



Kantonsschule Enge
Zürich

Einfluss von Zahlen und Farben auf ein synästhetisches Gehirn

Eine Analyse des Kurz- und Langzeitgedächtnisses und der Leistungen in visuellen
Suchaufgaben von einer Synästhetikerin

Eine Maturitätsarbeit verfasst von
Hanna Massamba
N4b
Kantonsschule Enge
Betreut von
Thomas Kindle
Datum der Abgabe: 17.12.2019

„Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benützung anderer als der angegebenen Quellen oder Hilfsmittel verfasst bzw. gestaltet habe.“

Ort, Datum

Name, Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Abstract	3
1. Einleitung	4
1.1 Motivation	4
1.2 Fragestellung und Herangehensweise	4
2. Synästhesie	5
2.1 Definition Synästhesie	5
2.2 Mögliche Ursachen für Synästhesie	6
2.3 Genuine und erworbene Synästhesie	7
2.4 Verschiedene Arten von Synästhesie	8
2.5 Fallstudien zu außergewöhnlichem Gedächtnis bei Synästhetikern	10
2.5.1 Solomon Shereshevskii	10
2.5.2 Daniel Tammet	10
2.6 Paulinas Synästhesie	11
3. Experimente 1: Zahlen merken	12
3.1 Auswertung des Experiments 1	15
4. Experiment 2: Zahlen finden	20
4.1 Telexperiment 1: Versteckte Zahl finden	20
4.1.1 Auswertung des Telexperiments 1: Versteckte Zahl finden.....	22
4.2 Telexperiment 2 (Version 1): Farbige Zahlen finden und zählen	25
4.2.1 Auswertung des Telexperiments 2 (Version 1): Farbige Zahlen finden und zählen	27
4.3 Telexperiment 2 (Version 2): Farbige Zahlen finden und zählen	29
4.3.1 Auswertung des Telexperiments 2 (Version 2): Farbige Zahlen finden und zählen	31
5. Schlussfolgerung	33
6. Fazit/Reflexion	34
7. Danksagung	37
8. Literaturverzeichnis	38
8.1 Bücher und Forschungen	38
8.2 Internetquellen	39
8.3 Abbildungsverzeichnis	39
9. Anhang	41
.....	43

Abstract

In dieser Arbeit analysiere ich die Aufnahmefähigkeit des Kurz- und Langzeitgedächtnisses und die Leistungen in visuellen Suchaufgaben der 17-jährigen Synästhetikerin P im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. P hat eine der häufigsten Formen der Synästhesie, die Graphem-Farb-Synästhesie, mittels derer sie geschriebene Zahlen automatisch mit einer dazugehörigen Farbe verknüpft.

Im ersten Experiment wurde Ps Kurz- und Langzeitgedächtnis mit Hilfe von drei verschiedenen Matrizen geprüft. Die 55 Zahlen, der drei Matrizen waren entweder schwarz, kongruent oder inkongruent zu Ps Wahrnehmung gefärbt. Nach 48 Stunden wurde das Experiment gekürzt wiederholt. Ps Synästhesie hat ihr im Kurz- und Langzeitgedächtnis eine enorme Hilfe geleistet, in Bezug auf das Abrufen der Zahlen.

Die beiden Teilexperimente des zweiten Experiments haben Ps Synästhesie in Bezug auf ihre Leistungen in visuellen Suchaufgaben getestet. Das erste Teilexperiment testete ihre Suchgeschwindigkeit, als sie eine schwarze Zahl inmitten einer grossen Anzahl anderer schwarzer Zahlen finden musste. Ich wollte beobachten, ob P die Zahl schneller finden würde als die Kontrollgruppe, da sie sozusagen der herausstechenden Farbe folgen musste. Es kam heraus, dass P die Zahl zuerst identifizieren musste, der Stimulus also zuerst eintreten musste, bevor das Farberlebnis ausgelöst werden konnte.

Im zweiten Teilexperiment musste P eine bestimmte Zahl in einer bestimmten Farbe suchen und zählen, wobei die Zahlen-Farb-Kombination nicht immer kongruent zu ihrer Wahrnehmung war. Zwischen diesen farbigen Zahlen befanden sich nicht gefärbte Störzahlen, die P so manipulieren sollten, dass sie die Störzahlen, aufgrund ihrer synästhetischen Wahrnehmung mitzählen würde. Dies war jedoch nicht der Fall, da P die subjektiv gefärbten Störzahlen auf ihrem inneren Monitor gut von den effektiv gefärbten Zahlen unterscheiden konnte.

1. Einleitung

1.1 Motivation

Dass nicht alle Leute die Zahl Neun mit der Farbe Violett und einem Schwan assoziieren, stellte meine Welt schon als Kind auf den Kopf. Ich dachte es sei normal, dass bei der Acht auf dem inneren Auge ein grünes Licht aufleuchtet und dass es bei der Zahl Zwei plötzlich rosa wird. Erst vor etwa drei Jahren fand ich heraus, dass ich in keinerlei Weise krank bin, sondern, dass man von einer Eigenschaft spricht, die sich «Synästhesie» nennt – in meinem Fall handelt es sich um die Graphem-Farb-Synästhesie (vgl. 2.4 Verschiedene Arten von Synästhesie). Wissenschaftler waren sich lange Zeit nicht einig, wie häufig sogenannte Synästhetiker in der Bevölkerung vorkommen. Die einen sagten es sei eine Person von 2000 (Baron-Cohen, Burt, Smith-Laittan, Harrison, Bolton, 1996) betroffen, bei anderen seien es nur 1:2000- 1:25 000 (Cytowic 1989, 2002). Diese Unschlüssigkeit entstand dadurch, dass man sich nicht sicher war, was alles zu Synästhesie gehört, wo man die Grenzen ziehen musste. Man hatte nur Selbstauskünfte als Grundlage. Neuste Studien haben nun herausgefunden, dass etwa 4% der Bevölkerung SynästhetikerInnen sind (Simner et al., 2006). Für mich war sofort klar, dass ich mich mit dem Thema Synästhesie beschäftigen wollte. Zum einen, weil ich mich schon seit längerem für das menschliche Gehirn interessiere, ich jedoch nie wirklich eine aussergewöhnliche Fähigkeit hatte, die ich konkret hätte analysieren können. So finde ich z. B. die Fähigkeit, sich eine Landschaft so genau einprägen zu können, dass man sie nachher durch die blosser Erinnerung daran detailreich zeichnen kann, hochfaszinierend und bewundernswert. Da ich diese Eigenschaft jedoch nicht besitze, kann ich mich nicht damit identifizieren und somit scheinen mir solche Themenbereiche immer etwas fremd. Bei der Synästhesie hingegen kann ich einen Grossteil, den ich darüber lese, bei mir selber beobachten, was wiederum eine persönliche Verbindung zum Thema mit sich bringt. Zum anderen fasziniert es mich enorm, wie auf den ersten Blick so verschiedene Sinneswahrnehmungen, wie das Sehen von Zahlen und ein damit verknüpftes Farberlebnis, plötzlich eine Einheit bilden können.

1.2 Fragestellung und Herangehensweise

Ich habe mich in meiner Arbeit mit der Frage beschäftigt, inwiefern das Gehirn einer Synästhetikerin durch strategisch platzierte Färbungen von Zahlen beeinflusst wird. Ich habe zwei verschiedene Experimente durchgeführt, die jeweils unterschiedliche Herangehensweisen, Fragestellungen und Hypothesen haben, was dazu führt, dass ich die Fragestellung auf zwei ganz unterschiedlichen Ebenen analysieren konnte.

Das erste Experiment ist an die bereits bestehende Forschung von Daniel Smilek et al. angelehnt, die im Anhang zu finden ist. Der Unterschied in meinem Experiment ist, dass meine synästhetische Probandin keine aussergewöhnliche Begabung im Auswendigmerken hat und somit alle Resultate mit grosser Wahrscheinlichkeit auf ihre Synästhesie zurückzuführen sind. Im ersten Experiment legte ich den Fokus auf den Einfluss der farbigen Zahlen auf das Kurz- und Langzeitgedächtnis. Beim zweiten Experiment habe ich untersucht, ob Synästhesie einem Vorteile bei visuellen

Suchaufgaben verschafft. Das erste Experiment ist ähnlich wie das bei Daniel Smilek et al., doch das zweite habe ich eigenständig zusammengestellt.

2. Synästhesie

2.1 Definition Synästhesie

Synästhesie wird vom altgriech. «syn» (= zusammen) und aisthesis (= Empfinden) abgeleitet (Deutsche Synästhesie-Gesellschaft E.V. [DSG], 2019). Synästhesie ist keine Krankheit, sondern eine angeborene Eigenschaft, bei der ein auslösender Sinnesreiz (z. B. das Sehen von Wörtern), dem so genannten Induktor-Stimulus (Emrich, Schneider & Zedler, 2017), automatisch mit einer anderen, simultanverlaufenden Sinnesempfindung einhergeht (z. B. das Sehen einer Farbe). Es ist das Resultat einer spezifischen Vernetzung im Gehirn (vgl. Abb. 1.), bei der die Reizung eines Sinnesorgans zu einer automatischen Mitreizung eines anderen führt (DSG, 2019).

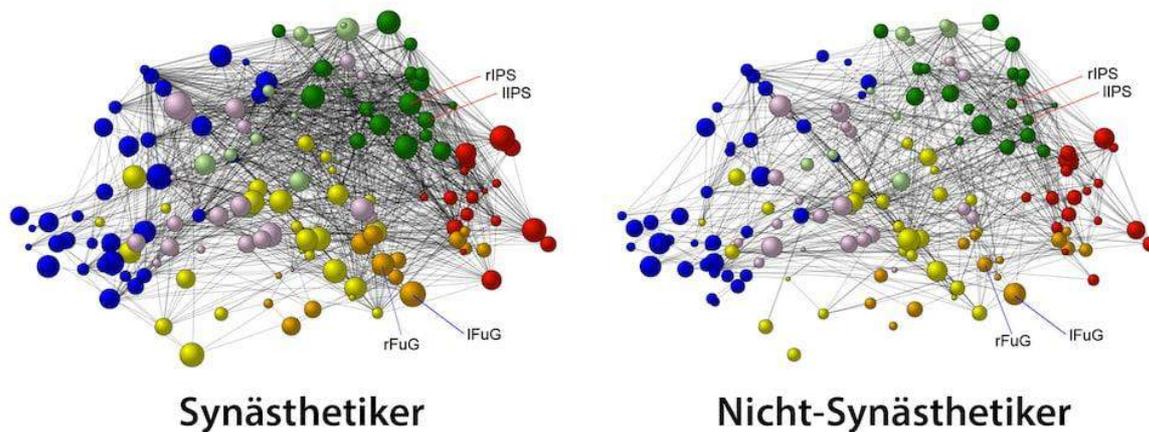


Abb. 1. Eine schematische Darstellung, um die Verknüpfungen im Gehirn darzustellen. Die Verknüpfungen im Gehirn eines Synästhetikers ist um einiges komplexer als jenes eines Nicht-Synästhetikers (Schnydrig, 2018)

Theoretisch kann jede Sinneswahrnehmung eine synästhetische Empfindung auslösen, was dazu führt, dass es viele verschiedene Arten von Synästhesie gibt. Die Manifestation der Synästhesie weist bei den einzelnen Synästhetikern Parallelen auf. Eine der häufigsten Formen von Synästhesie ist die Graphem-Farb-Synästhesie. Dabei werden Buchstaben und/oder Zahlen untrennbar mit einem Farbeindruck verbunden, wobei sowohl das gelesene, das gehörte als auch das bloße Denken an einen bestimmten Buchstaben bzw. an eine bestimmte Zahl ein synästhetisches Erlebnis auslöst (Emrich et al., 2017). Dieses visuelle Mitempfinden, das bei der visuellen Synästhesie einhergeht, nennt man Synopsie (altgriech. «syn» = zusammen, «opsis» = Sehen) (DSG, 2019). Diese Farben oder Formen, die dabei entstehen, sehen die Betroffenen dann entweder in der Aussenwelt (max. eine Armlänge entfernt) oder in ihrem Kopfinneren, auf dem sogenannten

«inneren Monitor». Spannend ist, dass auf diesem inneren Monitor keine räumlichen Begrenzungen herrschen und sich die synästhetischen Empfindungen ungehindert ausbreiten können. Die Bilder, die dabei entstehen müssen auch nicht unbedingt statisch sein – es können Formen vorbeiziehen, die Strukturen können zwei- als auch dreidimensional sein und die Oberflächenstruktur kann variieren (Emrich et al., 2017). Diesen inneren Monitor darf man sich jedoch nicht als störend vorstellen. Er ist vergleichbar mit dem «inneren Auge», mit dem man zum Beispiel Erinnerungen sieht – man hat ein zusätzliches Bild, wobei das äussere Bild nicht gestört wird. (DSG, 2019) Da Synästhesie gehäuft in Familien auftritt, gilt es als gesichert, dass Synästhesie vererbbar ist (Tilot et al., 2018). Ältere Studien besagen, dass Synästhesie vermehrt bei Frauen auftritt und somit vermutlich x-gonosomal vererbt wird, da eine Geschlechterverteilung von 1:8 zugunsten der Frauen beobachtet wurde (Emrich et al., 2017), doch die geschlechtergekoppelte Vererbung gilt als widerlegt (Simner & Carmichael, 2015).

Für die meisten SynästhetikerInnen ist ihre Synästhesie unidirektional, d. h., dass ein Buchstabe eine bestimmte Farbe aufrufen kann, umgekehrt diese Farbe nicht den entsprechende Buchstaben hervorruft. Allgemein ist Synästhesie inter-individuell sehr unterschiedlich, d. h., die verschiedenen Synästhetiker haben bei gleichen Arten von Synästhesie, z. B. Graphem-Farb-Synästhesie, doch die Ausprägungen sind ganz unterschiedlich. So sieht jemand die 7 blau und für einen anderen ist sie grün. Intra-individuell jedoch, d. h. bei den einzelnen Betroffenen selber, herrscht eine hohe Beständigkeit – die einzelne Person sieht bei einer bestimmten Zahl immer die gleiche Farbe bzw. die gleiche Form.

2.2 Mögliche Ursachen für Synästhesie

Der Prozess, bei dem verschiedene Sinnesqualitäten im Gehirn gekoppelt werden, d. h., dass Gegenstände nicht als einzelne getrennte Eigenschaften wahrgenommen werden, sondern als einheitliche Objekte mit sinnvollem Zusammenhang, machen Synästhetiker sowie Nicht-Synästhetiker. Dieser Prozess der sogenannten intermodalen Integration in der Psychologie oder «Binding» in der Neurologie (DSG, 2019), verknüpft also alle Informationen zu einer Einheit, wobei ein Objekt zu einem geschlossenen Ganzen wird, einschliesslich aller widersprüchlichen Aspekte (Emrich et al., 2017). Konkret bedeutet dies, dass wenn man z. B. ein Mädchen mit einem roten Ball sieht, nicht denkt, da steht ein Mensch, und er ist ein Mädchen, und es hat einen Ball, und der Ball ist rot. Das Gehirn bringt die einzelnen Bruchstücke automatisch zu einer übergeordneten Einheit zusammen – dieses Kind wird als «synthetische Einheit betrachtet» (Emrich et al., 2017). Für Synästhetiker ist es jedoch typisch, dass sie eine zusätzliche Verbindung herstellen, an einem Ort, wo normalerweise keine Verbindung vorgesehen wäre. Z. b. hören sie ein akustisches Signal, der dann simultan einen visuellen Eindruck hervorruft, wobei dieser sich auf den Stimulus bezieht. Dabei ist zu beachten, dass diese zusätzliche Empfindung keine zusätzliche Sinnesqualität ist, sondern, dass beide Reize intermodal (zwischen den beiden Sinnesqualitäten)

vollständig in ein übergeordnetes Ganzes eingefügt werden (Emrich et al., 2017). Durch diese charakteristische Sinnesverschmelzung entsteht eine ungewöhnliche intermodale Integration bzw. ein «Hyper-Binding», welche bewirkt, dass das Farberlebnis vom Reiz aus dem primären Sinneskanal nicht zu trennen ist – das Farberlebnis der 8 und das Denken, Sagen, Lesen oder Hören der Zahl 8 sind miteinander im Sinne einer intermodalen Integration miteinander gekoppelt.

Es gibt verschiedene Theorien für die Ursache von Synästhesie:

- Eine Theorie ist, dass bei Synästhesie Nervenverbindungen aus der Neugeborenen Periode erhalten bleiben, welche im Normalfall während der frühen Kindheit verschwinden sollten (Emrich et al., 2017).
- Die nächste Theorie ist die Theorie des «cross-talk», bei dem Signale, die auf dem Weg von Sinnesorganen in die Verarbeitungszentren des Gehirn sind, auf ihrem Weg mit anderen sensorischen Bahnen in Kontakt treten. Der Ort dieser Verbindung ist jedoch unbekannt (Emrich et al., 2017).
- Die dritte Theorie besagt, dass es eine abnormale, deutlich gesteigerte Erregung assoziativer Grosshirnareale (Bereiche, die Sinneseindrücke verknüpfen) gibt. Somit reagiert das Gehirn äusserst sensibel auf jegliche Reize und verknüpft diese mit anderen Sinnesempfindungen (Emrich et al., 2017).
- Eine vierte Theorie bezieht sich vor allem auf die Farb-Wort-Synästhesie: An der Grenze zwischen dem Sprachsystem und dem visuellen System liegen die assoziativen Hirnareale (Emrich et al., 2017). Laut Eraldo Paulesu komme es zu einer seltenen anatomischen Verbindung zwischen den Hirnarealen, die für die Sprache und das Sehen verantwortlich sind (Paulesu et al., 1995)

2.3 Genuine und erworbene Synästhesie

Synästhesie lässt sich unterscheiden zwischen der genuinen und der erworbenen Synästhesie. Bei der genuinen Synästhesie handelt es sich um alle Arten von Synästhesie, bei denen jegliche Arten von äusseren Wahrnehmungen, seien es Töne oder Zahlen, unwillkürlich eine synästhetische Empfindung auslösen. Charakteristisch für diese Art der Synästhesie ist, dass sie angeboren und die spezifischen Verknüpfungen ein Leben lang identisch bleiben (DSG, 2019).

Aus neurobiologischer Sicht ist Synästhesie in dem Sinn nicht erlernbar, da es sich um angeborene Verknüpfungen im Gehirn handelt, jedoch gibt es trotzdem die sogenannte erworbene Synästhesie. Diese Art der Synästhesie unterscheidet sich fundamental von der genuinen Synästhesie und kann auf verschiedene Art und Weisen hervorgerufen werden. Zum einen kann man die erworbene Synästhesie durch den Konsum von Psychedelika bzw. Halluzinogenen hervorrufen, z. B. mit Hilfe von psilocybinhaltige Pilzen oder LSD (Wikipedia, 2019). Hierbei geht die Synästhesie mit Verlust der Realitätswahrnehmung und mit Halluzinationen einher – beides Eigenschaften, die bei der genuinen Synästhesie nicht eintreten – und in der Regel ist dieser Rauschzustand nicht von Dauer (Emrich et al., 2017).

Zum anderen können erworbene Synästhesien in Verbindung mit Schädel-Hirn-Traumata und anderen Erkrankungen des zentralen Nervensystems auftreten. Ursachen hierfür können Unterbrechungen der Nervenverbindungen von den Sinnesorganen zum Gehirn (sensorische Deafferenzierungen) sein (Emrich et al., 2017).

Synästhesie kann einem auch als Kind "beigebracht" werden, z. B. wenn man ihm als Lernstrategie beibringt, sich Zahlen oder Wörter mit Hilfe von Farben zu merken. Hierfür muss man jedoch aktiv daran arbeiten, damit es ein Leben lang erhalten bleibt (Emrich et al., 2017).

Genuine und erworbene Synästhesie unterscheiden sich also grundsätzlich in der Entstehung, in der Willkürlichkeit, in den miteinhergehenden Erscheinungen (bei der genuine Synästhesie treten weder Halluzinationen noch Realitätsverluste ein) und der Dauer der synästhetischen Empfindungen.

2.4 Verschiedene Arten von Synästhesie

Abgesehen von der genuine und der erworbenen Synästhesie lässt sie sich noch in die assoziative und in die projektive Synästhesie unterteilen. Nehmen wir das Beispiel der Musik: Bei der assoziativen Synästhesie könnte der «Assoziator» die Musik hören und sie mit der Farbe Rot assoziieren. Bei der projektiven Synästhesie hingegen projiziert der «Projektor» die Farbe Rot im Raum, als wäre es ein physisches Objekt. Der Assoziator fühlt die Verbindung zwischen einem Reiz und einem Sinn, während ein Projektor die Stimulation tatsächlich sieht, fühlt, etc. (Die Redaktion, 2018).

Es gibt mindestens 80 verschiedene Arten von Synästhesie, wobei hier ein paar aufgelistet sind:

- **Graphem-Farb-Synästhesie:** Die häufigste Form der Synästhesie, bei der Grapheme (Buchstaben oder Ziffern) mit einer Farbe verknüpft werden. Dies geschieht sowohl beim Gelesenen, Gehörten, Gesprochenen, als auch beim gedachten Wort bzw. Ziffer (Die Redaktion, 2018). Diese Art der Synästhesie kann sowohl assoziativ als auch projektiv sein.
- **Chromästhesie:** Verknüpfung zwischen Tönen, Farben und Formen (vgl. Abb. 2.), wobei die Chromästhesie manchmal mit der Notationssynästhesie einhergeht: Das Erlebnis des Farbenhörens ist an die Höhe des jeweiligen Tones gekoppelt ist. D. h., dass höhere Töne eher oben auf dem inneren Monitor abgebildet sind, tiefere Töne jedoch eher unten. Es entsteht also ein individuelles Notenblatt, welches aber nicht mit dem originalen Notenblatt übereinstimmt (DSG, 2019). Diese Synästhesie kann ebenfalls assoziativ oder projektiv sein.
- **Haptische Synästhesie:** Durch Berührungen (griech. haptin = berühren, anfassen) von Oberflächen werden visuelle oder auditive genuine Synästhesien ausgelöst (DSG, 2019).
- **Lexikalisch-gustatorische Synästhesie:** Dies ist die seltenste Art der Synästhesie (Emrich et al., 2017), wobei das Hören eines Wortes einen Geschmack hervorruft – ein Wort schmeckt zum Beispiel nach Zitrone.
- **Mirror-Touch-Synästhesie:** Auch eine seltene Art der Synästhesie, bei der die gleiche Empfindung verspürt wird bei einem Reiz einer anderen Person. D. h. eine Person schlägt sich

das Knie an, wodurch der Synästhetiker Schmerzen im Knie verspürt. Dies ist eine der seltenen Formen der Synästhesie, die den Betroffenen tatsächlich stören bzw. im Leben einschränken kann.

- Zahlenstrahl: Viele Synästhetiker empfinden Monate und Wochentage als Zahlenstrahl, dessen Form ganz individuell ist (vgl. Abb. 3.). Z. B. können die Jahre die noch auf uns zukommen vor uns liegen und die, die wird schon erlebt haben vor uns. So kann es auch vorkommen, dass die Jahre hinter uns dunkle Farben haben und die, die vor uns liegen hell sind (DSG, 2019). Die Anordnung der Monate bzw. der Wochentage kann eine Auswirkung haben auf die entsprechenden dazugehörigen Farben, jedoch muss dies nicht zwingend sein.

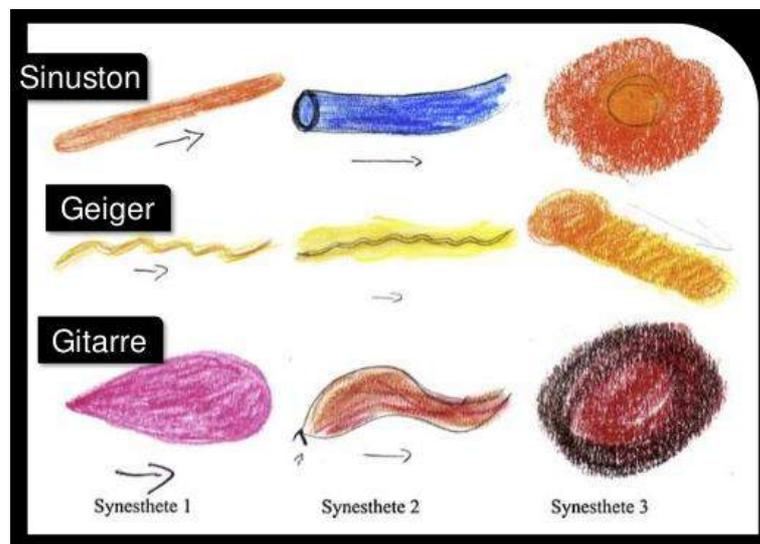


Abb. 2. Hier sieht man ein Beispiel für eine Chromästhesie für drei verschiedene Synästhetiker. Dieselben drei Töne werden auf drei verschiedene Arten wahrgenommen (Carelock, 2015).

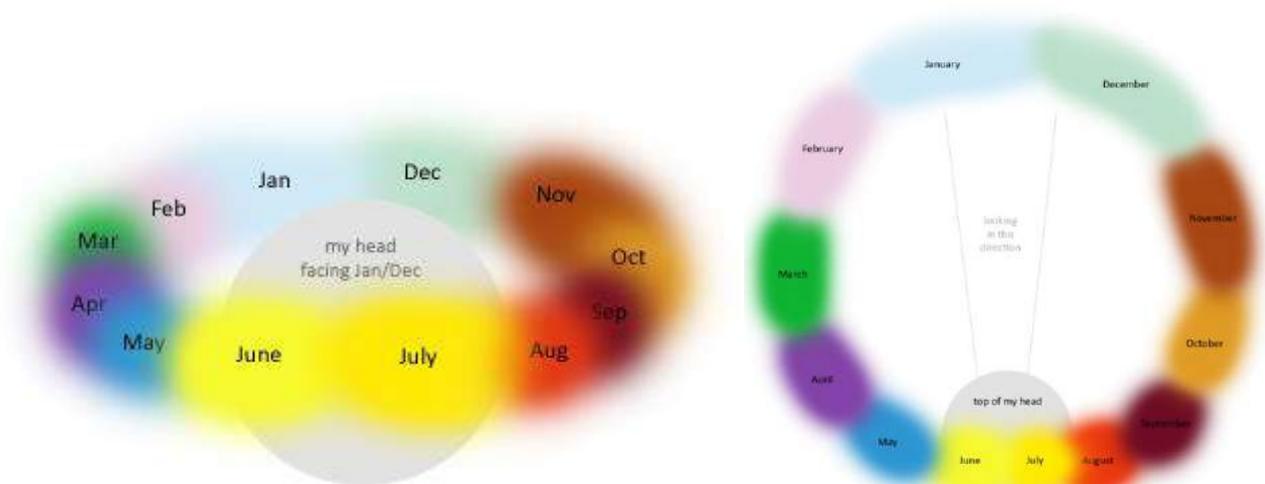


Abb. 3. Beispiel für einen möglichen Zahlenstrahl. Hier ist ein Jahr in Form eines Kreises abgebildet, wobei man den Blick auf die Wintermonate gerichtet hat und die Sommermonate hinter einem durchgehen (Nebelsiek, 2017).

2.5 Fallstudien zu außergewöhnlichem Gedächtnis bei Synästhetikern

Neuste Forschungen zeigen auf, dass Synästhesie vermutlich die Grundlage für Savanteigenschaften ist (Hughes, Gruffydd, Simner & Ward, 2019). In diesem kurzen Abschnitt stelle ich euch zwei Synästhetiker vor, bei denen ihre Synästhesie stark mit ihren aussergewöhnlichen Leistungen zusammenhängt.

2.5.1 Solomon Shereshevskii

Solomon Shereshevskii hatte verschiedene Arten von Synästhesie, unter anderem die Graphem-Farb-Synästhesie, Chromästhesie und die lexikalisch-gustatorische Synästhesie. Er erregte Aufmerksamkeit, da er sich, obwohl er in einer Moskauer Zeitung arbeitete, nie irgendwelche Notizen aufschrieb von Adressen, Zitaten und Geschichten. Er verliess dann die Zeitung und arbeitete später als professioneller Gedächtnis-Experte und gab Auftritte. Er wurde über mehrere Jahrzehnte vom Neuropsychologen Luria studiert. Laut Luria hat Shereshevskiis Gedächtnis keine Grenzen (Luria, 1968). Shereshevskii konnte sich zum Beispiel an lange Listen von zufällig gewählten Silben erinnern (ra, na, la, ...) und diese auch noch nach 4 – 8 Jahren aufsagen. Auch Matrizen mit 50 Zahlen konnte er sich innerhalb kürzester Zeit merken. Shereshevskiis Strategie bestand aus zwei verschiedenen Methoden: Er konnte sich die Silben durch die Nutzung seiner Graphem-Farb-Synästhesie merken, d. h. er konnte sich die Silben als Farben und zusammenhängende Muster vorstellen. Er sah z. B. den Vokal «a» als dünne, gräuliche, gelbe Linie und sah dann für jeden Konsonanten irgendeine Art von Flecken oder Klumpen. Dadurch kreierte er sich ein farbiges Bild, das er dann später nur noch ablesen und transkribieren muss. Zusätzlich zu dieser Strategie verwendete er typisch mnemonische Strategien und suchte dabei z. B. den Zusammenhang zwischen den einzelnen Silben (Bsp.: «nava» ist ein jiddischer Ausdruck). In jüngeren Studien vermutet man, dass Shereshevskii zusätzlich Autismus hatte. Die Kombination aus Synästhesie, mnemonischen Strategien und Autismus könnte die Grundlage für sein bemerkenswertes Gedächtnis gewesen sein (Rothen, Meier, Ward, 2012).

2.5.2 Daniel Tammet

Tammet ist ein mathematischer und linguistischer Savant, bei dem eine Störung des autistischen Spektrums diagnostiziert wurde. 2004 wurde er europäischer Meister für das auswendige Aufsagen von Pi, da er mehr als 22'000 Nachkommastellen kannte. Zahlen bis 10'000 lösen bei Tammet unterschiedliche Empfindungen aus und unterscheiden sich in Farbe und Textur. Eine Zahlenreihe ist für ihn also ein komplexes Bild, welches sich auf seinem inneren Monitor abbildet (Tammet, 2006).

Darüber hinaus hat er eine Begabung im Erlernen von neuen Sprachen: Er spricht insgesamt 10 Sprachen, hat Konversation Isländisch innerhalb von einer Woche gelernt, und er hat seine eigene Sprache erfunden. Tammet zeigt eine außergewöhnliche verbale Kurzzeitgedächtnisleistung, im Zusammenhang mit langen Reihen von Ziffern. In einem Gesichtserkennungstest hingegen schnitt er durchschnittlich ab. Die Diskrepanz zwischen seiner aussergewöhnlichen Gedächtniskapazität für Zahlen (und für das Erlernen von Sprachen) und dem Gesichtserkennungstests weist auf Synästhesie hin. Probanden der Kontrollgruppe benutzten als Gedächtnisstrategie die «chunking» Methode, bei welcher man Information in Bruchstücke unterteilt, sich diese merkt und diese dann wieder zusammenfügt (Rothen et al., 2012). Wenn diese Methode verwendet wird ist besonders der laterale präfrontale Kortex aktiv (Bor, Duncan, Wiseman & Owen, 2003; Bor & Owen, 2007). Bei Tammet jedoch ist dieser Teil der Gehirns in Tests, bei denen es ums Auswendigmerken geht, nicht

besonders aktiv [Bor et al. 2007]. Diese Beobachtung bestätigt, dass Tammet eigene Methoden entwickelt hat, um sich diese «ungebrochenen» Zahlen zu merken.

2.6 Paulinas Synästhesie

In meiner Arbeit untersuche ich die genuine Graphem-Farb-Synästhesie meiner 17-jährigen Probandin Paulina. P empfindet beim Sehen einer Zahl ein spezifisches Farberlebnis, jedoch ordnet sie einer Farbe keine bestimmte Zahl zu – ihre Synästhesie ist, wie bei vielen anderen Synästhetikern unidirektional. Wie schon in der Einleitung erwähnt hat P keine besondere Eigenschaft im Auswendigmerken, wodurch sich ihre Resultate in den direkten Vergleich mit meiner Kontrollgruppe stellen lassen und alle Ergebnisse mit grosser Wahrscheinlichkeit auf ihre Synästhesie zurückzuführen sind. In ihrer Familie ist sie die einzige Synästhetikerin.

Als Vorbereitung für die beiden Experimente musste mir P auf dem Computer zeigen, welche Farbe sie welcher Zahl zuordnete (vgl. Abb. 4.). Mit diesen Informationen konnte ich zwei Experimente zusammenstellen, die speziell auf Ps Wahrnehmung massgeschneidert waren.



Abb. 4. Wie P Zahlen aufgrund ihrer Graphem-Farb-Synästhesie wahrnimmt

3. Experimente 1: Zahlen merken

Im ersten Experiment wollte ich beobachten, inwiefern Synästhesie das Kurz- und Langzeitgedächtnis beeinflusst. Es wurden verschiedenste Studien durchgeführt, bei denen man den Zusammenhang zwischen Synästhesie und überdurchschnittlichen Leistungen beobachten wollte. In einigen Studien wurden Synästhetiker genommen, bei denen von Anfang an schon überdurchschnittliche Fähigkeiten festgestellt werden konnten. Solomon Shereshevskii zum Beispiel, der von Luria studiert wurde, ist einer der bekanntesten Synästhetiker und er wurde dafür bekannt, dass er sich enorme Zahlenreihen auswendig merken konnte (vgl. 2.5.1 Solomon Shereshevskii) (Luria, 1968). Forscher waren sich lange Zeit nicht einig, ob Shereshevskii seine Gabe seiner Synästhesie zu verdanken hatte. Neuste Forschungen jedoch zeigen auf, wie Synästhesie vermutlich die Grundlage für Savanteigenschaften ist (Hughes et al., 2019). Synästhesie und überdurchschnittliche Leistungen haben also einen klaren Zusammenhang. Jedoch kann keine Kausalität festgestellt werden, und man kann vor allem nicht die Überlegung rückwärts anwenden und sagen, alle Synästhetiker vollbringen überdurchschnittliche Leistungen (Ward, Field & Chin, 2019; Chin & Ward, 2018; Rouw & Scholte, 2016).

In der Forschung von Smilek et al. wurde die Synästhetikerin C untersucht, die eine aussergewöhnliche Fähigkeit im Auswendigmerken hat. Ausserdem wurden zusätzlich sieben Nicht-Synästhetiker untersucht, die als Kontrollgruppe fungierten. Es wurde mit drei Matrizen gearbeitet: eine mit 50 schwarzen Zahlen, eine mit 50 kongruent zu Cs Wahrnehmung gefärbten Zahlen und eine mit 50 inkongruent gefärbten Zahlen. In meinem Experiment habe ich die Anzahl der Zahlen auf 55 erhöht, da ich bei einem Probedurchlauf mit einer Probandin gemerkt habe, dass 50 Zahlen zu einfach waren und die hinzugefügten 5 Zahlen zu einem angemessenen Schwierigkeitsniveau führen. Das Konzept der Kontrollgruppe und der drei verschiedenen Matrizen habe ich jedoch beibehalten. Meine Kontrollgruppe bestand aus sieben gleichaltrigen Probandinnen.

Mein Experiment ist wie folgt aufgebaut: In der ersten Matrix sind es 55 schwarze Zahlen auf einem weissen Hintergrund. Auf der zweiten Matrix sind die Zahlen so gefärbt, dass sie mit der Wahrnehmung meiner synästhetischen Probandin P übereinstimmen und bei der dritten Matrix sind es dieselben Farben wie bei der zweiten Matrix, jedoch sind sie auf anderen Zahlen platziert.

Ich habe das Experiment auf PowerPoint entwickelt.

Die Probandinnen wurden einzeln ins Zimmer gebeten und waren während dem Experiment alleine, um eine bestmögliche Konzentration zu gewährleisten. Ich habe ihnen einen schwarzen Kugelschreiber und drei Blätter gegeben, auf denen jeweils drei leere Matrizen abgebildet waren (vgl. Abb. 5).

5	3	2	6	1
7	0	2	1	6
4	7	8	5	9
3	6	0	1	5
2	3	5	6	8
6	0	9	2	1
2	8	5	7	3
5	9	2	1	0
7	4	6	3	7
1	2	5	9	3
3	9	7	4	2

4	1	5	2	7
6	8	0	1	8
3	2	9	5	4
2	0	7	3	6
1	4	8	9	0
7	6	1	0	3
3	5	6	2	9
9	2	3	6	2
0	8	4	8	1
5	7	5	3	0
2	1	0	5	3

8	2	3	7	0
6	4	8	9	4
3	7	9	0	5
7	8	5	8	3
9	3	0	5	2
0	1	4	2	7
1	4	2	6	8
3	6	5	7	9
6	7	6	3	1
4	8	2	1	4
8	2	0	4	7

Abb. 5. Die drei Matrizen, die im Experiment 1 auf dem Bildschirm erschienen sind. Die erste Matrix besteht aus 55 schwarzen Zahlen, bei der zweiten sind die Zahlen kongruent zu Ps Wahrnehmung gefärbt und bei der dritten sind sie inkongruent (vgl. Abb. 4.)

Die Probandinnen wurden aufgefordert die Anweisungen auf dem Bildschirm meines MacBook Air zu lesen. Es wird eine Matrix mit 55 schwarzen Zahlen erscheinen. In den 3 Minuten, in welchen diese Matrix gezeigt wird, müssen sich die Probandinnen so viele Zahlen wie möglich merken. Nach 3 Minuten wechselt es automatisch zur nächsten Folie, auf der steht, die Probanden haben jetzt 3 Minuten Zeit, um ihre leere Matrix mit so viel wie möglichen Zahlen auszufüllen. Dieser Prozess des 3-minütigen Zahlen-Ansehens und des ebenfalls 3-minütigen Zahlen-Aufschreibens wird 4 Mal wiederholt, wobei sie die Zahlen immer in dieselbe Matrix einfüllen mussten. Selbstverständlich mussten die Probandinnen ihre auszufüllende Matrix, während dem die Zahlen auf dem Bildschirm erschienen, umdrehen und konnten so die Zahlen nicht einfach abschreiben. Nachdem die vier Runden vorbei waren, erschien erneut eine Folie, auf der die Probandinnen die neuen Anweisungen erhielten. Das Prinzip des 3-minütigen Farben-Ansehens und des 3-minütigen Farben-Aufschreibens wurde wiederholt, mit dem einzigen Unterschied, dass die Zahlen jetzt so gefärbt waren, dass sie mit Ps synästhetischer Wahrnehmung übereinstimmten. (Vgl. Abb. 5.)

Nach diesen vier Runden kam erneut eine Anweisungsfolie, auf der stand, dass sie nochmals vier Matrizen sehen würden, dieses Mal waren die Zahlen jedoch so gefärbt, dass sie inkongruent zu Ps Wahrnehmung waren. In diesem ersten Teil des Experiments wurde das Kurzzeitgedächtnis geprüft.

Der zweite Teil des Experiments bestand darin, dass der erste Teil des Experiments nach 48 Stunden wiederholt wurde. Es wurden genau dieselben Matrizen genommen, mit dem einzigen Unterschied, dass die einzelnen Matrizen jeweils nur einmal statt viermal gezeigt wurden. Dadurch, dass die

einzelnen Matrizen nur einmal gezeigt wurden, wurden die Erinnerungen wieder aufgefrischt und ich konnte beobachten von welcher Matrix am meisten hängengeblieben ist. Durch das 48-stündigen Zeitintervall konnte zusätzlich zum Kurzzeitgedächtnis auch noch das Langzeitgedächtnis analysiert werden.

Ich habe folgende Hypothesen aufgestellt:

⇒ 1. Hypothese: P wird sich die Matrix, bei der die Zahlen so gefärbt sind, dass sie mit ihrer Wahrnehmung übereinstimmen, im ersten und im zweiten Teil am besten merken können.

Überlegung: P sieht zu jeder Zahl eine bestimmte Farbe. Wenn jetzt die Zahlen, die sie sich merken muss, schon so gefärbt sind, wie sie sie sieht, wird dieser Teil ihres Gehirns, der passiv durch ihre synästhetische Farbwahrnehmung aktiviert wird, zusätzlich aktiv durch die optischen Farben aktiviert. Meinen Überlegungen nach, sollte dies zu einer doppelten Verankerung führen, was wiederum nicht nur im Test des Kurzzeitgedächtnisses sondern auch in dem des Langzeitgedächtnisses nachweisbar sein sollte.

⇒ 2. Hypothese: P wird am meisten Schwierigkeiten mit der Matrix haben, bei der die Farben der Zahlen so untereinander ausgetauscht wurden, dass sie nicht mehr mit ihrer Wahrnehmung übereinstimmen.

Überlegung: Es wird in Ps Gehirn eine Verwirrung geben, einen sogenannten Verarbeitungskonflikt, da ihr Gehirn eine andere Zahl mit der vorliegenden Farbe assoziiert. Sie wird dann wahrscheinlich diese Zahl schreiben, die sie mit der Farbe verknüpft und die eigentlich aufzuschreibende Zahl in den Hintergrund stellen. Ich denke hier wird die höchste Fehlerquote zu beobachten sein.

⇒ 3. Hypothese: P wird mit den grössten Schwierigkeiten zu kämpfen haben im zweiten Teil des Experiments bei der inkongruenten Matrix.

Überlegung: Obschon sie schon im ersten Teil mit den inkongruent gefärbten Zahlen Schwierigkeiten haben wird, wird sich dies nach 48 Stunden verschlimmern. Im ersten Teil wird sie dadurch, dass die Matrix jeweils viermal gezeigt werden wird, vier Gelegenheiten haben, sich an diese «falschen Farben» zu gewöhnen. Im zweiten Teil jedoch, wird ihr dieselbe Matrix nur einmal gezeigt, was dazu führt, dass sie nicht genug Zeit hat, um ihr Gehirn umzupolen und um zwischen den Farben die auf dem Bildschirm sind und den Farben, die sie den Zahlen automatisch zustimmt zu distinguieren. Es wird also höchstwahrscheinlich eher die Farbe wieder aufgefrischt, was dazu führen wird, dass sie hier viele Fehler machen wird. Man wird auch erkennen können, dass sie im Vergleich zur Kontrollgruppe hier am stärksten abfallen wird.

⇒ 4. Hypothese: Im Vergleich zu P wird man bei der Kontrollgruppe keinen merklichen Unterschied zwischen der Matrix der kongruenten Matrix und der inkongruent gefärbten Matrix beobachten können. Wenn überhaupt, wird der Kontrollgruppe die inkongruente Matrix einfacher fallen als die kongruente.

Überlegung: Bei der Kontrollgruppe wird es in ihrem Gehirn zu einer Verknüpfung von zwei verschiedenen Gehirnarealen kommen (Auswendigmerken von nicht nur einer Zahl sondern auch noch von einer Farbe), was das Auswendigmerken vereinfachen wird. Die Zahlen konnten durch die Farben doppelt verankert werden, wobei die Farbe als Sicherheitsnetz gilt (wenn sie die Zahl

nicht mehr wissen, sich jedoch noch erinnern können, dass sie blau war, könnte dies zu der Erinnerung der Zahl führen). Dieses Prinzip wird unbewusst oder bewusst sowohl bei der kongruenten Matrix als auch bei der inkongruenten Matrix gleichermassen angewendet werden, da es bei ihnen keine Differenzierung zwischen «richtigen Farben» und «falschen Farben» gibt. Es könnte sein, dass die Kontrollgruppe im Schnitt am wenigsten mit der inkongruenten Matrix zu kämpfen haben wird. Beim ersten Wechsel von der schwarzen Matrix zur kongruent gefärbten Matrix wird es durch die Farben zu einer ungewohnten Umstellung im Kopf kommen. Sie werden dann wahrscheinlich versuchen eine Taktik aufzubauen, bei der sie die Farben als Eselsbrücke verwenden können. Beim Wechsel von der kongruenten Matrix zur inkongruenten Matrix konnten sie sich schon an das Konzept der farbigen Zahlen gewöhnen und müssen jetzt ihre Taktik, die sie bei der kongruenten Matrix ausgetüfelt haben, nur noch anwenden. Dadurch sparen sie Zeit und können sich auf das Auswendigmerken fokussieren.

3.1 Auswertung des Experiments 1

Auf der Abbildung 6 sieht man die Anzahl korrekter Zahlen in Prozent für P und die sieben Probandinnen der Kontrollgruppe. Bei der schwarzen Matrix schnitt P mit 89,1% relativ gut ab, doch es ist spannend zu sehen, wie P bei der kongruenten Matrix mit 98,2% 9,1% mehr korrekte Zahlen aufschreiben konnte.

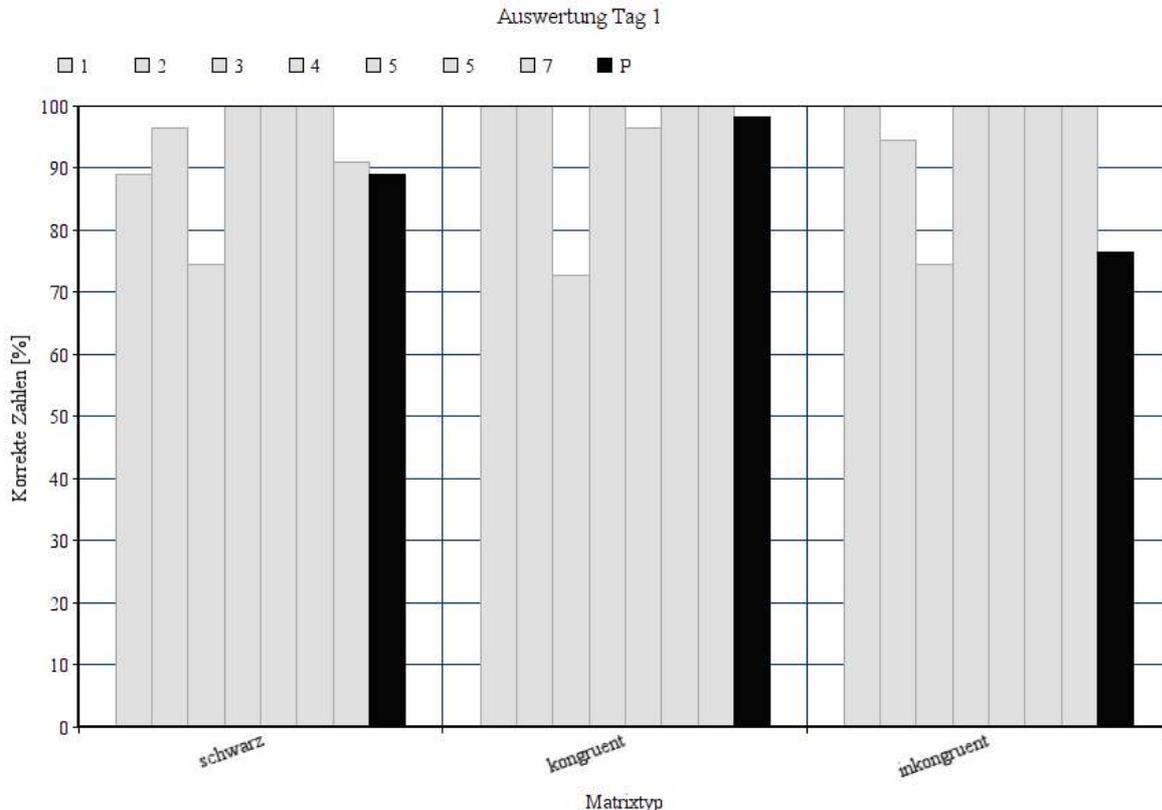


Abb. 6. Anzahl korrekter Zahlen in Prozent für P und die sieben Nicht-Synästhetikerinnen (1-7) nach viermaligem Sehen der Matrizen.

Durch das Einfärben der Zahlen, in Übereinstimmung mit ihrer Wahrnehmung konnte P fast 100% der Zahlen korrekt wiedergeben. Auch ihre Rückmeldung zu dieser zweiten Matrix war sehr positiv und sie empfand diese Matrix als am einfachsten von den dreien. Bei der dritten Matrix jedoch hatte ich ein schlechteres Resultat erwartet. Sie war mit 76,4% zwar 21,8% schlechter als bei der kongruenten Matrix, jedoch hat sie trotz massivem Störfaktor mehr als $\frac{3}{4}$ der Zahlen korrekt aufgeschrieben. In der Forschung von Mas-Casadesús et al. wurde herausgefunden, dass Synästhetiker störende Reize besser ausblenden können als Nicht-Synästhetiker (Mas-Casadesús & Gherri, 2017). Im Vergleich zu der Probandin C in der Forschung von Smilek et al. ist dieses Resultat jedoch trotzdem auffallend hoch, da C bei der inkongruenten Matrix weniger als 10% korrekt hatte. Dieser drastische Unterschied vom Effekt der inkongruent gefärbten Zahlen auf meine Probandin P im Vergleich zur Probandin C in der Forschung Smilek et al. zeigt auf, wie unterschiedlich sich gleiche Arten von Synästhesie (in diesem Fall die Graphem-Farb-Synästhesie) manifestieren. Dass Probandin C so viel stärker auf den Störfaktor reagiert, lässt vermuten, dass ihre synästhetischen Empfindungen stärker ausgeprägt sind als Ps. Dies ist weder als schlecht noch gut zu interpretieren, viel mehr zeigt dies die Vielfalt in den verschiedenen Ausprägungsformen der Synästhesie auf.

Obwohl der Unterschied von der kongruenten Matrix zur inkongruenten bei P relativ gering ist, sind diese 21,8% von Bedeutung. Insbesondere wenn man dies vergleicht mit dem Effekt der Farben auf die Kontrollgruppe, die sowohl bei der kongruenten Matrix als auch bei der inkongruenten Matrix im Schnitt 95,6% korrekt hatte. Durch diese Beobachtung sieht man nicht nur, dass sich ein nicht-synästhetisches Gehirn an einen Farbwechsel von Zahlen innerhalb kürzester Zeit anpassen kann, sondern dass es sich schnell inmitten dieser neuen Farben zurechtfinden kann. Ps synästhetisches Gehirn jedoch ist dazu weniger gut in der Lage und kann bei inkongruent gefärbten Zahlen fast $\frac{1}{4}$ weniger Zahlen korrekt wiedergeben. Spannend ist auch, dass den 13 falschen Zahlen, die sie bei der inkongruenten Matrix aufgeschrieben hat, allen derselbe Überlegungsfehler nachzuweisen ist: P hat bei diesen 13 Zahlen jeweils nicht die Zahl hingeschrieben, die auf dem Bildschirm zu sehen war, sondern sich nur die Farben gemerkt und so jeweils die Zahl hingeschrieben hat, die durch ihre synästhetischen Wahrnehmung damit verknüpft ist.

Auf der Abbildung 7 sieht man die Anzahl korrekt aufgeschriebener Zahlen nach 48 Stunden. Hier stechen vor allem die kongruente und die inkongruente Matrix heraus. Bei der zweiten Matrix fällt auf, dass nach 48 Stunden und nur einmaligem Sehen der Matrix, fast 75% der Zahlen in Ps Gehirn hängengeblieben sind. Hinzu kommt, dass alle Zahlen, die sie in die leere Matrix eingefüllt hat korrekt waren – die 25%ige Fehlerquote machen nicht falsch gemerkte Zahlen aus, sondern einzig und allein leer gelassene Kästchen. Was die ganze Sache noch interessanter macht, ist, dass P in diesem zweiten Teil des Experiments nicht bemerkt hatte, dass es sich bei diesen Matrizen um dieselben Matrizen wie am ersten Tag handelte. Dies bedeutet, dass sie sich gar nicht bewusst war, dass sie diese Zahlen schon einmal gesehen hatte und sie sich somit aktiv am Auffrischen der Zahlen hätte beteiligen können. Allen anderen Probanden ist aufgefallen, dass es sich um die

gleichen Matrizen wie von vor 48 Stunden handelte. Meinen Überlegungen nach verschafft das blosser Wissen, dass es sich um dieselben Matrizen handelt und das damit einhergehende Wissen, dass man sich diese Matrizen schon einmal gemerkt hatte, einen mentalen Vorsprung, da man sich dadurch etwas sattelfester fühlt. P hingegen hatte dieses Wissen nicht, was bedeutet, dass alle Zahlen hauptsächlich mithilfe des Einflusses ihrer synästhetischen Wahrnehmung hängengeblieben sind. Die Kontrollgruppe konnte sich mit 40,8% nur etwa halb so viele Zahlen merken.

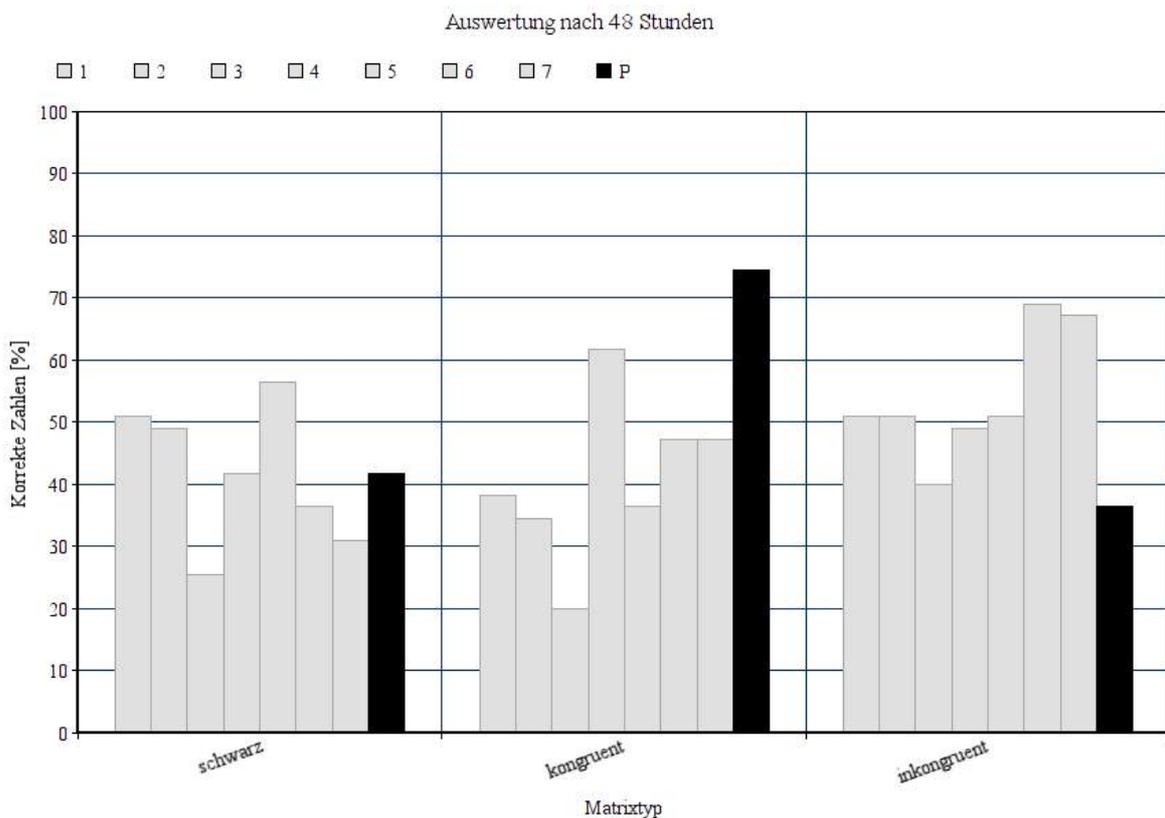


Abb. 7. Anzahl korrekter Zahlen in Prozent nach 48 Stunden für P und die sieben Nicht-Synästhetikerinnen (1-7) nach einmaligem Sehen der Matrizen.

Auf der Abbildung 9 ist sehr gut erkennbar, wie die Linien der Probandinnen der Kontrollgruppe relativ steil bergab gehen. Ps Linie bleibt jedoch mit ihrer 25%igen Abfallquote auffallend flach. Die hohe Quote bei P führt vor Augen, wie die kongruente Einfärbung der Zahlen ihr Gehirn bei der korrekten Wiedergabe der Zahlen unterstützen, was wiederum dafür spricht, dass Synästhesie einem beim Auswendigmerken von Zahlen einen Vorteil verschafft.

Von der kongruenten Matrix zur inkongruenten Matrix gibt es einen auffällig starken Abfall, was meine 3. Hypothese bestätigt. Ps erster Kommentar zur dritten Matrix war, es sei eine Katastrophe gewesen, was sich in der Korrektheitsquote von 36,4% widerspiegelt. Sie konnte sich nur etwa halb so viele Zahlen merken wie bei der kongruenten Matrix, was nicht nur meine 3. sondern auch meine 2. Hypothese bestätigt. Man konnte zwar schon bei der Auswertung vom 1. Tag sehen, dass sie sich mehr Zahlen merken kann, wenn sie kongruent zu ihrer Wahrnehmung gefärbt sind, doch nach 48

Stunden ist dieser Effekt mehr als doppelt so stark. Auf der Abbildung 6 kann man beobachten, wie ihre Linie schon zu Beginn im Vergleich zur Kontrollgruppe eher niedrig beginnt und nach 48 Stunden bis etwa zur Hälfte absinkt.

Bei der Kontrollgruppe waren im Schnitt bei der dritten Matrix 54% korrekt, was 13,2% mehr sind als bei der zweiten Matrix. Dies könnte bestätigen, dass die Kontrollgruppe weniger Schwierigkeiten bei der dritten Matrix als bei der zweiten hat (vgl. Hypothese 4). Die Differenz von 13,2% ist jedoch nicht besonders gross, weshalb meine Hypothese nicht vollständig verifiziert werden kann.

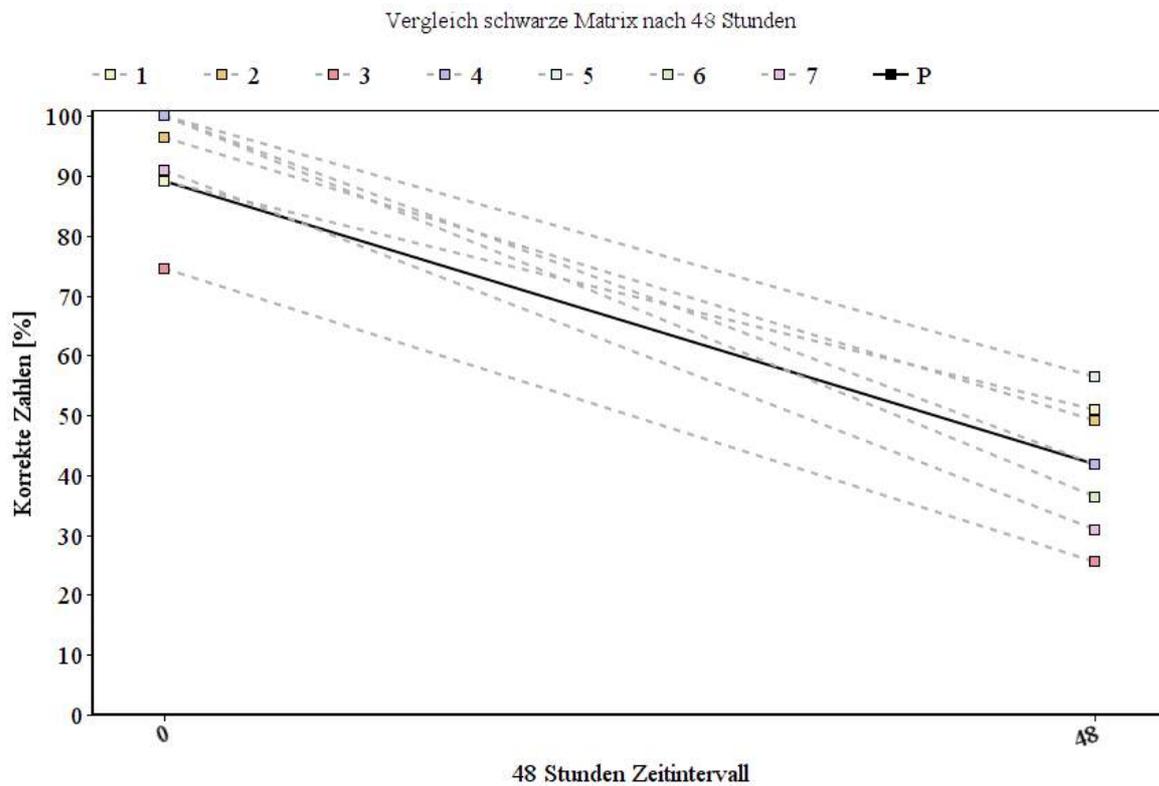


Abb. 8. Vergleich der Korrektheitsquote der schwarzen Matrix mit einem 48 Stundenintervall für P und die Kontrollgruppe (1-7).

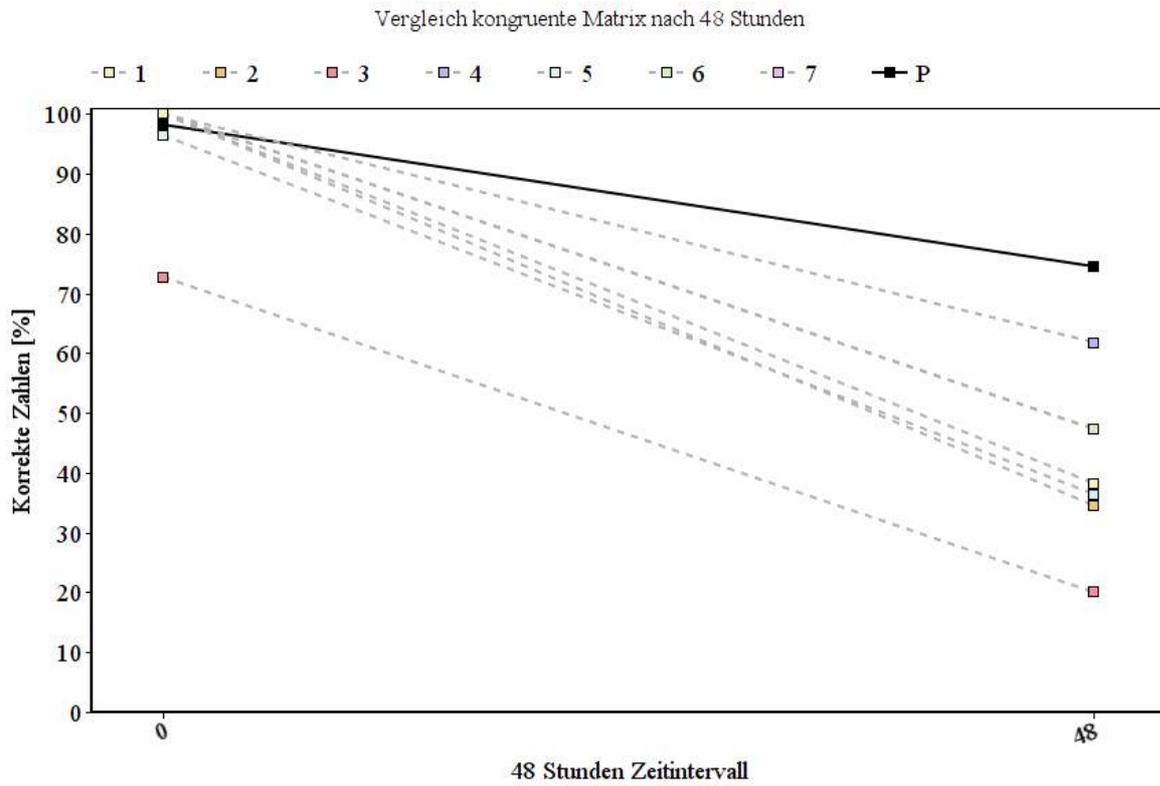


Abb. 9. Vergleich der Korrektheitsquote der Matrix mit den kongruent gefärbten Zahlen mit einem 48 Stunden Intervall für P und die Kontrollgruppe (1-7).

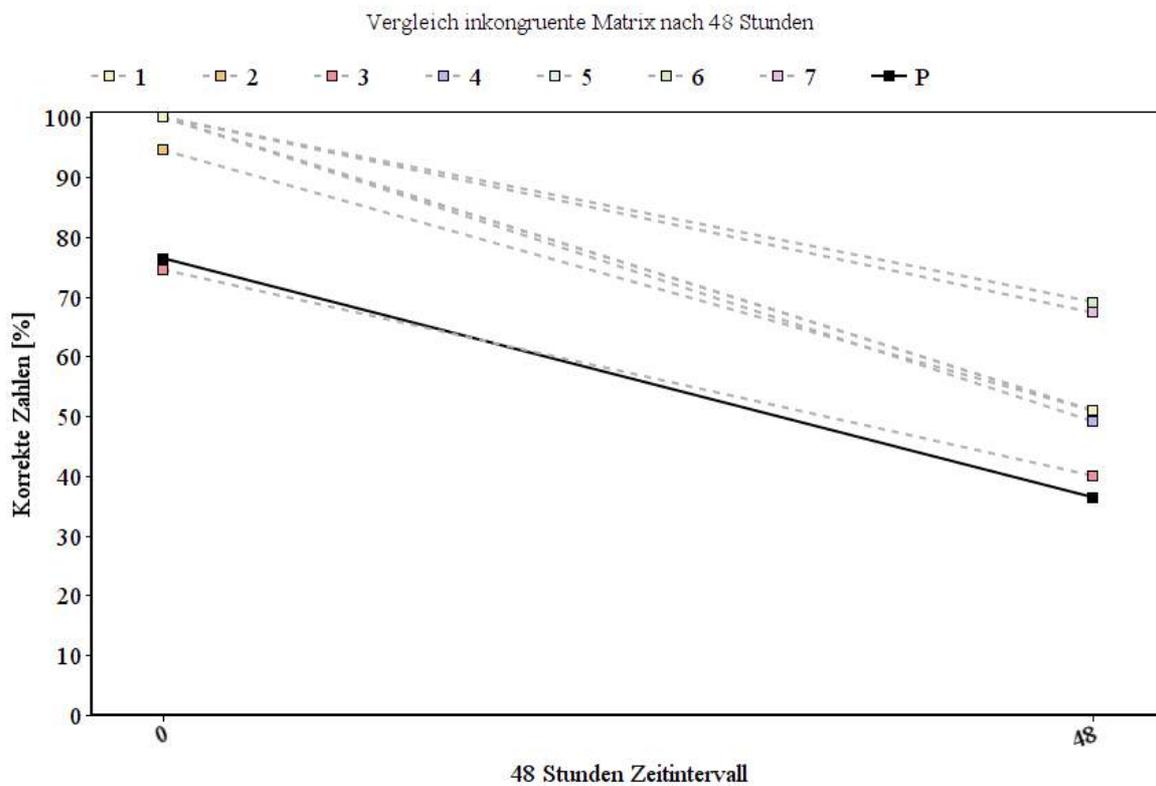


Abb. 10. Vergleich der Korrektheitsquote der Matrix mit den kongruent gefärbten Zahlen mit einem 48 Stunden Intervall für P und die Kontrollgruppe (1-7).

4. Experiment 2: Zahlen finden

In diesem zweiten Experiment wollte ich beobachten, ob Synästhesie eher Vorteile oder Nachteile bei visuellen Suchaufgaben verschafft. Dieses Experiment, welches ich eigenständig mithilfe von PowerPoint zusammengestellt habe, habe ich in zwei Telexperimente unterteilt. Diese beiden Telexperimente wurden wiederum in zwei Kategorien unterteilt. In beiden Telexperimenten, somit auch in den beiden Kategorien, wurde als Grösse die Geschwindigkeit gemessen. Das Telexperiment 2 fand unmittelbar nach dem Telexperiment 1 statt.

4.1 Telexperiment 1: Versteckte Zahl finden

Ein Merkmal von Synästhetikern ist, dass sie einen grossen Wert auf Ordnung und Symmetrie legen (Emrich et al., 2017), weshalb sich folgendes Experiment gut eignet, um ihre synästhetische Empfindung auszulösen. Im ersten Telexperiment erscheint auf dem Bildschirm in grosser Anzahl eine Zahl, wobei inmitten dieser Zahlen eine andere Zahl versteckt ist (z. B. ganz viele 5en und darunter eine 2) (vgl. Abb.11.).

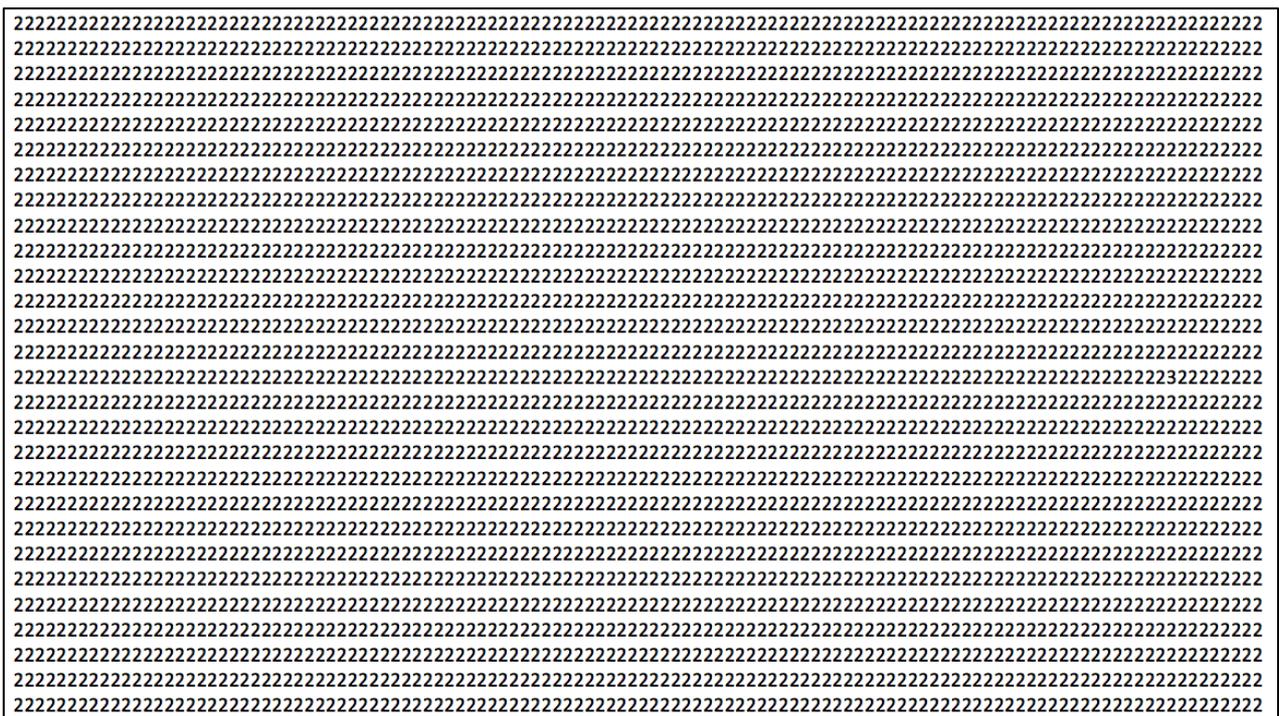


Abb. 11. Die erste Runde bei dem Telexperiment 1, bei dem die Probandinnen aufgefordert waren die versteckte Zahl so schnell wie möglich zu finden.

Alle Zahlen auf dem Bildschirm sind schwarz. Die Probandinnen werden wieder einzeln ins Zimmer gebeten, doch im Gegensatz zum Experiment 1 bin ich bei diesem Experiment anwesend, da ich auf meinem iPhone die Zeit stoppen muss. Es werden insgesamt vier Folien gezeigt, mit jeweils vier verschiedenen Zahlenkombinationen. Zwischen jeder dieser vier Folien erscheint eine Übergangsfolie, auf der zu sehen ist bei welcher Runde sich die Probandinnen befinden. Das Experiment startet mit einer Anweisungsfolie, die, neben den Anweisungen, die Probandinnen dazu auffordert, die versteckte Zahl so schnell wie möglich zu finden, wobei ihnen nicht gesagt wird welche Zahl gefunden werden muss. Sobald die Probandin bereit ist, drücke ich gleichzeitig auf die Leertaste, die die nächste Folie herbeiruft und auf die Start-Taste auf meinem Chronometer. Wenn die Probandin die Zahl gefunden hat, muss sie «Stopp» rufen, die Stoppuhr wird sofort angehalten, und ich notiere mir die Zeit. Dies wird viermal wiederholt.

Wie schon erwähnt habe ich dieses Telexperiment 1 systematisch in zwei Kategorien unterteilt – die vorteilhafte und die unvorteilhafte Kategorie. Die ersten beiden Runden des ersten Telexperiments gehören in die vorteilhafte Kategorie und die 3. und 4. Runde gehören in die unvorteilhafte Kategorie. Die Kategorien sind so zu verstehen, dass Ps Synästhesie ihr in der vorteilhaften Kategorie einen Vorteil verschaffen sollte, ihr in der zweiten Kategorie ihre synästhetische Wahrnehmung jedoch zum Verhängnis werden sollte. Um dies zu erreichen habe ich die Zahlen folgendermassen ausgewählt: In der vorteilhaften Kategorie stehen sich die Farben der zu suchenden Zahl und der Zahl, die den Bildschirm ausfüllt im Kontrast zueinander. Auf der Abbildung 11 sieht man, dass die Zahl 2 den Bildschirm bedeckt und die zu suchende Zahl die 3 ist. Die 2 ist Ps Wahrnehmung nach cyanfarben und die 3 rot (siehe Abb. 4.). In der Runde 2 sind die Zahlen 8 und 3 – für P also grau und rot.

In der unvorteilhaften Kategorie habe ich analog Zahlenkombinationen gewählt, die von den Farben her sehr nahe beieinander liegen. In Runde drei waren es 1 und 7 – in Ps Wahrnehmung beige und orange – und in der Runde vier 9 und 6 – dunkelbraun und dunkelgrün.

Ich habe für dieses Telexperiment 1 folgende Hypothesen aufgestellt:

- ⇒ 1. Hypothese: P wird bei den beiden Runden der vorteilhaften Kategorie wenig bis keine Anstrengung brauchen, um die zu suchenden Zahlen zu finden. Dies wird sich so zeigen, dass sie massiv weniger Zeit benötigen wird als die Kontrollgruppe.

Überlegung: Die Zahlen, die ich gewählt haben, stehen in solch einem Kontrast zueinander, dass es für sie einfach ist, der herausstechenden Farbe zu folgen. Die Zahlen stehen so dicht beieinander, dass sie mit einem Blick auf den Bildschirm wahrscheinlich eine ebenmässige Farbfläche sieht mit einem herausstechenden Farbklecks.

- ⇒ 2. Hypothese: Bei den zwei Runden der unvorteilhaften Kategorie wird P grossen Schwierigkeiten begegnen. Folglich wird sie massiv viel mehr Zeit als die Kontrollgruppe benötigen und vor allem wird sich eine grosse Geschwindigkeitsdifferenz zu den ersten beiden Runden beobachtbar machen.

Überlegung: Die Zahlenkombinationen, die ich gewählt habe, sind von den Farben her so nahe beieinander, dass P in dieser scheinbar unifarbene(n) Farbfläche Mühe haben wird die gesuchte Zahl zu finden.

⇒ 3. Hypothese: Die Kontrollgruppe wird gar nicht auf die zwei verschiedenen Kategorien reagieren.

Überlegung: Keine Probandin der Kontrollgruppe hat Synästhesie, weshalb es für sie auch keinen Unterschied macht, welche Zahlen wie gewählt wurden, da es für sie keine Farbkombination gibt.

4.1.1 Auswertung des Teilexperiments 1: Versteckte Zahl finden

Auf der Abbildung 12 sieht man wie viel Zeit P und die Kontrollgruppe gebraucht haben, bis sie die gesuchte Zahl gefunden haben. Auf den ersten Blick sieht man schon, dass P bei den Runden 3 und 4 im Schnitt weniger Zeit gebraucht hat als bei den Runden der vorteilhaften Kategorie.

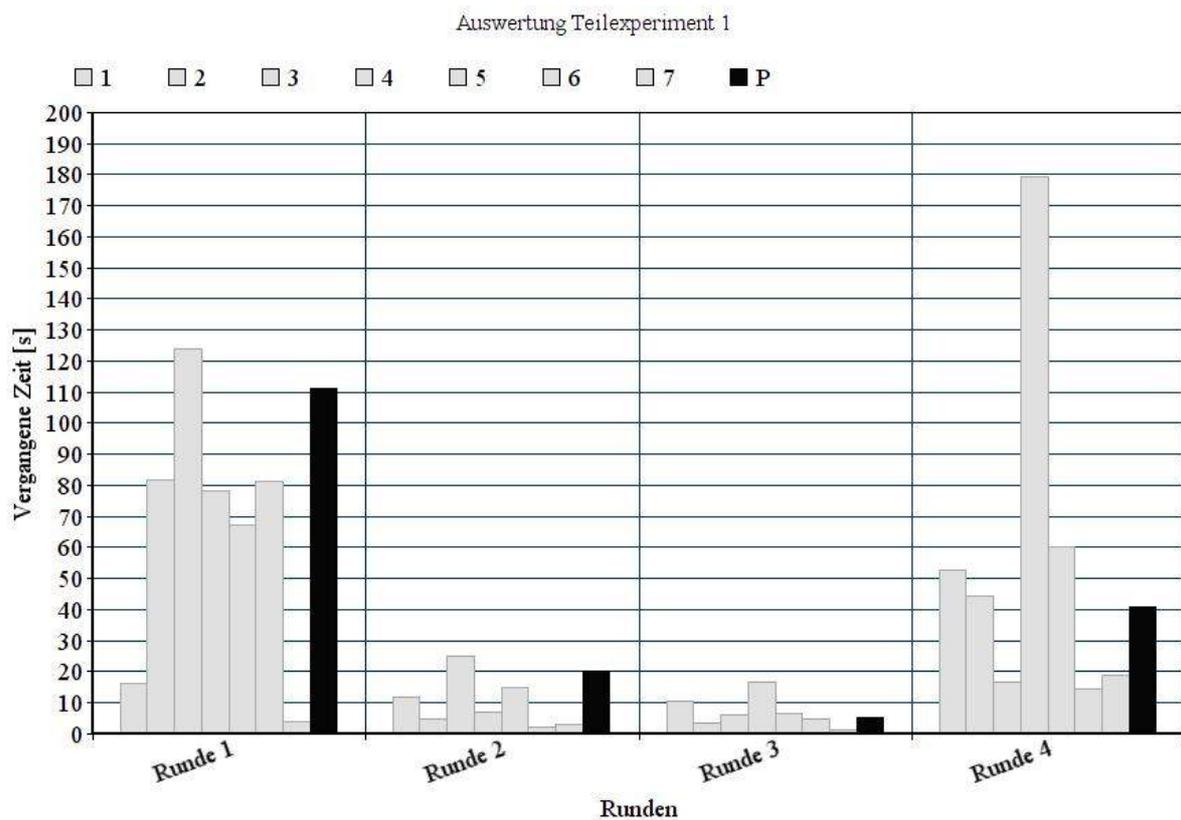


Abb. 12. Wie viel Zeit P und die Kontrollgruppe (1-7) benötigt haben, bis sie die gesuchte Zahl gefunden hatten.

Auf der Abbildung 13 sieht man deutlicher, dass P für die vorteilhafte Kategorie im Schnitt 65,7 s benötigt hat um die Zahlen zu finden und in der unvorteilhaften Kategorie 25,8 s. Dies bedeutet, dass sie für die unvorteilhafte Kategorie im Schnitt 60,7% weniger Zeit gebraucht hat als für die vorteilhafte Kategorie. Dieses Ergebnis falsifiziert meine Hypothesen, da ich das komplette Gegenteil erwartet hatte. Nachdem P mir jedoch ihr Feedback gegeben hat, wurde mir klar weshalb sie bei diesem Telexperiment von ihrer Synästhesie keinen Gebrauch machen konnte. Sie sagte mir, dass sie die Zahlen zuerst identifizieren müsse, damit sie die damit verknüpfte Farbe sehen könne. Diese Erklärung macht in Verbindung mit der Theorie zur Synästhesie Sinn: Damit eine verknüpfte Sinnesempfindung überhaupt ausgelöst werden kann, muss der damit verknüpfte Sinnesreiz zuerst einmal eintreffen.

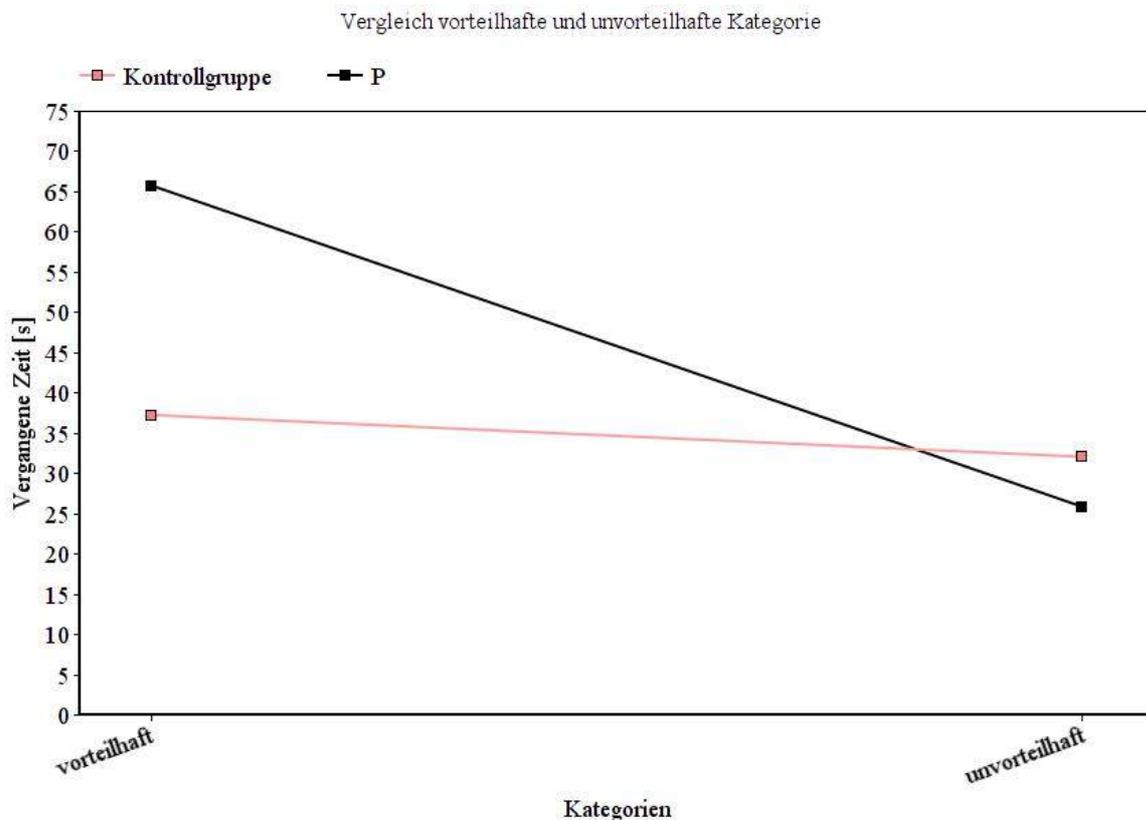


Abb. 13. Vergleich zwischen den Runden der vorteilhaften und der Runden der unvorteilhaften Kategorie für P und die Kontrollgruppe.

Was auf der Abbildung 13 trotzdem auffällt, ist, dass P auch Vergleich zur Kontrollgruppe viel stärker auf die zwei verschiedenen Kategorien reagiert hat – die Kontrollgruppe benötigte nur etwa 14% weniger Zeit. Dies bestätigt meine 3. Hypothese, welche besagt, dass die Kontrollgruppe nicht auf die verschiedenen Kategorien reagiert. Dass P jedoch so stark reagiert hat, obschon es in die gegenteilige Richtung ging als erwartet, lässt vermuten, dass ihre Synästhesie trotzdem einen Einfluss hatte. Bei der dritten Matrix war der Bildschirm mit der Ziffer 1 gefüllt, die eine sehr monotone Form hat, wodurch sie in ihrer Ordnung leicht gestört werden kann. Dadurch, dass ich eine 7 inmitten dieser parallel verlaufenden 1en versteckt habe, könnte es sein, dass diese Runde

im Allgemeinen allen am leichtesten gefallen ist. Tatsächlich war die Kontrollgruppe bei dieser Matrix mit 7,1 s am schnellsten und P mit ihren 5,28 s im Vergleich zu den anderen Runden auch. Diese 5,28 s haben die durchschnittliche Zeit, die P fürs Suchen der Zahlen in den Runden der unvoreilhaften Kategorie gesenkt. Ich vermute also, dass es nicht Ps Synästhesie war, die hier einen Einfluss auf das Resultat hatte, sondern meine Wahl der Zahlen.

Was ich aus diesem Telexperiment ziehen kann, ist, dass der bestimmte Reiz zuerst eintreten muss, damit eine synästhetische Empfindung ausgelöst werden kann. Da ich die Zahlen sehr eng beieinander geschrieben habe, ergibt sich in jeder Runde ein anderes abstraktes Muster, welches wiederum andere synästhetische Empfindungen auslöst. Es hätte vielleicht eine andere Wirkung auf P gehabt, wenn ich die Zahlen so dargestellt hätte wie auf der Abbildung 14.

4.2 Teilexperiment 2 (Version 1): Farbige Zahlen finden und zählen

In diesem zweiten Teilexperiment, wollte ich versuchen Ps Synästhesie so auszulösen, dass sie sie behindert.

Ich habe auch dieses Teilexperiment 2 so zusammengestellt, dass es in zwei Kategorien unterteilt ist – die kongruente und die inkongruente Kategorie. Auf dem Bildschirm erscheinen jeweils in mehrfacher Ausführung zwei verschiedene Zahlen, die zufällig von mir auf dem Bildschirm verteilt worden sind. Zusätzlich zu den Zahlen habe ich die Farben, die laut Ps Wahrnehmung mit den zwei Zahlen verknüpft sind, beliebig auf die zwei Farben verteilt, wobei sich inmitten dieser farbigen Zahlen auch noch nicht gefärbte, weisse Zahlen befinden (Abb. 14.). Erneut erscheint als erstes eine Anweisungsfolie. Nach der Anweisungsfolie erscheint eine Folie, auf der steht, in welcher Runde sich die Probandinnen befinden. Ausserdem steht auf dieser Folie auch welche Zahl, in welcher Farbe zu suchen ist. In diesem Experiment war das Ziel, die richtige Zahl in der richtigen Farbe, so schnell wie möglich zu finden. Insgesamt waren es vier Runden, mit jeweils unterschiedlichen Zahlenkombinationen. Die Probandinnen mussten nie dieselbe Zahl zwei Mal suchen.

Da dieses Experiment anschliessend ans erste Teilexperiment stattgefunden hat, ist die Konstellation der anwesenden Personen immer noch gleich.

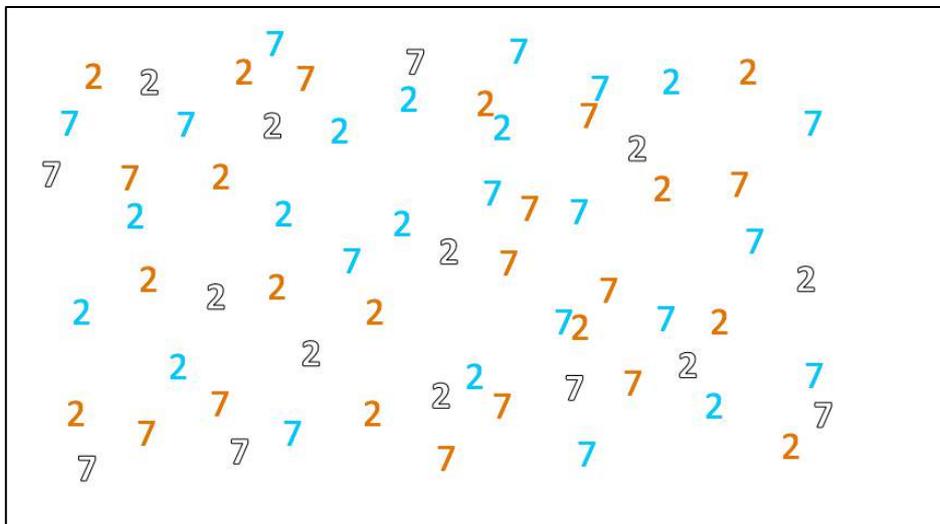


Abb. 14. Die zweite Runde beim Teilexperiment 2, bei dem die Probandinnen aufgefordert waren eine Zahl in einer bestimmten Farbe so schnell wie möglich zu finden und zu zählen. In diesem Fall mussten sie alle blauen 2en finden und zählen.

Die ersten beiden Runden dieses Telexperiments gehören in die kongruente Kategorie, die 3. und 4. Runde in die inkongruente Kategorie. Die kongruente Kategorie ist so zu verstehen, dass die farbige Zahl die gesucht werden musste, kongruent zu Ps Wahrnehmung gefärbt ist. Bei der inkongruenten Kategorie ist die farbige Zahl, die zu suchen war, inkongruent zu Ps Wahrnehmung. In der Praxis musste sie also in den beiden Runden der kongruenten Kategorie gelbe 5en und blaue 2en zählen und in den beiden Runden der inkongruenten Kategorie beige 4en und rote 6en.

Ich habe für dieses Telexperiment 2 folgende Hypothesen aufgestellt:

- ⇒ 1. Hypothese: P wird bei beiden Kategorien mit Schwierigkeiten zu kämpfen haben, jedoch wird sie in den beiden Runden der kongruenten Kategorie weniger Mühe haben als bei den beiden Runden der inkongruenten Kategorie. Das wird man daran sehen können, dass sie in den Runden der inkongruenten Kategorie mehr Zeit benötigen wird, als bei denen der kongruenten Kategorie.

Überlegung: Es wird ihr eine Hilfe sein, dass sie sich nur auf die Zahlen fokussieren muss, die mit ihrer Wahrnehmung übereinstimmen. Es wird sie natürlich trotzdem verwirren, da auch in der kongruenten Kategorie Zahlen mitgefärbt werden, die inkongruent zu ihrem Empfinden sind.

- ⇒ 2. Hypothese: P wird bei den Runden der kongruenten Matrix im Schnitt mehr Zahlen mitzählen, als effektiv auf dem Bildschirm zu sehen sind.

Überlegung: P wird die Störzahlen höchstwahrscheinlich mitzählen, da sie nicht unterscheiden können wird, welche effektiv gefärbt sind und welche nur ihrer synästhetischen Wahrnehmung nach farbig sind. Durch den zusätzlichen Zeitdruck wird sie nicht genug Zeit haben um zu differenzieren. Dieses Phänomen wird jedoch nicht bei den Runden der inkongruenten Kategorie zu beobachten sein, da sie die farblosen Zahlen zwar auch farbig sieht, aber die Anweisung hat, Zahlen zu zählen, die nicht mit ihrer Wahrnehmung übereinstimmen.

- ⇒ 3. Hypothese: P wird im Schnitt, trotz Zeitdruck, länger haben als die Kontrollgruppe, bis sie die Zahlen gefunden und gezählt hat.

Überlegung: Obwohl P die Anweisung, sie solle die Zahlen so schnell wie möglich suchen, auch erhalten hat, wird sie sich konzentrieren müssen, keine falschen Zahlen mitzuzählen, was sie im Schnitt mehr Zeit kosten wird.

4.2.1 Auswertung des Teilexperiments 2 (Version 1): Farbige Zahlen finden und zählen

Die Abbildung 15 zeigt, wie viel Zeit vergangen ist, bis P und die Kontrollgruppe die gesuchte Zahl gefunden und gezählt haben. Schon hier ist zu erkennen, dass P in den Runden 3 und 4 der inkongruenten Kategorie mehr Zeit benötigt hat als in den Runden 1 und 2 der kongruenten Kategorie.

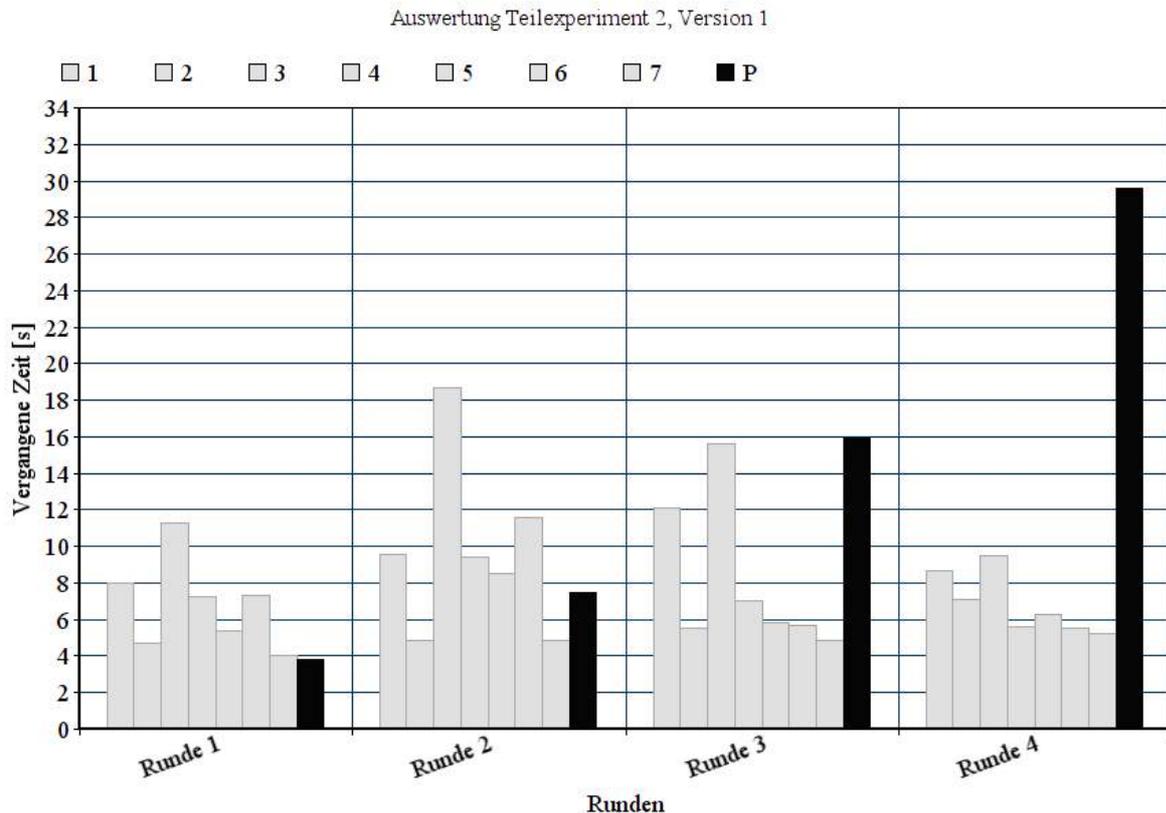


Abb. 15. Wie viel Zeit vergangen ist bis die gesuchte gefärbte Zahl gefunden und gezählt wurde für die Kontrollgruppe und P.

Noch deutlicher sieht man dies auf der Abbildung 16. Da man im Vergleich noch die Linie der Kontrollgruppe zur Hand hat, die sich nur um 2,6% nach unten verschiebt, sieht man noch klarer wie stark P auf die verschiedenen Kategorien reagiert hat. In der kongruenten Kategorie brauchte sie im Schnitt 5,63 s, wobei sie in den Runden der inkongruenten Kategorie 22,77 s brauchte. Dadurch, dass sie im Schnitt 17,14 s länger bzw. 404,4% der Zeit in der inkongruenten Kategorie braucht, lässt sich meine 1. Hypothese bestätigen, welche besagt, dass sie in der inkongruenten Kategorie mehr Schwierigkeiten begegnen wird als in der kongruenten. Auch Ps Feedback zu diesen vier Runden bekräftigt dies: Die Runden 3 und 4 seien sehr schwer gewesen, weil in der vierten Runde zum Beispiel die roten 6en als 3 identifiziert wurden. Aus dieser Aussage lässt sich die These formulieren, dass in den Runden der inkongruenten Kategorie, P wenig auf die effektive Zahl geachtet hat sondern sich auf die Farbe fokussiert hat und dieser dann die Zahl zugeordnet hat.

Erstaunlicherweise hat P, trotz dieser Erkenntnis, bei keiner der vier Runden zu viele Zahlen dazugezählt, was meine 2. Hypothese falsifiziert. Im Gegenteil sogar: Bei den Runden 2–4 hat sie alle Zahlen richtig gezählt, doch in der Runde 1 hat sie eine Zahl übersehen. Ich gewichte diese Fehlzählung jedoch nicht gross, da ich es als Flüchtighkeitsfehler einordne. Ich habe P gefragt, wie sie die farblosen und die farbigen Zahlen unterscheiden konnte und sie antwortete mir, dass sie die farblosen Zahlen natürlich auch farblich gesehen habe, diese jedoch dadurch, dass sie einen schwarzen Rand haben, dicker wären und sie somit anders aussähen als die restlichen Zahlen. Damit sie die farblosen Zahlen vielleicht auch mitgezählt hätte, hätte ich entweder allen Zahlen einen schwarzen Rand verpassen müssen, die Zahlen, die farblos waren, ganz schwarz machen oder statt einem weissen Hintergrund einen schwarzen nehmen müssen, damit ich die farblosen Zahlen ohne schwarzen Rand ganz weiss abbilden könne. Nach dieser Rückmeldung habe ich eine verbesserte Version dieses Telexperiments 2 durchgeführt, das Telexperiment 2 (Version 2). Meine 3. Hypothese, dass P im Schnitt mehr Zeit als die Kontrollgruppe benötigen wird, erweist sich in der kongruenten Kategorie als falsch – P braucht hier im Schnitt 5,63 s und die Kontrollgruppe 7,65 s – in der inkongruenten Kategorie ist dies jedoch korrekt – P braucht hier mit 22,77 s 205,6% länger als die Kontrollgruppe.

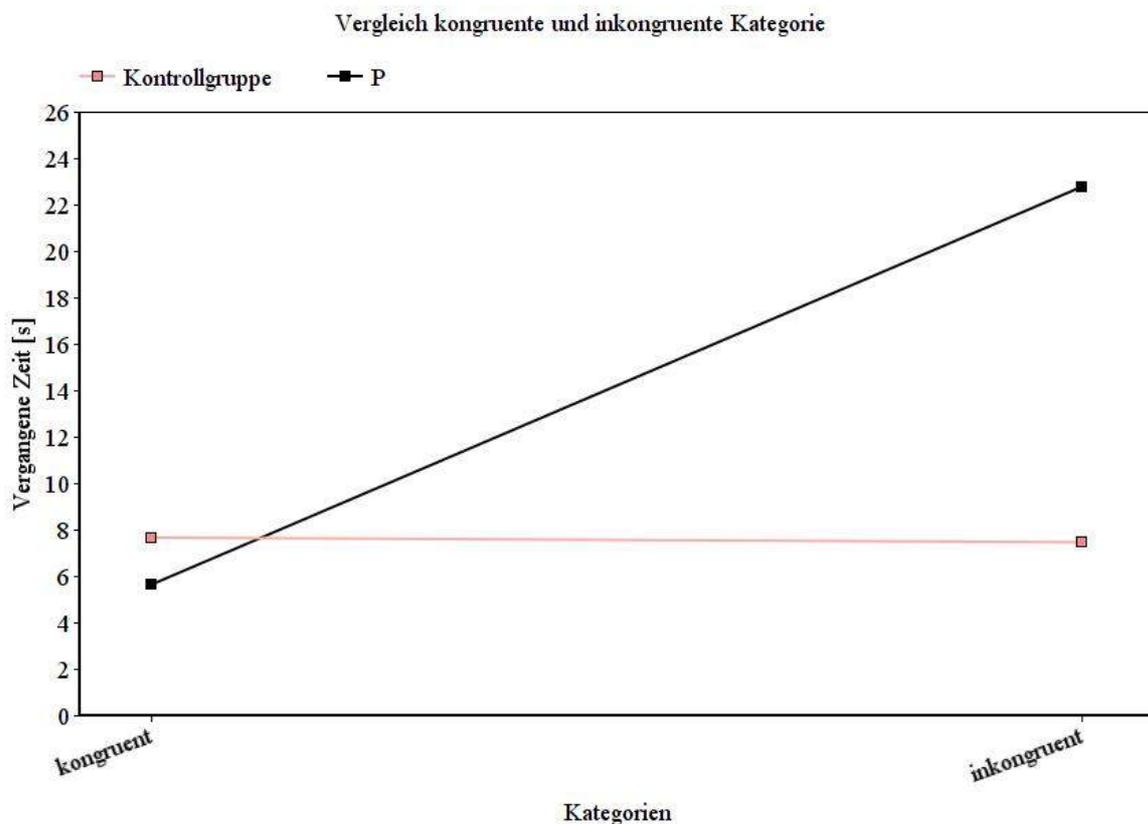


Abb. 16. Vergleich zwischen den Runden der kongruenten Kategorie und den Runden der inkongruenten Kategorie für P und die Kontrollgruppe.

4.3 Teilexperiment 2 (Version 2): Farbige Zahlen finden und zählen

Diese zweite Version des Teilexperiments 2 ist vom Prinzip her gleich wie die Version 1, doch ich habe es Ps Rückmeldung entsprechend angepasst. Wieder erscheinen in jeder Runde jeweils zwei verschiedene Zahlen, wobei ich die zwei Farben, die laut Ps Wahrnehmung mit den zwei Zahlen verknüpft sind, unwillkürlich auf die Zahlen verteilt habe. Damit sich diese zweite, verbesserte Version jedoch von der ersten unterscheidet, habe ich diese Version in drei Kategorien unterteilt: Typ 1, Typ 2 und Typ 3. Im Typ 1 erscheinen die Zahlen auf einem schwarzen Hintergrund. Dadurch konnte ich die weissen Zahlen, die in der ersten Version schwarz umrandet waren, ohne Umrandung, ganz weiss abbilden (Abb. 17). Im Typ 2 sind die Zahlen auf einem weissen Hintergrund abgebildet. Hier habe ich jedoch nicht nur die Störzahlen schwarz umrandet, sondern alle Zahlen. Dadurch, dass alle Zahlen gleichermassen umrandet sind, und sie sich somit nur noch von ihrer Füllung unterscheiden, wird es für P schwieriger sein, die Zahlen voneinander zu unterscheiden und der Verwirrungsfaktor steigt. Im Typ 3 erscheinen die Zahlen wieder auf einem weissen Hintergrund, wobei sich hier inmitten der farbigen Zahlen keine schwarz umrandete weisse Zahlen befanden sondern ganz schwarze eingefärbte Zahlen. Jeder Typ hatte jeweils 4 Runden. Die Aufgabe der Probanden ist für diese zweite Version des Teilexperiments 2 dieselbe wie für die erste Version: Die richtige Zahl in der richtigen Farbe so schnell wie möglich finden und zählen. Die farbige Zahl, die gesucht werden muss, ist in ihrer Färbung immer kongruent zu Ps Wahrnehmung. Der Grund, weshalb ich die Probandinnen nie inkongruent gefärbte Zahlen zählen liess, war folgender: Obschon P in der ersten Version in der Kategorie der inkongruenten Zahlen im Schnitt länger gebraucht hatte um die Zahlen zu finden und zu zählen als in der Kategorie der kongruent gefärbten Zahlen (Abb. 16) würde es in dieser zweiten Version keinen Sinn machen. Mein primäres Ziel für dieses Teilexperiment 2 ist es, ihre Synästhesie mit meinen bewussten Färbungen der Zahlen zu steuern. In dieser zweiten Version wollte ich erneut durch die verschiedenen Kategorien bezwecken, dass sie mehr Zahlen mitzählt als eigentlich da sind. Würde ich sie jedoch auffordern Zahlen zu suchen, die in Kombination mit der Färbung inkongruent zu ihrer Wahrnehmung sind, dann wird der Effekt nicht zu verfolgen sein. Da auch wenn P die Störzahlen gleich wahrnehmen würde, wie die effektiv gefärbten Zahlen, würde dies das Resultat nicht beeinflussen, da sie wegen des Auftrags inkongruent gefärbte Zahlen zu zählen, die kongruent gefärbten Störzahlen einfach ignorieren würde. Vor jeder Runde erschien zuerst eine Folie, die die Runde ankündigte und die Probandinnen informierte, welche Zahl, in welcher Farbe gesucht werden musste. Die Probandinnen wurden auch über die Hintergrundfarbe der verschiedenen Runden informiert.

Für die das Teilexperiments 2 (Version 2) habe ich folgende Hypothesen aufgestellt:

- ⇒ 1. Hypothese: P wird im Schnitt, trotz Zeitdruck, länger haben als die Kontrollgruppe, bis sie die Zahlen gefunden und gezählt hat.

Überlegung: Obwohl P die Anweisung, sie solle die Zahlen so schnell wie möglich suchen, auch erhalten hat, wird sie sich konzentrieren müssen, keine falschen Zahlen mitzuzählen, was sie im Schnitt mehr Zeit kosten wird. Sie wird mit Verwirrung zu kämpfen haben, aufgrund der von mir unwillkürlich gefärbten Zahlen. (Vgl. 3. Hypothese beim «Teilexperiment 2 (Version 1)»).

⇒ 2. Hypothese: P wird bei den drei Typen im Schnitt mehr Zahlen mitzählen, als effektiv auf dem Bildschirm zu sehen sind.

Überlegung: P wird die Störzahlen höchstwahrscheinlich mitzählen, da sie nicht unterscheiden können wird, welche effektiv gefärbt sind und welche nur ihrer synästhetischen Wahrnehmung nach farbig sind. Durch den zusätzlichen Zeitdruck wird sie nicht genug Zeit haben um zu differenzieren. Dieses Phänomen wird in allen 3 Typen zu beobachten sein, da sie die Anweisung erhalten hat, Zahlen zu zählen, die mit ihrer Wahrnehmung übereinstimmen und somit auch die Störzahlen mitzählen wird.

⇒ 3. Hypothese: Man wird bei P in Bezug auf die Geschwindigkeit einen leichten Unterschied merken können zwischen den Typen 1 & 2 und dem Typ 3. Bei Typ 3 wird sie weniger Zeit brauchen als bei den Typen 1 & 2.

Überlegung: Ich habe die drei Typen zwar so zusammengestellt, dass sie P gleichermassen verwirren sollten, und doch nehme ich an, dass sie bei dem Typ 3 weniger Schwierigkeiten haben wird als bei den Typen 1 & 2 und folglich weniger Zeit benötigen wird um die Zahlen zu finden und zu zählen. Ich nehme dies deshalb an, weil sie im Alltag häufig mit schwarzen Zahlen konfrontiert ist und sich somit schon daran gewöhnen konnte diese Zahlen von effektiv farbigen Zahlen zu distinguieren. Ihr Gehirn hat hier schon mentales Training hinter sich, wobei dies bei den Typen 1 & 2 nicht der Fall ist.

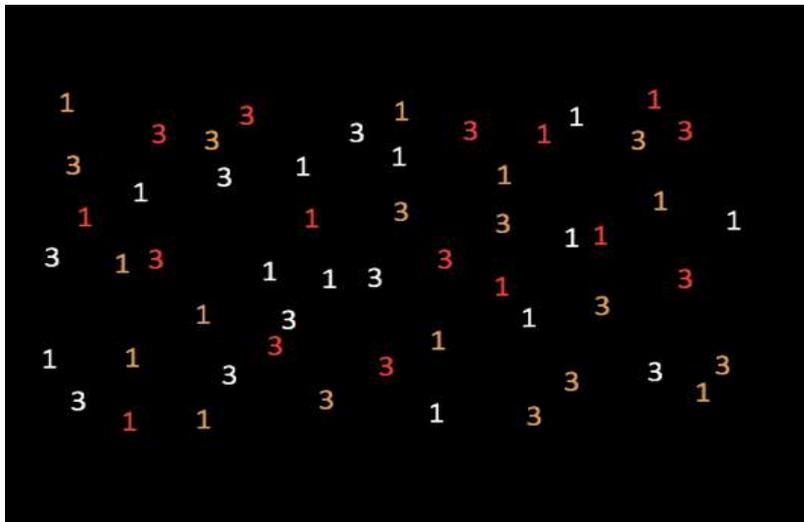


Abb. 17 Die dritte Runde beim Telexperiment 2 (V2), bei dem die Probandinnen aufgefordert waren eine Zahl in einer bestimmten Farbe so schnell wie möglich zu finden und zu zählen. In diesem Fall mussten sie alle roten 3en finden und zählen.

4.3.1 Auswertung des Teilexperiments 2 (Version 2): Farbige Zahlen finden und zählen

Auf der Abbildung 18 ist zu erkennen, wie viel Zeit P und die Kontrollgruppe gebraucht haben, um die gesuchte Zahl zu finden und zu zählen. P benötigte im Schnitt 5,63 s und die Kontrollgruppe 6,54 s. Da P 0,91 s weniger Zeit benötigte als die Kontrollgruppe könnte ich dieses Resultat als Falsifizierung meiner 1. Hypothese ansehen, die besagte, dass P mehr Zeit benötigen würde als die Kontrollgruppe, da sie Schwierigkeiten haben würde, die effektiv gefärbten Zahlen von den Störzahlen zu unterscheiden. Da der Unterschied aber nicht einmal 1 s beträgt, darf man dieses Resultat nicht all zu schwer gewichten.

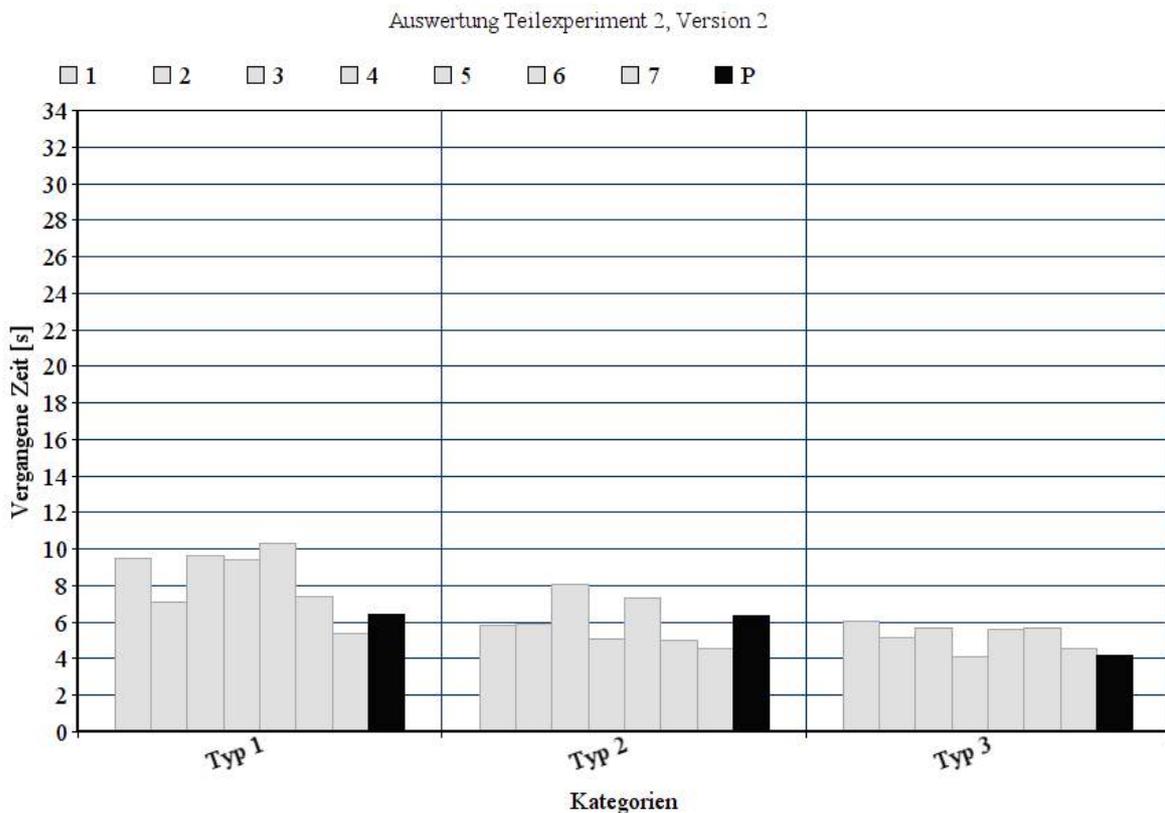


Abb. 18 Wie viel Zeit vergangen ist bis die gesuchte gefärbte Zahl gefunden und gezählt wurde für die Kontrollgruppe und P.

In den Typen 1 & 2 benötigte P im Schnitt 6,36 s und in den Runden des Typs 3 nur 4,17 s. Dies bestätigt meine 3. Hypothese, die besagt, dass sie in der Runde 3 weniger Zeit brauchen wird um die gesuchte Zahl zu finden und zu zählen als in den Runden 1 & 2. Die Differenz der 2,19 s könnte, wie bereits bei der Überlegung der 3. Hypothese erläutert, darauf zurückzuführen, dass P in ihrem Alltag immer mit Zahlen konfrontiert ist, die in den meisten Fällen schwarz auf einem weissen Hintergrund sind. Aufgrund dessen, dass sie solche Zahlen immer wieder sieht, könnte zur Folge haben, dass ihr Gehirn trainiert wird, diese Zahlen unterscheiden zu können von effektiv gefärbten Zahlen. Dadurch, dass ihr Gehirn dieses Training jeden Tag aufs Neue durchläuft, hatte P beim Typ 3 weniger Schwierigkeiten als bei den Typen 1 & 2, da sich ihr Gehirn schon gewöhnt ist, schwarze

Zahlen, die auf ihrem inneren Monitor gefärbt sind, von effektiv gefärbten Zahlen zu distinguieren. Dieses Training hat ihr Gehirn jedoch nicht für die anderen Typen und somit bereiten ihr diese mehr Verwirrung und grössere Schwierigkeiten.

Vergleicht man die Abbildung 18 mit der Abbildung 15 sieht man, dass die Probandinnen in der Version 2 (Abb. 18) weniger Zeit benötigten, um die Zahlen zu finden und zu zählen. Ich bin mir nicht sicher woran dieses Resultat liegen könnte – evtl. weil die Probandinnen bei dieser zweiten Version schon etwas Übung hatten, da sie bei der Version 1 schon Bekanntschaft mit diesem Testformat gemacht haben.

Auf der Abbildung 19 sieht man, dass P in den Runden der Typen 1 & 3 alle Zahlen richtig gefunden und gezählt hat, jedoch in zwei Runden des Typs 2 zu wenig Zahlen mitgezählt hat. Dieses Resultat falsifiziert meine 2. Hypothese, welche besagt, dass sie im Schnitt mehr Zahlen mitzählen wird als effektiv auf dem Bildschirm zu sehen waren. Obwohl ich auch diese zwei Fehler nicht allzu stark gewichte, sagt das Resultat der korrekt gezählten Zahlen aus, dass ihr Gehirn die Störzahlen gut von den effektiv gefärbten Zahlen unterscheiden kann. Die logische Erklärung hierfür ist, dass P die Farben, die sie aufgrund ihrer Synästhesie wahrnimmt, auf ihrem inneren Monitor sieht. Diese Farben sind gut zu unterscheiden von den effektiv farbigen Zahlen auf dem Bildschirm. Dieses Resultat knüpft wieder an die Forschung von Mas-Casadesús & Gherri (2017) an, die besagt, dass Synästhetiker Störfaktoren besser ausblenden können (Mas-Casadesús & Gherri, 2017). Ich vermute jedoch, dass wenn man die Art von Synästhesie hätte, bei der die Farben ausserhalb des Kopfes aufleuchtet, dass das Ergebnis anders ausgefallen wäre.



Abb. 19 Anzahl der korrekt gezählten Zahlen für P für die vier Runden der Typen 1-3. P hatte nur bei zwei Runden des Typs 2 falsch gezählte Zahlen, wobei P entgegen meiner Vermutung zu wenig Zahlen gezählt hat als zu viel.

5. Schlussfolgerung

Für das Experiment 1: Zahlen merken kann man als allgemeines Fazit sagen, dass für P die kongruent gefärbten Zahlen eindeutig eine Hilfe waren. Es ist vor allem spannend zu sehen, wie ihr diese Färbung, im Vergleich zu den schwarzen Zahlen, eine Stütze verschaffen hat. Die inkongruent gefärbten Zahlen waren für P ein enormer Störfaktor und sie hatte Mühe, sich diese «falsch gefärbten» Zahlen zu merken. Man konnte vor allem nach 48 Stunden den vorteilhaften Effekt, den die kongruent gefärbten Zahlen auf Ps Auswendigmerken-Kapazität hatten, beobachten. In der Forschung von Smilek et al. jedoch konnte sich seine Probandin C am ersten Tag mehr schwarze Zahlen merken als kongruent gefärbten Zahlen – eine Verallgemeinerung der Aussage, dass kongruent gefärbte Zahlen allen SynästhetikerInnen dabei hilft, sich mehr Zahlen auswendig zu merken als schwarze Zahlen, ist deshalb nicht möglich. Dieser direkte Vergleich zwischen meiner Probandin P und der Probandin C in der Forschung von Smilek et al. zeigt einfach wieder die grosse Diversität an Erscheinungsformen im Bereich der Graphem-Farb-Synästhesie.

Beim Experiment 2, Teilexperiment 1: Versteckte Zahl finden konnte P keinen Gebrauch ihrer Synästhesie machen. Dieses Experiment bestätigt nochmals, dass bei Synästhesie zuerst ein Sinnesreiz eintreffen muss (in diesem Fall das Sehen der versteckten Zahl), damit eine damit verknüpfte Sinnesempfindung ausgelöst werden kann.

Beim Experiment 2, Teilexperiment 2 (Version 1): Zahlen finden und zählen brauchte P in den Runden, wo die Zahlen, die zu finden und zählen waren, inkongruent zu ihrer synästhetischen Wahrnehmung waren, 404,4% der Zeit als bei den Runden der kongruenten Kategorie. Dies beweist, dass es P eine Hilfe ist, wenn die Zahlen, die zu finden sind, kongruent zu ihrer Wahrnehmung gefärbt sind. Auch zeigt sich in der Auswertung, dass P die Störzahlen, die da waren, damit P sie fälschlicherweise aufgrund ihrer Synästhesie mitzählt, gut von den effektiv gefärbten Zahlen unterscheiden konnte. Dieselbe gute Unterscheidungsfähigkeit Ps konnte bei der Version 2 dieses Teilexperiments beobachtet werden – P kann also gut zwischen den Zahlen, die auf ihrem inneren Monitor gefärbt sind und den Zahlen, die effektiv gefärbt sind, unterscheiden. Diese Erkenntnis würde die Hypothese, dass Synästhetiker überdurchschnittlich gut sind im Ausblenden von Störfaktoren bei visuellen Suchaufgaben, bestätigen.

Es muss beachtet werden, dass meine Fazite und Schlussfolgerungen alle auf meiner Analyse von einer einzelnen Synästhetikerin beruhen – es kann also nicht von Kausalität gesprochen werden und die Verallgemeinerung der Resultate auf alle SynästhetikerInnen wäre auch falsch. Bei Einzelstudien ist es schwierig bei solch verschiedenen Ausprägungen von synästhetischen Eigenschaften, jemals eine allgemeine These erschliessen zu können. Hätte ich eine grössere Gruppe an Probanden mit Synästhesie gehabt, wäre es möglich gewesen, aus statistischen Erwägungen, eine verallgemeinernde These aufstellen zu können.

6. Fazit/Reflexion

In dieser Arbeit habe ich mich mit der Fragestellung beschäftigt, inwiefern Zahlen, die strategisch von mir gefärbt wurden, das synästhetische Empfinden meiner Probandin P beeinflusst. Ich habe die Arbeit in zwei verschiedene Teile gegliedert, in denen ich jeweils unterschiedliche Fragestellungen und Hypothesen aufgestellt habe. Im ersten Teil meiner Arbeit wollte ich Ps Kurz- und Langzeitgedächtnis testen. Der zentrale Aspekt dieses ersten Teils war es herauszufinden, ob sich P Zahlen besser merken kann, wenn diese kongruent zu ihrer Wahrnehmung gefärbt sind. Das Experiment beinhaltete drei Matrizen mit jeweils 55 Zahlen, die entweder schwarz, inkongruent oder kongruent zu Ps Wahrnehmung gefärbt waren. Mit Hilfe dieses Experiments, konnte ich diese Hypothese bestätigen. Als Ergebnis kam heraus, dass die kongruent gefärbten Farben viel besser hängenbleiben, als die schwarzen Zahlen. Sogar als das Experiment nach 48 Stunden in gekürzter Form wiederholt wurde, konnte P sich $\frac{3}{4}$ der Zahlen merken – Synästhesie verschafft P also einen Vorteil sowohl im Kurzzeit- als auch im Langzeitgedächtnis. Mit dieser Erkenntnis könnte man eine grössere Gruppe von Synästhetikern testen und schauen ob sich diese Aussage unter den Synästhetikern verallgemeinern lässt. Trifft dies nämlich zu, könnten Synästhetiker, die ebenfalls die Graphem-Farb-Synästhesie haben anfangen wichtige Zahlen kongruent zu ihrer Wahrnehmung zu färben. Dies könnte für Synästhetiker eine innovative Lernstrategie sein, mit Hilfe derer sie ihre Synästhesie aktiv nutzen könnten. Wenn Synästhetiker in der Mathematik zum Beispiel Mühe haben, dann können sie versuchen, die Zahlen in kongruenten Farben auf das Aufgabenblatt zu schreiben und dadurch ihre Synästhesie als Lernstütze verwenden. Im Bereich der Mathematik könnte man diese Überlegung dann ausarbeiten und weitere Forschungen betreiben. Zum Beispiel könnte man verschiedene mathematische Disziplinen – Arithmetik, Algebra, Vektorgeometrie – analysieren und schauen, wo sich Synästhesie als nützlich erweist und wo sie eher stört. Ich kann aus eigener Erfahrung berichten, dass es für mich eher schwierig ist Zahlen zu addieren, die Farben haben, die meiner Meinung nach, nicht zusammenpassen. Vor allem aber steht mir meine Synästhesie im Weg, wenn ich Zahlen multiplizieren muss, bei denen z. B. eine kühle, glasige Form rauskommt, obwohl eine (oder beide) der Faktoren warm und samtig ist. Dies ist bei der Multiplikation von $6 \times 7 = 42$ der Fall. 6 ist eindeutig eine warme, braun-orangene Zahl, welche an ein Lagerfeuer erinnert, wobei 7 eine kühle, blaue Zahl ist, die an Pfefferminze erinnert. Die Kombination zwischen einer warmen und einer kühlen Zahl sollte, meines Verständnisses nach, eine Mischung aus warm und kalt ergeben wie bei der Multiplikation $7 \text{ (kalt)} \times 16 \text{ (warm)} = 112$ (Mischung aus kalt und warm). Es wäre spannend zu sehen, ob andere Graphem-Farb-Synästhetiker ähnlich empfinden wie ich.

Eine weitere Idee für mein Experiment wäre es Synästhetiker zu nehmen, die mit Zahlen sowohl in geschriebener Form als auch beim blossen Hören ein Farberlebnis verbinden. Hier könnte man nämlich analysieren ob dieser Vorteil beim Zahlen Merken nur bei geschriebener Form so ausgeprägt ist oder ob die synästhetischen Empfindungen so stark sein könne, dass sie auch beim Hören das Verankern der Zahl verstärken.

Im zweiten Teil meiner Arbeit, wollte ich beobachten, inwiefern Synästhetiker einen Vorteil haben, wenn es sich um visuelle Suchaufgaben handelt. Dieser zweite Teil ist in zwei Teilerperimente aufgebaut. Die Annahme für mein erstes Teilerperiment war, dass P eine gesuchte schwarze Zahl inmitten anderer schwarzen Zahlen (vgl. Abb. 11) viele schneller finden würde als die Kontrollgruppe, da sie meinen Überlegungen nach nur der Farbe folgen könne. Dies erwies sich jedoch als falsch. P musste die Zahl zuerst identifizieren, bevor ihr Gehirn die Verbindung zur Farbe herstellen konnte – damit das simultane Farberlebnis ausgelöst wird, muss zuerst der damit verknüpfte Stimulus eintreten. Was ich hier hätte anders machen können bzw. was ich zusätzlich hätte machen können, ist, dass ich die Zahlen nicht in diesem gleichmässigen Muster anordne, sondern sie eher verteilt auf dem Bildschirm präsentiere. Da sich bei meinem Experiment bei jeder der Zahlen symmetrische Muster bildeten, hatte jedes Muster einen anderen Effekt auf P. Bei einem der Muster war zusätzlich meine Wahl der Zahlenkombination nicht besonders geschickt, da ich die 1 in mehrfacher Aufführung abgebildet habe und darunter eine einzelne 7 versteckt hatte. In diesem Fall hat es nichts mehr mit speziellen Fähigkeiten zu tun die 7 zu finden, da die gerade Form von aneinandergereihten 1en mit wenig Aufwand gestört werden kann und die gesuchte Zahl meistens auf ersten Blick entdeckt wird – hätte ich die Zahlen versetzt dargestellt hätte dies vermutlich ein anderes Resultat ergeben.

Im zweiten Teilerperiment wollte ich Ps Synästhesie so manipulieren, dass sie durch gezielte Stolperfallen, mehr Zahlen mitzählen würde als effektiv auf dem Bildschirm zu sehen sind. Meine zentrale Hypothese war, dass sie die farbigen Zahlen auf ihrem inneren Monitor nicht unterscheiden könne von den farbigen Zahlen auf dem Blatt und durch diese Verwirrung, diese Zahlen auch mitzählen würde. Diese Hypothese wurde ebenfalls falsifiziert. Bei diesem Teilerperiment musste ich eine erste und eine zweite Version machen, da mir P nach dem Durchgang der ersten Version Tipps gegeben hatte, wie ich mein Experiment so verändern könne, dass ich mein erwünschtes Ergebnis bekäme. Doch auch nach den Anpassungen in der Version 2 konnte ich meine Hypothese nicht bestätigen. Die Resultate der Auswertung dieses Experiments sind jedoch kein totaler Misserfolg, es ist einfach ein anderer Interpretationsansatz von Nöten. Denn auch hier konnte ich spannende Erkenntnisse schöpfen: Vermutlich können alle Synästhetiker, die das Farberlebnis auf ihrem inneren Monitor sehen, gut zwischen diesen Farben und den effektiv gefärbten Zahlen unterscheiden. Dies leuchtete mir nach meiner Auswertung des Experiments ein, schliesslich weiss ich auch, dass schwarze Zahlen, die ich auf einem Blatt sehe, mir in meinem Kopf zwar farbig erscheinen, jedoch nicht effektiv gefärbt sind.

Es wäre spannend zu beobachten, ob Synästhetiker, die ihr Farberlebnis ausserhalb ihres inneren Monitors sehen, ein anderes Ergebnis erzielt hätten. Vielleicht würden sich hier die synästhetische Färbung direkt über die Zahl legen und sie könnten ihre subjektive Wahrnehmung nicht mehr von der objektiven, nicht-synästhetischen Wahrnehmung unterscheiden.

Im Rückblick auf das ganze Experiment hatte ich am meisten Mühe mit dem Interpretieren der Resultate und der Diagramme des zweiten Teils (Visuelle Suchaufgaben). Es kamen ab und zu relativ kleine Differenzen zwischen P und der Kontrollgruppe heraus, wodurch es nicht klar war,

wie diese zu deuten waren. Was ich jedoch sehr spannend finde und mir, glaube ich, auch gelungen ist, war die Durchführung und die Auswertung des ersten Teils, mit den drei verschiedenen Matrizen. Es war ein ganz neues Erlebnis mit Probandinnen zusammenzuarbeiten, doch vor allem war es spannend zu sehen, wie P, die dieselbe Art von Synästhesie wie ich hat, die Zahlenwelt trotzdem ganz anders wahrnahm als ich. Ich hatte Angst, dass ich auf organisatorische Schwierigkeiten stossen würde, in Bezug auf die Durchführung dieses ersten Experiments. Dieses musste nämlich in einem 48 Stunden Intervall wiederholt werden, was bedeutete, dass ich nicht nur für die einzelnen Probandinnen sondern auch für mich jeweils passende Tages-Kombinationen finden musste. Hätte dies nämlich nicht geklappt hätte ich bei der jeweiligen Probandin das ganze Experiment von neuem starten müssen, da diese 48 Stunden von entscheidender Bedeutung sind. Glücklicherweise hat dies problemlos geklappt. Obwohl meine Resultate informativ und lehrreich waren, hätte ich gerne mit mehr SynästhetikerInnen zusammengearbeitet, da ich dann meine Resultate eher hätte verallgemeinern können.

Ich denke die Umsetzung meiner Arbeit ist mir insofern gelungen, als dass ich mir viele neue Erkenntnisse im Bereich der Synästhesie habe aneignen können und dass das Resultat, dass P sich kongruent gefärbte Zahlen besser merken kann als schwarze Zahlen, vielleicht nicht nur ihr, sondern allen Graphem-Farb-Synästhetikern eine neue Lernstrategie in Bezug auf das Auswendigmerken von Zahlen zur Verfügung stellt.

7. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Verwirklichung meines Projekts unterstützt haben.

Als erstes bedanke ich mich bei meinem Betreuer Thomas Kindle, der mir stets konstruktive Kritik gab. Bei Unklarheiten konnte ich immer ohne Bedenken auf ihn zugehen. Obwohl ich mich zuerst so gefühlt hatte, als ob man mich mit dieser Arbeit ins kalte Wasser geworfen hat, habe ich mich dank Herrn Kindle ständig betreut gefühlt.

Als nächstes möchte ich mich herzlich bei Dr. Nicolas Rothen und Prof. Dr. Beat Meier bedanken. Sie haben mir die drei Forschungen zur Verfügung gestellt, aus denen ich mir am meisten Wissen aneignen konnte und die mich am meisten bereichert haben. Obwohl sie vielbeschäftigt sind, haben sie sich die Zeit genommen sich meine Fragestellungen durchzulesen und mir zu antworten.

Ebenfalls möchte ich mich bei Martin Schmiederer, dem 1. stellvertretenden Vorsitzender der Deutschen Synästhesie-Gesellschaft bedanken. Er hat sich die Mühe gemacht sich meine ganze Arbeit durchzulesen und dank seiner hilfreichen inhaltlichen Korrekturen ist die Qualität meiner Arbeit enorm gestiegen.

Ein besonderer Dank gilt meiner Hauptprobandin Paulina Steuer, die mir einen Einblick in ihre Welt voller synästhetischer Empfindungen gegeben hat und sich hingebungsvoll auf alle meine Experimente eingelassen hat. Mein herzlichster Dank gebührt natürlich auch meinen sieben Probandinnen der Kontrollgruppe: Amina Mbaye, Manahil Nadeem, Salma Trutmann, Lilly Schlupp, Perihan Yildiz, Rahel Gerber und Chiara Casanova.

Ich möchte mich nicht nur dafür bedanken, dass sie zuverlässige Probandinnen gewesen sind und sich meinen Experimenten voll und ganz gewidmet haben sondern auch dafür, dass sie mir als Freundinnen immer den Rücken gestärkt haben.

Abschliessend möchte ich mich von ganzen Herzen bei meinen Eltern bedanken, die in dieser anspruchsvollen Zeit immer hinter mir gestanden sind und mich durch meinen ganzen Arbeitsprozess hindurch unterstützend begleitet haben.

8. Literaturverzeichnis

8.1 Bücher und Forschungen

- Baron-Cohen S, Burt L, Smith-Laittan F, Harrison J, Bolton P (1996), Synaesthesia: Prevalence and Familiarity, 1073-1079.
- Bor D, Duncan J, Wiseman RJ, Owen AM, (2003), Encoding strategies dissociate prefrontal activity from working memory demand. *Neuron* 37, 361-367.
- Bor D, Owen AM, (2007), A Common prefrontal-parietal network for mnemonic and mathematical recoding strategies within working memory. *Cerebral Cortex* 17, 778-786.
- Chin T and Ward J (2018), Synaesthesia is linked to more vivid and detailed content of autobiographical memories and less fading of childhood memories, *Memory*, Volume 26, 844-851.
- Cytowic RE (1989), *Synaesthesia: A union of the senses*. New York: Springer-Verlag.
- Cytowic RE (2002), *Synaesthesia: A union of the senses* (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Emerich HM, Schneider U, Zedler M: *Welche Farbe hat der Montag? Synästhesie: Das Leben mit verknüpften Sinnen. Mit Textdokumenten von 13 Synästhetikern*. S. Hirzel-Verlag, Stuttgart-Leipzig 2017, 2. überarbeitete und aktualisierte Auflage.
- Hughes JEA A, Gruffydd E., Simner J, Ward J. (2019), Synaesthetes show advantages in savant skill acquisition: Training calendar calculation in sequence-space synaesthesia, *CORTEX* (113), 67-82.
- Luria AR, (1968), *The Mind of a Mnemonist: A Little Book About a Vast Memory*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Mas-Casadesús A and Gherri E (2017), Ignoring Irrelevant Information: Enhanced Intermodal Attention in Synaesthetes, *Multisensory Research* 30(3-5), 253-277.
- Paulesu E, Harrison J, Baron-Cohen S, Watson JDG, Goldstein L, Heather J, Frackowiak RSJ, Frith CD (1995), The physiology of coloured hearing. A PET activation study of colour-word synaesthesia. Oxford University Press, 661-676.
- Rothen N, Meier B, Ward J (2012), *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Enhanced memory ability: Insights from synaesthesia, Elsevier Ltd., 1952-1963.
- Rouw R, Scholte HS (2016), Personality and cognitive profiles of a general synesthetic trait, *Neuropsychologia* 88, 35-48.
- Simner J and Carmichael DA (2015), Is synaesthesia a dominantly female trait?, *Cognitive Neuroscience* 6(2-3), 68-76.
- Simner J, Mulvenna C, Sagiv N, Tsakanikos E, Witherby S, Fraser C, Scott K, Ward J (2006), Synaesthesia: the prevalence of atypical cross-modal experiences. *Perception* 35, 1024–1033.
- Smilek D, Dixon MJ, Cudahy C, Merikle PM (2002), Synesthetic color experiences influence memory, 548-552.
- Tammet D, (2006), *Born on a Blue Day*. Hodder & Stoughton, London, UK.
- Tilot AK, Kucera KS, Vain A, Asher JE, Baron-Cohen S, Fisher SE (2018), Rare variants in axonogenesis genes connect three families with sound–color synesthesia, *PNAS* March 20, 115 (12) 3168-3173).

Ward J, Field AP, Chin T (2019), A meta-analysis of memory ability in synaesthesia, *MEMORY* (27/9), 1299-1312

8.2 Internetquellen

- Carelock E (2015), Synästhesie. Verfügbar unter <https://de.slideshare.net/neeliecrow/synsthesie-46106887> (Letzter Zugriff: 16.12.2019)
- Deutsche Synästhesie-Gesellschaft E.V., (2019). Synästhesie-Lexikon. Verfügbar unter <https://www.synaesthesia.org/de/synaesthesia/synaesthesialexikon> (Letzter Zugriff: 15.12.2019)
- Die Redaktion, (2018). Was ist Synästhesie? Definition und Arten. Verfügbar unter <https://www.unserallergesundheit.de/was-ist-synaesthesia-definition-und-arten/> (Letzter Zugriff: 15.12.2019)
- Nebelsiek K (2017). Woher kommen abstrakte Formen in Nahtodeserfahrungen, Synästhesie und beim Aurensehen? Verfügbar unter <https://www.kersti.de/O000731.HTM> (Letzter Zugriff 16.12.2019)
- Schnydrig S (2018). Wie Synästhetiker die Welt wahrnehmen. Ein Leben mit verknüpften Sinnen. Verfügbar unter <https://www.blick.ch/life/wissen/menschen/wie-synaesthetiker-die-welt-wahrnehmen-ein-leben-mit-verknuepften-sinnen-id8529243.html> (Letzter Zugriff: 16.12.2019)
- Wikipedia, (2019). Halluzinogen. Verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Halluzinogen> (Letzter Zugriff: 15.12.2019)

8.3 Abbildungsverzeichnis

– Abbildung 1: Schematische Darstellung von Gehirnverknüpfungen.....	5
– Abbildung 2: Beispiel für Chromästhesie.....	9
– Abbildung 3: Beispiel für Zahlenstrahl.....	9
– Abbildung 4: Ps Zahlen.....	11
– Abbildung 5: Die drei Matrizen der Experiments 1.....	13
– Abbildung 6: Anzahl korrekter Zahlen für P und die Kontrollgruppe für das Experiment 1.....	15
– Abbildung 7: Anzahl korrekter Zahlen nach 48 Stunden für P und die Kontrollgruppe für das Experiment 1.....	17
– Abbildung 8: Vergleich der Korrektheitsquote der schwarzen Matrix mit 48 Stundenintervall für P und die Kontrollgruppe.....	18
– Abbildung 9: Vergleich der Korrektheitsquote der kongruenten Matrix mit 48 Stundenintervall für P und die Kontrollgruppe.....	19
– Abbildung 10: Vergleich der Korrektheitsquote der inkongruenten Matrix mit 48 Stundenintervall für P und die Kontrollgruppe.....	19
– Abbildung 11: Die erste Runde des Telexperiments 1.....	20
– Abbildung 12: Vergangene Zeit bis P und die Kontrollgruppe die gesuchte Zahl gefunden haben.....	22
– Abbildung 13: Vergleich zwischen den Runden der vorteilhaften und der Runden der unvorteilhaften Kategorie für P und die Kontrollgruppe.....	23

–	Abbildung 14: Die zweite Runde des Teilexperiments 2.....	25
–	Abbildung 15: Vergangene Zeit bis P und die Kontrollgruppe die gesuchte Zahl gefunden haben.....	27
–	Abbildung 16: Vergleich zwischen den Runden der kongruenten und der Runden der inkongruenten Kategorie für P und die Kontrollgruppe.....	28
–	Abbildung 17: Die dritte Runde des Teilexperiments 2 (V2).....	30
–	Abbildung 18: Vergangene Zeit bis P und die Kontrollgruppe die gesuchte Zahl gefunden haben.....	31
–	Abbildung 19: Anzahl der korrekten Zahlen.....	32

9. Anhang

PSYCHOLOGICAL SCIENCE

Research Report

SYNESTHETIC COLOR EXPERIENCES INFLUENCE MEMORY

Daniel Smilek, Mike J. Dixon, Cera Cudahy, and Philip M. Merikle

University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada

Abstract—We describe the extraordinary memory of C, a 21-year-old student who experiences synesthetic colors (i.e., photisms) when she sees, hears, or thinks of digits. Using three matrices of 50 digits, we tested C and 7 nonsynesthetes to evaluate whether C's synesthetic photisms influence her memory for digits. One matrix consisted of black digits, whereas the other two matrices consisted of digits that were either incongruent or congruent with the colors of C's photisms. C's recall of the incongruently colored digits was considerably poorer than her recall of either the black or the congruently colored digits. The 7 nonsynesthetes did not show such differences in their recall of the matrices. In addition, when immediate recall of the black digits was compared with delayed recall of those digits (48 hr), C showed no decrease in performance, whereas each of the nonsynesthetes showed a significant decrease. These findings both demonstrate C's extraordinary memory and show that her synesthetic photisms can influence her memory for digits.

In this article, we describe the extraordinary memory of C, a 21-year-old female student at the University of Waterloo. We first met C following a demonstration, conducted in an introductory psychology class, designed to show the limits of human memory. As part of this demonstration, students participated in a standard memory span task. The students were asked to recall four lists of nine digits that were read to them at a rate of approximately one digit per second. As expected, when the students were asked to raise their hands to indicate the average number of digits that they had recalled from each list, the majority of the students reported that their average recall was six, seven, or eight digits. However, at the end of the class, approximately 2 hr later, C approached the instructor and stated that she could recall all four lists of digits. To the surprise of the instructor, her recall of the lists was almost perfect—her only mistake involved a confusion between the order of two items in one of the lists. Even more intriguing was the fact that C's memory for the digits did not seem to diminish over time. Approximately 2 months after the initial classroom demonstration, we surprised C by asking her to recall the digit lists presented during that class demonstration. She recalled all of the lists correctly with the exception of two items in one list.

Although C's memory performance is clearly beyond the range of normal memory abilities, her performance is not altogether unique. There are a number of case studies that describe individuals who show memory performance similar to C's performance (e.g., Ericsson, Chase, & Faloon, 1980; Wilding & Valentine, 1997). What is unique about C, however, is her description of how she memorizes digits. When asked how she remembered so many digits, she reported that

for her, each digit has a specific color, and it is the colors that make it easy for her to remember the digits.

C's description of her subjective experiences indicates that she has digit-color synesthesia. In this form of synesthesia, each digit elicits a unique and highly specific color experience (i.e., a photism). Our initial studies of C revealed that as is the case with other digit-color synesthetes (e.g., Mattingley, Rich, Yelland, & Bradshaw, 2001; Odgaard, Flowers, & Bradman, 1999), her digit-color pairings do not change over time and her photisms occur automatically (Dixon, Smilek, Cudahy, & Merikle, 2000). Our studies also revealed that C experiences photisms whenever she sees, hears, or even thinks of a digit (Dixon et al., 2000; Smilek, Dixon, Cudahy, & Merikle, 2002). When C hears or thinks of a digit, the accompanying photism is experienced "in her mind's eye." However, when she sees a black digit, her photism for the digit is experienced as a color overlaying the digit. Thus, C's photisms influence her perception of visually presented digits (Smilek, Dixon, Cudahy, & Merikle, 2001).

C's statements indicating that her photisms help her to remember digits suggest that her synesthesia contributes to her extraordinary memory performance. Although synesthesia is currently receiving considerable attention (e.g., Dixon et al., 2000; Mattingley et al., 2001; Ramachandran & Hubbard, 2001; Smilek et al., 2001), there is no strong empirical evidence supporting the idea that synesthesia actually improves memory. Perhaps the strongest link between synesthesia and extraordinary memory performance was reported by Luria (1968). In his classic monograph, Luria described many extraordinary memory feats of the professional mnemonist Shereshevsky (S), who was also a synesthete. For example, when S studied a matrix of 50 digits for 3 min, he was able to recall the 50 digits perfectly both immediately after studying the list and many years later. Luria speculated that S's memory abilities were the result of his synesthesia. However, as noted previously (Ericsson & Chase, 1982; Wilding & Valentine, 1997), Luria did not provide any empirical evidence supporting the idea that S's synesthesia contributed directly to his memory abilities.

The purpose of the present study was to document C's extraordinary memory for digits and to evaluate whether C's synesthetic photisms contribute directly to her memory for digits. C and 7 nonsynesthetes were presented with three 50-digit matrices and asked to recall the digits in each matrix immediately following their presentation. The critical difference between the matrices was the color in which the digits were presented. One matrix consisted of black digits. A second matrix was composed of digits displayed in colors that were *incongruent* with C's photisms for the digits, and a third matrix consisted of digits displayed in colors that were *congruent* with C's photisms for the digits. We reasoned that if C's photisms influence her memory for digits, then the digits displayed in incongruent colors would interfere with her memory. Therefore, C's memory for the matrix of incongruently colored digits would be impaired relative to her memory for either the matrix of black digits or the matrix of digits presented in colors that were congruent with her photisms. As a test of C's long-term memory for digits, we also tested her recall of the matrix of black digits following a 48-hr delay.

Address correspondence to Daniel Smilek, Department of Psychology, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1; e-mail: dsmilek@watarts.uwaterloo.ca.

METHOD

Participants

C and 7 nonsynesthetes who were undergraduate students at the University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, participated in two 40-min experimental sessions. All nonsynesthetes were questioned about whether they had ever experienced colors when viewing digits or letters. None reported any synesthesia-like experiences. Both C and the nonsynesthetes had normal or corrected-to-normal vision and were paid \$15 on completion of the two sessions.

Stimulus Displays

Three different matrices of digits were presented to each participant. Each matrix consisted of 50 randomly generated digits (0 to 9) organized in a display of 10 rows and 5 columns. One matrix consisted of black digits, whereas the other two matrices consisted of colored digits that were either congruent or incongruent with the colors of C's photisms for the digits. The colors of C's photisms were assessed prior to the experiment. Each digit was presented in black beside a color-adjustable square, and C adjusted the color of the square to match the color of her photism for the digit. Using this photism-video color-matching procedure, we established that the colors of her photisms for the digits were the following: 0-gray, 1-white, 2-red, 3-purple, 4-blue, 5-green, 6-pink, 7-yellow, 8-black, and 9-orange. These digit-color pairings were used to construct the matrix of congruently colored digits. For the matrix of incongruently colored digits, the following digit-color pairings were used: 0-white, 1-red, 2-purple, 3-blue, 4-green, 5-pink, 6-yellow, 7-black, 8-orange, and 9-gray.

The matrices of digits were presented at the center of a ViewSonic 17PS monitor that was driven by a 200-MHz Pentium processor running the Micro Experimental Laboratory software (Schneider, 1990). Each digit in each matrix measured 0.3 cm (0.3°) in width and 0.6 cm (0.6°) in height. Each matrix measured 4.5 cm (4.5°) in width and 9.7 cm (9.7°) in height. The digits in each matrix were equally spaced and presented against a light-gray background. The same three matrices were presented to all participants.

Procedure

The participants were instructed to study each matrix for 3 min and to commit as many digits as possible to memory. Following the 3-min study period, the participants were given a 3-min recall period during which they were asked to report as many of the digits as they could remember by filling in the squares of a matrix printed on a sheet of paper. After the recall period, the participants were shown the matrix again for 3 min, followed by another 3-min recall period. Participants cycled through these study and recall periods until the matrix had been studied and recalled a total of four times.

The three matrices were presented in the same order to all participants. On the 1st day of testing, the participants were presented with the matrix of black digits (four times) and then presented with the matrix of incongruently colored digits (four times). Two days later, the participants were asked to recall as many digits as possible from the matrix of black digits presented on the 1st day of testing. The partici-

1. Degrees of visual angle subtended are reported for the viewing distance of 57 cm.

pants were then presented with the matrix of congruently colored digits, cycling through the 3-min study and recall periods until the congruent matrix had been studied and recalled a total of four times.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows each participant's percentage of correct recall following the first presentation of each matrix. The most important aspect of the data presented in the figure is the contrast between C's recall of the black digits and her recall of the incongruently colored digits. As shown, her recall of the black digits (66%) was higher than the recall of any of the nonsynesthetes (12%–62%). In contrast, her recall of the incongruently colored digits (4%) was strikingly poorer than her recall of the black digits, $\chi^2(1, N = 100) = 42.24, p < .001$, and considerably lower than the recall of any of the nonsynesthetes (18%–44%). For each participant, the difference in percentage of correct recall between the black matrix and the incongruently colored matrix was calculated. For the 7 nonsynesthetes, the differences ranged from -20% to $+20\%$, with an average difference of -0.9% . For C, the difference between the black and incongruently colored matrices was 62% —a value that was 5.1 SDs greater than the mean difference for the 7 nonsynesthetes.

C's reactions to her experiences when trying to remember the incongruently colored digits were also revealing. Immediately after the matrix of incongruently colored digits was removed from the screen, a horrified expression came over C's face and she exclaimed, "Oh my God! I have never had this happen to me before! I don't think that I can even remember one! What did you do to my memory? I just have all these numbers swirling around in my head! As soon as it [the matrix] went off the screen it was gone! Where did it go?" Later, she stated that as soon as the matrix of digits was removed, "there was nothing there to hold on to." Taken together, both the experimental data and C's reactions to her experiences strongly suggest that C's synesthetic photisms play an integral role in her memory for digits.

The difference between C's recall of the black digits and her recall of the incongruently colored digits was not due to her having trouble memorizing colored digits. If this had been the case, then C should have also found it difficult to memorize and recall the congruently colored digits. However, as shown in Figure 1, her recall of the congruently colored digits was very good, surpassing the performance of 6 of the 7 nonsynesthetes. For each participant, the difference in percentage of correct recall between the congruently and incongruently colored matrices was calculated. For the 7 nonsynesthetes, this congruent-incongruent difference ranged from -6% to 30% , with an average difference of 8% .² For C, the congruent-incongruent difference was 44% , a value that was 2.6 SDs greater than the mean difference for the 7 nonsynesthetes. Thus, C did not show a reduction in recall for colored digits in general. Rather, only the incongruently colored digits disrupted her recall. We believe that these findings provide further evidence that C's synesthetic photisms strongly influence her memory for digits.

2. Inspection of Figure 1 indicates that the nonsynesthetes recalled the congruently colored digits slightly better than they recalled the black and incongruently colored digits. Given that the study and recall of the congruently colored digits followed study and recall of the black and incongruently colored digits, the slightly better recall of the congruently colored digits is likely due to practice.

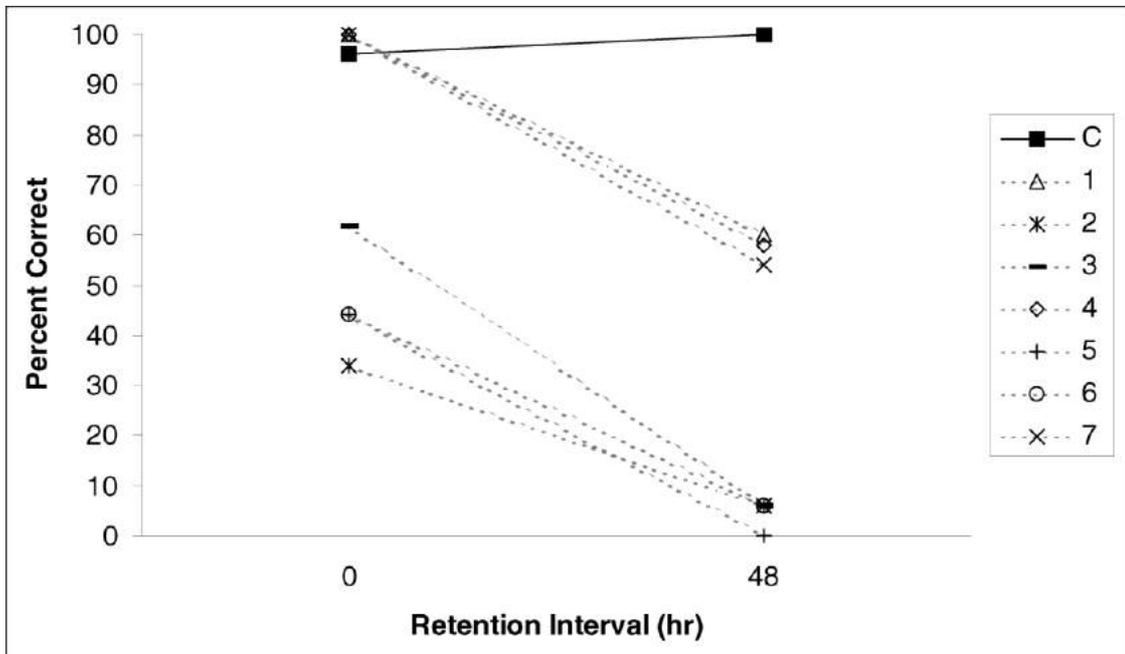


Fig. 2. Percentage of correct recall of the matrix of black digits following a 0-hr and a 48-hr retention interval for C and the 7 non-synesthetes (1–7).

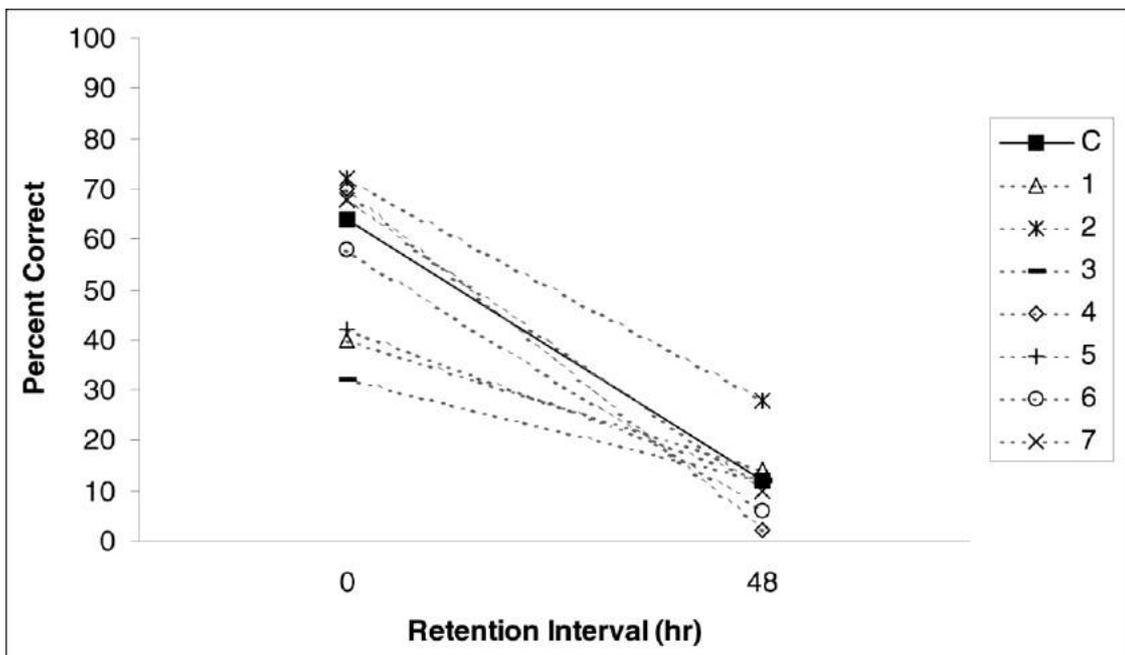


Fig. 3. Percentage of correct recall of the matrix of black shapes following a 0-hr and a 48-hr retention interval for C and the 7 nonsynesthetes (1–7).

PSYCHOLOGICAL SCIENCE

Synesthesia and Memory

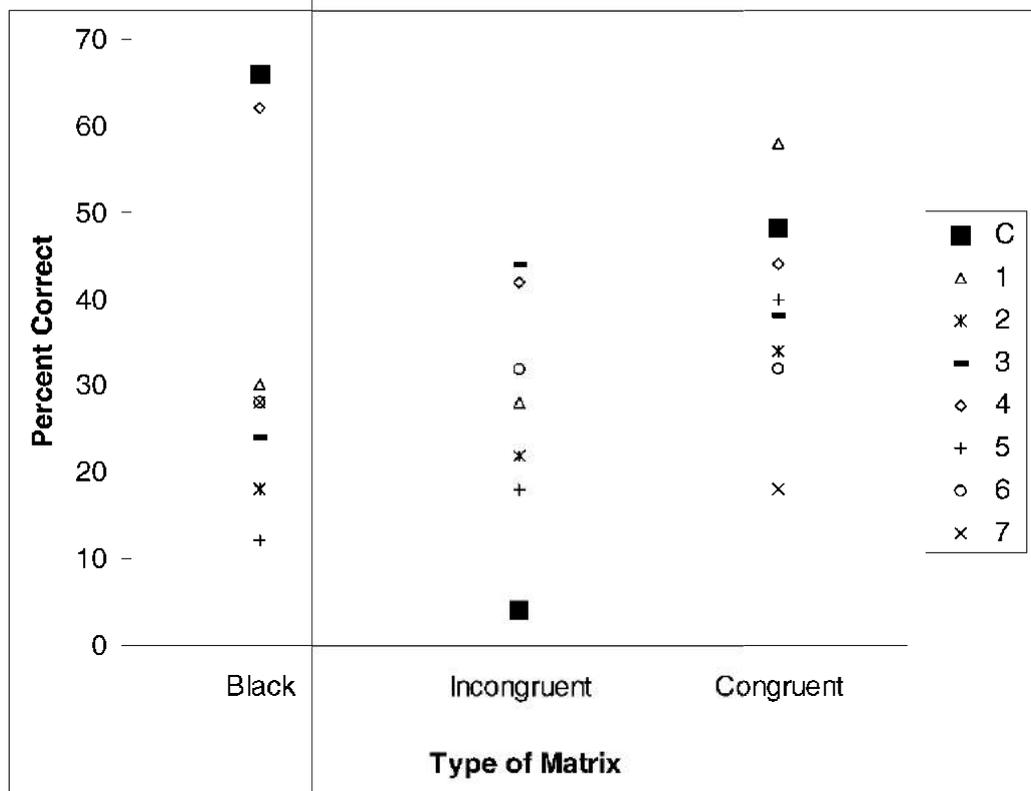


Fig. 1. Percentage of correct recall of each type of matrix for C and the 7 nonsynesthetes (1-7).

In this study, each participant was shown each matrix four times. To assess relatively long-term recall, we compared each participant's recall of the black digits following the fourth viewing of the black matrix on the 1st day of testing (i.e., 0-hr retention interval) with his or her recall of the black digits 2 days later (i.e., 48-hr retention interval). In the latter session, participants were not reshowed the original black matrix. Rather, they were simply instructed to recall the black matrix they had seen 2 days earlier. Figure 2 shows each participant's percentage of correct recall of the black digits following the 0-hr and 48-hr retention intervals. It should be noted that by presenting the matrix of black digits four times in succession on the 1st day of testing, we were able to elevate the performance of 3 of the nonsynesthetes to match C's performance. Like C, these nonsynesthetes showed nearly 100% correct recall of the black digits following the fourth presentation of the matrix on the 1st day of testing. The most important finding (e.g., shown in Figure 2) is the contrast between C's performance and the nonsynesthetes' performance across the two retention intervals. Not surprisingly, for all 7 of the nonsynesthetes (including the 3 with nearly perfect recall at the 0-hr retention interval), there was a significant decrease in the recall of the digits across the two retention intervals, all $\chi^2(1, N = 100) > 10.00, p < .007$. In contrast, C's recall of the digits did not decrease across the two retention intervals, $\chi^2(1, N =$

100) = 2.040, $p > .10$.³ These results are consistent with the earlier observation regarding C's memory for the sequences of digits presented to her as part of the class demonstration. The results provide yet another indication of C's extraordinary memory for digits relative to the memory of nonsynesthetes.

We believe that C had superior long-term recall of the black digits because the digits elicited strong synesthetic colors. However, it is possible that C's superior long-term recall of the black digits reflects an above-average general memory ability. To evaluate this possibility, we conducted a follow-up experiment in which we assessed C's long-term recall of stimuli that do not elicit strong synesthetic color experiences. Following the same procedures that we used when testing long-term recall of digits, C and 7 nonsynesthetes memorized and recalled matrices of 50 simple line-drawn shapes randomly chosen from a set of 10 exemplars (e.g., " , ∇, →, ≈, ☒, 0). Each participant's recall of a matrix of shapes was tested immediately following the fourth viewing of the matrix on the 1st day of testing (i.e., 0-hr retention interval) and again 2 days later (48-hr retention interval).

The results of this follow-up experiment are shown in Figure 3. The figure shows that C's recall of the shapes decreased across the two

3. Interestingly, even when C was tested 2 weeks later on the same matrix of digits, her performance remained nearly perfect.

Synesthesia and Memory

retention intervals, $\chi^2(1, N = 100) = 28.7, p < .001$, and that the magnitude of this decrease (52%) was within the range of the decreases shown by the 7 nonsynesthetes (20%–68%). These results indicate that, unlike C's superior long-term recall of digits, which induce strong synesthetic color experiences, her long-term recall of shapes, which do not induce strong synesthetic color experiences, is no different from the long-term recall of nonsynesthetes. These findings provide considerable support for the idea that C's superior long-term recall of digits is due to her synesthesia rather than to an above-average general memory ability.

Taken together, the present findings demonstrate C's extraordinary memory for digits and show that her synesthetic color experiences play an integral role in her memory abilities. At this time, we can only speculate as to how C's synesthetic photisms influence her memory. C reports that when she is asked to remember black digits, she often simply remembers the synesthetic colors rather than the digits themselves. Somehow the synesthetic photisms may either increase the distinctiveness of the individual digits or create distinctive visual patterns that are considerably easier for C to remember than patterns of individual black digits. When digits are presented in incongruent colors, however, the incongruent colors interfere with her synesthetic photisms, and as a result her recall of the digits is dramatically reduced. Although it is currently unclear exactly how C's photisms influence her memory for digits, we nevertheless believe that the results of this study provide strong evidence supporting Luria's (1968) earlier suggestion that synesthetic experiences can have a direct influence on memory.

Acknowledgments—This research was made possible by research grants from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada awarded to the second and fourth authors, as well as by a postgraduate scholarship from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada awarded to the first author.

REFERENCES

- Dixon, M.J., Smilek, D., Cudahy, C., & Merikle, P.M. (2000). Five plus two equals yellow. *Nature*, *406*, 365.
- Ericsson, K.A., & Chase, W.G. (1982). Exceptional memory. *American Scientist*, *70*, 607–615.
- Ericsson, K.A., Chase, W.G., & Faloon, S. (1980). Acquisition of memory skill. *Science*, *208*, 1181–1182.
- Luria, A.R. (1968). *The mind of a mnemonist*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mattingley, J.B., Rich, A.N., Yelland, G., & Bradshaw, J.L. (2001). Unconscious priming eliminates automatic binding of color and alphanumeric form in synaesthesia. *Nature*, *410*, 580–582.
- Odgaard, E.C., Flowers, J.H., & Bradman, H.L. (1999). An investigation of the cognitive and perceptual dynamics of a color-digit synaesthete. *Perception*, *28*, 651–664.
- Ramachandran, V.S., & Hubbard, E.M. (2001). Psychological investigations into the neural basis of synaesthesia. *Proceedings of the Royal Society of London B*, *268*, 979–983.
- Schneider, W. (1990). *MEL user's guide: Computer techniques for real-time experimentation*. Pittsburgh, PA: Psychological Software Tools.
- Smilek, D., Dixon, M.J., Cudahy, C., & Merikle, P.M. (2001). Synaesthetic photisms influence visual perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *13*, 930–936.
- Smilek, D., Dixon, M.J., Cudahy, C., & Merikle, P.M. (2002). Concept driven color experiences in digit-color synaesthesia. *Brain and Cognition*, *48*, 570–573.
- Wilding, J., & Valentine, E. (1997). *Superior memory*. Hove, England: Psychology Press.

(RECEIVED 6/30/01; REVISION ACCEPTED 12/18/01)