierigen Stimuli wie Häusern, hin zu einem reinen Gesichtererkennungsproblem in der letzten Testung, in der die Voraussetzungen für eine klassische Dissoziation im Sinne Crawfords gegeben sind. Damit wird die Theorie einer modularen Struktur der neuropsychologischen Verarbeitung der Gesichtererkennung – unter den in der Einleitung angeführten Vorbehalten – zumindest einseitig gestützt.

In einer Zusammenschau der Befunde mit den übrigen Gesichtertests können die Ergebnisse innerhalb modularer kognitiver Modelle der Gesichterverarbeitung eingeordnet werden, und zwar im Sinne einer gestörten Weiterverarbeitung von Gesichtsinformationen bezüglich der Identität eines Gesichts. Dies ist gut vereinbar mit Erklärungen erworbener Prosopagnosie als Defizit der holistischen Erkennung von individuellen Gesichtern (z.B. [57] und [76]), allerdings gilt es daran zu erinnern, dass andere Studien eine gewisse Funktion auch der holistischen Gesichterverarbeitung bei einzelnen Prosopagnosiepatienten nahelegen [62].

Betont werden soll an dieser Stelle auch ein anamnestischer Hinweis. JQ gab im Januar 2008 an, ihre Herangehensweise an das Erkennen von Gesichtern geändert zu haben, indem sie z.B. ihren Freund an einzelnen auffälligen Merkmalen (Lippen) erkenne. Dieser Wechsel der Strategie, also statt wie früher Gesichter holistisch erkennen zu wollen, nun zu versuchen, auf einzelne Merkmale zu fokussieren, erklärt zum einen das besser werdende Antwortverhalten im Famous Faces / Houses Recognition Test (Gesichter), als auch die Verlängerung der Reaktionszeiten. Allerdings zeigt das weiterhin defizitäre Abschneiden auch in Benton Facial Recognition und Warrington's Recognition Memory Test, dass diese neue Strategie für unbekannte Gesichter noch nicht so gut beherrscht wurde. Dies soll ein Tagebucheintrag schon vom September 2007 unterstreichen: „Am Mittwoch fiel mir auf, dass ich wieder schlechter im Menschenerkennen werde. Ich denke, dass (sic!) liegt daran, dass ich mich einfach nicht mehr auf die Gesichter konzentriere. Früher hab ich noch versucht, die Gesichter mir zu merken, aber an irgendeinem Punkt muss ich oder mein Körper resigniert haben

und ich konzentriere mich jetzt ausschließlich nur noch auf die oben genannten Merkmale (d.h. z.B. Stimme und Gang, Anm. KL). So bekomme ich es nicht in dem (sic!) Griff und daher ist es gut, dass es mir aufgefallen ist und ab Donnerstag habe ich nun wieder versucht, aufs Gesicht zu schauen und es mir einzuprägen. Ich versuche jetzt immer, bestimmte Merkmale mir zu merken, ob es was hilft werde ich in den nächsten Wochen erfahren.“

In der vorliegenden Arbeit wird, wie in der Einleitung betont, kein Absolutheitsanspruch der vorgestellten Erklärung erhoben, noch soll behauptet werden, dass sich letztlich alle Fälle erworbener Prosopagnosie innerhalb dieser werden einordnen lassen. Vor dem Hintergrund der vorgelegten Erklärung können aber die in dieser Studie erhobenen Daten plausibel verstanden werden.

## 2. Was trägt der vorgestellte Fall hinsichtlich einer Differenzierung verschiedener Gesichtsinformationen zu kognitiven Modellen der Gesichtererkennung bei?

### Geschlechtererkennung

In dem Test zum Geschlecht-Erkennen unterschied sich JQ nie signifikant von der Kontrollgruppe, weder im Hinblick auf die Prozent-korrekt der klassifizierten Gesichter, noch im Hinblick auf ihre Reaktionszeiten. Im Verlauf konnte eine tendenzielle Leistungssteigerung verzeichnet werden was die korrekten Antworten betraf. Allerdings nahmen im Verlauf auch ihre Reaktionszeiten zu, was durch eine stärkere Gewichtung der Akkuratheit im Vergleich zur Schnelligkeit durch JQ erklärt werden kann. In der Zusammenschau mit den ebenfalls deutlich verlängerten Antwortzeiten im Face- / House-Recognition-Test kann dies dahingehend interpretiert werden, dass JQ sich im Verlauf, indem sie mehr und mehr lernte, mit ihrem Defizit der Gesichtererkennung umzugehen, mehr Zeit nahm, Gesichter zu beurteilen.

Im Hinblick auf die vorgestellten Modelle der Gesichterverarbeitung kann JQs unauffälliges Ergebnis in der Aufgabe zum Geschlechterkennen sowohl im Rahmen einer hierarchischen [72] als auch einer parallelen [69] Verarbeitung von Geschlecht und Identität erklärt werden. Um dieser Fragestellung, wenn sie denn als sinnvolle betrachtet wird, weiter nachzugehen, wäre wie in der Einleitung beschrieben die

Vorstellung umgekehrter Fälle wichtig, also von Patienten, die zwar die Identität (z.B. in einem Test wie dem CFMT), nicht aber das Geschlecht eines Gesichts erkennen.

Bezüglich einer möglichen Dissoziation zwischen Geschlecht und Identität zeigte JQs Ergebnisse nie das Profil einer Dissoziation im Sinne Crawfords. Das verwundert anhand der deutlichen Unterschiede der Ergebnisse. Eine Erklärung findet sich in der Betrachtung der Ergebnisse der Gruppe: Da die Ergebnisse der Vergleichsgruppe eine negative Korrelation aufweisen, wird trotz der sehr unterschiedlichen Ergebnisse keine Signifikanz erreicht. Denn wenn eine negative Korrelation vorliegt, die Vergleichsgruppe also selbst Unterschiede in der Bewältigung der Tests dergestalt zeigt, dass diejenigen, die eine Aufgabe gut erfüllen können, in der anderen eher schlecht abschneiden, wird plausiblerweise die Erfüllung der Dissoziationskriterien unwahrscheinlicher.

Dennoch scheint die Tendenz, dass ein deutliches Identitätserkennungsdefizit vorliegt, die Geschlechtererkennung aber gelingt, nicht von der Hand zu weisen zu sein.

Der mögliche Rückschluss, eine vorwiegend merkmalsbasierte Geschlechtererkennung aus diesen Ergebnissen abzuleiten, sollte kritisch betrachtet werden. Denn z.B. fand Pallett einen gewissen Inversionseffekt bei Geschlechtererkennung, was sie als Hinweis auf eine holistische Verarbeitung deutete [277]. Auch Aquado fand einen Inversionseffekt bei der Geschlechtererkennung [278], so dass eine gewisse holistische Verarbeitung auch bei der Geschlechtererkennung nahegelegt wird.

### Emotionserkennung

In dem Test zum Emotionen-Erkennen bei aufrechten Gesichtern unterschied sich JQ was die Erkennung von Emotionen insgesamt angeht in den meisten Testungen zwar signifikant von der Kontrollgruppe, zeigte dabei aber immer eine Leistungssteigerung im Vergleich zur ersten Testung bezüglich der korrekten Antworten. Insbesondere wenn man die erste Testung mit den letzten beiden vergleicht – und damit den Zeitraum der depressiven Verstimmung ausklammert (s. oben), kann zumindest eine numerische Leistungssteigerung verzeichnet werden.

Ein differenzierteres Bild ergibt sich bei der Betrachtung der einzelnen Emotionen. Hier scheinen Freude und neutraler Gesichtsausdruck in Bezug auf die korrekten Antworten relativ gut erkannt zu werden. Auch die Fähigkeit, Trauer zu erkennen, schien sich zunächst im Verlauf der Testungen konsolidiert zu haben.

Es muss aber betont werden, dass JQ mit Ausnahme der Beurteilung „neutral“ ein defizitäres Antwortverhalten zeigte, was die obige Interpretation der richtig erkannten Emotionen relativiert. Für die Antwort „Freude“ z.B. war das Defizit anfangs sogar besonders stark ausgeprägt: JQ erkannte im Oktober 2007 zwar 15 und damit alle Gesichter, die Freude zeigten, richtig. Allerdings antwortete sie auch 35mal „Freude“, wenn eine andere Emotion gezeigt wurde. Bei stetig gutem Ergebnis bezüglich der korrekten Antworten der Freude zeigenden Gesichter verbesserte sich ihr Antwortverhalten diesbezüglich im Verlauf der Testungen aber deutlich. Bezüglich der Reaktionszeit bezüglich der Freude zeigenden Gesichter unterschied sie sich in der ersten Testung insofern von der Kontrollgruppe, als sie schneller antwortete – das Ergebnis könnte somit einem übereilten Antwortverhalten in der ersten Testung gerade bezüglich Freude geschuldet sein. Im Bezug auf die Emotionen Furcht, Wut und Ekel zeigt sich hingegen kein deutliches Bild.

Insgesamt schien sie also zu Beginn bezüglich der Beurteilung von emotionalen Gesichtsausdrücken zur Antwort „Freude“ zu neigen, unabhängig davon, welche Emotion gezeigt wurde. Im Gegensatz dazu wurden neutrale Gesichtsausdrücke sicher erkannt. Sie schien also die Unterscheidung „neutral“ versus „emotional“ treffen zu können, während die genauere Differenzierung der Emotionen nicht gelingt. Im Verlauf wird aber ein sichereres Erkennen von „Freude“ möglich, während die anderen Emotionen weiterhin nicht zutreffend differenziert werden können.

Dieses Ergebnis kann als Hinweis auf eine geänderte Herangehensweise auch an das Erkennen von Emotionen verstanden werden. Demnach fokussierte JQ nach dem Unfall vermehrt auf Merkmalseigenschaften auch bezüglich emotionaler Ausdrücke eines Gesichts. Da die Fähigkeit einer feineren Unterscheidung in Bezug auf Merkmalsveränderungen bei bestimmten Emotionen aufgrund der kurzen Zeitspanne seit dem Unfall noch nicht gegeben war, unterschied sie zunächst lediglich zwischen „Gesichtsmerkmal (Mund) bewegt = Freude“ und „Gesichtsmerkmale unbewegt = neutral“. Mit wachsendem zeitlichem Abstand vom Unfall konnte sie immer zuverlässiger unterscheiden, dass es sich um eine Emotion, aber nicht um Freude handelt, weswegen ihre Antwortsicherheit bezüglich Freude zunahm. Plausibel wird so auch, dass JQs Fokussierung auf die Unterscheidung zwischen „neutral“ und „Freude“ für aufrecht und invertiert präsentierte Stimuli gilt. Dies könnte ebenfalls als Hinweis auf

eine ähnliche – vor allem merkmalsbasierte - Verarbeitungsweise aufrechter wie invertierter Emotionsstimuli gewertet werden.

Diese Interpretation wird auch durch Studien gestützt, die den Einfluss konfiguraler bzw. merkmalsbasierter Erkennung verschiedener Emotionen testeten. Schyns und Kollegen untersuchten durch Verdeckung verschiedener Gesichtsteile die Rolle bestimmter Gesichtsareale für die Entscheidung zwischen „Freude“ und „neutraler Gesichtsausdruck“ [134]. Sie fanden, dass für die Entscheidung zwischen „Freude“ und „neutral“ vor allem die Mundregion eine wichtige Rolle spielt. Derntl und Kollegen fanden einen signifikanten Inversionseffekt als Zeichen des Einflusses konfiguraler Verarbeitung bei „Ekel“, „Trauer“, „Furcht“ und „Wut“ [274]. Auch für „Freude“ fanden wurde zwar ein Inversionseffekt gefunden, was sie als Hinweis auf eine teilweise konfigurale Verarbeitung auch dieser Emotion erklärten. Dieser fiel aber nicht so deutlich aus wie bei den übrigen getesteten Emotionen, was sie durch die Rolle einzelner Merkmale in der Erkennung dieser Emotion (hochgezogene Mundwinkel) erklären. Für neutrale Gesichtsausdrücke wurde entsprechend kein Inversionseffekt gefunden. McKelvie fand für „Freude“ im Gegensatz zu „Trauer“, „Furcht“, „Wut“ und „Ekel“ keinen Inversionseffekt [279]. Dies interpretierte er ebenfalls als Zeichen unterschiedlichen Ausmaßes konfiguraler Verarbeitung die einzelnen Emotionen betreffend.

Auch Bombari und Kollegen untersuchten den Anteil merkmalsbezogener bzw. konfiguraler Verarbeitung von Gesichtern bezüglich der Emotionen „Freude“, „Wut“, „Trauer“ und „Furcht“, indem sie drei Strategien kombinierten [280]: Zunächst wurden Gesichter in verschiedener Weise präsentiert, nämlich entweder als unveränderte „intakte“ Gesichter, oder in einer frequenzgefilterten Version für eine vornehmlich konfigurale Verarbeitung oder in einer zerteilten Version für eine vornehmlich merkmalsfokussierte Verarbeitung. Desweiteren wurde der Inversionseffekt als Hinweis auf konfigurale Verarbeitung untersucht. In einem weiteren Experiment wurden die zur Erkennung einzelner Emotionen zum Zuge kommenden Augenbewegungen untersucht. Sie fanden zwar insgesamt eine quantitativ größere Rolle konfiguraler Verarbeitung für Emotionen, wenn auch beide Arten der Verarbeitung das Erkennen von Emotionen oberhalb der Zufallsebene ermöglichten und damit die Emotionserkennung robust angelegt zu sein scheint. Das Erkennen von „Freude“ war in allen drei Kategorien am

zuverlässigsten möglich (vgl. auch [281], [282]). Die Beiträge konfiguraler beziehungsweise merkmalsbasierter Verarbeitung in Bezug auf die einzelnen Emotionen waren aber durchaus unterschiedlich. So schienen „Freude“ und „Furcht“ eher merkmalsbasiert verarbeitet zu werden während für das Erkennen von „Trauer“ und „Wut“ eher die konfiguralen Informationen wichtig schienen. In dem zweiten Experiment zeigte sich in einer Analyse der Augenbewegungen bei der Erkennung von „Freude“ ebenfalls vor allem die Mundregion als Merkmal entscheidend.

An dieser Stelle soll auf das Phänomen gemischter Emotionen hingewiesen werden, das heißt das gleichzeitige Zeigen verschiedener Emotionen in einem Gesichtsausdruck in oberer und unterer Gesichtshälfte. Im Gegensatz zu dem „echten“ Lächeln bei Freude gibt es das gesellschaftliche „Lächeln“, das neben hochgezogenen Mundwinkeln eine neutrale oder eine andere Emotion zeigende obere Gesichtshälfte enthält. Auch andere Mischemotionen (beispielsweise aus Überraschung und Freude) sind selbstverständlicher Teil gesellschaftlichen Zusammenlebens (für eine Übersicht siehe [283]). Bei der Betrachtung der Frage nach merkmalsbasierter Verarbeitung im Vergleich zur Verarbeitung konfiguraler Informationen bei der Emotionserkennung wurden keine Mischemotionen verwendet und insofern die gesellschaftliche Realität nur unzureichend getroffen. Die in der Testsituation gezeigten Emotionen sind eventuell im Alltag kaum vorkommende Stilisierungen oder Abstrahierungen von im wirklichen Leben gezeigten Gesichtsausdrücken. Für die Fragestellung in dieser Arbeit konnte sicher plausibel gemacht werden, dass das *Merkmal* der hochgezogenen Mundwinkel für die Erkennung von Freude wichtig ist und auch, dass JQ aufgrund der zunehmenden Fokussierung hierauf eine Verbesserung des Erkennens von Freude in den Tests zeigte. inwiefern dies aber für die realistische Einschätzung der Emotion eines Gegenüber im gesellschaftlichen Kontext mit all seinen Mischemotionen hilfreich oder vielleicht sogar hinderlich ist, wurde in der vorliegenden Arbeit leider nicht getestet.

Im Gegensatz zu den Reaktionszeiten im Famous Faces- / Houses – Test sowie im Test zur Geschlechtererkennung, in denen sie sich im Verlauf der Testungen immer mehr Zeit zur Beurteilung der Stimuli ließ (im Famous Faces- / Houses-Recognition-Test signifikant, in der Geschlechterbeurteilung tendenziell), scheint sie im Bezug auf Emotionserkennung insgesamt sich diese Zeit nicht genommen zu haben. Dies könnte

wie oben schon erwähnt als Hinweis darauf gewertet werden, dass sie Gesichter v.a. im Bezug auf die Identitätserkennung eine veränderte, mehr auf Merkmalsverarbeitung fokussierte Strategie anwendete, die längere Zeit in Anspruch nahm. Ebenso wie bei der Identitätserkennung zeigte sie bei der Erkennung von Freude im Verlauf ein besseres Antwortverhalten bei steigenden Reaktionszeiten. Warum sie sich allerdings trotz ihres weiterhin beeinträchtigten Erkennens von Emotionen zur Erkennung dieser insgesamt nicht mehr Zeit nahm, wie es eine Verschiebung hin zu einer merkmalsbasierten Strategie auch hier nahelegen würde, scheint verwunderlich.

In Bezug auf affektbezogene Angaben in ihrer Anamnese soll hier daran erinnert werden, dass sie laut ihrer eigenen Einschätzung fröhlicher und offener geworden sei, sowie laut der Einschätzung einiger ihrer Freunde, dass sie affektbezogen wieder zugänglicher geworden sei. Diese nur langsame Erholung kann bei aller gebotenen Vorsicht auch an einer Unsicherheit in der Erkennung der Affekte der anderen gelegen haben.

Bezüglich einer möglichen Dissoziation zwischen Emotions- und Identitätserkennung zeigten sich JQs Ergebnisse zu uneindeutig, um sie im Sinne Crawfords zu testen. So kann auch bezüglich dieser Dissoziation keine eindeutige Einordnung oder Infragestellung der vorgestellten kognitiven Modelle der Gesichtererkennung erfolgen.

### 3. Was für Rückschlüsse lässt der Fall bezüglich der Rehabilitation nach Schädelhirntrauma bei Patienten mit Prosopagnosie zu?

JQ zeigte einen typischen Regenerationsverlauf bezüglich der kognitiven Basisfunktionen (vgl. Einleitung). Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass bei der wiederholten Verwendung derselben Tests auch Wiederholungseffekte in die scheinbare Regeneration mit eingegangen sein können (vgl. hierzu [38] bzw. die Rekrutierung anderer kognitiver Mechanismen statt einer Regeneration der beschädigten stattgefunden haben könnte. Desweiteren wird in Anbetracht anhaltender Dynamik der Ergebnisse der Emotionserkennung im Verlauf hier ein über zwölf Monate hinausgehendes Zeitfenster nahegelegt.

Es ist natürlich nicht mehr herauszufinden, wie JQ vor dem Unfall abgeschnitten hätte, weswegen die Frage, ob die Regeneration ad integrum verlief, unbeantwortet bleiben muss (einen bescheidenen Hinweis gibt hier eventuell der mithilfe des MWTb ermittelte IQ). Desweiteren lässt sich der Fall JQ damit gut in die in der Einleitung vorgestellten Untersuchungen einordnen, die Prosopagnosie als ein regenerationsresistentes kognitives Defizit darstellen. Dies könnte daran liegen, dass die Gesichtererkennung nicht von unbeschädigt gebliebenen Funktionen übernommen werden kann, also als Hinweis auf neuropsychologische Modularität verstanden werden. Auf den Versuch einer Lokalisation auch eines anatomischen Moduls der Gesichtererkennung wird im Folgenden eingegangen.

#### 4. Was trägt der vorgestellte Fall zur Frage nach der Korrelation zwischen kognitiven Modellen und neuronaler Basis bei?

Zieht man eine Korrelation in Betracht, kann das vorgestellte Krankheitsbild der erworbenen Prosopagnosie mit einer Schädigung anatomischer Strukturen erklärt werden.

Die kleine unspezifische Läsion, die in allen drei zur Verfügung stehenden magnetresonanztomographischen Untersuchungen reproduzierbar war, lag zu weit medial, um direkt der FFA oder anderen potentiell gesichtsselektiven Arealen entsprechen zu können. Allein dass sie aber in der Nähe gefunden wurde, und insbesondere dass keine anderen anatomischen Auffälligkeiten detektiert werden konnten, ist allerdings bemerkenswert.

Bezüglich der Art einer lokalen Schädigung könnte sowohl das anatomische Modul selbst als auch von Verbindungen mit anderen Strukturen ursächlich für das Defizit sein. So könnte eine Beeinträchtigung für die holistische Gesichtsidentitätserkennung relevanter verbindender Fasern im Sinne einer Diskonnektion vorliegen. Ob und inwiefern der unspezifische Befund hier eine Rolle spielt, bleibt unklar. Denn abgesehen von diesem Befund soll darauf hingewiesen werden, dass magnetresonanztomographische Untersuchungen wie die vorliegenden nicht immer ausreichend sind, strukturelle Korrelate eines Defizits zu detektieren (vgl. z.B. [284]). Darum werden insbesondere bei unauffälligem MRT Befund zunehmend auch

ergänzende Verfahren empfohlen [285]. So könnte erst z.B. eine diffusionsgewichtete Magnetresonanztomographie zur Darstellung verbindender Fasern in sehr hoher Auflösung eventuell eine Diskonnektion nachweisen. Ob aber durch noch spezifischere Bildgebung der vorliegende Fall erworbener Prosopagnosie als Diskonnektion verstanden werden könnte (vgl. hierzu auch [286]) oder aber sich andere strukturelle Auffälligkeiten z.B. im Bereich der FFA oder anderer potentiell gesichtsselektiver Arealen demaskieren würden, muss an dieser Stelle offen bleiben.

## 10. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit widmete sich der Frage nach der Bedeutung einer Einzelfallstudie erworbener Prosopagnosie für das Verständnis der Gesichtererkennung. Untersucht wurde JQ, eine Patientin mit der Verdachtsdiagnose der erworbenen Prosopagnosie nach einem Unfall, über einen Zeitraum von 16 Monaten im Vergleich mit einer Kontrollgruppe von 15 ProbandInnen.

In der Einleitung wurde deutlich gemacht, inwiefern Einzelfallstudien ein wichtiges und aussagekräftiges Standbein Kognitiver Neuropsychologie heute darstellen und welchen Erklärungsanspruch sie dabei in Anspruch nehmen. Anschließend wurde vor diesem Hintergrund der Stand der Gesichterforschung dargestellt, wobei der Fokus auf die fragliche Dissoziation zwischen der Erkennung von Gesichtern und anderen Objekten, sowie die fragliche Dissoziation zwischen verschiedenen gesichtsinternen Informationen, nämlich Identität, Geschlecht und Emotion, gelegt wurde. Hier fanden sich genügend Hinweise, die eine Dissoziation von Gesichts- und Objekterkennen plausibel erscheinen ließen. Dagegen schien die Frage nach der Dissoziation von Identität, Geschlecht und Emotionen in Gesichtern aus begrifflichen Gründen, aufgrund verschiedener Ergebnisse bei der Untersuchung gesunder Probanden sowie unzureichender Hinweise auf PatientInnen, die eine Doppeldissoziation stützen könnten, weiterhin kontrovers zu bleiben.

Nach einer kritischen Beleuchtung verschiedener Auswertungsmethoden bezüglich Einzelfallstudien wurden die in dieser Arbeit verwendeten Methoden vorgestellt.

Die Ergebnisse der neuropsychologischen Testungen ergaben einen Normalbefund bzw. eine im typischen Zeitfenster liegende Regeneration aller getesteten kognitiven Funktionen bei ebenfalls intakter Fähigkeit, das Geschlecht eines Gesichts zu erkennen. Dabei blieb das Defizit der Erkennung der Identität eines Gesichts unverändert bestehen. Die Fähigkeit, Emotionen zu erkennen, zeigte allenfalls eine partielle Regeneration sowie Dynamik bis zum Ende der Testungen. JQs prosopagnostisches Defizit konnte damit im Rahmen einer Schädigung eines gesichterspezifischen kognitiven Moduls gut erklärt werden.

Die MRT-Untersuchungen ergaben eine unspezifische Signalanhebung nahe der FFA. Bemerkenswert erschien hier aber vor allem, dass keine wesentlichen strukturellen Auffälligkeiten detektiert werden konnten. Ob die magnetresonanztomographisch

dargestellte unspezifische Signalanhebung als mögliche Korrelation des neuropsychologischen Defizits betrachtet werden kann und ob weitere Untersuchungen eine solche ergeben könnten, blieb unklar. Betont wurde, dass beim Versuch der anatomischen Lokalisation die zugrundegelegten Hintergrundannahmen im Auge behalten werden müssen.

Die Forderung nach weiteren detaillierten Darstellungen von Einzelfällen erworbener Prosopagnosie – kognitiver und anatomischer Art - für die Gestaltung der Zukunft Kognitiver Neuropsychologie der Gesichtererkennung bleibt bestehen.

## 11. Danksagung

Ich danke

JQ und allen ProbandInnen, die ihre Zeit und Energie zur Verfügung stellten,

Prof. Dr. Curio für die Bereitschaft, diese Arbeit zu betreuen,

Dr. Andreas Lüschof für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung und Unterstützung der Arbeit.

Dr. dipl. phys. Joachim Weber für die anhaltende Ermunterung, positive Energie, Geduld und Diskussionsfreudigkeit.

Iris Deffke, die mich in die neuropsychologischen Testungen einführte und mir ihre Testergebnisse zur Verfügung stellte.

meinen Eltern, die mir die den Raum und die besten Arbeitsplätze zum Schreiben der Arbeit gerichtet haben.

## 12. Abkürzungsverzeichnis

|            |  |
|------------|--|
| AoA        | Age of Acquisition (Alter, in dem etwas kennengelernt wurde) |
| BFRT       | Benton Facial Recognition Test                               |
| BLOT       | Benton Judgement of Line Orientation Test                    |
| BNT        | Boston Naming Test   |
| BVRT       | Benton Visual Retention Test                                 |
| CE         | Composite Effect (Zusammensetzungseffekt)                    |
| CP         | Categorical Perception (kategoriale Wahrnehmung)             |
| CFMT       | Cambridge Face Memory Test                                   |
| CT         | Computertomographie  |
| EEG        | Elektroenzephalographie                                      |
| ERP        | Event Related Potentials (ereigniskorrelierte Potentiale)    |
| FAE        | Face After Effect  |
| FFA        | Fusiform Face Area (fusiformes Gesichterareal)               |
| FIE        | Face Inversion Effekt (Gesichtsinversionseffekt)             |
| fMRT       | funktionelles MRT  |
| FRU        | Face Recognition Unit  |
| GIE        | Garner Interferenz Effekt                                    |
| HAWIE-R    | Hamburg-Wechsler Intelligenztest – Revised                   |
| Hooper VOT | Hooper Visual Organisation Test                              |
| IQR        | Interquartile Range  |
| Inv        | invertiert   |
| IQ         | Intelligenzquotient  |
| KG         | Kontrollgruppe   |
| KL         | Katharina v. Laer  |

## Abkürzungsverzeichnis

|       |   |
|-------|---|
| MEG   | Magnetenzephalographie  |
| MRT   | Magnetresonanztomographie                                     |
| MW    | Mittelwert  |
| MWTb  | Mehrfachwortschatz-Test (Version b)                           |
| OFA   | Occipital Face Area (okzipitales Gesichterareal)              |
| p     | empirischer Signifikanzwert                                   |
| PA    | Prosopagnosie   |
| PCA   | Principal Component Analysis (Hauptkomponentenanalyse)        |
| PET   | Positronenemissionstomographie                                |
| PIN   | Person Identity Node  |
| PK    | Prozent Korrekt   |
| RMT-F | Warrington Recognition Memory Test for Faces                  |
| ROCF  | Rey–Osterrieth Complex Figure Test                            |
| RT    | Reaktionszeit   |
| SD    | Standard Deviation (Standardabweichung)                       |
| SHT   | Schädel-Hirn-Trauma   |
| SPSS  | Statistical Package for the Social Sciences (Analysesoftware) |
| STS   | Sulcus Temporalis Superior                                    |
| TAP   | Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung                       |
| vgl.  | vergleiche  |
| VLMT  | Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest                         |

### 13. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kognitives Modell der Gesichtererkennung, aus [69] ..... 31

Abbildung 2: Veranschaulichung des Kompositionseffektes aus [98]: Bei Inversion fällt es viel leichter, die oberen Gesichtshälften als identische zu erkennen. .... 36

Abbildung 3: Veranschaulichung des Teil-Ganzes-Effekts (part-whole effect) aus Rossion (2009) ..... 36

Abbildung 4: Teil der Graphik aus [167]: Kortikale Regionen eines Probanden, die das Kernsystem der visuellen Analyse von Gesichtern umfassen. Regionen in rot bis gelb reagierten stärker auf Gesichter als auf Häuser, während Regionen in blau mehr auf Häuser reagierten. Gezeigt ist die gesamte kortikale Oberfläche in zweidimensionaler Ansicht. .... 53

Abbildung 5: Graphische Darstellung des Hawie-R sowie des MWTb. Die Ergebnisse von JQ sind gegen MW und SDs der KG zu den verschiedenen Testzeitpunkten aufgetragen, der Bereich nichtsignifikanter Unterscheidung ist grau hinterlegt..... 67

Abbildung 6: Graphische Darstellung von BNT und Hooper VOT ..... 68

Abbildung 7: Graphische Darstellung des Benton Line Orientation sowie des Block-Tapping-Tests ..... 69

Abbildung 8: Graphische Darstellung des Benton Visual Retention sowie des ROCF-Tests ..... 70

Abbildung 9: Graphische Darstellung des VLMT..... 71

Abbildung 10: Graphische Darstellung des d2 sowie des Trailmaking Tests A und B..... 72

Abbildung 11: Graphische Darstellung des Tests zur Alertness der TAP, aufgeschlüsselt nach seinen vier Durchgängen..... 73

Abbildung 12: Graphische Darstellung des Tests zum Arbeitsgedächtnis der TAP ..... 74

Abbildung 13: Graphische Darstellung des Tests zur Gesteilten Aufmerksamkeit der TAP ..... 74

Abbildung 14: Graphische Darstellung des Benton Facial Recognition- sowie des Recognition Memory Tests für Gesichter..... 76

Abbildung 15: Graphische Darstellung des Cambridge Face Memory Tests für aufrechte Gesichter..... 78

Abbildung 16: Graphische Darstellung des Cambridge Face Memory Tests für invertierte Gesichter..... 78

Abbildung 17: Graphische Darstellung des %-korrekten Antworten der verschiedenen Kategorien des Famous Faces/Houses Recognition Tests..... 79

Abbildung 18: Graphische Darstellung des Antwortverhaltens ( $d'$ ) im Famous Faces / Houses Recognition Test..... 79

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 19: Graphische Darstellung der Reaktionszeiten korrekter Antworten im Famous Faces / Houses Recognition Test. Eine negative Abweichung entspricht einer Verlangsamung. ....  | 80 |
| Abbildung 20: Graphische Darstellung der richtig anhand der präsentierten Gesichter erkannten Geschlechter .....   | 81 |
| Abbildung 21: Graphische Darstellung der Reaktionszeiten korrekter Antworten bezüglich des Geschlechterkennens in Gesichtern. Eine negative Abweichung entspricht einer Verlangsamung.....   | 81 |
| Abbildung 22: Graphische Darstellung der %-korrekt der aufrecht präsentierten Emotionen insgesamt.....   | 82 |
| Abbildung 23: Graphische Darstellung der %-korrekt der aufrecht präsentierten Emotionen, nach Basisemotionen bzw. neutralem Gesichtsausdruck differenziert. Die blauen Balken entsprechen den Ergebnissen von JQ zu den jeweiligen Testzeitpunkten (s.o.).....   | 83 |
| Abbildung 24: Graphische Darstellung des Verlaufs des Antwortverhaltens im Verlauf der fünf Testungen. Die weit abweichenden Werte für das Antwortverhalten bezüglich Freude 4 Monate nach dem Unfall (-32) und 5 Monate nach dem Unfall (-25) sind aus Gründen der Übersichtlichkeit der Graphik nicht mit eingetragen..... | 83 |
| Abbildung 25: MRT-Aufnahme 06/07.....  | 86 |
| Abbildung 26: MRT-Aufnahme 07/07, Koronarschnitt. Befund markiert.....   | 86 |
| Abbildung 27: MRT-Aufnahme 09/08. Befund markiert.....   | 86 |
| Abbildung 28: MRT-Aufnahme 07/07, Transversalschnitt. Befund markiert. ....  | 86 |

Lebenslauf

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Katharina v. Laer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *Die Bedeutung einer Einzelfallstudie erworbener Prosopagnosie für das Verständnis der Gesichtererkennung* selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, den 26.11.2015

Katharina v. Laer

### Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

keine

## Literaturverzeichnis

1. Vallar, G., *The methodological foundations of human neuropsychology: studies in brain-damaged patients*. in: Handbook of Neuropsychology, 2nd Edition, Elsevier, 2000. **1**.
2. Davies, M., *Double Dissociation: Understanding its Role in Cognitive Neuropsychology*. Mind & Language, 2010. **25**(5): p. 500–540.
3. Dunn, J.C. and K. Kirsner, *What can we infer from double dissociations?* Cortex, 2003. **39**(1): p. 1-7.
4. Goldenberg, G., *Neuropsychologie Grundlagen, Klinik, Rehabilitation*. Elsevier, 2007. **4. Auflage**.
5. Zola-Morgan, S., *Localization of brain function: the legacy of Franz Joseph Gall (1758-1828)*. Annu Rev Neurosci, 1995. **18**: p. 359-83.
6. Shallice, T., *From Neuropsychology to Mental Structure* 1988.
7. Lichtheim, L., *Über Aphasie*. Deutsches Archiv für klinische Medizin 1885. **36**: p. 204–268.
8. Grodzinsky, Y.A., K., *Broca's Region* 2006: Oxford University Press.
9. Harley, T.A., *Does Cognitive Neuropsychology have a future?* Cogn Neuropsychol, 2004. **21**(1): p. 3-16.
10. Fodor, J., *The Modularity of Mind*. Cambridge, MA, 1983. **MIT-Press**.
11. Coltheart, M., *Modularity and cognition*. Trends Cogn Sci, 1999. **3**(3): p. 115-120.
12. Coltheart, M., *Brain imaging, connectionism, and cognitive neuropsychology*. Cogn Neuropsychol, 2004. **21**(1): p. 21-5.
13. Uttal, W., *The New Phrenology: The Limits of Localizing Cognitive Processes in the Brain* 2001: Cambridge/Mass.
14. Caplan, D., *The neuro in cognitive neuropsychology*. Cogn Neuropsychol, 2004. **21**(1): p. 17-20.
15. T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, ed. s. ed. 1962, Chicago: Univ. of Chicago Pr.
16. Vallar, G., *The 2003 status of cognitive neuropsychology*. Cogn Neuropsychol, 2004. **21**(1): p. 45-9.
17. Coltheart, M., *Asumptions and Methods in Cognitive Neuropsychology*, in *The Handbook of Cognitive Neuropsychology. What Deficits Reveal About the Human Brain*, B. Rapp, Editor 2001: Philadelphia.
18. Caramazza, A., *On drawing inferences about the structure of normal cognitive systems from the analysis of patterns of impaired performance: the case for single-patient studies*. Brain Cogn, 1986. **5**(1): p. 41-66.
19. Coltheart, M., *Cognitive neuropsychology and the study of reading*. In M.I. Posner and O.S.M. Marin (eds), Attention and Performance XI., 1985. **Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates**: p. 3–37.
20. Teuber, H.L., *Physiological psychology*. Annu Rev Psychol, 1955. **6**: p. 267-96.
21. Crawford, J.R., P.H. Garthwaite, and C.D. Gray, *Wanted: fully operational definitions of dissociations in single-case studies*. Cortex, 2003. **39**(2): p. 357-70.
22. Caramazza, A.M., M., *The case for single-patient studies*. Cognitive Neuropsychology, 1988. **5**(5): p. 517-527.
23. Patterson, K. and D.C. Plaut, *“Shallow Draughts Intoxicate the Brain”: Lessons from Cognitive Science for Cognitive Neuropsychology*. Topics in Cognitive Science 2009. **1**: p. 39–58.
24. Van Orden, G.C.P., B. F. and G.O. Stonec, *What do double dissociations prove?* Cognitive Science 2001. **25** p. 111–172.
25. Chater, N., *How much can we learn from double dissociations?* Cortex, 2003. **39**(1): p. 167-9.
26. Quine, W.v.O., *Two dogmas of empirism*. Philosophical Review, 1951. **60**: p. 20-43.

27. Juola, P.P., Kim, *Why double dissociations don't mean much. Exploring cognition: Damaged brains and neural networks: Readings in cognitive neuropsychology and connectionist modelling*. 2000, New York, NY, US: Psychology PressCohen: Gillian (Ed); Johnston, Robert A. (Ed); Plunkett, Kim (Ed). 319-327.
28. Coltheart, M., et al., *DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud*. *Psychol Rev*, 2001. **108**(1): p. 204-56.
29. Warrington, E.K. and T. Shallice, *The selective impairment of auditory verbal short-term memory*. *Brain*, 1969. **92**(4): p. 885-96.
30. Shallice, T. and E.K. Warrington, *Independent functioning of verbal memory stores: a neuropsychological study*. *Q J Exp Psychol*, 1970. **22**(2): p. 261-73.
31. Marshall, J.C. and F. Newcombe, *Patterns of paralexia: a psycholinguistic approach*. *J Psycholinguist Res*, 1973. **2**(3): p. 175-99.
32. Marshall, J.C., and Newcombe, F., *Syntactic and semantic errors in paralexia*. *Neuropsychologia* 1966. **4**: p. 169-176.
33. Kennedy, M.R., et al., *Intervention for executive functions after traumatic brain injury: a systematic review, meta-analysis and clinical recommendations*. *Neuropsychol Rehabil*, 2008. **18**(3): p. 257-99.
34. Boelen, D.H., J.M. Spikman, and L. Fasotti, *Rehabilitation of executive disorders after brain injury: are interventions effective?* *J Neuropsychol*, 2011. **5**(Pt 1): p. 73-113.
35. Berlucchi, G., *Brain plasticity and cognitive neurorehabilitation*. *Neuropsychol Rehabil*, 2011. **21**(5): p. 560-78.
36. Christensen, B.K., et al., *Recovery of cognitive function after traumatic brain injury: a multilevel modeling analysis of Canadian outcomes*. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008. **89**(12 Suppl): p. S3-15.
37. Babikian, T. and R. Asarnow, *Neurocognitive outcomes and recovery after pediatric TBI: meta-analytic review of the literature*. *Neuropsychology*, 2009. **23**(3): p. 283-96.
38. Spikman, J.M., et al., *Recovery versus retest effects in attention after closed head injury*. *J Clin Exp Neuropsychol*, 1999. **21**(5): p. 585-605.
39. Cicerone, K.D., et al., *Evidence-based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008*. *Arch Phys Med Rehabil*, 2011. **92**(4): p. 519-30.
40. Dikmen, S., R.M. Reitan, and N.R. Temkin, *Neuropsychological recovery in head injury*. *Arch Neurol*, 1983. **40**(6): p. 333-8.
41. Brooks, D.N. and M.E. Aughton, *Cognitive recovery during the first year after severe blunt head injury*. *Int Rehabil Med*, 1979. **1**(4): p. 166-72.
42. Drudge, O.W., et al., *Recovery from severe closed head injuries: repeat testings with the Halstead-Reitan Neuropsychological Battery*. *J Clin Psychol*, 1984. **40**(1): p. 259-65.
43. Lannoo, E., et al., *Course of neuropsychological recovery from moderate-to-severe head injury: a 2-year follow-up*. *Brain Inj*, 2001. **15**(1): p. 1-13.
44. Levin, H.S., *Neurobehavioral outcome of closed head injury: implications for clinical trials*. *J Neurotrauma*, 1995. **12**(4): p. 601-10.
45. Whitlock, J.A., Jr. and B.B. Hamilton, *Functional outcome after rehabilitation for severe traumatic brain injury*. *Arch Phys Med Rehabil*, 1995. **76**(12): p. 1103-12.
46. Hukkelhoven, C.W., et al., *Patient age and outcome following severe traumatic brain injury: an analysis of 5600 patients*. *J Neurosurg*, 2003. **99**(4): p. 666-73.
47. Kersel, D.A., et al., *Neuropsychological functioning during the year following severe traumatic brain injury*. *Brain Inj*, 2001. **15**(4): p. 283-96.
48. Conzen, M., et al., *Long-term neuropsychological outcome after severe head injury with good recovery*. *Brain Inj*, 1992. **6**(1): p. 45-52.

49. Wong, P.P., G. Monette, and N.I. Weiner, *Mathematical models of cognitive recovery*. Brain Inj, 2001. **15**(6): p. 519-30.
50. Choi, S.C., et al., *Temporal profile of outcomes in severe head injury*. J Neurosurg, 1994. **81**(2): p. 169-73.
51. Hammond, F.M., et al., *Long-term recovery course after traumatic brain injury: a comparison of the functional independence measure and disability rating scale*. J Head Trauma Rehabil, 2001. **16**(4): p. 318-29.
52. Hammond, F.M., et al., *Five years after traumatic brain injury: a study of individual outcomes and predictors of change in function*. NeuroRehabilitation, 2004. **19**(1): p. 25-35.
53. Sbordone, R.J., J.C. Liter, and P. Pettler-Jennings, *Recovery of function following severe traumatic brain injury: a retrospective 10-year follow-up*. Brain Inj, 1995. **9**(3): p. 285-99.
54. Shallice, T., *Phonological agraphia and the lexical route in writing*. Brain, 1981. **104**(3): p. 413-29.
55. Rossion, B., C. Schiltz, and M. Crommelinck, *The functionally defined right occipital and fusiform "face areas" discriminate novel from visually familiar faces*. Neuroimage, 2003. **19**(3): p. 877-83.
56. Schiltz, C., et al., *Impaired face discrimination in acquired prosopagnosia is associated with abnormal response to individual faces in the right middle fusiform gyrus*. Cereb Cortex, 2006. **16**(4): p. 574-86.
57. Busigny, T., et al., *Acquired prosopagnosia as a face-specific disorder: ruling out the general visual similarity account*. Neuropsychologia, 2010. **48**(7): p. 2051-67.
58. Ramon, M., T. Busigny, and B. Rossion, *Impaired holistic processing of unfamiliar individual faces in acquired prosopagnosia*. Neuropsychologia, 2010. **48**(4): p. 933-44.
59. Bornstein, B. and D.P. Kidron, *Prosopagnosia*. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 1959. **22**(2): p. 124-31.
60. Shuttleworth, E.C., Jr., V. Syring, and N. Allen, *Further observations on the nature of prosopagnosia*. Brain Cogn, 1982. **1**(3): p. 307-22.
61. Spillmann, L., et al., *Stroke-blind for colors, faces and locations: Partial recovery after three years*. Restor Neurol Neurosci, 2000. **17**(2-3): p. 89-103.
62. Rezliescu, C., D. Pitcher, and B. Duchaine, *Acquired prosopagnosia with spared within-class object recognition but impaired recognition of degraded basic-level objects*. Cogn Neuropsychol, 2012. **29**(4): p. 325-47.
63. Busigny, T. and B. Rossion, *Acquired prosopagnosia abolishes the face inversion effect*. Cortex, 2010. **46**(8): p. 965-81.
64. Bodamer, J., *Die Prosopagnosie*. Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrank, 1947(179): p. 6-53.
65. McConachie, H.R., *Developmental prosopagnosia. A single case report*. Cortex, 1976. **12**(1): p. 76-82.
66. Damasio, A.R., D. Tranel, and H. Damasio, *Face agnosia and the neural substrates of memory*. Annu Rev Neurosci, 1990. **13**: p. 89-109.
67. De Renzi, E., et al., *Apperceptive and associative forms of prosopagnosia*. Cortex, 1991. **27**(2): p. 213-21.
68. Barton, J.J., *Structure and function in acquired prosopagnosia: lessons from a series of 10 patients with brain damage*. J Neuropsychol, 2008. **2**(Pt 1): p. 197-225.
69. Bruce, V. and A. Young, *Understanding face recognition*. Br J Psychol, 1986. **77 ( Pt 3)**: p. 305-27.
70. Young, A.W. and V. Bruce, *Understanding person perception*. Br J Psychol, 2011. **102**(4): p. 959-74.
71. Freiwald, W.A., D.Y. Tsao, and M.S. Livingstone, *A face feature space in the macaque temporal lobe*. Nat Neurosci, 2009. **12**(9): p. 1187-96.

72. Ellis, H.D., *Processes Underlying Face Recognition*, in *The Neuropsychology of Face Perception and Facial Expression*, R. Bruyer, Editor 1986, Lawrence Erlbaum: Hillsdale NJ. p. 1-27.
73. Bartlett, J.C. and J.H.A. Searcy, H. , *What are the routes to face recognition?*, in *Perception of faces, objects and scenes: analytic and holistic processes*, G.R. M. Peterson, Editor 2003, Oxford University Press: Oxford. p. 21-52.
74. Maurer, D., R.L. Grand, and C.J. Mondloch, *The many faces of configural processing*. Trends Cogn Sci, 2002. **6**(6): p. 255-260.
75. Rossion, B., *Picture-plane inversion leads to qualitative changes of face perception*. Acta Psychol (Amst), 2008. **128**(2): p. 274-89.
76. Busigny, T., et al., *Holistic perception of the individual face is specific and necessary: evidence from an extensive case study of acquired prosopagnosia*. Neuropsychologia, 2010. **48**(14): p. 4057-92.
77. Boutsen, L. and G.W. Humphreys, *Face context interferes with local part processing in a prosopagnosic patient*. Neuropsychologia, 2002. **40**(13): p. 2305-13.
78. Farah, M.J., *Is face recognition 'special'? Evidence from neuropsychology*. Behav Brain Res, 1996. **76**(1-2): p. 181-9.
79. Saumier, D., M. Arguin, and M. Lassonde, *Prosopagnosia: a case study involving problems in processing configural information*. Brain Cogn, 2001. **46**(1-2): p. 255-9.
80. Wilkinson, D., et al., *Unilateral damage to the right cerebral hemisphere disrupts the apprehension of whole faces and their component parts*. Neuropsychologia, 2009. **47**(7): p. 1701-11.
81. Bukach, C.M., et al., *Perceptual expertise effects are not all or none: spatially limited perceptual expertise for faces in a case of prosopagnosia*. J Cogn Neurosci, 2006. **18**(1): p. 48-63.
82. Biedermann, I., *Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding*. Psychological Review, 1987. **94**(2): p. 115-147.
83. Treisman, A., *Features and objects in visual processing*. Scientific American, 1986. **255**(5): p. 114 - 125
84. Biedermann, I.K., P. , *Neurocomputational bases of object and face recognition*. Phil.Trans. R. Soc. Lond. B 1997. **352**: p. 1203-1219.
85. Moscovitch, M., G. Winocur, and M. Behrmann, *What Is Special about Face Recognition? Nineteen Experiments on a Person with Visual Object Agnosia and Dyslexia but Normal Face Recognition*. J Cogn Neurosci, 1997. **9**(5): p. 555-604.
86. Kimchi, R., *Primacy of wholistic processing and global/local paradigm: a critical review*. Psychol Bull, 1992. **112**(1): p. 24-38.
87. Yin, R.K., *Looking at upside-down faces*. Journal of Experimental Psychology, 1969. **81**(1): p. 141-145.
88. Xu, B. and J.W. Tanaka, *Does face inversion qualitatively change face processing: an eye movement study using a face change detection task*. J Vis, 2013. **13**(2).
89. Riesenhuber, M., et al., *Face processing in humans is compatible with a simple shape-based model of vision*. Proc Biol Sci, 2004. **271 Suppl 6**: p. S448-50.
90. Yovel, G. and B. Duchaine, *Specialized face perception mechanisms extract both part and spacing information: evidence from developmental prosopagnosia*. J Cogn Neurosci, 2006. **18**(4): p. 580-93.
91. Yovel, G. and N. Kanwisher, *Face perception: domain specific, not process specific*. Neuron, 2004. **44**(5): p. 889-98.
92. Riesenhuber, M. and B.S. Wolff, *Task effects, performance levels, features, configurations, and holistic face processing: a reply to Rossion*. Acta Psychol (Amst), 2009. **132**(3): p. 286-92.

93. Yovel, G., *The shape of facial features and the spacing among them generate similar inversion effects: a reply to Rossion (2008)*. Acta Psychol (Amst), 2009. **132**(3): p. 293-9.
94. Rhodes, G., S. Brake, and A.P. Atkinson, *What's lost in inverted faces?* Cognition, 1993. **47**(1): p. 25-57.
95. Leder, H. and C.C. Carbon, *Face-specific configural processing of relational information*. Br J Psychol, 2006. **97**(Pt 1): p. 19-29.
96. Van Belle, G., et al., *Face inversion impairs holistic perception: evidence from gaze-contingent stimulation*. J Vis, 2010. **10**(5): p. 10.
97. Goffaux, V. and B. Rossion, *Face inversion disproportionately impairs the perception of vertical but not horizontal relations between features*. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 2007. **33**(4): p. 995-1002.
98. Rossion, B., *Distinguishing the cause and consequence of face inversion: the perceptual field hypothesis*. Acta Psychol (Amst), 2009. **132**(3): p. 300-12.
99. Farah, M.J., et al., *The inverted face inversion effect in prosopagnosia: evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms*. Vision Res, 1995. **35**(14): p. 2089-93.
100. de Gelder, B. and R. Rouw, *Paradoxical configuration effects for faces and objects in prosopagnosia*. Neuropsychologia, 2000. **38**(9): p. 1271-9.
101. Diamond, R. and S. Carey, *Why faces are and are not special: an effect of expertise*. J Exp Psychol Gen, 1986. **115**(2): p. 107-17.
102. Gauthier, I. and M.J. Tarr, *Becoming a "Greeble" expert: exploring mechanisms for face recognition*. Vision Res, 1997. **37**(12): p. 1673-82.
103. Rossion, B. and T. Curran, *Visual expertise with pictures of cars correlates with RT magnitude of the car inversion effect*. Perception, 2010. **39**(2): p. 173-83.
104. Robbins, R. and E. McKone, *No face-like processing for objects-of-expertise in three behavioural tasks*. Cognition, 2007. **103**(1): p. 34-79.
105. Bornstein, B., *Prosopagnosia*. In L. Halpern (Ed.), Problems of dynamic neurology, 1963(Jerusalem: Hadassah Medical School): p. pp. 283-3 18.
106. Bornstein, B., H. Sroka, and H. Munitz, *Prosopagnosia with animal face agnosia*. Cortex, 1969. **5**(2): p. 164-9.
107. Clarke, S., et al., *Face recognition and postero-inferior hemispheric lesions*. Neuropsychologia, 1997. **35**(12): p. 1555-63.
108. Gauthier, I. and C. Bukach, *Should we reject the expertise hypothesis?* Cognition, 2007. **103**(2): p. 322-30.
109. McKone, E. and R. Robbins, *The evidence rejects the expertise hypothesis: reply to Gauthier & Bukach*. Cognition, 2007. **103**(2): p. 331-6.
110. Bobes, M.A., et al., *Covert matching of unfamiliar faces in a case of prosopagnosia: an ERP study*. Cortex, 2003. **39**(1): p. 41-56.
111. Bruyer, R., et al., *A case of prosopagnosia with some preserved covert remembrance of familiar faces*. Brain Cogn, 1983. **2**(3): p. 257-84.
112. Etcoff, N.L., R. Freeman, and K.R. Cave, *Can we lose memories of faces? Content specificity and awareness in a prosopagnosic*. J Cogn Neurosci, 1991. **3**(1): p. 25-41.
113. Steeves, J.K., et al., *The fusiform face area is not sufficient for face recognition: evidence from a patient with dense prosopagnosia and no occipital face area*. Neuropsychologia, 2006. **44**(4): p. 594-609.
114. Young, A.W., E.H. de Haan, and F. Newcombe, *Unawareness of impaired face recognition*. Brain Cogn, 1990. **14**(1): p. 1-18.
115. Tanaka, J.W., *The entry point of face recognition: evidence for face expertise*. J Exp Psychol Gen, 2001. **130**(3): p. 534-43.

116. Damasio, A.R., H. Damasio, and G.W. Van Hoesen, *Prosopagnosia: anatomic basis and behavioral mechanisms*. *Neurology*, 1982. **32**(4): p. 331-41.
117. Gauthier, I., et al., *Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects*. *Nat Neurosci*, 1999. **2**(6): p. 568-73.
118. Whiteley, A.M. and E.K. Warrington, *Prosopagnosia: a clinical, psychological, and anatomical study of three patients*. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1977. **40**(4): p. 395-403.
119. McNeil, J.E. and E.K. Warrington, *Prosopagnosia: a face-specific disorder*. *Q J Exp Psychol A*, 1993. **46**(1): p. 1-10.
120. De Renzi, E., et al., *Prosopagnosia can be associated with damage confined to the right hemisphere--an MRI and PET study and a review of the literature*. *Neuropsychologia*, 1994. **32**(8): p. 893-902.
121. Wada, Y. and T. Yamamoto, *Selective impairment of facial recognition due to a haematoma restricted to the right fusiform and lateral occipital region*. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2001. **71**(2): p. 254-7.
122. Rivest, J., M. Moscovitch, and S. Black, *A comparative case study of face recognition: the contribution of configural and part-based recognition systems, and their interaction*. *Neuropsychologia*, 2009. **47**(13): p. 2798-811.
123. Riddoch, M.J., et al., *Are faces special? A case of pure prosopagnosia*. *Cogn Neuropsychol*, 2008. **25**(1): p. 3-26.
124. Evans, J.J., et al., *Progressive prosopagnosia associated with selective right temporal lobe atrophy. A new syndrome?* *Brain*, 1995. **118 ( Pt 1)**: p. 1-13.
125. Nunn, J.A., P. Postma, and R. Pearson, *Developmental prosopagnosia: should it be taken at face value?* *Neurocase*, 2001. **7**(1): p. 15-27.
126. Schweinberger, S.R., T. Klos, and W. Sommer, *Covert face recognition in prosopagnosia: a dissociable function?* *Cortex*, 1995. **31**(3): p. 517-29.
127. Henke, K., et al., *Specificity of face recognition: recognition of exemplars of non-face objects in prosopagnosia*. *Cortex*, 1998. **34**(2): p. 289-96.
128. Farah, M.J., K.L. Levinson, and K.L. Klein, *Face perception and within-category discrimination in prosopagnosia*. *Neuropsychologia*, 1995. **33**(6): p. 661-74.
129. Buxbaum, L.J., et al., *Mental rotation may underlie apparent object-based neglect*. *Neuropsychologia*, 1996. **34**(2): p. 113-26.
130. De Renzi, E. and G. di Pellegrino, *Prosopagnosia and alexia without object agnosia*. *Cortex*, 1998. **34**(3): p. 403-15.
131. Germine, L., et al., *A new selective developmental deficit: Impaired object recognition with normal face recognition*. *Cortex*, 2011. **47**(5): p. 598-607.
132. Stoesz, B.M. and L.S. Jakobson, *A sex difference in interference between identity and expression judgments with static but not dynamic faces*. *J Vis*, 2013. **13**(5): p. 26.
133. Roberts, T. and V. Bruce, *Feature saliency in judging the sex and familiarity of faces*. *Perception*, 1988. **17**(4): p. 475-81.
134. Schyns, P.G., L. Bonnar, and F. Gosselin, *Show me the features! Understanding recognition from the use of visual information*. *Psychol Sci*, 2002. **13**(5): p. 402-9.
135. Bruce, V., et al., *Parallel processing of the sex and familiarity of faces*. *Can J Psychol*, 1987. **41**(4): p. 510-20.
136. Richards, R.M. and A.W. Ellis, *Mechanisms of identity and gender decisions to faces: who rocked in 1986?* *Perception*, 2008. **37**(11): p. 1700-19.
137. Hoss, R.A., et al., *The role of facial attractiveness and facial masculinity/femininity in sex classification of faces*. *Perception*, 2005. **34**(12): p. 1459-74.
138. Moore, V.V.T., *The effects of age of acquisition in processing famous faces and names: Exploring the locus and proposing a mechanism*, in *Proceedings of the Twenty-first Annual*

- Meeting of the Cognitive Science Society*, N.L.E.A. Mahwah, Editor 1999: Vancouver. p. 416-421.
139. Rossion, B., *Is sex categorization from faces really parallel to face recognition?* Visual Cognition, 2002. **9**(8): p. 1003-1020.
140. Clutterbuck, R. and R.A. Johnston, *Demonstrating the acquired familiarity of faces by using a gender-decision task.* Perception, 2004. **33**(2): p. 159-68.
141. Balas, B., D. Cox, and E. Conwell, *The effect of real-world personal familiarity on the speed of face information processing.* PLoS One, 2007. **2**(11): p. e1223.
142. Ellis, A.W., A.W. Young, and B.M. Flude, *Repetition priming and face processing: priming occurs within the system that responds to the identity of a face.* Q J Exp Psychol A, 1990. **42**(3): p. 495-512.
143. Goshen-Gottstein, Y. and T. Ganel, *Repetition priming for familiar and unfamiliar faces in a sex-judgment task: evidence for a common route for the processing of sex and identity.* J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 2000. **26**(5): p. 1198-214.
144. Ganel, T. and Y. Goshen-Gottstein, *Perceptual integrality of sex and identity of faces: further evidence for the single-route hypothesis.* J Exp Psychol Hum Percept Perform, 2002. **28**(4): p. 854-67.
145. Garner, W.R., *The processing of information and structure* 1974, Potomac, MD Lawrence Erlbaum Associates.
146. Campanella, S., A. Chrysochoos, and R. Bruyer, *Categorical perception of facial gender information: behavioural evidence and the face-space metaphor.* Visual Cognition, 2001. **8**: p. 237-262.
147. Bülthoff, I. and F.N. Newell, *Categorical perception of sex occurs in familiar but not unfamiliar faces.* Visual Cognition, 2004. **11**(7): p. 823-855.
148. Armann, R. and I. Bulthoff, *Male and female faces are only perceived categorically when linked to familiar identities--and when in doubt, he is a male.* Vision Res, 2012. **63**: p. 69-80.
149. Baudouin, J.Y. and G. Tiberghien, *Gender is a dimension of face recognition.* J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 2002. **28**(2): p. 362-5.
150. Blanz, V.V., T. *A morphable model for the synthesis of 3D faces.* in SIGGRAPH '99 Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques 1999. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. .
151. Leopold, D.A., et al., *Prototype-referenced shape encoding revealed by high-level aftereffects.* Nat Neurosci, 2001. **4**(1): p. 89-94.
152. Rhodes, G. and D.A. Leopold, *Adaptive norm-based coding of facial identity*, in *Oxford Handbook of Face Perception*, A. Calder, et al., Editors. 2011, Oxford University Press Inc.: Oxford New York.
153. Rhodes, G., et al., *Fitting the mind to the world: face adaptation and attractiveness aftereffects.* Psychol Sci, 2003. **14**(6): p. 558-66.
154. Rhodes, G. and L. Jeffery, *Adaptive norm-based coding of facial identity.* Vision Res, 2006. **46**(18): p. 2977-87.
155. Rhodes, G., et al., *Sex-specific norms code face identity.* J Vis, 2011. **11**(1): p. 1.
156. Bestelmeyer, P.E., et al., *Sex-contingent face aftereffects depend on perceptual category rather than structural encoding.* Cognition, 2008. **107**(1): p. 353-65.
157. Little, A.C., L.M. DeBruine, and B.C. Jones, *Sex-contingent face after-effects suggest distinct neural populations code male and female faces.* Proc Biol Sci, 2005. **272**(1578): p. 2283-7.
158. Little, A.C., et al., *Adaptation to antifaces and the perception of correct famous identity in an average face.* Front Psychol, 2012. **3**: p. 19.
159. Tsao, D.Y. and W.A. Freiwald, *What's so special about the average face?* Trends Cogn Sci, 2006. **10**(9): p. 391-3.

160. Jaquet, E. and G. Rhodes, *Face aftereffects indicate dissociable, but not distinct, coding of male and female faces*. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 2008. **34**(1): p. 101-12.
161. Griffin, H.J., P.W. McOwan, and A. Johnston, *Relative faces: encoding of family resemblance relative to gender means in face space*. J Vis, 2011. **11**(12).
162. Tranel, D., A.R. Damasio, and H. Damasio, *Intact recognition of facial expression, gender, and age in patients with impaired recognition of face identity*. Neurology, 1988. **38**(5): p. 690-6.
163. Sergent, J. and J.G. Villemure, *Prosopagnosia in a right hemispherectomized patient*. Brain, 1989. **112 ( Pt 4)**: p. 975-95.
164. Humphreys, G.W., N. Donnelly, and M.J. Riddoch, *Expression is computed separately from facial identity, and it is computed separately for moving and static faces: neuropsychological evidence*. Neuropsychologia, 1993. **31**(2): p. 173-81.
165. Adolphs, R., et al., *Fear and the human amygdala*. J Neurosci, 1995. **15**(9): p. 5879-91.
166. Ekman, P., *Basic Emotions*, in *Handbook of Cognition and Emotion*, T.D.a.M. Power, Editor 1999, John Wiley & Sons: Sussex, U.K.
167. Haxby, J.V., E.A. Hoffman, and M.I. Gobbini, *The distributed human neural system for face perception*. Trends Cogn Sci, 2000. **4**(6): p. 223-233.
168. Coolican, J., et al., *Perceptual biases in processing facial identity and emotion*. Brain Cogn, 2008. **66**(2): p. 176-87.
169. Young, A.W., et al., *Matching familiar and unfamiliar faces on identity and expression*. Psychol Res, 1986. **48**(2): p. 63-8.
170. Bruce, V., *Influences of familiarity on the processing of faces*. Perception, 1986. **15**(4): p. 387-97.
171. Campbell, R., et al., *Dissociating face processing skills: decision about lip-read speech, expression, and identity*. Q J Exp Psychol A, 1996. **49**(2): p. 295-314.
172. Baudouin, J.Y., et al., *When the smile is a cue to familiarity*. Memory, 2000. **8**(5): p. 285-92.
173. Kaufmann, J.M. and S.R. Schweinberger, *Expression influences the recognition of familiar faces*. Perception, 2004. **33**(4): p. 399-408.
174. Dobel, C., et al., *On the interplay between familiarity and emotional expression in face perception*. Psychol Res, 2008. **72**(5): p. 580-6.
175. Calder, A.J.Y., A.W., D.I. Perrett, and N.L.R. Etcoff, D., *Categorical perception of morphed facial expressions*. Visual Cognition, 1996. **3**(2): p. 81-117.
176. Etcoff, N.L. and J.J. Magee, *Categorical perception of facial expressions*. Cognition, 1992. **44**(3): p. 227-40.
177. Etcoff, N.L., *Selective attention to facial identity and facial emotion*. Neuropsychologia, 1984. **22**(3): p. 281-95.
178. Schweinberger, S.R. and G.R. Soukup, *Asymmetric relationships among perceptions of facial identity, emotion, and facial speech*. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 1998. **24**(6): p. 1748-65.
179. Schweinberger, S.R., A.M. Burton, and S.W. Kelly, *Asymmetric dependencies in perceiving identity and emotion: experiments with morphed faces*. Percept Psychophys, 1999. **61**(6): p. 1102-15.
180. Baudouin, J.Y., et al., *Selective attention to facial emotion and identity in schizophrenia*. Neuropsychologia, 2002. **40**(5): p. 503-11.
181. Galster, M., et al., *Identity modulates short-term memory for facial emotion*. Cogn Affect Behav Neurosci, 2009. **9**(4): p. 412-26.
182. Spangler, S.M., et al., *The relationships between processing facial identity, emotional expression, facial speech, and gaze direction during development*. J Exp Child Psychol, 2010. **105**(1-2): p. 1-19.

183. Ganel, T. and Y. Goshen-Gottstein, *Effects of familiarity on the perceptual integrality of the identity and expression of faces: the parallel-route hypothesis revisited*. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 2004. **30**(3): p. 583-97.
184. Yankouskaya, A., D.A. Booth, and G. Humphreys, *Interactions between facial emotion and identity in face processing: evidence based on redundancy gains*. Atten Percept Psychophys, 2012. **74**(8): p. 1692-711.
185. Ellamil, M., J.M. Susskind, and A.K. Anderson, *Examinations of identity invariance in facial expression adaptation*. Cogn Affect Behav Neurosci, 2008. **8**(3): p. 273-81.
186. Fox, C.J. and J.J. Barton, *What is adapted in face adaptation? The neural representations of expression in the human visual system*. Brain Res, 2007. **1127**(1): p. 80-9.
187. Fox, C.J., I. Oruc, and J.J. Barton, *It doesn't matter how you feel. The facial identity aftereffect is invariant to changes in facial expression*. J Vis, 2008. **8**(3): p. 11 1-13.
188. Calder, A.J., et al., *Configural information in facial expression perception*. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 2000. **26**(2): p. 527-51.
189. Calder, A.J., et al., *A principal component analysis of facial expressions*. Vision Res, 2001. **41**(9): p. 1179-208.
190. Calder, A.J. and A.W. Young, *Understanding the recognition of facial identity and facial expression*. Nat Rev Neurosci, 2005. **6**(8): p. 641-51.
191. Deruelle, C. and J. Fagot, *Categorizing facial identities, emotions, and genders: attention to high- and low-spatial frequencies by children and adults*. J Exp Child Psychol, 2005. **90**(2): p. 172-84.
192. Bowers, D., et al., *Processing of faces by patients with unilateral hemisphere lesions. I. Dissociation between judgments of facial affect and facial identity*. Brain Cogn, 1985. **4**(3): p. 258-72.
193. Jones, R.D. and D. Tranel, *Severe developmental prosopagnosia in a child with superior intellect*. J Clin Exp Neuropsychol, 2001. **23**(3): p. 265-73.
194. Sergent, J., *The Processing of Faces in Cerebral Cortex*. in: Functional Organization of the Human Visual Cortex (Guyas, Ottoson, Roland), 1993.
195. Humphreys, K., G. Avidan, and M. Behrmann, *A detailed investigation of facial expression processing in congenital prosopagnosia as compared to acquired prosopagnosia*. Exp Brain Res, 2007. **176**(2): p. 356-73.
196. Duchaine, B.C., H. Parker, and K. Nakayama, *Normal recognition of emotion in a prosopagnosic*. Perception, 2003. **32**(7): p. 827-38.
197. Kurucz, J. and G. Feldmar, *Prosopo-affective agnosia as a symptom of cerebral organic disease*. J Am Geriatr Soc, 1979. **27**(5): p. 225-30.
198. Adolphs, R., et al., *Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala*. Nature, 1994. **372**(6507): p. 669-72.
199. Ellis, H.D. and M.B. Lewis, *Capgras delusion: a window on face recognition*. Trends Cogn Sci, 2001. **5**(4): p. 149-156.
200. Young, A.W., et al., *Face perception after brain injury. Selective impairments affecting identity and expression*. Brain, 1993. **116** ( Pt 4): p. 941-59.
201. Parry, F.M., et al., *Dissociable face processing impairments after brain injury*. J Clin Exp Neuropsychol, 1991. **13**(4): p. 545-58.
202. Fox, C.J., et al., *Perceptual and anatomic patterns of selective deficits in facial identity and expression processing*. Neuropsychologia, 2011. **49**(12): p. 3188-200.
203. Posamentier, M.T. and H. Abdi, *Processing faces and facial expressions*. Neuropsychol Rev, 2003. **13**(3): p. 113-43.
204. Keane, J., et al., *Face and emotion processing in frontal variant frontotemporal dementia*. Neuropsychologia, 2002. **40**(6): p. 655-65.

205. Calder, A.J., et al., *Impaired recognition and experience of disgust following brain injury*. Nat Neurosci, 2000. **3**(11): p. 1077-8.
206. Scott, S.K., et al., *Impaired auditory recognition of fear and anger following bilateral amygdala lesions*. Nature, 1997. **385**(6613): p. 254-7.
207. Sprengelmeyer, R., et al., *Knowing no fear*. Proc Biol Sci, 1999. **266**(1437): p. 2451-6.
208. Sergent, J., S. Ohta, and B. MacDonald, *Functional neuroanatomy of face and object processing. A positron emission tomography study*. Brain, 1992. **115 Pt 1**: p. 15-36.
209. Haxby, J.V., et al., *The functional organization of human extrastriate cortex: a PET-rCBF study of selective attention to faces and locations*. J Neurosci, 1994. **14**(11 Pt 1): p. 6336-53.
210. Puce, A., et al., *Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: a functional magnetic resonance imaging study*. J Neurosci, 1996. **16**(16): p. 5205-15.
211. Gauthier, I., et al., *The fusiform "face area" is part of a network that processes faces at the individual level*. J Cogn Neurosci, 2000. **12**(3): p. 495-504.
212. McCarthy, G., et al., *Face-specific processing in the human fusiform gyrus*. J Cogn Neurosci, 1997. **9**(5): p. 605-10.
213. Haxby, J.V., et al., *The effect of face inversion on activity in human neural systems for face and object perception*. Neuron, 1999. **22**(1): p. 189-99.
214. Aguirre, G.K., E. Zarahn, and M. D'Esposito, *An area within human ventral cortex sensitive to "building" stimuli: evidence and implications*. Neuron, 1998. **21**(2): p. 373-83.
215. Ishai, A., et al., *Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway*. Proc Natl Acad Sci U S A, 1999. **96**(16): p. 9379-84.
216. Kanwisher, N., J. McDermott, and M.M. Chun, *The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception*. J Neurosci, 1997. **17**(11): p. 4302-11.
217. Chao, L.L., J.V. Haxby, and A. Martin, *Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects*. Nat Neurosci, 1999. **2**(10): p. 913-9.
218. Schwarzlose, R.F., C.I. Baker, and N. Kanwisher, *Separate face and body selectivity on the fusiform gyrus*. J Neurosci, 2005. **25**(47): p. 11055-9.
219. Tong, F., et al., *Response properties of the human fusiform face area*. Cogn Neuropsychol, 2000. **17**(1): p. 257-80.
220. Spiridon, M. and N. Kanwisher, *How distributed is visual category information in human occipito-temporal cortex? An fMRI study*. Neuron, 2002. **35**(6): p. 1157-65.
221. Andrews, T.J., et al., *Activity in the fusiform gyrus predicts conscious perception of Rubin's vase-face illusion*. Neuroimage, 2002. **17**(2): p. 890-901.
222. Hasson, U., et al., *Vase or face? A neural correlate of shape-selective grouping processes in the human brain*. J Cogn Neurosci, 2001. **13**(6): p. 744-53.
223. Hoffman, E.A. and J.V. Haxby, *Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception*. Nat Neurosci, 2000. **3**(1): p. 80-4.
224. Ishai, A., J.V. Haxby, and L.G. Ungerleider, *Visual imagery of famous faces: effects of memory and attention revealed by fMRI*. Neuroimage, 2002. **17**(4): p. 1729-41.
225. Adolphs, R., *Social cognition and the human brain*. Trends Cogn Sci, 1999. **3**(12): p. 469-479.
226. Phillips, M.L., et al., *Neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust*. Proc Biol Sci, 1998. **265**(1408): p. 1809-17.
227. Phillips, M.L., et al., *A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust*. Nature, 1997. **389**(6650): p. 495-8.
228. Breiter, H.C., et al., *Response and habituation of the human amygdala during visual processing of facial expression*. Neuron, 1996. **17**(5): p. 875-87.
229. Morris, J.S., et al., *A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions*. Nature, 1996. **383**(6603): p. 812-5.

230. George, N., et al., *Contrast polarity and face recognition in the human fusiform gyrus*. Nat Neurosci, 1999. **2**(6): p. 574-80.
231. Grill-Spector, K., N. Knouf, and N. Kanwisher, *The fusiform face area subserves face perception, not generic within-category identification*. Nat Neurosci, 2004. **7**(5): p. 555-62.
232. Rotshtein, P., et al., *Morphing Marilyn into Maggie dissociates physical and identity face representations in the brain*. Nat Neurosci, 2005. **8**(1): p. 107-13.
233. Puce, A., et al., *Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements*. J Neurosci, 1998. **18**(6): p. 2188-99.
234. Andrews, T.J. and M.P. Ewbank, *Distinct representations for facial identity and changeable aspects of faces in the human temporal lobe*. Neuroimage, 2004. **23**(3): p. 905-13.
235. Winston, J.S., et al., *fMRI-adaptation reveals dissociable neural representations of identity and expression in face perception*. J Neurophysiol, 2004. **92**(3): p. 1830-9.
236. Ganel, T., et al., *The involvement of the "fusiform face area" in processing facial expression*. Neuropsychologia, 2005. **43**(11): p. 1645-54.
237. Vuilleumier, P. and G. Pourtois, *Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging*. Neuropsychologia, 2007. **45**(1): p. 174-94.
238. Haxby, J.V., E.A. Hoffman, and M.I. Gobbini, *Human neural systems for face recognition and social communication*. Biol Psychiatry, 2002. **51**(1): p. 59-67.
239. Gobbini, M.I. and J.V. Haxby, *Neural systems for recognition of familiar faces*. Neuropsychologia, 2007. **45**(1): p. 32-41.
240. Yovel, G. and W.A. Freiwald, *Face recognition systems in monkey and human: are they the same thing?* F1000Prime Rep, 2013. **5**: p. 10.
241. Zhen, Z., H. Fang, and J. Liu, *The hierarchical brain network for face recognition*. PLoS One, 2013. **8**(3): p. e59886.
242. Pyles, J.A., et al., *Explicating the face perception network with white matter connectivity*. PLoS One, 2013. **8**(4): p. e61611.
243. Kanwisher, N. and G. Yovel, *The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2006. **361**(1476): p. 2109-28.
244. Tarr, M.J. and I. Gauthier, *FFA: a flexible fusiform area for subordinate-level visual processing automatized by expertise*. Nat Neurosci, 2000. **3**(8): p. 764-9.
245. Gauthier, I., et al., *Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition*. Nat Neurosci, 2000. **3**(2): p. 191-7.
246. Moore, C.D., M.X. Cohen, and C. Ranganath, *Neural mechanisms of expert skills in visual working memory*. J Neurosci, 2006. **26**(43): p. 11187-96.
247. Yue, X., B.S. Tjan, and I. Biederman, *What makes faces special?* Vision Res, 2006. **46**(22): p. 3802-11.
248. Op de Beeck, H.P., et al., *Discrimination training alters object representations in human extrastriate cortex*. J Neurosci, 2006. **26**(50): p. 13025-36.
249. Xu, Y., *Revisiting the role of the fusiform face area in visual expertise*. Cereb Cortex, 2005. **15**(8): p. 1234-42.
250. Rhodes, G., et al., *Is the fusiform face area specialized for faces, individuation, or expert individuation?* J Cogn Neurosci, 2004. **16**(2): p. 189-203.
251. Haxby, J.V., et al., *Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex*. Science, 2001. **293**(5539): p. 2425-30.
252. Ishai, A., et al., *The representation of objects in the human occipital and temporal cortex*. J Cogn Neurosci, 2000. **12 Suppl 2**: p. 35-51.
253. Pitcher, D., et al., *Triple dissociation of faces, bodies, and objects in extrastriate cortex*. Curr Biol, 2009. **19**(4): p. 319-24.

254. Perrett, D.I., E.T. Rolls, and W. Caan, *Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex*. *Exp Brain Res*, 1982. **47**(3): p. 329-42.
255. Tsao, D.Y., et al., *A cortical region consisting entirely of face-selective cells*. *Science*, 2006. **311**(5761): p. 670-4.
256. Gruter, T., M. Gruter, and C.C. Carbon, *Neural and genetic foundations of face recognition and prosopagnosia*. *J Neuropsychol*, 2008. **2**(Pt 1): p. 79-97.
257. Allison, T., et al., *Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipitotemporal cortex by face and non-face stimuli*. *Cereb Cortex*, 1999. **9**(5): p. 415-30.
258. McCarthy, G., et al., *Electrophysiological studies of human face perception. II: Response properties of face-specific potentials generated in occipitotemporal cortex*. *Cereb Cortex*, 1999. **9**(5): p. 431-44.
259. Puce, A., T. Allison, and G. McCarthy, *Electrophysiological studies of human face perception. III: Effects of top-down processing on face-specific potentials*. *Cereb Cortex*, 1999. **9**(5): p. 445-58.
260. Pitcher, D., V. Walsh, and B. Duchaine, *The role of the occipital face area in the cortical face perception network*. *Exp Brain Res*, 2011. **209**(4): p. 481-93.
261. Laws, K.R., et al., *When is category specific in Alzheimer's disease?* *Cortex*, 2005. **41**(4): p. 452-63.
262. Crawford, J.R. and P.H. Garthwaite, *Investigation of the single case in neuropsychology: confidence limits on the abnormality of test scores and test score differences*. *Neuropsychologia*, 2002. **40**(8): p. 1196-208.
263. Crawford, J.R.a.H., David C. , *Comparing an Individual's Test Score Against Norms Derived from Small Samples*. *The Clinical Neuropsychologist* 1998. **Vol. 12**(No. 4): p. pp. 482-486.
264. Sokal, R.R., & Rohlf, J. F., *Biometry*, ed. r. ed.1995 San Francisco: CA: W.H. Freeman.
265. Mycroft, R.H., D.C. Mitchell, and J. Kay, *An evaluation of statistical procedures for comparing an individual's performance with that of a group of controls*. *Cogn Neuropsychol*, 2002. **19**(4): p. 291-9.
266. Crawford, J.R., et al., *Inferential methods for comparing a single case with a control sample: modified t-tests versus mycroft et al.'s (2002) modified anova*. *Cogn Neuropsychol*, 2004. **21**(7): p. 750-5.
267. Crawford, J.R. and P.H. Garthwaite, *Testing for suspected impairments and dissociations in single-case studies in neuropsychology: evaluation of alternatives using monte carlo simulations and revised tests for dissociations*. *Neuropsychology*, 2005. **19**(3): p. 318-31.
268. Payne, R.W. and H.G. Jones, *Statistics for the investigation of individual cases*. *J Clin Psychol*, 1957. **13**(2): p. 115-21.
269. Crawford, J.R., D.C. Howell, and P.H. Garthwaite, *Payne and Jones revisited: estimating the abnormality of test score differences using a modified paired samples t test*. *J Clin Exp Neuropsychol*, 1998. **20**(6): p. 898-905.
270. Garthwaite, P.H., *Miscellanea. The distribution of the difference between two t-variates*. *Biometrika*, 2004. **91**(4): p. pp. 987-994.
271. Bach, M., *The Freiburg Visual Acuity Test-variability unchanged by post-hoc re-analysis*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2007. **245**(7): p. 965-71.
272. Bach, M., *The Freiburg Visual Acuity test--automatic measurement of visual acuity*. *Optom Vis Sci*, 1996. **73**(1): p. 49-53.
273. Duchaine, B. and K. Nakayama, *The Cambridge Face Memory Test: results for neurologically intact individuals and an investigation of its validity using inverted face stimuli and prosopagnosic participants*. *Neuropsychologia*, 2006. **44**(4): p. 576-85.

274. Derntl, B., et al., *Recognition of emotional expressions is affected by inversion and presentation time*. Perception, 2009. **38**(12): p. 1849-62.
275. Wiessner, B. and W. Felber, *[Agreement between 2 diagnostic intelligence test procedures (HAWIE and MWT-B) in a sample of patients with pronounced psychopathology]*. Psychiatr Neurol Med Psychol (Leipz), 1981. **33**(12): p. 744-8.
276. Duchaine, B.C. and A. Weidenfeld, *An evaluation of two commonly used tests of unfamiliar face recognition*. Neuropsychologia, 2003. **41**(6): p. 713-20.
277. Pallett, P.M. and M. Meng, *Inversion effects reveal dissociations in facial expression of emotion, gender, and object processing*. Front Psychol, 2015. **6**: p. 1029.
278. Aguado, L., A. Garcia-Gutierrez, and I. Serrano-Pedraza, *Symmetrical interaction of sex and expression in face classification tasks*. Atten Percept Psychophys, 2009. **71**(1): p. 9-25.
279. McKelvie, S.J., *Emotional expression in upside-down faces: evidence for configurational and componential processing*. Br J Soc Psychol, 1995. **34 ( Pt 3)**: p. 325-34.
280. Bombari, D., et al., *Emotion recognition: The role of featural and configural face information*. Q J Exp Psychol (Hove), 2013. **66**(12): p. 2426-42.
281. Adolphs, R., *Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms*. Behav Cogn Neurosci Rev, 2002. **1**(1): p. 21-62.
282. Leppanen, J.M. and J.K. Hietanen, *Positive facial expressions are recognized faster than negative facial expressions, but why?* Psychol Res, 2004. **69**(1-2): p. 22-9.
283. Ross, E.D., et al., *Decoding facial blends of emotion: visual field, attentional and hemispheric biases*. Brain Cogn, 2013. **83**(3): p. 252-61.
284. Park, J.W., et al., *Traumatic atypical tetraplegia without radiologic abnormalities including magnetic resonance imaging in an adult: a case report*. Ann Rehabil Med, 2015. **39**(1): p. 146-9.
285. Prabhu, S.P., *The role of neuroimaging in sport-related concussion*. Clin Sports Med, 2011. **30**(1): p. 103-14, ix.
286. Fox, C.J., G. Iaria, and J.J. Barton, *Disconnection in prosopagnosia and face processing*. Cortex, 2008. **44**(8): p. 996-1009.