

**Neurophysiologie des Kalenderrechnens
bei
autistischen Savants
und
geübten Experten**

Dissertation

der Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
(Dr.rer.nat.)

vorgelegt von

Dipl.-Psych. Anna Milena Dubischar-Krivec
aus Bremen

**Tübingen
2006**

Tag der mündlichen Qualifikation: 15.02.2006

Dekan: Prof. Dr. Michael Diehl

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Martin Hautzinger

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Niels Birbaumer

The importance, then, of the idiot savant
lies in our inability to explain him;
he stands as a landmark of our own ignorance
and the phenomenon of the idiot savant
exists as a challenge to our capabilities

Holstein, 1965

Danke...

Hätte ich diese Doktorarbeit selbständig - im wörtlichen Sinne auf mich selbst gestellt – geschrieben, wäre sie sicherlich nicht zu dem geworden, was sie nun ist. So gibt es eine Reihe von Personen, die mir in den unterschiedlichen Entwicklungsstadien geholfen haben und es bleibt fraglich, was ohne diese Personen aus dieser Arbeit geworden wäre. Wo hätte ich das außergewöhnliche aber so spannende Thema der Psychophysiologie des Kalenderrechnens untersuchen können, wenn nicht am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie in Tübingen bei Professor Niels Birbaumer? Wer hätte die Durchführung dieser Arbeit finanziert, wenn nicht das interessante und interessierte Graduiertenkolleg kognitive Neurobiologie (DFG) der Universität Tübingen? Wie hätte ich meine Dissertation an der medizinischen Fakultät schreiben können, wenn nicht Prof. Martin Hautzinger die Rolle des Gutachters aus der Psychologie übernommen hätte? Mit wem hätte ich einen derartig aufwendigen Versuchsplan realisieren können, wenn nicht innerhalb unserer eifrigen Arbeitsgruppe, der außerdem noch meine Betreuerin Dr. Nicola Neumann und Dipl.-Psych. Ursula Donadel angehörten? Was hätte ich bei Problemen mit der Datenauswertung getan, wenn mir nicht PD Dr. Christoph Braun des MEG-Zentrums geduldig geholfen hätte? Wie hätte ich die teilweise seltsame Datelage interpretiert, wenn mir nicht PD Dr. Boris Kotchoubey mit kreativen Ideen beiseite gestanden hätte? Wo hätte ich die derart seltenen autistischen Savant - Kalenderrechner gefunden, ohne die Unterstützung unserer Kooperationspartner, der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie des Kindes- und Jugendalters in Frankfurt, PD Dr. Sven Bölte und Prof. Fritz Poustka? Und wo die weitere so seltene Spezies gesunder Kalenderrechner, ohne die öffentliche Suche des Schweizer Wissenschaftsjournals Mensch-Technik-Wissenschaft? Und wen hätte ich untersucht, wenn ich nicht derart kooperative gesunde wie autistische Kalenderrechner, gesunde und autistische Kontrollpersonen, getroffen hätte? All' diese Personen machten durch ihre Unterstützung diese Studie erst möglich, und dafür bin ich sehr dankbar.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Nicola Neumann für die Zeit, die sie sich für unsere konkreten und prinzipiellen (sowie anderweitigen) Diskussionen genommen hat. Sie stand mir beratend und mit Ideen zur Seite und besaß die Geduld, auf jede meiner nicht enden wollenden Fragen eine überlegte Antwort zu geben.

Da diese Doktorarbeit mit einem weiteren spannenden Ereignis, der Geburt unseres Sohnes Carlo, zusammenfiel, möchte ich auch der Schwangeren- und Babyfreundlichkeit unseres Instituts danken, die ihre Personifizierung in Dr. Ute Strehl findet. Ich habe mich sehr über die Hilfe der verschiedensten MitarbeiterInnen bei hochschwangeren Messungen, über das Baby-Halten beim Arbeiten und später das Spielen mit Carlo gefreut (er sch auch). So ließen sich Arbeit und Familie tatsächlich realisieren, wie sich hoffentlich in der Güte dieser Arbeit zeigt.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Verzeichnis der Abkürzungen	IX
ZUSAMMENFASSUNG	1
ABSTRACT.....	2
1 THEORIE	3
1.1 Savant-Syndrom	3
1.1.1 Definition des Syndroms	3
1.1.2 Prävalenz des Syndroms	4
1.1.3 Historische Entwicklung	5
1.1.4 Arten der Fähigkeiten von Savants	5
1.1.5 Theorien zur Erklärung des Savant-Syndroms	7
1.1.5.1 Hereditäre Einflüsse	7
1.1.5.2 Motivation und Verstärkung.....	7
1.1.5.3 Eidetisches Vorstellungsvermögen	9
1.1.5.4 Theorie des konkreten Denkens	10
1.1.5.5 „Rote memory“- Ansatz	10
1.1.5.6 Anwendung regelbasierter Strategien.....	11
1.1.5.7 Dysfunktionale prozedurale Gedächtnisfunktionen.....	11
1.1.6 Neurobiologie der Savant-Fähigkeiten.....	12
1.1.6.1 Post mortem - Untersuchungen	12
1.1.6.2 Cortikale Hemisphärendominanz	12
1.1.6.3 Selektive Beeinträchtigung des cortico- limbischen Gedächtnissystems	13
1.1.7 Autismus.....	14
1.1.7.1 Gemeinsames Auftreten von Autismus und dem Savant-Syndrom.....	14
1.1.7.2 Diagnostik, Prävalenz und Prognose	14
1.1.7.3 Kognitive Theorien des Autismus.....	15
1.1.7.4 Mögliche neurophysiologische Zusammenhänge zwischen Autismus und dem Savant-Syndrom	16
1.1.8 Neuere Theorien zur Erklärung des Savant-Syndroms	19
1.1.8.1 Theorie von Miller (1999)	19
1.1.8.2 Theorie von Snyder und Mitchell (1999)	20

1.1.8.3	Weiterentwicklung von Birbaumer (1999)	23
1.1.9	Zusammenfassung.....	24
1.2	Unterschiede in der basalen Informationsverarbeitung (low-level processing).....	25
1.3	Kalenderrechnen	29
1.3.1	Definition und Beschreibung	29
1.3.2	Theorien zur Erklärung des Kalenderrechnens	30
1.3.2.1	Explizite Aussagen von Kalenderrechnern	30
1.3.2.2	Blitzschnelles Rechnen	30
1.3.2.3	Eidetisches Gedächtnis.....	31
1.3.2.4	Langzeitgedächtnis.....	32
1.3.2.5	Mechanisches Gedächtnis (rote memory).....	32
1.3.2.6	Regelbasierte Strategien.....	33
1.3.2.7	Assoziative Lernvorgänge und Automatisierung	35
1.3.2.8	Gebrauch von Referenzdaten	36
1.3.2.9	Übung	37
1.3.2.10	Theorie von Snyder und Mitchell (1999).....	38
1.3.2.11	Zusammenfassung.....	39
1.3.3	Neurophysiologie des Rechnens	40
1.3.3.1	Das Triple-Code-Modell der Zahlenverarbeitung	40
1.3.3.2	Neuroanatomische Substrate der Rechenfertigkeit	42
1.3.3.3	Neuroanatomische Substrate verschiedener Rechenoperationen	43
1.3.3.4	Automatisierung.....	46
1.3.3.5	Expertenrechnen	47
1.3.3.6	Neurophysiologie des Kalenderrechnens	49
1.4	Hypothesen	50
1.4.1	Hypothesen zu den behavioralen Daten des Kalenderrechnens.....	51
1.4.2	Hypothesen zu den neuronalen Korrelaten des Kalenderrechnens	55
1.4.2.1	Zeit.....	55
1.4.2.2	Lokalisation.....	55
1.4.2.3	Gruppen: Differenzierung ASKR und GKR	58
2	METHODE	59
2.1	Versuchspersonen	59
2.1.1	Kriterien für die Auswahl der Studienpopulation.....	60
2.1.1.1	Einschlusskriterien bei autistischen Savants und Kontrollpersonen	60
2.1.1.2	Ausschlusskriterien bei autistischen Savants	60
2.1.1.3	Einschlusskriterien bei gesunden Probanden und Kalenderrechnern	60
2.1.1.4	Ausschlusskriterien bei gesunden Probanden und Kalenderrechnern	60

2.1.2	Versuchspersonen	61
2.1.2.1	Autistische Savant-Kalenderrechner	61
2.1.2.2	Gesunde Kalenderrechner	61
2.1.2.3	Autistische Kontrollgruppe.....	61
2.1.2.4	Gesunde Kontrollgruppe	61
2.1.2.5	Parallelisierung	62
2.2	Psychologische Tests.....	64
2.3	Kalenderrechnen	65
2.3.1	Reizmaterial	65
2.3.2	Experimentelles Design	66
2.3.3	Analyse der behavioralen Daten.....	68
2.3.4	Hirnphysiologische Daten	72
2.3.4.1	EEG- Ableitung.....	72
2.3.4.2	MEG- Aufnahme.....	72
2.3.4.3	MEG/EEG – Datenreduktion	72
2.3.4.4	Analyse der EKPs.....	73
2.3.4.5	Analyse der EKFs.....	76
3	ERGEBNISSE.....	79
3.1	Psychologische Tests.....	79
3.1.1	Vergleich aller Gruppen	79
3.1.2	Vergleich der gesunden und autistischen Savant-Kalenderrechner.....	80
3.1.3	„Fragebogen zur genaueren Beschreibung der herausragenden Leistung des Kalenderrechnens“ [FraZuKal].....	80
3.2	Behaviorale Daten	82
3.2.1	Analyse der Daten der Gegenwart, alle Gruppen.....	82
3.2.1.1	Analyse der Reaktionszeit.....	82
3.2.1.2	Analyse der Fehlerrate (Prozent richtiger Antworten, PRA).....	83
3.2.2	Analyse der Daten der gesunden und autistischen Savant-Kalenderrechner	84
3.2.2.1	Analyse der Reaktionszeit.....	84
3.2.2.2	Analyse der Fehlerrate (Prozent richtiger Antworten, PRA).....	86
3.2.3	Weitere Analysen	87
3.3	Hirnphysiologische Daten	91
3.3.1	Analyse der EEG-Daten, Daten der Gegenwart, alle Gruppen	91
3.3.1.1	Zeitfenster 90-150 ms.....	92
3.3.1.2	Zeitfenster 210-370 ms	93
3.3.2	Analyse der EEG-Daten der GKR und ASKR.....	97
3.3.2.1	Zeitfenster 90-150 ms.....	99

3.3.2.2	Zeitfenster 210-370 ms	100
3.3.3	Analyse der MEG-Daten, Daten der Gegenwart, alle Gruppen.....	103
3.3.3.1	Zeitfenster 90-150 ms.....	105
3.3.3.2	Zeitfenster 210-370 ms	108
3.3.4	Analyse der MEG-Daten der GKR und ASKR	110
3.3.4.1	Zeitfenster 90-150 ms.....	110
3.3.4.2	Zeitfenster 210-370 ms	110
3.3.5	Dipolanalysen.....	111
3.3.5.1	Frühe frontale Komponente ASKR (Zeitfenster 90-150 ms).....	111
3.3.5.2	Frühe temporoparietale Komponente GKR (Zeitfenster 90-150 ms).....	111
3.3.5.3	Späte frontale Komponente GKR (Zeitfenster 210-370 ms).....	112
3.4	Zusammenhänge der behavioralen und hirnelektrophysiologischen Daten.....	113
4	DISKUSSION.....	114
4.1	Diskussion der behavioralen Daten	114
4.2	Diskussion der neurophysiologischen Daten	127
4.3	Methodische Mängel	138
5	LITERATUR.....	140
	APPENDIX.....	152

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: Hinweis auf eine schwache zentrale Kohärenz bei einer klinischen Testung (Aus: Happé, 1999).....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 2: Nadias Pferd (Aus: Selfe, 1977).....</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 3: Pferde gesunder, gleichaltriger Kinder.....</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 4: Informationsverarbeitung im „gesunden“ Gehirn.....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 5: Informationsverarbeitung im Gehirn des Savants nach Snyder und Mitchell (1999).....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 6: Theorien zur Entstehung des Savant-Syndroms</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 7: Sequenz ereigniskorrelierter Potentiale auf einen akustischen Reiz.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 8: Faktoren, die zur Entwicklung der Fähigkeit des Kalenderrechnens beitragen können..</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 9: Funktioneller Aufbau des Triple-Code-Modells der Zahlenverarbeitung (Aus: Dehaene, 2000).....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 10: Schematische Darstellung der neuroanatomischen Substrate des Triple-Code-Modells der Zahlenverarbeitung (Aus: Dehaene, 2000).....</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 11: EKPs während des Rechnens (Aus: Pauli et al., 1996).....</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 12: Experimentalbedingung.....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 13: Kontrollbedingung</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 14: Darstellung der Elektrodenpositionen der linken Hemisphäre</i>	<i>72</i>
<i>Abbildung 15: Ergebnisse der Lern- und Gedächtnisleistungen der vier Gruppen (EG_{SAV}, KG_{GES}, KG_{AUT}, KG_{KR}).....</i>	<i>79</i>
<i>Abbildung 16: Mittlere Reaktionszeiten der vier Gruppen.....</i>	<i>82</i>
<i>Abbildung 17: Mittlere Reaktionszeiten der vier Gruppen für beide Bedingungen (Experimentalbedingung, Kontrollbedingung)</i>	<i>83</i>
<i>Abbildung 18: Mittlere PRA der vier Gruppen für beide Bedingungen.....</i>	<i>83</i>
<i>Abbildung 19: Mittlere Reaktionszeiten der GKR und ASKR.....</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 20: Mittlere Reaktionszeiten der Kalenderrechner für die unterschiedlichen Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft).....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 21: Mittlere Prozent richtiger Antworten der Kalenderrechner für die unterschiedlichen Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft).....</i>	<i>86</i>
<i>Abbildung 22: Mittlere Reaktionszeiten und PRA GKR und ASKR in Abhängigkeit der Kalendervariablen (a) Woche bzw. (b) 10-Tage-Sektion im Monat, (c) Monat im Jahr und (d) 5-Jahres-Intervall.....</i>	<i>88</i>

<i>Abbildung 23: Zusammenhang bei Kalenderrechnern zwischen Reaktionszeit (RT) und Prozent richtiger Antworten (PRA) in den drei verschiedenen Berechnungszeiträumen (Zukunft, Gegenwart und Vergangenheit) [$* = p < .05$]</i>	90
<i>Abbildung 24: Gruppenspezifische EKPs beim Kalenderrechnen (Daten der Gegenwart)</i>	91
<i>Abbildung 25: Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms</i>	93
<i>Abbildung 26: Interaktion der Faktoren „Zeitfenster“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 210-370 ms</i>	94
<i>Abbildung 27: Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 210-290 ms</i>	95
<i>Abbildung 28: Gruppenspezifische EKPs der ASKR beim Kalenderrechnen (Daten der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft)</i>	97
<i>Abbildung 29: Gruppenspezifische EKPs der GKR beim Kalenderrechnen (Daten der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft)</i>	98
<i>Abbildung 30: Haupteffekt des Faktors „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms</i>	99
<i>Abbildung 31: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Hemisphäre“ im Zeitfenster 90-150 ms</i>	99
<i>Abbildung 32: Haupteffekt des Gruppenfaktors im Zeitfenster 90-150 ms</i>	100
<i>Abbildung 33: Interaktion der Faktoren „Region“ und „Zeit“ im Zeitfenster 210-370 ms</i>	101
<i>Abbildung 34: Interaktion der Faktoren „Region“ und „Zeit“ im Zeitfenster 210-290 ms</i>	102
<i>Abbildung 35: Topographische Verteilung des magnetischen Feldes beim Berechnen von Daten der Gegenwart im Zeitfenster 90-150 ms (Aufsicht auf einen Kopf, Nase vorne, Ohren seitlich)</i>	103
<i>Abbildung 36: Topographische Verteilung des magnetischen Feldes beim Berechnen von Daten der Gegenwart im Zeitfenster 210-370 ms</i>	103
<i>Abbildung 37: Verlauf der gruppenspezifischen mittleren Feldstärken beim Berechnen von Daten der Gegenwart an frontalen Sensoren einerseits (LF, RF) und temporoparietalen Sensoren andererseits (LPT, RPT)</i>	104
<i>Abbildung 38: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Bedingung“ im Zeitfenster 90-150 ms</i>	105
<i>Abbildung 39: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms</i>	106
<i>Abbildung 40: Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms</i>	107
<i>Abbildung 41: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ im Zeitfenster 210-370 ms</i>	108
<i>Abbildung 42: Interaktion der Faktoren „Zeitfenster“, „Bedingung“, „Region“ und „Gruppe“</i>	109
<i>Abbildung 43: Interaktion der Faktoren „Zeit“ und „Region“ im Zeitfenster 210-370 ms</i>	110

<i>Abbildung 44: Dipollokalisierung der frühen frontalen Komponente ASKR. Die gelbe Markierung zeigt die Dipollokalisierung im inferioren medialen Frontallappen.....</i>	<i>111</i>
<i>Abbildung 45: Dipollokalisierung der frühen temporoparietalen Komponente GKR. Die gelbe Markierung zeigt die Dipollokalisierung in rechts-medialen parieto-occipitalen Regionen.</i>	<i>111</i>
<i>Abbildung 46: Dipollokalisierung der späten frontalen Komponente GKR. Die gelbe Markierung zeigt die erste Quelle im inferioren medialen Frontallappen, die grüne Markierung die zweite Quelle im Parietallappen.....</i>	<i>112</i>
<i>Abbildung 47: Zusammenhänge der behavioralen und hirnpfysiologischen Daten</i>	<i>113</i>

TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Arten der Fähigkeiten von Savants</i>	5
<i>Tabelle 2: Stufen der Informationsverarbeitung</i>	25
<i>Tabelle 3: Die Experimental (EG)- und die Kontrollgruppen (KG)</i>	50
<i>Tabelle 4: Design der 2-faktoriellen ANOVA der Reaktionszeit bzw. der Fehlerrate (alle Gruppen)....</i>	68
<i>Tabelle 5: Design der 2-faktoriellen ANOVA der Reaktionszeit bzw. der Fehlerrate (Kalenderrechner)</i>	68
<i>Tabelle 6: Design der vier 2-faktoriellen ANOVAs für Kalendervariablen</i>	70
<i>Tabelle 7: Design der 4-(bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (alle Gruppen)</i>	74
<i>Tabelle 8: Design der 3- (bzw. 4-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (alle Gruppen)</i>	74
<i>Tabelle 9: Design der 4-(bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (nur Kalenderrechner)</i>	75
<i>Tabelle 10: Design der 3- (bzw. 4-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (nur Kalenderrechner)</i>	75
<i>Tabelle 11: Design der 4-(bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der EKFs (alle Gruppen)</i>	77
<i>Tabelle 12: Design der 4-(bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der EKFs (nur Kalenderrechner)</i>	77
<i>Tabelle 13: Mittlere Reaktionszeit beider Bedingungen</i>	82
<i>Tabelle 14: Mittlere Reaktionszeit der Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft)</i>	84
<i>Tabelle 15: Mittlere Fehlerrate (Prozent richtiger Antworten) der unterschiedlichen Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft)</i>	86
<i>Tabelle 16: Mittlere Amplituden (M) und mittlere Standardfehler (s_e) pro Gruppe im Zeitfenster 90-150 ms</i>	92
<i>Tabelle 17: Mittlere Amplituden (M) und mittlere Standardfehler (s_e) pro Bedingung im Zeitfenster 90-150 ms</i>	92
<i>Tabelle 18 Mittlere Amplituden (M) und mittlere Standardfehler (s_e) pro Gruppe im Zeitfenster 210-290 ms</i>	94
<i>Tabelle 19: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms</i>	105
<i>Tabelle 20: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms</i>	105
<i>Tabelle 21: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms</i>	106
<i>Tabelle 22: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms</i>	110

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

ASKR	A utistische S avant- K alenderrechner
BA	B rodman A real
CNV	C ontingent N egative V ariation
DSM	D iagnostisches und S tatistisches M anual Psychischer Störungen
EEG	E lektroencephalographie
EKFs	E reigniskorrelierte F elder
EKPs	E reigniskorrelierte P otentiale
fMRI	f unctional m agnetic r esonance i maging
GKR	G esunde K alenderrechner
HAWIE-R	H amburg- W echsler- I ntelligenztest für E rwachsene- R evised
HAWIK-R	H amburg- W echsler- I ntelligenztest für K inder- R evised
ICD	I nternational Statistical C lassification of D iseases
ISI	I nterstimulusintervall
IQ	I ntelligenzquotient
IVA	I nformationsverarbeitung
LPC	L ate P ositive C omplex
MEG	M agnetencephalographie
MMN	M ismatch N egativity
PET	P ositronen- E missions- T omographie
PRA	P rozent richtiger A ntworten
rTMS	r epetitive t ranskrielle M agnetstimulation
SD	S tandardabweichung
SDMM	S ingle D igit M ental M ultiplication
SOA	S timulus O nset A synchrony
VPn	V ersuchspersonen
WMS-R	W echsler M emory S cale – R evised

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund: Unter dem Savant-Syndrom versteht man das Auftreten einer oder mehrerer herausragender Fähigkeiten vorwiegend bei allgemeiner Intelligenzminderung. Die neuropsychologischen Grundlagen solcher Inselbegabungen sind bislang unklar. Kalenderrechnen ist vermutlich die bekannteste Savant-Fähigkeit, wenngleich es auch bei gesunden Personen vorkommt. Man versteht hierunter die Fähigkeit, zu einem gegebenen Datum schnell den korrekten Wochentag nennen zu können. Die bisherigen vorgeschlagenen behavioralen Hypothesen zur Erklärung des Kalenderrechnens bei „Savants“ betrafen ein eidetisches Gedächtnis, blitzschnelles Rechnen, ein mechanisches Gedächtnis, sowie den Gebrauch von Ankerdaten bzw. Kalenderregularitäten. Bislang liegen keine neurophysiologischen Untersuchungen zur Erklärung dieser seltenen Fähigkeit vor. So lag das Ziel dieser Studie in der Untersuchung der Neurophysiologie des Kalenderrechnens bei autistischen Savants. Kürzlich stellten Snyder und Mitchell (1999) eine Hypothese auf, die besagt, dass Savants Zugang zu den frühen Schritten der Informationsverarbeitung (IVA) hätten. Der Fokus dieser Untersuchung lag daher auf den frühen Stufen der IVA. **Methode:** Es handelte sich um eine magnetencephalographische (MEG) Untersuchung mit kombinierter electroenzephalographischer (EEG) Ableitung (9 Elektroden). **Teilnehmer:** An der Studie nahmen autistische Savant-Kalenderrechner (ASKR, n = 4) als Experimentalgruppe sowie gesunde Kalenderrechner (GKR, n = 3), autistische (AK, n = 6) und gesunde (GK, n = 13) Probanden als Kontrollgruppen teil. Die Kontrollpersonen waren nach Geschlecht, Händigkeit, Alter und IQ parallelisiert. **Aufgabe:** Jeder Durchgang bestand in der visuellen Präsentation eines Datums (Experimentalbedingung) oder der Kontrollaufgabe. AK und GK hatten lediglich Daten der Gegenwart (Daten desselben Monats) zu berechnen. ASKR und GKR hatten außerdem Daten der Vergangenheit (1950-2000) und der Zukunft (2003-2050) zu bestimmen. **Behaviorale Ergebnisse:** ASKR zeigten signifikant kürzere Reaktionszeiten als GKR und AK sowie signifikant weniger Fehler als alle Kontrollgruppen beim Berechnen von Daten der Gegenwart. Der direkte Vergleich von ASKR und GKR ergab bessere Leistungen von ASKR in Reaktionszeit und Fehlerrate bei Daten der Vergangenheit und Gegenwart, die Leistungen bei Daten der Zukunft unterschied sich nicht zwischen beiden Gruppen. **Neurophysiologische Ergebnisse:** Die Analyse der MEG-Daten brachte beim Kalenderrechnen im frühen Zeitfenster 90-150 ms eine deutliche frontale Komponente bei ASKR und eine deutliche parietale Komponente bei GKR zum Vorschein. Diese frühen Komponenten ließen sich im EEG als Positivierungen bestimmen. Außerdem zeigten GKR beim Kalenderrechnen im Gegensatz zu ASKR, AK und GK eine ausgeprägte N2. Dabei korrelierten die neurophysiologischen Ergebnisse mit der behavioralen Leistung. **Diskussion:** Die Analyse der behavioralen Daten weist auf unterschiedliche Grundlagen des Kalenderrechnens bei ASKR und GKR hin: Während bei ASKR bei der Berechnung von Daten der Vergangenheit und Gegenwart vermehrt Gedächtnisprozesse beteiligt zu sein scheinen, scheint die Fähigkeit GKR stärker auf dem Gebrauch von Regularitäten zu basieren. Die veränderte frühe frontale Komponente ASKR ist vereinbar mit der Hypothese von Snyder und Mitchell (1999), dass „Savants“ Zugang haben zu frühen Schritten der IVA. Die frühe parietale Komponente GKR gibt Evidenzen für die Annahme von Birbaumer (1999), dass jeder den Zugriff auf frühe Informationsverarbeitungsschritte lernen kann. Gleichwohl wird die Möglichkeit einer CNV-Auflösung als alternative Interpretation der frühen Komponenten bei ASKR und GKR diskutiert. Die frontale N2 bei GKR kann als Hinweis auf ihr ausgeprägtes explizites Wissen von Regularitäten interpretiert werden. Insgesamt weisen die behavioralen wie neurophysiologischen Ergebnisse einstimmig darauf hin, dass die Fähigkeit ASKR zum Kalenderrechnen stärker auf einfachen, frühen Prozessen bzw. Gedächtnisfertigkeiten basiert, die Fähigkeit GKR hingegen auf komplexeren Prozeduren bzw. arithmetischen Berechnungen und der Anwendung regelbasierter Strategien.

ABSTRACT

Background: The savant syndrome is a rare but remarkable condition in which persons with serious mental handicaps possess one or more highly developed skills. Their neurophysiological bases are not yet understood. Calendar calculation probably is the most well-known of these skills although it is also found in healthy experts. Calendar calculation is the ability to state correctly and quickly the day of the week upon which any given day fell or will fall. Previous major behavioral hypotheses suggested for calendar calculation in "savants" were eidetic imagery, high-speed calculation, rote memorization, keying-off-anchoring strategy and use of calendar regularities. Studies concerning the neurophysiological correlates of this rare skill are lacking entirely. Our concern was directed towards the psychophysiological correlates which may underlie this high level ability of autistic "savants". Recently, Snyder and Mitchell (1999) hypothesized that outstanding savant skills might be accomplished by accessing early stages of information processing. In this way the focus of the present study was on the early stages of information processing. **Methods:** Evoked magnetic fields were recorded using a whole head magnetoencephalography (MEG) system (151 first-order gradiometers) combined with electroencephalography (EEG, 9 channels). **Participants:** Autistic Savants Calendar Calculators (ASCC, n = 4) as experimental group and Healthy Calendar Calculators (HCC, n = 3), autistic (AC, n = 6) and healthy persons (HC, n = 13) as control groups took part in the study. All controls were matched according to sex, handedness, age, and IQ. **Task:** Each trial comprised the visual presentation of a date (experimental task) or the control task. AC and CH only had to calculate dates of the present (that fall into the same month). Dates of the past (that fall into the past 50 years) and dates of the future (that fall into the future 50 years) were additionally presented to ASCC and CHH. **Behavioral Results:** ASCC showed significantly shorter reaction times than HCC and AC as well as significantly less errors than all control groups when calculating dates of the present. The direct comparison of ASCC and HCC showed that ASCC outperformed HCC in dates of the past and the present being faster on the one hand and showing significantly more correct responses on the other. This advantage disappeared when calculating dates of the future. **Neurophysiological Results:** The analysis of the evoked magnetic and electric fields showed a distinct frontal component in ASCC and a distinct parietal component in HCC in the early time window 90-150 ms when calculating dates. Additionally, HCC showed a broad N2 during calendar calculation, which could be found neither in ASCC nor in healthy or autistic controls. These neurophysiological results even correlated with the behavioral performance. **Discussion:** The analysis of the behavioral data clearly suggests different calendar calculating strategies in ASCC and HCC and provides evidence that there is a stronger involvement of memory processes in ASCC when calculating dates of the past and the present, whereas the ability of HCC relies altogether more on the use of calendar regularities. The altered early frontal component in ASCC is compatible with the hypothesis of Snyder and Mitchell (1999), that "savants" have access to early stages of information processing. The early parietal component in HCC is compatible with the assumption of Birbaumer (1999), that training and extensive learning can open the door to the early stages of information processing also in healthy controls. Nevertheless the possibility of a CNV-resolution as alternative interpretation of the early components in ASCC and HCC is discussed. The frontal N2 in HCC can be interpreted as an indicator of their pronounced explicit knowledge of regularities. In sum, ASCC seem to use simple, early processes when calculating dates, resting mainly upon memory processes, whereas HCC use more complex procedures relying in particular on the application of calendar regularities.

1 THEORIE

1.1 Savant-Syndrom

Herausragende kognitive Leistungen können in unterschiedlichen Bereichen auftreten: Im Gebiet der Musik als absolutes Gehör oder rhythmisch wie tonal akkurates Nachspielen eines Musikstücks nach einmaliger Darbietung; im Bereich der bildenden Kunst als Zeichnen naturalistischer Darstellungen, als detailgetreue Reproduktion eines Objektes oder einer Szene. Schließlich gibt es herausragende Gedächtnisleistungen wie das Erinnern von mehr als 30 Objekten nach Darbietung von Millisekunden oder besondere Rechenfertigkeiten, so das sekundenschnelle Lösen komplexer mathematischer Aufgaben und die in dieser Arbeit besonders zu thematisierende bizarre Fähigkeit zum Kalenderrechnen, der Angabe des korrekten Wochentags für ein gegebenes Datum.

Solche herausragenden Leistungen kommen vor bei Genies, normal begabten Experten und so genannten „Savants“ (Obler & Fein, 1988).

1.1.1 Definition des Syndroms

Unter „Savants“ versteht man Individuen mit mentaler Retardierung oder anderen gravierenden psychischen oder sensorischen Beeinträchtigungen, die über spezielle herausragende Fähigkeiten, so genannte Inselbegabungen, verfügen. Diese stehen in starkem Kontrast zu ihrer Retardierung im übrigen. Die besonderen Fähigkeiten treten oft plötzlich und ohne sichtbares Training im Alter zwischen vier und acht Jahren vornehmlich in den Bereichen Musik, Zeichnen, Gedächtnis oder Rechnen auf. Ebenso plötzlich wie sie auftreten können sie auch wieder vergehen (Treffert, 1988).

Die einstmalige Bezeichnung „idiot savant“ war aus der Kombination des Begriffs „idiot“ – zur Klassifikation des Grades der mentalen Retardierung – mit dem vom französischen Wort „savoir“ (*wissen*) abgeleiteten Begriff „savant“ entstanden. Hierbei handelte es sich um eine pejorative Fehlbezeichnung, da der IQ bei Savants meist größer als 40 und nicht kleiner als 25 ist, wie es nach veralteter Klassifikation eines „Idiots“ notwendig wäre. Außerdem findet der Begriff ebenfalls bei Personen Verwendung, die sensorisch schwer beeinträchtigt sind (z. B. Menschen ohne Sehvermögen) oder solchen mit gravierenden psychischen Erkrankungen (z. B. Tourette-Syndrom) (Miller, 1999).

Alternativ wird nun der neutrale Terminus *mono-savant* (Charness, Clifton & McDonald, 1988) und seit Treffert (1988) die Bezeichnung Savant-Syndrom bevorzugt.

Der normative Kontext von Savant-Fähigkeiten ist häufig unklar. Zum einen ist dies der Fall, weil die herausragenden Leistungen ungewöhnlich sind, wie z. B. das Kalenderrechnen. Das macht es schwierig, sie mit der Leistung von Personen ohne Behinderung zu vergleichen. Zum anderen kann als normativer Kontext zweierlei angenommen werden: die Fähigkeit kann herausragend sein relativ zur Behinderung oder herausragend relativ zu Populationsnormen. So unterscheidet Treffert „talentier-te (talented) savants“, bei denen die Begabung nur in Anbetracht der Behinderung bemerkenswert ist, von „außerordentlichen (prodigious) savants“, deren Fähigkeit nicht nur im Vergleich zur Behinderung, sondern auch beim Auftreten bei gesunden Personen sensationell erscheint. Solche sensationellen Fälle sind gut dokumentiert; weltweit sind allerdings bislang nur ca. 100 Fälle bekannt (Treffert, 2000). Talentierte Savants hingegen sind weitaus häufiger zu beobachten. Am zahlreichsten treten einfache „splinter skills“ auf: Hierunter versteht man die obsessive Beschäftigung mit bzw. das Auswendigler-

nen von Trivialwissen wie Sportergebnissen oder Landkarten. Die Fähigkeit ist hier aber nicht derart spezialisiert und ausgestaltet wie bei talentierten Savants. Hill (1978) schlägt vor, den Terminus „Savant“ lediglich für die sensationellen Fälle, somit die „prodigious Savants“ nach Treffert, zu verwenden. Miller (1999) behauptet hinsichtlich der intellektuellen Leistungen von Savants sogar, dass sie sich in vielen Bereichen nicht von denen geübter gesunder Personen unterscheiden. Savant-Fähigkeiten würden durch normative Leistungen in Subskalen von IQ-Tests begleitet, die dann mit der besonderen Fähigkeit in Bezug stünden. Damit wäre für bestimmte herausragende Leistungen zu erwarten, dass sie mit allgemeinen Intelligenzfaktoren korrelieren.

Insgesamt besteht Bedarf an einer stringenten Definition und Operationalisierung des relativ oder absolut hervortretenden Verhaltens dieser Art (Bölte, Uhlig & Poustka, 2002). Eine formale Definition des Savant-Syndroms gibt die American Association on Mental Retardation (AAMR), in der Savants beschrieben werden als “persons with obvious mental retardation who are capable of performing remarkable feats in sharply circumscribed areas (e.g. arithmetic, calendar calculating) at remarkably high levels” (Grossman, 1983; S. 179). Aber auch diese Definition erfasst das Phänomen nur rudimentär. Ein neuer Ansatz sieht vor, von einem Fokus der Definition auf IQ-Werte und Diskrepanzen zwischen funktionaler Beeinträchtigung und unerwarteter Fähigkeit Abstand zu nehmen. Stattdessen solle aufgrund der Verbindung zwischen Autismus bzw. autistischen Eigenschaften und dem Savant-Syndrom (siehe 1.1.7) eine Definition im Kontext der neuropsychologischen Ursachen und kognitiven bzw. behavioralen Eigenschaften des Autismus angestrebt werden (Heaton & Wallace, 2004).

1.1.2 Prävalenz des Syndroms

Es liegen keine zuverlässigen Untersuchungen zur Auftretenshäufigkeit des Savant-Syndroms vor. Hill (1977) fand eine Häufigkeit von 0,6 % bei Personen mit geistiger Behinderung. Hier wurde das Personal von 300 Einrichtungen über das Auftreten von Savant-Begabungen bei den über 9000 vorwiegend geistig retardierten Patienten befragt. Saloviita und Mitarbeiter (2000) berichteten eine Rate von 0,14% bei Personen mit geistiger Behinderung in Finnland.

Rimland (1978b) untersuchte die Auftretenshäufigkeit bei Personen mit Autismus und fand eine Prävalenz von 9,8%. Dabei wurden die Eltern von 5400 autistischen Kindern interviewt; 531 berichteten von herausragenden Leistungen ihres Kindes. Diese Studie gibt Anlass zu der Vermutung, dass das Savant-Syndrom bei von Autismus betroffenen Menschen besonders häufig auftritt (siehe 1.1.7). Jedoch basierte keine der beiden Untersuchungen auf einer klaren Definition des Savant-Syndroms oder unterschied zwischen talentierten und außerordentlichen Savants.

Es findet sich konsistent ein wesentlich häufigeres Auftreten des Savant-Syndroms bei Männern als bei Frauen. Von 103 als Savants klassifizierten Personen in 63 Publikationen waren 89 männlich. Hieraus ergibt sich ein Verhältnis von ca. 6:1 zu ungunsten der Frauen (Hill, 1977). Ein ähnliches Übergewicht männlicher Betroffener ist innerhalb der Population von Patienten mit infantilem Autismus zu beobachten: Rimland (1978b) gibt hier ein Verhältnis von Männern zu Frauen von 3,25 : 1 an. Dieses Verhältnis kann jedoch mit dem wesentlich häufigeren Auftreten des Autismus bei Männern als bei Frauen konfundiert sein.

1.1.3 Historische Entwicklung

Das gemeinsame Auftreten von herausragenden Leistungen und geistiger Retardierung wird seit 200 Jahren dokumentiert (Foerstl, 1989). Der Terminus „idiot savant“ wurde erstmals von J. Langdon Down (1887) in seinen Vorträgen bei der „Medical Society of London“ explizit angewandt. Alfred Binet (1894) beschrieb in großer Genauigkeit seine Beobachtungen an zwei Personen mit herausragenden Rechenleistungen. A.F.Tredgold (1914) schrieb die erste Arbeit zum Thema des „idiot savant“ und widmete diesem Thema ein Kapitel in seinem Buch „Mental Deficiency“. Hier finden sich detaillierte klinische Berichte, die auf der Beobachtung einer größeren Stichprobe von 20 Patienten basieren. Die Arten von Savants, die er auf der Basis dieser Patienten beschrieb, konnten in jüngeren Arbeiten repliziert werden (Treffert, 1988).

1.1.4 Arten der Fähigkeiten von Savants

Die typischen Leistungsbereiche von Savants fallen in bemerkenswert konsistente Kategorien (siehe Tabelle 1): Gedächtnisleistungen, musikalische Fertigkeiten (Miller, 1989), visuelle Künste, insbesondere Zeichnen (Selfe, 1983) sowie spezielle mathematische Fertigkeiten.

Weniger häufig werden Savant-Fähigkeiten in anderen Bereichen wie besondere sensorische Sensitivität (Rimland, 1978b), mechanische Begabungen (Tredgold, 1952) und Sprache (O'Connor & Hermelein, 1991a) erwähnt. Hierzu wird auch die Hyperlexie, d. h. die Fähigkeit, vor dem 6. Lebensjahr genau zu lesen, ohne den Text zu verstehen (Silberberg & Silberberg, 1971; Suzuki et al., 2000), gezählt. Ferner gibt es vereinzelt Berichte über herausragende geographische Fähigkeiten sowie die Fertigkeit zur perfekten Zeiteinschätzung ohne Uhr. Einen Überblick bietet Yewchuk (1999).

Tabelle 1: Arten der Fähigkeiten von Savants

Kategorie	Beispiel
Gedächtnis	Mnestische Fähigkeiten für Fahrpläne, Sportergebnisse, Wetter
Musik	Absolutes Gehör; Nachspielen von Musikstücken
Visuelle Künste	Zeichnen naturalistischer Darstellungen
Mathematik	Blitzschnelles Rechnen (Multiplizieren, Potenzieren, Radizieren); Primzahlenderivation; Kalenderrechnen
Sensorik	Hypersensorik wie ausgeprägte Geruchswahrnehmung
Mechanik	Reparieren mechanischer Geräte ohne entsprechende Vorkenntnisse
Sprache	Hyperlexie
Geographie	Besonderer Orientierungssinn
Zeit	Perfekte Zeiteinschätzung ohne Uhr

Herausragende Gedächtnisleistungen treten bei Savants häufig auf: Bereits Tredgold (1914) beschrieb einen „Schwachsinnigen“, der wörtlich den Inhalt einer Zeitung, die er gerade gelesen hatte, wiedergeben konnte, sowie einen weiteren Patienten, der rückwärts wiedergab, was er soeben gelesen hatte. Ein weiteres Beispiel stellt George dar, nämlich ein Zwilling des Zwillingspaars von Kalenderrechnern, der sich an das Wetter eines jeden Tages in seinem Leben erinnerte (Sacks, 1985). Solche mnestischen Fertigkeiten beziehen sich zumeist auf die Wiedergabe umfangreicher Wortlisten,

Sportergebnisse oder Fahrpläne (Rimland & Fein, 1988), wobei die Gedächtnisleistungen häufig auf einem Gebiet erbracht werden, dem die Person besonderes Interesse entgegenbringt.

Unter Savants sind ferner häufig herausragende musikalische Leistungen zu beobachten. Charness, et al. (1988) geben einen Überblick über 15 derartige Fälle. Hierbei ist die Triade von musikalischem Genie, mentaler Retardierung und Blindheit von besonderem Interesse, welche in sechs dieser 15 Fälle auftrat. Die besonderen Fähigkeiten beziehen sich hier zumeist auf das Auftreten des absoluten Gehörs oder die Fähigkeit zum rhythmisch und tonal akkuraten Nachspielen eines Musikstücks, ohne jemals Musikunterricht gehabt zu haben. Zwar beeindruckten musikalische Savants durch ihr zumeist exzellentes Gedächtnis für Musik; die Darbietungen wirken jedoch meistens wenig ausdrucksvoll (Sloboda, Hermelin & O'Connor, 1985), auch fehlt ihnen – von einigen Ausnahmen abgesehen – jegliche Fähigkeit zur Improvisation.

Einige Savants mit zeichnerischem Talent sind sehr berühmt geworden, so Kiyoshi Yamashita, ein graphisches Genie aus Japan mit einem IQ von 67, der auch als „van Gogh aus Japan“ berühmt wurde (Shikiba, 1957). Er zeichnete nur mit Fingern und Fingernägeln und vermochte aus seiner Erinnerung photographisch wirkende Zeichnungen von Insekten zu schaffen. Ferner Nadia, ein Kind mit herausragenden künstlerischen Fertigkeiten, die sie später verlor, als sie Sprechen lernte. Ihr Fall wurde von Selfe (1977) ausführlich studiert und wird in dieser Arbeit an mehreren Stellen wieder aufgegriffen werden.

Im Bereich mathematischer Fertigkeiten werden namentlich blitzschnelles Rechnen (hier insbesondere Multiplizieren, Potenzieren und Radizieren), Primzahlenderivation (Sacks, 1985) sowie als besondere Art des Rechnens das Kalenderrechnen beschrieben. Critchley (1979) erwähnt „a blind, intractably destructive imbecile who was able to give cubits rapidly and solve algebraic problems with no knowledge of the rudiments of geometry.“ Weitere Fälle sind ein elfjähriges autistisches Mädchen, das alle Primzahlen bis 1100 aufsagen konnte, oder ein fünfjähriger Junge, der vielstellige Zahlen im Kopf multiplizieren und mit neun Jahren aus mehrstelligen Zahlen Wurzeln ziehen konnte (Rimland, 1978a). Beide waren nicht in der Lage, einfache Textaufgaben zu lösen.

Die in dieser Arbeit besonders thematisierte Fähigkeit des Kalenderrechnens (die Fähigkeit, zu einem gegebenen Datum den korrekten Wochentag anzugeben, siehe 1.3) wird besonders unter autistischen Savants häufig beobachtet. Auch diese Leistung findet sich bereits bei Kindern unter acht Jahren (O'Connor & Hermelin, 1992), zumeist tritt sie aber erstmals in einem Alter zwischen acht und 15 Jahren auf. Kalenderrechner zeigen häufig mehrere herausragende Leistungen gleichzeitig, so zusätzliche musikalische Fertigkeiten (Judd, 1988). So kann eine Person mit Savant-Syndrom verschiedene Fähigkeiten besitzen: Rimland (1978b) beobachtete anhand von 119 Patienten, dass musikalische und mnestiche Fähigkeiten sowohl am häufigsten, als auch am häufigsten gemeinsam auftraten.

1.1.5 Theorien zur Erklärung des Savant-Syndroms

Bislang gibt es keine einheitliche Theorie, die das Savant-Syndrom zu erklären vermag. Die Theorien sind beinahe so spezifisch und zahlreich wie die Fallberichte – dennoch fallen sie in einige allgemeine Kategorien (Treffert, 1988).

1.1.5.1 Hereditäre Einflüsse

Es gibt vereinzelte Hinweise auf hereditäre Einflüsse (Rife & Snyder, 1931). Rife und Snyder untersuchten 33 Patienten und ihre Familien und fanden, dass die Art der Savant-Begabung sowohl beim retardierten Patienten als auch bei Verwandten mit normalem Intelligenzniveau auftraten. Sie folgerten, dass die herausragende Leistung nicht ausschließlich durch Übung entstanden sei, schlossen somit eine rein behaviorale Erklärung des Phänomens aus. Savants haben ihrer Ansicht nach durch Zufall zwei Faktoren geerbt: den der Retardierung einerseits und den der speziellen Fähigkeit andererseits. Man findet hereditäre Einflüsse zwar bei manchen, nicht aber bei allen Savants. Bei erblichen Einflüssen scheint es sich eher um einen begünstigenden Faktor zu handeln als um eine universelle Erklärung (Treffert, 1988).

1.1.5.2 Motivation und Verstärkung

Verschiedene motivationale und situative Faktoren wurden für die Entstehung von Savant-Fähigkeiten verantwortlich gemacht. Dabei beziehen sich die motivationalen Modelle auf eine Reaktion auf sensorische und soziale Isolation (Lindsley, 1965), auf Kompensation oder pathologische Formen motivationaler Konzentration wie obsessives Verhalten (Lewis, 1985), ferner auf eine abnorme Aufmerksamkeit (Rimland & Fein, 1988) und extensives Üben (Ericsson & Faivre, 1988). Diese Modelle unterscheiden sich zwar in wichtigen Einzelheiten, stimmen aber darin überein, dass die motivationale Struktur von Behinderten das Auftreten von Savant-Fähigkeiten begünstigt.

(1) Sensorische Deprivation und soziale Isolation

Bei der Entstehung des Savant-Phänomens wird häufig der Einfluss sensorischer Deprivation diskutiert. Sensorische Deprivation – entstanden durch soziale Isolation aufgrund der Behinderung oder aufgrund geschädigter sensorischer Kanäle (z. B. bei Menschen ohne Hör- oder Sehvermögen) – führe zu Langeweile bzw. frei werdenden Ressourcen, welche wiederum die Entwicklung bizarrer oder trivialer Beschäftigungen, wie das Merken obskurer Fakten oder das Kalenderrechnen, begünstigten (Hoffman, 1971; Lindsley, 1965; Sacks, 1985).

Eine derartige Theorie erklärte auch das vermehrte Auftreten des Savant-Syndroms bei Menschen mit Autismus: aus Gründen des sozialen Rückzugs widmeten sich diese vermehrt derartigen Tätigkeiten. So geht Lindsley (1965) davon aus, dass sich Savants repetitiv mit den gleichen Inhalten beschäftigen, um neue, als distrahierend erlebte Stimuli zu vermeiden.

Während jedoch bei einigen Savants eine sozial oder physiologisch begründete Deprivation vorliegt, haben andere Savants in ihrer Entwicklung ein enorm stimulierendes Umfeld genossen. Ebenso entwickeln zwar einige Gehörlose oder Blinde Savant-Fähigkeiten, die meisten aber eben nicht. Somit gibt auch die sensorische Deprivation und soziale Isolation eher einen begünstigenden Faktor als eine notwendige oder hinreichende Voraussetzung ab.

(2) Kompensation und Verstärkung

Viele Forscher nehmen an, dass Savants kompensatorische Fähigkeiten als Coping-Mechanismen entwickeln, um die unterentwickelten Fähigkeiten auszugleichen. Die Savants werden mit Lob und Interesse für ihre ungewöhnlichen Begabung belohnt (LaFontaine, 1974). Durch die besondere Fähigkeit werden so Gefühle der Unterlegenheit gemindert (Jones, 1926), die Selbstachtung gesteigert (LaFontaine, 1974), oder eine stärkere Wertschätzung durch die Eltern erreicht (Viscott, 1970). Die Popularität, die Savants in Institutionen erhalten, führt zu einer erheblichen sozialen Verstärkung (Hoffman, 1971).

Somit wird bei vielen Savants die Neigung zu ungewöhnlichen Fähigkeiten durch die Umwelt verstärkt (Howe, 1989). Dies kann aber nicht allein die Ursache sein für die Entwicklung der herausragenden Leistung: Bei allen Menschen mit Behinderungen läge die Motivation zugrunde, kompensatorisch eine herausragende Leistung zu entwickeln – kaum einer von ihnen erreicht jedoch den Grad an Performanz eines Savants. Somit müssen spezifische Faktoren vorliegen, die den Savant vom Rest der geistig Behinderten unterscheiden (Treffert, 1988).

(3) Obsessives Verhalten, extensives Üben und abnorme Aufmerksamkeit

Obsessives Verhalten (Lewis, 1985), abnorme Aufmerksamkeit (Rimland & Fein, 1988) und extensives Üben (Ericsson & Faivre, 1988) spielt in den meisten der oben genannten Theorien eine Rolle – vermutlich tragen alle diese Parameter mit zur Erklärung des Savant-Phänomens bei (Bölte et al., 2002).

Ericsson und Faivre (1988) gehen davon aus, dass die Möglichkeit zum extensiven Üben, gemeinsam mit einem moderaten Anteil an fördernder Intervention aus dem Umfeld sowie einer angemessenen motivationalen Prädisposition, die Entstehung von Savant-Fähigkeiten zu erklären vermag. Fallberichte von Savants zeigen, dass Savants hoch motiviert sind, ihre Fähigkeit auszuüben und – wenn die Möglichkeit dazu besteht – einen Großteil ihrer Zeit darauf verwenden. So schilderte Miller (1989) mehrere musikalische Savants, die einen unerschöpflichen Hunger auf musikalische Interaktion jedweder Art zu haben schienen. Das künstlerische Savant-Mädchen Nadia (Selfe, 1977) malte bei jeder Möglichkeit und mit jedem Material, das ihr zur Hand war. Auch die meisten Kalenderrechner beschreiben eine frühe Faszination und eine ausführliche Auseinandersetzung mit Kalendern in ihrer Vergangenheit (siehe 1.3). O'Connor & Hermelin (1991b) konnten zeigen, dass ein solches perseveratives Verhalten und die Fokussierung auf Spezialinteressen bei Personen mit Savant-Syndrom deutlich häufiger auftreten.

Dabei bleibt fraglich, ob die von gesunden Personen nach intensivem Training erbrachte Leistung mit der Leistung von Savants vergleichbar ist (Spitz, 1995). Mit einigen Savants wurde zumindest für kurze Zeit das Kalenderrechnen trainiert (Miller, 1989); dies stellt jedoch eher eine Ausnahme als den Regelfall dar. Nadias frühreifes künstlerisches Talent verschlechterte sich mit der Zeit zunehmend, obgleich versucht wurde, dies durch Training aufzuhalten (Selfe, 1995). Auch das frühe Auftreten der Savant-Fähigkeiten (Miller, 1987) sowie ihre Stabilität (O'Connor & Hermelin, 1992) sprechen dagegen, dass ihr Ursprung in intensivem Training zu sehen ist.

Die Untersuchung der Aufmerksamkeit zeigte bei Kalenderrechnern eine Beeinträchtigung der geteilten Aufmerksamkeit, die Daueraufmerksamkeit war hingegen nicht beeinträchtigt (Casey, Gordon,

Manheim & Rumsey, 1993). Für andere Savant-Fähigkeiten liegen hinsichtlich der Aufmerksamkeit noch keine Untersuchungen vor.

(4) Motivationale Struktur von Behinderten und das Auftreten von Savant-Fähigkeiten

Verschiedene Studien vergleichen die motivationalen Faktoren von Savants mit denen von Behinderten, die keine Savant-Fähigkeit aufweisen. Duckett (1977) verglich 25 Savants mit 25 Erwachsenen mit Entwicklungsstörungen und ohne herausragende Leistungen. Auf den „AAMD Adaptive Behavior Scales“ zeigten die Savants bessere akademische Leistungen und stärker stereotypes sowie nicht akzeptierbares und exzentrisches Verhalten als die Vergleichsgruppe. Insgesamt waren die Savants jedoch „more like their peers than unlike them“ (Duckett, 1977; S. 311). O'Connor und Hermelin (1991b) untersuchten, ob motivationale Variablen autistische von nichtautistischen Savants unterschieden. Es wurden 20 Savants mit einer Kontrollgruppe von 20 Personen in Bezug auf obsessives Verhalten verglichen. Die Hälfte der Personen jeder der beiden Gruppen war mit Autismus diagnostiziert. Insgesamt zeigten die Savants stärker repetitives Verhalten als die Kontrollgruppe. Ferner zeigte sich eine Interaktion zwischen speziellen Items und den Subgruppen: Unter den Savants hatten diejenigen, die mit Autismus diagnostiziert waren, häufiger nur ein einziges Interesse und zeigten stärker obsessives Ordnen ihres Eigentums. Unter denjenigen, die nicht mit Autismus diagnostiziert waren, zeigten die Savants eine stärkere Tendenz, Routinen von sich aus zu beginnen. O'Connor und Hermelin schlossen, dass eine motivationale Prädisposition zu repetitivem Verhalten eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende Bedingung für die Entwicklung von Savant-Fähigkeiten darstellt.

Die Daten weisen somit darauf hin, dass motivationale Variablen Personen mit Behinderungen, die Savant-Fähigkeiten entwickeln, von denen, die keine herausragenden Fähigkeiten entwickeln, unterscheiden. Allerdings ist die Richtung der kausalen Verbindung zwischen Motivation und Entwicklung der Fähigkeit unklar: Einerseits liegt aus motivationaler Perspektive nahe, dass das spezielle Interesse sowie das damit verbundene gehäufte Üben zur Entwicklung der Savant-Leistung führt. Andererseits ist denkbar, dass Savants zunächst ein Gebiet entdecken, in dem sie eine besondere Begabung haben, und daraufhin ein spezielles Interesse bzw. repetitives Verhalten innerhalb dieses Gebiets entwickeln. Längsschnittstudien könnten diese Frage klären.

1.1.5.3 Eidetisches Vorstellungsvermögen

Unter einem eidetischen Vorstellungsvermögen ist die Fähigkeit zu verstehen, sich ein intensives visuelles Bild, welches durch die Betrachtung eines Objekts/ Stimulus entstanden ist, für eine längere Zeit (mindestens 40 Sekunden) bei geschlossenen Augen vorzustellen und auch tatsächlich zu sehen (Giray & Barclay, 1977); So vermögen Personen mit eidetischem Vorstellungsvermögen noch exakte Details über das Gesehene wiederzugeben, auch nachdem das Objekt entfernt wurde. Der Begriff des fotografischen Gedächtnis wird häufig alternativ gebraucht, es wird jedoch diskutiert, inwiefern quantitative oder gar qualitative Unterschiede zwischen den Konstrukten bestehen. Die Fähigkeit eines eidetischen Vorstellungsvermögens tritt im Allgemeinen nur bei Kindern bis zu einem Alter von 14 Jahren auf, wobei die Prävalenz bei ca. 5 % liegt (Gray & Gummerman, 1975). Unter Savants liegt sie jedoch wahrscheinlich erheblich höher. Viele Fallberichte beschreiben das Vorliegen eines eidetischen Vorstellungsvermögens z. B. bei Kalenderrechnern (LaFontaine, 1974; Sacks, 1985). Während diese Fähigkeit bei einigen Savants vorliegt, ist sie doch keine universelle Erklärung. Die Untersuchung von Savants auf das Vorliegen eines eidetischen Vorstellungsvermögens ergibt, dass einige Savants diese

Fähigkeit zeigen, andere jedoch nicht (Duckett, 1976; LaFontaine & Benjamin, 1971). Auch der Fallbericht eines blinden Kalenderrechners hinterlässt Unsicherheit am eidetischen Vorstellungsvermögen als universeller Erklärung (Rubin & Monaghan, 1965), da dieser zweifelsfrei nicht über ein solches verfügte.

1.1.5.4 *Theorie des konkreten Denkens*

Die Theorie des konkreten Denkens geht davon aus, dass die zentrale Schwäche der Savants darin bestehe, abstrakt zu denken, wobei funktionell isolierte Inseln konkreter Begabung erhalten blieben (Nurcombe & Parker, 1964). Dies führe dazu, dass sie sich vermehrt auf konkretes Denken stützten: Als Kompensation der Defizite im abstrakten Denken lenkten Savants ihr Energie in das einzig mögliche – konkrete – Betätigungsfeld; dies erklärt auch die ausgeprägte Motivation der Savants innerhalb ihres umgrenzten Gebiets (Scheerer, Rothmann & Goldstein, 1945). Diese Beobachtung wird in vielen Fallberichten von Savants erwähnt. Hierbei handelt es sich jedoch eher um eine Beschreibung des Savant-Syndroms als um eine Erklärung.

1.1.5.5 *„Rote memory“- Ansatz*

Eine derzeit häufig vertretene Theorie stellt die des *rote memory* („mechanisches Gedächtnis“) dar. Diese Art der Mnestik zeichnet sich dadurch aus, dass der Abruf von Elementen aus dem Gedächtnis (z.B. Wörter, Zahlen etc.) überaus vergleichbar mit der früheren Enkodierung erfolgt. Dabei scheint die Enkodierung des Gedächtnismaterials einer minimalen Manipulation, Transformation bzw. einem minimalen Einfluss anderer kognitiver Prozesse zu unterliegen: die „bottom-up“-Informationsverarbeitung (IVA) scheint nicht mit der „top-down“ – IVA zu interferieren.

Für diesen Ansatz sprechen viele zentrale Charakteristika der Savant-Fähigkeiten: So enthält bei Savants das Gedächtnis eine außerordentlich wiedergabegetreue Repräsentation der ursprünglichen Information – diese ist der Repräsentation, die für gewöhnlich ausschließlich direkt nach der Stimulation verfügbar ist, sehr ähnlich (Sperling, 1960). Außerdem scheint weder die Enkodierung noch der Gedächtnisabruf einer spezifischen Organisation des Materials zu unterliegen: die Elemente sind homogen in Bezug auf ihre Verfügbarkeit oder ihre hierarchische Struktur. Schließlich bleibt die Erinnerung sehr konkret – gebunden an die physikalischen Charakteristika oder speziellen Umstände – und ist nicht in einer Form verfügbar, die eine Generalisierung auf andere Fälle oder Situationen zuließe (Young & Nettelbeck, 1994).

Es gibt einige Hinweise, die mit der Theorie des *rote memory* übereinstimmen: Musikalische Savants vermögen Musikstücke nach einmaliger Darbietung rhythmisch wie tonal akkurat nachzuspielen (Mottron & Belleville, 1993). Ferner sind Savants zumeist nicht in der Lage, die Repräsentation des Gedächtnismaterials (z. B. die Darbietung eines Musikstücks) zu verändern, was nahe legt, dass das Gedächtnismaterial nicht der Möglichkeit einer internen Manipulation oder Transformation unterliegt (Scheerer et al., 1945). Ein weiterer Hinweis für diese Theorie liegt in dem Befund, dass Savants beim Gedächtnisabruf hoch resistent gegen Interferenzen sind (Mottron, Belleville, Stip & Morasse, 1998). Bölte und Poustka (2003) fanden, dass autistische Savants bessere Leistungen in der akustischen Zahlenspanne des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests für Erwachsene (Tewes, 1991) bzw. Kinder (HAWIK-R) zeigten als Menschen mit Autismus ohne Savantfähigkeiten. Sie diskutieren die Möglichkeit, die Zahlenspanne als Maß der Güte des mechanischen Gedächtnisses zu interpretieren und schließen, dass autistische Savants ein besonders mechanisches Gedächtnis besäßen.

Es gibt aber auch einige Hinweise, die mit der Theorie des *rote memory* unvereinbar sind: Selfe (1977, 1983) fand, dass die Bilder künstlerischer Savants häufig keine reine Kopie des gesehenen Originals, sondern eine andere Perspektive oder eine Kombination von Bildern aus unterschiedlichen Quellen darstellten. Bezogen auf musikalische Savants stellte sich in Untersuchungen von Miller (1987, 1989) heraus, dass die wiedergegebenen Musikstücke ebenfalls keine genaue Reproduktion des gehörten Materials waren: vielmehr vermöge der Savant das gehörte Werk in seiner Struktur wiederzugeben. Einige Forschungsergebnisse legen nahe, dass zumindest manche musikalische Savants auch durchaus die Fähigkeit zur Improvisation und somit zur kreativen Manipulation des Materials besitzen (Hermelin, O'Connor & Lee, 1987; Miller, 1989).

Die Fähigkeit zum Kalenderrechnen wurde ebenfalls häufig mit der Theorie des *rote memory* erklärt (siehe 1.3.2.5): die Fähigkeit basiere auf der Ansammlung einfacher Datum-Tag-Assoziationen. Dieser Annahme steht die Meinung der Anwendung einer Vielzahl von Regeln gegenüber (siehe 1.1.5.6), um den richtigen Wochentag für ein gegebenes Datum anzugeben. Für diese Meinung, die der Theorie eines reinen *rote memory* widerspricht, gibt es einige Evidenzen (siehe 1.3.2.6).

1.1.5.6 Anwendung regelbasierter Strategien

Im Gegensatz zur Theorie des *rote memory* besagt die These der Anwendung regelbasierter Strategien, dass Savants bei der Entstehung ihrer Fähigkeit Strategien anwenden, die für ihr jeweiliges Interessensgebiet hoch spezifisch und nicht transferierbar sind (O'Connor & Hermelin, 1984, 1989). So vermag der musikalische Savant das Musikstück in seiner Struktur, und nicht – wie beim Ansatz des *rote memory* postuliert – identisch wiederzugeben (Miller, 1987), und einige Kalenderrechner wenden eine Vielzahl von Regeln an, um für das gegebene Datum den korrekten Wochentag abzuleiten (Hermelin & O'Connor, 1986; siehe 1.3.2.6).

1.1.5.7 Dysfunktionale prozedurale Gedächtnisfunktionen

Einige kognitionspsychologische Modelle gründen auf der Annahme, dass in frühen Phasen des Erwerbs von Fähigkeiten deklaratives Wissen bezüglich des Interessensgebiets angesammelt wird, und sich anschließend Assoziationen bilden, welche dieses Wissen mit Handlungen verbinden. Diese Prozesse würden wiederum von allgemeinen Strategien reguliert, die in unterschiedlichen Fähigkeitsbereichen angewendet werden (Anderson, 1995). In der Literatur zur Kognition von Personen mit mentaler Retardierung werden gerade Beeinträchtigungen dieser allgemeinen Strategien angenommen: So weisen Spitz (1979) auf Probleme in der Organisation von Information hin und Borkowski und Cavanaugh (1979) auf Schwierigkeiten in der richtigen Anwendung der Strategien, was den Wissenserwerb bei Personen mit geistiger Behinderung erschwert. Savants könnten dieses Modell dahingehend in Frage stellen, dass entweder diese allgemeinen Strategien nicht grundlegend für jede Art des Fähigkeitserwerbs sind oder dass Personen mit mentaler Retardierung bei diesen Strategien entgegen der Annahme doch keine grundlegenden Defizite aufweisen.

So wird eine Beteiligung prozeduraler und deklarativer Gedächtnissysteme bei der Entstehung von Savant-Phänomenen diskutiert. Während Goldberg (1987) meint, dass Savant-Fähigkeiten mit dysfunktionalen prozeduralen Gedächtnissystemen zusammenhängen und deklarative Gedächtnisprozesse unbeeinträchtigt bleiben, widerspricht Spitz (1995) dahin, dass Savants sehr wohl über prozedurale Gedächtnissysteme verfügen, sie ihnen aber nicht bewusst würden, da sie sie implizit nutzten.

1.1.6 Neurobiologie der Savant-Fähigkeiten

Die meisten Savant-Begabungen entstehen vor dem Hintergrund einer weiteren Pathologie neben der mentalen Retardierung wie sensorischen oder physischen Beeinträchtigungen oder schweren frühen Erkrankungen. Dies legt nahe, dass die Erklärung der Savant-Fähigkeiten mit dieser Pathologie zusammenhängt.

1.1.6.1 Post mortem - Untersuchungen

Die wenigen post mortem-Untersuchungen des Gehirns von Savants führten zu unterschiedlichen Resultaten: Down (1887) fand bei seinem Patienten „two well marked and distinct soft commissures“, Ireland (1900) bei seinem Patienten hingegen ein etwas vergrößertes Cerebellum; Sano (1918) beobachtete bei der genauen Analyse des Gehirns seines Patienten vergrößerte Ventrikel, eine Entwicklungshemmung des zentralen, temporalen und frontalen Cortex sowie ein weniger komplexes System an Hirnwindungen in der linken als in der rechten Hemisphäre. In diesen Veränderungen sah Sano die Ursache für die visuellen und künstlerischen Fähigkeiten seines Patienten.

1.1.6.2 Cortikale Hemisphärendominanz

Nach Restak (1984) hat die linke Hemisphäre mehr mit Funktionen zu tun, die sequentielle, logische, symbolische (abstrakte) Strategien und Methoden betreffen, so sprechen und lesen; die rechte hingegen mit solchen, die auf eher simultanen, intuitiven, nonverbalen (konkreten) Strategien basieren, so z. B. Zeichnen, Modellieren oder Konstruieren: „Division of the hemispheres into symbolic-conceptual (left hemisphere) versus non-symbolic directly perceived (right hemisphere) avoids many oversimplifications.“

Die Annahme einer kortikalen Hemisphärendominanz zur Erklärung des Savant-Syndroms hat lange Tradition, da die meisten Savant-Fähigkeiten eher Funktionen der rechten Hemisphäre betreffen. So nimmt Brink (1980) an, dass Schädigungen der linken Hemisphäre die Retardierung verursachten, während sich die rechte Hemisphäre kompensatorisch entwickle. Er führt den Fall eines neunjährigen Jungen an, der von einer Pistole in die linke Hemisphäre getroffen wurde, was zu Taubheit, Stummheit und einer Lähmung der rechten Seite führte. Ab dem Zeitpunkt dieses Unfalls entwickelte er jedoch auch savantähnliche mechanische Fähigkeiten.

Geschwind und Galaburda (1987) entwarfen – basierend auf zahlreichen Studien (z.B. Brink, 1980; Hauser, DeLong & Rosman, 1975) – eine Theorie zur cerebralen Lateralisierung, die von Bedeutung für die Erklärung des Savant-Syndroms ist. Beim Fötus entwickelt sich die linke Hemisphäre gewöhnlich später als die rechte Hemisphäre. Damit ist sie längere Zeit pränatalen schädigenden Einflüssen ausgesetzt. Ein solcher schädigender Einfluss kann vom zirkulierenden männlichen Hormon Testosteron ausgehen: Dieses vermag das Wachstum von Neuronen zu verlangsamen sowie Wanderung und Zusammenschluss von Neuronen zu Zellverbänden in der somit vulnerablen linken Hemisphäre zu beeinträchtigen, was zu einer Vergrößerung und Dominanz der rechten Hemisphäre führt. Dies erklärt einerseits das Übergewicht herausragender Fähigkeiten bei Savants, die mit der rechten Hemisphäre assoziiert sind, sowie andererseits das häufigere Vorkommen solcher Begabungen bei Männern. Ferner findet man ein ähnliches Geschlechterverhältnis bei anderen mit der linken Hemisphäre assoziierten Störungen wie Dyslexie, verspätete Sprachentwicklung, Stottern, Autismus (siehe 1.1.7) sowie Hyperaktivität. Auch das häufigere Vorkommen der Linkshändigkeit bei Männern würde damit erklärt.

Beispiele für Savant-Fähigkeiten, die mit der rechten Hemisphäre assoziiert sind, stellen herausragende musikalischen oder künstlerische Leistungen dar. Auch bei Kalenderrechnern (siehe 1.3) scheinen rechtshemisphärische Funktionen betroffen, zumal sie beim „Rechnen“ häufig mit räumlichen Vorstellungen arbeiten (Howe & Smith, 1988).

Ferner sind Savants häufig Linkshänder: In einer Studie von Young (1995) wurden 15 von 51 Savants als Linkshänder klassifiziert; drei der sechs von Selfe (1983) untersuchten künstlerischen Savants waren ebenfalls Linkshänder. Dieses Verhältnis ist etwas höher als die geschätzte Rate an Linkshändern bei von Autismus betroffenen Menschen (Fein, Humes, Kaplan, Lucci & Waterhouse, 1984), und wesentlich höher als der Anteil an Linkshändern in der Allgemeinbevölkerung (Harris, 1980). Escalante-Mead, Minshew und Sweeney (2003) konnten hingegen zeigen, dass eine atypische cerebrale Dominanz bei Personen mit Autismus noch häufiger auftritt als Linkshändigkeit.

Zwar wurde das Savant-Syndrom so in der Vergangenheit häufig mit kortikaler Hemisphärendominanz in Verbindung gebracht, insgesamt blieben derartige Untersuchungen aber uneindeutig (Dorman, 1991; Mannheim, Krasnewich, Rumsey & Hibbs, 1992). Einige Studien zeigten Schäden im Bereich der rechten Hemisphäre (Mannheim et al., 1992; Steinkopff, 1973). Die unilaterale Zuweisung solcher komplexer Bereiche wie Sprache und Musik ist ebenfalls simplizistisch, da auch in diesen Domänen bilaterale Verarbeitung stattfindet: so werden z. B. prosodische Aspekte der Sprache von der rechten Hemisphäre kontrolliert (Moscovitch, 1983), rhythmische Aspekte der Musik wiederum von der linken (Robinson & Solomon, 1974). Ferner sprechen verschiedene Charakteristika der Savant-Fähigkeiten gegen eine unilateral rechtshemisphärische Entstehung: So haben die meisten musikalischen Savants ein absolutes Gehör (Judd, 1988; Miller, 1989), und Personen mit absolutem Gehör haben ein größeres linkshemisphärisches Planum Temporale. Auch zeigen Savants häufig kaum Prosodie, welche von der rechten Hemisphäre kontrolliert wird (Schlaug, Jancke, Huang & Steinmetz, 1995).

1.1.6.3 *Selektive Beeinträchtigung des cortico- limbischen Gedächtnissystems*

Während keine einzelne Theorie das Savant-Syndrom zu erklären vermag, gibt es eine Eigenschaft, die nahezu alle Savants gemeinsam haben: sie verfügen in ihrem Gebiet über ein herausragendes Gedächtnis. „Indeed, the linking of special skills with special memory – in the presence of substantial intellectual defect – is savant syndrome (Treffert, 2000; S. 200).

Bezogen auf das Langzeitgedächtnis spielt der superiore Temporallappen eine bedeutende Rolle. Die subcorticale Region des Hippocampus ist einerseits eng mit dem Temporallappen, andererseits eng mit dem sensorischen Input der unterschiedlichen Sinne verbunden. Der Hippocampus spielt so eine kritische Rolle beim Übergang vom Kurzzeitgedächtnis zum Langzeitgedächtnis. Die subcorticale Region der Amygdala ist ebenfalls mit dem Hippocampus verbunden und besitzt eine wichtige Aufgabe dabei, Emotionen dazu zu verwenden, Erinnerungen zu sortieren, zu enkodieren und unterschiedliche Prioritäten zuzuordnen. Der Hippocampus und die Amygdala sind wichtige Bestandteile des cortico- limbischen Gedächtnissystems, welches mit dem deklarativen Faktenwissen in Verbindung gebracht wird. Diesem steht das so genannte cortico-striatale Gedächtnissystem gegenüber, das mit habituellem bzw. prozeduralem Wissen in Zusammenhang steht. Dieses habituelle Gedächtnissystem ist eher ein System konditionierter Reflexe als ein bewusstes Erinnern. Auch das Lernen besteht hier weniger im Erkennen und im Gebrauch eines assoziativen Gedächtnisses als vielmehr in automatischen, konditionierten Reaktionen (Treffert, 2000).

Er nimmt an, dass prä-, peri- oder postnatale Schädigungen der linken Hemisphäre (siehe 1.1.6.2) zu Beeinträchtigungen des höheren cortico-limbischen Gedächtnissystems führen, und das basale cortico-striatale habituelle Gedächtnissystem kompensatorisch entwickelt wird. So stellt er die Hypothese auf, dass eine Kombination aus rechtshemisphärischen Begabungen und prozeduralem Gedächtnis zu einer Konstellation von Fähigkeiten und Eigenschaften führt, die die Grundlage des Savant-Syndroms bildet.

1.1.7 *Autismus*

1.1.7.1 *Gemeinsames Auftreten von Autismus und dem Savant-Syndrom*

Das Savant-Syndrom tritt nicht ausschließlich bei von Autismus betroffenen Menschen auf, doch gibt es deutliche Hinweise, dass die tiefgreifende Entwicklungsstörung Autismus eng mit dem Auftreten solcher Sonderbegabungen verbunden ist (Rimland & Fein, 1988). Spezielle Interessen oder Begabungen werden bereits in frühen Beschreibungen als charakteristisch für das Störungsbild des Autismus (Kanner, 1943) sowie des verwandten Asperger-Syndroms (Asperger, 1944, 1991) angenommen. So gehören umfassende Beschäftigung mit stereotypen und begrenzten Interessen, wobei sowohl Inhalt als auch Intensität abnorm sein können, nach DSM-IV (Sass & Wittchen, 1996) zu den diagnostischen Kriterien für beide Störungsbilder (siehe auch 1.1.7.2).

Verschiedene Untersuchungen unterstützen den Zusammenhang der Störungsbilder mit dem Auftreten von Savant-Begabungen (siehe 1.1.2). In einer Befragung von 5400 Eltern autistischer Kinder gaben 9,8% an, dass ihre Kinder herausragende Leistungen zeigten (Rimland, 1978b). Im Gegensatz hierzu ist die Prävalenz des Savant-Syndrom unter geistig Behinderten nur mit 0,6% angegeben (Hill, 1978). Rapin (1996) fand bei Menschen mit Autismus mit einem nonverbalen IQ von mindestens 80, dass über die Hälfte (36 von 51) über spezielle Gedächtnisfertigkeiten, besonders für spezielle Daten (23 von 51), verfügten. Art und Ausmaß der Sonderbegabung wurde in diesen Untersuchungen jedoch nicht unabhängig von der Aussage der Eltern erfasst, so dass die Auftretenshäufigkeit zu hoch angesetzt sein könnte. Dennoch weisen die Daten auf einen Zusammenhang von Savant-Begabungen und Autismus hin. Daher wird im Folgenden näher auf diese Störung eingegangen und werden pathologische Veränderungen diskutiert, die begünstigende Faktoren für die Entstehung des Savant-Syndroms darstellen könnten.

1.1.7.2 *Diagnosik, Prävalenz und Prognose*

Beim Autismus handelt es sich um eine tiefgreifende Entwicklungsstörung mit biologischer Basis und behavioraler Definition. Das Syndrom wurde erstmals von Kanner (1943) beschrieben. Ein Jahr später wurde von Asperger (1944) das ähnliche klinische Erscheinungsbild des Asperger-Syndroms dokumentiert. Da hier jedoch keine Sprachverzögerung vorliegt, wird das Asperger-Syndrom getrennt diagnostisch erfasst.

In der internationalen kinder – und jugendpsychiatrischen Klassifikation nach ICD-10 und DSM-IV wird die autistische Störung übereinstimmend durch eine qualitative Beeinträchtigung der sozialen Interaktion, der Sprache und Kommunikation sowie durch beschränkte, bizarre, repetitive und stereotype Verhaltensweisen, Interessen und Aktivitäten charakterisiert.

Die Prävalenz des Autismus liegt bei 15 bis 20 Fällen auf 10000, wobei Jungen drei- bis viermal häufiger betroffen sind als Mädchen (Chakrabarti & Fombonne, 2001; Fombonne, 1999). Nur 5-17% der

autistischen Kinder führen als Erwachsene ein relativ gut angepasstes, selbständiges Leben; die soziale Unbeholfenheit bleibt aber auch hier meist bestehen. Die Mehrheit der von dieser chronischen Störung Betroffenen bedürfen lebenslang zumindest eines gewissen Maßes an Pflege und Betreuung (Howlin & Goode, 1998).

1.1.7.3 Kognitive Theorien des Autismus

Zur Erklärung des Autismus werden im Wesentlichen drei kognitive Theorien herangezogen: die *theory of mind*, die Theorie der beeinträchtigten Exekutivfunktionen und die Theorie der schwachen zentralen Kohärenz.

(1) Theory of mind

Unter der *theory of mind* werden allgemein Kognitionen verstanden, die es einer Person ermöglichen, fremdes und eigenes Verhalten und Erleben zu erkennen, zu verstehen, zu erklären, vorherzusagen und zu kommunizieren (Carruthers & Smith, 1996). Dieses Bewusstsein, dass andere Menschen andere Wünsche und Einstellungen haben, aus denen man ihr Verhalten erklären kann, ist bei Menschen mit Autismus beeinträchtigt, wie mit verschiedenen sogenannten *false-belief*-Aufgaben gezeigt werden konnte (Happé & Frith, 1994; Baron-Cohen, Tager-Flusberg & Cohen, 2000).

Diese Theorie vermag primär die sozialen und kommunikativen Defizite des Autismus zu erklären, nicht aber die erhaltenen bzw. superioren Fähigkeiten.

(2) Theorie der beeinträchtigten Exekutivfunktionen

Der Terminus der Exekutivfunktionen wird für eine heterogene Gruppe von kognitiven Funktionen höherer Ordnung angewandt. Exekutivfunktionen umfassen neben einer willentlichen, zielgerichteten Handlungsplanung eine kognitive Adaptationsfähigkeit, Kontextunabhängigkeit sowie Impulskontrolle, welche für eine erfolgreiche Selbststeuerung notwendig sind. Bei diesen Prozessen spielt mutmaßlich das Arbeitsgedächtnis eine wesentliche Rolle. Vor allem Frontalläsionen werden häufig mit Defiziten in den Exekutivfunktionen in Verbindung gebracht. Zwar vermag dieser Ansatz die restriktiven, stereotypen Verhaltensweisen des Autismus zu erklären und einige neurologische Befunde zu integrieren, insgesamt ist aber sowohl die Anwendbarkeit auf die verschiedenen Symptome als auch ihre Spezifität umstritten (Bölte, Feineis-Matthews & Poustka, 2001).

(3) Theorie der schwachen zentralen Kohärenz

Während die *theory of mind* und die Theorie der beeinträchtigten Exekutivfunktionen vornehmlich die Defizite der von Autismus betroffenen Menschen erklären können, vermag die Theorie der schwachen zentralen Kohärenz auch die erhaltenen bzw. superioren Fähigkeiten zu erklären und bildet so eine kognitive Grundlage für die Entstehung von Savant-Fähigkeiten.

Unter zentraler Kohärenz wird die Tendenz verstanden, Informationen im Kontext der globalen Bedeutung zu verarbeiten. In diesem Zusammenhang ist die klassische Arbeit von Bartlett (1932) bedeutsam, die zeigt, dass der Sinn einer Geschichte leicht erinnert, die eigentliche Oberflächenform aber schnell vergessen wird.

Viele Fallberichte weisen darauf hin, dass Personen mit Autismus die perzeptuelle Tendenz aufweisen, sich Szenerien eher detailliert und einzelheitlich bewusst zu machen als geschlossen-gestalthaft. In diesem Zusammenhang beschreibt Happé (1999) das Beispiel einer klinischen Testung, bei der ein autistischer Junge Gegenstände vor sich benennen sollte (siehe Abbildung 1). Er benannte alles rich-

tig, dann zeigte die Autorin auf ein Kissen, woraufhin der Junge antwortete: „Dies ist ein Stück Ravioli“. Die Bedeutung des Beispiels liegt darin, dass das Kissen tatsächlich so aussah wie ein Stück Ravioli, dass die Autorin dies aber in diesem Kontext nicht bemerkt hatte. Die Wahrnehmung des Jungen war also korrekt – allerdings vollkommen kontextunabhängig.



FIGURE 1: Parts and wholes

Abbildung 1: Hinweis auf eine schwache zentrale Kohärenz bei einer klinischen Testung (Aus: Happé, 1999)

Aufgrund solcher Kasuistiken und zahlreichen empirischen Studien nimmt Frith (1989) an, dass Defizite wie Stärken von Menschen mit Autismus eine gemeinsame Ursache haben: eine schwache zentrale Kohärenz. Demnach verarbeiten von Autismus betroffene Personen Informationen fragmentiert, ohne den Kontext zu beachten, und richten ihre Aufmerksamkeit eher auf Details als auf die gesamte Gestalt (Happé & Frith, 1994). Diese Theorie wurde in einigen Studien bestätigt, die zeigten, dass Menschen mit Autismus Vorteile beim Lösen von Aufgaben haben, die die Fragmentierung des vorgegebenen Materials bzw. die Nichteinbeziehung des Kontextes voraussetzen, wie der Mosaiktest des Wechsler-Intelligenztests (Shaw & Frith, 1993), das Beurteilen visueller Täuschungen (Happé, 1996) und das Auffinden von einfachen Figuren innerhalb komplexer Gestalten (*Embedded Figures Test*; Jolliffe & Baron-Cohen, 1997; Shaw & Frith, 1983).

1.1.7.4 *Mögliche neurophysiologische Zusammenhänge zwischen Autismus und dem Savant-Syndrom*

(1) Neuronale Korrelate der schwachen zentralen Kohärenz

Die erste und einzige Untersuchung der neurophysiologischer Korrelate dieser überdurchschnittlichen Leistungen bei Menschen mit Autismus zeigte, dass sie im Gegensatz zu gesunden Probanden eher ventrale occipito-temporale Regionen beim Lösen des *Embedded Figures Tests* einsetzen, während

die gesunden Probanden im Gegensatz zu Menschen mit Autismus mehr Aktivierung in präfrontalen Arealen aufweisen (Ring et al., 1999). Die Autoren interpretierten dieses Ergebnis im Sinne der Theorie der schwachen zentralen Kohärenz (Frith & Happé, 1994) als Einsatz eher räumlich-visueller Strategien bei von Autismus betroffenen Menschen im Gegensatz zum Einsatz des Arbeitsgedächtnisses bei gesunden Probanden.

(2) Linkshemisphärische Defizite

Einige Untersuchungen an Menschen mit Autismus können die Hypothese einer kortikalen Hemisphärendominanz bei der Entstehung des Savant-Syndroms (siehe 1.1.6.2) unterstützen: so sind auch die Fähigkeiten autistischer Savants zumeist mit Funktionen der rechten Hemisphäre assoziiert. Dies steht im Einklang mit einem Modell, das bei Menschen mit Autismus eine selektive Beeinträchtigung der linken Hemisphäre und der damit im Zusammenhang stehenden Funktionen annimmt (Frith, 1989; Selfe, 1977). Nach diesem Modell weisen die häufig auftretenden Sprachdefizite autistischer Savants auf ein Defizit der linken Hemisphäre hin, während die Funktionen, die mit der rechten Hemisphäre assoziiert sind, unbeeinträchtigt bzw. überlegen sind. Im Fall des zeichnenden Savants Nadia (Selfe, 1977) führte der verspätete Spracherwerb möglicherweise dazu, dass sie ihre Savant-Fähigkeiten verlor: die Entwicklung einer linkshemisphärischen Funktion substituierte die rechtshemisphärische Savant-Fähigkeit.

Verschiedene Studien bringen Evidenz für das Vorkommen linkshemisphärischer Läsionen (Brink, 1980; Charness et al., 1988; Dorman, 1991; Treffert, 2000). Hauser und Mitarbeiter (1975) fanden Abnormalitäten im linken Temporallappen sowie eine Vergrößerung des linken temporalen Horns des linken lateralen Ventrikel bei 15 von 17 autistischen Patienten. Vier dieser 17 Patienten zeigten Savant-Fähigkeiten im musikalischen oder mechanischen Bereich. Das Ergebnis gibt einen wichtigen Hinweis für eine mögliche Ursache des besonders häufigen Auftretens von Savant-Fähigkeiten bei von Autismus betroffenen Personen. Es ist denkbar, dass linkshemisphärische Defizite bei einigen Menschen mit Autismus die Entwicklung von Savant-Fähigkeiten begünstigen.

Die Annahme linkshemisphärischer Defizite bei Autismus ist jedoch bereits früh angegriffen worden: Fein und Mitarbeiter (1984) prüften die Annahme linkshemisphärischer Dysfunktionen bei Menschen mit Autismus und konnten anhand der kritischen Analyse zahlreicher empirischer Studien zeigen, dass diese Hypothese zumeist auf fehlerhaften Argumentationen und schwachen Evidenzen basiert. So würde z. B. das Argument sprachlicher Defizite bei Autisten überstrapaziert: Bei Autisten sei die syntaktische und phonologische Sprachentwicklung, die vornehmlich von der linken Hemisphäre kontrolliert wird, zwar retardiert, aber in ihrer Abfolge normal. Die sprachliche Defizite lägen vielmehr in pragmatischen Sprachbereichen, so z. B. dem sozialen und kontextgebundenen Sprachgebrauch (Tager-Flusberg, 1981). Außerdem sei die Sprache von Menschen mit Autismus vielmehr von Defiziten rechtshemisphärischen Sprachfunktionen, wie der Prosodie und der emotionalen Färbung der Sprache, gekennzeichnet (Bear, 1979; Wing, 1976).

(3) Pathologische Entwicklung in temporalen und parietalen Regionen

Dieser Ansatz zur Erklärung der Savant-Fähigkeiten bei von Autismus betroffenen Menschen geht davon aus, dass beim Autismus mehrere Regionen im Gehirn pathologische Entwicklungen aufweisen und nur einige davon die Grundlage zur Entwicklung von Savant-Fähigkeiten darstellen (Waterhouse, Fein & Modahl, 1996). Nach diesem Modell führen – in Übereinstimmung mit der Theorie von Treffert

(siehe 1.1.6.3) – pathologische Entwicklungen in temporalen sowie zudem in parietalen polysensorischen Arealen zu perseverativer Aufmerksamkeit einerseits und zu erhöhter Extraktion visueller und auditorischer Reize aus primären Arealen. Die Verarbeitung findet somit modalitätsspezifisch anstelle von multimodal statt. Die sehr spezifische Repräsentation der Information führt dazu, dass sie nicht wie eine multimodale Repräsentation zugänglich ist für Transformation und Manipulation. Der somit verstärkte Gebrauch der primären sensorischen Areale könnte zu der beobachtbaren Hypersensitivität von Savants bei Stimulation der relevanten Modalität führen (Rimland, 1978a). Auch könnte es die bei Menschen mit Autismus auftretende fragmentierte, detailorientierte Verarbeitung (Pring, Hermelin, Buhler & Walker, 1997) bzw. verstärkte Aufmerksamkeit für elementare Stimulusmerkmale anstelle globaler Charakteristika (Pring, Hermelin & Heavey, 1995) erklären (siehe 1.1.7.3).

Die Annahme, dass im Gehirn von Menschen mit Autismus in unterschiedlichen Regionen pathologische Entwicklungen auftreten können, erklärte einerseits, warum nur eine Teilmenge der von Autismus betroffenen Personen Savant-Fähigkeiten entwickeln. Andererseits erklärte sie, warum nicht alle Savants autistisch sind: liegt bei anderen Störungen eine Pathologie in den relevanten Regionen vor, so begünstigt dies ebenfalls die Entwicklung von Savant-Fähigkeiten. Eine solche Pathologie liegt evtl. bei Personen mit sensorischen Defiziten vor. In tierexperimentellen Studien konnte eine Reorganisation in den primären und sekundären sensorischen Arealen beobachtet werden (Kaas, 1991).

Nach diesem Modell basieren Savant-Fähigkeiten bei Menschen mit Autismus also auf einer Pathologie in temporalen und parietalen Regionen. Die Evidenzen hierfür sind widersprüchlich. Rumsey und Mitarbeiter (Rumsey, Mannheim, Aquino, Gordon & Hibbs, 1992) fanden bei Kalenderrechnern eine relative Erhöhung des kortikalen Blutflusses in temporalen und parietalen Regionen (siehe 1.3.3.6). Hou und Mitarbeiter (2000) erwägen ebenfalls, dass zeichnerische Begabungen mit Funktionen bzw. Dysfunktionen des Temporallappens sowie des posterioren Neocortex zusammenhängen können. Mannheim und Mitarbeiter (1992) fanden in einer MRI-Untersuchung keinerlei morphometrische Unterschiede zwischen sechs autistischen Kalenderrechnern und 20 auf Alter, Geschlecht und Händigkeit parallelisierten Kontrollpersonen (siehe 1.3.3.6).

(4) Pathologische Entwicklung im Bereich von Amygdala und Hippocampus

In Übereinstimmung mit der Theorie von Treffert (siehe 1.1.6.3) nehmen Rimland und Fein (1978a) eine Beteiligung des Hippocampus und der Amygdala bei der Entstehung des Savant-Syndroms bei Patienten mit autistischen Problemen an. Der Hippocampus und die Amygdala sollen an zwei unterschiedlichen Gedächtnissystemen beteiligt sein: Der Hippocampus am direkten Gedächtnisabruf, die Amygdala daran, Gedächtnisinhalten emotionale Färbung zuzuordnen (Treffert, 1988; S. 570). Da die Gedächtnisfertigkeiten der Savants eher direkt, nicht-symbolisch und nicht-emotionsbezogen sind, wird eine Beeinträchtigung des letzteren Gedächtnissystems bei autistischen Savants angenommen. So nehmen Rimland und Fein (1988) an, dass eine gestörte Funktionsweise der Amygdala zu einer Übergewichtung des auf dem Hippocampus basierenden Gedächtnisabrufs führt. Unterstützung findet diese Theorie in einer Studie von Bauman und Kemper (1985), die in der post mortem-Untersuchung des Gehirns eines 25jährigen autistischen Patienten im Vergleich zu einer gesunden Kontrollperson deutliche Abnormalitäten im Hippocampus sowie in gewissen Arealen der Amygdala, des Cerebellums sowie anderen Bereichen des Vorderhirns fanden. Sie nehmen an, dass eine solche Pathologie bereits in einer sehr frühen – pränatalen – Entwicklungsstufe entsteht: eine Zerstörung der Neurone

führe in Übereinstimmung mit der Theorie von Geschwind und Galaburda (1987), zu einer vorrangigen Entwicklung der rechten Hemisphäre, zur Migration von Neuronen und zur Bildung neuer Zellverbände.

1.1.8 Neuere Theorien zur Erklärung des Savant-Syndroms

1.1.8.1 Theorie von Miller (1999)

Nach Miller (1999) sind die herausragenden Leistungen von Savants primär ein Ausdruck elaborierter präkonzeptueller kognitiver Systeme. Er nimmt an, dass Savants nicht über Denkmodule nach Karmiloff-Smith (1992) verfügen, die eine kognitive Repräsentation des Stimulus, die unabhängig vom erworbenen Bezugssystem ist, ermöglichen. Solche Transformationen nach Karmiloff-Smith (1992) führen zu einer allgemeineren Repräsentation der Information, die weniger perzeptuelle Details enthält und somit passender ist für die weitere kognitive Verarbeitung. In diesem Zusammenhang ist die Rolle des Frontalhirns für die Konzeptualisierung und schematische Organisation des Materials zu nennen. Bei Menschen mit Autismus sind häufig Störungen gerade im Bereich des Frontallappens beobachtbar (Ozonoff, 1995) – eine mögliche pathologische Grundlage für die Entwicklung von Savant-Fähigkeiten. Miller (1999) beschreibt in diesem Zusammenhang auch das plötzliche Auftreten künstlerischer Fähigkeiten in mehreren Fällen der fortschreitenden Entwicklung einer frontotemporalen Demenz.

Falls Savant-Fähigkeiten tatsächlich mit präkonzeptuellen Verarbeitungsschritten in Zusammenhang stehen, so bedeutet dies doch nicht, dass das Ergebnis dieser Verarbeitung unstrukturiert oder für eine Modifikation unzugänglich wäre, wie es einige Modelle zur präkonzeptuellen Verarbeitung annehmen (z. B. Fodor, 1983). Obgleich die präkonzeptuelle Information für gewöhnlich nicht direkt abrufbar ist, kann sie einer gewissen Strukturierung unterliegen und eher modalitätsspezifisch bleiben. Die bei Savants beobachtbare Vereinfachung des Materials ähnelt eher der, die bei Studien zur impliziten Mustererkennung beobachtet wurde (z. B. Lewicki, Hill & Czyzewski, 1992): Hier konnte anhand zahlreicher Untersuchungen gezeigt werden, dass formal komplexe Strukturen mittels unbewusster IVA schneller und differenzierter verarbeitet werden können als mittels bewusster IVA. Auch multidimensionale und interaktive Beziehungen zwischen Variablen können implizit erkannt und verarbeitet werden. Damit ist die unbewusste IVA direkt daran beteiligt, Fähigkeiten zu entwickeln, und kognitive Operationen wie die Enkodierung und Interpretation von Reizen auszuführen, so interpretative Kategorien zu entwickeln, Folgerungen zu ziehen, und emotionale Reaktionen zu bestimmen (einen Überblick bietet Lewicki et al., 1992). Dabei führt sie zur Entwicklung entsprechenden prozeduralen Wissens, welches nicht bewusst zugänglich ist. Diese Art der Verarbeitung kann nach Miller (1999) auch bei Dysfunktionen des Hippocampus oder des Frontallappens erhalten bleiben.

Auch wenn Savant-Fähigkeiten tatsächlich mit einer präkonzeptuellen Verarbeitungsstufe im Zusammenhang stehen, so sollte die Entwicklung dieser Fähigkeiten kaum unter der Kontrolle expliziter exekutiver Prozesse stehen, wie sie für die willkürliche Wiederholung von Material notwendig wären (Anderson, 1995). In der Tat beobachtete Selfe (1995), dass die Stagnation oder gar der Rückgang der künstlerischen Fähigkeiten von Nadia eventuell neben ihrer Sprachentwicklung mit dem Versuch im Zusammenhang standen, sie mittels traditioneller Techniken und deren häufiger Wiederholung zu fördern.

1.1.8.2 Theorie von Snyder und Mitchell (1999)

Die Idee, dass der Erwerb von Savant-Fähigkeiten mit präkonzeptuellen Verarbeitungsstufen sowie mit exekutiven Hirnfunktionen im Zusammenhang steht, wird auch in der Theorie von Snyder und Mitchell (1999) aufgegriffen. Sie boten unlängst eine Hypothese zur Erklärung des Savant-Syndroms an, die bislang noch nicht neurophysiologisch untersucht wurde.



Als Beispiel führten sie das Talent der 3½ Jahre alten Nadia (Selfe, 1977) an, eines geistig retardierten Mädchens, das naturalistische Darstellungen aus dem Gedächtnis zeichnen konnte. Dies vermochte sie ohne Übung und ohne vorher das für Kinder ansonsten übliche Kritzelstadium zu durchlaufen. Abbildung 2 zeigt die von Nadia gezeichnete naturalistische Darstellung eines Pferdes.

Abbildung 2: Nadias Pferd (Aus: Selfe, 1977)

Abbildung 3 zeigt den Vergleich mit Bildern von Pferden, die von gleichaltrigen, gesunden Kindern gezeichnet wurden. Die „normalen Pferde“ sind viel mehr als nach dem tatsächlich wahrgenommenen Pferd nach dem kulturübergreifenden, invarianten kognitiven Schema eines Pferdes gezeichnet: von der Seite, Kopf links, grobe Darstellung.

Nadias Darstellung eines Pferdes hingegen ist naturalistischer, beinhaltet Perspektive, ist eine detailgetreue Wiedergabe des Sichtbaren ohne Interpretation.

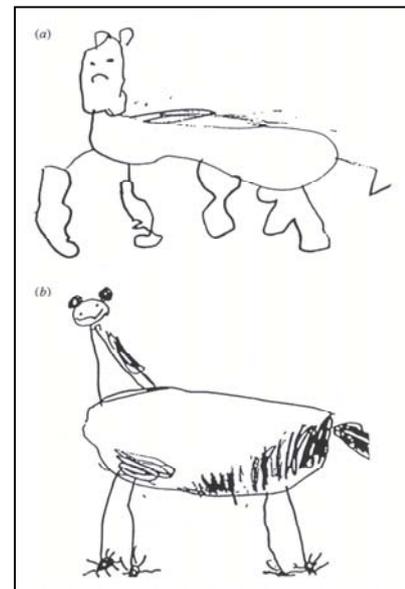


Abbildung 3: Pferde gesunder, gleichaltriger Kinder (Aus: Snyder & Mitchell, 1999)

Gesunde Personen vermögen üblicherweise nicht, derart naturalistische Darstellungen zu zeichnen, es sei denn, sie werden speziell darin geschult (Gombrich, 1960). So weiß jeder, wie schwierig es ist, perspektivisch zu zeichnen – dabei würde unser Gehirn alle dazu notwendige visuelle Information enthalten; sie ist uns lediglich zum Zwecke des Zeichnens nicht zugänglich. Worin liegen die Ursachen für Nadias Talent begründet?

Snyder und Mitchell (1999) behaupten, dass die Ursache keine besondere biologische Prädisposition wie hochentwickelte domänenspezifische neuronale Strukturen sei. Die neuronalen Mechanismen, die bei Savants zu herausragenden kognitiven Leistungen führen, seien in jedem Menschen verborgen, nämlich frühe, vorbewusste Schritte der IVA (siehe Abbildung 4: low-level information processing). Normalerweise habe der Mensch jedoch keinen Zugang dazu, da er Informationen konzeptgesteuert verarbeite (siehe Abbildung 4: conscious executive brain functions). Neue Informationen werden durch umfangreiche Vergleiche im Arbeitsgedächtnis in bekannte Konzepte integriert (Birbaumer, 1999): „We experience only the whole“ (Howe, 1989).

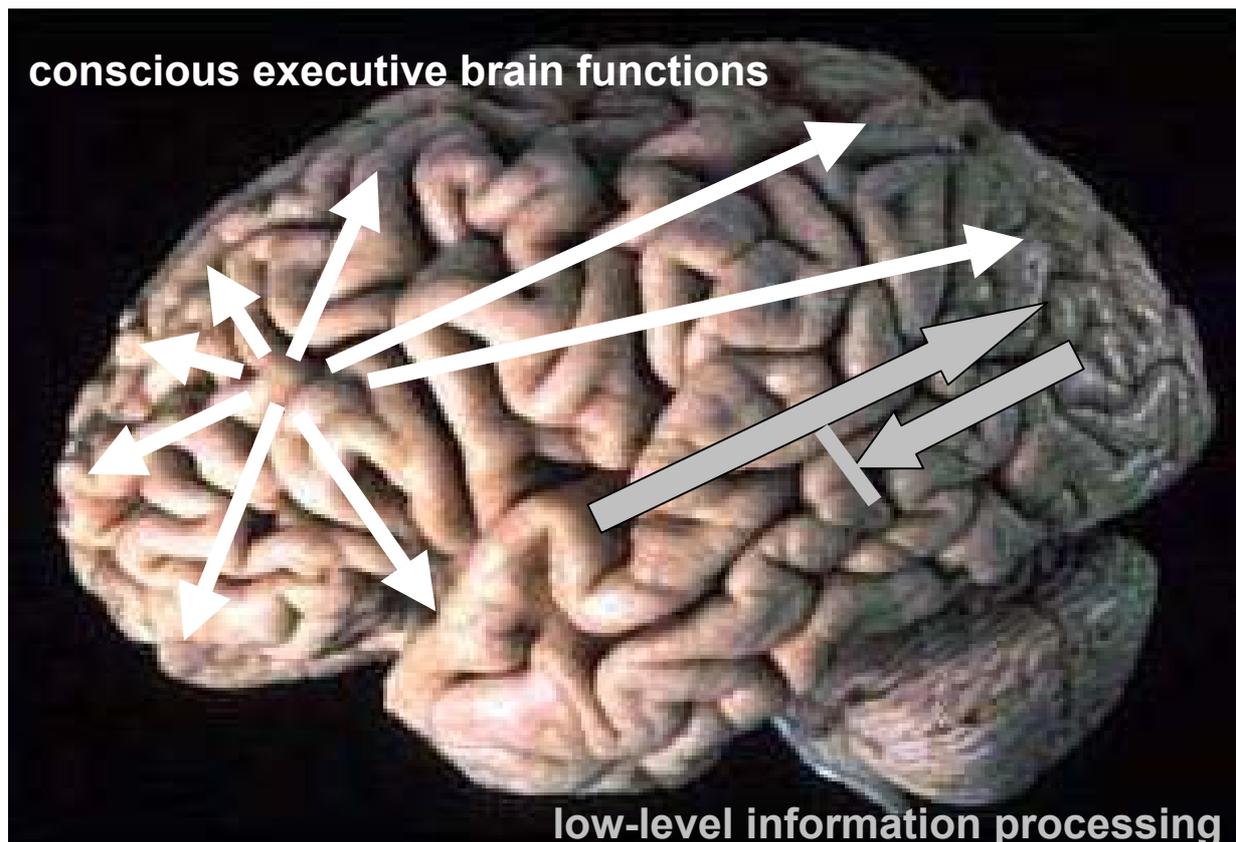


Abbildung 4: Informationsverarbeitung im „gesunden“ Gehirn

Savants hingegen – so Snyder und Mitchell – hätten direkten und extrem raschen Zugriff zu den frühen, vorbewussten Schritten der IVA, bevor die neuronale Information konzeptualisiert wird; dies jedoch auf Kosten höherer, exekutiver Hirnfunktionen (siehe Abbildung 5).

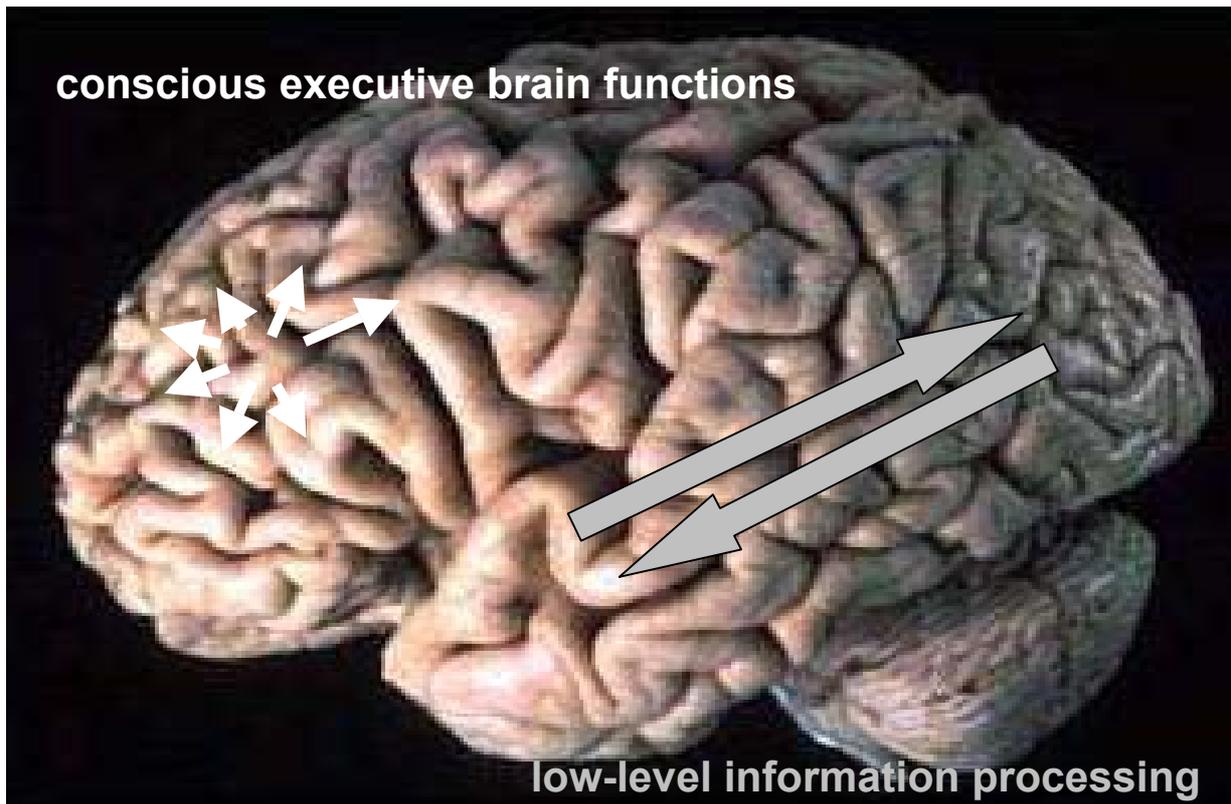


Abbildung 5: Informationsverarbeitung im Gehirn des Savants nach Snyder und Mitchell (1999)

Sie nehmen ferner an, dass alle Savant-Begabungen analog zu solchen künstlerischen Begabungen erklärbar seien: Ein absolutes Gehör basiert z. B. auf der diskreten Frequenzanalyse der auditorischen Information. Normalpersonen verfügen üblicherweise nicht über ein absolutes Gehör. Analog zur visuellen Wahrnehmung, wo die Objekterkennung von Bedeutung ist und eine konzeptgesteuerte Verarbeitung dominiert, sei auch bei der auditorischen Wahrnehmung der Inhalt der holistischen Information und nicht die sie zusammensetzenden Komponenten von Bedeutung. Alle musikalischen Savants verfügen jedoch über ein absolutes Gehör (Miller, 1989), was als ein weiterer Hinweis darauf, dass sie Zugriff haben auf frühe Schritte der – hier auditorischen – IVA, gedeutet werden kann. Auch die Fähigkeit zahlreicher Gedächtnissavants, die sich besser an bedeutungslose Details als an integrierte Konzepte erinnern können, bestärken diese Behauptung.

Die Hypothese von Snyder und Mitchells (1999) ist gut vereinbar mit Befunden, die auf eine veränderte IVA bei Menschen mit Autismus hinweisen: So konnte einerseits anhand zahlreicher Studien gezeigt werden, dass Menschen mit Autismus Informationen fragmentiert verarbeiten und eine schwache zentrale Kohärenz aufweisen (z. B. Pring et al., 1997; siehe auch 1.1.7.3). Auch die kognitive Theorie des Autismus, die eine Störung der Exekutivfunktionen annimmt (ebd.), weist in eine ähnliche Richtung.

Snyder und Mitarbeiter (2003) versuchten, die bei Savants vermutete veränderte IVA mittels rTMS (repetitiver transkranieller Magnetstimulation) bei gesunden Versuchspersonen zu simulieren. Sie berichten verbesserte zeichnerische Fähigkeiten bei vier von 11 Versuchspersonen, wobei die Studie von schwacher methodischer Qualität ist.

1.1.8.3 Weiterentwicklung von Birbaumer (1999)

Birbaumer (1999) schlägt vor, dass man die von Snyder und Mitchell (1999) behaupteten neurophysiologischen Grundlagen der veränderten IVA bei Savants untersuchen könne, indem man die frühen ereigniskorrelierten Potentiale (EKPs) einerseits und die späten EKPs andererseits untersuche.

Während die frühen Komponenten die vorbewussten Schritte der IVA widerspiegeln, betreffen die späteren Komponenten ereigniskorrelierter Potentiale die kontrollierten Exekutivfunktionen, die die normale IVA kennzeichnen (siehe 1.2). So finden z. B. bei der visuellen Aufmerksamkeit die bewussten Stadien der Eigenschaftsanalyse und Mustererkennung frühestens 150 ms nach Präsentation der visuellen Stimuli statt.

In Übereinstimmung mit der Theorie von Snyder und Mitchell (1999) sowie mit der Theorie von Miller (1999), dass Savant-Fähigkeiten mit präkonzeptuellen Verarbeitungsschritten in Zusammenhang stehen (siehe 1.1.8.1), nimmt Birbaumer (1999) an, dass Savants auf den frühen Schritten der IVA operieren, bevor die für bewusste IVA charakteristischen multisensorischen Vergleiche stattfinden. Während Kreativität die Bildung derartiger multisensorischer Interaktionen weit verbreiteter Hirnareale verlange, seien diese frühen Schritte der IVA konzeptuell unproduktiv.

Im Gegensatz zu Snyder und Mitchell akzentuiert Birbaumer (1999), dass jeder den Zugriff auf frühe Informationsverarbeitungsschritte lernen kann. Er verweist auf einen Rechenkünstler, der seit seinem 4. Lebensjahr täglich mathematische Aufgaben übt und der beim Rechnen größere Amplituden in den früheren ereigniskorrelierten Potentialen und geringere Amplituden in den späteren Stufen der IVA aufweist (Pauli, Lutzenberger, Birbaumer, Rickard & Bourne, 1996; siehe 1.3.3.5).

1.1.9 Zusammenfassung

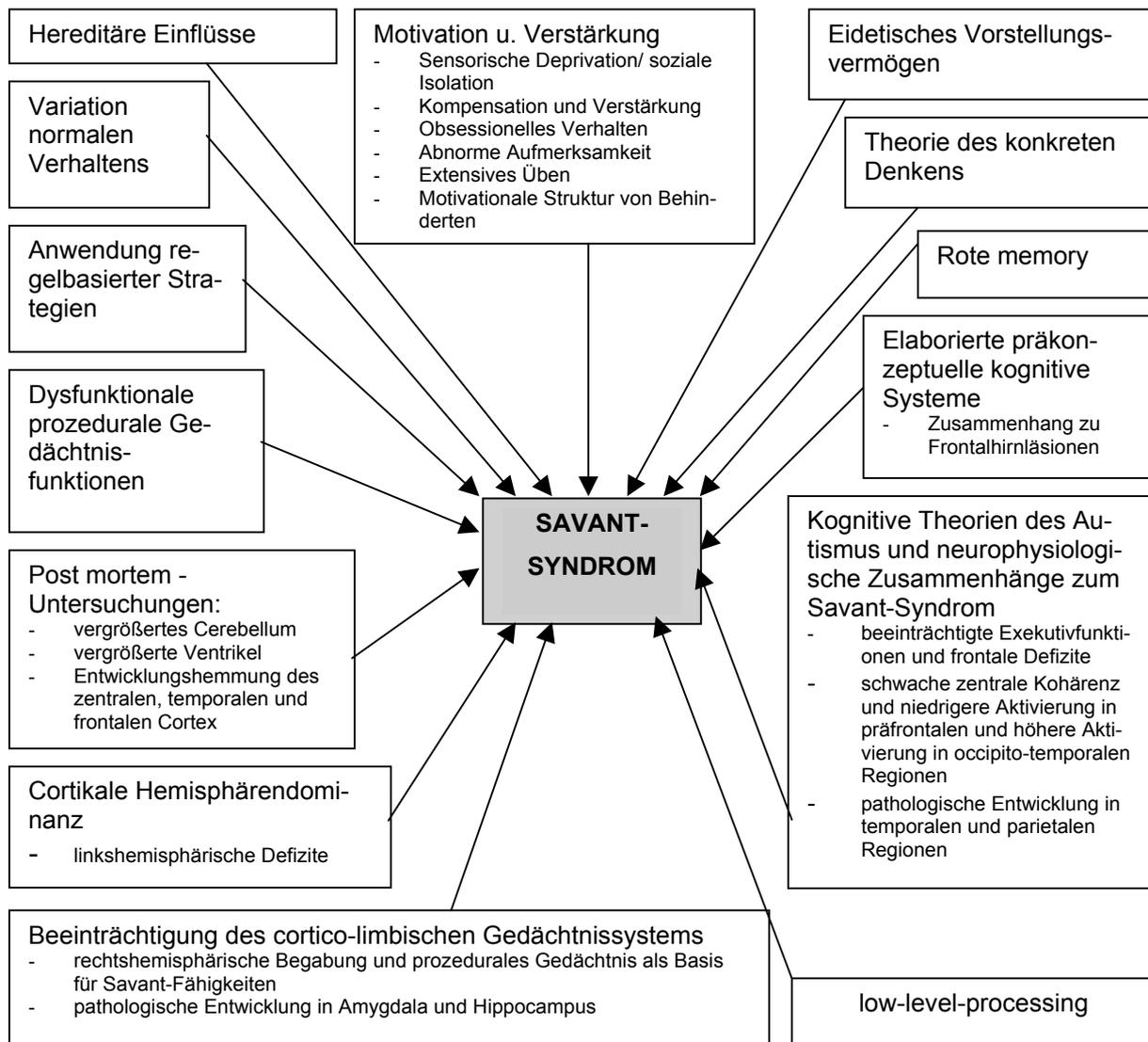


Abbildung 6: Theorien zur Entstehung des Savant-Syndroms

Die meisten der oben dargestellten Theorien zur Erklärung des Savant-Syndroms (siehe Abbildung 6); z. B. die Theorie des eidetischen Vorstellungsvermögens, des konkreten Denkens, des *rote memory*, der corticalen Hemisphärendominanz und insbesondere die neueren Theorien zur Erklärung des Savant-Syndroms nach Miller (1999), Snyder und Mitchell (1999) sowie Birbaumer (1999) stimmen in der Annahme überein, dass Savants auf einer frühen Enkodierung des Materials bzw. auf konkreten, präkonzeptuellen Verarbeitungsschritten operieren, während bei Nicht-Savants abstraktes, konzeptuelles Denken dominiert.

Die neue Theorie von Snyder und Mitchell (1999) bietet eine neurophysiologische Erklärung für diese Annahme. Diese Theorie wurde bislang noch nicht an Savants neurophysiologisch überprüft. Dies ist Ziel dieser Arbeit, wobei das Hauptaugenmerk auf den frühen Prozessen der IVA (siehe 1.2) und den neuronalen Korrelaten der Savant-Fähigkeit des Kalenderrechnens (siehe 1.3) liegt. So werden diejenigen Prozesse spezifiziert, die zum Zustandekommen der herausragenden kognitiven Leistungen autistischer Savants beitragen.

1.2 Unterschiede in der basalen Informationsverarbeitung (low-level processing)

Innerhalb der EKPs können niedrige (low-level processing) von höheren (high-level processing) Stufen der IVA wie folgt unterschieden werden (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Stufen der Informationsverarbeitung

Stufen der Informationsverarbeitung	
Low-level processing	High-level processing
<ul style="list-style-type: none"> - Exogene Komponenten - Ca. bis 100 ms nach Darbietung des Stimulus - Beteiligung subcortikaler Areale - Unbewusst - Automatisch - Analyse der physikalischen Charakteristika der Stimuli - Hypothese: Kein Zugang für das „gesunde“ Gehirn, aber für das Gehirn des autistischen Savants 	<ul style="list-style-type: none"> - Endogene Komponenten - Ca. ab 100 ms nach Darbietung des Stimulus - Beteiligung fronto-corticaler Areale - Vorwiegend bewusst - Aufmerksamkeitsabhängig - Integration der Stimuli in Konzepte - Hypothese: Kein Zugang für das Gehirn des autistischen Savants, aber für das „gesunde“ Gehirn

Während die frühen Komponenten (ca. bis 100 ms) von den physikalischen Charakteristika der Stimuli moduliert werden und das gesunde Gehirn keinen Zugang zu ihnen hat, spiegeln die späteren Komponenten (ca. nach 100 ms) höhere, bewusste Schritte der IVA unter Beteiligung fronto-corticaler Areale wider.

Gemäß der Theorie von Snyder und Mitchell (1999; siehe 1.1.8.2) haben Savants einen direkten und extrem raschen Zugriff auf frühe, vorbewusste Schritte der IVA (basale IVA; low-level processing), bevor die Information konzeptualisiert wird, dies jedoch auf Kosten höherer, exekutiver Hirnfunktionen (high-level processing). Birbaumer (1999; siehe 1.1.8.3) verweist hier auf die Untersuchung eines gesunden Rechenkünstlers (Pauli et al., 1996; siehe 1.3.3.4), der beim Rechnen in Übereinstimmung mit der Theorie von Snyder und Mitchell (1999) größere Amplituden in frühen ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs) und eine geringere Negativität in späteren Stufen der IVA aufweist.

Bislang liegen keine neurophysiologischen Untersuchungen zu etwa veränderten EKPs bei Savants bzw. bei autistischen Savants vor, um zu überprüfen, ob bereits bei der basalen Informationsverarbeitung Unterschiede bestehen. 50% der Savants sind jedoch autistisch bzw. 9,8% der Menschen mit Autismus zeigen Savant-Begabungen (Rimland, 1978b; siehe 1.1.2), so dass kognitive und neurophysiologische Theorien des Autismus Erklärungen anbieten, wie eine etwa veränderte Informationsverarbeitung bei Menschen mit Autismus die Entstehung von Savant-Begabungen begünstigt (siehe 1.1.7). Daher sei hier zusammenfassend auf Studien eingegangen, die pathophysiologische Veränderungen bestimmter Komponenten ereigniskorrelierter Potentiale bei Menschen mit autistischen Problemen untersucht haben.

In Abbildung 7 sind die unterschiedlichen Komponenten auditorischer ereigniskorrelierter Potentiale dargestellt, die im Folgenden bezogen auf Unterschiede zwischen gesunden Kontrollpersonen und Menschen mit Autismus diskutiert werden.

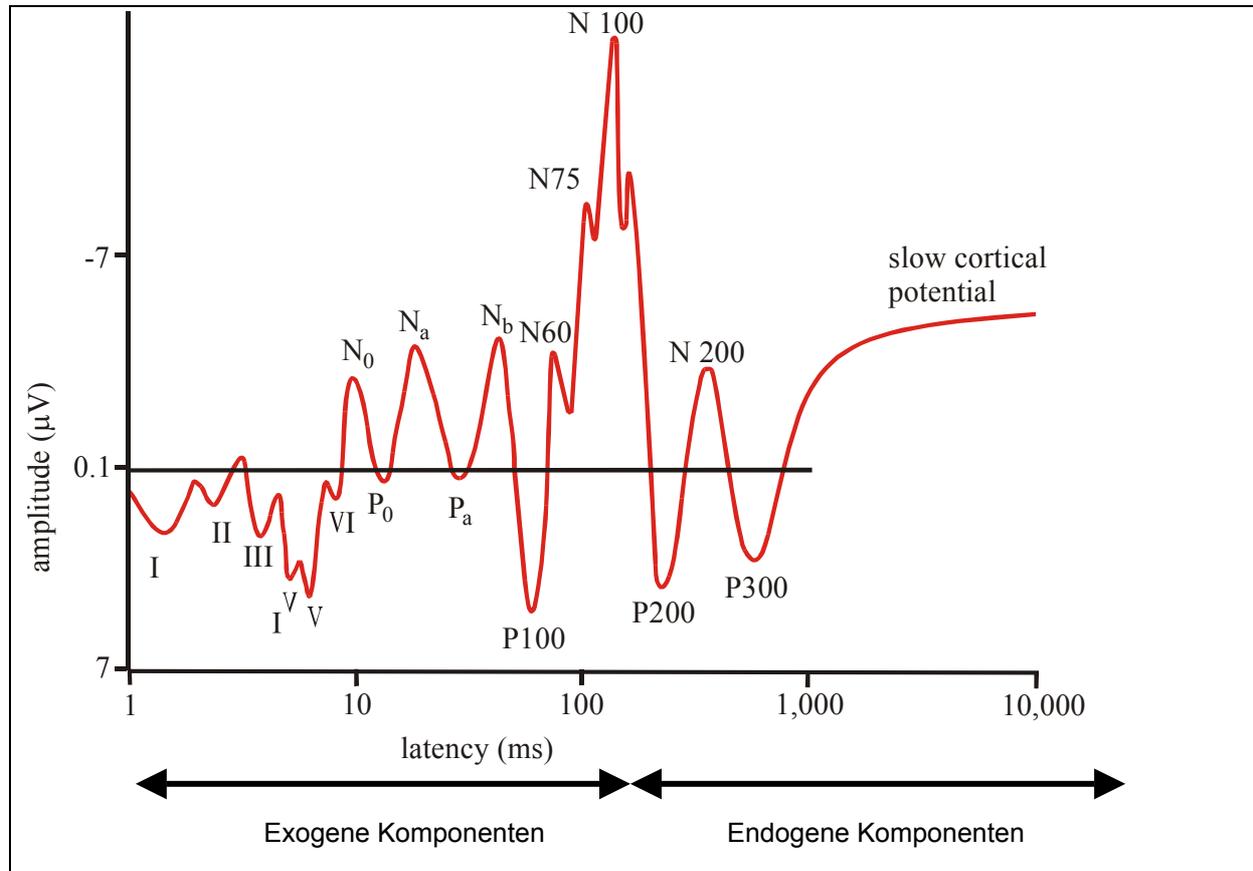


Abbildung 7: Sequenz ereigniskorrelierter Potentiale auf einen akustischen Reiz

Innerhalb der auditorischen Modalität fanden Courchesne und Mitarbeiter (1989) keine Unterschiede in den auditorischen Hirnstammpotentialen (bis 10 ms nach Stimuluspräsentation). Dies legt nahe, dass die frühen, primär subcortikalen neuronalen Generatoren intakt sind.

Auch die auditorisch evozierten Potentiale mittlerer Latenzen (10 bis 80 ms nach Stimuluspräsentation) zeigten keinerlei Veränderungen bei Menschen mit Autismus (Courchesne et al., 1989). Diese werden im Thalamus, umgebenden Regionen sowie im auditorischen Cortex generiert – ein Hinweis darauf, dass auch diese Strukturen intakt sind.

Die zwei folgenden Komponenten – die N1 (N100) sowie die P2 (P200) zeigen ihre größte Amplitude über dem Zentrum der Kopfoberfläche (Cz) und sind einerseits abhängig von der Aufmerksamkeit gegenüber aufgabenrelevanten Reizen unterschiedlicher Auftretenswahrscheinlichkeiten sowie andererseits von den physikalischen Charakteristika der auditorischen Stimuli (Frequenz und Intensität, z.B. Picton, Woods & Proulx, 1978). Diese Komponenten werden vermutlich im superioren Temporalappen und in den lateralen temporalen Gyri des primären und sekundären auditorischen Cortex generiert (z. B. Näätänen & Picton, 1987). Untersuchungen bezüglich Abnormalitäten dieser beiden Komponenten bei von Autismus betroffenen Menschen zeigen inkonsistente Ergebnisse. Während Courchesne und Mitarbeiter (1989) bei erwachsenen Autisten sowie Bruneau, Garreau, Roux und LeLord (1987) bei autistischen Kindern keinerlei Unterschiede in Amplitude oder Latenz der beiden Komponenten fanden, zeigten sich bei Oades und Mitarbeitern (Oades, Walker, Geffen, & Stern, 1987) bei

autistischen Kindern im Oddball-Paradigma deutliche Unterschiede in dieser frühen Komponente der EKPs. Innerhalb des Oddball-Paradigmas werden typischerweise seltene abweichende Reize in einer Folge von häufigen Standardreizen präsentiert. Die N1 zeigte bei Menschen mit Autismus eine größere Amplitude auf den seltenen Reiz als bei der gesunden Kontrollgruppe – ein Hinweis auf größere Amplituden früher EKPs bei von Autismus betroffenen Menschen. Sie fanden ferner eine signifikant kürzere Latenz der N1 sowie eine andere Topographie: die autistischen Kinder zeigten eine größere linksfrontale N1 auf den seltenen Reiz als die gesunde Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis stimmt mit der Tendenz zu linkshemisphärischen Abnormalitäten bei Menschen mit Autismus (z. B. Dawson, Finley, Phillips, Galpert & Lewy, 1988; siehe 1.1.7.4) überein. Lincoln und Mitarbeiter (Lincoln, Courchesne, Harms, & Allen, 1995) konnten hingegen keinerlei Veränderungen in der N1 auf den seltenen oder häufigen Zielreiz feststellen.

Die Mismatch Negativity (MMN; Näätänen, 1992) ist eine Komponente, die vermutlich durch einen Vergleichsprozess zwischen seltenem (abweichendem) auditorischen Input und der sensorischen Gedächtnisspur eines dauernd wiederholten Standardreizes entsteht. Diese erhöhte Negativität mit frontozentraler Prädominanz hat typischerweise eine Latenz von ca. 170 msec., ist aber aufmerksamkeitsunabhängig. Dabei scheint die MMN mehrere Komponenten unterschiedlicher Hirnareale zu umfassen: Die Hauptkomponente der MMN wird bilateral in der supratemporalen Region des primären auditorischen Cortex (Alho, 1995) generiert. Giard und Mitarbeiter (Giard, Perrin, J. & Bouchet, 1990) haben außerdem eine frontale Komponente der MMN identifiziert, die vermutlich mit einem unwillkürlichen Aufmerksamkeitswechsel bei Reizveränderungen zusammenhängt.

Gomot und Mitarbeiter (Gomot, Giard, Adrien, Barthelemy, & Bruneau, 2002) präsentierten 15 autistischen Kindern und einer Kontrollgruppe von 15 gesunden Kindern einen häufigen 1100Hz-Standardton und einen seltenen abweichenden 1100Hz-Ton (Auftrittswahrscheinlichkeit $p = .15$). Sie fanden sowohl Unterschiede in der Topographie als auch in der Latenz der MMN. Die an Fz abgeleitete MMN zeigte eine signifikant kürzere Latenz bei den autistischen Kindern und war von einer P3a gefolgt. Die Berechnung der zugrundeliegenden neuronalen Generatoren zeigte, dass bei beiden Gruppen die bilaterale temporale Komponente auftrat, diese sich bei den autistischen Kindern aber ca. 30 ms früher in der linken Hemisphäre infolge einer abnormalen linksfrontalen Komponente zeigte. Dieses Ergebnis weist ebenfalls auf eine Dysfunktion des linkshemisphärischen frontalen Cortex bei Menschen mit Autismus hin. Diese Hypothese einer Dysfunktion des Frontallappens bei von Autismus betroffenen Menschen wurde mit den beobachteten Defiziten in den Exekutivfunktionen in Verbindung gebracht (Hugues, Russell & Robbins, 1994; Ozonoff, 1995; siehe auch 1.1.7.3). Damit stimmt dieses Ergebnis bezogen auf Savants mit der Annahme überein, dass diese veränderte Amplituden in der frühen Informationsverarbeitung zeigen und die Exekutivfunktionen beeinträchtigt sind (siehe 1.1.8.2). Die Resultate von Gomot und Mitarbeitern (2002) stimmen nicht mit früheren Ergebnissen von Kemner und Mitarbeitern (Kemner, Verbaten, Cuperus, Camfferman, & Engelen, 1995) überein, die keine Unterschiede in der MMN zwischen autistischen und gesunden Kindern feststellen konnten. Kemner und Mitarbeiter gebrauchten jedoch Sprachstimuli, die bei autistischen Kindern mutmaßlich anders als Töne verarbeitet werden. Außerdem wendeten sie unüblich lange Interstimulusintervalle (ISI) von vier bis sechs Sekunden an, was dazu geführt haben könnte, dass innerhalb der Gruppen eine derart große Variabilität bestand, dass Unterschiede zwischen den Gruppen überdeckt wurden. Seri und Mitar-

beiter (1999) beobachteten hingegen längere Latenzen und kleinere Amplituden bei autistischen Kindern. Diese Kinder litten allerdings an einem Tuberkulose-Komplex und zeigten Läsionen im Temporallappen und damit der Region, in der normalerweise die Hauptkomponente der MMN generiert wird. Somit liegen bezüglich der MMN widersprüchliche Resultate vor, die einer Klärung bedürfen.

Bezogen auf die späten auditorischen Potentiale gibt es zahlreiche Evidenzen, die auf Veränderungen bei Menschen mit Autismus hinweisen. Die P300 bzw. P3b-Komponente der EKP, die 290 bis 550 msec nach Entdeckung des Zielreizes auftritt, zeigte konsistent eine geringere Amplitude bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen mit Autismus (Courchesne, Kilman, Galambos & Lincoln, 1984; Courchesne et al., 1985; Courchesne et al., 1989; Courchesne & Yeung-Courchesne, 1987; Dawson et al., 1988; Lincoln, Courchesne, Harms & Allen, 1993; Oades et al., 1987). Diese späte positive EKP-Komponente mit parietaler Prädominanz ist nicht von physikalischen Charakteristika des Reizes abhängig, sondern von der Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutsamkeit und Aufgabenrelevanz. Hier liegt somit ein Hinweis auf geringere späte Amplituden ereigniskorrelierter Potentiale vor.

Während die meisten EKP-Studien bei Menschen mit Autismus die auditorische Modalität untersucht haben, liegen bezogen auf visuell evozierte Potentiale wesentlich weniger Untersuchungen vor: Courchesne und Mitarbeiter (1989) fanden keinerlei Unterschiede in der Amplitude der visuellen N1 und P3 auf seltene, unerwartete visuelle Reize. Novick und Mitarbeiter (1979) konnten hingegen bei von Autismus betroffenen Menschen kleinere Amplituden der P3 auf fehlende visuelle Reize feststellen, wobei diese Untersuchung nur auf drei autistischen und drei gesunden Versuchspersonen basierte. Pritchard und Mitarbeiter (1987) zeigten, dass sich die P3s auf seltene Zielreize bei Menschen mit Autismus nicht von der einer gesunden Kontrollgruppe unterschied. Verbatan und Mitarbeiter (1991) konnten hingegen kleinere occipitale P3s auf eine Folge identischer visueller Stimuli bei von Autismus betroffenen Personen als bei einer gesunden Kontrollgruppe sowie einer Kontrollgruppe mit emotionalen Störungen beobachten. Kemner (1994) untersuchte Menschen mit Autismus in einem visuellen Oddball-Design und fand bei ihnen im Vergleich zu drei unterschiedlichen Kontrollgruppen größere P2N2-Amplituden auf abweichende Reize unter der aktiven (abweichende Reize zählen) als unter der passiven Bedingung. Dabei ist die Anwendung eines visuellen Oddball-Designs sehr umstritten, da es an sich spezifisch ist für die auditorische Modalität.

Insgesamt liegen somit wenige und uneinheitliche Studien bezüglich visueller ereigniskorrelierter Potentiale bei von Autismus betroffenen Menschen vor. So bleibt fraglich, ob eine Tendenz zu größeren Amplituden früher Potentiale (Kemner, 1994) und eine Tendenz zu geringeren Amplituden später Potentiale (Novick et al., 1979; Verbatan et al., 1991) behauptet werden kann.

1.3 Kalenderrechnen

1.3.1 *Definition und Beschreibung*

Eine besondere Form des Rechnens – das Kalenderrechnen – ist bei Savants häufig anzutreffen. Dabei wird die Fähigkeit zum Kalenderrechnen zumeist im Zusammenhang mit infantilem Autismus oder mentaler Retardierung erwähnt. Es gibt keine Hinweise auf eine spezifische Art der Retardierung, die mit dieser Rechenfähigkeit assoziiert ist. Horwitz und Mitarbeiter (1965) beschreiben unterschiedliche Fälle von Kalenderrechnern: So entwickelte z. B. eine Frau die Fähigkeit zum Kalenderrechnen, nachdem sie an einer typhoiden Enzephalitis erkrankte. Ein junger Mann mit profunder geistiger Behinderung, der seit seiner Geburt spastisch gelähmt war und nicht sprechen konnte, vollbrachte herausragende Leistungen beim Kalenderrechnen. Eine solche Diskrepanz von Fällen lässt es (auch) bei dieser Savant-Fähigkeit unwahrscheinlich erscheinen, dass sie ausschließlich eine Begleiterscheinung des Autismus ist.

Das Kalenderrechnen kann als eine der bizarrsten Begabungen von Savants angesehen werden, wenngleich es auch bei gesunden Personen vorkommt. Dabei versteht man unter Kalenderrechnern Personen, die zu einem gegebenen Datum den korrekten Wochentag nennen können. Die Zeitspanne, innerhalb der diese Leistung erbracht werden kann, variiert zwischen den Kalenderrechnern von einem Jahr bis zu Jahrhunderten; sie kann die Zukunft wie die Vergangenheit umfassen.

Savant-Kalenderrechner wurden bereits von Down (1887) und Binet (1894) geschildert und sind seither immer wieder in der Literatur beschrieben worden (Byrd, 1920; Duckett, 1976; Hill, 1975; Horwitz et al., 1965; Rimland, 1978b; Scheerer et al., 1945). Die Mehrzahl dieser Berichte blieben lange Zeit eher anekdotische Beschreibungen, als dass die dem Kalenderrechnen zugrunde liegenden mentalen Prozesse untersucht worden wären.

Während musikalische und künstlerischer Savants hinsichtlich ihrer Leistung einige Gemeinsamkeiten aufweisen, stellen Kalenderrechner eine weniger homogene Gruppe dar (Miller, 1987). An der Entstehung dieser Fertigkeit scheinen andere Prozesse beteiligt zu sein: Im musischen wie künstlerischen Bereich spielt vermutlich die motorische Enkodierung eine Rolle; beim Kalenderrechnen ist dies nicht der Fall. Auch tritt das Kalenderrechnen erst später auf: die von Selfe (1983) untersuchten künstlerischen Savants sowie die von Miller (1989) untersuchten musischen Savants zeigten ihre besonderen Fähigkeiten erstmals vor ihrem neunten Lebensjahr. Bei den zehn von Mannheim und Mitarbeitern (1992) geschilderten Kalenderrechnern trat die Fähigkeiten hingegen erstmals im Alter von acht bis 15 Jahren auf, obgleich auch Fälle eines früheren Auftretens bekannt sind (Horwitz et al., 1965). So wird im Selbstbericht der Kalenderrechner zum Teil angegeben, dass sie die Fähigkeit bereits in einem Alter von sechs Jahren besaßen, dies nur nicht offenbarten (Rosen, 1981).

Viele Untersuchungen gehen der Frage nach, ob die Fähigkeit des Kalenderrechnens auf einem herausragenden Gedächtnis oder einer besonderen mathematischen Fähigkeit basiert. Im folgenden werden diese Untersuchungen vorgestellt.

1.3.2 Theorien zur Erklärung des Kalenderrechnens

1.3.2.1 Explizite Aussagen von Kalenderrechnern

Die einfachste Möglichkeit, zu erfahren, wie die Kalenderrechner ihre Leistung erbringen, wäre, sie danach zu fragen. Dieser Ansatz stößt jedoch auf zwei Probleme. Zum einen haben viele Savants eine sehr geringe Sprachfähigkeit. Zum anderen besitzen die wenigsten die dazu notwendige Fähigkeit zur Introspektion. So lautete z. B. die invariante Antwort der von Horwitz, Deming und Winter (1969) untersuchten Zwillinge stets: „My mother taught me“. Manche Kalenderrechner geben zirkuläre Antworten: „I knew it because that's the way the calendar system was made up“ (Rosen, 1981; S. 291). Andere können wiederum – direkt danach gefragt – weder angeben, wie sie diese Fähigkeit erlangten, noch, wie sie die korrekten Wochentage „berechneten“ (z. B. Ho, Tsang & Ho, 1991). Die Unfähigkeit, eine bestimmte Strategie anzugeben, bedeutet jedoch nicht, dass keine Strategie angewendet wird: auch die meisten Muttersprachler sind nicht in der Lage, die ihrer Sprache zugrundeliegenden grammatischen Strukturen zu beschreiben, wenngleich sie diese stets richtig anwenden (siehe auch 1.3.2.7).

So haben die Erklärungen, die die Savants selbst angeben, nicht zu einer überprüfbaren Theorie geführt.

1.3.2.2 Blitzschnelles Rechnen

Die extrem kurzen Antwortlatenzen von Kalenderrechnern legen blitzschnelles Rechnen als trainierte Fähigkeit nahe. Diese Fähigkeit ist jedoch keineswegs simpel:

„For example, one method of calculation involves starting with the last two digits of the year involved, dividing these by four and adding the integer part to the dividend, ignoring the remainder. A number between 0 and 6, representing the indicated month, is then added, and, finally, the day of the month is added to the running total. This total is then divided by 7, the result ignored but the remainder noted. This remainder is then used to enter a table of days of the week to obtain the answer“ (O'Connor & Hermelin, 1984; S. 802).

Selbst wenn die Savants eine solche Formel gelernt hätten, wären die notwendigen Gedächtnisleistungen und mathematischen Fertigkeiten, um mit ihr zu operieren, beträchtlich. Obgleich somit eine mathematische Formel zur Berechnung der Kalendertage existiert, kann die Fähigkeit zum Kalenderrechnen kaum durch die reine Anwendung komplizierter arithmetischer Berechnungen erklärt werden: Während alle bekannten Algorithmen beträchtliche mathematische Fähigkeiten voraussetzen, fanden Young und Nettelbeck (1994), dass Kalenderrechner bei Tests zur Prüfung arithmetischen Wissens zumeist schlecht abschneiden. Auch die von Horwitz und Mitarbeitern (1969) untersuchten Zwillinge waren vollkommen unfähig, die hierzu notwendigen Berechnungen durchzuführen. So konnten die Zwillinge George und Charles einstellige Zahlen weder addieren noch subtrahieren, multiplizieren oder dividieren. Und obgleich sie nicht einmal bis 30 zählen konnten, vermochten sie, bei Angabe eines Geburtsdatums aufzuzählen, dass es z. B. noch 30 Wochen bis zum nächsten Geburtstag oder erst 13 Wochen seit dem letzten Geburtstag waren. Bei manchen Kalenderrechnern liegt hingegen eine Fähigkeit für simple arithmetische Berechnungen vor (Ho, Tsang & Ho, 1991).

Norris (1990) simulierte die Fähigkeit zum Kalenderrechnen mit einem Algorithmus, der kein arithmetisches Wissen verlangte. Er nimmt an, dass bei den Berechnungen basale Verarbeitungsprozesse

beteiligt sind, und dass durch ausreichende Lerndurchgänge ein einfaches Netzwerk zur Berechnung von Kalenderdaten entstehen kann. Wenn Kalenderrechnen jedoch tatsächlich so einfach wäre, sollte die Fähigkeit wesentlich weiter verbreitet sein. Norris (1990) nimmt an, dass Individuen ohne mentale Retardierung kein derart ausdauerndes Interesse an Kalendern hätten und argumentiert so für eine Entstehung der Fähigkeit durch abnorme Aufmerksamkeit und Übung (siehe 1.3.2.9).

Ferner ist die Antwortzeit von Savants kürzer, als es der Gebrauch von Algorithmen erwarten ließe: Sie geben ihre Antworten meist extrem schnell (Horwitz et al., 1969; Horwitz et al., 1965; Young & Nettelbeck, 1994), und derart schnelles Rechnen ist für Savants, bei denen viele schon bei simpler Addition und Subtraktion Probleme zeigen, praktisch unmöglich. Savants vermögen manche Aufgaben so schnell zu lösen, dass sich die Reaktionszeiten nur durch Auswendiglernen und einen direkten Gedächtnisabruf erklären lassen. Dies gibt einen Hinweis auf die Relevanz von Gedächtnisfunktionen (siehe unten 1.3.2.3).

Die von Young und Nettelbeck (1994) untersuchten Kalenderrechner zeigten außerdem eine besonders gute Performanz für einen bestimmten Zeitraum, während Fehlerrate und Antwortzeiten für andere Epochen stark anstiegen. Diese Verteilung legt nahe, dass die Strategien der Kalenderrechner bestimmten zeitlichen Grenzen unterliegen und schließt somit aus, dass ihre Fähigkeit allein durch arithmetische Berechnungen erklärt werden kann – solche Berechnungen könnten für Zeiträume in der Zukunft ebenso wie für solche in der Vergangenheit durchgeführt werden.

Viele Kalenderrechner beherrschen außerdem die Fähigkeit zur Datums-Reversion. Unter dieser Bedingung wird nicht danach gefragt, auf welchen Wochentag ein bestimmtes Datum fällt, sondern es soll ein Jahr angegeben werden, in dem ein gegebenes Datum auf einen bestimmten Wochentag fällt („In welchem Jahr fällt der 6. November auf einen Mittwoch?“). Es ist unwahrscheinlich, dass Kalenderrechner hierbei mittels spezieller arithmetischer Formeln vorgehen, da solche Formeln bei Aufgaben zur Datums-Reversion nichts zur Lösung beitragen. Und eine Modifikation arithmetischer Formeln dahin, dass auch solche Aufgaben gelöst werden können, erforderte wiederum beträchtliche mathematische Fähigkeiten, wie sie die meisten Kalenderrechner nicht aufweisen (Ho et al., 1991).

1.3.2.3 *Eidetisches Gedächtnis*

In frühen Fallbeschreibungen (z. B. Jones, 1926) wurde häufig angenommen, dass dem Kalenderrechnen ein eidetisches Gedächtnis (siehe 1.1.5.3) zugrunde liegt. Diese Erklärung ist besonders attraktiv, da sie keinerlei mathematische Fähigkeit fordert. Hierbei handelt es sich jedoch um die einzige Erklärung, die ausgeschlossen werden konnte: Rubin und Monaghan (1965) berichteten von einem blinden Kalenderrechner. Auch Horwitz und Mitarbeiter (1965) räumen ein, dass ein eidetisches Gedächtnis nicht die richtige Erklärung sein könne: Einer der beiden untersuchten Kalenderrechner-Zwillinge vermochte über einen Zeitraum von 6000 Jahren den richtigen Wochentag zu berechnen, und für eine solche Zeitspanne gebe es keinen ewigen Kalender, der aufgrund eines hochentwickelten eidetischen Gedächtnisses visuell erinnert werden könne. So konnten bereits Horwitz und Mitarbeiter (1965) nur bisherige Erklärungsansätze ausschließen: „We must candidly admit that we have no better explanation“ (S. 1077).

1.3.2.4 *Langzeitgedächtnis*

Goodman (1972) geht davon aus, dass das Kennzeichen von Savants in einem herausragenden Langzeitgedächtnis zu sehen ist. Dabei erwägt sie die Möglichkeit, dass Savant-Fähigkeiten eher auf der Unfähigkeit zu vergessen als auf der Fähigkeit, Dinge besonders gut im Gedächtnis zu behalten, basiert. Im Einklang mit dieser Hypothese stehen die Fallbeschreibungen von Rosen (1981), in der das herausragende Langzeitgedächtnis zweier Kalenderrechner betont wird. Auch die von Young und Nettelbeck (1994) untersuchten Kalenderrechner hatten ein herausragendes Gedächtnis für Geburtsdaten, Besuche, besondere Ereignisse, Sportergebnisse, Wetter etc., wenngleich Savants in Gedächtnistests häufig schlecht abschneiden (Rosen, 1981). Daraus schließen Young und Nettelbeck, dass ein besonders gutes assoziatives Langzeitgedächtnis entscheidend für die Entwicklung dieser Savant-Begabung ist.

Horwitz und Mitarbeiter (1969) entwickelten aufgrund ihrer Untersuchungen an Kalenderrechner-Zwillingen folgendes Modell zur Entstehung der Fähigkeit: Die Kalenderrechner „lernten“ zunächst einen konventionellen Kalender. Schließlich bemerkten sie, dass ein Monat dort begann, wo der andere endete, ebenso die Jahre etc.. So könnten erst Monate, dann Jahre aneinandergesetzt werden, so dass der mögliche Berechnungszeitraum stetig wächst. Das Interesse der Kalenderrechner sei dabei meist auf Kalender begrenzt, so dass sie täglich Umgang mit Kalendern hätten. Dabei vermochten sich die von Horwitz und Mitarbeitern (1969) untersuchten Zwillinge sogar an das Wetter eines jeden der erfragten Tage zu erinnern – ansonsten war ihr Gedächtnis jedoch nicht gut. Somit handelte es sich nach Horwitz und Mitarbeitern eher um eine mechanische (siehe 1.3.2.5) als um eine kreative Gedächtnisleistung.

1.3.2.5 *Mechanisches Gedächtnis (rote memory)*

Eine der vorherrschenden Hypothesen zur Erklärung des Kalenderrechnens ist das von Horwitz und Mitarbeitern (1965) vorgeschlagene mechanische Gedächtnis (rote memory, siehe 1.1.5.5). Die Daten von Hill (1975), Young und Nettelbeck (1994) sowie Norris (1990) sprechen ebenfalls für mechanische Gedächtnisleistungen als eine zugrundeliegende Kapazität von Kalenderrechnern. Hill (1975) führte als erster empirische Tests durch, um unterschiedliche Hypothesen zur Entstehung dieser Savant-Begabung zu überprüfen. Er konnte anhand unterschiedlicher psychologischer Tests zeigen, dass der von ihm untersuchte Kalenderrechner weder ein besonders gutes Kurzzeitgedächtnis, noch die Fähigkeit zu blitzschnellem Rechnen oder ein eidetisches Gedächtnis hatte. Hill (1975) präsentierte eine Liste von Testdaten und maß die Reaktionszeiten seiner Versuchsperson. Es ergab sich nur dann eine signifikante Variabilität der Reaktionszeiten in Abhängigkeit von Monat und Jahr des Testdatums, wenn die Jahre am Mittwoch begannen: In solche Jahren waren die Monate zu Beginn des Jahres schwieriger zu berechnen, „but this difficulty was overcome when he reached December.“ (S.559). Hill (1975) schloss daraus, dass die Fähigkeit auf einem „rote memory, similar to the memory of adolescents who learn the statistical information pertaining to their favorite sports“ (S.559) basierte. Unterstützt werde der Fähigkeitserwerb – im Einklang mit dem Modell von Horwitz und Mitarbeitern (1969; siehe 1.3.2.4) – schließlich durch die abnorm lange Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial sowie durch die Tatsache, dass die meisten Savants Zugang zu konventionellen oder ewigen Kalendern hatten.

Bestimmte Charakteristika der Genauigkeit von Kalenderrechnern sprechen ebenfalls für die Theorie des *rote memory*: O'Connor und Hermelin (1984) untersuchten acht Kalenderrechner und fanden, dass Antwortlatenzen und Fehlerraten linear und signifikant abnahmen, je näher das Datum an der Gegenwart war, vor allem in der nahen Vergangenheit. Die Fehlerrate fällt häufig zurück auf Zufallsniveau, wenn die Daten außerhalb der Lebensspanne der Kalenderrechner liegen. Diese Verteilung wäre zu erwarten, wenn die Fähigkeit zum Kalenderrechnen auf der Ansammlung einfacher Datum-Tag-Assoziationen basierte.

Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass die Fähigkeit der Savants ausschließlich auf einem herausragenden Gedächtnis beruht, da dies eine enorme Speicherkapazität voraussetzte. Eine derart außergewöhnliche Speicherkapazität ist jedoch selbst bei Personen mit durchschnittlicher Intelligenz selten (O'Connor & Hermelin, 1984). Außerdem würde ein derart herausragendes mechanisches Gedächtnis ein Hinweis sein auf eine hohe allgemeine Intelligenz, da das Gedächtnis und der g-Faktor eng miteinander verbunden sind (Süllwold, 1964).

O'Connor und Hermelin (1984) überprüften die Möglichkeit, dass das Interesse für ein spezielles Gebiet ein gutes Gedächtnis für dieses Gebiet begünstigt. Sie fanden bei den von ihnen untersuchten Kalenderrechnern jedoch keine bessere Erinnerungsfähigkeit für eine Geschichte über Daten als für eine Geschichte über ein Schiffswrack.

1.3.2.6 *Regelbasierte Strategien*

Der Annahme, dass die Fähigkeit zum Kalenderrechnen auf der Ansammlung einfacher Datum-Tag-Assoziationen basiere (Theorie des *rote memory*), steht die Meinung der Anwendung einer Vielzahl von Regeln gegenüber, um den richtigen Wochentag für ein gegebenes Datum anzugeben.

Diese Regeln basieren auf den Ordnungsprinzipien des Gregorianischen Kalenders. Der Gregorianische Kalender wurde 1582 vom damals amtierenden Papst Gregor XIII eingeführt. Die meisten Savants wissen nichts von dem Übergang vom Julianischen zum Gregorianischen Kalender im 16. Jahrhundert (z. B. Ho et al., 1991; Horwitz et al., 1965). Zwischen beiden Kalendern entstand eine Differenz von 11 Tagen – erlaubt man den Savants diesen „Fehler“, so geben sie „korrekte“ Antworten bis zum Jahr Null.

Der Gregorianische Kalender ist durch drei verschiedene interne Konsistenzen charakterisiert: Erstens gibt es so genannte „gepaarte“ Monate, die die identische Datum-Wochentag-Struktur aufweisen: Hier fallen die Daten der beiden Monate auf dieselben Wochentage (z. B. fällt der 03.März auf den gleichen Wochentag wie der 03.November). Zweitens gibt es 14 unterschiedliche „Jahresschablonen“. Diese beschreiben die möglichen Konfigurationen der Datums-Wochentag-Zuordnungen, die innerhalb eines Jahres entstehen können. Als allgemeine Regel wiederholt sich der Kalender alle 28 Jahre; allerdings gibt es bestimmte Ausnahmen, so dass die Wiederholung in bestimmten Fällen bereits nach sechs Jahren auftritt. Drittens rücken die Wochentage jedes Jahr einen Tag vor, in den regelmäßig alle vier Jahre auftretenden Schaltjahren zwei Tage. Algorithmen, die auf diesen Regeln basieren, ermöglichen die Berechnung des korrekten Wochentags für ein gegebenes Datum (Spitz, 1994).

Hermelin und O'Connor (1986) untersuchten, ob die Leistung von Savant-Kalenderrechnern allein durch eine Kombination mechanischer Gedächtnisleistungen (siehe 1.3.2.5) und arithmetischer Berechnungen (siehe 1.3.2.2) erklärbar ist, oder ob die Kalenderrechner auch regelbasierte Strategien verwendeten. Für ihre Experimente wählten sie drei der Regularitäten des Gregorianischen Kalenders:

Im ersten Experiment wurden den Kalenderrechnern jeweils nacheinander zwei Daten gegeben, die von „gepaarten“ bzw. „nicht gepaarten“ Monaten stammen. In Nicht-Schaltjahren gibt es so genannte „gepaarte“ Monate, bei denen das Datum eines Monats mit dem gleichen Datum eines anderen Monats auf den gleichen Wochentag fällt (solche Paare sind z. B. März und November, April und Juli, Februar und März sowie September und Dezember). Bei sechs von acht Kalenderrechnern war die Antwort auf das zweite Datum beschleunigt, wenn es von einem „gepaarten“ Monat des ersten Datums stammte. Dieses Ergebnis weist auf den Gebrauch der Regularität der gepaarten Monate hin – würden beide Ergebnisse separat berechnet, wäre zu erwarten, dass die Antwort auf das zweite Datum bei gepaarten Monaten ähnlich lang dauerte wie die auf das erste Datum. Die Geschwindigkeit der Berechnung konnte somit aufgrund der Anwendbarkeit der Regularität vorausgesagt werden.

In einer Replikation dieses Experiments von Young und Nettelbeck (1994) wandten nur zwei der drei von ihnen untersuchten Kalenderrechner die Regel der gepaarten Monate an. Young und Nettelbeck schlossen aus diesem sowie dem ersten Ergebnis von Hermelin und O'Connor (1986), dass die Kenntnis solcher Regularitäten keine notwendige Komponente für die Berechnung von Kalenderdaten bei allen Savants darstellt. Auch wandten die von Young und Nettelbeck (1994) untersuchten Kalenderrechner, die die Regularität der gepaarten Monate gebrauchten, diese nicht unter allen Bedingungen an: In Schaltjahren beschleunigte das Wissen der gepaarten Monate ihre Antwortzeiten nicht. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass auch der einzelne Kalenderrechner die Kenntnis solcher Regularitäten nicht unter allen Bedingungen anwendet.

Im zweiten Experiment von Hermelin und O'Connor (1986) wurde die Anwendung der Regel überprüft, dass sich die Struktur eines Jahres alle 28 Jahre identisch wiederholt, wobei diese Regel nur dann über einen Jahrhundertwechsel hinaus anwendbar ist, wenn dieser durch 400 teilbar ist (wie es also im Jahr 2000 der Fall ist). Es wurden die Jahre 1956 und 2012 gewählt, da sie im Abstand von 28 Jahren zu dem Testjahr 1984 standen. In der Kontrollbedingung wurden Daten der Jahre 1966 und 2002 gegeben. Nur vier der Versuchspersonen gaben eine ausreichend große Anzahl richtiger Antworten. Hierbei ergab sich folgendes Bild: In der Vergangenheit war die Antwortzeit bei drei der vier Versuchspersonen für das weniger zurückliegende Jahr 1966 kürzer als für das länger zurückliegende Jahr 1956, was aber in einem 28-Jahre-Intervall gelegen hätte. In der Zukunft war hingegen die Antwortzeit für das weiter entfernte Jahr 2012, was in einem 28-Jahre-Intervall liegt, kürzer als die für das weniger entfernte Jahr 2002: Während also für die Vergangenheit nur eine der vier Versuchspersonen die 28-Jahre-Regularität anwendete, wandten für die Zukunft drei der vier Versuchspersonen diese Regularität an. Es ergeben sich somit verschiedene Strategien für die Berechnung der Kalenderdaten in Vergangenheit und Zukunft. Hermelin und O'Connor (1986) nehmen an, dass die Daten der Vergangenheit bereits gut geübt sind und daher einfache (mechanische) Gedächtnisprozesse und Berechnungen ausreichen, um den korrekten Wochentag anzugeben. Da für die Zukunft jedoch keinerlei Erinnerungen vorlägen, reichten diese Gedächtnisprozesse hier nicht aus; dies führt dazu, dass regelbasierte Strategien Anwendung finden.

Auch der von Ho und Mitarbeitern (1991) untersuchte Kalenderrechner machte Gebrauch von der 28-Jahre-Regularität: Wurde er z. B. nach einem Datum im Jahr 2243 gefragt, so subtrahierte er so häufig – mit Papier und Bleistift – 28 Jahre, bis er im Jahr 1991 angelangt war. Da er die 28-Jahre-Regel

jedoch unabhängig vom Jahrhundertwechsel (s.o.) gebrauchte, führte diese Strategie bei ihm zu systematischen Fehlern.

Im dritten Experiment von Hermelin und O'Connor (1986) wurde überprüft, ob die Kalenderrechner die Regel, dass in Nicht-Schaltjahren die Wochentage zu den gegebenen Daten pro Jahr einen Tag vorrücken, auf ein anderes Problem transferieren können. Diese Aufgabe erwies sich als sehr schwierig, so dass sie nur von wenigen Versuchspersonen mit Erfolg bearbeitet werden konnte. Diese Personen hatten den höchsten IQ. Dies weist darauf hin, dass die Fähigkeit, dynamische strukturelle Prinzipien des Kalenders zu erkennen und auf ein anderes Problem zu übertragen, mit dem IQ korreliert.

Aus diesen Experimenten schlossen Hermelin und O'Connor (1986), dass die Leistung durch eine Kombination aus Gedächtnisleistungen und den Gebrauch regelbasierter Strategien, beruhend auf den Ordnungsprinzipien des Gregorianischen Kalenders, zustande komme. Die Leistungen seien somit nicht allein durch besondere Gedächtnisfähigkeiten (z. B. Hill, 1975; Spitz & LaFontaine, 1973) erklärbar.

Young und Nettelbeck (1994) überprüften außerdem, ob die von ihnen untersuchten Kalenderrechner Gebrauch von der Regularität machten, dass jedes Jahr einer von nur vierzehn möglichen Konfigurationen des Kalenderjahres (s.o.) folgt. Sie verwendeten denselben Versuchsaufbau wie im ersten Experiment von Hermelin und O'Connor (1986) und fanden eine Beschleunigung der Antwortzeiten unter der Bedingung, dass Daten von Jahren mit der gleichen Konfiguration präsentiert wurden. Diese Regularität wurde von den Kalenderrechnern sowohl in Schaltjahren als auch in Nicht-Schaltjahren angewendet.

Die Ergebnisse von Hermelin und O'Connor (1986) sowie Young und Nettelbeck (1994) stimmen mit dem Modell von Heavey, Pring und Hermelin (1999) überein, welches den Einsatz kognitiver Strategien bei den Leistungen von Kalenderrechnern impliziert. Die Fähigkeit zum Kalenderrechnen kann somit nicht durch einfache Tag-Datum-Assoziationen erklärt werden, sondern es finden – entgegen der reinen Theorie des *rote memory* – durchaus Regeln und Strukturen Anwendung. Dennoch führt die Kenntnis solcher Regeln nicht notwendigerweise stets zu ihrer Anwendung. Insgesamt weisen die Ergebnisse aber darauf hin, dass das Wissen solcher Regeln, Regularitäten und Referenzdaten zur enormen Rechengeschwindigkeit der Kalenderrechner beiträgt.

1.3.2.7 *Assoziative Lernvorgänge und Automatisierung*

Die Frage ist, ob das Wissen solcher Regularitäten implizit oder explizit ist. Jensen (1969) unterscheidet assoziative (Stufe 1) von kognitiven (Stufe 2) Verarbeitungsprozessen. Verarbeitungsprozesse der Stufe 1 seien simple assoziative Lernvorgänge, die kaum Manipulation der kognitiven Stimuli verlangten und durch extensive Übung automatisiert würden; dadurch käme die richtige Antwort sofort in den Sinn (Young & Nettelbeck, 1994; S. 196). Die Geschwindigkeit solcher automatisierter Prozesse führe dazu, dass ihre konstituierenden Elemente unserer bewussten Wahrnehmung unzugänglich sind (Shiffrin & Schneider, 1977; S. 160). Dies stimmt mit der Beobachtung überein, dass die von Hermelin und O'Connor (1986) untersuchten Savants weder in der Lage waren, ihre Strategien noch die Regularitäten des Kalenders zu verbalisieren. Der Gebrauch solcher Regularitäten und Strategien impliziert damit nicht, dass sie explizit verbalisiert werden können: Jensen (1969) vergleicht diese Automatisierung mit der Sprache, deren zugrunde liegende grammatische Struktur – obgleich stets implizit angewandt – nur von wenigen Muttersprachlern explizit formuliert werden könne. So konnte nur eine der

acht Versuchspersonen von Hermelin und O'Connor (1986) die angewendete 28-Jahres-Regularität explizit verbalisieren; hierbei handelte es sich um den Kalenderrechner mit dem höchsten IQ der Versuchsteilnehmer. Dass die Regeln zumeist implizit angewandt werden, verhindert aber nicht ihren Transfer auf andere Problemstellungen, wie das dritte Experiment von Hermelin und O'Connor (1986) zeigte.

Young und Nettelbeck (1994) führten verschiedene psychometrische Tests bei den von ihnen untersuchten vier Kalenderrechnern durch. Sie konnten zeigen, dass die Savants zwar Schwierigkeiten mit den Prozessen der Stufe 2 (Jensen, 1969) hatten, die eine Transformation des Inputs verlangen, die assoziativen Prozesse der Stufe 1 hingegen weitgehend erhalten waren. Für den Erwerb der Fähigkeit zum Kalenderrechnen nehmen sie folgendes Modell an: Anfänglich seien kontrollierte, aufmerksamkeitsabhängige Verarbeitungsprozesse beteiligt. Diese Prozesse würden dann aber – entsprechend dem Lernprinzip von Fertigkeiten (Shiffrin & Schneider, 1977; Logan, 1985) – nach den vielen Wiederholungen automatisiert. Sie behaupten „...that calendrical calculations are automatic responses that are, to a limited extent, rule-based, resulting from intense practice and rote learning of that rules“ (S. 197). Somit nehmen sie ein Zusammenspiel aus Übung, und zwar simplen assoziativen Lernvorgängen, einem herausragenden assoziativen Langzeitgedächtnis und der – impliziten oder expliziten – Kenntnis bestimmter Regeln an.

1.3.2.8 *Gebrauch von Referenzdaten*

Neben dem Wissen von Regelmäßigkeiten des gregorianischen Kalenders ist auch der Gebrauch von Referenzdaten relativ gut (wenn auch nicht widerspruchsfrei) empirisch abgesichert. Rosen (1981) untersuchte zwei Kalenderrechner und überprüfte, ob es einen Zusammenhang zwischen ihrer Reaktionszeit und Kalendervariablen (Monat, Datum, Jahr, Wochentag) gibt. Obgleich einer der beiden Kalenderrechner signifikant schneller als der andere war und mehr richtige Antworten gab, zeigten sie die gleiche Variabilität hinsichtlich der Variablen Monat und Jahr. Rosen schloss daraus, dass beide Kalenderrechner dasselbe Kalenderwissen gebrauchten. Er fand, dass die Daten des Monats Dezember schneller beantwortet werden als die für andere Monate; dies machte diesen Monat als wichtigen Referenzpunkt für weitergehende Berechnungen wahrscheinlich. Schaltjahre hatten keinen Einfluss auf die Berechnungszeiten. Aus der Tatsache, dass einige Antwortzeiten sehr kurz (schneller als drei Sekunden) waren, schloss er, dass solche Antworten primär auf dem Gedächtnis basierten.

Rosen (1981) nimmt folgendes hypothetisches Modell zur Entstehung dieser Savant-Fähigkeit an: Die Kalenderrechner merken sich zu jedem Jahr einen Referenzpunkt (z. B. den 1. Dezember). Von diesem aus nutzen sie ihr Wissen zu den systematischen Veränderungen des Kalenderjahres. Zusammen mit ihrer herausragenden – wenn auch sehr spezifischen – Gedächtnisleistung und Konzentrationsfähigkeit sowie einfachen Berechnungen vermögen sie so Antworten zu jedem Datum des Jahres zu finden. Die Annahme, dass dabei der Monat Dezember eine wesentliche Rolle als Referenzpunkt spielt, findet auch in der Untersuchung von Hill (1975) Unterstützung, der fand, dass „months early in the year were difficult, but this difficulty was overcome when [the subject] reached december“ (S.559).

Young und Nettelbeck (1994) fanden jedoch im Gegensatz zu Rosen (1981) keine Hinweise darauf, dass die von ihnen untersuchten Kalenderrechner Referenzdaten gebrauchten, ferner erkannten sie im Unterschied zu Hills (1975) Beobachtungen keine Abhängigkeit vom Wochentag, an dem das Jahr begann. Auch die Fähigkeit zur Datums-Reversion (siehe 1.3.2.2) lässt daran zweifeln, dass Kalender-

rechner sich lediglich in jedem Jahr ein Referenzdatum merken und den Rest der Daten mittels mathematischer Operationen berechneten (Ho et al., 1991).

1.3.2.9 Übung

Die Literatur zum Savant-Syndrom weist übereinstimmend auf die Rolle der Übung im Zusammenhang mit der Entstehung von Savant-Fähigkeiten hin (siehe auch 1.1.5.2). Dem gemäß ist auch bezogen auf das Kalenderrechnen häufig die Rolle der Übung diskutiert worden: Die meisten Kalenderrechner beschreiben eine frühe Faszination und eine ausführliche Auseinandersetzung mit Kalendern in ihrer Vergangenheit wie eingehendes Betrachten. Wie viel Zeit die Kalenderrechner mit dem Studium von Kalendern verbrachten, ist meist schwierig zu rekonstruieren. Eine gemeinsame Eigenschaft der meisten Kalenderrechner ist jedoch das plötzliche Auftreten eines starken Interesses für Kalender im Alter von sechs oder sieben Jahren ohne einen spezifischen Einfluss (Young & Nettelbeck, 1994). Dabei ist die damit zusammenhängende Konzentrationsfähigkeit der Kalenderrechner häufig ausschließlich auf Fragen begrenzt, die mit dem Kalender in Zusammenhang stehen (Horwitz et al., 1969). Hill (1975) nimmt an, dass Savants weder „normale“ geistig Behinderte seien, noch dass sie eine spezielle Fertigkeit oder Gedächtniskapazität besäßen: vielmehr läge ihre Spezialfähigkeit darin, sich über lange Zeiträume auf ein Material zu konzentrieren.

In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass auch Normalpersonen durch intensives Training die Fähigkeit des Kalenderrechnens erwerben konnten (z. B. LaFontaine & Benjamin, 1971). Ericsson und Faivre (1988) betonen die Effektivität von ausführlicher Übung für die Leistung. Sie nehmen an, dass es keinerlei Evidenz dafür gibt, dass solche Begabungen ohne Übung aufträten, und sie erörtern, dass auch Normalpersonen die Fähigkeit zum Kalenderrechnen erwerben könnten, wenn sie dies 20 bis 30 Stunden üben. Kelly und Mitarbeiter (Kelly, Macaruso & Sokol, 1997) behaupten sogar, dass die Rechenleistungen ausschließlich durch konstante Wiederholung und Übung zu erklären seien.

In einigen Fallberichten wird beschrieben, dass die frühe Fähigkeit zum Kalenderrechnen nicht den späteren herausragenden Leistungen entspricht. Dies legt nahe, dass auch ausführliche Übung und das Studium von Kalendern und ihren möglichen Konfigurationen zu dem später beobachtbaren hohen Grad an Performanz führen (Young & Nettelbeck, 1994). O'Connor und Hermelin (1992) führten eine Studie durch, um die Rolle der Übung beim Erwerb dieser Fähigkeit zu klären. Sie untersuchten zwei junge Kalenderrechner im Alter von zehn Jahren und konnten zeigen, dass ihre Leistung zum einen in Reaktionsgeschwindigkeit und Fehlerrate mit der Leistung von acht erwachsenen Kalenderrechtern übereinstimmte, und zum anderen bei einer erneuten Testung nach 18 Monaten konstant geblieben war. Wäre das Alter bzw. die Übung von herausragender Bedeutung für den Erwerb des Kalenderrechnens, so hätte die Leistung der zwei jungen Kalenderrechner (in Schnelligkeit oder Fehlerrate) bei der erneuten Testung bzw. die Leistung der erwachsenen Kalenderrechner besser sein müssen. O'Connor und Hermelin (1992) konnten außerdem zeigen, dass einer der jungen Kalenderrechner von der 28-Jahre-Regel Gebrauch gemacht hatte.

Diese Ergebnisse legen nahe, dass Übung zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung beim Erwerb der Fähigkeit des Kalenderrechnens darstellt; sie unterstreichen den bereits frühen Gebrauch von Regularitäten für das Kalenderrechnen. Und wenngleich Übung wichtig ist für die Wei-

terentwicklung der Fähigkeit zum Kalenderrechnen, so erklärt dies nicht die frühe Entstehung des Interesses für Kalender bei diesen Savants.

Auch bleibt die Frage, ob die von Normalpersonen nach intensivem Training erbrachte Leistung vergleichbar ist mit der Leistung von Savants (Spitz, 1995). Zwar wurde mit einigen Savants zumindest für kurze Zeit das Kalenderrechnen trainiert (z. B. Miller, 1989), aber dies stellt eher eine Ausnahme als den Regelfall dar. Insgesamt spricht das frühe Auftreten der Savant-Fähigkeiten (Miller, 1987) sowie ihre Stabilität (O'Connor & Hermelin, 1992) dagegen, dass ihr Ursprung in intensivem Training zu sehen ist.

1.3.2.10 *Theorie von Snyder und Mitchell (1999)*

Snyder und Mitchell (1999) behaupten, dass auch die Fähigkeit zu blitzschnellem Rechnen oder zum Kalenderrechnen in uns allen verborgen, aber nicht zugänglich wäre. Diese Leistungen basierten auf der Fähigkeit zur „Equipartion“ – der Fähigkeit, Mengen in Gruppen von Elementen gleicher Anzahl zu unterteilen. Sie sehen diese Fähigkeit als analog zur mathematischen Prozedur des Faktorisierens. Bezogen auf das Kalenderrechnen bedeutete dies, dass z. B. die „Equipartition“ einer Menge von Tagen in Wochen eine Zuordnung von Daten zu Wochentagen ermögliche.

1.3.2.11 Zusammenfassung

Insgesamt weisen die Studien zum Kalenderrechnen darauf hin, dass die Fähigkeit auf mehreren kognitiven Operationen basiert, wobei die Gewichtung individuell unterschiedlich ist. Einen Überblick bietet Abbildung 8. Ein mechanisches Gedächtnis, die Kenntnis und Anwendung regelbasierte Strategien, Übung und eine abnorme Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial scheinen begünstigende Faktoren für die Entwicklung dieser Fähigkeit zu sein; einige Kalenderrechner besitzen zudem die Fähigkeit, simple arithmetische Berechnungen durchzuführen. Keiner dieser Faktoren allein gibt jedoch eine hinreichende Bedingung für die Entwicklung des Kalenderrechnens ab.

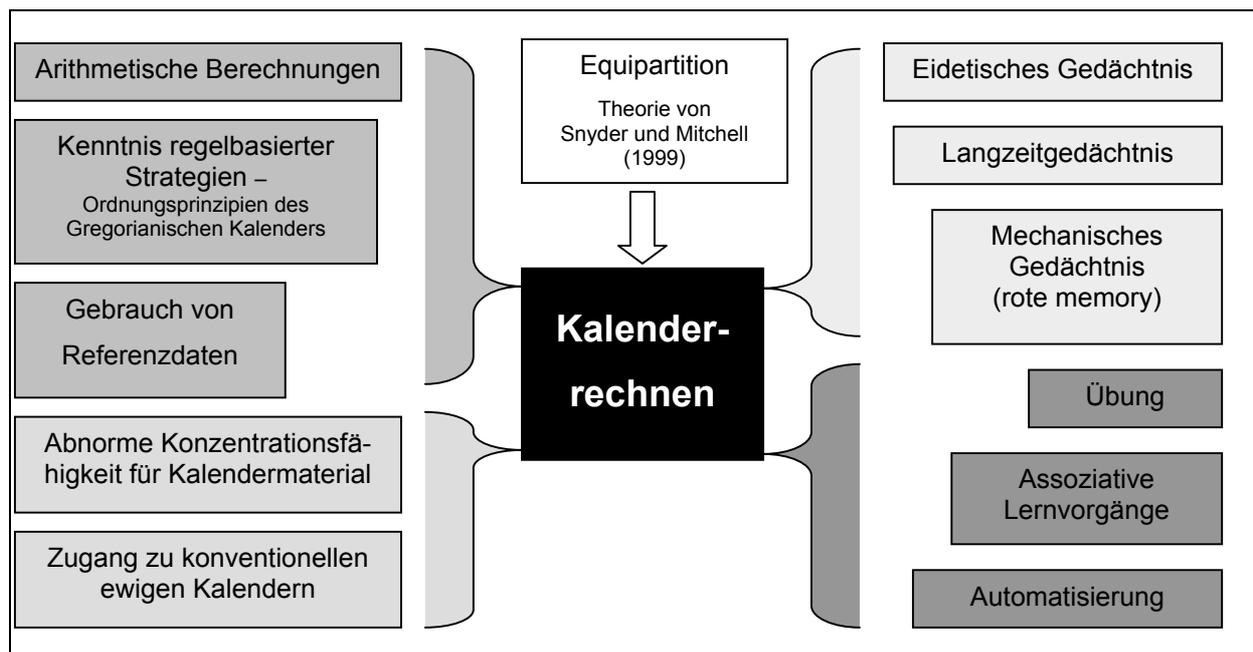


Abbildung 8: Faktoren, die zur Entwicklung der Fähigkeit des Kalenderrechnens beitragen können

Im folgenden werden mögliche neuronale Korrelate dieser außergewöhnlichen Rechenfähigkeit untersucht. Dabei liegen bezüglich der neurophysiologischen Grundlagen des Kalenderrechnens bislang keine Studien methodischer Qualität vor (siehe 1.3.3.6). Daher werden Erkenntnisse aus dem Bereich der Neurophysiologie des Rechnens herangezogen, auch um mögliche neuronale Korrelate der von Snyder und Mitchell (1999) vorgeschlagenen Operation der „Equipartition“ zu sondieren.

1.3.3 Neurophysiologie des Rechnens

Ein Ziel dieser Arbeit liegt darin, die neurophysiologischen Grundlagen des Kalenderrechnens zu untersuchen. Für die Bildung der Hypothesen bezüglich der neuronalen Korrelate dieser bizarren Rechenfähigkeit sind theoretische Grundlagen aus drei Bereichen der Neurophysiologie des Rechnens heranzuziehen:

- (1) Snyder und Mitchell (1999) nehmen an, dass blitzschnelles Rechnen bzw. Kalenderrechnen auf der Fähigkeit zur „Equipartion“, der Unterteilung von Mengen in Gruppen gleichzahliger Elemente, basiert. Daher wird zunächst auf die neuronalen Korrelate unterschiedlicher Zahlformate und Rechenoperationen eingegangen (siehe 1.3.3.1 bis 1.3.3.3), um die Hypothese von Snyder und Mitchell dahin zu erweitern, wo die Fähigkeit zum Kalenderrechnen neurophysiologisch lokalisiert sein könnte.
- (2) Einige Autoren nehmen an, dass beim Kalenderrechnen zunächst aufmerksamkeitsabhängige Verarbeitungsprozesse beteiligt sind, diese aber nach den vielen Wiederholungen automatisieren (siehe 1.3.2.7). So werden in Kapitel 1.3.3.4 Experimente referiert, welche den Übergang von bewussten zu automatisierten Prozessen durch Übung bei der Multiplikation einstelliger Zahlen untersucht haben.
- (3) Herausragende Leistungen treten außer bei autistischen Savants auch bei gesunden geübten Experten auf. So werden unter 1.3.3.5 neurophysiologische Korrelate der Fähigkeiten gesunder Rechenkünstler dargestellt.

1.3.3.1 Das Triple-Code-Modell der Zahlenverarbeitung

Moyer und Landauer (1967) untersuchten erstmals, wie numerische Quantitäten beim Menschen semantisch repräsentiert sind. Sie präsentierten Versuchspersonen Paare von arabischen Ziffern (z. B. 3 : 4). Die Probanden hatten anzugeben, welche Zahl größer (bzw. kleiner) war. Je näher die Zahlen zusammen waren (z. B. 2 : 8 versus 4 : 5), desto größer wurden die Antwortlatenzen und die Fehlerrate. Dieser so genannte „Distanz-Effekt“ legt es nahe, dass die Versuchspersonen numerischen Input in ein internes Kontinuum – einen mentalen „Zahlenstrahl“ – übersetzten, und den Vergleich der Zahlen auf dieser internalen Repräsentation und nicht auf der Oberflächenform der arabischen Ziffern durchführten.

Dieser Versuchsaufbau wurde vielfach repliziert, so mit arabischen Zahlen versus Punktmengen (Buckley & Gillman, 1974) oder mit arabischen Zahlen versus Zahlworten in diversen Sprachen (Dehaene, 1996; Tzeng & Wang, 1983); der Distanz-Effekt blieb erhalten. Offensichtlich hängt die abstrakte mentale Zahlrepräsentation zum Größenvergleich nicht von der symbolischen Oberflächenform ab. Beim Menschen liegt nach allem eine analoge mentale Repräsentation quantitativer Bedeutung, ein so genannter „Zahlenstrahl“, vor.

Stanislas Dehaene, der von einem angeborenen „Zahlensinn“ ausgeht, entwickelte das Triple-Code-Modell der Zahlverarbeitung beim Menschen (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995). Dieses Modell geht von drei fundamentalen Hypothesen aus:

- 1) Numerische Information kann in drei Formaten vorliegen: als visuell-arabische Ziffernfolge (z. B. 37), in einem verbalen Format (z. B. siebenunddreißig) sowie als analoge Repräsentation von Quantitäten, bei der Zahlen auf einem Zahlenstrahl angeordnet sind.

- 2) Die unterschiedlichen Zahlenformate können direkt ineinander übersetzt werden (z. B. 3 [arabische Ziffer] in „drei“ [Zahlwort]), ohne sie in eine semantische Repräsentation der Quantität zu übersetzen. Diese Hypothese unterscheidet das Triple-Code-Modell von anderen modularen Modellen der Zahlenverarbeitung (z. B. McCloskey, Macaruso & Goodman, 1992).
- 3) Unterschiedliche Aufgaben zur Zahlenverarbeitung verlangen verschiedene Input- und Output-Formate (siehe Abbildung 9): So ist nach Dehaene der Größenvergleich zweier Zahlen abhängig von einer analogen Kodierung der Zahlen auf einem Zahlenstrahl; Multiplikationstabellen werden hingegen als verbale Assoziationen erinnert, und die Subtraktion, welche im Gegensatz zur Multiplikation nicht mechanisch verbal gelernt wird, ist stark von einer quantitativen Repräsentation abhängig.

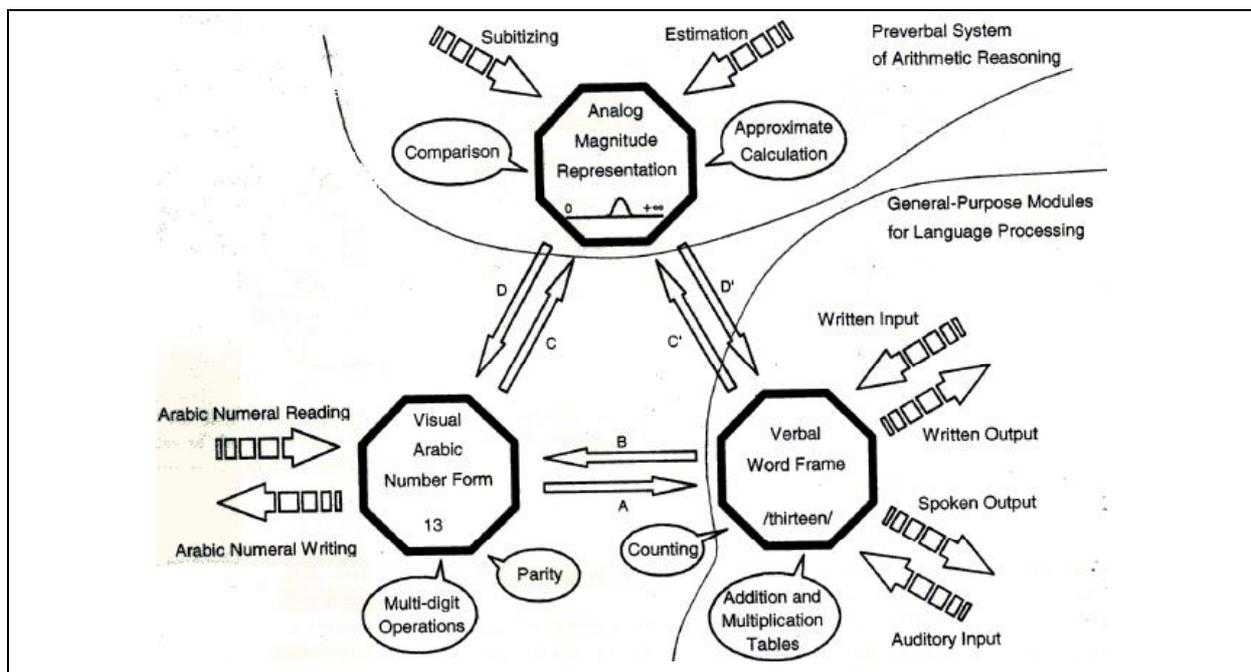


Abbildung 9: Funktioneller Aufbau des Triple-Code-Modells der Zahlenverarbeitung (Aus: Dehaene, 2000)

Demzufolge sieht das Triple-Code-Modell zwei verschiedene Wege beim Rechnen mit einstelligen arabischen Ziffern vor: Zum einen einen direkten Weg, bei dem die Input-Zahlen in ein verbales Format umgewandelt und das Ergebnis aus einem mechanischen verbalen Gedächtnis abgerufen wird. Dieser Weg findet typischerweise bei überlerntem arithmetischem Wissen wie Multiplikation und Addition einstelliger Zahlen Anwendung, wo eine Art gespeicherte „Tabelle“ verfügbar ist. Zum anderen gibt es einen indirekten semantischen Weg, bei dem eine mentale Manipulation semantischer Größen stattfindet, um das Ergebnis zu berechnen. Dieser Weg wird immer dann eingeschlagen, wenn kein verbales mechanisches Wissen über die Antwort vorliegt, wie typischerweise bei Subtraktionsaufgaben.

1.3.3.2 *Neuroanatomische Substrate der Rechenfertigkeit*

Bei Split-Brain-Patienten konnte die hemisphärische Verteilung der Zahlenverarbeitung untersucht werden (Cohen & Dehaene, 1996). Während beide Hemisphären Zugang haben zu einer visuellen und quantitativen Repräsentation numerischer Größe, fehlt der rechten Hemisphäre eine verbale Zahlenrepräsentation sowie die Fähigkeit zu exakten Berechnungen.

Einzelfallstudien an Patienten mit cerebralen Läsionen führten zu einem noch differenzierteren Bild der Zahlenverarbeitung. So konnte die Patientin HY keine Zahlen lesen (und las z. B. 5 als „sieben“), aber dennoch die Entscheidung treffen, welche von zwei arabischen Ziffern die größere war (McCloskey, 1986). Sie konnte also durchaus Zahlen identifizieren und hatte Zugang zur Information der entsprechenden Quantität. Somit war HY selektiv darin beeinträchtigt, numerische Größen verbal zu äußern – ein Hinweis auf die enorme Dissoziation zwischen Zahlen einerseits und Sprache andererseits sowie einen hohen Grad an Modularität.

Die Rechenfähigkeit ist vor allem mit neuronalen Regelkreisen im inferioren Parietallappen in Zusammenhang gebracht worden. Läsionen in dieser Region können zu hochspezifischen Beeinträchtigungen in der Repräsentation oder Manipulation von Zahlen führen. Dabei weisen viele Läsionsstudien auf eine Schlüsselrolle des linken Gyrus angularis hin (z. B. Boller & Grafman, 1985). In diesem Sinne nehmen Dehaene und Cohen (Dehaene, 1996; Dehaene & Cohen, 1995) bei Patienten mit Läsionen im inferioren Parietallappen und Akalkulie vom Gerstmann-Typus eine categoriespezifische Beeinträchtigung der semantischen Repräsentation und eine Manipulation von Quantitäten an. Gerstmann (1940) beschrieb das häufige gemeinsame Auftreten von Agraphie, Akalkulie, Fingeragnosie und Links-Rechts-Verwechslung bei Patienten mit parietalen Läsionen. Er bezeichnete diese Tetrade von Defiziten als Gerstmann-Syndrom. Bei Akalkulie vom Gerstmann-Typus liegt die Läsion typischerweise im intraparietalen Sulcus direkt hinter der Gyrus angularis (Brodmann Area 39). In vielen Fällen führen derartige Läsionen dazu, dass simple Operationen wie $2+2$, $3-1$ oder 3×9 nicht berechnet werden können. Die Defizite scheinen hier eher auf einer abstrakten Stufe des Zahlenverständnisses vorzuliegen. Die Patienten können weiterhin Zahlen verstehen sowie laut lesen und haben Rechenschwierigkeiten unabhängig davon, ob die Zahlen visuell oder akustisch präsentiert werden und ob sie verbal oder schriftlich antworten sollen (Dehaene & Cohen, 1997; Takayama, Sugishita, Akiguchi & Kimura, 1994). Bei anderen Patienten ist wiederum ausschließlich die Fähigkeit beeinträchtigt, Zahlen zu benennen, während sie beim Rechnen keinerlei Probleme zeigen (Cipolotti & Butterworth, 1995). Diese Doppeldissoziation weist darauf hin, dass das Benennen von Zahlen nicht notwendigerweise einen Zugang zur entsprechenden semantischen Kodierung erfordert.

Auch können spezifische Fähigkeiten erhalten bleiben: So schilderten Dehaene und Cohen (1997) den Patienten MAR, der weiterhin die Ergebnisse einfacher Multiplikationsaufgaben wie $2 \times 3 = 6$ oder $3 \times 9 = 27$ abrufen konnte, die er auswendig wusste. Er war spezifisch beeinträchtigt bei Berechnungen, die nicht im mechanischen Gedächtnis (siehe 1.1.5.5 bzw. 1.3.2.5) gespeichert waren, sondern eine interne Manipulation von Quantitäten erforderten, selbst wenn sie so einfach waren wie die Subtraktion $3 - 1$ oder die Entscheidung, ob 5 größer ist als 6. Aus diesen Ergebnissen schlossen Dehaene und Cohen, dass MARs Verständnis des Zahlenstrahls beeinträchtigt war, sowie dass der inferiore Parietallappen eine interne analoge Repräsentation numerischer Größen enthält.

Bezüglich der Lokalisation der unterschiedlichen Zahlenformate nehmen Dehaene und Cohen (1995; siehe Abbildung 10) an,

- dass die inferioren occipitotemporalen Regionen beider Hemisphären am visuellen Identifizierungsprozess arabischer Zahlen, am Größenvergleich sowie an Rechenprozessen mit mehrstelligen Zahlen beteiligt sind,
- dass die linken perisylvanischen Sprachareale verbale Zahlenrepräsentationen enthalten, wo Zahlen als syntaktisch organisierte Wortsequenzen enkodiert sind. Dabei wird postuliert, dass mechanisch gelernte arithmetische Zusammenhänge verbal als kurze Sätze gespeichert werden (z. B. zwei mal drei, sechs),
- dass die inferioren parietalen Areale beider Hemisphären an der analogen Repräsentation von Zahlen Anteil haben („Zahlenstrahl“). Numerische Relationen, wie dass 9 größer ist als fünf, sind hier repräsentiert.

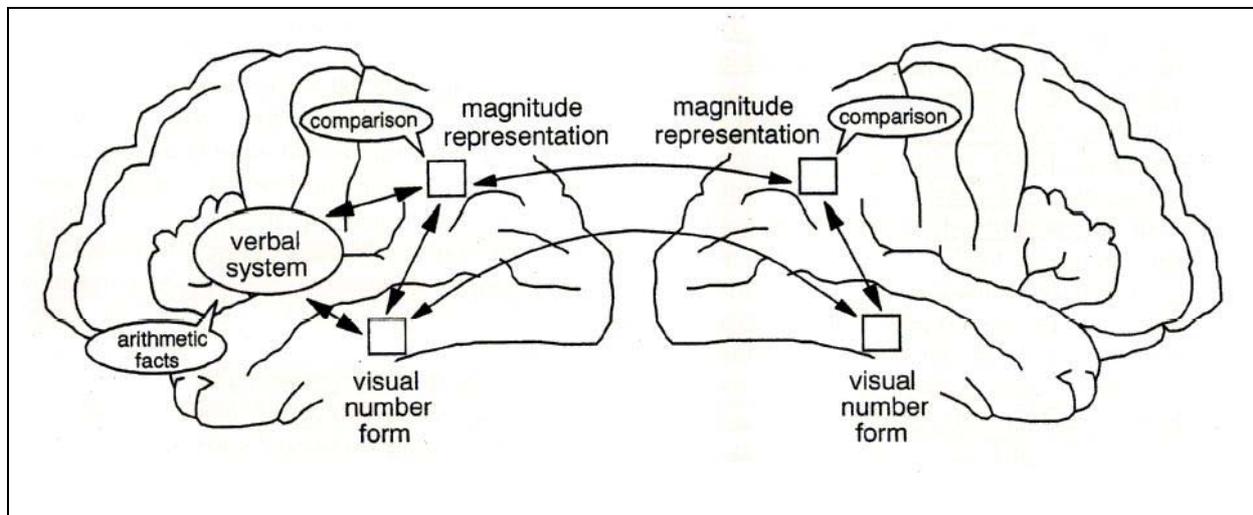


Abbildung 10: Schematische Darstellung der neuroanatomischen Substrate des Triple-Code-Modells der Zahlenverarbeitung (Aus: Dehaene, 2000)

1.3.3.3 Neuroanatomische Substrate verschiedener Rechenoperationen

Zahlreiche Läsionsstudien weisen auf eine Dissoziation zwischen dem Größenvergleich zweier Zahlen und dem Rechnen hin (z. B. Dehaene & Cohen, 1991; Grafman, Kampen, Rosenberg, Salazar & Boller, 1989): Auch wenn die Patienten Zahlen weder benennen noch addieren, subtrahieren oder multiplizieren konnten, so konnten sie doch die Entscheidung treffen, welche von zwei Zahlen die Größere war. Auch ähnliche arithmetische Operationen wie Subtraktion und Multiplikation können selektiv beeinträchtigt sein (Dagenbach & McCloskey, 1992; Delazer & Benke, 1997).

Das Triple-Code-Modell der Zahlenverarbeitung (siehe oben) macht spezifische Vorhersagen bezüglich der neuroanatomischen Dissoziation unterschiedlicher Rechenoperationen:

- Die Benennung einer Zahl aktiviert einen direkten, asemantischen Weg der Transkodierung der visuellen Ziffer in das linkshemisphärische verbale System, ohne die analoge Repräsentation numerischer Quantitäten zu involvieren. Daher wird kaum eine Aktivierung im parietalen Cortex beider Hemisphären zu beobachten sein.

- Der Größenvergleich zweier Zahlen ist abhängig von der analogen Kodierung der Zahlen auf einem „Zahlenstrahl“ und aktiviert ein bilaterales inferiores parietales Netzwerk. Hier sagen Läsionsstudien eine starke rechtshemisphärische Aktivierung voraus.
- Subtraktion, welche zumeist nicht auswendig gelernt wird und durch parietale Läsionen selektiv beeinträchtigt werden kann, ist stark von einer quantitativen Repräsentation abhängig und führt so ebenfalls zu einer bilateralen Aktivierung des „Zahlenstrahls“ im inferioren Parietallappen.
- Multiplikation, welche als mechanisch überlernte verbale Assoziation erinnert wird, aktiviert die linkshemisphärischen Sprachareale und führt daher zu einer deutlich stärkeren Lateralisierung als Subtraktion. Dabei ist nach Dehaene und Cohen (1997) eine cortico-striato-thalamo-corticale Schleife an der Speicherung und am Abruf auswendig gelernter verbal repräsentierten arithmetischen Wissens beteiligt.

Zu den neuronalen Korrelaten der unterschiedlichen Rechenarten existieren zahlreiche Untersuchungen:

Roland und Friberg (1985) gaben Versuchspersonen die Aufgabe, wiederholt drei von einer gegebenen Zahl zu subtrahieren und fanden entsprechend der Annahme des Triple-Code-Modells eine bilateral erhöhte Aktivierung im inferioren Parietallappen sowie im präfrontalen Cortex. Dieses Ergebnis wurde vielfach repliziert (z. B. Burbaud et al., 1995; Rueckert et al., 1996). Da die serielle Subtraktionsaufgabe hohe Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis stellt, blieb unklar, ob diese Aktivierung tatsächlich zahlenverarbeitungsspezifisch ist. In einer Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Studie zur Multiplikation und zum Größenvergleich von Zahlenpaaren mit keinen oder sehr geringen Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis fanden Dehaene und Mitarbeiter (1996) jedoch ebenfalls eine bilaterale parietale Aktivierung. Inouye und Mitarbeiter (Inouye, Shinosake, Iyama & Matsumoto, 1993) konnten dieses Ergebnis in einer EEG-Studie replizieren: Sie konnten anhand einer seriellen Subtraktionsaufgabe zeigen, dass die tempo-parieto-zentrale Aktivierung rechen-spezifisch, die frontale Aktivierung jedoch unspezifisch war und bei verschiedenen mentalen Aufgaben, nicht nur beim Rechnen, auftritt.

Dehaene und Mitarbeiter (1996) fanden in der oben genannten PET-Studie zur Untersuchung der cerebralen Aktivierung während Multiplikation und Größenvergleich im Verlauf beider Aufgaben eine bilaterale Aktivierung des occipitalen Cortex (visueller Identifizierungsprozeß der Zahlen), der linken Gyrus praecentralis und des supplementär motorischen Areals. Multiplikation führte zudem zu einer Aktivierung des linken Gyrus fusiformis und der linkshemisphärischen Sprachareale. Im Gegensatz zu den Vorhersagen des Triple-Code-Modells zeigte sich eine Aktivierung des linken und rechten inferioren Parietallappens während der Multiplikation, nicht aber während des Größenvergleichs, wobei die Studie jedoch auch gravierende Mängel bezüglich der Kontrollbedingung aufwies. Pinel und Mitarbeiter (1999) konnten hingegen in ihrer fMRI (functional magnetic resonance imaging) -Studie zum Größenvergleich die Rolle des inferioren Parietallappens bei der internalen Manipulation numerischer Größen bestätigen.

Kiefer und Dehaene (1997) belegten in ihrer Studie, dass die EKP-Effekte, wenngleich stets bilateral, während der Multiplikation ausgeprägter über dem linken inferioren Parietallappen waren, während des Größenvergleichs zweier Zahlen hingegen über rechtshemisphärischen parietalen Arealen.

Chochon und Mitarbeiter (Chochon, Cohen, Van De Moortele & Dehaene, 1999) replizierten dieses Ergebnis in einer fMRI-Studie und fanden Hinweise auf eine partielle funktional-neuroanatomische Dissoziation der verschiedenen numerischen Operationen (Zahlen benennen, Größenvergleich, Multiplikation, Subtraktion). Unter allen Bedingungen fand sich eine Aktivierung eines bilateralen parietalen, frontalen und anterior cingulären Netzwerks. Insgesamt folgte das Auftreten zusätzlicher Aktivierungen einem streng hierarchischen Muster: Benennen < Größenvergleich < Multiplikation < Subtraktion. Relativ zur Kontrollbedingung (Lesen von Buchstaben) führte der Vergleich zweier Zahlen zu einer größeren Aktivierung in rechtshemisphärischen inferioren parietalen Arealen. Relativ zum Größenvergleich zweier Zahlen führte Multiplikation zu einer größeren Aktivierung in linkshemisphärischen parietalen Arealen. Die Annahme einer stärkeren Aktivierung des bilateralen inferioren Parietallappens während Subtraktion und einer linkshemisphärischen Lateralisierung mit einer Aktivierung der perisylvanischen Sprachareale während Multiplikation konnte nur teilweise bestätigt werden: Zwar zeigte sich bei Subtraktion eine deutliche bilaterale Aktivierung im intraparietalen Sulcus, auch zeigte sich während Multiplikation eine starke linkshemisphärische Lateralisierung, es fehlte aber die vorhergesagte Aktivierung der Sprachareale während Multiplikation.

Auch Pesenti und Mitarbeiter (Pesenti, Thioux, Seron & DeVolder, 2000) fanden keine Aktivierung der linkshemisphärischen Sprachareale beim direkten Abruf der Ergebnisse einfacher überlernter Additionsaufgaben. Sie nehmen an, dass sich die Lösungsstrategien bei Additionsaufgaben von denen bei Multiplikationsaufgaben unterscheiden und stärker von einer analogen Repräsentation numerischer Größe abhängen.

Stanescu-Cosson und Mitarbeiter (2000) untersuchten die cerebralen Netzwerke, die durch exakte bzw. approximative Berechnungen aktiviert werden. Unter der exakten Bedingung bekamen die Versuchspersonen Aufgaben gestellt (z. B. $4 + 5$) und bekamen zwei mögliche Ergebnisse (z. B. 9 vs. 7) präsentiert. Dann hatten sie per Tastendruck die richtige Antwort anzuzeigen. Unter der approximativen Bedingung wurden zwei Zahlen als mögliche Antworten angegeben (z.B. 8 vs. 3) und die Versuchspersonen hatten wiederum per Tastendruck anzugeben, welche Lösung der korrekten Antwort näher kam. Im fMRI zeigte sich bei Approximation eine stärkere Aktivierung bilateral intraparietaler, präzentraler, dorsolateraler und superior präfrontaler Regionen. Bei den exakten Berechnungen fand sich hingegen eine stärkere Aktivierung im linken inferioren präfrontalen Cortex sowie in bilateral angulären Regionen. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass mechanisch gelernte Rechenarten (hier: Addition kleiner Zahlen) eher zu linkslateralisierten Aktivierungen führen, da die Ergebnisse vermutlich in verbalem Format direkt abgerufen werden. Approximation und Berechnungen mit großen Zahlen führen hingegen zu stärkeren Aktivierungen im linken und rechten Parietallappen, der mutmaßlich Zahlen in nichtverbalem Format analoger Quantitäten enthält.

Dieses Resultat stimmt mit den Untersuchungsergebnissen von Dehaene und Mitarbeitern (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu & Tsikvin, 1999) überein: Im linkshemisphärischen inferioren Frontallappen scheinen danach sprachbasierte Tabellen mit Ergebnissen von exakten Berechnungen enthalten zu sein, im bilateralen Parietallappen eine sprachunabhängige Repräsentation numerischer Größe als Voraussetzung für Manipulation von Quantitäten und Approximation. Die im bilateralen Parietallappen aktivierten Regionen sind dabei an verschiedenen visuell-räumlichen und analog-mentalenen Transformationen beteiligt.

EKP-Studien konnten dieses Bild bestätigen: 216 ms nach Präsentation der Additionsaufgaben zeigte sich eine stärkere Negativierung über linkshemisphärischen inferioren frontalen Regionen unter der exakten Rechenbedingung. Nach 272 ms zeigte sich unter der approximativen Bedingung eine stärkere Negativierung über bilateralen parietalen Elektroden (Dehaene et al., 1999).

In zwei weiteren EKP-Studien konnte eine Aktivierung des Parietallappens während Zahlenverarbeitung beobachtet werden: Dehaene (1996) manipulierte die Schwierigkeit einer Aufgabe zum Größenvergleich, indem er die Distanz der zu vergleichenden Zahlen variierte. Kiefer und Dehaene (1997) veränderten die Schwierigkeit von Multiplikationsaufgaben, indem sie die Größe der Zahlen veränderten. In beiden Fällen modulierten die manipulierten Parameter nach ca. 200 ms die EKPs mit einer rechtshemisphärischen Lateralisierung beim Größenvergleich und einer linkshemisphärischen Lateralisierung während Multiplikation.

Zago und Mitarbeiter (2001) unterschieden bei exakten Berechnungen weiter eine Komponente des direkten Abrufs von einer Komponente des Berechnens; sie nahmen an, dass diese Komponenten von unterschiedlichen Funktionsbereichen (verbal versus visuell-räumlich) abhingen.

Die Ergebnisse einfacher einstelliger Rechenaufgaben (z. B. Addition und Multiplikation einstelliger Zahlen) werden nach Ashcraft (1992) als deklaratives Wissen im semantischen Gedächtnis gespeichert und ohne weitere Berechnungen direkt abgerufen. Schwierige Berechnungen (z. B. Multiplikation zweistelliger Zahlen) stellen hingegen hohe Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis bezüglich Speicherung und Manipulation der Zahlen sowie Auswahl und Anwendung der richtigen Lösungsstrategie.

Die Hypothese, dass faktisches arithmetisches Wissen in verbalem Format gespeichert wird und somit die klassischen Sprachareale der linken Hemisphäre wie den inferioren frontalen Gyrus (Broca), den posterioren Bereich des superioren und des mittleren temporalen Gyrus (Wernicke) sowie die Basalganglien und die thalamischen Kerne aktiviert (wie dies von Dehaene (1992) und diversen seine Hypothese stützenden Untersuchungen postuliert wird (so Dehaene et al., 1996; Delazer, Girelli, Semenza & Denes, 1999)), findet sich, wie bereits beschrieben, in anderen Studien mit bildgebenden Verfahren nicht bestätigt (Chochon et al., 1999; Dehaene et al., 1996; Pesenti et al., 2000; Rickard et al., 2000).

1.3.3.4 *Automatisierung*

Während uns beim Rechnen das Ergebnis und dessen etwaige Artikulation bewusst ist, ist der Abruf des Ergebnisses einfacher Rechenaufgaben (zumindest potentiell) automatisiert. Einige Experimente haben den Übergang von bewussten zu automatisierten Prozessen durch Übung bei der Multiplikation einstelliger Zahlen (single digit mental multiplication, SDMM) untersucht. So wurden u. a. zu Übungs- und Transfereffekten sowie deren hirnhysiologischen Korrelaten zahlreiche Experimente durchgeführt (Bourne, 2001; Pauli et al., 1996; Pauli et al., 1994).

Es zeigte sich, dass das Training von SDMM hochspezifisch für die geübten Aufgaben ist; es treten keine Transfereffekte auf. Durch Übung ergab sich – gemäß dem *power law of practice* (Newell & Rosenbloom, 1981) – eine schnellere Reaktionszeit, welche den Übergang von bewusster zu automatisierter Antwortgenerierung widerspiegelt. Dabei ist jede Aufgabe, unabhängig von der Größe des Produkts, langsamer in der Lösung bei der Beteiligung bewusster Prozesse.

Die ereigniskorrelierten Potentiale (EKPs) bei mentaler Arithmetik waren charakterisiert durch einen späten positiven Komplex mit maximaler Amplitude bei ca. 300 ms, gefolgt von einer langsamen Positivierung. Es ergaben sich spezifische Veränderungen der EKP-Charakteristika durch Übung: Bewusste, kontrollierte Prozesse werden mit Funktionen des Frontallappens in Verbindung gebracht (Posner & Raichle, 1994). Mit dem Training mentaler Arithmetik sollte parallel zur Automatisierung eine Veränderung der frontalen hirnelektrischen Aktivität verbunden sein - ein Ergebnis, das sich in den Studien bestätigte (Pauli et al., 1996; 1994): Die Amplitude des späten positiven Komplex war bei F3, F4 und Fz verringert, nicht jedoch bei C3, C4, Cz sowie P3, P4 und Pz. Die Annahme, dass die in vielen Studien berichtete temporo-zentral-parietale Aktivierung während arithmetischer Aufgaben (Inouye et al., 1993) mit der Automatisierung des Antwortabrufs konstant bleibt, fand sich in den Experimenten somit ebenfalls bestätigt. Frontale Hirnaktivität während mentaler Arithmetik scheint vornehmlich mit bewussten Rechenprozessen verbunden, während die parietale Aktivierung vor allem den Gedächtnisabruf charakterisiert.

1.3.3.5 Expertenrechnen

Pauli und Mitarbeiter (1996) untersuchten in dem unter 1.3.3.4 dargestellten Versuchsaufbau einen Rechenkünstler, der seit vielen Jahren mindestens eine Stunde täglich Kopfrechnen übte. Er zeigte über alle Aufgaben hinweg eine signifikant kürzere Lösungszeit und keine Übungseffekte. Er wies ferner größere Amplituden in den früheren ereigniskorrelierten Potentialen und eine geringere Negativität in den späteren Stufen der Informationsverarbeitung auf (Pauli et al., 1996; siehe Abbildung 11) – ein Hinweis darauf, dass für herausragende kognitive Leistungen frühe, schnelle, automatisierte Verarbeitungsschritte von besonderer Bedeutung sind (siehe 1.1.8.3).

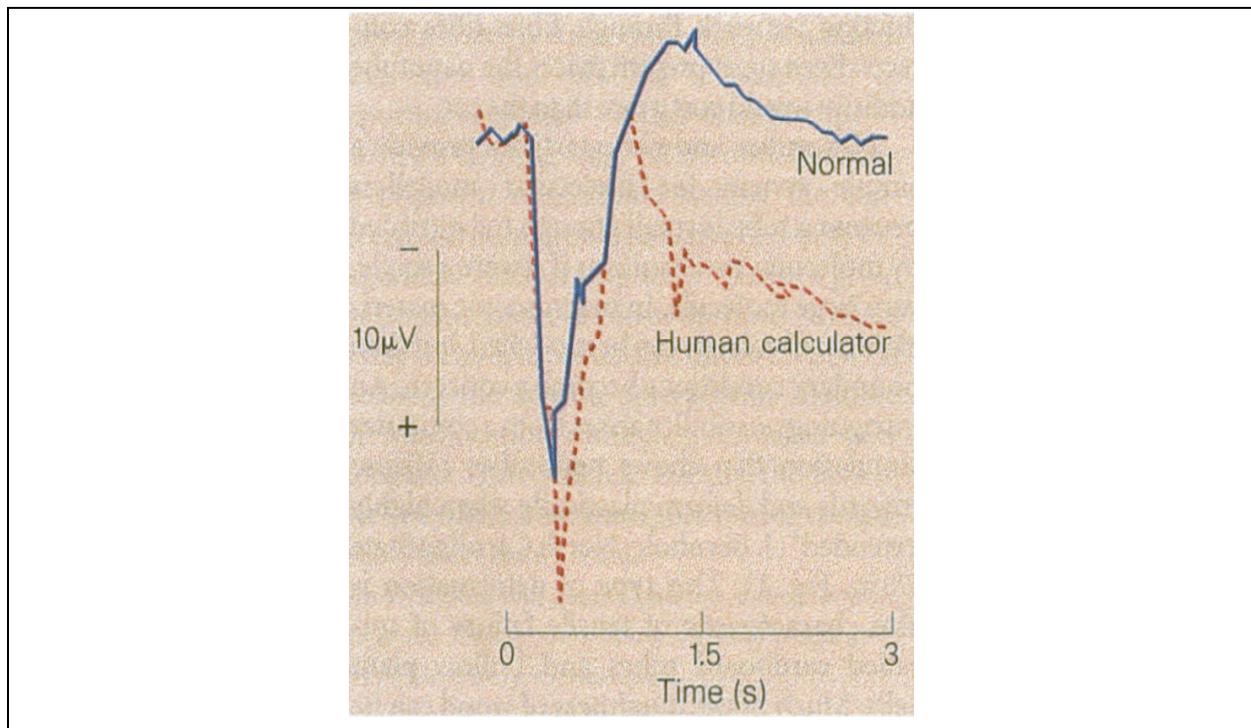


Abbildung 11: EKPs während des Rechnens (Aus: Pauli et al., 1996)

Zago und Mitarbeiter (2001) untersuchten die neuronalen Korrelate einfacher und komplexer arithmetischer Berechnungen. Sie gaben ihren Versuchspersonen einfache einstellige Multiplikationsaufga-

ben (Bedingung des direkten Gedächtnisabrufs) einerseits und komplexe zweistellige Multiplikationsaufgaben (Bedingung des Berechnens) andererseits.

Sie fanden unter der Bedingung des direkten Gedächtnisabrufs bei einfachen Berechnungen entgegen der Annahme von Dehaene (1992) ebenfalls keine Aktivierung der perisylvanischen Sprachareale (siehe 1.3.3.3), sondern eine Aktivierung der linken anterioren Insula sowie des rechten cerebellären Cortex und damit von Regionen, die mit der Benennung von Bildern (Werkzeugen und Tieren (Etard et al., 1999; Martin, Wiggs, Ungerleider & Haxby, 1996)) in Zusammenhang gebracht wurden. Zudem zeigte sich in der linken Hemisphäre eine Aktivierung des Gyrus praecentralis, des anterioren Bereichs des Sulcus intraparietalis, des posterioren Bereichs des cerebellären Cortex sowie des rechten superioren occipitalen Gyrus. Zago und Mitarbeiter nehmen an, dass diese Areale ein Netzwerk repräsentieren, das dem Fingerzählen zugrunde liegt. Eine derartige Aktivierung der linken praезentralen Region und der linken Sulcus praecentralis zeigte sich bei zahlreichen Studien zum Rechnen (z. B. Addition, Pesenti et al., 2000; Multiplikation, Dehaene et al., 1996; Subtraktion, Rueckert et al., 1996). Unter der Bedingung der komplexen Berechnungen wurden zwei funktionelle Netzwerke aktiviert: Zum einen ein linkshemisphärisches parieto-frontales Netzwerk, um die mehrstelligen Zahlen in einem visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis zu halten. Zum anderen zeigte sich eine bilaterale Aktivierung der inferioren temporalen Gyri als Hinweis darauf, dass an der Lösungsstrategie mentale visuelle Bilder beteiligt sind.

Pesenti und Mitarbeiter (2001) untersuchten den gesunden 26jährigen Rechenkünstler RG, der seit seinem 21. Lebensjahr täglich eine bis vier Stunden Rechenaufgaben löste. Er vermochte z. B. siebte Potenzen oder fünfte Wurzeln zu bilden, verschiedene Schnellverfahren zur Lösung von komplexen Rechenaufgaben anzuwenden (z. B. 68×76 in nur sieben Schritten) und hatte diverse Tabellen von Quadrierungen und Wurzeln auswendig gelernt. Mittels PET wurde untersucht, welche Hirnregionen beim Rechnen eines solchen Experten im Vergleich zu einer Gruppe von Nicht-Experten beteiligt sind. In Übereinstimmung mit der Studie von Zago und Mitarbeitern (2001) fand sich während der Multiplikation und Quadrierung zweistelliger Zahlen bei RG wie bei der gesunden Kontrollgruppe eine Aktivierung eines ausgedehnten visuellen Verarbeitungssystems: die Aktivierung eines linkshemisphärischen parieto-superior-frontalen Netzwerks (Halten zweistelliger Zahlen im visuell-räumlichen KZG), eine Aktivierung bilateraler inferiorer temporaler Gyri (mentale visuelle Bilder) sowie des linken intraparietalen Sulcus und präzentralen Gyrus (damit etwa die Beteiligung eines Netzwerks, das der Bewegung von Fingern zugrunde liegt).

Das Expertenrechnen unterschied sich nicht in einer erhöhten Aktivierung von Prozessen, die auch in der Kontrollgruppe vorkommen, sondern in einer Aktivierung zusätzlicher Hirnregionen: Nur bei RG fand sich eine Aktivierung des episodischen Gedächtnisses (incl. rechtshemisphärische medial frontale und parahippocampale Gyri, rechter vorderer anteriorer cingulärer Gyrus). Pesenti und Mitarbeiter (2001) nehmen an, dass Experten einen Weg entwickeln, die unbegrenzte Speicherkapazität des Langzeitgedächtnisses auszunutzen, um so aufgabenrelevante Informationen wie Zwischenergebnisse oder die Abfolge verschiedener Rechenschritte aufrecht zu erhalten, die zur Lösung komplexer Aufgaben notwendig sind. Nicht-Experten seien hingegen auf die sehr begrenzte Gedächtnisspanne des Kurzzeitgedächtnisses angewiesen.

Butterworth (2001), der sich mit der Entstehung von Sonderbegabungen beschäftigt, verweist in diesem Zusammenhang auf die interessante Fragestellung, ob die Differenzierung zwischen herausragenden Fähigkeiten durch Training (wie bei RG) und herausragenden Leistungen, die bereits in sehr frühem Alter auftreten (wie bei einigen Savants) hierin ein neuronales Korrelat hätten: Bildet der Gebrauch des episodischen Gedächtnisses einen differenzierenden Faktor zwischen „Normalen“ und „Wunderkindern“?

1.3.3.6 *Neurophysiologie des Kalenderrechnens*

Bezüglich der neuronalen Korrelate des Kalenderrechnens liegen kaum Untersuchungen vor. Howe und Smith (1988) nehmen an, dass auch bei Kalenderrechnern rechtshemisphärische Funktionen beteiligt sind, zumal sie beim „Rechnen“ häufig mit räumlichen Vorstellungen operierten. Steinkopff (1973) fand bei der post mortem-Untersuchung eines männlichen Kalenderrechners (und zugleich musikalischen Savants) mit rechtshemisphärischer Epilepsie aber keinerlei makroskopische Veränderungen – wohl aber mikroskopische Unterschiede. So zeigte das Gehirn eine besonders klare Gliederung und Abgrenzung der Rindenschicht und eine deutliche Vergrößerung der Ganglienzellen in der V. Rindenschicht, besonders in temporalen Hirnregionen

Horwitz und Mitarbeiter (1965) beobachteten keinerlei Auffälligkeiten im EEG bei den Kalenderrechner-Zwillingen, fand aber einen größeren Anteil an REM-Schlaf.

Hinsichtlich der Möglichkeit einer hirnganischen Verletzung als Ursache der Savant-Fähigkeiten machten Bakwin und Bakwin (1972) folgende aufschlussreiche Beobachtung in Bezug auf die von Horwitz und Mitarbeitern (1965) untersuchten Kalenderrechner-Zwillinge: „It seems hardly likely that both of them could have sustained an injury to the brain in exactly the same area.“ Sie gehen eher von einer genetischen oder behavioralen Erklärung für die herausragende Leistung der Zwillinge aus.

Kernspintomographisch konnten keine einheitlichen morphometrischen Differenzen zwischen autistischen Kalenderrechnern und gesunden Kontrollpersonen, die auf Alter, Händigkeit und Geschlecht parallelisiert waren, festgestellt werden (Mannheim et al., 1992). Rumsey und Mitarbeiter (1992) entdeckten hingegen in einer funktionellen Studie zum Kalenderrechnen eine relative Erhöhung des kortikalen Blutflusses in temporalen und parietalen Regionen.

1.4 Hypothesen

Die in Tabelle 3 dargestellten Experimental- und Kontrollgruppen bieten die Möglichkeit, die Entstehung der bizarren Savant-Begabung des Kalenderrechnens zu untersuchen.

Ziel der Untersuchung ist es, die psychophysiologischen Korrelate des Kalenderrechnens als Savant-Begabung zu spezifizieren. Das Kalenderrechnen der autistischen Savants könnte aber auch eine erlernte Fähigkeit darstellen, wie sie jede Normalperson erwerben kann. Um den Faktor „Kalenderrechnen“ zu kontrollieren, wurden den autistischen Savant-Kalenderrechner (ASKR, EG_{SAV_KR}) gesunde Kalenderrechner (GKR, KG_{GES}) gegenübergestellt um zu überprüfen, was das Spezifische dieser Begabung als Savant-Fähigkeit darstellt. Da wir autistische Savants untersucht haben, besteht auch die Möglichkeit, dass eine autismusspezifische Informationsverarbeitung zur Entstehung dieser Begabung beiträgt. Daher wurde außerdem eine autistische Kontrollgruppe ohne Fähigkeit zum Kalenderrechnen untersucht (KG_{AUT}), um den Faktor Autismus zu kontrollieren. Schließlich nahm eine gesunde Kontrollgruppe (KG_{GES}) ohne Fähigkeit zum Kalenderrechnen an der Untersuchung teil, um die Summe beider Faktoren zu überprüfen.

Während die behavioralen Hypothesen vornehmlich ASKR und GKR betreffen (siehe 1.4.1), betreffen die Hypothesen zu den neuronalen Korrelaten des Kalenderrechnens auch Differenzierungen zwischen ASKR und allen Kontrollgruppen (siehe 1.4.2).

Tabelle 3: Die Experimental (EG)- und die Kontrollgruppen (KG)

		Faktor „Autismus“	
		ja	nein
Faktor „Kalenderrechnen“	ja	Autistische Savant-Kalenderrechner (EG_{SAV_KR})	Gesunde Kalenderrechner (KG_{KR})
	nein	Autistische Kontrollgruppe (KG_{AUT})	Gesunde Kontrollgruppe (KG_{GES})

1.4.1 Hypothesen zu den behavioralen Daten des Kalenderrechnens

Aus den unterschiedlichen behavioralen Erklärungsansätzen des Kalenderrechnens (siehe 1.3.2) gehen jeweils spezifische zu überprüfende Hypothesen hervor. Da sich diese verschiedenen Erklärungsansätze in der Literatur zum Teil konträr gegenüberstehen, schlägt sich dies auch in den abgeleiteten Hypothesen nieder, so dass sich einige Hypothesen direkt widersprechen. Auf der Basis der Ergebnisse dieser Studie können derartige Widersprüche geklärt werden, indem gezeigt wird, für welche Erklärungsansätze sich Evidenzen zeigen. Es wird von den im folgenden dargestellten Hypothesen ausgegangen:

Die in der Literatur untersuchten ASKR konnten selbst keine Erklärung abgeben, wie sie die Kalenderberechnungen durchführen, bzw. wie diese Fähigkeit entstanden war. Dies basierte bei einigen Fällen auf einer geringen Sprachfähigkeit, bei anderen auf der fehlenden Fähigkeit zur Introspektion (Horwitz et al., 1969; Rosen, 1981; Ho et al., 1991). Dabei bedeutet die Unfähigkeit, eine bestimmte Strategie explizit zu nennen, nicht, dass keine Strategie angewendet wird (siehe auch 1.3.2.7). Dies führt zur Formulierung der folgenden Hypothese zur Differenzierung zwischen GKR und ASKR:

Hypothese I – Explizite Aussagen von Kalenderrechnern (siehe 1.3.2.1)

Die ASKR zeigen im Gegensatz zu den GKR Schwierigkeiten, die ihrer Fähigkeit zugrundeliegenden Strategien sowie die Entstehung der Fähigkeit anzugeben.

Die enorm kurzen Antwortlatenzen von ASKR legen extrem schnelles Rechnen als trainierte Fähigkeit nahe. Obgleich alle bekannten Algorithmen zur Berechnung von Kalendertagen beträchtliche mathematische Fähigkeiten voraussetzen, schnitten die in der Literatur untersuchten ASKR bei Tests zur Prüfung arithmetischen Wissens zumeist schlecht ab (Horwitz et al., 1969; Young & Nettelbeck, 1994); damit ist derart schnelles Rechnen bei ASKR praktisch unmöglich. Auch die besonders gute Performanz mancher Kalenderrechner für einen bestimmten Zeitraum (Young & Nettelbeck, 1994) sowie die Fähigkeit zur Datumsreversion (Ho et al., 1991) sprechen dagegen, dass die Fähigkeit ASKR allein auf arithmetischen Berechnungen basiert (siehe 1.3.2.2). Diese Sachlage spiegelt sich in der folgenden Hypothese wider:

Hypothese II – Blitzschnelles Rechnen (siehe 1.3.2.2)

- Die ASKR zeigen im Vergleich zu GKR schwächere mathematischen Leistungen. Dies lässt es unwahrscheinlich erscheinen, dass ihre Fähigkeit auf komplizierten arithmetischen Berechnungen basiert.
- Die Fähigkeit ASKR zum Kalenderrechnen basiert nicht ausschließlich auf der Anwendung arithmetischer Formeln bzw. Algorithmen. Dies zeigt sich in kürzeren Reaktionszeiten als bei gesunden und autistischen Kontrollpersonen und insbesondere als bei GKR, welche als Hinweis auf die Anwendung anderer Strategien als bei GKR interpretiert werden können: ein derart rascher Gebrauch von Algorithmen bzw. ein derart schnelles Rechnen wäre bei ASKR nicht denkbar.
- Bei den ASKR gibt es einen Zeitraum, in dem ihre Leistungen (Fehlerrate, Reaktionszeit) besonders gut sind. Dies ist ein Hinweis, dass ihre Leistung nicht ausschließlich auf Rechenprozessen basiert.

Ein herausragendes Langzeitgedächtnis wird sowohl als Kennzeichen von Savants im allgemeinen angenommen (Goodman, 1972), als auch in zahlreichen Fallbeschreibungen von Savant-Kalenderrechnern betont (z. B. Horwitz et al., 1969; Rosen, 1981; Young & Nettelbeck, 1994). So zeigten sie z. B. ein herausragendes Gedächtnis für Geburtsdaten, besondere Ereignisse oder Sportergebnisse, schnitten aber gleichzeitig in gängigen Gedächtnistests schlecht ab (z. B. Rosen, 1981). Dies folgende Formulierung betrifft das besondere Langzeitgedächtnis:

Hypothese III – Langzeitgedächtnis (siehe 1.3.2.4)

- Die ASKR verfügen über ein besonders gutes assoziatives Langzeitgedächtnis, welches entscheidend zu dieser Savant-Begabung beiträgt: Sie zeigen auch in anderen Bereichen außerordentliche Gedächtnisleistungen (z. B. Wetter, Ereignisse).

Das von Horwitz und Mitarbeitern (1965) vorgeschlagene mechanische Gedächtnis (rote memory, siehe 1.1.5.5 bzw. 1.3.2.5) ist eine der vorherrschenden Hypothesen zur Erklärung des Kalenderrechnens. Zahlreiche Daten sprechen für mechanische Gedächtnisleistungen als eine zugrundeliegende Kapazität von Kalenderrechnern (z. B. Hill, 1975; Young & Nettelbeck, 1994; Norris, 1990). Auch bestimmte Charakteristika der Genauigkeit von Kalenderrechnern sprechen für die Theorie des *rote memory*: O'Connor und Hermelin (1984) fanden, dass Antwortlatenzen und Fehlerraten bei Savants linear und signifikant abnahmen, je näher das Datum an der Gegenwart war, was sie als deutlichen Hinweis auf die Ansammlung einfacher Datums-Tag-Assoziationen interpretierten. Aus der Annahme herausragender mechanischer Gedächtnisfähigkeiten im Spezialgebiet des Kalenderrechnens als Teilbereich besonderer Langzeitgedächtnisleistungen (siehe Hypothese III) leiten sich die folgende Differenzierung zwischen ASKR und GKR und die folgenden Annahmen bezüglich der Charakteristika von Fehlerrate und Reaktionszeit ab:

Hypothese IV – “Rote memory” (siehe 1.3.2.5)

Bestimmte Charakteristika der Leistungen von ASKR sprechen für ein mechanisches Gedächtnis als zugrundeliegende Kapazität: Verglichen mit den GKR, bei denen die Fähigkeit mit regelbasierten Strategien und arithmetische Berechnungen erklärbar ist,

- zeigen die ASKR bessere Leistungen als die GKR in der Vergangenheit und in der Gegenwart (Fehlerrate, Reaktionszeit)
- zeigen die ASKR keine besseren Leistungen als die GKR in der Zukunft (Fehlerrate, Reaktionszeit).

Im Gegensatz zu den GKR

- zeigen ASKR bei Daten der Zukunft schlechteren Leistungen als bei Daten der Gegenwart
- nehmen bei den ASKR für Daten der Vergangenheit Antwortlatenzen und Fehlerrate ab, je näher das Datum an der Gegenwart ist.

Der Annahme, dass die Fähigkeit zum Kalenderrechnen auf der Ansammlung einfacher Datums-Tag-Assoziationen basiert (siehe Hypothese IV), steht die Meinung der Anwendung einer Vielzahl von auf den Ordnungsprinzipien des Gregorianischen Kalenders basierenden Regeln gegenüber (siehe 1.3.2.6). Auch für diesen Erklärungsversuch liegen Evidenzen vor (z. B. Hermelin & O'Connor, 1986;

Young & Nettelbeck, 1994; Ho et al., 1991), wobei davon ausgegangen wird, dass in Abhängigkeit vom Berechnungszeitraum (Vergangenheit versus Zukunft) mechanische Gedächtnisleistungen oder die Anwendung regelbasierter Strategien dominieren (Hermelin & O'Connor, 1986). Neben der Annahme, dass die ASKR im Gegensatz zu den GKR Schwierigkeiten zeigen, diese Regeln zu explizieren (siehe Hypothese I, Hypothese VI), wird die folgende Differenzierung zwischen ASKR und GKR denkbar: Die Leistung zum Kalenderrechnen basiert bei ASKR und GKR auf einer unterschiedlichen Konstellation aus Gedächtnisfertigkeiten und der Anwendung regelbasierter Strategien: Während bei den ASKR in Abhängigkeit vom Berechnungszeitraum verstärkt mechanische Gedächtnisfertigkeiten dominieren, dominiert bei den GKR vermehrt die Anwendung regelbasierter Strategien. Diese Annahme spiegelt sich in der Formulierung der folgenden Hypothese wider:

Hypothese V – Regelbasierte Strategien (siehe 1.3.2.6)

- Die GKR beherrschen mehr Regeln und Strukturen als die ASKR.
- Die GKR wenden mehr regelbasierte Strategien an als ASKR.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob das Wissen solcher Regularitäten bei ASKR implizit oder explizit ist, wobei der Gebrauch von Strategien und Regularitäten nicht impliziert, dass sie explizit verbalisiert werden können (siehe 1.3.2.7): Während die in der Literatur untersuchten ASKR nicht in der Lage waren, ihre Strategien zu verbalisieren (Horwitz et al., 1969; Rosen, 1981; Ho et al., 1991; siehe Hypothese I) und Schwierigkeiten zeigten, die Regularitäten des Kalenders explizit zu nennen, zeigte sich dennoch an ihrem Antwortverhalten, dass sie die Regeln implizit anwendeten (Hermelin & O'Connor, 1986). Dies führt zur nachstehenden Hypothese bezüglich einer weiteren Differenzierungsmöglichkeit zwischen GKR und ASKR:

Hypothese VI – Implizites – explizites Wissen (siehe 1.3.2.7)

- Im Gegensatz zu den GKR sind die ASKR nicht in der Lage, ihre Strategien sowie die Regularitäten des Kalenders explizit zu verbalisieren. Dennoch zeigt sich in ihrem Antwortverhalten, dass sie solche Strategien und Regularitäten implizit nutzen.

Der Gebrauch von Referenzdaten, von denen weitergehende Berechnungen ausgehen, ist gut, wenn auch nicht widerspruchsfrei, empirisch abgesichert (siehe 1.3.2.8). Rosen (1981) fand, dass Daten des Monats Dezember schneller beantwortet werden als die anderer Monate, was diesen Monat als wichtigen Referenzpunkt wahrscheinlich macht. Diese Annahme fand in der Untersuchung von Hill (1975) Unterstützung. Die Ergebnisse von Young und Nettelbeck (1994) zeigten hingegen keine Hinweise, dass die von ihnen untersuchten Kalenderrechner Referenzdaten gebrauchten; auch stellt die Fähigkeit vieler Kalenderrechner zur Datums-Reversion (Ho et al., 1991) die Rolle von Referenzdaten in Frage.

So soll zunächst überprüft werden, ob Referenzdaten angewendet werden, wobei dies gleichfalls von GKR wie von ASKR angenommen werden kann. So soll die Art mutmaßlicher Referenzdaten weiter spezifiziert und das Ergebnis von Rosen (1981) überprüft werden.

Hypothese VII – Referenzdaten (siehe 1.3.2.8)

- Reaktionszeit bzw. Fehlerrate sind bei GKR und ASKR in Abhängigkeit bestimmter Kalendervariablen unterschiedlich hoch bzw. zeigen einen linearen Zusammenhang zu bestimmten Kalendervariablen (Jahr; Monat; Monats-7-Tage-Sektionen; Monats-10-Tage-Sektionen).
- Daten des Monats Dezember werden bei GKR und ASKR schneller beantwortet als die für andere Monate bzw. es zeigt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Variablen „Monat“ und der Reaktionszeit.

Die Literatur zum Savant-Syndrom weist übereinstimmend auf die Rolle der Übung im Zusammenhang mit der Entstehung von Savant-Fähigkeiten hin (siehe 1.1.5.2). Auch bezogen auf das Kalenderrechnen ist die Bedeutung des Übens stark diskutiert worden (siehe 1.3.2.9). Dabei stehen sich zwei konträre Meinungen gegenüber: Während Kelly und Mitarbeiter (1997) behaupten, dass die Rechenleistungen ausschließlich durch konstante Wiederholung und Übung zu erklären seien, wie sie auch von Normalpersonen nach 20 bis 30 Stunden Übung erbracht werden können, spricht das frühe Auftreten der Savant-Fähigkeit (Miller, 1987; Young & Nettelbeck, 1994) sowie ihre Stabilität (O'Connor & Hermelin, 1992) dagegen, dass ihr Ursprung in intensivem Training zu sehen ist. Die direkte Gegenüberstellung GKR und ASKR bietet die Möglichkeit, den Widerspruch der gegensätzlichen Standpunkte zu klären. Es wird von den folgenden Hypothesen ausgegangen:

Hypothese VIII – Übung (siehe 1.3.2.9)

- Übung stellt bei ASKR eine notwendige, dennoch keine hinreichende Bedingung beim Erwerb der Fähigkeit des Kalenderrechnens dar.
- Die von Normalpersonen nach intensivem Training erbrachte Leistung ist nicht vergleichbar mit der Leistung von Savants: GKR erreichen in Reaktionszeit wie Fehlerrate nicht den Grad an Performanz der ASKR.

1.4.2 Hypothesen zu den neuronalen Korrelaten des Kalenderrechnens

Bislang liegt weder eine einheitliche Theorie zur Erklärung des Kalenderrechnens vor, noch wurde diese Fähigkeit zufrieden stellend neurophysiologisch untersucht. Daher sollen in dieser Untersuchung mittels MEG und kombiniertem EEG erstmals die neuronalen Korrelate des Kalenderrechnens bei autistischen Savants einerseits und geübten Experten andererseits spezifiziert werden. Dabei werden die hirnhysiologischen Daten der herausragenden Leistungen dieser beiden Gruppen außerdem mit denen einfacher Kalenderrechenaufgaben gesunder und autistischer naiver Laien verglichen. Es wird von den folgenden Hypothesen ausgegangen:

1.4.2.1 Zeit

Gemäß der Theorie von Snyder und Mitchell (1999) haben Savants Zugriff auf frühe, vorbewusste Schritte der IVA, während höhere exekutive Hirnfunktionen bzw. Verarbeitungsprozesse ausfallen (siehe 1.1.8.2). Birbaumer (1999) nimmt an, dass sich dies in größeren Amplituden früher und niedrigeren Amplituden später ereigniskorrelierter Potentiale widerspiegelt (siehe 1.1.8.3). Er argumentiert ferner, dass jeder den Zugriff auf frühe Informationsverarbeitungsschritte lernen kann und verweist dabei auf die Untersuchung eines Rechenkünstlers (Pauli et al., 1996), der Veränderungen in den frühen und späten EKPs aufweist. Auch Norris (1990) vermutet, dass beim Kalenderrechnen basale Verarbeitungsprozesse beteiligt sind (siehe 1.3.2.2). Bislang liegen keine neurophysiologische Untersuchungen vor, die diese Hypothese bezogen auf Savants überprüft haben. Die folgende Hypothese lässt sich formulieren:

Hypothese IX - Theorie von Snyder und Mitchell (1999); Birbaumer (1999)

ASKR und GKR zeigen beim Kalenderrechnen größere Amplituden früher (bis ca. 150 ms) und kleinere Amplituden später Potentiale als eine gesunde bzw. autistische Kontrollgruppe

1.4.2.2 Lokalisation

(1) Equipartition und Zahlenstrahl

Snyder und Mitchell (1999) nehmen an, dass herausragende Rechenleistungen von Savants und so auch das Kalenderrechnen auf der Fähigkeit zur „Equipartition“, der Unterteilung von Mengen in Gruppen gleichzahliger Elemente, basiert (siehe 1.3.2.10). Im Gehirn existieren nach Dehaene (1992) voneinander dissoziierte Netzwerke, die Zahlen unterschiedlicher Formate getrennt verarbeiten (siehe 1.3.3.1). Ein solches Netzwerk im inferioren Parietallappen enthält eine analoge Repräsentation numerischer Größe („Zahlenstrahl“), was ein Kandidat für die von Snyder und Mitchell vorgeschlagene Operation der „Equipartition“ sein könnte. So wäre zu vermuten, dass hier eine Manipulation des Zahlenstrahls stattfindet, die zur Berechnung der korrekten Wochentage beiträgt.

Hypothese X – Zahlenstrahl – Vergleich Kontrollaufgabe

Kalenderrechnen führt zu einer höheren Aktivierung des bilateralen inferioren Parietallappens [„Zahlenstrahl“] als die Kontrollaufgabe.

(2) Mechanisch überlerntes Wissen und Rechenprozesse

Gemäß den behavioralen Hypothesen (siehe 1.4.1) sind bei den ASKR neben Rechenprozessen (Hypothese II) mechanische Gedächtnisleistungen (Hypothese IV) an der Entstehung ihrer Fähigkeit beteiligt. Dies könnte sich in den folgenden neurophysiologischen Entsprechungen widerspiegeln:

Subtraktion und Größenvergleich zweier Zahlen sind stark von der quantitativen analogen Repräsentation numerischer Größe („Zahlenstrahl“) abhängig und führen so zu einer Aktivierung des bilateralen inferioren Parietallappens, u. a. des intraparietalen Sulcus direkt hinter dem Gyrus angularis (BA 39) (siehe 1.3.3.3). Approximative Berechnungen sowie Rechnen mit großen Zahlen führen ebenfalls zu einer bilateralen Aktivierung des Parietallappens, was sich in EKPs in einer stärkeren Negativierung nach ca. 270 ms in den parietalen Regionen beider Hemisphären als bei exakten Berechnungen spiegelt (Dehaene et al., 1999; ebd.). Einige Untersuchungen sowie Läsionsstudien weisen auf eine rechtshemisphärische Lateralisierung beim Größenvergleich hin (Chochon et al., 1999; Dehaene & Cohen, 1997).

Während bei diesen beiden Rechenarten kein verbales Wissen abgerufen wird, führen mechanisch gelernte Rechenarten wie einfache Multiplikations- und Additionsaufgaben zu einer linkshemisphärischen Lateralisierung (Chochon et al., 1999; Kiefer & Dehaene, 1997). Dabei liegen bezüglich der Annahme, dass mechanisch überlerntes Wissen in Form verbaler Assoziationen vorliegt und daher die linkshemisphärischen perisylvanischen Sprachareale aktiviert werden, widersprüchliche Evidenzen vor. Während in einigen Untersuchungen keine Aktivierung perisylvanischer Sprachareale beobachtbar war (Chochon et al., 1999), fanden Dehaene und Mitarbeiter (1999) in EKPs unter exakten Rechenbedingungen nach 216 ms eine stärkere Negativierung über linkshemisphärischen inferioren frontalen Regionen als unter approximativen Rechenbedingungen (siehe 1.3.3.3).

Bezogen auf das Kalenderrechnen ist basierend auf den neurophysiologische Korrelaten des Rechnens (siehe 1.3.3) denkbar, dass

- Berechnungen von Daten aus der Vergangenheit und aus der Gegenwart mechanisch überlernt sind und so in Form einer sprachlichen Assoziationstabelle gespeichert und direkt abrufbar sind (analog zu mechanisch überlernten Rechenarten wie Multiplikation und Addition);
- Berechnungen von Daten aus der Zukunft zu tatsächlichem Rechnen und damit einer Manipulation des Zahlenstrahls führen (analog zu Subtraktion und Größenvergleich).

So lassen sich für die ASKR die folgenden Hypothesen formulieren:

Hypothese XI – Daten der Vergangenheit und Gegenwart - Abruf

- Kalenderberechnungen von Daten der Vergangenheit sowie der Gegenwart führen bei ASKR zu einer Aktivierung des inferioren Parietallappens mit linkshemisphärischer Lateralisierung.
- Kalenderberechnungen von Daten der Vergangenheit sowie der Gegenwart führen bei ASKR zudem zu einer Aktivierung über linkshemisphärischen inferioren frontalen Regionen, was sich in einer stärkeren Negativierung nach ca. 216 ms als bei Daten der Zukunft spiegelt.

Hypothese XII – Daten der Zukunft - Rechnen

- Kalenderberechnungen von Daten der Zukunft führen bei ASKR zu einer Aktivierung des bilateralen inferioren Parietallappens bzw. zu einer rechtshemisphärischen Lateralisierung.

- Kalenderberechnungen von Daten der Zukunft führen bei ASKR zu einer stärkeren Negativierung nach ca. 272 ms über dem bilateralen Parietallappen als Daten der Gegenwart und Vergangenheit.

(3) Automatisierung

Gemäß den behavioralen Hypothesen (siehe 1.4.1) steht die Fähigkeit zum Kalenderrechnen bei autistischen Savants nicht unter der Kontrolle expliziter exekutiver Prozesse – so vermögen sie ihre Fähigkeit nicht explizit zu erklären (Hypothese I; Hypothese VI). Young und Nettelbeck (1994) nehmen an, dass beim Savant-Kalenderrechnen anfänglich kontrollierte, aufmerksamkeitsabhängige Verarbeitungsprozesse beteiligt seien, diese dann aber – entsprechend dem Lernprinzip von Fertigkeiten (Shiffrin & Schneider, 1977; Logan, 1985) - automatisieren (siehe 1.3.2.7). Dabei führt die Geschwindigkeit solcher automatisierter Prozesse dazu, dass ihre konstituierenden Elemente der bewussten Wahrnehmung unzugänglich sind (Shiffrin & Schneider, 1977; S. 160).

Pauli und Mitarbeiter (1996; 1994) konnten zeigen, dass die frontale Hirnaktivität beim Lösen arithmetischer Aufgaben vornehmlich mit bewussten Rechenprozessen in Zusammenhang stehen. Durch Training verringerte sich entsprechend der Automatisierung die Amplitude des Late Positive Complex (LPC) in frontalen Regionen (Verringerung der Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis), während die parietale Aktivität (Gedächtnisabruf) konstant blieb (siehe 1.3.3.4).

Diese Zusammenhänge führen zur Formulierung der folgenden Hypothese zur Differenzierung zwischen ASKR und den drei Kontrollgruppen:

Hypothese XIII – frontale Aktivierung

- Kalenderrechnen führt bei ASKR zu geringeren Amplituden des LPC in frontalen Regionen als bei GKR, gesunden und autistischen Kontrollpersonen.
- Bei ASKR ist die Amplitude des LPC am geringsten bei Daten der Gegenwart und am höchsten bei Daten der Zukunft.

1.4.2.3 Gruppen: Differenzierung ASKR und GKR

Savant-Fähigkeiten sind oft mit einer kompensatorischen rechtshemisphärischen Dominanz in Verbindung gebracht worden (siehe 1.1.6.2 bzw. 1.1.7.4). Diese Annahme spiegelt sich in der folgenden Hypothese wider:

Hypothese XIV – Lateralisierung

Kalenderrechnen führt bei Berechnungen von Daten aller Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) bei ASKR im Gegensatz zu GKR zu einer rechtshemisphärischen Lateralisierung.

Einige Autoren (siehe 1.1.7.4) nehmen an, dass Savant-Fähigkeiten bei Menschen mit Autismus auf einer pathologischen Entwicklung in temporalen und parietalen polysensorischen Arealen basieren. Rumsey und Mitarbeiter (1992) entdeckten in einer funktionellen Studie zum Kalenderrechnen eine relative Erhöhung des kortikalen Blutflusses in temporalen und parietalen Regionen (siehe 1.3.3.6). Die folgende Hypothese soll überprüft werden:

Hypothese XV – Temporale und parietale Regionen

Die Aktivierung in den primären sensorischen Arealen sowie den temporalen und parietalen polysensorischen Arealen unterscheidet sich beim Kalenderrechnen zwischen ASKR und den drei Kontrollgruppen.

2 METHODE

2.1 Versuchspersonen

Bei der Untersuchung der neurophysiologischen Korrelate des Kalenderrechnens wurden neben autistischen Savant-Kalenderrechnern auch gesunde Kalenderrechner sowie eine gesunde und eine autistische Kontrollgruppe untersucht (siehe 2.1.2).

Die Rekrutierung der autistischen Savants und damit sehr seltenen Patientengruppe sowie der autistischen Kontrollpersonen erfolgte zunächst über die Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie des Kindes- und Jugendalters am Universitätsklinikum Frankfurt (Leiter: Prof. Fritz Poustka). Die Arbeitsgruppe Prof. Poustkas, die die Genetik des Autismus untersucht, verfügt über eine große Datenbank, in der sich etwa 30 potentielle Kandidaten autistischer Savants befanden. Diese wurden von den Frankfurter Mitarbeitern angeschrieben und bei Interesse an uns überwiesen. Kontakte zu weiteren autistischen Savants kamen über den Verein „Hilfe für das autistische Kind“ sowie über Weiterempfehlungen zustande.

Die Studie wurde zunächst an erwachsenen Menschen mit Autismus, dann an Kindern im Alter von 12 bis 18 Jahren, und zuletzt auch an Kindern unter 12 Jahren durchgeführt. Aufgrund der niedrigen Prävalenz von autistischen Savants sowie des häufigen Vorkommens bei autistischen Kindern und Jugendlichen konnte auf deren Teilnahme nicht verzichtet werden. Die autistischen Kinder und Jugendlichen erhielten bei Teilnahme an der Untersuchung eine Belohnung in Form eines Spielzeugs. Alle untersuchten von Autismus betroffenen Menschen zeigten eine hohe intrinsische Motivation und damit auch Befriedigung bei der Testung ihrer Fähigkeiten. Die autistischen Savants bzw. ihre Familienangehörigen zeigten großes Interesse an der Rückmeldung der Ergebnisse und damit an der Dokumentation der (herausragenden) Fähigkeiten: Die gewünschte Information erhielten sie nach Abschluss der Studie.

Die gesunden Kalenderrechner wurde über einen Ausruf des Schweizer Fernsehens rekrutiert: Das Schweizer Fernsehen suchte für das Wissenschaftsjournal „Mensch-Technik-Wissenschaft“ Kalenderrechner, die sich bei der Teilnahme an unserer Untersuchung filmen ließen. Diejenigen GKR, die die Kriterien der Auswahl der Studienpopulation (siehe 2.1.1) erfüllten, wurden zur Untersuchung eingeladen.

Die gesunde Kontrollgruppe wurde durch Aushänge an der Universität sowie durch persönliche Suche rekrutiert. Die Teilnahme wurde mit 8 € pro Stunde vergütet.

2.1.1 Kriterien für die Auswahl der Studienpopulation

Autistische Savants und Kontrollpersonen sowie gesunde Kontrollpersonen und Kalenderrechner mussten die folgenden Kriterien erfüllen, um an der Untersuchung teilnehmen zu können:

2.1.1.1 Einschlusskriterien bei autistischen Savants und Kontrollpersonen

- Autismus (F 84.0), Asperger-Syndrom (F 84.5) oder "Pervasive developmental disorder not otherwise specified" (F 84.8) nach den deutschen Fassungen des „Autism Diagnostic Interview-Revised“ (ADI-R; Lord, Rutter & Couteur, 1994; Schmötzer, Rühl, Thies & Poustka, 1993) und des „Autism Diagnostic Observation Schedule“ (ADOS; Lord et al., 2000; Schmötzer, Rühl, Bölte, Feineis-Matthews & Poustka, 2003)
- IQ > 85 nach Hamburg-Wechsler-Intelligenztests für Erwachsene (HAWIE-R; Tewes, 1991) bzw. für Kinder (HAWIK-R, Tewes, 1983) oder der deutschen Fassung der „Standard Progressive Matrices“ (Raven, Court & Raven-Jr., 1979)
- Alter: zwischen 6 und 50 Jahren
- Einwilligungsfähigkeit: Bei erwachsenen Menschen mit Autismus ohne intellektuelle Einschränkung gegeben, bei Kindern wurde die Einwilligung der Erziehungsberechtigten eingeholt.
- Savant-Kalenderrechner: Der ADI-R enthält sechs Items (106 bis 111) zur Erfassung von Sonderbegabungen. Hier: Fähigkeit zum Kalenderrechnen nach Item 111 gegeben

2.1.1.2 Ausschlusskriterien bei autistischen Savants

- Einnahme von Antiepileptika
- Epileptischer Anfall vor weniger als 2 Jahren
- Metallische Gegenstände am Körper (z. B. Brille, Zahnspange, Piercing)
- Linkshändigkeit

2.1.1.3 Einschlusskriterien bei gesunden Probanden und Kalenderrechnern

- Alters-, geschlechts-, händigkeits- und intelligenzgematchte Probanden

2.1.1.4 Ausschlusskriterien bei gesunden Probanden und Kalenderrechnern

- Anamnestisches Vorliegen einer psychischen Erkrankung
- Einnahme von Psychopharmaka
- Metallische Gegenstände am Körper (siehe 2.1.1.2)
- Linkshändigkeit

2.1.2 Versuchspersonen

An der neurophysiologischen Untersuchung des Kalenderrechnens nahmen 30 Versuchspersonen teil, die sich gemäß des Versuchsplans (siehe 1.4) auf vier Gruppen aufteilten: Zunächst ASKR als Experimentalgruppe (EG_{SAV_KR} , siehe 2.1.2.1, $n = 4$) sowie GKR (KG_{KR} , siehe 2.1.2.2, $n = 3$) als Kontrollgruppe. Aufgrund der sehr geringen Prävalenz von Kalenderrechnern (siehe 1.1.2) waren diese beide Gruppen klein. Ferner wurden als Kontrollgruppen Menschen mit Autismus ohne Fähigkeit zum Kalenderrechnen (KG_{AUT} , $n = 6$) und gesunde Personen ohne Fähigkeit zum Kalenderrechnen (KG_{GES} , $n = 18$) untersucht (siehe 2.1.2.3 bzw. 2.1.2.4).

Da in unserer Studie die neurobiologischen Grundlagen herausragender Leistungen untersucht werden sollten, war zunächst sicherzustellen, dass die Gruppen nach Intelligenz parallelisiert waren, um so auszuschließen, dass Unterschiede in den Leistungen auf Unterschieden in der Intelligenz basierten (siehe 2.1.2.5 Parallelisierung). Die allgemeinen kognitiven Fähigkeiten wurden mit dem „Progressiven Matrizen-Test“ (Raven et al., 1979) erhoben. Der „Progressive Matrizen-Test“ dient der Feststellung der Allgemeinbefähigung im Sinne von Spearmans Faktor „g“.

Zur Charakterisierung der autistischen und gesunden Kalenderrechner wurde ein „Fragebogen zur genaueren Beschreibung der herausragenden Leistung des Kalenderrechnens“ [FraZuKal] entwickelt (siehe Appendix A 1). Dessen Ergebnisse werden im Abschnitt 3.1.3 des Ergebnisteils dargestellt; die genaue Beschreibung der einzelnen ASKR und GKR findet sich in Appendix A 4.

2.1.2.1 Autistische Savant-Kalenderrechner

Es nahmen drei männliche ASKR (EG_{SAVKAL}) an der Untersuchung teil: MS (Alter: 23;9 Jahre, IQ = 110), PH (Alter: 37; 9 Jahre, IQ > 124) und MR (Alter: 34;4 Jahre). Das mittlere Alter betrug 31.67 Jahre ($SD = 7.17$; Variationsbreite: 23 bis 37 Jahre). Von MR lag leider kein IQ-Wert vor, da aufgrund eines Missverständnisses versäumt wurde, den IQ zu erheben. Alle Teilnehmer erfüllten die Kriterien der Auswahl der Studienpopulation (siehe 2.1.1).

2.1.2.2 Gesunde Kalenderrechner

Die Gruppe der GKR bestand aus zwei Männern und einer Frau. Der Mittelwert des Alters betrug 48.5 Jahre ($SD = 12.07$; Variationsbreite: 34 bis 56 Jahre), der des IQ 120 ($SD = 6.93$; Variationsbreite: 112 bis 124).

2.1.2.3 Autistische Kontrollgruppe

Die autistische Kontrollgruppe bestand aus fünf Männern und einer Frau. Das mittlere Alter betrug 19.78 [22.42] Jahre ($SD = 9.66$ [10.37]; Variationsbreite: 9 [12] bis 34 Jahre). Der mittlere IQ betrug 119.17 [123.75] ($SD = 10.36$ [5.31]; Variationsbreite: 100 [117] bis 130). Die Kriterien der Auswahl der Studienpopulation können als erfüllt angesehen werden. Zwei autistische Kontrollpersonen konnten aufgrund unkorrigierbarer Artefakte nicht in die Analyse der MEG/ EEG-Daten aufgenommen werden. Die Stichprobenparameter für die Analyse der hirnpfysiologischen Daten sind in eckigen Klammern angegeben.

2.1.2.4 Gesunde Kontrollgruppe

Es nahmen 18 gesunde Kontrollpersonen an der Untersuchung teil, 16 [11] männliche und 2 weibliche. Der Mittelwert des Alters betrug 28.32 [29.10] Jahre ($SD = 12.34$ [14.31]; Variationsbreite: 8 bis 56

Jahre), der mittlere IQ betrug 119.76 [118.08] (SD = 6.66 [7.71]; Variationsbreite: 100 bis 124) Alle Personen erfüllten die Kriterien der Auswahl der Studienpopulation.

Für die Analyse der hirnpfysiologischen Daten mussten fünf gesunde Kontrollpersonen aufgrund unkorrigierbarer Artefakte ausgeschlossen werden. Die Werte in eckigen Klammern beziehen sich auf die Stichprobe für die Analyse der MEG/EEG-Daten.

2.1.2.5 *Parallelisierung*

Bei der Untersuchung der Daten der Kalenderrechner wurden zwei getrennte Analysen durchgeführt: Zum einen wurden die Daten der ASKR (EG_{SAV_KR}) mit denen der GKR (KG_{KR}) sowie der autistischen (KG_{AUT}) und gesunden (KG_{GES}) Kontrollgruppe verglichen.

Zum anderen wurden direkt die Daten der beiden Kalenderrechner-Gruppen (EG_{SAV_KR} und KG_{KR}) miteinander verglichen, die im Gegensatz zur gesunden und autistischen Kontrollgruppe auch schwierige Daten der Vergangenheit und der Zukunft zu berechnen hatten. Daher sind zwei Parallelisierungsversuche zu unterscheiden:

(1) Parallelisierung GKR und ASKR, gesunde und autistische Kontrollgruppe

Die vier Gruppen waren nach der Händigkeit parallelisiert (ausschließlich Rechtshänder). Die Händigkeit wurde mit dem Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) erfasst.

Die Parallelisierung nach dem Geschlecht war nicht vollständig gegeben: Zwar wurden in der Gruppe der GKR und der autistischen Kontrollgruppe jeweils eine Frau und in der gesunden Kontrollgruppe zwei nach Alter und Intelligenz parallelisierte Frauen untersucht – die Gruppe der ASKR bestand aber nur aus Männern.

Um zu überprüfen, ob die vier Gruppen bezogen auf Alter und Intelligenz als parallelisiert angesehen werden können, wurden die Mittelwertsunterschiede des Alters bzw. der Intelligenz mit dem F-Test auf Signifikanz überprüft. Mittels der einfaktoriellen Varianzanalyse wurde die Wahrscheinlichkeit der Nullhypothese getestet, dass die Daten eine Stichprobe einer Grundgesamtheit darstellen, in der der Mittelwert der Test-Variablen „Alter“ bzw. „Intelligenz“ in mehreren unabhängigen Fallgruppen (EG_{SAV_KR} , KG_{KR} , KG_{AUT} , KG_{GES}) durch eine einzige Gruppenvariable definiert wird. Die Voraussetzung des F-Tests nach normalverteilten Fehlerkomponenten kann nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test, die nach Homogenität der Fehlervarianzen nach dem Levene-Test als erfüllt angesehen werden. Auch die Voraussetzung der Unabhängigkeit der Fehlerkomponenten ist anzunehmen, da die Beeinflussung der einzelnen Messwerte durch Fehlereffekte offensichtlich unabhängig davon war, wie die übrigen Messwerte durch Fehlereffekte beeinflusst wurden. Da unter den verschiedenen Faktorstufen unterschiedliche Stichproben untersucht wurden, war auch die Unabhängigkeit der Fehlerkomponenten zwischen den Stichproben gewährleistet.

Der F-Test ergab bei den Versuchspersonen für die Analyse der behavioralen Daten einen signifikanten Altersunterschied zwischen den vier Gruppen ($F_{(3, 26)} = 4.269$, $p = .014$). Hier gelten die vier Gruppen somit nicht als nach dem Alter parallelisiert. Mittels post-hoc t-Tests konnte lediglich ein signifikanter Altersunterschied zwischen den GKR und der autistischen Kontrollgruppe lokalisiert werden ($p = .011$); kein anderer Gruppenvergleich ergab signifikante Altersunterschiede. Um für Alterseffekte zu korrigieren wurde in den varianzanalytischen Plan (siehe 2.3.3) die Kontrollvariable „Alter“ als Kovariate aufgenommen.

Für die Analyse der hirnhysiologischen Daten ergab der F-Test keinen signifikanten Altersunterschied zwischen den vier Gruppen: die Gruppen gelten hier als nach dem Alter parallelisiert.

Bezogen auf die Intelligenz ergab der F-Test weder für die Analyse der behavioralen Daten noch für die Analyse der MEG/EEG-Daten einen signifikanten Unterschied zwischen den vier Gruppen, wobei von einer Versuchsperson kein IQ-Wert vorlag.

Kritisch ist anzumerken, dass die vier Gruppen, auch wenn sie sich statistisch zwar (außer bezüglich der Variablen „Alter“) nicht signifikant voneinander unterschieden, deskriptiv dennoch unterschiedlich waren. Aufgrund der besonderen Gegebenheiten der Untersuchung der seltenen Patientengruppe autistischer Savants und der ebenso seltenen gesunden Kalenderrechner war es insgesamt nicht möglich, die vier Gruppen methodisch einwandfrei zu parallelisieren – die Unterschiede waren aber nicht erheblich.

(2) Parallelisierung GKR und ASKR

Beide Gruppen waren nach der Händigkeit parallelisiert. Die Händigkeit wurde wiederum mit dem Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) erfasst.

Bezogen auf das Geschlecht war keine vollkommene Parallelisierung möglich: die Gruppe der ASKR bestand aus drei Männern, die der GKR aus zwei Männern und einer Frau.

Als Signifikanztest für Unterschiede zwischen den Mittelwerten des Faktors Alter bzw. des Faktors Intelligenz wurde der t-Test für unabhängige Stichproben verwandt. Die Voraussetzung des t-Tests der Homogenität der Fehlervarianzen (Levene-Test) war in beiden Fällen erfüllt.

Der t-Test ergab keine signifikanten Unterschiede im Alter bzw. in der Intelligenz zwischen den beiden Kalenderrechner-Gruppen. Die beiden Gruppen gelten also als nach dem Alter und nach der Intelligenz parallelisiert.

Auch hier ist einschränkend zu bemerken, dass die beiden Gruppen, auch wenn sie sich statistisch nicht unterschieden, deskriptiv unterschiedlich waren. Aufgrund der schwierigen Gegebenheit der Seltenheit autistischer Savant-Kalenderrechner bzw. gesunder Kalenderrechner und den daraus resultierenden kleinen Fallzahlen war es insgesamt auch hier nicht möglich, die beiden Gruppen methodisch unangreifbar zu parallelisieren. Dennoch waren auch hier die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nicht erheblich.

2.2 Psychologische Tests

Eine wichtige Vorbedingung unserer Untersuchung ist es, Variablen kognitiver Fähigkeiten zu kontrollieren. Mit dem „Progressiven Matrizen-Test“ (Raven et al., 1979) wurden die allgemeinen kognitiven Fähigkeiten erhoben. Um auszuschließen, dass die herausragenden Leistungen lediglich auf Unterschieden in der Intelligenz basieren, waren die Gruppen nach dem „Progressiven Matrizen-Test“ nach der Intelligenz parallelisiert (siehe 2.1.2.5 Parallelisierung).

Außerdem wurden ausgewählte Untertests verschiedener Intelligenztest vorgelegt, um die Gedächtnisleistungen der Savants einerseits und der Kontrollgruppe(n) andererseits zu kontrollieren:

Mittels des verbalen Untertests „Zahlennachsprechen“ aus dem Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene HAWIE-R (Tewes, 1991) wurde die akustische Zahlenspanne der Probanden erhoben: Akustisch gegebene Folgen wachsender Länge sollten vorwärts und rückwärts wiedergegeben werden.

Aus dem Lern- und Gedächtnistest LGT-3 (Bäumler, 1974) wurden den Probanden drei Untertests vorgelegt: In einem verbalen Untertest wurde das „Erlernen von Telefonnummern“ gefordert. In zwei weiteren Subtests mussten ein Stadtplan und verschiedene Gegenstände eingepägt werden. Diese Lernaufgaben waren in jeweils 1 bis 2 min anhand eines Lernheftes zu bewältigen. Anschließend war das Gelernte wiederzuerkennen oder frei zu reproduzieren. Mit diesem Verfahren ließen sich die Lernleistungen und mittelfristige Gedächtnisleistungen der Probanden in verbalen und figuralen Bereichen erheben.

Ferner hatten die teilnehmenden Probanden drei Untertests aus dem WMS-R (Wechsler Memory Scale – Revised; Wechsler, 1987) zu bearbeiten: Innerhalb des Untertests „Logisches Gedächtnis 1“ bekamen die Probanden zwei kurze, detailreiche Geschichten vorgelesen und sollten sich so viele Einzelheiten wie möglich merken. Insgesamt beinhalteten die Geschichten 50 Details. Die Probanden hatten zum einen im direkten Anschluss alle Einzelheiten zu berichten, an die sie sich erinnerten (Bedingung „Direkte Wiedergabe“), zum anderen im Untertest „Logisches Gedächtnis 2“ wiederum nach 30 Minuten alle Details zu nennen, die sie sich noch ins Gedächtnis rufen können (Bedingung „Verzögerte Wiedergabe“). Im Untertest „Visuelles Gedächtnis“ wurde schließlich die visuelle Merkspanne erhoben. Visuell gegebene Folgen wachsender Länge mussten vorwärts und rückwärts wiedergegeben werden.

Somit wurde neben der akustischen Zahlenspanne (s.o.) auch die visuelle Blockspanne ermittelt und also die modalitätsspezifische Leistung des Kurzzeitgedächtnisses kontrolliert.

Die gruppenspezifischen Ergebnisse dieser Tests sowie deren Vergleiche werden in Abschnitt 3.1 dargestellt.

2.3 Kalenderrechnen

2.3.1 Reizmaterial

Als Reizmaterial dienten Kalenderdaten einerseits (Experimentalbedingung) und „Scheindaten“ andererseits (Kontrollbedingung).

Die Versuchspersonen (VPn) bekamen Kalenderdaten in der Form "06. November 1974" präsentiert (siehe Abbildung 12). Unter diesem Datum stand ein Wochentag, z. B. "Donnerstag?". War der Wochentag der Richtige für dieses Datum, hatten die VPn die linke (rechte) Taste zu drücken, stellte der Wochentag der Falsche für dieses Datum dar, hatten sie die rechte (linke) Taste zu drücken.

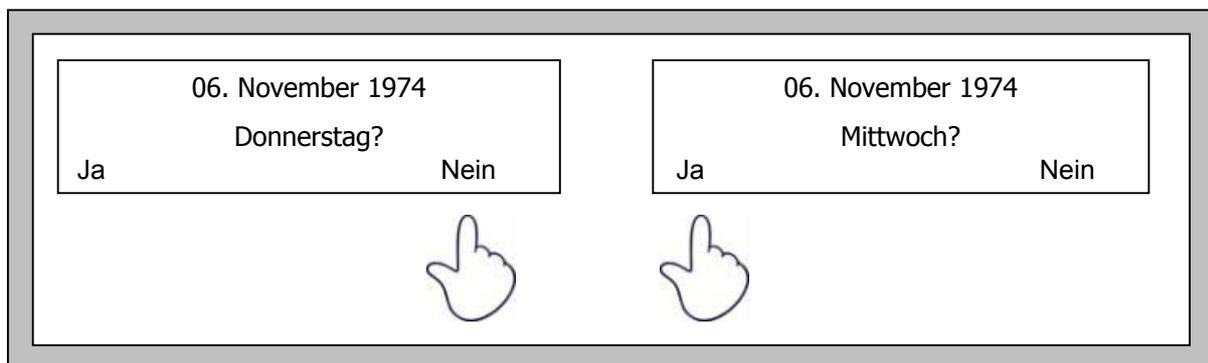


Abbildung 12: Experimentalbedingung

Zudem wurde Ihnen als Kontrolldaten auch "Scheindaten" in der Form "26. AAAA 2005" präsentiert (siehe Abbildung 13). Darunter standen Buchstaben, z. B. "AAAA?". Wenn diese Buchstaben denen entsprachen, die in der Mitte des "Scheindatums" standen, hatten die VPn die linke (rechte) Taste zu drücken, waren die Buchstaben nicht gleich, hatten sie die rechte (linke) Taste zu betätigen.

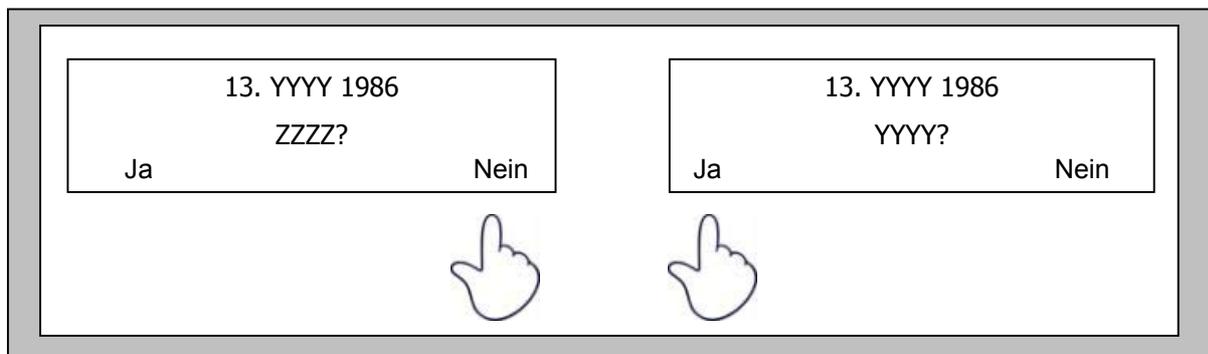


Abbildung 13: Kontrollbedingung

Die Tastenzuordnung (links = richtig, falsch = rechts bzw. links = falsch, rechts = richtig) war für Experimental- wie Kontrollbedingung über die VPn gleich verteilt.

Die Antwort sollte so schnell und so richtig wie möglich erfolgen.

Die präsentierten Kalenderdaten wurden nach den folgenden Kriterien entwickelt: Insgesamt wurden 126 Kalenderdaten ausgewählt. Die Kalenderdaten hatten das Format Datum (Zahl) - Monat (Wort) - Jahr (Zahl), also z. B. 02. Dezember 1968. Der einen Hälfte (63 Stück) wurde der korrekte Wochentag zugeordnet (z. B. 01. Oktober 2003 Mittwoch?), der anderen Hälfte wurde ein falscher Wochentag zugeordnet (z. B. 02. Oktober 2003 Freitag?). Die falschen Zuordnungen wurden generiert, indem ein

Wochentag gewählt wurde, der einen Tag vom korrekten Wochentag abwich (z. B. Freitag oder Mittwoch statt Donnerstag). Diese Abweichungen waren balanciert nach dem Wochentag einerseits und nach Abweichung einen Tag nach vorn/hinten andererseits.

Die 126 Kalenderdaten setzten sich zusammen aus 42 Daten des aktuellen Monats der Untersuchung (Gegenwart, Oktober 2003), 42 Daten ca. der letzten 50 Jahre (Vergangenheit, 1950 bis 1999) sowie 42 Daten ca. der nächsten 50 Jahre (Zukunft, 2004 bis 2050).

Die 42 Daten der Gegenwart umfassten die 31 Tage des Oktobers 2003 sowie 11 Wiederholungen. Der einen Hälfte davon war der korrekte Wochentag zugeordnet, der anderen Hälfte ein falscher (s.o.).

Die 42 Daten der Vergangenheit waren balanciert nach dem Wochentag (Montag bis Sonntag), nach der Woche im Monat (Monats-7-Tage-Sektionen), nach dem Monat (Januar bis Dezember) sowie nach dem Jahr (1950 bis 1999; es wurden acht nach Zufall ausgewählte Jahre ausgelassen). Auch hier wurde der einen Hälfte der korrekte Wochentag zugeordnet, der anderen Hälfte ein falscher (s.o.). Die 42 Daten der Zukunft waren ebenfalls balanciert nach Wochentagen, Monats-7-Tage-Sektionen, Monaten sowie nach Jahren (2004 bis 2050; es wurden vier nach Zufall ausgesuchte Jahre ausgelassen). Es fand wiederum nach den oben angegebenen Kriterien eine Zuordnung zu falschen/ korrekten Wochentagen statt (21 korrekt, 21 falsch).

Die Kalenderdaten wurden nach diesen Kriterien entwickelt, damit möglichst alle Wochentage/ Monats-7-Tage-Sektionen/ Monate/ 4-Monats-Perioden/ Jahre/ Zukunft/ Vergangenheit darin vorkamen, um so etwaige Abhängigkeiten zu überprüfen.

Die präsentierten Scheindaten (Kontrollbedingung) wurden nach den folgenden Kriterien entwickelt: Die Scheindaten hatten dasselbe Format wie die Kalenderdaten, allerdings wurde das Monatswort durch Alliterationen eines Großbuchstabens ersetzt, also z. B. 17. AAAA 2005. Insgesamt wurden 42 Kontrolldaten ausgewählt. Der einen Hälfte (21 Stück) wurde der richtige Buchstabenstring zugeordnet (z. B. 17. AAAA 2005 AAAA?), der anderen Hälfte wurde ein falscher Buchstabenstring zugeordnet (z.B. 22. BBBB 2006 CCCC?). Hier wurden die falschen Zuordnungen generiert, indem Alliterationen gewählt wurden, die einen Buchstaben abwichen (z. B. AAAA oder CCCC statt BBBB). Diese Abweichungen waren balanciert nach Abweichung einen Buchstaben nach vorn/hinten. Die Alliterationen waren ferner über alle 26 Buchstaben des Alphabets balanciert, wobei 16 nach Zufall ausgewählte Alliterationen wiederholt wurden, um 42 Kontrolldaten zu generieren. Diese Kontrollbedingung wurde gewählt, da die Scheindaten die gleichen visuellen Anforderungen stellten, ferner ebenfalls eine digitale Entscheidung verlangten.

Eine vollständige Auflistung des Reizmaterials findet sich in Appendix A 2.

2.3.2 Experimentelles Design

In diesem Experiment bekamen die VPn Kalenderdaten einerseits und Kontrolldaten andererseits als Stimuli dargeboten (siehe 2.3.1) und hatten daraufhin mittels Tastendruck digitale Entscheidungen zu treffen.

Währenddessen fand die Aufnahme mit dem 151-Kanal Ganz-Kopf MEG statt, ferner wurden EEG-Daten abgeleitet (siehe 2.3.4). Die Messung fand im Sitzen statt. Dabei wurden die VP instruiert, keine Lidschläge oder andere Bewegungen durchzuführen, um so biologischen Artefakten aufgrund okularer

und anderer muskulärer Einflüsse entgegenzuwirken. Die Tasten waren an den Armlehnen des MEGs befestigt – an der linken Armlehne für die linke Hand, an der rechten für die rechte Hand.

Den VPn wurden die Reize in der Mitte einer weißen Leinwand in einer Entfernung von 92 cm präsentiert. Die Zahlen und Wörter waren in schwarzer Schrift geschrieben. Die Höhe betrug 2 cm, die Länge 5-10 cm. Dies entspricht einem vertikalen visuellen Winkel von 1.245° und einem horizontalen visuellen Winkel von maximal 6.203° . Damit sind zum Lesen keine Augenbewegungen erforderlich.

Ein Durchgang war dabei wie folgt aufgebaut: Zunächst bekamen die VPn für eine Sekunde ein Fixationskreuz dargeboten. Dann wurde der Stimulus präsentiert, und zwar so lange, bis die VP durch Tastendruck reagierte, maximal aber 15 Sekunden. Nachdem der Stimulus weggenommen wurde, schloss sich ein ISI an, das zufallsgesteuert zwischen 2.2 s und 2.5 s variierte, die SOA (Stimulus Onset Asynchrony) betrug somit 300 ms. Diese SOA sollte den Effekt einer präparatorischen CNV (contingent negative variation; Lutzenberger, Elbert, Rockstroh & Birbaumer, 1985) - ähnlichen Welle auf die Baseline minimieren.

Die unterschiedlichen Kalenderdaten und Kontrolldaten wechselten einander in einer pseudozufalls-gesteuerten Reihenfolge ab. Dabei bekamen die gesunden und autistischen Kontrollpersonen lediglich Kalenderdaten der Gegenwart und Kontrolldaten präsentiert (insgesamt 84 Stimuli), die GKR und ASKR bekamen neben den Kontrolldaten Kalenderdaten von Gegenwart, Vergangenheit und Zukunft dargeboten (insgesamt 168 Stimuli).

Vor dem Experiment wurde den VPn eine standardisierte Instruktion auf der Leinwand präsentiert (siehe Appendix A 3). Um sicherzustellen, dass die VPn den Ablauf des Versuchs verstanden haben, wurde ein Probedurchgang durchgeführt. Insgesamt dauerte dieses Experiment für die gesunden und autistischen Kontrollpersonen ca. 10 Minuten, für die GKR und ASKR, die mehr Daten präsentiert bekamen, ca. 35 Minuten. Dabei wurde alle fünf Minuten eine Pause gemacht, in der durch das MEG eine Kopflokalisierung durchgeführt wurde und sich die Probanden entspannen konnten. Die Pause wurde beendet, wenn die VP dies wünschte.

Festgehalten wurde zum einen die Reaktionszeit (Zeit zwischen Präsentation des Stimulus und Tastendruck), zum anderen die Richtigkeit der Antwort (richtig/ falsch).

Die Datenaufnahme fand im MEG-Zentrum der Universität Tübingen statt.

2.3.3 Analyse der behavioralen Daten

Die behavioralen Daten wurden zum einen nach der Reaktionszeit ausgewertet. Die Auswertung nach der Reaktionszeit gibt erste Hinweise auf die beteiligten mentalen Prozesse: „Das Ziel der Auswertung der Reaktionszeiten liegt darin, ein Maß zu besitzen, um Anzahl oder Art der beteiligten Operationen zu erschließen“ (Carpenter & Just, 1975). Zum anderen fand eine Auswertung nach der Fehlerrate (Prozent richtiger Antworten) statt.

(1) Analyse der Daten der Gegenwart, alle Gruppen

Zunächst wurden die Daten der Gegenwart, die von allen Gruppen bearbeitet wurden, ausgewertet. Dazu wurden die Daten der Reaktionszeit einerseits und die Daten der Fehlerrate andererseits anhand zweifaktorieller ANOVAs mit Messwiederholungen mit dem Faktor „Gruppe“ (vier Faktorstufen: EG_{SAV}, KG_{GES}, KG_{AUT}, KG_{KR}) sowie dem Messwiederholungsfaktoren „Bedingung“ (2 Faktorstufen: Experimentalbedingung (Kalenderrechnen) versus Kontrollbedingung)) analysiert. Tabelle 4 gibt einen Überblick über das Design der Varianzanalyse.

Tabelle 4: Design der 2-faktoriellen ANOVA der Reaktionszeit bzw. der Fehlerrate (alle Gruppen)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	4	EG _{SAV}
			KG _{GES}
			KG _{AUT}
			KG _{KR}
Bedingung	Messwiederholungsfaktor	2	Experimentalbedingung (Kalenderrechnen)
			Kontrollbedingung

Da die vier Gruppen nicht als nach dem Alter parallelisiert galten (siehe 2.1.2.5), wurde die Varianzanalyse mit dem Faktor „Alter“ als Kovariate gerechnet um für Alterseffekte zu korrigieren.

(2) Analyse der Daten der Kalenderrechner

Zudem wurden für die GKR und ASKR, die Daten der Gegenwart, der Vergangenheit und der Zukunft zu berechnen hatten, zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholungen durchgeführt. Hier trat an die Stelle des Faktors „Bedingung“ der Faktor „Zeit“ (3 Stufen: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft). In Tabelle 5 findet sich eine Auflistung der verwendeten Faktoren:

Tabelle 5: Design der 2-faktoriellen ANOVA der Reaktionszeit bzw. der Fehlerrate (Kalenderrechner)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	2	EG _{SAV}
			KG _{KR}
Zeit	Messwiederholungsfaktor	3	Vergangenheit
			Gegenwart
			Zukunft

(3) Allgemeines

Die Voraussetzungen dieser beiden mehrfaktoriellen Varianzanalysen entsprechen denen der einfaktoriellen Varianzanalyse (siehe 2.1.2.5), wobei sich die normalverteilten und varianzhomogenen Fehlerkomponenten nun auf die Abweichungswerte innerhalb der einzelnen Zellen beziehen.

Die Voraussetzung, dass die Messungen zwischen verschiedenen Faktorstufen unabhängig sein müssen, ist bei Messwiederholungsanalysen in der Regel verletzt, da z. B. dieselben Untersuchungseinheiten unter mehreren Faktorstufen untersucht werden. Dadurch besteht eine Korrelation zwischen den Faktorstufen der Messwiederholungsfaktoren. Dies zeigt sich in diesem Experiment z. B. darin, dass die Werte der EKPs der unterschiedlichen Elektrodenpositionen (Stufen dieses Messwiederholungsfaktors) zum Teil hoch miteinander korrelieren. Damit der F-Test dennoch zu den richtigen Resultaten führt, wird eine zusätzliche Voraussetzung, die neben der Homogenität der Fehlervarianzen unter den verschiedenen Faktorstufen die Homogenität der Korrelationen zwischen den Faktorstufen fordert, gestellt. Diese Forderung nach homogenen Korrelationen ist freilich bedeutungslos, wenn nur zwei Faktorstufen untersucht werden. Verletzungen dieser Voraussetzung führen zu progressiven Entscheidungen, also zu Entscheidungen, die die H_1 begünstigen. Um eventuelle Verletzungen dieser Voraussetzung zu kompensieren, wird bei der ANOVA mit Messwiederholung ein Korrekturverfahren durchgeführt: Bei Faktoren mit mehr als zwei Stufen, die diese Voraussetzungen verletzen, wird ein Korrekturfaktor, das sogenannte „Greenhouse-Geisser- ϵ “, berechnet. Dieser bewirkt eine Reduktion der Freiheitsgrade; der empirische F-Wert wird mit einem größeren kritischen F-Wert verglichen und die Wahrscheinlichkeit eines „zufällig“ signifikanten Ergebnisses ist verringert (Bortz, 1993).

Da bei der zweifaktoriellen ANOVA aller Gruppen keiner der Faktoren mehr als zwei Stufen aufweist, wurden die Daten ohne Notwendigkeit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur ausgewertet. Bei der zweifaktoriellen ANOVA der Kalenderrechner war eine Korrektur der Freiheitsgrade für alle Haupteffekte und Interaktionen notwendig, die den Faktor „Zeit“ (3 Stufen) betrafen; in diesen Fällen sind die korrigierten Werte angegeben.

Im Falle von signifikanten Ergebnissen der ANOVA wurden diese post-hoc mit t-Tests lokalisiert. Neben dem Bonferroni-Test, der das beobachtete Signifikanzniveau unter Berücksichtigung der Tatsache, dass multiple Vergleiche vorgenommen werden, korrigiert, wurde bei ungleichen Varianzen das Tamhane-T2 (konservativer paarweiser Vergleichstest auf Grundlage eines t-Tests) verwendet. Da die ANOVA mit Messwiederholungen als Verallgemeinerung des t-Tests aufgefasst werden kann, können die Voraussetzungen an t-Tests mit der Erfüllung der Voraussetzungen der ANOVA als ebenfalls gegeben angesehen werden. Außerdem kam der Waller-Duncan-t-Test, der die Bayes-Methode verwendet, zum Einsatz: Dieser Spannweitentest verwendet den harmonischen Mittelwert der Stichprobengröße und war immer dann angezeigt, wenn die Stichprobengrößen ungleich waren.

Trotz der vielen multiplen Vergleiche wurde als Signifikanzniveau wiederum $\alpha = 5\%$ gewählt; darüber hinaus wurden jedoch Ergebnisse bis zu einem Niveau von $\alpha = 10\%$ als Trends interpretiert.

(4) Weitere Analysen

Zusätzlich wurden basierend auf den behavioralen Hypothesen verschiedene Analysen durchgeführt:

Analysen basierend auf Hypothese VII

- (1) Um zu überprüfen, ob Reaktionszeit bzw. Fehlerrate in Abhängigkeit bestimmter Kalendervariablen unterschiedlich hoch sind, wurden für die Kalenderrechner für die Kalendervariablen Monats-7-Tage-Sektionen, Monats-10-Tage-Sektionen, Monate sowie 10-Jahres-Intervalle zunächst zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholungen durchgeführt (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Design der vier 2-faktoriellen ANOVAs für Kalendervariablen

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Kalendervariablen
Gruppe	Gruppenfaktor	2 (EG _{SAV} ; KG _{KR})	
Kalender-variablen	Messwiederholungsfaktoren	4	Monats-7-Tage-Sektionen
		3	Monats-10-Tage-Sektionen
		12	Monate
		11	10-Jahres-Intervalle

- (2) Die Hypothese, dass Daten des Monats Dezember schneller beantwortet werden als Daten anderer Monate (Rosen, 1981), wurde zunächst mit entsprechenden t-Tests für abhängige Stichproben gruppenspezifisch für die verschiedenen Monats-Paarungen auf Signifikanz getestet.
- (3) Mit dem Korrelationskoeffizient nach Pearson wurde schließlich untersucht, ob ein linearer Zusammenhang zwischen den Kalendervariablen (Monats-7-Tage-Sektionen, Monats-10-Tage-Sektionen und Monate) und der Reaktionszeit bzw. Fehlerrate besteht. So konnte getestet werden, ob die Reaktionszeit bzw. Fehlerrate in Abhängigkeit der Woche im Monat bzw. der 10-Tage-Sektion linear zu- bzw. abnimmt. So wurde auch die Hypothese, dass Daten des Monats Dezember schneller beantwortet werden als Daten anderer Monate (Rosen, 1981) mittels linearer Regression dahin getestet, ob die Reaktionszeiten über die Monate des Jahres signifikant abnehmen, also eine negative Korrelation zwischen Monat und Reaktionszeit besteht.

Analysen basierend auf Hypothese IV

- (1) Für die Daten der 10-Jahres-Intervalle wurde zunächst für Daten der Vergangenheit bis Gegenwart getestet, ob für ASKR im Gegensatz zu GKR ein negativer linearer Zusammenhang zwischen der Distanz des Datums zur Gegenwart und der Reaktionszeit bzw. Fehlerrate besteht.
- (2) Schließlich wurde mittels quadratischer Regressionsgleichung (Polynom 2. Ordnung) getestet, ob eine u-förmige Beziehung zwischen der Antwortlatenz bzw. Fehlerrate und der Distanz des Datums zur Gegenwart besteht, also Reaktionszeit und Fehlerrate auch für Daten der Zukunft mit der Nähe zur Gegenwart signifikant abnehmen.

Loose Ends

- (1) Mittels t-Test für unabhängige Stichproben wurde überprüft, ob sich der Zeitraum, seit dem die GKR bzw. ASKR Kalenderberechnungen durchführen, zwischen den beiden Gruppen unterschied.
- (2) Die Beziehung zwischen der Reaktionszeit und der Fehlerrate wurde beleuchtet, indem für jeden Zeitraum (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) über beide Gruppen mit dem Korrelationskoeffizient nach Pearson überprüft wurde, ob ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen besteht.
- (3) Schließlich wurde mit dem Korrelationskoeffizient nach Pearson getestet, ob Fehlerzahl oder Antwortgeschwindigkeit mit dem IQ der Versuchspersonen korrelierte.

2.3.4 Hirnphysiologische Daten

2.3.4.1 EEG- Ableitung

Zur EEG-Ableitung wurden Ag/AgCl-Elektroden verwendet, die mit der Elektrodenpaste "ELEFIX[®]" (Nihon Kohden) an der zuvor mit "Abralyt 2000[®]" (Falk Minow Services) gereinigten Kopfhaut befestigt wurden. Das EEG wurde an 11 Orten (internationale Elektrodenkappe) abgeleitet (siehe Abbildung 14): Nach dem internationalen 10-20-System (Jasper, 1958) fanden Ableitungen an F3, F4, Fz, P3, P4, Pz, T3, T4 und Cz statt. Zwei weitere Elektroden befanden sich an den Mastoiden (M1 und M2). Als Referenz dienten die Mastoide.

Der Übergangswiderstand blieb unter 5 k Ω . Die Signale wurden mit einem CTF[®]-Verstärker um den Faktor 1000 verstärkt und schließlich mit einer Abtastrate von 312.5 Hz digitalisiert.

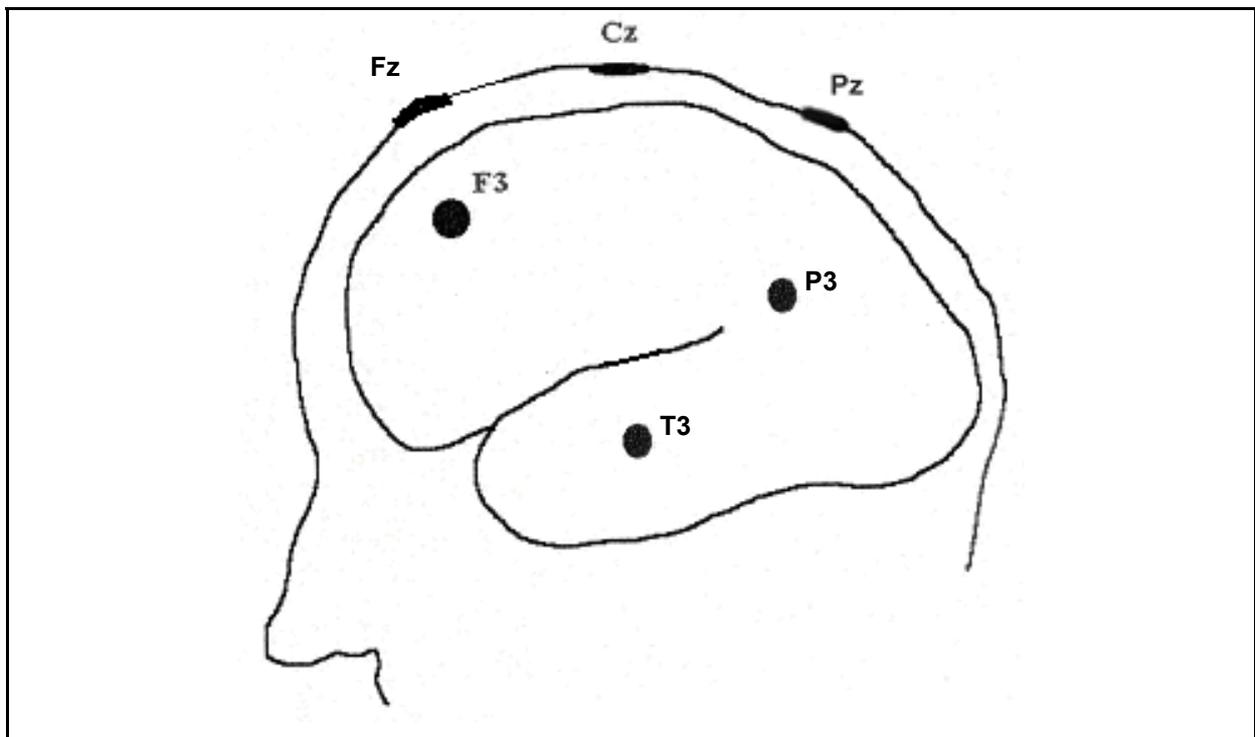


Abbildung 14: Darstellung der Elektrodenpositionen der linken Hemisphäre

2.3.4.2 MEG- Aufnahme

Das MEG wurde mit einem 151-Kanal Ganz-Kopf MEG (CTF System Inc., Vancouver, Canada) in einem elektromagnetisch abgeschirmten Raum aufgenommen.

2.3.4.3 MEG/EEG – Datenreduktion

Das fortlaufende Roh-EEG [MEG] wurde in ereigniskorrelierte Potentiale [Felder] überführt. Die Dauer eines Zeitfensters betrug 3203 ms und enthielt 1001 Datenpunkte entsprechend der Abtastrate von 312.5 Hz. Die mittlere Spannungsamplitude [Feldstärke] des Zeitraums 1200 ms bis 1000 ms vor Reizdarbietung diente als Baseline. Ein Datenblock endete 2003 ms nach Darbietung des Stimulus (Präsentation des Datums bzw. Kontrolldatums).

Es wurde ein Tiefpassfilter gesetzt, um z. B. den Brummanteil (Einstreuungen des 50 Hz-Stromnetzes) aus den Signalen herauszufiltern. Die Tiefgrenzfrequenz lag bei 40 Hz bei einem Frequenzabfall von 48 dB/ Oktave. Die Zeitkonstante betrug $\tau=0.16$ s.

Zuerst wurde die Baseline-Korrektur der Daten durchgeführt. Dann wurden die EKPs bzw. EKFs für jede Person elektroden- bzw. sensoren- sowie bedingungspezifisch gemittelt.

2.3.4.4 Analyse der EKPs

Basierend auf den Hypothesen (siehe 1.4.2) standen die folgenden Areale im Brennpunkt des Interesses und der Datenanalyse: der frontale Cortex (F3, F4, Fz), der Parietallappen (P3, P4, Pz) und der Temporallappen (T3, T4).

In Anlehnung an die Hypothesen (siehe 1.4.2), die Analyse der MEG-Daten (siehe 2.3.4.5), sowie die augenscheinliche Betrachtung der Wellenformen (siehe Abbildung 24) wurden die Daten der EKPs für mehrere Zeitfenster separat varianzanalytisch ausgewertet:

- (a) Zeitfenster 90-150 ms: Um die Amplituden früher Potentiale zwischen den Gruppen zu vergleichen, wurde das Zeitfenster 90-150 ms gewählt.
- (b) Zeitfenster 210-370 ms: Die EEG-Daten wurden für das Zeitfenster 210-370 ms nach Reizdarbietung einer Varianzanalyse unterzogen, wobei wie bei der Analyse der MEG-Daten auch hier eine Unterteilung in ein früheres (210-290 ms) und ein späteres (290-370 ms) Zeitfenster vorgenommen wurde. Außerdem wurden für jedes der beiden Unterfenster Varianzanalysen mit Messwiederholung (eben ohne den Faktor Zeitfenster) durchgeführt.

(1) Analyse der Daten der Gegenwart, alle Gruppen

Laterale Ableitungsorte:

Die Auswertung bezog sich zunächst auf den Vergleich der EKPs der Experimentalgruppe (ASKR) mit den drei Kontrollgruppen. Dazu wurde für das Zeitfenster 210-370 ms eine fünffaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen mit dem Faktor „Gruppe“ (vier Faktorstufen: EG_{SAV}, KG_{GES}, KG_{AUT}, KG_{KR}) sowie den Messwiederholungsfaktoren „Elektrodenposition“ (drei Faktorstufen: frontal, temporal, parietal), „Hemisphäre“ (2 Faktorstufen: links, rechts), „Bedingung“ (zwei Faktorstufen: Experimentalbedingung (Kalenderrechnen) versus Kontrollbedingung)) und Zeitfenster (zwei Faktorstufen: 210-290 ms, 290-370 ms) durchgeführt (siehe Tabelle 7). Für das Zeitfenster 90-150 ms bzw. für die separate Analyse der Unterfenster 210-290 ms und 290-370 ms wurde zudem je eine vierfaktorielle Varianzanalyse (eben ohne den Faktor Zeitfenster) durchgeführt.

Tabelle 7: Design der 4- (bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (alle Gruppen)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	2	EG _{SAV}
			KG _{GES}
			KG _{AUT}
			KG _{KR}
Elektroden-Position	Messwiederholungsfaktor	3	frontal
			temporal
			parietal
Hemisphäre	Messwiederholungsfaktor	2	links
			rechts
Bedingung	Messwiederholungsfaktor	2	Experimentalbedingung (Kalenderrechnen)
			Kontrollbedingung
Zeitfenster	Messwiederholungsfaktor	2	210-290 ms
			290-370 ms

Mittlere Ableitungsorte:

Ferner wurde für die mittleren Ableitungsorte (Fz, Cz, Pz) eine vier- (bzw. drei-) faktorielle ANOVA ohne den Faktor Hemisphäre durchgeführt (siehe Tabelle 8):

Tabelle 8: Design der 3- (bzw. 4-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (alle Gruppen)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	2	EG _{SAV}
			KG _{GES}
			KG _{AUT}
			KG _{KR}
Elektroden-Position	Messwiederholungsfaktor	3	Fz
			Cz
			Pz
Bedingung	Messwiederholungsfaktor	2	Experimentalbedingung (Kalenderrechnen)
			Kontrollbedingung
Zeitfenster	Messwiederholungsfaktor	2	210-290 ms
			290-370 ms

(2) Analyse der Daten der GKR und ASKR**Laterale Ableitungsorte:**

Des Weiteren wurde für die EKPs der GKR und ASKR, die zudem Daten der Vergangenheit und der Zukunft rechneten, ebenfalls eine vier- (bzw. fünf-) faktorielle ANOVA mit Messwiederholungen durchgeführt. Dabei trat an die Stelle des Faktors „Bedingung“ der Faktor „Zeit“ (drei Faktorstufen: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft). Somit wurde der folgende varianzanalytische Plan durchgeführt (siehe Tabelle 9):

Tabelle 9: Design der 4- (bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (nur Kalenderrechner)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	2	EG _{SAV}
			KG _{KR}
Elektroden-Position	Messwiederholungsfaktor	3	frontal
			temporal
			parietal
Hemisphäre	Messwiederholungsfaktor	2	links
			rechts
Zeit	Messwiederholungsfaktor	3	Vergangenheit
			Gegenwart
			Zukunft
Zeitfenster	Messwiederholungsfaktor	2	210-290 ms
			290-370 ms

Mittlere Ableitungsorte:

Auch hier wurde zudem für die mittleren Ableitungsorte (Fz, Cz, Pz) eine drei- (bzw. vier-) faktorielle ANOVA ohne den Faktor Hemisphäre durchgeführt (siehe Tabelle 10):

Tabelle 10: Design der 3- (bzw. 4-) faktoriellen ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (nur Kalenderrechner)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	2	EG _{SAV}
			KG _{KR}
Elektroden-Position	Messwiederholungsfaktor	3	Fz
			Cz
			Pz
Zeit	Messwiederholungsfaktor	3	Vergangenheit
			Gegenwart
			Zukunft
Zeitfenster	Messwiederholungsfaktor	2	210-290 ms
			290-370 ms

(3) Allgemeines

Die Prüfung der Voraussetzungen dieser beiden vierfaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung sowie die Durchführung der Korrekturverfahren entsprach der unter 2.3.3 beschriebenen Vorgehensweise. Eine „Greenhouse-Geisser“-Korrektur der Freiheitsgrade war für alle Haupteffekte und Interaktionen notwendig, die den Faktor „Elektrodenposition“ (drei Stufen) betrafen; ferner bei der 4-faktoriellen ANOVA der Kalenderrechner für alle Haupteffekte und Interaktionen, die dem Faktor „Zeit“ (drei Stufen) galten. In diesen Fällen sind die korrigierten Werte angegeben.

Wie bei der Analyse der behavioralen Daten (siehe 2.3.3) wurden signifikante Ergebnisse der ANOVAs mittels post-hoc t-Tests für abhängige bzw. unabhängige Stichproben lokalisiert. Neben dem Bonferroni-Test wurde auch hier das Tamhane-T2 verwendet. Die Voraussetzungen an t-Tests kön-

nen mit der Erfüllung der Voraussetzungen der ANOVA als gegeben angesehen werden. Der Waller-Duncan-T-Test fand wiederum bei ungleichen Stichprobengrößen Anwendung. Trotz der vielen multiplen Vergleiche wurde als Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ gewählt, um den α -Fehler bzw. die Wahrscheinlichkeit, daß wir fälschlicherweise behaupten, die Stichproben stammten nicht aus einer Grundgesamtheit (H_0), möglichst klein zu halten. Darüber hinaus wurden jedoch Ergebnisse bis zu einem Niveau von $\alpha = 10\%$ als Trends interpretiert.

2.3.4.5 Analyse der EKFs

Gemäß den Hypothesen (siehe 1.4.2) standen frontale, parietale und temporale Regionen im Brennpunkt des Interesses. Die topographische Verteilung der evozierten Felder (siehe Abbildung 35 bzw. Abbildung 36) zeigte im Zeitverlauf eine deutliche frontale bzw. temporoparietale Komponente. So wurde die mittlere Feldstärke über ausgewählte frontale Sensoren einerseits und temporoparietale Regionen andererseits berechnet und diente als Grundlage der folgenden varianzanalytischen Pläne. Entsprechend den Hypothesen und dem zeitlichen Verlauf der beobachtbaren evozierten Felder wurden die Daten der mittleren Feldstärke frontaler bzw. temporoparietaler Regionen für mehrere Zeitfenster varianzanalytisch ausgewertet:

- (a) Zeitfenster 90-150 ms. Um die Amplituden früher ereigniskorrelierter Felder zwischen den Gruppen zu vergleichen, wurde das Zeitfenster 90-150 ms gewählt.
- (b) Zeitfenster 210-370 ms. Um die späteren ereigniskorrelierten Feldstärken zwischen den Gruppen zu vergleichen, wurde eine weitere Analyse für das Zeitfenster 210-370 ms nach Reizdarbietung durchgeführt. Hier wurde eine Unterteilung in ein frühes (210-290 ms) und ein spätes (290-370 ms) Zeitfenster vorgenommen.

(1) Analyse der Daten der Gegenwart, alle Gruppen

Die Auswertung bezog sich zunächst auf den Vergleich der EKFs der Experimentalgruppe (ASKR) mit den drei Kontrollgruppen. Dazu wurde für das Zeitfenster 90-150 ms eine vierfaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen mit dem Faktor „Gruppe“ (vier Faktorstufen: EG_{SAV}, KG_{GES}, KG_{AUT}, KG_{KR}) sowie den Messwiederholungsfaktoren „Region“ (zwei Faktorstufen: Frontal, Temporoparietal), „Hemisphäre“ (zwei Faktorstufen: links, rechts) und „Bedingung“ (zwei Faktorstufen: Experimentalbedingung (Kalenderrechnen) versus Kontrollbedingung)) durchgeführt. Für das Zeitfenster 210-370 ms wurde als fünfter Faktor das Zeitfenster in zwei Teile untergliedert („Zeitfenster“, zwei Faktorstufen: 210-290 ms; 290-370 ms; siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Design der 4- (bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der EKF's (alle Gruppen)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	2	EG _{SAV}
			KG _{GES}
			KG _{AUT}
			KG _{KR}
Region	Messwiederholungsfaktor	2	frontal
			temporoparietal
Hemisphäre	Messwiederholungsfaktor	2	links
			rechts
Bedingung	Messwiederholungsfaktor	2	Experimentalbedingung (Kalenderrechnen)
			Kontrollbedingung

Zusätzlich für das Zeitfenster 210-370 ms:

Zeitfenster	Messwiederholungsfaktor	2	210-290
			290-370

(2) Analyse der Daten der GKR und ASKR

Für die gewählten Zeitfenster wurden für beide Gruppen von Kalenderrechner, die zudem Daten der Vergangenheit und der Zukunft zu berechnen hatten, vier- (bzw. fünf-) faktorielle ANOVAs mit Messwiederholungen gerechnet. Hier trat an die Stelle des Faktors „Bedingung“ der Faktor „Zeit“ (drei Faktorstufen: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft). Das Zeitfenster 210-370 ms wurde wiederum als fünfter Faktor in zwei Teile untergliedert („Zeitfenster“, 2 Faktorstufen: 210-290 ms; 290-370 ms), wobei für beide Zeitintervalle auch jeweils eine vierfaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen (eben ohne den Faktor Zeitfenster) berechnet wurde. Die varianzanalytischen Pläne sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Design der 4- (bzw. 5-) faktoriellen ANOVA der EKF's (nur Kalenderrechner)

Faktor	Art des Faktors	Anzahl Faktorstufen	Faktorstufen
Gruppe	Gruppenfaktor	2	EG _{SAV}
			KG _{KR}
Elektroden-Position	Messwiederholungsfaktor	2	frontal
			temporoparietal
Hemisphäre	Messwiederholungsfaktor	2	links
			rechts
Zeit	Messwiederholungsfaktor	3	Vergangenheit
			Gegenwart
			Zukunft

Zusätzlich für das Zeitfenster 210-370 ms:

Zeitfenster	Messwiederholungsfaktor	2	210-290
			290-370

(3) Dipolanalyse

Um die neuronalen Generatoren der deutlichen frontal bzw. temporoparietal sichtbaren Komponenten zu lokalisieren (siehe Abbildung 35 bzw. Abbildung 36), wurden, jeweils im Zeitraum der Komponente, auf räumlich-zeitlichen Modellen basierende Dipolanalysen durchgeführt. Es wurden dann keine weiteren Quellen lokalisiert, wenn innerhalb des topographischen Musters keine klar erkennbaren dipolaren Quellen mehr vorhanden waren.

3 ERGEBNISSE

3.1 Psychologische Tests

3.1.1 Vergleich aller Gruppen

Die Untersuchung der Lern- und Gedächtnisleistungen mittels psychologischer Tests ergab bezogen auf die vier Gruppen das folgende Bild (siehe Abbildung 15):

Die einfaktorielle ANOVA ergab weder für den verbalen Untertest „Zahlennachsprechen“ aus dem Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene HAWIE-R (Tewes, 1991), noch für den verbalen Untertest „Erlernen von Telefonnummern“ sowie die figuralen Untertests „Stadtplan“ und „Gegenstände“ aus dem Lern- und Gedächtnistest LGT-3 (Bäumler, 1974) signifikante Unterschiede zwischen den vier Gruppen (EG_{SAV} , KG_{GES} , KG_{AUT} , KG_{KR}). Auch die Ergebnisse der Untertests „Logisches Gedächtnis 1“, „Logisches Gedächtnis 2“ und „Visuelles Gedächtnis“ (Blockspanne vorwärts bzw. rückwärts) aus dem WMS-R (Wechsler Memory Scale – Revised; Wechsler, 1987) unterschieden sich zwischen den Gruppen nicht signifikant. Damit können die Lern- und Gedächtnisleistungen der Experimentalgruppe (EG_{SAV}) und der drei Kontrollgruppen (KG_{GES} , KG_{AUT} , KG_{KR}) als vergleichbar angesehen werden (siehe Abbildung 15). Es ist aber kritisch zu bemerken, dass sich die Gruppen aufgrund der besonderen Gegebenheit der kleinen Fallzahlen gesunder und autistischer Savant-Kalenderrechner zwar nicht statistisch, dennoch aber deskriptiv voneinander unterscheiden.

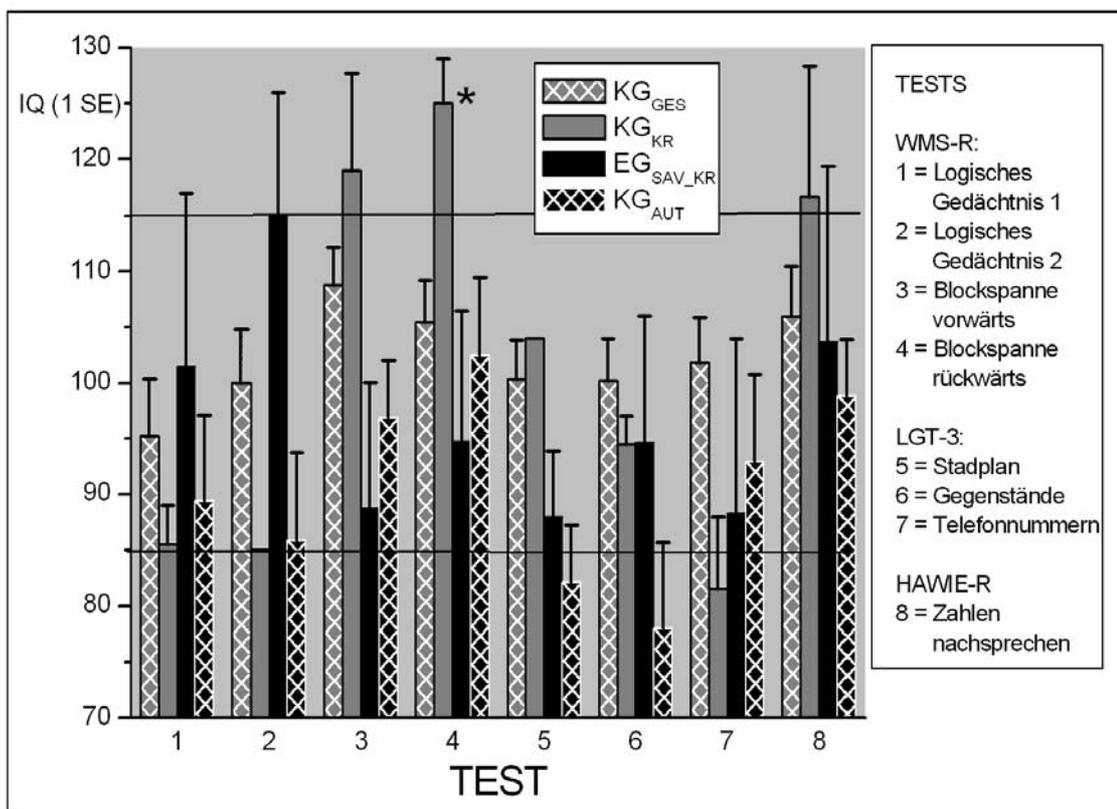


Abbildung 15: Ergebnisse der Lern- und Gedächtnisleistungen der vier Gruppen (EG_{SAV} , KG_{GES} , KG_{AUT} , KG_{KR})

3.1.2 Vergleich der gesunden und autistischen Savant-Kalenderrechner

Der direkte Vergleich der GKR und ASKR brachte lediglich einen Unterschied im Untertest „visuelles Gedächtnis“ – Blockspanne rückwärts des WMS-R (Wechsler Memory Scale – Revised; Wechsler, 1987) zum Vorschein ($t_{(3,865)} = 3.004$, $p = .042$): Die GKR zeigten hier signifikant bessere Leistungen als die ASKR (siehe Abbildung 15).

Ansonsten fanden sich keine Unterschiede in den Lern- und Gedächtnisleistungen dieser beiden Gruppen: Der t-Test für unabhängige Gruppen zeigte für die verschiedenen Tests keinerlei signifikante Ergebnisse (HAWIE-R (Tewes, 1991): verbaler Untertest „Zahlennachsprechen“; Lern- und Gedächtnistest LGT-3 (Bäumler, 1974): verbaler Untertest „Erlernen von Telefonnummern“, figurale Untertests „Stadtplan“/ „Gegenstände“; WMS-R (Wechsler, 1987): Untertests „Logisches Gedächtnis 1/2“/ „visuelle Gedächtnis“ (Blockspanne vorwärts)).

Auch hier ist einschränkend anzumerken, dass sich beide Gruppen von Kalenderrechnern aufgrund der besonderen Gegebenheit der kleinen Fallzahlen zwar nicht statistisch, deskriptiv aber durchaus voneinander unterscheiden.

3.1.3 „Fragebogen zur genaueren Beschreibung der herausragenden Leistung des Kalenderrechnens“ [FraZuKal]

Anhand des FraZuKal konnten die GKR und ASKR wie folgt genauer beschrieben werden, wobei in einem Fall (MR) die Angaben von den Eltern stammten (die ausführlichen Antworten der Kalenderrechner finden sich in Appendix A 4).

Alle GKR konnten die ihrer Fähigkeit zugrundeliegenden Strategien sowie die Entstehung der Fähigkeit problemlos angeben (siehe Frage 1; Fragen 12-15). Bei den ASKR zeigte sich ein anderes Bild: nur eine der drei untersuchten Personen konnte hier explizit eine bestimmte Strategie angeben (MS, Frage 1). Dabei ging aus den weiteren Antworten von PH hervor, dass er auf exaktes Nachfragen konkretere Angaben zu seiner Leistung geben konnte.

Die mathematischen Leistungen der GKR lagen gemäß ihren Angaben im guten bis sehr guten Bereich, die ASKR beschrieben in zwei von drei Fällen wesentlich schlechtere Leistungen (Frage 3). Auch gaben diese zwei Personen eine Zeitspanne an, in der sie die Leistung des Kalenderrechners erbringen konnten (Frage 2). Eine solche Zeitspanne wurde ebenfalls von zwei GKR angegeben.

Die ASKR gaben in allen drei Fällen an, auch in anderen Bereichen über außergewöhnliche Fähigkeiten zu verfügen, wobei in einem Fall außergewöhnliche künstlerische Leistungen genannt wurden, in einem weiteren musikalische. Auch bei den GKR wurde in einem Fall von besonderen musikalischen Leistungen berichtet (Nachspielen von Musikstücken nach einmaliger Darbietung), in einem weiteren von ungewöhnlichen sprachlichen Begabungen (rückwärts sprechen etc.). Alle ASKR gaben an, ein besonders gutes Gedächtnis für Situationen, in zwei von drei Fällen außerdem für Zahlen und Daten (Fahrpläne, U-Bahnsysteme etc.) zu haben. Auch alle GKR gaben an, über ein besonders gutes Gedächtnis zu verfügen; während sich zwei Personen haargenau an Namen, Daten und Situationen erinnern konnten, benötigte die dritte Person hierzu jedoch ein selbst entwickeltes Ankersystem (Fragen 4 und 5).

Während die ASKR einstimmig verneinten, sich je mit dem ewigen Kalender beschäftigt zu haben oder sich innerhalb der Kalenderwissenschaften auszukennen (Fragen 7 und 8), haben sich zwei der

drei GKR mit dem ewigen Kalender auseinandergesetzt, eine davon kannte sich ferner in den Kalenderwissenschaften aus. Dem gemäß nutzen alle GKR bei ihren Berechnungen die Regularitäten des Gregorianischen Kalenders, wobei eine Person diese verwendeten Regularitäten selbst herausgefunden hatte. Auch zwei der drei ASKR gaben an, von bestimmten Regularitäten Gebrauch zu machen (Frage 9). Zwei ASKR gaben an, dass sie Ankerdaten verwendeten; auch zwei der drei GKR verwendeten Ankerdaten, wobei verschiedene Daten als Grundlage dienten (Frage 11). Ein ASKR (MR) war jedoch weder in der Lage, seine Strategien bzw. die Regularitäten des Kalenders explizit zu verbalisieren, noch anzugeben, ob er Ankerdaten verwendete, was von seinen Eltern jedoch angenommen wurde.

Alle GKR gaben an, dass beim Kalenderrechnen in Abhängigkeit von Übung und Datum bewusste Prozesse einerseits und automatisierte Prozesse andererseits dominierten. Bei den ASKR ergab sich auch hier ein uneinheitliches Bild: während ein ASKR beschrieb, dass bewusste Prozesse stattfänden, waren bei einem weiteren bewusste wie automatisierte Prozesse beteiligt, beim dritten ASKR (MR) wurde aufgrund der enormen Geschwindigkeit vermutet, dass die Leistung automatisiert ist (Frage 10).

Die ASKR gaben an, dass sie im Mittel in einem Alter von 7,4 Jahren ($s = 2.51$, Variationsbreite = 5-10 Jahre) erstmals Interesse für Kalenderberechnungen zeigten und diese auch zum selben Zeitpunkt beherrschten. In einem Fall (MR) gingen die Eltern davon aus, dass MR diese Fähigkeit schon früher (im Alter von 4-5 Jahren) beherrscht hatte, sie nur nicht offenbarte, da er nicht sprach. Die GKR zeigten erstes Interesse an Kalenderberechnungen wesentlich später in einem mittleren Alter von 27 Jahren ($s = 14.933$, Variationsbreite = 10-38 Jahre), sie beherrschten die Leistung des Kalenderrechnens über das laufende Jahr hinaus erst im Jahr 2004, nachdem sie es für das Wissenschaftsjournal MTW geübt hatten (Fragen 12 und 13).

Nur die GKR gaben einstimmig an, das Kalenderrechnen regelmäßig geübt zu haben; dabei trainierten sie diese Fähigkeit im Mittel seit 9.67 Wochen ($s = 2.51$, Variationsbreite = 7-12 Wochen) täglich im Mittel 4.667 Minuten ($s = 2.186$, Variationsbreite = 2-9 Minuten). Nur einer der drei ASKR gab an, das KR je explizit geübt zu haben (ca. 2 Stunden pro Woche); die Eltern von MR vermuteten, dass er niemals übte, auch der dritte ASKR gab an, nie explizit geübt zu haben, sondern lediglich gelegentlich von Gästen ausgefragt worden zu sein (Fragen 14 und 15).

GKR wie ASKR gaben einhellig an, für Kalendermaterial eine besondere Konzentrationsfähigkeit zu besitzen (Frage 16).

3.2 Behaviorale Daten

3.2.1 Analyse der Daten der Gegenwart, alle Gruppen

3.2.1.1 Analyse der Reaktionszeit

Die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung der Reaktionszeit (siehe Tabelle 4) ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „Bedingung“ ($F_{1,27} = 17.379$, $p < .001$, siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Mittlere Reaktionszeit beider Bedingungen

Bedingung	Experimentalbedingung	M	5.2429	s_e	0.3910
	Kontrollbedingung	M	1.3234	s_e	0.0859

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über die vier Gruppen (EG_{SAV} , KG_{GES} , KG_{AUT} , KG_{KR}) pro Bedingung.

Die Reaktionszeit war signifikant kürzer für die Kontrollbedingung als für die Experimentalbedingung (Kalenderrechnen).

Ein weiterer signifikanter Haupteffekt betraf den Gruppenfaktor ($F_{3,26} = 4.033$, $p = .018$, siehe Abbildung 16). Post-hoc t-Tests zeigten, dass die Unterschiede in der Reaktionszeit zwischen den ASKR und den GKR einerseits ($t_{(4)} = 2.853$, $p = .46$) sowie der autistischen Kontrollgruppe andererseits ($t_{(7)} = 2.460$, $p = .045$) signifikant waren: die autistischen Savants gaben ihre Antworten signifikant schneller als GKR und die autistischen Kontrollpersonen. Auch der Unterschied zwischen der gesunden Kontrollgruppe und der autistischen Kontrollgruppe erwies sich als signifikant ($t_{(22)} = -2.650$, $p = .015$), wobei die autistischen Kontrollpersonen langsamer reagierten als die gesunde Kontrollgruppe.

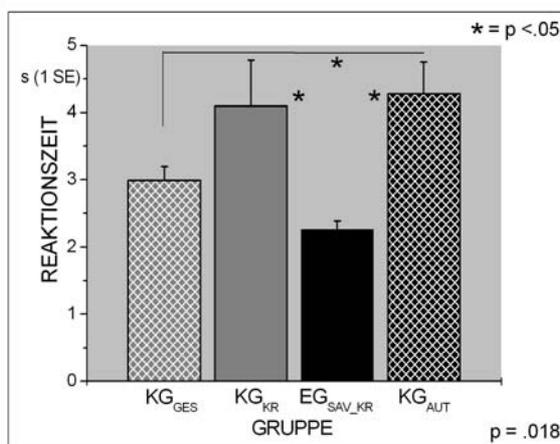


Abbildung 16: Mittlere Reaktionszeiten der vier Gruppen

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über beide Bedingungen (Experimentalbedingung, Kontrollbedingung) pro Gruppe.

Die signifikante Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Bedingung“ ($F_{3,26} = 4.153$, $p = .016$) zeigte, dass die Unterschiede in den Reaktionszeiten der Gruppen vor allem auf Unterschieden in der Experimentalbedingung, d. h. dem Kalenderrechnen, basierten (siehe Abbildung 17). Post hoc t-Tests ergaben, dass ASKR beim Kalenderrechnen eine signifikant kürzere Reaktionszeit zeigten als GKR einerseits und autistische Kontrollpersonen andererseits ($t_{(4)} = 3.143$, $p = .035$ bzw. $t_{(7)} = 2.455$, $p = .044$). Außerdem zeigten hier die autistischen Kontrollpersonen signifikant längere Reaktionszeiten als die gesunden ($t_{(22)} = -2.200$, $p = .039$).

Innerhalb der Kontrollbedingung unterschieden sich lediglich die Reaktionszeiten wiederum der gesunden und autistischen Kontrollpersonen voneinander ($t_{(22)} = -4.092$, $p < .001$), wobei auch hier die autistische Kontrollpersonen signifikant langsamer reagierten.

Während sich die Reaktionszeiten zwischen der Experimental- und Kontrollbedingung bei der gesunden Kontrollgruppe ($t_{(17)} = 10.329$, $p < .001$), den GKR ($t_{(2)} = 5.354$, $p = .033$) sowie der autistischen Kontrollgruppe ($t_{(5)} = -5.061$, $p = .004$) signifikant unterschieden, war dies bei den ASKR nicht der Fall: sie benötigten zum Kalenderrechnen nicht signifikant länger als zur Lösung der Kontrollaufgabe.

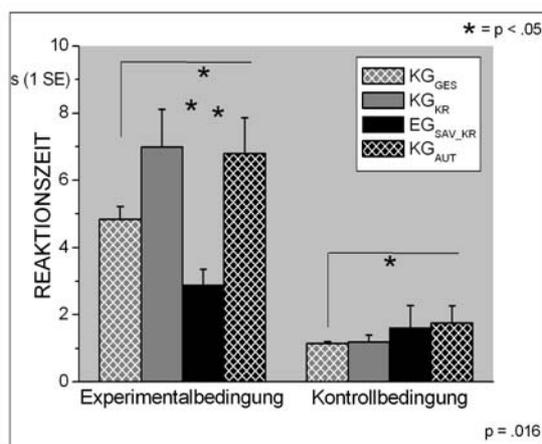


Abbildung 17: Mittlere Reaktionszeiten der vier Gruppen für beide Bedingungen (Experimentalbedingung, Kontrollbedingung)

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung pro Gruppe.

3.2.1.2 Analyse der Fehlerrate (Prozent richtiger Antworten, PRA)

Die zweifaktorielle ANOVA der Fehlerrate (siehe Tabelle 4) ergab eine hochsignifikante Interaktion des Faktors „Gruppe“ mit dem Faktor „Bedingung“ ($F_{3,26} = 9.305$, $p < .001$, siehe Abbildung 18).

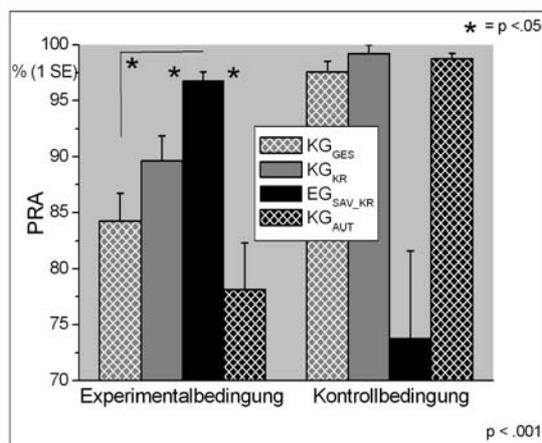


Abbildung 18: Mittlere PRA der vier Gruppen für beide Bedingungen

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung pro Gruppe.

Unter der Experimentalbedingung unterschieden sich alle drei Kontrollgruppen in ihrer Leistung von der Experimentalgruppe der ASKR: diese gaben signifikant mehr richtige Antworten als die gesunde Kontrollgruppe ($t_{(18,956)} = -4.814$, $p < .001$), die autistische Kontrollgruppe ($t_{(7)} = -3.042$, $p = .019$), sowie die GKR ($t_{(4)} = -3.020$, $p = .039$).

Unter der Kontrollbedingung zeigten alle Kontrollgruppen hervorragende Leistungen, während zwei der drei autistischen Savants bei dieser einfachen Aufgabe massive Schwierigkeiten zeigten. Aufgrund der hohen Streuung der ASKR bei dieser Aufgabe verfehlten jedoch auch die derart großen Unterschiede jeweils das Signifikanzniveau von 5%.

Die gesunde und die autistische Kontrollgruppe gab bei der Kontrollbedingung signifikant mehr richtige Antworten als bei der Experimentalbedingung ($t_{(17)} = -5.456$, $p < .001$ bzw. $t_{(5)} = -4.677$, $p = .005$). Die Leistungen der GKR und ASKR unterschieden sich zwischen den beiden Bedingungen jedoch nicht signifikant.

3.2.2 Analyse der Daten der gesunden und autistischen Savant-Kalenderrechner

3.2.2.1 Analyse der Reaktionszeit

Die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen der Reaktionszeit (siehe Tabelle 5) ergab einen signifikanten Haupteffekte des Faktors „Zeit“ ($F_{1,754,3} = 13.373$, $p = 0.005$, siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Mittlere Reaktionszeit der Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft)

Zeit	Vergangenheit	M	7.495	S _e	1.1355
	Gegenwart	M	4.939	S _e	1.0875
	Zukunft	M	7.468	S _e	0.7514

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über beiden Gruppen (EG_{SAV} ; KG_{KR}) pro Zeit.

Post hoc t-Tests für gepaarte Stichproben zeigten, dass die Reaktionszeiten für Daten der Gegenwart signifikant kürzer waren als für Daten der Vergangenheit ($t_{(5)} = 5.929$, $p = .002$) und für Daten der Zukunft ($t_{(5)} = -3.751$, $p = .013$): Daten der Gegenwart waren über beide Gruppen hinweg am schnellsten zu lösen.

Ferner zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Gruppe“ ($F_{1,3} = 8.164$, $p = .046$). ASKR hatten beim Kalenderrechnen über alle Zeiten hinweg signifikant kürzere Reaktionszeiten als die GKR (siehe Abbildung 19).

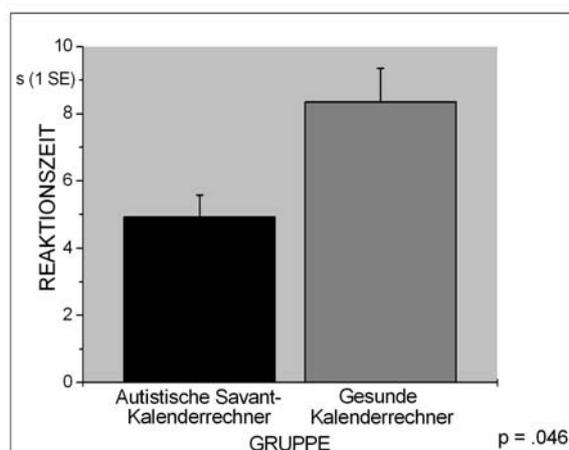


Abbildung 19: Mittlere Reaktionszeiten der GKR und ASKR

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über die drei Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) pro Gruppe

Es fand sich keine signifikante Interaktion der Faktoren Zeit und Gruppe ($F_{1,745,3} = 2.307$, $p = .171$, siehe Abbildung 20). Aufgrund der Hypothesen, die Unterschiede zwischen beiden Gruppen vor allem

bei Daten der Vergangenheit und der Gegenwart einerseits sowie unterschiedliche Leistungen der Gruppen in Abhängigkeit vom Zeitraum andererseits vorhersagten (siehe 1.4.1), wurden post-hoc t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt.

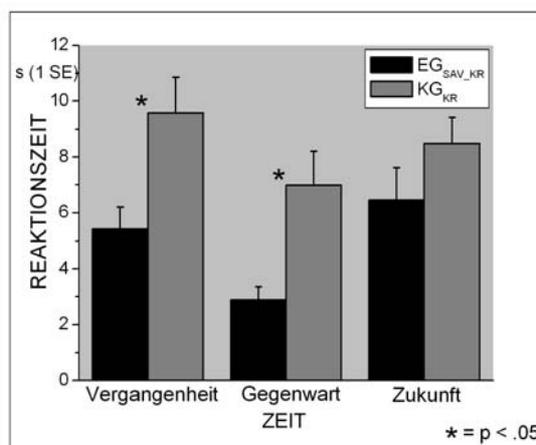


Abbildung 20: Mittlere Reaktionszeiten der Kalenderrechner für die unterschiedlichen Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft)

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung pro Gruppe.

Diese ergaben, dass sich die Reaktionszeiten der GKR und ASKR bei Daten der Vergangenheit ($t_{(4)} = 2.868$, $p = .046$) und der Gegenwart ($t_{(4)} = 3.143$, $p = .035$) signifikant voneinander unterschieden, nicht aber bei Daten der Zukunft.

Während die ASKR bei Daten der Zukunft signifikant langsamer waren als bei Daten der Gegenwart ($t_{(2)} = -4.848$, $p = .040$), waren die GKR bei Daten der Vergangenheit signifikant langsamer als bei Daten der Gegenwart ($t_{(2)} = 8.524$, $p = .013$).

3.2.2.2 Analyse der Fehlerrate (Prozent richtiger Antworten, PRA)

Auch bei der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen der Fehlerrate (siehe Tabelle 5) ergab sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Zeit“ ($F_{1,423, 3} = 13.635$, $p = 0.009$, siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Mittlere Fehlerrate (Prozent richtiger Antworten) der unterschiedlichen Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft)

Fehlerrate	Vergangenheit	M	83.175	s_e	2.9478
	Gegenwart	M	93.201	s_e	1.9125
	Zukunft	M	86.742	s_e	1.9522

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über beiden Gruppen (EG_{SAV}, KG_{KR}) pro Zeit.

Während post hoc t-Tests signifikante Unterschiede zwischen der Fehlerrate für Daten der Vergangenheit und der Gegenwart ($t_{(5)} = -5.058$, $p = .004$) sowie die Tendenz eines signifikanten Unterschieds zwischen Daten der Gegenwart und der Zukunft ($t_{(5)} = 2.379$, $p = .063$) zeigten, unterschieden sich Fehlerrate von Daten der Vergangenheit und der Zukunft nicht signifikant voneinander: über beide Gruppen wurden bei Daten der Gegenwart die meisten richtigen Antworten gegeben.

Es ergab sich außerdem eine signifikante Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Zeit“ ($F_{1,423, 3} = 5.942$, $p = 0.046$, siehe Abbildung 21).

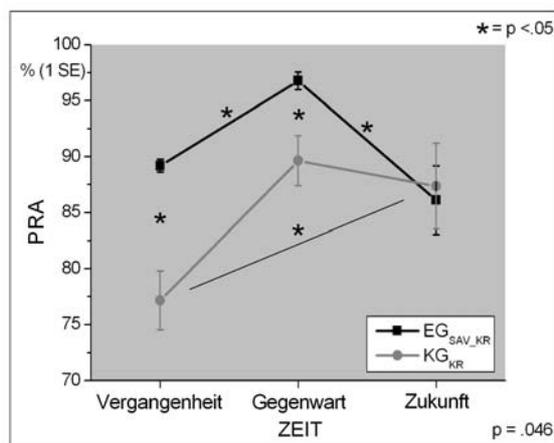


Abbildung 21: Mittlere Prozent richtiger Antworten der Kalenderrechner für die unterschiedlichen Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft)

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung pro Gruppe

Während die ASKR bei Daten der Vergangenheit und der Gegenwart signifikant mehr richtige Antworten gaben als die GKR, verlor sich dieser Unterschied, wenn sie Daten der Zukunft zu rechnen hatten: Post hoc t-Tests zeigten signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl richtiger Antworten beider Gruppen bei Daten der Vergangenheit einerseits ($t_{(4)} = -4.433$, $p = .011$) sowie bei Daten der Gegenwart andererseits ($t_{(4)} = -3.020$, $p = .039$), nicht aber bei Daten der Zukunft.

Außerdem kann der Haupteffekt des Faktors „Zeit“ erläutert werden: Die ASKR gaben mehr richtige Antworten für die Gegenwart als für die Vergangenheit ($t_{(2)} = -6.091$, $p = .026$) und die Zukunft ($t_{(2)} = 6.931$, $p = .020$). Die GKR gaben jedoch lediglich mehr richtige Antworten für die Zukunft als für die Vergangenheit ($t_{(2)} = -7.864$, $p = .016$), der Unterschieds zwischen Daten der Gegenwart und Daten der Vergangenheit zeigte eine schwache Tendenz zur Signifikanz ($t_{(2)} = -3.580$, $p = .070$): die GKR rechneten die Daten der Gegenwart ebenso gut wie die der Zukunft.

3.2.3 Weitere Analysen

(1) Analysen basierend auf Hypothese VII

- (a) Die zweifaktoriellen ANOVAs mit Messwiederholungen für die Kalendervariablen Monats-7-Tage-Sektionen, Monats-10-Tage-Sektionen, Monate sowie 10-Jahres-Intervalle (Design siehe Tabelle 6) ergaben für die Analyse der Reaktionszeit sowie der Fehlerrate weder signifikante Haupteffekte der Kalendervariablen noch signifikante Interaktionen mit den Kalendervariablen.
- (b) Für GKR sowie ASKR unterschied sich die mittlere Reaktionszeit für Daten des Monats Dezember von keiner der mittleren Reaktionszeiten der Daten der jeweils elf anderen Monate signifikant.
- (c) Die Analyse bezüglich linearer Zusammenhänge zwischen den Kalendervariablen (Monats-7-Tage-Sektionen, Monats-10-Tage-Sektionen und Monate) und der Reaktionszeit bzw. Fehlerrate ergab das folgende Bild:
- bezogen auf die Monats-7-Tage Sektionen zeigte sich für die ASKR die Tendenz einer signifikanten positiven Korrelation zwischen den Monats-7-Tage-Sektionen und der Reaktionszeit ($r_4 = .933$, $p = .06$, siehe Abbildung 22 (a)) – je später die Woche im Monat lag, desto länger war die Reaktionszeit. Bezogen auf die Fehlerrate ergab sich kein linearer Zusammenhang.
 - Die Analyse der Monats-10-Tage-Sektionen ergab eine signifikante positive Korrelation mit der Reaktionszeit für ASKR ($r_3 = 0.997$, $p = 0.047$) und die starke Tendenz einer signifikanten Korrelation für GKR ($r_3 = 0.996$, $p = 0.055$, siehe Abbildung 22 (b)): Je später die Dekade im Monat lag, desto länger war die Antwortlatenz. Auch hier zeigte sich kein linearer Zusammenhang mit der Fehlerrate.
 - Die Untersuchung linearer Zusammenhänge zwischen der Variablen „Monat im Jahr“ und Reaktionszeit zeigte für die ASKR im Gegensatz zu den GKR eine signifikante negative Korrelation zwischen der Reaktionszeit und dem Monat ($r_{12} = - 0.583$, $p = 0.046$, siehe Abbildung 22 (c)). Für die Fehlerrate ergab sich in keiner der beiden Gruppen ein linearer Zusammenhang.

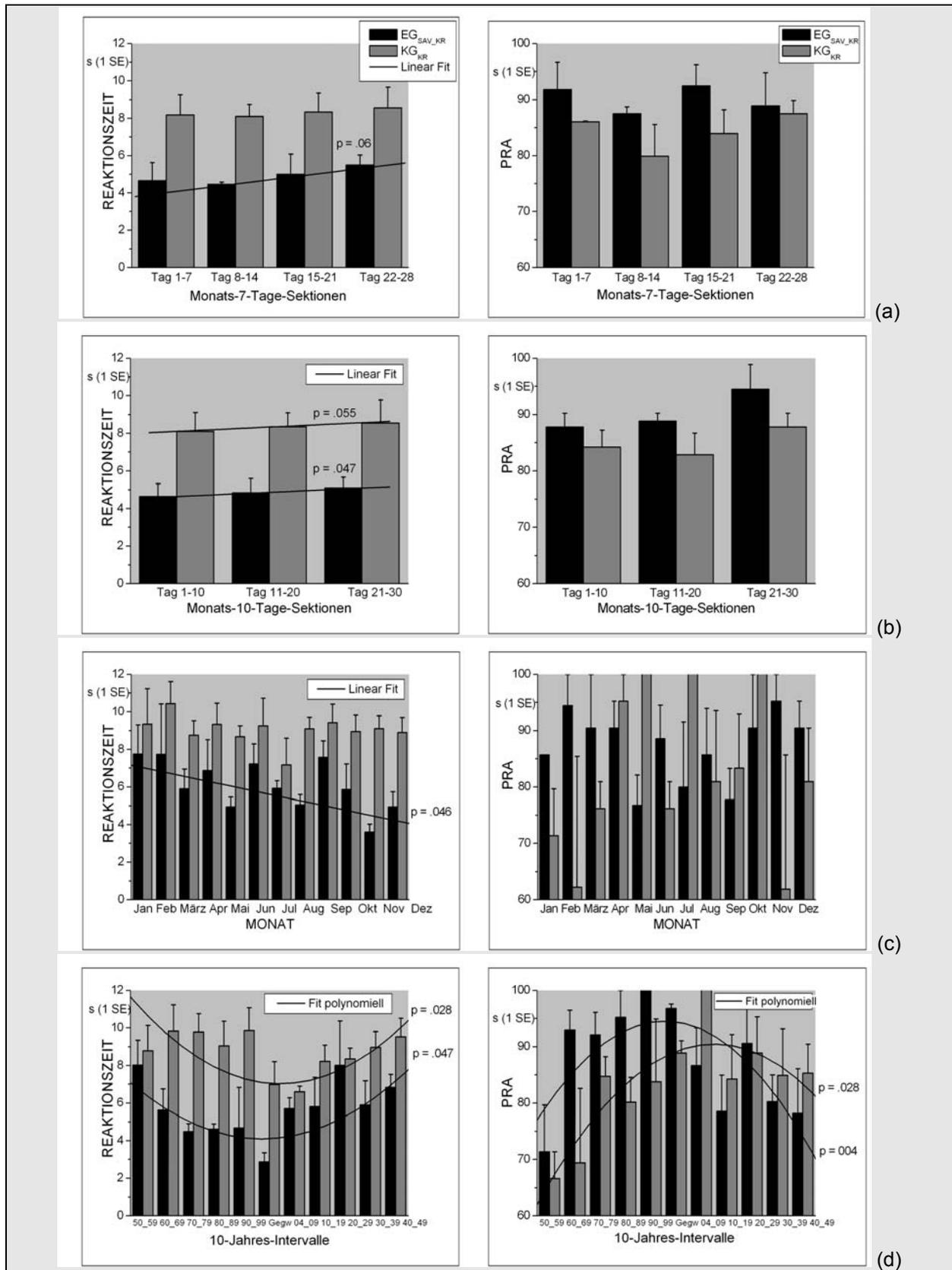


Abbildung 22: Mittlere Reaktionszeiten und PRA GKR und ASKR in Abhängigkeit der Kalendervariablen (a) Woche bzw. (b) 10-Tage-Sektion im Monat, (c) Monat im Jahr und (d) 5-Jahres-Intervall

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung (a) pro 7-Tage-Sektion über Monate und Jahre, (b) pro 10-Tage-Sektion über Monate und Jahre; (c) pro Monat über Jahre; (d) pro 10-Jahres-Intervall pro Gruppe

(2) Analysen basierend auf Hypothese IV

- (a) Für die lineare Beziehung zwischen Antwortlatenz bzw. Fehlerrate und Nähe des Datums der Vergangenheit zur Gegenwart ergab sich das folgende Bild:
- Bei den GKR zeigte sich für Daten der Vergangenheit kein linearer Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit einerseits und der Distanz zur Gegenwart andererseits. Bei den ASKR zeigte sich hingegen ein linearer Zusammenhang ($r_6 = -.893$, $p = .017$): Die Antwortlatenz nahm signifikant ab, je näher das Datum an der Gegenwart war.
 - Die Analyse der Fehlerrate ergab bei den GKR wie bei den ASKR für Daten der Vergangenheit eine signifikante positive Korrelation mit der Distanz zur Gegenwart ($r_6 = -.892$, $p = .017$ bzw. $r_6 = -.829$, $p = .003$): Je näher das Datum an der Gegenwart war, desto mehr richtige Antworten wurden gegeben.
- (b) Der Test auf eine U-förmige Beziehung zwischen der Antwortlatenz bzw. Prozentzahl richtiger Antworten und der Distanz des Datums in Vergangenheit oder Zukunft zur Gegenwart mittels quadratischer Regressionsgleichung konnte die unter (2a) gefundenen Ergebnisse folgendermaßen erläutern (siehe Abbildung 22 (d)):
- Es bestand für ASKR sowie für GKR eine signifikante u-förmige Beziehung zwischen der Nähe des Datums zur Gegenwart und der Reaktionszeit ($r^2(\text{COD})_{11} = 0.533$, $p = 0.047$ bzw. $r^2(\text{COD})_{11} = 0.587$, $p = 0.028$): mit der Distanz zur Gegenwart nahm die Reaktionszeit zu.
 - Für die Prozentzahl richtiger Antworten bestand für ASKR wie GKR eine signifikante parabolische bzw. umgekehrt - u-förmige Beziehung zur Nähe zur Gegenwart ($r^2(\text{COD})_{11} = 0.532$, $p = 0.04$ bzw. $r^2(\text{COD})_{11} = 0.752$, $p = 0.004$): je weiter das Datum von der Gegenwart entfernt war, desto weniger richtige Antworten wurden gegeben.

(3) Loose Ends

- Der Zeitraum, seit dem die GKR bzw. ASKR die Fähigkeit zum Kalenderberechnen beherrschen, unterschied sich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant: die GKR führten Kalenderberechnungen im Mittel seit 22.00 Jahren durch ($s_e = 12.423$), die ASKR seit 22.33 Jahren ($s_e = 22.333$).
- Weder Fehlerzahl noch Antwortgeschwindigkeit korrelierten mit dem IQ der Versuchspersonen.
- Zwischen der Reaktionszeit und den PRA (Prozent richtiger Antworten) zeigte sich bei den Kalenderrechnern die folgende Beziehung: Während sich für die Daten der Zukunft und der Gegenwart keine signifikante Korrelation zeigte, bestand bei Daten der Vergangenheit eine signifikante negative Korrelation zwischen der Reaktionszeit und den PRA ($r_{12} = -.898$, $p = .015$): Je schneller ein Kalenderrechner bei Daten der Vergangenheit antwortete, desto mehr richtige Antworten gab er (siehe Abbildung 23).

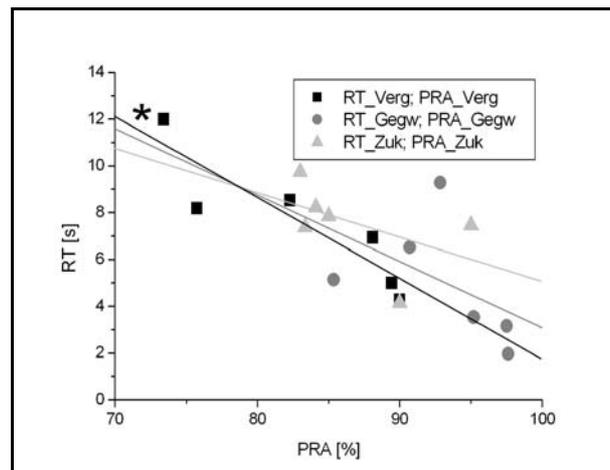


Abbildung 23: Zusammenhang bei Kalenderrechnern zwischen Reaktionszeit (RT) und Prozent richtiger Antworten (PRA) in den drei verschiedenen Berechnungszeiträumen (Zukunft, Gegenwart und Vergangenheit) [* = $p < .05$]

3.3 Hirnphysiologische Daten

3.3.1 Analyse der EEG-Daten, Daten der Gegenwart, alle Gruppen

Die ereigniskorrelierten Potentiale, die die gemittelte hirnelektrische Aktivierung reflektieren, die sich pro Gruppe bezogen auf die Präsentation von Daten der Gegenwart ergeben, sind in Abbildung 24 dargestellt. Die unterschiedlichen Graphen stellen EKPs an den verschiedenen Ableitungsorten dar.

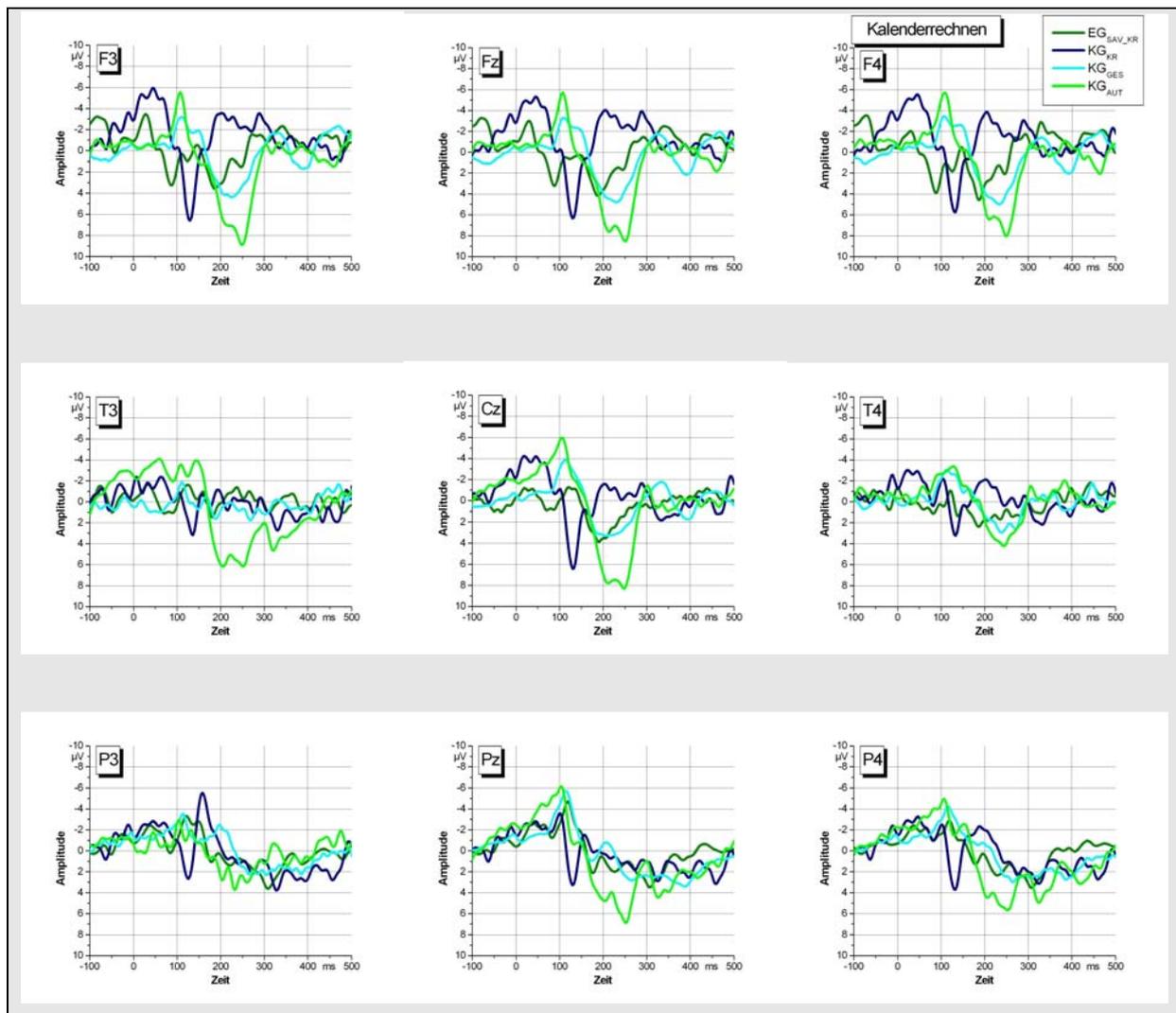


Abbildung 24: Gruppenspezifische EKPs beim Kalenderrechnen (Daten der Gegenwart)

3.3.1.1 Zeitfenster 90-150 ms

(1) Laterale Ableitungsorte

Die 4-faktorielle ANOVA der mittleren Amplituden der EKPs (siehe Tabelle 7) ergab einen signifikanten Haupteffekt des Gruppenfaktors ($F_{3, 19} = 3.415$, $p = .038$, siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Mittlere Amplituden (M) und mittlere Standardfehler (s_e) pro Gruppe im Zeitfenster 90-150 ms

Gruppe	EG_{SAV_KR}	M	0.063	s_e	1.593
	KG_{KR}	M	0.565	s_e	0.370
	KG_{GES}	M	-2.182	s_e	0.499
	KG_{AUT}	M	-2.851	s_e	0.716

Anmerkung. Die Werte sind pro Gruppe über das Zeitfenster 90 - 150 ms, über beide Bedingungen (Experimental- und Kontrollbedingung), Hemisphären und alle Regionen (frontal, parietal, temporal) gemittelt.

Während die autistischen und gesunden Kontrollpersonen im frühen Zeitfenster eine Negativierung zeigten, zeigten beide Gruppen von Kalenderrechnern eine Positivierung. Dabei war der Unterschied in der mittleren Amplitude zwischen GKR und gesunden Kontrollpersonen signifikant ($p = 0.007$), der Unterschied zwischen GKR und der autistischen Kontrollgruppe verfehlte das Signifikanzniveau ($p = .065$).

Ein weiterer Haupteffekt betraf den Bedingungsfaktor ($F_{1, 19} = 10.105$, $p = .005$). Die mittlere Amplitude unter der Kontrollbedingung war größer als unter der Experimentalbedingung (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Mittlere Amplituden (M) und mittlere Standardfehler (s_e) pro Bedingung im Zeitfenster 90-150 ms

Bedingung	Experimentalbedingung	M	-1.3304	s_e	.4703
	Kontrollbedingung	M	-1.9651	s_e	.4506

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über die vier Gruppen (EG_{SAV}, KG_{GES}, KG_{AUT}, KG_{KR}), beide Hemisphären und die Regionen (frontal, parietal, temporal) pro Bedingung.

Ferner ergab sich eine signifikante Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ ($F_{4.886, 30.94} = 2.574$, $p = .048$). Diese Interaktion spezifiziert die oben beschriebenen Haupteffekte der Faktoren „Gruppe“ und „Bedingung“ folgendermaßen (siehe Abbildung 25):

Die Unterschiede der mittleren Amplitude zwischen der Experimental- und Kontrollbedingung ließen sich im Parietallappen [P3, P4] lokalisieren: Hier zeigten die GKR eine größere mittlere Amplituden unter der Kontrollbedingung als unter der Experimentalbedingung ($t_{(2)} = 4.838$, $p = .040$), die gesunden Kontrollpersonen zeigten eine Tendenz hierzu ($t_{(12)} = -1.99$, $p = .070$). Bei den ASKR und den autistischen Kontrollpersonen ergab sich hingegen keinerlei Unterschied in der mittleren parietalen Amplitude zwischen Experimental- und Kontrollbedingung.

Unter der Kontrollbedingung zeigten sich in keiner der Regionen (frontal, temporal, parietal) Gruppenunterschiede in der mittleren Amplitude. Unter der Experimentalbedingung bestanden hingegen bereits im frühen Zeitfenster 90-150 ms Gruppenunterschiede in der mittleren frontalen bzw. parietalen Amplitude ($F_{3, 19} = 6.787$, $p = .003$ bzw. $F_{3, 19} = 3.110$, $p = .051$ (Tendenz)): So zeigten die ASKR beim Kalenderrechnen eine frühe frontale Positivierung, die sich signifikant von der Negativierung gesunder

und autistischer Kontrollpersonen unterschied ($p = .006$ bzw. $p = .025$), die GKR zeigten bei der Ausführung ihrer Spezialfertigkeit eine frühe parietale Positivierung, die sich signifikant von der Negativierung gesunder Kontrollpersonen unterschied ($p = .048$).

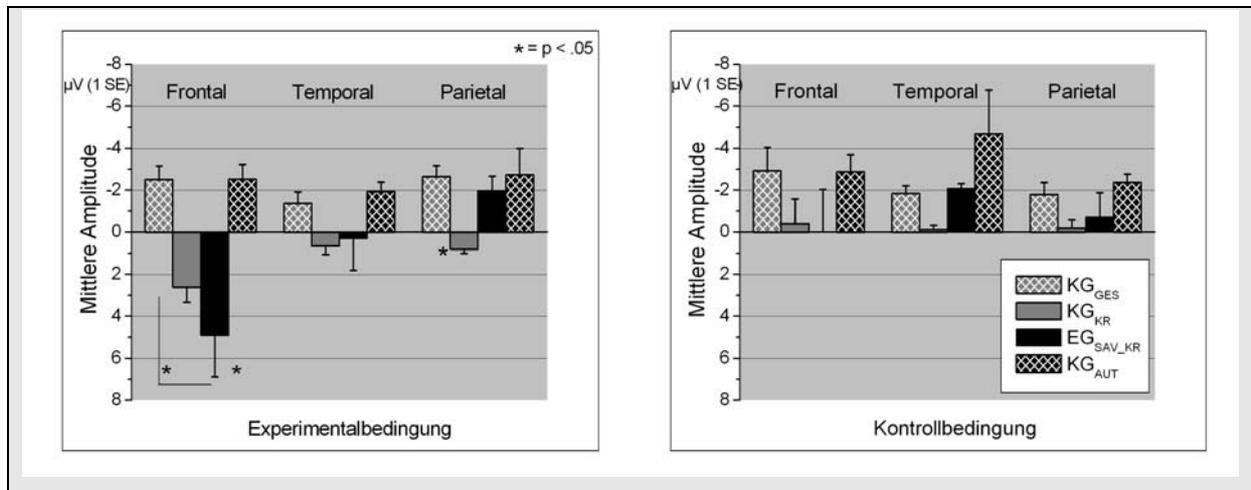


Abbildung 25: Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über beide Hemisphären pro Gruppe, Bedingung und Region.

(2) Mittlere Ableitungsorte

Die dreifaktorielle ANOVA der EKPs der mittleren Ableitungsorte (siehe Tabelle 8) ergab weder signifikante Haupteffekte noch signifikante Interaktionen.

3.3.1.2 Zeitfenster 210-370 ms

(1) Laterale Ableitungsorte

Auch die varianzanalytische Untersuchung des Zeitfensters 210-370 ms (siehe Tabelle 7) zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Gruppenfaktors ($F_{3, 19} = 4.034$, $p = .022$). Die signifikante Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Zeitfenster“ klärte, dass dieser Haupteffekt des Gruppenfaktors vornehmlich auf Unterschieden im Zeitfenster 210-290 ms basierte ($F_{3, 19} = 4.268$, $p = .018$, siehe unten), während sich im Zeitfenster 290-370 ms die mittlere Amplitude zwischen den Gruppen nicht voneinander unterschied.

Ferner zeigten sich über die vier Gruppen hinweg signifikante Interaktionen der Faktoren „Region“ und „Zeitfenster“ ($F_{6, 38} = 4.362$, $p = .045$) sowie „Region“ und „Bedingung“ ($F_{6, 38} = 4.914$, $p = .021$). Die Interaktion der Faktoren „Region“, „Bedingung“ und „Zeitfenster“ ($F_{3, 19} = 6.583$, $p = .004$) fasste diese beiden Interaktionen folgendermaßen zusammen:

Im Zeitfenster 210-290 ms zeigte sich über die vier Gruppen hinweg unter der Experimentalbedingung eine deutlichere frontale bzw. parietale Positivierung als unter der Kontrollbedingung ($t_{(22)} = -2.268$, $p = .034$ bzw. $t_{(22)} = -2.345$, $p = .028$), im Temporallappen [T3, T4] ließen sich keine Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollbedingung lokalisieren (zu gruppenspezifischen Unterschieden im

Zeitfenster 210-290 ms siehe unten bzw. Abbildung 27). Im Zeitfenster 290-370 ms zeigte sich über die vier Gruppen hinweg unter der Experimentalbedingung eine frontale Negativierung und unter der Kontrollbedingung eine frontale Positivierung ($t_{(22)} = -2.694$, $p = .013$), im Parietal- und Temporallappen ließen sich keine Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollbedingung lokalisieren. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 26 dargestellt.

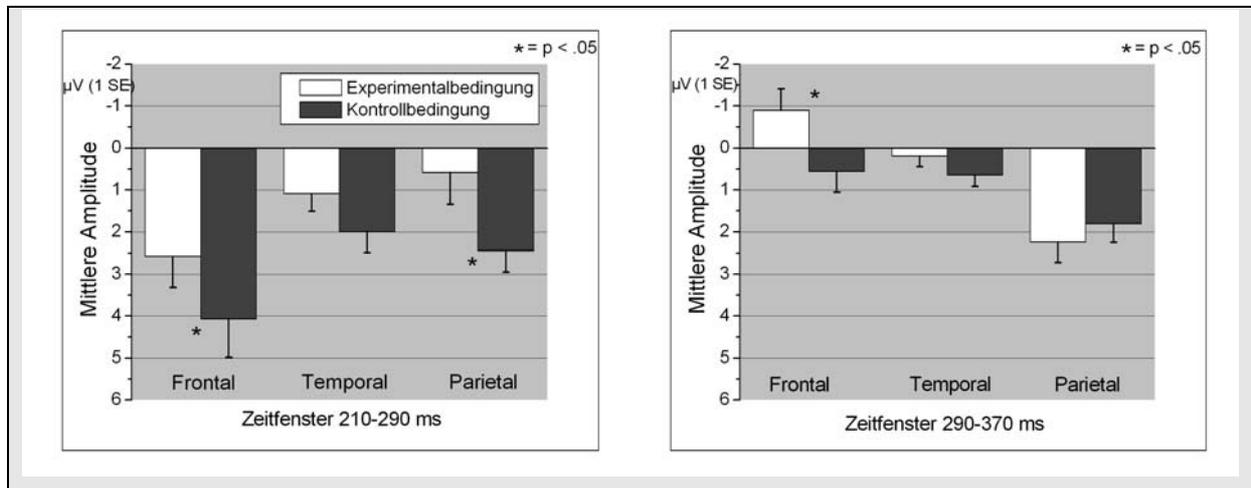


Abbildung 26: Interaktion der Faktoren „Zeitfenster“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 210-370 ms

Anmerkung. Die Werte sind pro Region, Bedingung und Zeitfenster über beide Hemisphären und alle Gruppen (EG_{SAV}, KG_{GES}, KG_{AUT}, KG_{KR}) gemittelt.

Die separate Analyse der beiden Unterzeitfenster führte zu folgenden Resultaten:

(1) Zeitfenster 210-290 ms

Die vierfaktorielle ANOVA der EKPs (siehe Tabelle 7) ergab im Zeitfenster 210-290 ms wie im gesamten Zeitfenster 210-370 ms einen deutlicher Gruppeneffekt ($F_{3, 19} = 4.268$, $p = .018$, siehe Tabelle 18). Post-hoc t-Tests zeigten, dass der Unterschied in der mittleren Amplitude zwischen GKR und autistischen Kontrollpersonen signifikant war ($p = .018$): während die GKR die schwächste Positivierung der vier Gruppen zeigten, zeigten die autistischen Kontrollpersonen die stärkste Positivierung.

Tabelle 18 Mittlere Amplituden (M) und mittlere Standardfehler (s_e) pro Gruppe im Zeitfenster 210-290 ms

Gruppe	EG _{SAV_KR}	M	1.387	s_e	0.599
		KG _{KR}	M	0.109	s_e
	KG _{GES}	M	2.020	s_e	0.534
	KG _{AUT}	M	4.506	s_e	0.726

Anmerkung. Die Werte sind pro Gruppe über das Zeitfenster 210 - 290 ms, über beide Bedingungen (Experimental- und Kontrollbedingung), Hemisphären und alle Regionen (frontal, parietal, temporal) gemittelt.

Die signifikante Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ ($F_{6, 38} = 2.835$, $p = .050$) spezifizierte, dass der oben beschriebenen Haupteffekt des Faktors „Gruppe“ auf Unterschieden in frontalen bzw. parietalen Regionen basierte ($F_{3, 19} = 3.469$, $p = .037$ bzw. $F_{3, 19} = 5.59$, $p = .006$), während sich in temporalen Regionen keine Gruppenunterschiede lokalisieren ließen. Post-hoc t-Tests ergab in frontalen

Regionen die Tendenz eines signifikanten Unterschieds zwischen GKR und gesunden bzw. autistischen Kontrollpersonen ($p = .090$ bzw. $p = .057$): Während GKR eine frontale Negativierung zeigten, zeigten gesunde und autistische Kontrollpersonen eine frontale Positivierung. In parietalen Regionen zeigten autistische Kontrollpersonen eine signifikant stärkere Positivierung als gesunde Kontrollpersonen ($p = .004$).

Diese regionsspezifischen Gruppenunterschiede im Zeitfenster 210-290 ms basierten, wie in Abbildung 27 dargestellt, ausschließlich auf Unterschieden unter der Experimentalbedingung; unter der Kontrollbedingung ergaben sich keinerlei Gruppenunterschiede. Die Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ ($F_{6, 38} = 2.568$, $p = .039$) spezifizierte, dass sich die mittlere Amplitude der vier Gruppen beim Kalenderrechnen in frontalen wie in parietalen Regionen unterschied ($F_{3, 19} = 7.541$, $p = .002$ bzw. $F_{3, 19} = 6.006$, $p = .005$), während sich in temporalen Regionen wiederum keine Gruppenunterschiede lokalisieren ließen. Die mittlere frontale Amplitude unterschied sich unter der Experimentalbedingung signifikant zwischen GKR und gesunden wie autistischen Kontrollpersonen ($p = .018$ bzw. $p = .003$) sowie zwischen ASKR und autistischen Kontrollpersonen ($p = .030$): Während GKR und ASKR beim Kalenderrechnen eine frontale Negativierung zeigten, zeigten gesunde und autistische Kontrollpersonen eine frontale Positivierung. Die mittlere parietale Amplitude unterschied sich beim Kalenderrechnen zwischen autistischen und gesunden Kontrollpersonen ($p = .003$): die autistischen Kontrollpersonen zeigten hier eine deutliche Positivierung, die gesunden Kontrollpersonen eine Negativierung.

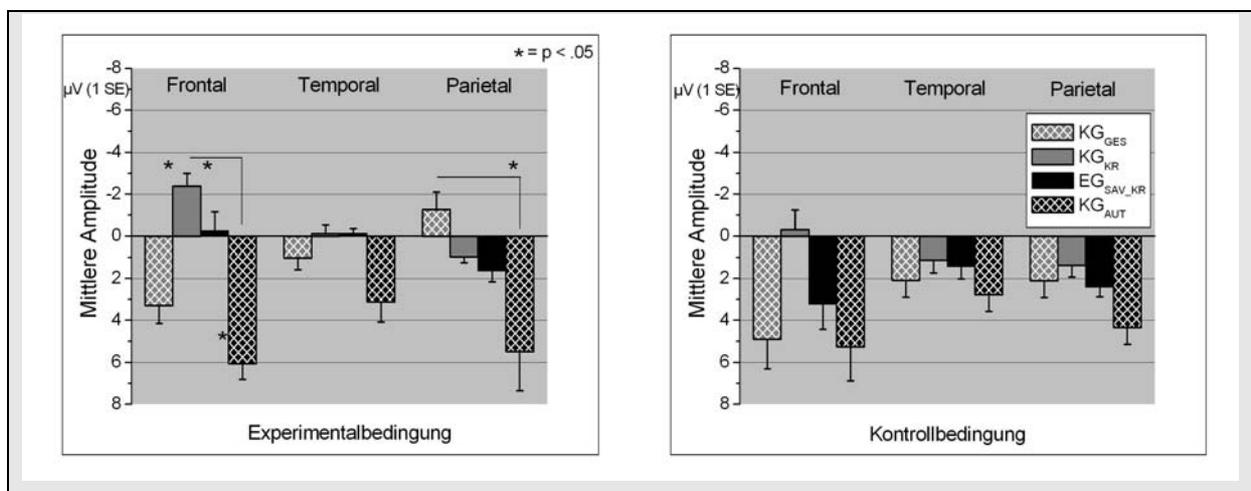


Abbildung 27: Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 210-290 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 210-290 ms über beide Hemisphären pro Gruppe, Bedingung und Region.

Die Unterschiede in der mittleren Amplitude zwischen der Experimental- und Kontrollbedingung ließen sich bei gesunden Kontrollpersonen, GKR und ASKR in unterschiedlichen Regionen lokalisieren (siehe Abbildung 27): Die gesunden Kontrollpersonen zeigten im Parietallappen [P3, P4] eine Negativierung unter der Experimentalbedingung und eine Positivierung unter der Kontrollbedingung ($t_{(12)} = -2.824$, $p = .015$). Bei den anderen Gruppen waren hingegen keine signifikante Unterschiede zwischen der Experimental- und Kontrollbedingung im Parietallappen beobachtbar. Bei den GKR zeigte sich die Tendenz eines signifikanten Unterschieds im Temporallappen [T3, T4], wo ebenfalls eine Negativ-

rung unter der Experimentalbedingung und eine Positivierung unter der Kontrollbedingung beobachtbar war ($t_{(2)} = -3.972$, $p = .058$). Bei den ASKR war die Tendenz eines signifikanten Unterschieds im Frontallappen [F3, F4] lokalisierbar. Hier zeigten die ASKR eine stärkere Negativierung unter der Experimentalbedingung als unter der Kontrollbedingung ($t_{(2)} = -3.592$, $p = .069$).

(2) Zeitfenster 290-370 ms

Im Zeitfenster 290-370 ms ergaben sich weder signifikante Haupteffekte noch Interaktionen.

(2) Mittlere Ableitungsorte

Die Analyse der EKPs der mittleren Ableitungsorte (siehe Tabelle 8) ergab im Zeitfenster 210-370 ms ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt des Gruppenfaktors ($F_{3, 19} = 3.522$, $p = .035$). Post hoc t-Tests zeigten, dass sich in diesem Zeitfenster wie bei den lateralen Ableitungsorten die mittlere Amplitude zwischen GKR und autistischen Kontrollpersonen signifikant unterschied ($p = .013$). Auch hier zeigten die autistischen Kontrollpersonen über alle Bedingungen und Regionen hinweg im Mittel eine signifikant stärkere Positivierung als GKR.

Die separate Analyse der beiden Unterzeitfenster ergab folgende Resultate:

(1) Zeitfenster 210-290 ms

Im Zeitfenster 210-290 ms brachte die dreifaktorielle ANOVA der EKPs (siehe Tabelle 8) lediglich die Tendenz eines signifikanten Gruppenfaktors zum Vorschein ($F_{3, 19} = 3.078$, $p = .052$). Die Tendenz einer signifikanten Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ ($F_{6, 38} = 2.596$, $p = .058$) spezifizierte, dass vornehmlich in der frontalen Region Unterschiede zwischen den Gruppen bestanden ($F_{3, 19} = 3.55$, $p = .034$). Diese basierten wiederum auf Unterschieden zwischen GKR und autistischen Kontrollpersonen ($p = .050$) sowie auf der Tendenz eines signifikanten Unterschieds zwischen GKR und gesunden Kontrollpersonen ($p = .065$): Während die GKR wie bei den lateralen Ableitungsorten in diesem späteren Zeitfenster eine Negativierung zeigten, zeigten autistische wie gesunde Kontrollpersonen wie bei den lateralen Ableitungsorten eine Positivierung.

(2) Zeitfenster 290-370 ms

Im Zeitfenster 290-370 ms ergaben sich weder signifikante Haupteffekte noch signifikante Interaktionen.

3.3.2 Analyse der EEG-Daten der GKR und ASKR

Die EKPs, die sich bei den ASKR bzw. GKR zeitbezogen auf das Berechnen von Daten der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft ergeben, sind für die neun Elektrodenpositionen in Abbildung 28 bzw. Abbildung 29 dargestellt.

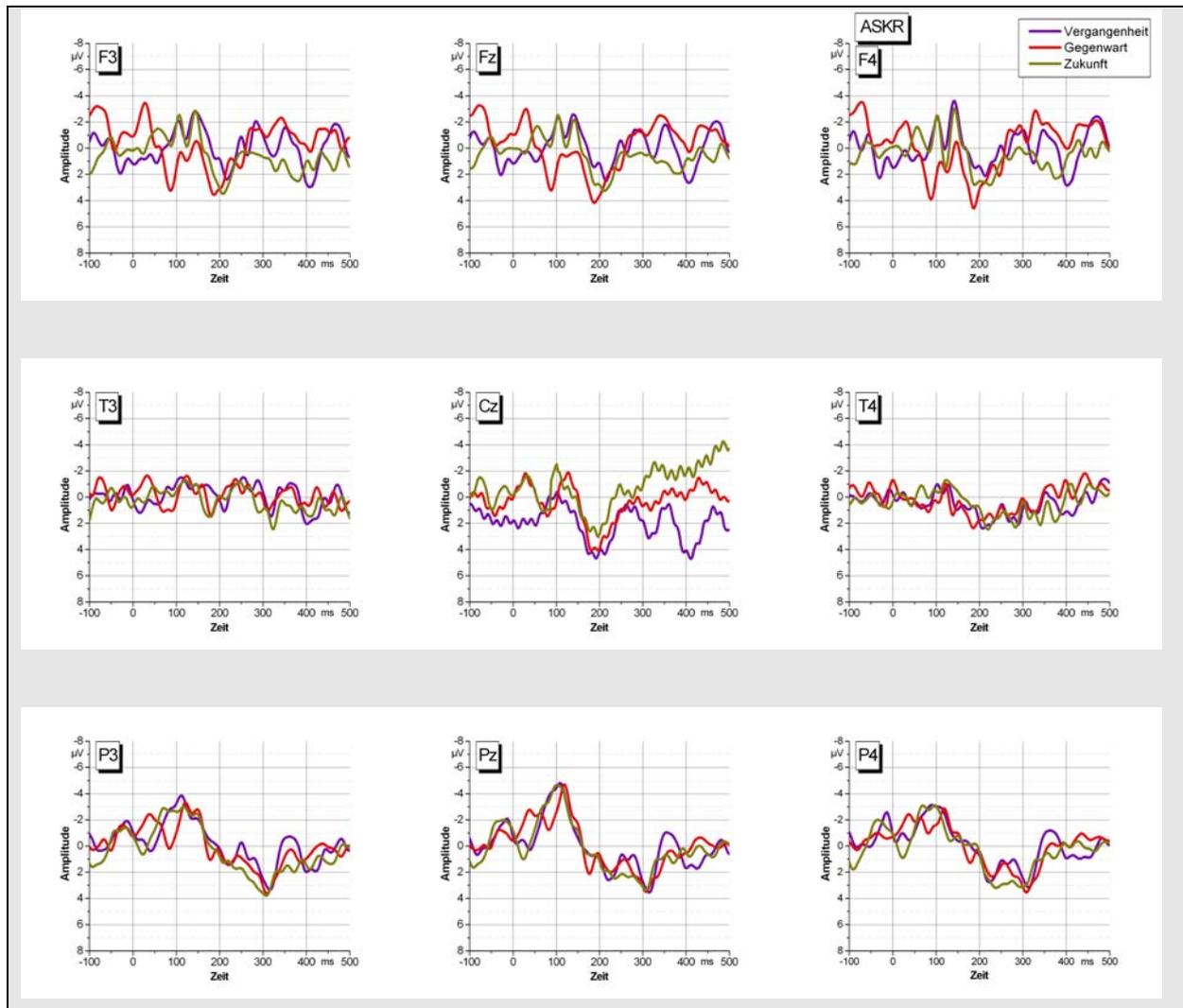


Abbildung 28: Gruppenspezifische EKPs der ASKR beim Kalenderrechnen (Daten der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft)

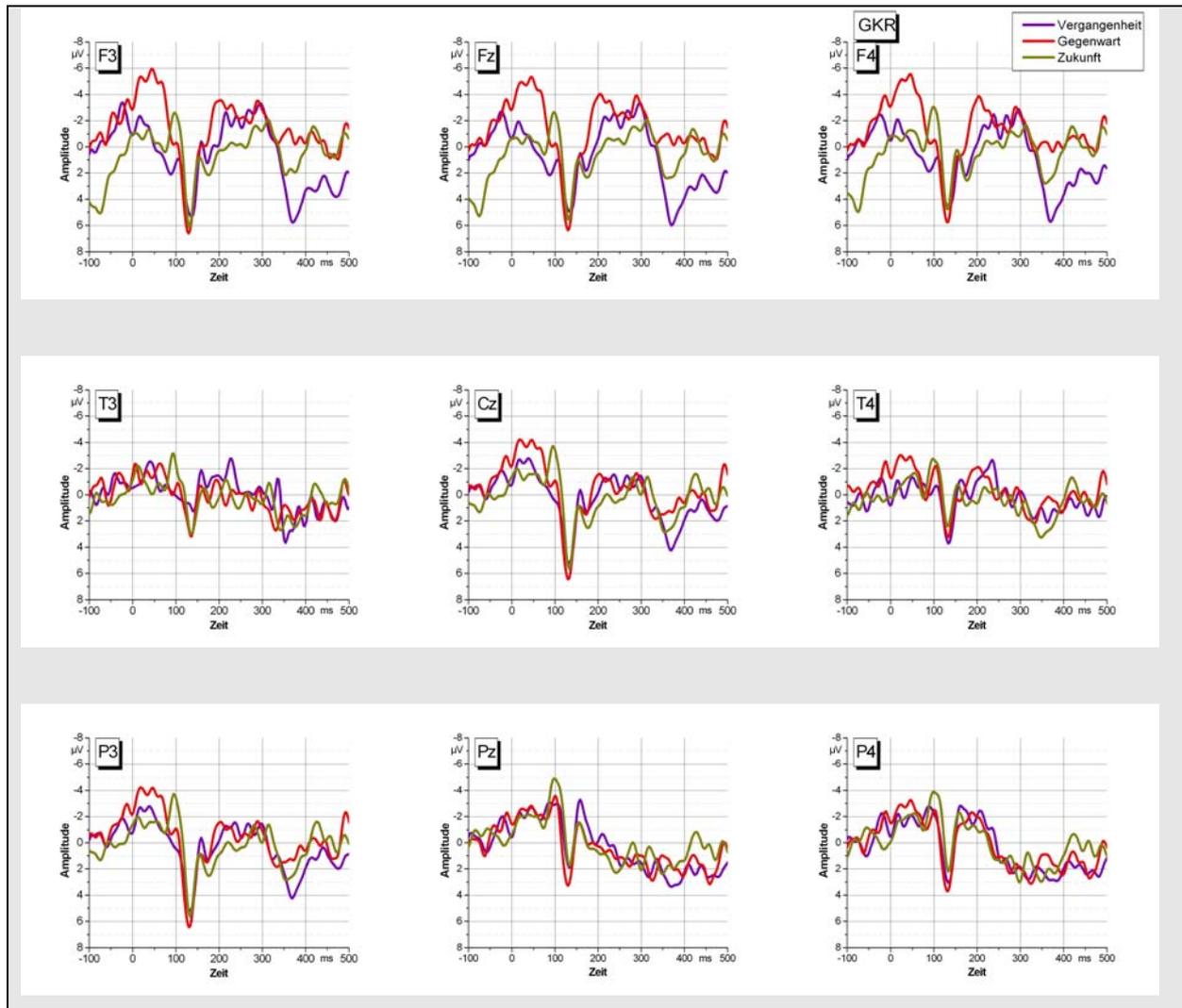


Abbildung 29: Gruppenspezifische EKPs der GKR beim Kalenderrechnen (Daten der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft)

3.3.2.1 Zeitfenster 90-150 ms

(1) Laterale Ableitungsorte

Die vierfaktorielle ANOVA der EKPs der Kalenderrechner (siehe Tabelle 9) ergab im Zeitfenster 90-150 ms einen Haupteffekt des Faktors „Region“ ($F_{1,158, 4.632} = 8.041$, $p = .038$, siehe Abbildung 30). Dieser beschrieb die Veränderung der mittleren Amplitude von anterioren zu posterioren Regionen: Während über beide Gruppen beim Kalenderrechnen frontal eine Positivierung auftrat, war in temporalen Regionen eine leichte Negativierung beobachtbar, in parietalen Regionen schließlich eine stärkere Negativierung. Dabei waren die Unterschiede zwischen allen Regionen signifikant ($p < .05$).

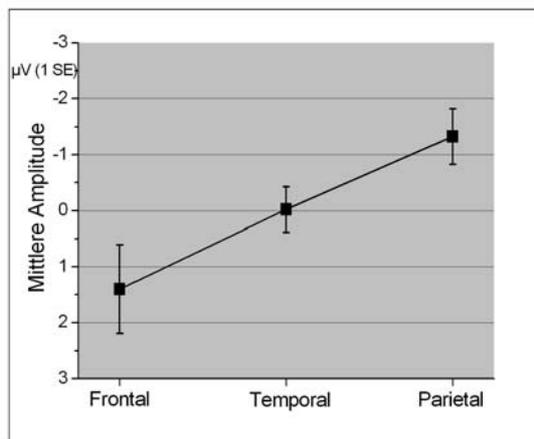


Abbildung 30: Haupteffekt des Faktors „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über die zwei Gruppen (EG_{SAV} , KG_{KR}), beide Hemisphären und alle Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) pro Region.

Die Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Hemisphäre“ ($F_{1, 4} = 8.283$, $p = .045$, siehe Abbildung 31) zeigte, dass GKR linkshemisphärisch eine Positivierung zeigten, die rechtshemisphärisch noch ausgeprägter war, ASKR hingegen linkshemisphärisch eine Negativierung, die rechtshemisphärisch signifikant stärker war ($t_{(2)} = 34.041$, $p = .001$). Der Unterschied zwischen der rechtshemisphärischen Positivierung der GKR und Negativierung der ASKR verfehlte das Signifikanzniveau nur knapp ($t_{(2)} = 2.595$, $p = .060$).

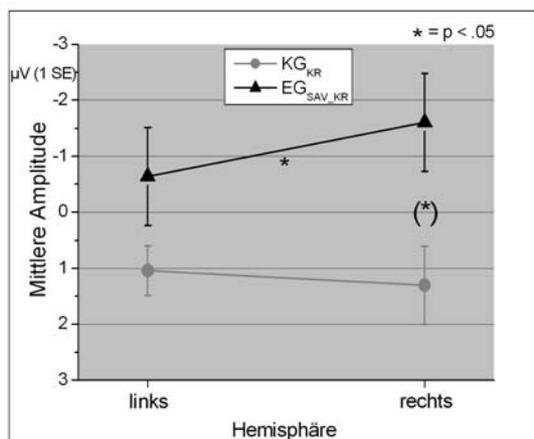


Abbildung 31: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Hemisphäre“ im Zeitfenster 90-150 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über die Regionen (Frontal, parietal, temporal) und alle Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) pro Hemisphären und Gruppe

Die Tendenz eines signifikanten Unterschieds zwischen den beiden Gruppen ($F_{1,4} = 4.918$, $p = .091$) machte den Gegensatz zwischen der frühen Positivierung GKR und der frühen Negativierung ASKR beim Kalenderrechnen über alle Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) hinweg deutlich.

(2) Mittlere Ableitungsorte

Auch die Analyse der mittleren Ableitungsorte (siehe Tabelle 10) ergab beim Kalenderrechnen GKR und ASKR im Zeitfenster 90-150 ms einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „Region“ ($F_{1,819,7.277} = 5.219$, $p = .041$): Über Berechnungen in allen Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) zeigte sich wie bei den lateralen Ableitungsorten auch in der Midline in der frontalen Region (Fz) eine Positivierung ($M = 1.230$, $s_e = .918$) und in der parietalen Region (Pz) eine Negativierung ($M = -2.220$, $s_e = .636$).

Der Haupteffekt des Gruppenfaktors ($F_{1,4} = 9.855$, $p = .035$) indizierte, dass auch in der Midline die Gegensätzlichkeit der Positivierung GKR und Negativierung ASKR im frühen Zeitfenster 90-150 ms bestand (siehe Abbildung 32).

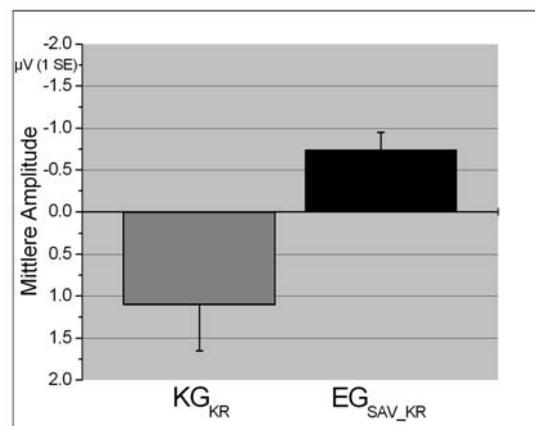


Abbildung 32: Haupteffekt des Gruppenfaktors im Zeitfenster 90-150 ms

Anmerkung. Die Werte sind pro Gruppe über das Zeitfenster 90 - 150 ms, alle Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft), Hemisphären und alle Regionen (frontal, parietal, temporal) gemittelt.

3.3.2.2 Zeitfenster 210-370 ms

(1) Laterale Ableitungsorte

Bei der vierfaktoriellen Varianzanalyse des Zeitfensters 210-370 ms (siehe Tabelle 9) zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Region ($F_{1,006,4.026} = 14.049$, $p = .020$). Die Veränderung der mittleren Amplitude von anterioren zu posterioren Regionen verlief hier genau umgekehrt zu der Veränderung im Zeitfenster 90-150 ms: Während sich frontal eine Negativierung zeigte ($M = -0.753$, $s_e = 0.309$), war temporal eine leichte Positivierung zu beobachten ($M = 0.256$, $s_e = 0.148$), parietal eine stärkere Positivierung ($M = 1.373$, $s_e = 0.165$). Der Unterschied der mittleren Amplitude war zwischen allen Regionen signifikant ($p < .05$).

Die signifikante Interaktion der Faktoren „Region“ und „Zeit“ ($F_{1,781,7.123} = 7.195$, $p = .021$) spezifizierte, dass die frontale Negativierung der Kalenderrechner vornehmlich auf der Berechnung von Daten der Gegenwart basierte (siehe Abbildung 33). Bei Kalenderberechnungen von Daten der Zukunft zeigte sich frontal hingegen eine leichte Positivierung ($t_{(5)} = -2.875$, $p = .035$). Weder im Temporallappen [T3,

T4] noch im Parietallappen [P3, P4] ergaben sich signifikante Unterschiede in der mittleren Amplitude zwischen den Berechnungszeiträumen.

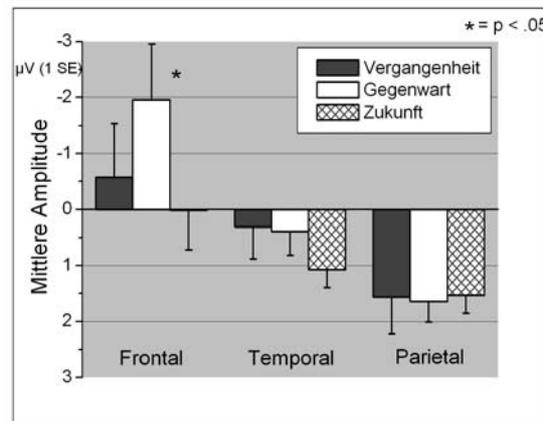


Abbildung 33: Interaktion der Faktoren „Region“ und „Zeit“ im Zeitfenster 210-370 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 210-370 ms über die zwei Gruppen (EG_{SAV}, KG_{KR}) und beide Hemisphären pro Zeitraum und Region.

Es zeigten sich für die drei Berechnungszeiträume (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) die folgenden Unterschiede in der mittleren Amplitude zwischen den drei Regionen (Frontallappen [F3, F4], Parietallappen [P3, P4], Temporallappen [T3, T4]): Bei Berechnungen von Daten der Vergangenheit unterschied sich die mittlere parietale Amplitude signifikant von der frontalen und temporalen ($t_{(5)} = -3.577$, $p = .016$ bzw. $t_{(5)} = -8.001$, $p < .001$): Während sich parietal eine deutliche Positivierung zeigte, war temporal eine schwächere Positivierung beobachtbar, frontal eine Negativierung. Auch bei der Berechnung von Daten der Gegenwart unterschied sich die mittlere parietale Amplitude von der frontalen und temporalen ($t_{(5)} = -2.900$, $p = .034$ bzw. $t_{(5)} = -2.973$, $p = .031$), wobei sich hier das gleiche Bild einer deutlichen parietalen Positivierung, temporal schwächeren Positivierung und frontalen Negativierung zeigte. Bei Berechnungen von Daten der Zukunft unterschieden sich die mittleren Amplituden zwischen den Regionen hingegen nicht.

Die separate Analyse der beiden Unterfenster brachte folgende Resultate:

(1) Zeitfenster 210-290 ms

Wie im Zeitfenster 210-370 ms zeigte sich auch im Unterfenster 210-290 ms beim Kalenderrechnen GKR und ASKR über alle Zeiten hinweg ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Region“ ($F_{1,043, 4.173} = 15.233$, $p = .016$). Der Verlauf der mittleren Amplitude ähnelte dem im Zeitfenster 210-370 ms: Während über beide Gruppen beim Kalenderrechnen frontal eine Negativierung auftrat, war in temporalen Regionen eine leichte Negativierung beobachtbar, in parietalen Regionen schließlich eine Positivierung. Dabei war der Unterschied zwischen der mittleren frontalen bzw. temporalen und parietalen Amplitude signifikant ($t_{(5)} = -4.176$, $p = .009$ bzw. $t_{(5)} = -16.119$, $p < .001$).

Die signifikante Interaktion der Faktoren „Region“ und „Zeit“ im Zeitfenster 210-290 ms ($F_{2,455, 9,822} = 4.419$, $p = .037$) spezifizierte den Haupteffekt des Faktors Region dahingehend, dass, wie im gesamten Zeitfenster 210-370 ms, die frontale Negativierung auch hier auf der Berechnung von Daten der Gegenwart basierte (siehe Abbildung 34). Dabei war der Unterschied zur Positivierung bei Berechnungen von Daten der Vergangenheit und Zukunft signifikant ($t_{(5)} = -3.715$, $p = .014$ bzw. $t_{(5)} = -3.275$, $p = .022$).

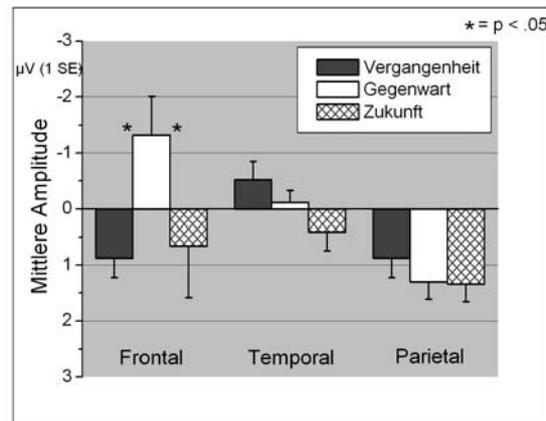


Abbildung 34: Interaktion der Faktoren „Region“ und „Zeit“ im Zeitfenster 210-290 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 210-370 ms, die zwei Gruppen (EG_{SAV}, KG_{KR}) und beide Hemisphären pro Zeitraum und Region.

Im Unterfenster 210-290 ms zeigten sich für die drei Berechnungszeiträume (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) die folgenden Unterschiede in der mittleren Amplitude zwischen den drei Regionen (Frontallappen [F3, F4], Parietallappen [P3, P4], Temporallappen [T3, T4]): Bei Berechnungen von Daten der Gegenwart unterschied sich die mittlere parietale Amplitude von der frontalen und temporalen ($t_{(5)} = -6.117$, $p = .002$ bzw. $t_{(5)} = -5.148$, $p = .004$): Während sich parietal eine Negativierung zeigte, war frontal und temporal eine Positivierung beobachtbar. Bei Berechnungen von Daten der Vergangenheit war temporal eine Negativierung beobachtbar, frontal und parietal hingegen eine Positivierung ($t_{(5)} = 8.550$, $p < .001$ bzw. $t_{(5)} = -8.550$, $p < .001$). Bei Daten der Zukunft war die temporale Positivierung signifikant schwächer als die parietale ($t_{(5)} = -5.501$, $p = .003$).

(2) Zeitfenster 290-370 ms

Im Zeitfenster 290-370 ms ergaben sich weder signifikante Haupteffekte noch Interaktionen.

(2) Mittlere Ableitungsorte

Die vierfaktorielle ANOVA der mittleren Ableitungsorte (siehe Tabelle 10) ergab im Zeitfenster 210-370ms weder signifikante Haupteffekte noch Interaktionen.

Auch die separate Analyse der beiden Unterzeitfenster (dreifaktorielle ANOVA der mittleren Ableitungsorte, siehe Tabelle 10) brachte weder im Zeitfenster 210-290 ms noch im Zeitfenster 290-370 ms signifikante Haupteffekte oder Interaktionen zum Vorschein.

3.3.3 Analyse der MEG-Daten, Daten der Gegenwart, alle Gruppen

Die topographische Verteilung der magnetischen Felder, die die hirnelektrische Aktivität reflektieren, die sich pro Gruppe zeitbezogen auf das Berechnen von Kalenderdaten der Gegenwart ergibt, ist in Abbildung 35 für das frühe Zeitfenster 90-150 ms und in Abbildung 36 für das spätere Zeitfenster 210-370 ms dargestellt.

Bei den ASKR zeichnete sich im frühen Zeitfenster eine deutliche frontale Komponente, bei den GKR eine starke temporoparietale Komponente ab (Ergebnisse der Varianzanalyse siehe unten, Abschnitt (1)).

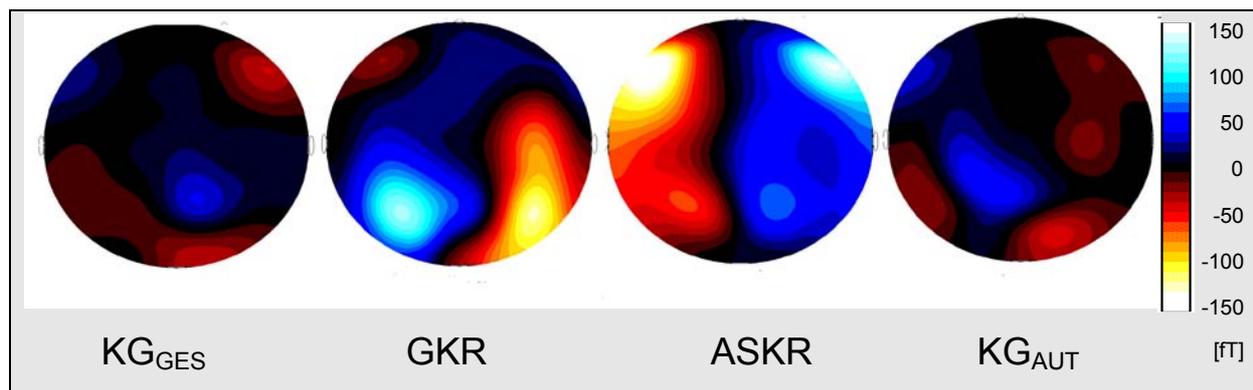


Abbildung 35: Topographische Verteilung des magnetischen Feldes beim Berechnen von Daten der Gegenwart im Zeitfenster 90-150 ms (Aufsicht auf einen Kopf, Nase vorne, Ohren seitlich)

Im späteren Zeitfenster 210-370 ms bildet sich bei den GKR eine stärkere frontale Komponente als bei den drei anderen Gruppen ab (Ergebnisse der Varianzanalyse siehe unten, Abschnitt (2)).

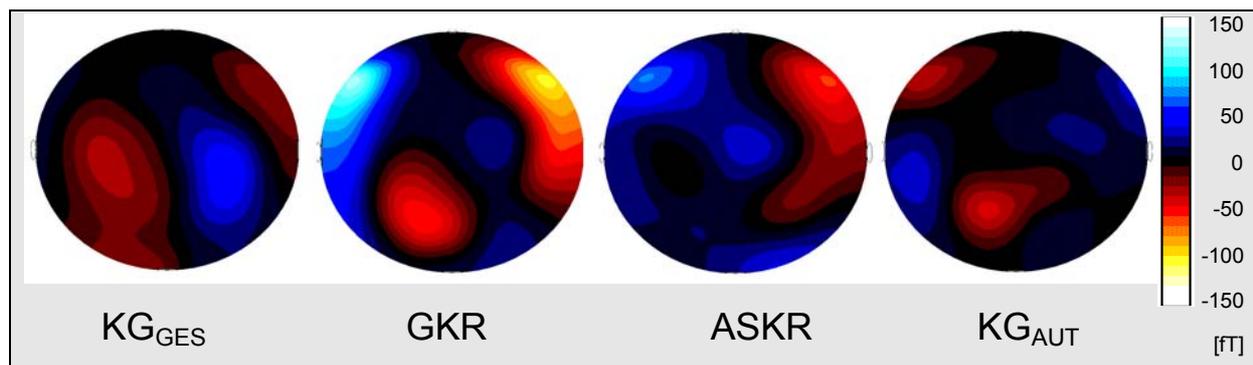


Abbildung 36: Topographische Verteilung des magnetischen Feldes beim Berechnen von Daten der Gegenwart im Zeitfenster 210-370 ms

Der Verlauf der gruppenspezifischen mittleren Feldstärken beim Berechnen von Daten der Gegenwart in den frontalen bzw. temporoparietalen Regionen beider Hemisphären ist in Abhängigkeit von der Zeit in Abbildung 37 dargestellt.

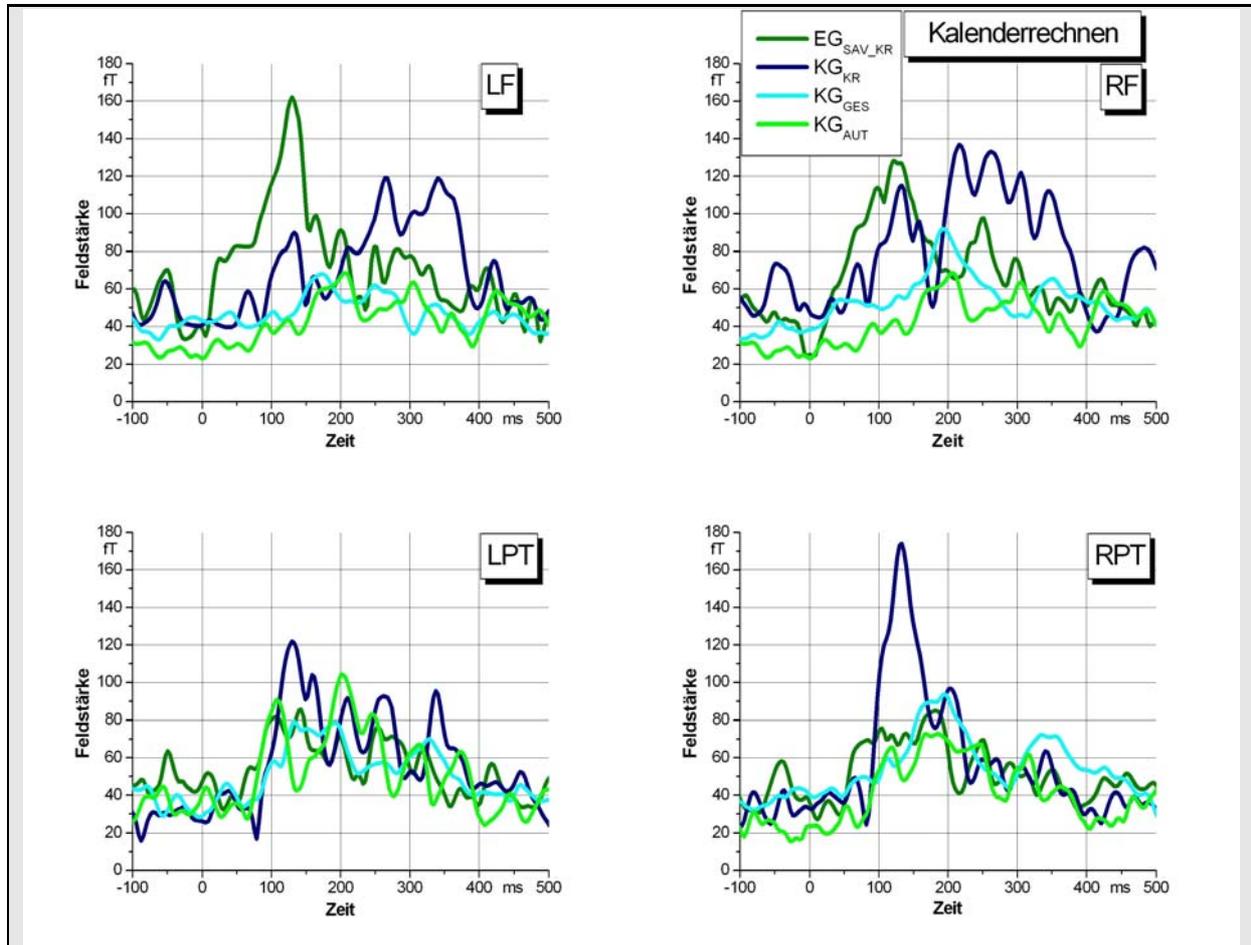


Abbildung 37: Verlauf der gruppenspezifischen mittleren Feldstärken beim Berechnen von Daten der Gegenwart an frontalen Sensoren einerseits (LF, RF) und temporoparietalen Sensoren andererseits (LPT, RPT)

3.3.3.1 Zeitfenster 90-150 ms

Die 4-faktoriellen ANOVA der EKFs (siehe Tabelle 11) ergab wie die Analyse der EKPs (siehe 3.3.1) einen signifikanten Haupteffekt des Gruppenfaktors ($F_{3, 19} = 5.62$, $p = .006$, siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms

Gruppe	EG _{SAV_KR}	M	97.131	s_e	17.319
	KG _{KR}	M	97.045	s_e	18.411
	KG _{GES}	M	57.075	s_e	3.962
	KG _{AUT}	M	54.366	s_e	12.885

Anmerkung. Die Werte sind pro Gruppe über das Zeitfenster 90 - 150 ms, über beide Bedingungen (Experimental- und Kontrollbedingung), Hemisphären und Regionen (frontal, temporoparietal) gemittelt.

Post-hoc t-Tests ergaben, dass beide Gruppen von Kalenderrechnern (ASKR, GKR) im Zeitfenster 90-150 ms signifikant größere mittlere Feldstärken zeigten als die gesunde Kontrollgruppe ($p = .044$ bzw. $p = .045$). Ferner bestand bei ASKR wie GKR die Tendenz einer größeren mittleren Feldstärke als bei der autistische Kontrollgruppe ($p = .088$ bzw. $p = .089$).

Der Faktor „Bedingung“ verfehlte im Gegensatz zur Analyse der EKPs das Signifikanzniveau knapp ($F_{1, 19} = 4.321$, $p = .051$). Es zeigte sich jedoch die Tendenz einer signifikant größeren mittlere Feldstärke für die Experimentalbedingung des Kalenderrechnens als für die Kontrollbedingung (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms

Bedingung	Experimentalbedingung	M	70.982	s_e	8.269
	Kontrollbedingung	M	63.102	s_e	5.100

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über die vier Gruppen (EG_{SAV}, KG_{GES}, KG_{AUT}, KG_{KR}), beide Hemisphären und Regionen (frontal, temporoparietal) pro Bedingung.

Schließlich zeigte die ANOVA eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren „Gruppe“ und „Bedingung“ ($F_{3, 19} = 3.17$, $p = .048$). Abbildung 38 veranschaulicht diesen Befund.

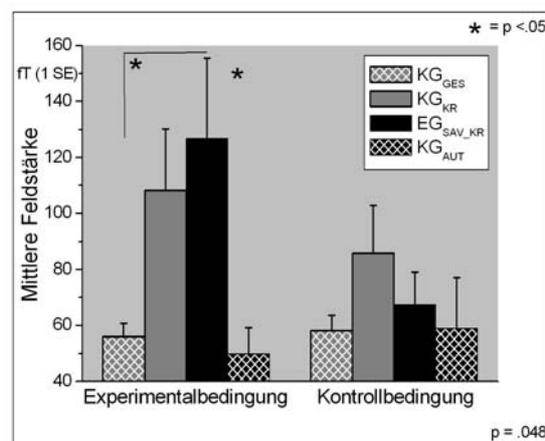


Abbildung 38: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Bedingung“ im Zeitfenster 90-150 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über beide Hemisphären und Regionen (Frontal, Temporoparietal) pro Gruppe und Bedingung.

Post hoc t-Tests machten deutlich, dass der oben beschriebene Haupteffekt des Faktors „Gruppe“ auf Unterschieden in der Experimentalbedingung basierte: Die ASKR zeigten in diesem frühen Zeitfenster eine signifikant größere mittlere Feldstärke als die gesunde und autistische Kontrollgruppe ($p = .008$ bzw. $p = .017$), wobei sich beide Gruppen von Kalenderrechnern nicht voneinander unterschieden. Bei den GKR fand sich nur die Tendenz einer größeren mittleren Feldstärke als bei der gesunden und autistischen Kontrollgruppe ($p = .072$ bzw. $p = .105$). In Bezug auf die Kontrollbedingung zeigten sich hingegen keinerlei Unterschiede zwischen den Gruppen.

Bezüglich der Lokalisation der evozierten Felder ergaben sich für beide Gruppen von Kalenderrechnern deutliche Unterschiede: Bei den ASKR zeigte sich in diesem frühen Zeitfenster ein deutliches frontales Feld, welches sich gemäß post-hoc t-Tests signifikant von der schwächeren mittleren frontalen Feldstärke der gesunden und autistischen Kontrollgruppe unterschied ($p = .005$ bzw. $p = .017$). Im Gegensatz hierzu zeigten die GKR ein deutliches frühes temporoparietales Feld, welches sich signifikant von der schwächeren mittleren temporoparietalen Feldstärke der gesunden Kontrollgruppe unterschied ($p = .044$), der Unterschied zu den autistischen Kontrollpersonen verfehlte des Signifikanzniveau ($p = .089$). Dieser Sachverhalt spiegelt sich in der Interaktion der Faktoren „Region“ und „Gruppe“ wider ($F_{3,19} = 3.31$, $p = .042$) und ist in Abbildung 39 veranschaulicht.

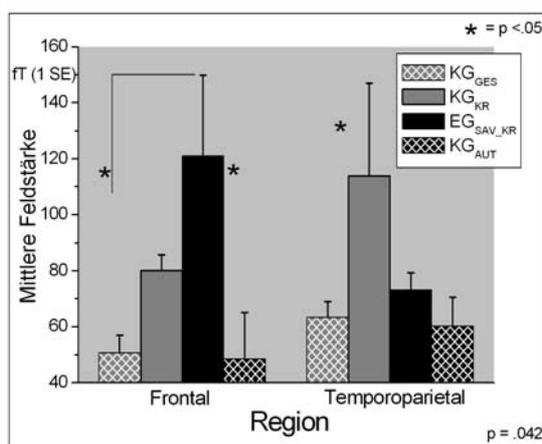


Abbildung 39: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms

Anmerkung. Die Werte sind pro Gruppe und Region über das Zeitfenster 90 - 150 ms, über beide Bedingungen (Experimental- und Kontrollbedingung) und Hemisphären gemittelt.

Die Interaktion der Faktoren „Region“ und „Bedingung“ ($F_{1,19} = 5.37$, $p = .032$, siehe Tabelle 21) zeigte, dass die mittlere frontale Feldstärke unter der Kontrollbedingung am geringsten war.

Tabelle 21: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms

Bedingung	Region	M	s_e
Experimentalbedingung (Kalenderrechnen)	Frontal	70.908	12.960
	Temporoparietal	71.057	6.301
Kontrollbedingung	Frontal	55.831	6.492
	Temporoparietal	70.373	6.763

Anmerkung. Die Werte sind pro Region über das Zeitfenster 90 - 150 ms, über alle Gruppen (EG_{SAV} , KG_{GES} , KG_{AUT} , KG_{KR}), beide Bedingungen (Experimental- und Kontrollbedingung) und Hemisphären gemittelt.

Wie bei der Analyse der EEG-Daten trat auch hier eine Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Region“ und „Bedingung“ ($F_{3, 19} = 5.46, p = .007$) auf. Diese spiegelt die Ergebnisse der EEG-Daten wider und fasst die bisherigen Resultate wie folgt zusammen (siehe Abbildung 40):

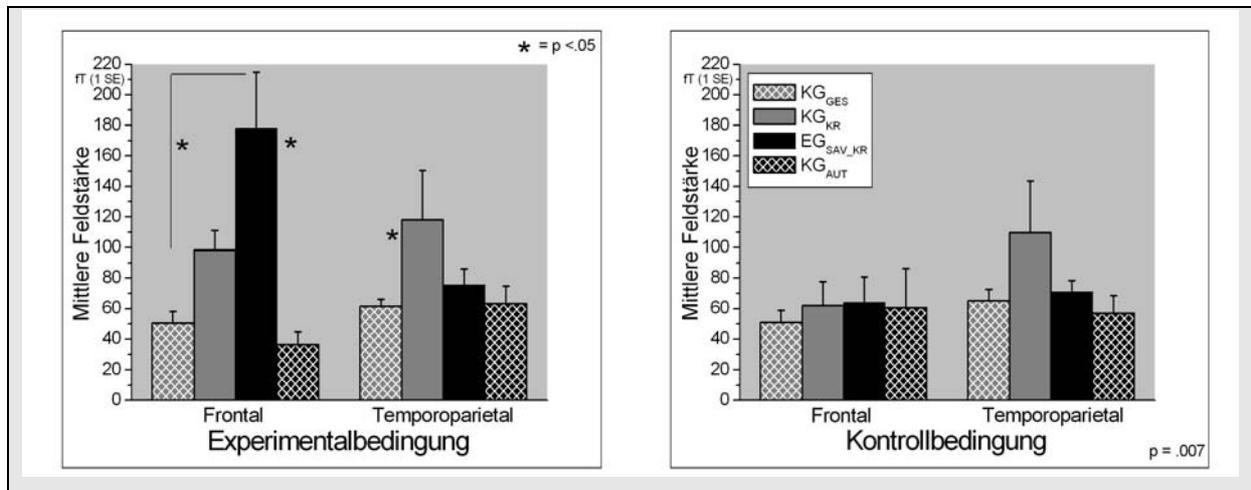


Abbildung 40: Interaktion der Faktoren „Gruppe“, „Bedingung“ und „Region“ im Zeitfenster 90-150 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über beide Hemisphären pro Gruppe, Bedingung und Region.

Die oben beschriebene Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ basiert vornehmlich auf Differenzen unter der Experimentalbedingung: Beim Kalenderrechnen zeigten die ASKR ein signifikant stärkeres frühes frontales evoziertes Feld als gesunde und autistische Kontrollpersonen ($p = .002$ bzw. $p = .003$). Die GKR zeigten hingegen während der Ausführung ihrer Fertigkeit ein signifikant stärkeres frühes temporoparietales Feld als gesunde Kontrollpersonen ($p = .014$) sowie die Tendenz einer größeren mittleren Feldstärke als autistische Kontrollpersonen ($p = .06$). Diese beiden frühen Komponenten sind in Abbildung 35 gut sichtbar. Unter der Kontrollbedingung zeigten sich hingegen keinerlei Unterschiede zwischen den Gruppen. Dieser Sachverhalt spiegelt sich in der oben beschriebenen Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Bedingung“ wider.

3.3.3.2 Zeitfenster 210-370 ms

Die fünffaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (siehe Tabelle 11) ergab eine signifikante Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ ($F_{3, 19} = 5.129$, $p = .009$, siehe Abbildung 41).

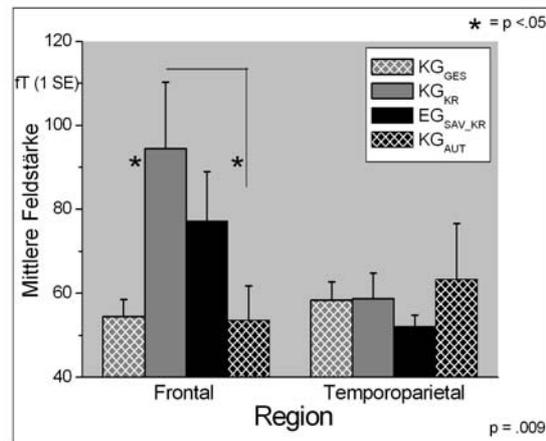


Abbildung 41: Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ im Zeitfenster 210-370 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 210-370 ms über beide Bedingungen (Experimental-, Kontrollbedingung) und Hemisphären pro Gruppe und Region.

Diese Interaktion war auch bei der Analyse der EEG-Daten im Unterzeitfenster 210-290 ms aufgetreten. Wie bei den EEG-Daten lag ein frontaler Unterschied zwischen GKR und gesunden wie autistischen Kontrollpersonen vor: Die GKR zeigten in diesem späteren Zeitfenster ein frontales Feld, welches eine signifikant größere mittlere Feldstärke aufwies als das frontale Feld gesunder und autistischer Kontrollpersonen ($p = .012$ bzw. $p = .031$). Die mittlere temporoparietale Feldstärke der vier Gruppen unterschied sich hingegen nicht voneinander, obgleich sich bei den EEG-Daten die mittlere parietale Amplitude zwischen gesunden und autistischen Kontrollpersonen unterschieden hatte.

Die Interaktion der Faktoren „Zeitfenster“, „Bedingung“, „Region“ und „Gruppe“ ($F_{3, 19} = 5.839$, $p = .005$, siehe Abbildung 42) konkretisierte, dass, wie bei der Analyse der EEG-Daten, die Interaktion der Faktoren „Region“ und „Gruppe“ vornehmlich auf einer größeren mittleren frontalen Feldstärke der GKR unter der Experimentalbedingung, also beim Kalenderrechnen, basierte (siehe Abbildung 36). Während die GKR im Zeitfenster 210-290 ms nur die Tendenz einer größeren mittleren frontalen Feldstärke als die gesunden Kontrollpersonen aufwiesen ($p = .072$), war dieser Unterschied im Zeitfenster 290-370 ms deutlicher ($p = .004$), außerdem war hier der Unterschied zu den autistischen Kontrollpersonen signifikant ($p = .025$). Die ASKR zeigten hingegen im Zeitfenster 210-290 ms unter der Kontrollbedingung eine stärkere mittlere frontale Feldstärke als die gesunden Kontrollpersonen ($p = .044$).

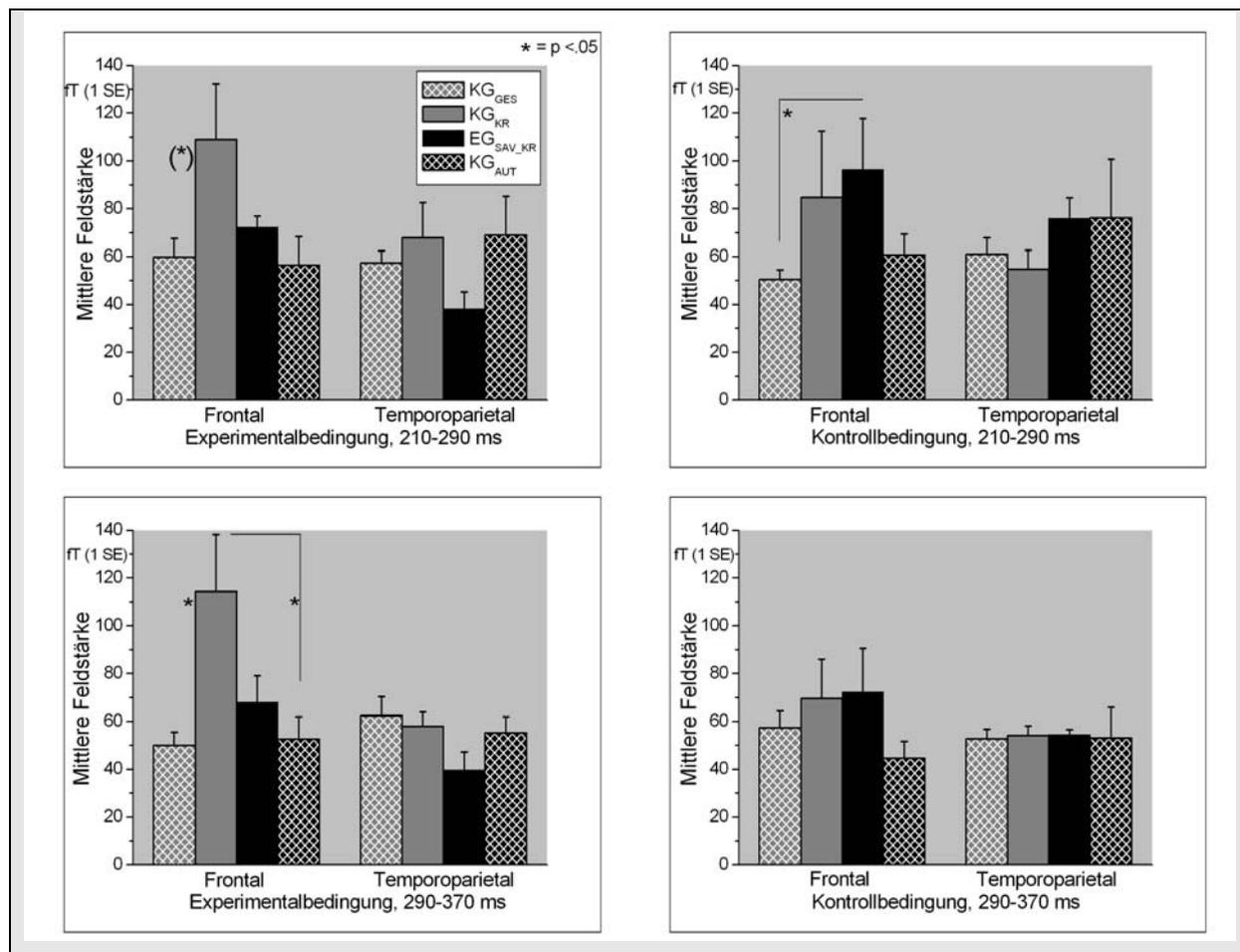


Abbildung 42: Interaktion der Faktoren „Zeitfenster“, „Bedingung“, „Region“ und „Gruppe“

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 210-290 ms bzw. 290-370 ms über beide Hemisphären pro Gruppe, Bedingung und Region.

3.3.4 Analyse der MEG-Daten der GKR und ASKR

3.3.4.1 Zeitfenster 90-150 ms

Die vierfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (siehe Tabelle 12) ergab weder signifikante Haupteffekte noch signifikante Interaktionen. Es ergab sich lediglich die Tendenz einer signifikanten Interaktion der Faktoren „Gruppe“ und „Region“ ($F_{1,4} = 5.29$, $p = .083$). Diese zeigte an, dass das unter 3.3.3 beschriebene frühe frontale Feld der ASKR sowie temporoparietale Feld der GKR nicht nur bei Daten der Gegenwart, sondern auch über die Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) hinweg beobachtbar war (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Mittlere Feldstärken (M) und mittlere Standardfehler (s_e) im Zeitfenster 90-150 ms

GKR	Frontal	M	79.927	s_e	19.287	ASKR	Frontal	M	90.312	s_e	23.392
	Temporoparietal	M	111.437	s_e	24.452		Temporoparietal	M	61.964	s_e	15.847

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 90-150 ms über beide Hemisphären, alle Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) pro Region und Gruppe

3.3.4.2 Zeitfenster 210-370 ms

Die fünffaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (siehe Tabelle 12) ergab wie bei der Analyse der EEG-Daten eine signifikante Interaktion der Faktoren „Zeit“ und „Region“ ($F_{1,936,4} = 7.48$, $p = .011$, siehe Abbildung 43):

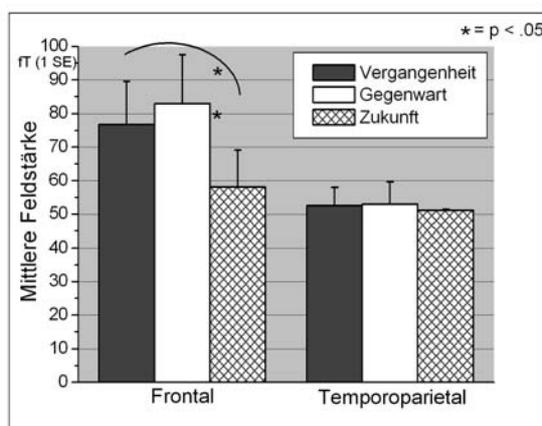


Abbildung 43: Interaktion der Faktoren „Zeit“ und „Region“ im Zeitfenster 210-370 ms

Anmerkung. Die Werte ergeben sich durch Mittelung über das Zeitfenster 210-370 ms über beide Hemisphären und Gruppen (EG_{SAV} , KG_{KR}) pro Region und Zeit

Die mittlere frontale Feldstärke war für Daten der Gegenwart sowie Daten der Vergangenheit signifikant höher als für Daten der Zukunft ($t_{(6)} = 2.904$, $p = .027$ bzw. $t_{(6)} = 4.043$, $p = .007$), während sich die mittlere temporoparietale Feldstärke nicht zwischen den Zeiten unterschied. Für Daten der Vergangenheit und Daten der Gegenwart war die mittlere frontale Feldstärke größer als die mittlere temporoparietale Feldstärke ($t_{(6)} = 2.601$, $p = .041$ bzw. $t_{(6)} = -2.403$, $p = .053$ (nur Tendenz)).

Die separate Analyse der beiden Zeitfenster (210-290 ms bzw. 290-370 ms, siehe Tabelle 12) ergab, dass die Interaktion der Faktoren „Zeit“ und „Region“ vornehmlich auf Unterschieden im Zeitfenster 290-370 ms basierte ($F_{1,817,2} = 5.152$, $p = .034$); bei der separaten Analyse trat diese Interaktion im Zeitfenster 210-290 ms nicht auf. Die Tendenz eines signifikanten Gruppenfaktors im Zeitfenster 290-370 ms ($F_{1,5} = 4.517$, $p = .087$) verwies darauf, dass die unter 3.3.3.2 beschriebene stärkere Aktivierung GKR in diesem späteren Zeitfenster über alle Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) hinweg beobachtbar war.

3.3.5 Dipolanalysen

3.3.5.1 Frühe frontale Komponente ASKR (Zeitfenster 90-150 ms)

Für die frühe frontale Komponente der ASKR unter der Experimentalbedingung (Berechnung von Daten der Gegenwart) wurde eine räumlich-zeitliche Dipolanalyse durchgeführt. Diese ergab eine Quelle im inferioren medialen Frontallappen, die 75% des Feldes aufklärte.

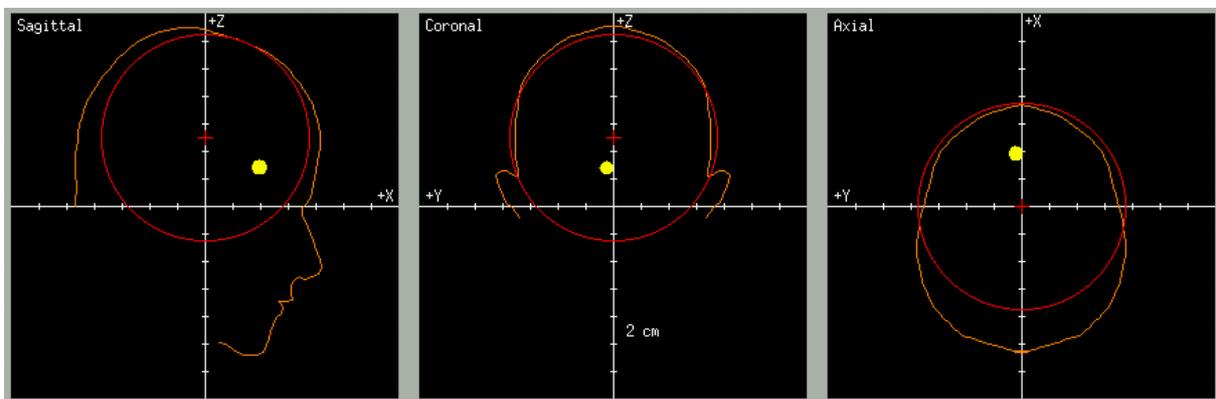


Abbildung 44: Dipollokalisierung der frühen frontalen Komponente ASKR. Die gelbe Markierung zeigt die Dipollokalisierung im inferioren medialen Frontallappen.

3.3.5.2 Frühe temporoparietale Komponente GKR (Zeitfenster 90-150 ms)

Für die frühe temporoparietale Komponente der GKR unter der Experimentalbedingung (Berechnung von Daten der Gegenwart) wurde ebenfalls eine räumlich-zeitliche Dipolanalyse durchgeführt. Diese ergab eine Quelle in medialen parieto-occipitalen Regionen, die das Feld zu 40% aufklärte.

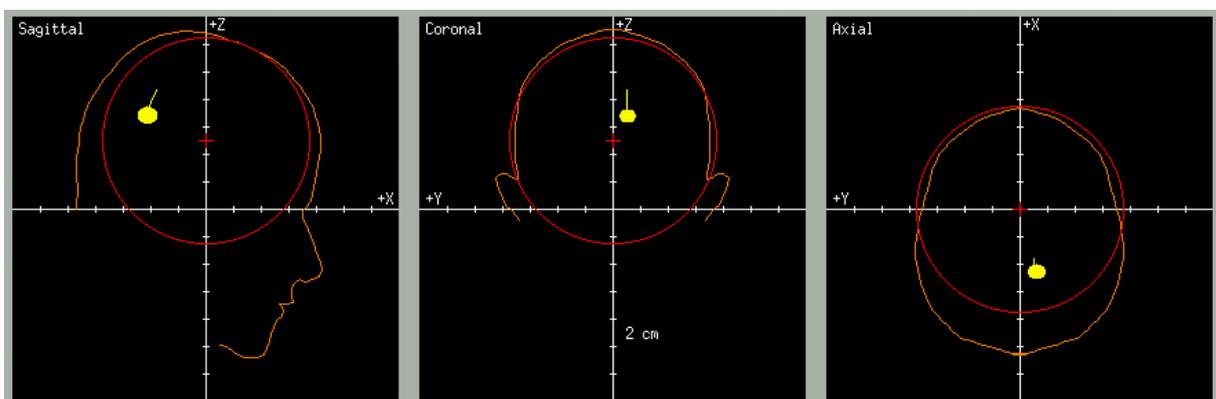


Abbildung 45: Dipollokalisierung der frühen temporoparietalen Komponente GKR. Die gelbe Markierung zeigt die Dipollokalisierung in rechts-medialen parieto-occipitalen Regionen.

3.3.5.3 Späte frontale Komponente GKR (Zeitfenster 210-370 ms)

Die räumlich-zeitliche Dipolanalyse der späten frontalen Komponente GKR unter der Experimentalbedingung zeigte, dass sich diese Komponente am besten anhand von zwei Quellen erklären ließ: Zum einen anhand einer medial-frontalen Quelle, zum anderen anhand einer parietalen Quelle, die das Feld gemeinsam zu 90% erklärten.

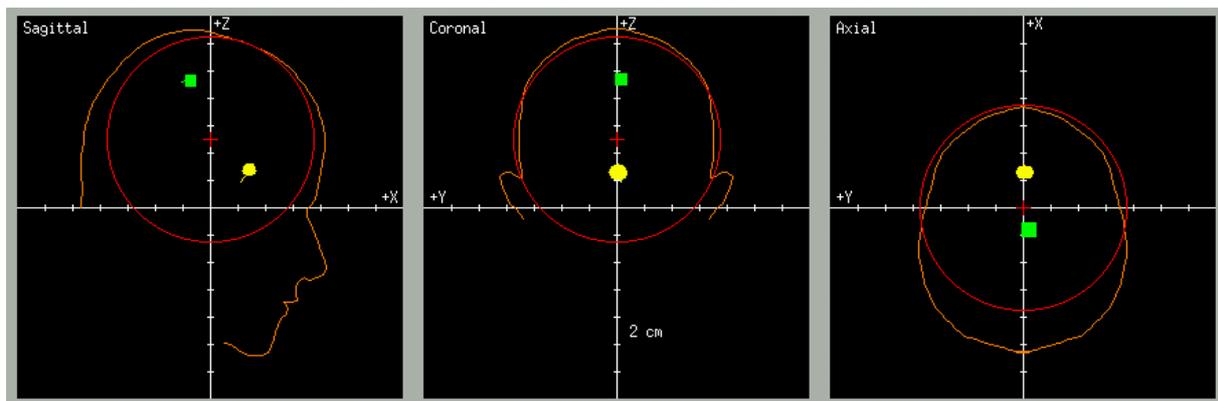


Abbildung 46: Dipollokalisierung der späten frontalen Komponente GKR. Die gelbe Markierung zeigt die erste Quelle im inferioren medialen Frontallappen, die grüne Markierung die zweite Quelle im Parietallappen.

3.4 Zusammenhänge der behavioralen und hirnhysiologischen Daten

Es wurde überprüft, ob Zusammenhänge zwischen den Leistungen in den behavioralen Daten und den hirnhysiologischen Komponenten bestehen.

Dabei zeigte sich, dass die frühe frontale Komponente (90-150 ms) der ASKR im evozierten Feld beim Berechnen von Daten der Gegenwart signifikant mit der Richtigkeit ihrer Antworten korrelierte: je größer die mittlere frontale Feldstärke war, desto größer war die Prozentzahl ihrer richtigen Antworten ($r_3 = .998$, $p = .038$).

Für die GKR ergab sich für die frühe parietale Komponente (90-150 ms) der evozierten Potentiale die Tendenz einer signifikanten negative Korrelation mit der Reaktionsgeschwindigkeit ($r_3 = -.994$, $p = .072$): je größer die mittlere parietale Amplitude war, desto niedriger war die Reaktionszeit.

Für die späte frontale Komponente der GKR (210-370 ms) im evozierten Feld zeigte sich ebenfalls die Tendenz einer signifikanten Korrelation mit der Prozentzahl richtiger Antworten ($r_3 = .991$, $p = .086$): je größer die mittlere frontale Feldstärke war, desto größer war die Prozentzahl ihrer richtigen Antworten.

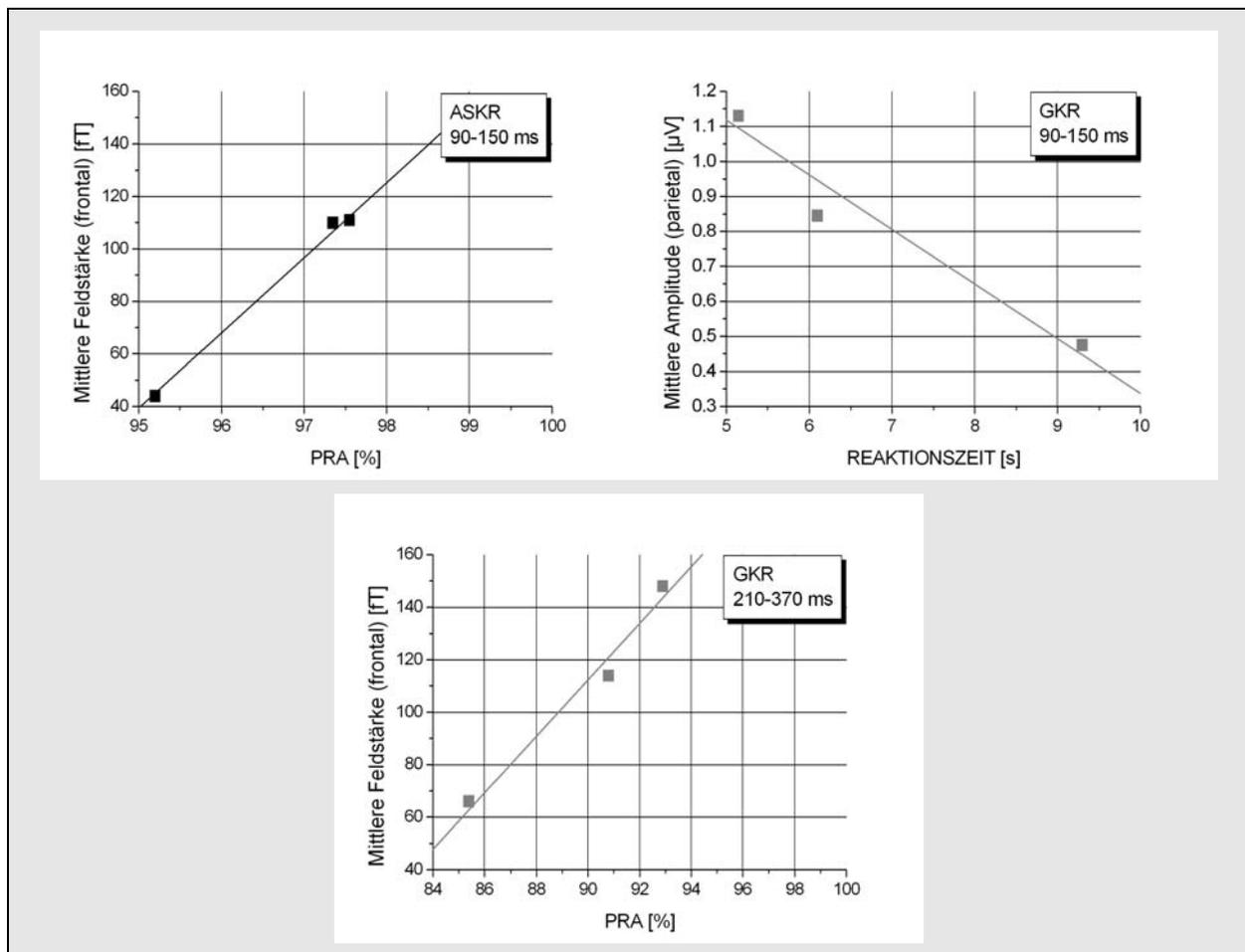


Abbildung 47: Zusammenhänge der behavioralen und hirnhysiologischen Daten

- (a) ASKR: frühe frontale Komponente – PRA beim Berechnen von Daten der Gegenwart
- (b) GKR: frühe parietale Komponente – RT beim Berechnen von Daten der Gegenwart
- (c) GKR: späte frontale Komponente – PRA beim Berechnen von Daten der Gegenwart

4 DISKUSSION

Bislang lag kein einheitliches Erklärungsmodell für die Entstehung der Sonderfertigkeiten von Savants vor. Kürzlich boten Snyder und Mitchell (1999) eine Theorie zur neurophysiologischen Erklärung des Savant-Syndroms an, die davon ausgeht, dass Savants direkten und extrem raschen Zugriff auf die frühen Schritte der IVA haben, bevor die neuronale Information konzeptualisiert wird. Diese Theorie von Snyder und Mitchell wurde bislang noch nicht neurophysiologisch an Savants untersucht.

Das Ziel dieser Arbeit lag darin, die Theorie von Snyder und Mitchell am Beispiel der bizarren Savant-Fähigkeit des Kalenderrechnens zu überprüfen. Da das Hauptaugenmerk damit auf den frühen Prozessen der IVA lag, wurden autistische Savant-Kalenderrechner (ASKR) während der Durchführung ihrer Sonderbegabung mittels MEG und kombiniertem EEG untersucht. Durch den Vergleich autistischer Savant-Kalenderrechner (ASKR) mit gesunden Kalenderrechnern (GKR) einerseits sowie gesunden und autistischen Kontrollpersonen andererseits sollten diejenigen Prozesse spezifiziert werden, die zum Zustandekommen der herausragenden kognitiven Leistungen autistischer Savants beitragen. Neben der Untersuchung der neuronalen Korrelate des Kalenderrechnens wurden außerdem die behavioralen Daten (Reaktionszeit, Fehlerrate) der vier Gruppen verglichen. Auf der Basis dieser Daten und insbesondere des Vergleichs zwischen ASKRn und GKRn konnte so beleuchtet werden, was das Spezifische des Kalenderrechnens als Savant-Fähigkeit darstellt.

4.1 Diskussion der behavioralen Daten

Die von gesunden und autistischen Laien sowie von gesunden Kalenderrechnern als Kontrollgruppen erbrachte Leistung des Kalenderrechnens stellte sich auffällig anders dar als die Leistung autistischer Savants-Kalenderrechner. Zum einen gaben die ASKR für Daten der Gegenwart signifikant mehr richtige Antworten als die drei Kontrollgruppen und zeigten kürzere Reaktionszeiten als autistische Kontrollpersonen und gesunde Kalenderrechner. Zum anderen zeigten ASKR bei Daten der Gegenwart und Vergangenheit bessere Leistungen in Reaktionszeit und Fehlerrate als GKR. Dieser Vorteil verlor sich bei Daten der Zukunft, wo sich keine Leistungsunterschiede zwischen GKR und ASKR hervortaten. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die beiden Gruppen von Experten-Kalenderrechnern ihre Fähigkeit unterschiedlich hervorbringen, wobei weder Fehlerzahl noch Antwortgeschwindigkeit mit dem IQ der Versuchspersonen korrelierten. Das Kalenderrechnen der ASKR war damit nicht vergleichbar mit der Leistung GKR, die diese Fähigkeit als Normalpersonen erworben hatten.

Zahlreiche behaviorale Erklärungsansätze und Beschreibungen haben versucht, die Savant-Fähigkeit des Kalenderrechnens zu beleuchten. Im folgenden wird dargestellt, für welche Erklärungsansätze sich Evidenzen zeigten bzw. welchen Beschreibungen entsprochen werden konnte. Anhand des direkten Vergleichs zwischen der Leistung gesunder Experten (GKR) und autistischer Savants (ASKR) konnte differenziert werden, worin Unterschiede zwischen dem Kalenderrechnen als Fähigkeit von Normalpersonen und dem Kalenderrechnen als Savant-Fähigkeit liegen.

Explizite Aussagen von Kalenderrechnern (Hypothese I bzw. 1.3.2.1)

Die naheliegendste Möglichkeit zu erfahren, wie die ASKR ihre Fähigkeit hervorbringen, wäre, sie danach zu fragen. Die GKR konnten im FraZuKal die ihrer Fähigkeit zugrundeliegenden Strategien sowie die Entstehung der Fähigkeit erwartungsgemäß problemlos angeben. Die ASKR zeigten in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Horwitz und Mitarbeitern (1969) sowie Rosen (1981) hierbei Schwierigkeiten, obgleich sie, wie aus ihrer Interaktion ersichtlich war, die notwendigen Sprachfähigkeiten besaßen: Nur eine der drei untersuchten Personen konnte explizit eine bestimmte Strategie angeben. Im Gegensatz zur Untersuchung von Ho und Mitarbeitern (1991) konnte jedoch ein ASKR auf exakte Nachfragen konkretere Angaben zu seiner Leistung machen, ferner konnten zwei von drei ASKR angeben, in welchem Zeitraum die Fähigkeit entstanden war. Damit zeigen die autistischen Savants in Übereinstimmung mit Hypothese I im Gegensatz zu den GKR Schwierigkeiten, die ihrer Fähigkeit zugrundeliegenden Strategien zu explizieren; unter bestimmten Umständen waren ihnen gewisse Facetten aber durchaus zugänglich.

Blitzschnelles Rechnen (Hypothese II bzw. 1.3.2.2) und erste Hinweise auf die Relevanz von Gedächtnisfunktionen bei ASKR

Die Fähigkeit der ASKR kann kaum durch die reine Anwendung von Berechnungen erklärt werden. Während alle bekannten Algorithmen beträchtliche mathematische Fähigkeiten voraussetzen, zeigten die ASKR im Gegensatz zu den GKR im Fach Mathematik keine hinreichenden mathematischen Leistungen. So kann Hypothese II (Teil 1) entsprochen werden, dass die schwächeren mathematischen Leistungen der ASKR es unwahrscheinlich erscheinen lassen, dass ihre Fähigkeit auf komplizierten arithmetischen Berechnungen basiert. Auch die von Young und Nettelbeck (1994) sowie Horwitz und Mitarbeitern (1969) untersuchten Kalenderrechner zeigten Schwächen im mathematischen Bereich. Ferner war die Antwortzeit der ASKR kürzer, als es der Gebrauch von Algorithmen erwarten ließe: In Übereinstimmung mit Hypothese II (Teil 2) und den Untersuchungen von Horwitz und Mitarbeitern (1969, 1965) sowie Young und Nettlebeck (1994) zeigte die Analyse der behavioralen Daten, dass sie ihre Antworten zumeist extrem schnell gaben – die ASKR hatten kürzere Reaktionszeiten als autistische Kontrollpersonen und sogar als GKR. Bei der Berechnung von Daten der Gegenwart waren die ASKR dabei nicht nur schneller, sondern gaben außerdem mehr richtige Antworten als die drei Kontrollgruppen (autistische und gesunde Kontrollpersonen, GKR).

Die ASKR berechneten die Aufgaben der Gegenwart ebenso blitzschnell und korrekt wie sie die einfachen Kontrollaufgaben lösten. Im Gegensatz hierzu zeigten die drei Kontrollgruppen unter der einfachen Kontrollbedingung kürzere Antwortlatenzen als unter der Experimentalbedingung des Kalenderrechnens, ferner gaben gesunde und autistische Kontrollpersonen unter der Kontrollbedingung mehr richtige Antworten als beim Berechnen von Daten der Gegenwart. Die ASKR offenbarten unter der Kontrollbedingung hingegen Probleme. Auch damit ist ein derart schnelles Rechnen für die ASKR, die schon bei der simplen Kontrollaufgabe Probleme zeigten, praktisch unmöglich.

Im Vergleich mit den GKR gaben die ASKR für den gesamten Berechnungszeitraum (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) schnellere Antworten. Die ASKR vermochten manche Aufgaben so schnell zu lösen, dass sich die Reaktionszeiten nur durch Auswendiglernen und einen direkten Gedächtnisabruf

erklären lassen, was als Hinweis auf die Relevanz von Gedächtnisfunktionen gedeutet werden kann (s.u.).

Young und Nettelbeck (1994) interpretierten das Ergebnis, dass die von ihnen untersuchten Kalenderrechner eine besonders gute Performanz für einen bestimmten Zeitraum zeigten und Fehlerrate und Antwortzeiten für andere Epochen stark anstiegen, dahin, dass die Strategien der Kalenderrechner bestimmten zeitlichen Grenzen unterliegen und somit nicht allein durch arithmetische Berechnungen erklärt werden können, die für alle Zeiträume gleich durchführbar wären. In unserer Untersuchung gaben jedoch zwei der ASKR sowie zwei der GKR einen Zeitraum an, in dem sie die Leistung des Kalenderrechners erbringen können. Auch die Analyse der behavioralen Daten ergab, dass über beide Gruppen Daten der Gegenwart schneller und korrekter berechnet wurden als Daten von Vergangenheit und Zukunft, wobei die Daten von Vergangenheit und Zukunft gleich gut und gleich schnell berechnet wurden. Während ASKR vornehmlich für Daten der Zukunft längere Antwortlatenzen zeigten, zeigten die GKR dies für die Vergangenheit. Während ASKR Daten der Gegenwart korrekter berechneten als Daten der Vergangenheit, berechneten die GKR Daten der Zukunft und Gegenwart besser als vergangene Daten. Somit gab es für beide Gruppen einen Zeitraum, in dem sie besonders gute Leistungen zeigen, was gemäß der Interpretation von Young und Nettelbeck (1994) der Annahme ausschließlicher Rechenprozessen als Grundlage des Kalenderrechnens bei beiden Gruppen widerspräche. So kann Hypothese II (Teil 3) nur teilweise entsprochen werden: Es gab zwar einen Zeitraum, in dem die Leistungen der ASKR besonders gut waren – dies galt jedoch zum einen für beide Gruppen von Kalenderrechnern, zum anderen gaben GKR und ASKR im FraZuKal an, dass ihren Kalenderberechnungen in Abhängigkeit von Zeitraum und Übung neben bewussten Rechenprozessen automatisierter Abruf zugrunde liegt. Daher kann die Existenz eines Zeitraums besonders guter Leistungen nicht als Hinweis gegen Rechenprozesse gedeutet werden sondern als weiteres Anzeichen dafür, dass beim Kalenderrechnen neben bewussten Rechenprozessen ein direkter Gedächtnisabruf und somit Gedächtnisfunktionen von Bedeutung sind.

Die unterschiedlichen Leistungen der GKR und ASKR in Abhängigkeit vom Zeitraum geben noch weitere Hinweise für die Beteiligung von Gedächtnisprozessen einerseits und Rechenprozessen andererseits: Daten der Zukunft verlangten bei ASKR längere Antwortzeiten als Daten der Gegenwart. Daten der Vergangenheit verlangten hingegen keine längeren Antwortzeiten als Daten der Gegenwart. Damit scheinen bei ASKR mehr mentale Operationen für Berechnungen der Zukunft notwendig zu sein als für Daten von Gegenwart und Vergangenheit. Hermelin und O'Connor (1986) interpretierten ihr Ergebnis, dass Daten der Vergangenheit kürzere Antwortlatenzen als Daten der Zukunft verlangten, dahin, dass für Daten in der Zukunft mehr Berechnungen notwendig seien, für Daten in der Vergangenheit hingegen mehr Gedächtnisprozesse: Daten der Vergangenheit seien bereits gut geübt, daher reichten hier einfache (mechanische) Gedächtnisprozesse und Berechnungen aus, um den korrekten Wochentag anzugeben. Für die Zukunft lägen jedoch keine Erinnerungen bzw. läge kein deklaratives Faktenwissen vor - hier reichten diese Gedächtnisprozesse nicht aus, was dazu führte, dass regelbasierte Strategien bzw. aufwendigere Berechnungen Anwendung fänden. Die Leistungen der ASKR sind somit gemäß Hypothese II nicht allein durch arithmetische Berechnungen erklärbar – aber auch nicht allein durch besondere Gedächtnisfähigkeiten (z. B. Hill, 1975; Spitz & LaFontaine, 1973).

Im Gegensatz hierzu war bei den GKR die Reaktionszeit für Daten der Vergangenheit länger als für Daten der Gegenwart, und zudem gaben sie für Daten der Vergangenheit weniger richtige Antworten als für Daten der Zukunft. Dieses Bild kann als ein weiterer Hinweis darauf gedeutet werden, dass ihre Kalenderrechenfähigkeit auf einer anderen Konstellation von Rechen- und Gedächtnisfertigkeiten basiert als bei GKR.

Bezogen auf die Anwendung arithmetischer Berechnungen bei ASKR geben somit sowohl die mangelhaften mathematischen Leistungen der ASKR, als auch ihre blitzschnellen Antworten sowie die besonders gute Performanz in Gegenwart und Vergangenheit Hinweise darauf, dass ihre Leistungen gemäß Hypothese II nicht allein durch arithmetische Berechnungen erklärbar sind.

Die kurzen Antwortlatenzen ASKR, die Angabe beider Gruppen von Kalenderrechner im FraZuKal, dass ihren Leistungen in Abhängigkeit von Zeitraum und Übung neben bewussten Rechenprozessen auch automatisierter Abruf zugrunde liegt, sowie die kürzeren Antwortlatenzen ASKR für Daten der Vergangenheit und Gegenwart als für die Zukunft geben erste Hinweise auf die Beteiligung von Gedächtnisfunktionen.

Die besseren mathematischen Leistungen GKR als ASKR, die kürzeren Reaktionszeiten von ASKR als GKR sowie die unterschiedliche Verteilung von Fehlerrate und Reaktionszeit in Abhängigkeit vom Zeitraum können als Hinweise darauf gedeutet werden, dass ihre Fähigkeit zum Kalenderrechnen auf unterschiedlichen Grundlagen, nämlich unterschiedlichen Konstellationen aus Gedächtnis- und Rechenfertigkeiten, basiert. Während bei ASKR Gedächtnisfertigkeiten im Vordergrund zu stehen scheinen, sie eine größere Datenmenge speichern und damit – wie sich in der Reaktionszeit zeigt – schnellere Prozesse dominieren, weisen die Daten darauf hin, dass die Fähigkeit zum Kalenderrechnen bei GKR stärker auf arithmetischen Berechnungen und damit komplexeren Prozessen basiert.

Langzeitgedächtnis (Hypothese III bzw. 1.3.2.4)

Die Angaben der ASKR im FraZuKal gaben Anhaltspunkte dafür, dass sie in Übereinstimmung mit Hypothese III über ein besonders gutes assoziatives deklaratives Langzeitgedächtnis verfügten: So hatte einer der ASKR gemäß den Angaben seiner Eltern das „Gedächtnis eines Elefanten“ für Geschehnisse der Vergangenheit, ein weiterer verfügte über ein herausragendes Gedächtnis für Fahrpläne, Geschichtsdaten und Fluglinien, alle drei gaben an, sich Zahlen, Situationen und Daten besonders gut merken zu können. In den durchgeführten Untertests diverser Lern- und Gedächtnistests (HAWIE-R (Tewes, 1991), LGT-3 (Bäumler, 1974), WMS-R (Wechsler, 1987)) zeigten die Ergebnisse, dass das Funktionsniveau der ASKR außerhalb des Kalenderrechnens im Normbereich lag, wobei sich die Ergebnisse der ASKR nicht von den Ergebnissen der drei Kontrollgruppen (KG_{GES} , KG_{AUT} , KG_{KR}) unterschieden. Der direkte Vergleich der GKR und ASKR brachte lediglich einen Unterschied im Untertest „visuelles Gedächtnis“ – Blockspanne rückwärts des WMS-R (Wechsler Memory Scale – Revised; Wechsler, 1987) zum Vorschein: Die GKR zeigten hier signifikant bessere Leistungen als die ASKR.

Die von Young und Nettelbeck (1994) sowie von Rosen (1981) und Horwitz und Mitarbeitern (1969) untersuchten Kalenderrechner zeigten ebenfalls ein herausragendes Gedächtnis in bestimmten Bereichen, wobei es sich zumeist um Trivialwissen wie Sportergebnisse etc. bzw. um Geburtsdaten, Wetter oder besondere Ereignisse wie Besuche handelte. Rosen (1981) fand aber, dass Savants in üblichen

Gedächtnistests häufig schlecht abschnitten, und auch die von Horwitz und Mitarbeitern (1969) untersuchten Kalenderrechner hatten außer ihrer Merkfähigkeit für das Wetter eines jeden erinnerten Datums kein gutes Gedächtnis. Somit ließen sich auch in unserer Untersuchung die besonderen Gedächtnisleistungen nicht external anhand von Tests validieren, obgleich die ASKR in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen von Kalenderrechnern (z. B. Rosen, 1981; Horwitz et al., 1969; Young & Nettelbeck, 1994) auffallende Gedächtnisleistungen zeigten. Ein besonders gutes assoziatives deklaratives Langzeitgedächtnis scheint die Entwicklung dieser Savant-Begabung zu begünstigen, zumal auch die GKR gemäß ihren Angaben im FraZuKal über ein besonders gutes Gedächtnis für Situationen bzw. Namen und/oder Daten verfügten.

„Rote memory“ (Hypothese IV bzw. 1.3.2.5) und erste Hinweise auf die Relevanz von Referenzdaten

Die Rolle einfacher (mechanischer) Gedächtnisprozesse als zugrunde liegende Kapazität des Savant-Kalenderrechnens ist vielfach betont worden (Horwitz et al., 1965; Hill, 1975; Young & Nettelbeck, 1994; Norris, 1990). In Übereinstimmung mit Hypothese IV sprechen bestimmte Charakteristika der Leistungen der untersuchten ASKR für eine stärkere Beteiligung mechanischer Gedächtnisprozesse als bei GKR: So zeigten die ASKR bessere Leistungen als GKR bei Daten der Vergangenheit und der Gegenwart (Fehlerrate, Reaktionszeit). Bei Daten der Zukunft ging den ASKR hingegen der vermeintlich auf dem mechanischen Gedächtnis basierende Vorteil verloren und sie zeigten keine besseren Leistungen als die GKR (Fehlerrate, Reaktionszeit). Auch zeigten die GKR im Gegensatz zu den ASKR keine schlechteren Leistungen bei Daten der Zukunft als bei Daten der Gegenwart und Vergangenheit, wo mechanische Gedächtnisleistungen das Kalenderberechnen förderten.

O'Connor und Hermelin (1984) hatten in ihrer Untersuchung von ASKR gefunden, dass Antwortlatenzen und Fehlerraten linear abnahmen, je näher das Datum an der Gegenwart lag. Bezogen auf die Reaktionszeiten konnte auch dieses Ergebnis in unserer Studie repliziert werden: Im Gegensatz zu den GKR nahmen bei den ASKR die Antwortlatenzen ab, je näher das Datum an der Gegenwart war, was in Übereinstimmung mit O'Connor und Hermelin (1984) als weiterer Hinweis auf einen schnellen Abruf aus dem mechanischen Gedächtnis gedeutet werden kann. Somit scheint bei ASKR ein ausgezeichnetes Gedächtnis mechanisch überlernter Datums-Tag-Assoziationen vorzuliegen, wobei für Daten der Gegenwart aufgrund ihrer Präsenz bzw. ihres Alltagsgebrauchs am meisten Datums-Tag-Assoziationen vorzuliegen scheinen, für entferntere Daten je weniger.

Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass die Fähigkeit der Savants ausschließlich auf einem herausragenden mechanischen Gedächtnis beruht, da dies eine enorme Speicherkapazität voraussetzte. Eine derart außergewöhnliche Speicherkapazität ist jedoch selbst bei Personen mit durchschnittlicher Intelligenz selten (O'Connor & Hermelin, 1984). Ein weiterer Befund zeigt, dass die Fähigkeit der ASKR nicht ausschließlich durch einfache mechanische Gedächtnisprozesse erklärbar sein kann: Mittels quadratischer Regression konnte gezeigt werden, dass für beide Gruppen eine u-förmige Beziehung zwischen der Antwortlatenz bzw. Fehlerrate und der Distanz des Datums in Vergangenheit oder Zukunft zur Gegenwart besteht. Die Tatsache, dass auch für Daten der Zukunft Fehlerrate und Reaktionszeiten mit der Distanz zur Gegenwart abnahmen, schränkt die reine Interpretation von O'Connor und Hermelin (1984) des *rote memory* als zugrundeliegende Kapazität ASKR ein. Vielmehr scheint der u-förmige Verlauf neben dem *rote memory* mit einem weiteren zugrundeliegenden System kon-

fundiert zu sein: GKR wie ASKR scheinen Gebrauch von Ankersystemen (s.u.) zu machen, indem sie von Daten der Gegenwart aus Daten in Vergangenheit und Zukunft berechnen. Dabei ist der Gebrauch solcher Referenzdaten relativ gut, wenn auch nicht widerspruchsfrei, empirisch abgesichert (Hill, 1975; Rosen, 1981; Young & Nettelbeck, 1994).

Somit ergibt sich das folgende Bild einer unterschiedlichen Überlagerung von Anker- und Gedächtnissystemen bei ASKR und GKR: Während bei Daten der Gegenwart und Vergangenheit mechanische Gedächtnisprozesse zu einer kürzeren Reaktionszeit und niedrigeren Fehlerrate von ASKR als GKR zu führen scheinen, kann der u-förmige Zusammenhang bei GKR wie ASKR als Hinweis darauf gedeutet werden, dass Daten der Gegenwart für beide Gruppen einen wichtigen Referenzpunkt für weitergehende Berechnungen darstellen. Ein weiteres Indiz für die stärkere Gewichtung von Gedächtnissystemen bei ASKR als GKR stellt das Ergebnis dar, dass ASKR in Reaktionszeit wie Fehlerrate ihre besten Leistungen in der nahen Vergangenheit erbringen, also mechanische Gedächtnisfertigkeiten überwiegen, bei GKR das Optimum hingegen in der Gegenwart liegt, also die Verankerung in Daten der Gegenwart dominiert.

Referenzdaten (Hypothese VII bzw. 1.3.2.8)

Die Art der Referenzdaten konnte anhand der Daten noch weiter spezifiziert werden: Reaktionszeit bzw. Fehlerrate zeigten nicht nur für beide Gruppen einen quadratischen Zusammenhang mit der Kalendervariablen „Jahr“. Es ergab sich ferner in Übereinstimmung mit Hypothese VII (Teil 1) ein linearer Zusammenhang zu der Kalendervariablen „Monats-10-Tage-Sektion“: je später die Dekade im Monat lag, desto länger war die Reaktionszeit. Dies kann als Hinweis darauf gedeutet werden, dass die Referenzdaten beider Gruppen von Kalenderrechnern eher zu Monatsbeginn lagen und von diesen ausgehend die weiteren Daten berechnet wurden. In Übereinstimmung mit Hypothese VII (Teil 2) bzw. dem Ergebnis von Rosen (1981), dass Daten des Monats Dezember schneller beantwortet werden als Daten anderer Monate, fand sich bei ASKR außerdem eine negative Korrelation mit der Kalendervariablen „Monat“: Je später der Monat im Jahr lag, desto kürzer war die Reaktionszeit. Auch in der Untersuchung von (Hill, 1975) war die Bedeutung des Monats Dezember beim Kalenderrechnen betont worden. Die Verwendung von Referenzdaten beim Kalenderrechnen wurde auch im FraZuKal in fünf von sechs Fällen der GKR und ASKR angegeben.

So fanden sich auch in unserer Studie Evidenzen für eine Anwendung von Referenzdaten, welche sich neben deren Beschreibung im FraZuKal in der Analyse der behavioralen Daten widerspiegeln.

Regelbasierte Strategien (Hypothese V bzw. 1.3.2.6)

Viele Studien belegten, dass die Fähigkeit zum Kalenderrechnen nicht durch einfache Tag-Datum-Assoziationen erklärt werden kann, sondern – entgegen der reinen Theorie des *rote memory* – Regeln und Strukturen Anwendung finden, um den richtigen Wochentag für ein gegebenes Datum zu berechnen (Hermelin & O’Connor, 1986; Young & Nettelbeck, 1994; Ho et al., 1991). Gemäß den Angaben im FraZuKal nutzen alle GKR bei ihren Berechnungen die Regularitäten des Gregorianischen Kalenders, wobei eine Person die verwendeten Regularitäten selbst herausgefunden hatte. Auch zwei der drei ASKR geben an, von bestimmten Regularitäten Gebrauch zu machen. Während die ASKR im FraZuKal einstimmig verneinten, sich je mit dem ewigen Kalender beschäftigt zu haben oder sich in-

nerhalb der Kalenderwissenschaften auszukennen, haben sich zwei der drei GKR mit dem ewigen Kalender auseinandergesetzt, eine davon kannte sich ferner in den Kalenderwissenschaften aus. Dies kann als Hinweis darauf angesehen werden, dass die GKR gemäß Hypothese V (Teil 1) mehr Regeln und Strukturen beherrschen als die ASKR. Insgesamt ist die folgende Rangreihe der Nutzung von Regularitäten und Strukturen des gregorianischen Kalenders anzunehmen: Am stärksten werden derartiger Regeln in Übereinstimmung mit Hypothese V (Teil 2) von GKR genutzt, von den ASKR in geringerem Maße, zumal hier teilweise bei deren Ausdruck Schwierigkeiten vorlagen (s.u.) – am geringsten schließlich von gesunden und autistischen Kontrollpersonen, die bezüglich des Kalenderrechnens naive Laien darstellen.

Ho und Mitarbeiter (1991) nehmen an, dass die Kalenderrechner eine bestimmte Aufmerksamkeitspanne und ein gutes Kurzzeitgedächtnis besitzen sollten, wenn ihre Fähigkeit auf arithmetischen Berechnungen und dem Abruf bestimmter kalendarischer Regularitäten vom Gedächtnis beruhen – dies sei gut zu testen mittels visueller und auditiver Zahlenspanne. In Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Duckett (1976) und Spitz und Lafontaine (1973) zeigten die von uns untersuchten ASKR eine akustische Zahlenspanne vorwärts und rückwärts (HAWIE-R; Tewes, 1991) und visuelle Blockspanne vorwärts (WMS-R; Wechsler, 1987) im Normbereich, welche sich außerdem nicht von der GKR unterschied. Die visuelle Blockspanne rückwärts (WMS-R) der ASKR war jedoch schlechter als die der GKR. Damit ergaben zumindest die Leistungen des visuellen Kurzzeitgedächtnisses der Kalenderrechner leichte Hinweise darauf, dass die GKR eine bessere zugrundeliegende Kapazität für die Anwendung von Strukturen und Regeln und etwa auch für komplexe arithmetische Berechnungen besaßen als die ASKR.

Implizites - explizites Wissen (Hypothese VI bzw. 1.3.2.7) und erste Hinweise auf die Relevanz von Übung

Die von Hermelin und O'Connor (1986) untersuchten Savants waren weder in der Lage, ihre Strategien, noch die Regularitäten des Kalenders explizit zu verbalisieren. Wie eingangs beschrieben zeigten die an unserer Untersuchung teilnehmenden ASKR im Gegensatz zu den GKR ebenfalls Schwierigkeiten, die ihrer Fähigkeit zugrundeliegenden Strategien sowie die Entstehung der Fähigkeit zu beschreiben, auf exaktes Nachfragen vermochten sie jedoch konkretere Angaben bezüglich ihrer Leistung zu erbringen, und sie konnten im Widerspruch zu Hypothese VI teilweise sogar bestimmte verwendete Regularitäten des Kalenders explizit verbalisieren. Im Gegensatz zu der Untersuchung von Hermelin und O'Connor (1986) und zu den GKR war nur ein ASKR überhaupt nicht in der Lage, seine Strategien sowie die Regularitäten des Kalenders explizit zu nennen. Anhand des Datenmaterials konnte nicht rekonstruiert werden, ob er solche Strategien und Regularitäten implizit nutzt. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Fähigkeit zum Kalenderrechnen bei den GKR zwar stärker unter der Kontrolle expliziter exekutiver Prozesse steht als bei ASKR; dennoch ist sie auch bei ASKR nicht derart automatisiert, dass ihre konstituierenden Elemente der bewussten Wahrnehmung unzugänglich sind und ASKR Strategien und Regularitäten ausschließlich implizit nutzen.

Auch gemäß den Angaben im FraZuKal sind bei ASKR bewusste wie automatisierte Prozesse am Kalenderrechnen beteiligt: während ein ASKR angab, dass bewusste Prozesse stattfinden, waren bei einem weiteren bewusste wie automatisierte Prozesse beteiligt, beim dritten ASKR wurde von den

Eltern aufgrund der enormen Geschwindigkeit vermutet, dass die Leistung automatisiert ist. Und auch alle GKR gaben an, dass beim Kalenderrechnen in Abhängigkeit von Übung und Datum bewusste Prozesse einerseits und automatisierte Prozesse andererseits dominieren. Somit basiert die Fähigkeit bei ASKR wie GKR in Abhängigkeit von Datum und Übung auf bewussten Prozessen einerseits und automatisierten Prozessen andererseits.

Diese Angaben im FraZuKal stimmen mit der Theorie von Young und Nettelbeck (1994) überein, die annehmen, dass anfänglich kontrollierte, aufmerksamkeitsabhängige Verarbeitungsprozesse beteiligt seien, diese dann aber – entsprechend dem Lernprinzip von Fertigkeiten (Shiffrin & Schneider, 1977; Logan, 1985) – nach den vielen Wiederholungen automatisierten. Diese automatisierten Reaktionen beruhen nur in begrenztem Maß auf der Anwendung von Regeln: Sie entstünden durch das Auswendiglernen bestimmter Regularitäten und durch intensive Übung.

Dabei hatten Young und Nettelbeck (1994) in ihrer Untersuchung von vier Kalenderrechnern anhand verschiedener psychometrischer Tests gefunden, dass die Savants Schwierigkeiten mit Prozessen der Stufe 2 hatten, die eine Transformation des Inputs verlangen (Jensen, 1969). Simple assoziative Lernvorgänge der Stufe 1, die kaum Manipulation der kognitiven Stimuli verlangten und durch extensive Übung automatisierten, waren hingegen weitgehend erhalten. Die Angaben der GKR wie ASKR im FraZuKal, dass das Kalenderrechnen in Abhängigkeit von Übung und Zeitraum automatisiert oder bewusst geschehe, kann somit folgendermaßen erklärt werden: Zunächst setzen sich die ASKR mit Kalendern und einfachen Regularitäten auseinander und lernen einfache Datums-Tag-Assoziationen. So dominieren anfänglich bzw. für neu zu erlernende Zeiträume bewusste, aufmerksamkeitsabhängige Prozesse: Durch die vielen Wiederholungen lernen sie bestimmte Regeln auswendig und die Fertigkeit automatisiert auf der Basis simpler assoziativer Lernvorgänge (Jensen, 1969).

Die Geschwindigkeit solcher automatisierter Prozesse führt dabei häufig dazu, dass ihre konstituierenden Elemente der bewussten Wahrnehmung unzugänglich sind (Shiffrin & Schneider, 1977). Dies stimmt zum einen mit der Vermutung der Eltern des Kalenderrechners „MR“ überein, dass seine Fähigkeit aufgrund der hohen Geschwindigkeit vollständig automatisiert sein muss, zum anderen mit der fehlenden Fähigkeit von „MR“ zur Introspektion bzw. zur expliziten Nennung seiner zugrundeliegenden Strategien.

Dabei ist anzumerken, dass bei GKR wie ASKR Reaktionszeiten und Fehlerraten für Daten der Vergangenheit negativ korrelierten: je schneller die Antworten gegeben wurden, desto mehr richtige Antworten wurden gegeben. Somit zeigte sich bei keiner der Gruppen eine höhere Geschwindigkeit zu Lasten der Genauigkeit und umgekehrt. Ein solcher Verlauf ist gut mit der Automatisierungstheorie vereinbar (Logan, 1985).

Übung (Hypothese VIII bzw. 1.3.2.9) und deren Bedeutung für (mechanische) Gedächtnisleistungen und die Anwendung regelbasierter Strategien

Die Literatur zum Savant-Syndrom weist übereinstimmend auf die Rolle der Übung im Zusammenhang mit der Entstehung von Savant-Fähigkeiten hin (Ericsson & Faivre, 1988). Ein weiterer Hinweis für die Relevanz von Übung beim Kalenderrechnen zeigte das Ergebnis, dass über beide Gruppen von Kalenderrechnern (GKR, ASKR) Daten der Gegenwart schneller und korrekter berechnet wurden als Daten der Vergangenheit und Zukunft: Diese besonders gute Performanz beider Gruppen für Daten der Gegenwart lag vermutlich auch darin begründet, dass sie, aufgrund ihrer Präsenz bzw. ihres Alltagsgebrauchs, am häufigsten genutzt und daher auch besser trainiert waren. So führte, wie oben diskutiert, einerseits der Gebrauch von Ankerdaten in der Gegenwart zum beschriebenen u-förmigen Verlauf der Performanz, andererseits das unterschiedliche Training und die damit zusammenhängende unterschiedlich starke Beteiligung von Gedächtnissystemen.

Die meisten Kalenderrechner beschreiben eine frühe Faszination von Kalendern, wobei dieses Interesse zumeist plötzlich im Alter von sechs oder sieben Jahren ohne einen spezifischen Einfluss auftrat (Young & Nettelbeck, 1994). Auch die von uns untersuchten ASKR zeigten sehr früh im Mittel in einem Alter von 7;4 Jahren Interesse an Kalenderberechnungen, während bei den GKR das Interesse erst später in einem mittleren Alter von 27 Jahren entstanden war. In der Literatur wird häufig eine ausführliche Auseinandersetzung mit Kalendern wie eingehendes Betrachten beschrieben, wobei größtenteils nur schwierig rekonstruiert werden kann, wie viel Zeit die Kalenderrechner mit dem Studium von Kalendern verbrachten (Young & Nettelbeck, 1994). Dies war auch bei den von uns untersuchten ASKR schwierig zu erfassen: Zwar wurde im FraZuKal von ASKR wie GKR einstimmig angegeben, eine besondere Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial zu besitzen; aber im Gegensatz zu den GKR gab nur einer der drei ASKR an, das Kalenderrechnen je (und auch nur unregelmäßig) geübt zu haben; die Eltern von MR vermuten, dass er niemals übte, auch der dritte ASKR gab an, nie explizit geübt zu haben, sondern lediglich gelegentlich von Gästen ausgefragt worden zu sein. Somit scheint Übung bzw. Wiederholung im Zusammenhang mit der oben beschriebenen Automatisierung eine Rolle zu spielen und für die Weiterentwicklung der Fähigkeit zum Kalenderrechnen wichtig zu sein, sie erklärt aber nicht die frühe Entstehung des Interesses für Kalender bei Savants. Die fehlenden Beschreibungen expliziten Übens bei ASKR sowie das frühe Auftreten weisen darauf hin, dass der Ursprung dieser Savant-Fähigkeit nicht in intensivem Training zu sehen ist.

In Übereinstimmung mit Hypothese VIII (Teil 1) stellt Übung somit eine notwendige und keine hinreichende Bedingung beim Erwerb der Fähigkeit des Kalenderrechnens ASKR dar. Ein weiterer Hinweis hierfür stammt von der direkten Gegenüberstellung der Leistungen ASKR und GKR. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass auch Normalpersonen durch intensives Training von 20 bis 30 Stunden die Fähigkeit des Kalenderrechnens erwerben konnten (Ericsson & Faivre, 1988; LaFontaine & Benjamin, 1971), so dass Kelly und Mitarbeiter (1997) sogar behaupten, dass die Rechenleistungen ausschließlich durch konstante Wiederholung und Übung zu erklären seien. Der in unserer Studie vollzogene direkte Vergleich ASKR und GKR zeigte aber in Übereinstimmung mit Hypothese VIII (Teil 2), dass die von Normalpersonen nach intensivem Training erbrachten Leistungen nicht vergleichbar waren mit den Leistungen der ASKR, welche bei Daten der Gegenwart und der Vergangenheit bessere Leistungen in Reaktionszeit und Fehlerrate zeigten als die GKR. Selbst bei

Daten der Gegenwart waren die trainierten GKR nicht schneller als gesunde Kontrollpersonen. Das intensive Training der GKR reichte nicht aus, um den Grad an Performanz zu erreichen, den die ASKR besaßen.

Eine mögliche Erklärung hierfür kann in der unterschiedlichen Entstehung der Fähigkeit gesehen werden: Die ASKR zeigten seit ihrer Kindheit ein besonderes Interesse für Kalender und entwickelten, unterstützt durch die beschriebene besondere Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial, die Fähigkeit zum Kalenderrechnen. Damit lag das Hauptaugenmerk auf Daten der heutigen Vergangenheit und der Gegenwart, nicht auf Daten der Zukunft, was dazu führte, dass Daten der Vergangenheit und Gegenwart stärker geübt wurden. In diesem Zusammenhang ist die Untersuchung von Pauli und Mitarbeiter (1996) von Bedeutung, in der sie zeigten, dass das Training einfacher Multiplikationsaufgaben deren Antwortzeiten erwartungsgemäß beschleunigte. Dieser Effekt war aber spezifisch für die trainierten Aufgaben: Wurden anschließend vorher nicht geübte einfache Multiplikationsaufgaben präsentiert, so entsprach die Reaktionszeit wieder der Reaktionszeit zu Trainingsbeginn. Eine solche Trainingsspezifität scheint auch bei den ASKR vorzuliegen: Der häufigere Gebrauch vergangener und gegenwärtiger Daten und das hiermit verbundene Training war spezifisch für diese Zeiträume, der Trainingseffekt ließ sich bei ASKR nicht auf die Leistung bei der Berechnung Daten der Zukunft transferieren.

Auch die GKR besaßen gemäß ihren Angaben im FraZuKal eine besondere Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial, wobei bei Ihnen das Interesse erst wesentlich später in einem mittleren Alter von 27 Jahren entstanden war. Dennoch unterschieden sich die Mittelwerte des Zeitraums, seit dem sie Kalenderberechnungen durchführen, nicht voneinander: GKR und ASKR berechneten Kalenderdaten im Mittel seit 22 bzw. 22.3 Jahren. Die GKR hatten sich die Fähigkeit aber aus pragmatischen Gründen für das jeweils aktuelle Jahr angeeignet, um keinen Kalender zu benötigen. Die Leistung des Kalenderrechnens für den Zeitraum 1950 bis 2050 trainierten die GKR dann erst im Jahr 2003, um zum Wissenschaftsjournal MTW eingeladen zu werden. So gaben die GKR im FraZuKal im Gegensatz zu den ASKR einstimmig an, regelmäßig mittels arithmetischen Berechnungen und dem Auswendiglernen bestimmter Regularitäten des Gregorianischen Kalenders bzw. von Jahresschablonen geübt zu haben. Somit lag die Motivation der GKR darin begründet, die Fähigkeit zum Kalenderberechnen über alle Zeiten für das Fernsehen zu beherrschen, womit das Kalenderrechnen für die GKR einen anderen Stellenwert besaß als für die ASKR, die sich intrinsisch motiviert damit beschäftigt hatten.

Die Angaben ASKR gaben allerdings keinerlei Hinweise darauf, dass sie die Fähigkeit zum Kalenderrechnen stärker geübt hatten als GKR – wie oben beschrieben, gab sogar im Gegensatz zu den GKR nur einer der drei ASKR an, das Kalenderrechnen jemals (und auch nur unregelmäßig) trainiert zu haben, und auch die Mittelwerte des Zeitraums, seit dem sie Kalenderberechnungen durchführten, unterschieden sich nicht voneinander. Die Tatsache, dass ASKR somit bei gleicher (oder weniger) Übung bessere Leistungen als GKR zeigten, kann wiederum als Hinweis auf ein besseres (mechanisches) Gedächtnis bzw. auf eine stärkere Beteiligung von Gedächtnisfunktionen gedeutet werden. Hierbei ist jedoch kritisch anzumerken, dass die Angaben der ASKR im FraZuKal sehr uneinheitlich waren, wenn sie auch keine eindeutigen Hinweise auf einen bedeutsamen Stellenwert der Übung erbrachten.

Insgesamt ist der folgende Zusammenhang zwischen Übung und mechanischen Gedächtnisfähigkeiten naheliegend: Die ASKR setzen sich, interessegeleitet, mit Daten der Gegenwart und Vergangenheit auseinander. Aufgrund ihrer besonderen mechanischen Gedächtnisleistungen vermögen sie, bei gleicher oder weniger Übung als GKR, schnell bessere Leistungen als diese zu erbringen und Antworten für Daten der Vergangenheit und Gegenwart extrem schnell zu geben bzw. direkt aus dem Gedächtnis abzurufen. Da diese Leistung nicht auf neue Zeiträume transferierbar ist, geht ihnen der auf ihrem besonderen Gedächtnis basierende Vorteil bei Daten der Zukunft verloren, hier zeigen sie keine besseren Leistungen, ihre Fähigkeit basiert hier – wie bei den GKR – vornehmlich auf der Anwendung regelbasierter Strategien.

Zusammenfassung

Für die Entstehung des Kalenderrechnens als Savant-Fähigkeit einerseits und als Experten-Fähigkeit andererseits ergibt sich das folgende Bild:

Bei den ASKR scheinen in Abhängigkeit vom Zeitraum verschiedene Kombinationen mehrerer Faktoren an der Entstehung dieser Savant-Fähigkeit beteiligt zu sein:

So ist für Daten der Vergangenheit und Gegenwart anzunehmen, dass Gedächtnisprozesse dominieren. Die ASKR setzen sich aus Interesse mit Kalendern der Gegenwart und heutigen Vergangenheit auseinander und lernen aufgrund ihrer besonderen Gedächtnisfähigkeiten und Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial besonders schnell einfache Datums-Tag-Assoziationen. Während anfänglich bzw. für neu zu erlernende Zeiträume bewusste, aufmerksamkeitsabhängige Prozesse dominieren, automatisieren diese schnell entsprechend dem Lernprinzip von Fertigkeiten (Shiffrin & Schneider, 1977; Logan, 1985). So ist die Fähigkeit ASKR für den Zeitraum Vergangenheit und Gegenwart schnell auf der Basis simpler assoziativer Lernvorgänge automatisiert und sie vermögen ihre Antworten blitzschnell zu geben. Anstelle komplexer Prozeduren speichern sie eine größere Datenmenge, so dass bei ihnen einfachere, schnellere Prozesse beim Kalenderrechnen im Vordergrund stehen, wie sich für diesen Zeitraum in ihrer besseren Leistung in Reaktionszeit wie Fehlerrate als GKR zeigt. Diese Leistung ist nicht auf neue Berechnungszeiträume (wie eben die Zukunft) zu transferieren.

Daten der Zukunft sind für ASKR hingegen schwieriger zu lösen – hier dominieren regelbasierte Strategien und simple arithmetische Berechnungen, wie sie auch von GKR verwendet werden. So ergibt sich für den Zeitraum der Zukunft kein Leistungsunterschied zwischen ASKR und GKR. Bei den Berechnungen für Daten dieses Zeitraums sind kontrollierte, aufmerksamkeitsabhängige Verarbeitungsprozesse beteiligt, die weniger automatisiert sind, was die größeren Antwortlatenzen und Fehlerraten erklärt.

Somit kann anhand des Datenmaterials in Übereinstimmung mit der Theorie von Young und Nettelbeck (1994) ein Zusammenspiel aus Übung, und zwar simplen assoziativen Lernvorgängen, einer besonderen Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial, einem herausragenden assoziativen deklarativen Langzeitgedächtnis im Sinne mechanisch überlearnter Datums-Tag-Assoziationen (*rote memory*) und der impliziten oder expliziten Kenntnis bestimmter Regeln angenommen werden. Die Extraktion solcher Regeln ist in Übereinstimmung mit der Theorie von Horwitz und Mitarbeitern (1969) folgendermaßen anzunehmen: die ASKR lernen zunächst Datums-Tag-Assoziationen eines konventionellen Kalenders für den interessierenden Zeitraum. Schließlich bemerken sie, dass ein Monat dort beginnt,

wo der andere endet, ebenso die Jahre etc.. So könnten erst Monate, dann Jahre aneinandergesetzt und Regeln extrahiert werden, so dass der mögliche Berechnungszeitraum stetig wächst.

Weitergehende Berechnungen scheinen dabei von Ankerdaten, die vornehmlich am Monatsanfang, im Dezember und in der Gegenwart liegen, auszugehen. Bereits Rosen (1981) hatte Referenzpunkte Anfang Dezember vermutet. Von diesen aus nutzten die ASKR ihr Wissen zu den systematischen Veränderungen des Kalenderjahres. Zusammen mit ihrer herausragenden - wenn auch sehr spezifischen - Gedächtnisleistung und Konzentrationsfähigkeit sowie einfachen Berechnungen vermögen sie so Antworten zu jedem Datum des Jahres zu finden.

Bei den GKR scheinen Gedächtnisprozesse eine geringere Rolle zu spielen: Bei ihnen handelt es sich um eine trainierte Fähigkeit, die unabhängig vom Zeitraum auf regelbasierten Strategien, arithmetische Berechnungen und dem Abruf von Schablonen und Ankerdaten basiert. Wenngleich gemäß ihren Angaben im FraZuKal auch bei ihnen in Abhängigkeit von Zeitraum und Übung bewusste Prozesse einerseits und automatisierte Prozesse andererseits dominieren, so weisen die längeren Reaktionszeiten und höheren Fehlerraten bei Daten der Vergangenheit und Gegenwart darauf hin, dass die Fähigkeit nicht derart automatisiert ist wie bei ASKR: Anstelle einer größeren Datenmenge speichern bzw. nutzen sie – unabhängig vom Berechnungszeitraum – explizite, komplexe Prozeduren bezüglich der Regularitäten, so dass das Kalenderrechnen bei GKR auf einem komplexeren Prozess basiert.

Es ist schwierig, die tatsächliche Übungszeit der beiden Gruppen von Kalenderrechnern zu rekonstruieren. Gemäß ihren eigenen Angaben unterschied sie sich jedoch nicht voneinander, so dass nicht angenommen werden kann, dass die besseren Leistungen ASKR auf mehr Übung basierten.

Für Zeiträume, in denen die besonderen Gedächtnisleistungen der ASKR eine Rolle spielen (Vergangenheit, Gegenwart), zeigen somit ASKR kürzere Reaktionszeiten und niedrigere Fehlerraten. Für Berechnungszeiträume in der Zukunft, in denen Gedächtnisleistungen nicht dominieren, scheinen sich die zugrundeliegenden Strategien ASKR und GKR und damit auch nicht ihre Leistungen nicht voneinander zu unterscheiden. Bereits Hill (1975) hatte angenommen, dass die Fähigkeit ASKR auf einem „rote memory, similar to the memory of adolescents who learn the statistical information pertaining to their favorite sports“ (S.559) basierte, wobei der Fähigkeitserwerb im Einklang mit dem Modell von Horwitz und Mitarbeitern (1969) durch die besondere Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial unterstützt werde. Dabei handelte es sich auch nach Horwitz und Mitarbeitern eher um eine mechanische als um eine kreative Gedächtnisleistung. Auch Goodman (1972) sieht das Kennzeichen von Savants in einem herausragenden Langzeitgedächtnis. Treffert (2000) geht davon aus, dass alle Savants die Gemeinsamkeit aufweisen, in ihrem Gebiet über ein herausragendes Gedächtnis zu verfügen. „Indeed, the linking of special skills with special memory – in the presence of substantial intellectual defect – is savant syndrome“ (Treffert, 2000; S. 200).

Dabei war das herausragende Gedächtnis nur im Spezialgebiet der Savants beobachtbar: Die besonderen Gedächtnisleistungen spiegelten sich nicht in der Testung mittels unterschiedlicher Gedächtnis- und Lerntests wider, wenngleich die ASKR im FraZuKal angaben, ein besonders gutes Gedächtnis für Situationen, in zwei von drei Fällen außerdem für Zahlen und Daten (Fahrpläne etc.) zu haben. Dies kann als Hinweis dafür genommen werden, dass die ASKR in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen ASKR über spezifische prädisponierende Gedächtnisleistungen verfügen (Horwitz et al., 1965, 1969; Hill, 1975; Young und Nettelbeck, 1994; Norris, 1990; O'Connor und Hermelin, 1984),

zumal sie auch in anderen Bereichen von außergewöhnliche Fähigkeiten berichten (insbesondere von außergewöhnlichen künstlerischen bzw. musikalischen Leistungen). Insgesamt scheint somit ein außergewöhnliches deklaratives assoziatives Langzeitgedächtnis für ihren Spezialbereich im Sinne mechanisch überlernte Datums-Tag-Assoziationen (*rote memory*) für ihren Spezialbereich der differenzierende Faktor zwischen ASKR und GKR zu sein: für Zeiträume, die im Brennpunkt ihres Interesses stehen, vermögen sie schnell Datums-Tag-Assoziationen zu bilden.

Die folgende Anekdote bestärkt die Annahme eines herausragenden Gedächtnisses für Kalenderdaten bei ASKR: einer der ASKR diktierte, drei Monate nach der Teilnahme an unserem Experiment an Weihnachten, seiner Mutter die bei unserer Untersuchung in Tübingen verwendeten Datumsangaben.

4.2 Diskussion der neurophysiologischen Daten

Anhand der Analyse der neurophysiologischen Daten konnten beide Gruppen von Experten-Kalenderrechnern (ASKR und GKR) von den gesunden und autistischen Laien unterschieden werden. Auch zeigten sich Unterschiede in den neuronalen Korrelaten des Kalenderrechnens der ASKR einerseits und GKR andererseits. Die Datenlage wird im folgenden auf der Basis der formulierten Hypothesen diskutiert.

Hinweise auf Veränderungen in den frühen Schritten der IVA bei Experten-Kalenderrechnern (Hypothese IX bzw. 1.4.2.1): Das Auftreten einer frühen Komponente bei ASKR einerseits und GKR andererseits im Zeitfenster 90-150 ms.

Nach dem neuen Erklärungsansatz des Savant-Syndroms von Snyder und Mitchell (1999) wird angenommen, dass Savants Zugriff auf frühe Schritte der IVA haben. Birbaumer (1999) vermutet, dass sich dieser Zugriff in größeren Amplituden früher Potentiale bzw. evozierter Felder widerspiegelt. Anhand der Analyse der frühen ereigniskorrelierten Potentiale (EKPs) und Felder (EKFs) konnten in dieser Arbeit die Experten-Kalenderrechner deutlich von den gesunden und autistischen Laien unterschieden werden. In Übereinstimmung mit Hypothese IX, die eben größere Amplituden früher Potentiale bei ASKR und GKR als bei gesunden und autistischen Kontrollpersonen voraussagte, zeigte sich in beiden Gruppen sowohl in den ereigniskorrelierten Potentialen als auch in den evozierten Feldern im Zeitfenster 90-150 ms eine deutliche frühe Komponente. Während Snyder und Mitchell (1999) voraussetzten, dass lediglich Savants Zugriff auf frühe, vorbewusste Schritte der IVA haben, nimmt Birbaumer (1999) an, dass auch Normalpersonen den Zugriff auf frühe Informationsverarbeitungsschritte lernen können und verweist dabei auf die Untersuchung eines gesunden Rechenkünstlers (Pauli et al., 1996), der Veränderungen in den frühen und späten EKPs aufweist. In Übereinstimmung mit der Annahme von Birbaumer (1999) zeigte sich in dieser Untersuchung auch bei GKR eine Veränderung in den frühen Potentialen. Die neurophysiologischen Daten wiesen also hypothesenkonform darauf hin, dass beide Gruppen von Experten-Kalenderrechnern Veränderungen in den frühen Schritten der IVA zeigen.

Im Gegensatz zu Hypothese IX fanden sich aber keine einheitlichen Ergebnisse bezüglich kleinerer Amplituden später Potentiale und evozierter Felder: Lediglich im EEG zeigte sich im Zeitfenster 210-290 ms eine Interaktion der Faktoren Gruppe, Bedingung und Region, die darauf basierte, dass gesunde und autistische Kontrollpersonen beim Kalenderrechnen eine starke frontale Positivierung zeigten, GKR und ASKR hingegen lediglich eine schwache Negativierung. Im MEG zeichneten sich keine schwächeren späteren evozierten Felder bei GKR und ASKR ab. In Übereinstimmung mit der Annahme von Norris (1990) scheinen beim Kalenderrechnen vornehmlich basale, frühe Verarbeitungsprozesse beteiligt zu sein – anhand der späteren Prozesse ließen sich die Expertengruppen nicht eindeutig von den autistischen und gesunden Laien unterscheiden.

Diese ausgeprägten frühen Komponenten der Expertengruppen im Zeitfenster 90-150 ms zeigten sich nicht unter der Kontrollbedingung und sind somit spezifisch für das Kalenderrechnen der Experten. Die Spezifität der frühen Komponenten für die Experimentalbedingung spiegelte sich auch in der Interaktion der Faktoren Gruppe und Bedingung wider: Diese Interaktion brachte bei der Analyse der EKFs zum Vorschein, dass ASKR beim Kalenderrechnen über frontale und temporoparietale Senso-

ren hinweg stärkere frühe evozierte Felder als gesunde und autistische Kontrollpersonen aufwiesen; bei GKR zeigte sich je eine deutliche Tendenz hierzu.

Die genauere Lokalisierung der frühen Komponenten der Experten-Kalenderrechner führte bei autistischen Savant-Kalenderrechnern (ASKR) und gesunden Kalenderrechnern (GKR) zu unterschiedlichen Resultaten: Bei den ASKR ließ sich die frühe Komponente im Frontallappen lokalisieren. Sie zeigten unter der Bedingung des Kalenderrechnens im MEG ein deutliches frühes frontales Feld, dessen Feldstärke signifikant stärker war als das gesunder und autistischer Kontrollpersonen. Anhand einer räumlich-zeitlichen Dipolanalyse ließ sich die Quelle der frühen frontalen Komponente im MEG im medialen inferioren Frontallappen lokalisieren. Die Tatsache, dass die frontale Feldstärke unter der Kontrollbedingung am geringsten war, ist ein weiteres Indiz dafür, dass diese frühe frontale Komponente spezifisch für das Kalenderrechnen war. In Übereinstimmung mit dem Ergebnis der Analyse der EKFs ergab auch die Analyse der EKPs, dass die frühe Komponente ASKR frontal zu lokalisieren war. Die mittlere Amplitude ASKR war im Frontallappen [F3, F4] beim Kalenderrechnen signifikant höher als bei gesunden und autistischen Kontrollpersonen. Bei den GKR ließ sich die ausgeprägte frühe Komponente beim Kalenderrechnen hingegen im EEG parietal lokalisieren, im MEG bildete sich ein ausgeprägtes temporoparietales Feld ab. Die räumlich-zeitliche Dipolanalyse des temporoparietalen Feldes ergab eine Quelle in rechts-medialen parieto-occipitalen Regionen. Dabei unterschied sich die frühe Komponente in EEG wie MEG signifikant von der gesunden Kontrollgruppe, im MEG zeigte sich zudem die starke Tendenz eines Unterschieds zu autistischen Kontrollpersonen.

Die Tendenz einer Interaktion der Faktoren Gruppe und Region (MEG) gab ferner deutliche Hinweise darauf, dass sowohl das frühe frontale Feld ASKR, als auch das frühe parietotemporale Feld GKR bei Berechnungen von Daten aller Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) auftrat.

Interpretation der frühen Komponente im Zeitfenster 90-150 ms bei ASKR einerseits und GKR andererseits: Zugriff auf frühe Schritte der IVA oder neuronales Korrelat der Bedeutsamkeit der Kalenderreize für Experten-Kalenderrechner?

Bei beiden Expertengruppen zeigte sich ein Zusammenhang zwischen den neurophysiologischen Ergebnisse und den Verhaltensdaten. Bei den ASKR korrelierte die frühe frontale Feldstärke im Zeitfenster 90-150 ms beim Berechnen von Daten der Gegenwart signifikant mit der Richtigkeit ihrer Antworten: je größer die mittlere frontale Feldstärke war, desto größer war die Prozentzahl ihrer richtigen Antworten. Bei den GKR fand sich bei der Analyse der EKPs ein Zusammenhang zwischen der frühen parietalen Komponente im Zeitfenster 90-150 ms und der Reaktionszeit: je größer die mittlere parietale Amplitude war, desto kürzer war die Reaktionszeit. Dieser Zusammenhang bei Experten-Kalenderrechnern zwischen den Hinweisen auf Veränderungen in den frühen Schritten der IVA und den Ergebnissen der Analyse der behavioralen Daten gibt starke Hinweise für die Annahme von Snyder und Mitchell (1999) bzw. Birbaumer (1999), dass die herausragenden Leistungen autistischer Savants bzw. gesunder Experten auf Veränderungen in der frühen IVA zurückzuführen sind.

Welche Bedeutungen hinsichtlich des Zugriffs auf frühe Schritte der IVA sind bezüglich der frühen frontalen Komponente ASKR bzw. frühen parietalen Komponente GKR denkbar? Bitan et al. (2005) konnten zeigen, dass der inferiore Frontallappen eine bedeutsame Rolle bei der Integration unterschiedlicher Hirnregionen spielt, indem er diejenigen Gehirnregionen beeinflusst, die bei der Reizverarbeitung beteiligt sind. So nehmen Bitan und Mitarbeiter an, dass die Aktivierung des inferioren Fron-

tallappens dazu führt, dass ein Netzwerk des kognitiven Kontexts der IVA vorgegeben wird. In diesem Zusammenhang wäre die folgende Interpretation der frühen frontalen Komponente ASKR denkbar: Die Präsentation eines Datums führt zu einer frühen Aktivierung des inferioren Frontallappens, von dem aus ein assoziatives Netzwerk bezüglich des kognitiven Kontexts des Kalenderreizes aktiviert wird, welches verschiedene Gehirnregionen integriert. Diese Annahme stimmt mit der Interpretation der behavioralen Ergebnisse überein, dass bei ASKR beim Berechnen von Daten der Gegenwart und Vergangenheit ein herausragendes assoziatives deklaratives Langzeitgedächtnis im Sinne mechanisch überlernter Datums-Tag-Assoziationen eine herausragende Rolle spielt.

Der mediale parieto-occipitale Cortex ist hingegen ein wichtiger Knotenpunkt des dorsomedialen visuellen Verarbeitungspfades (z.B. Galletti, Kutz, Gamberini, Breveglieri & Fattori, 2003). Während der ventrale „Was“-Pfad zum Temporallappen projiziert und eine zentrale Rolle bei der Objekt- und Gesichtererkennung spielt, projiziert der dorsale „Wo“-Pfad zum Parietallappen und ist an der Verarbeitung räumlicher Information und an der visuomotorischen Planung beteiligt (Mishkin, Ungerleider & Macko, 1983; Milner & Goodale, 1995). In diesem Zusammenhang ist die folgende Interpretation der frühen parietalen Komponente GKR mit Quelle in medialen parieto-occipitalen Regionen naheliegend: Gemäß der Analyse der behavioralen Daten basiert die Fähigkeit GKR unabhängig vom Zeitraum auf regelbasierten Strategien, arithmetischen Berechnungen und dem (visuellen) Abruf von Schablonen, Listen und Ankerdaten: Die GKR geben einhellig an, Ankersysteme, Schablonen bzw. Listen zu verwenden, auch wird angegeben, dass das Datum „vor einem inneren Auge auf einem Kalender“ gesehen wird. Das neuronale Korrelat der frühen visuellen Suche bzw. räumlichen Identifikation des Datums innerhalb einer Schablone/ Liste bzw. eines Kalenders ist dann mutmaßlich in der frühen parietalen Komponente GKR zu sehen.

Bislang liegen außer der Untersuchung von Snyder und Mitarbeitern (2003) keine weiteren Studien vor, die die Theorie von Snyder und Mitchell (1999) überprüft haben. Daher ist es nicht möglich, die gefundenen Ergebnisse zu anderen Ergebnissen außer denen der vorstehend erwähnten Untersuchung von Pauli und Mitarbeitern (1996) in Beziehung zu setzen. Im folgenden wird die Interpretation der frühen Komponenten als Zugriff auf frühe Schritte der IVA kritisch geprüft, indem alternative Interpretationsversuche diskutiert werden.

Die Betrachtung der EKP-Komponenten machte deutlich, dass sich die Abfolge beider Gruppen von Experten-Kalenderrechnern deutlich von der gesunder und autistischer Kontrollpersonen unterschied: Gesunde und autistische Kontrollpersonen zeigten die übliche Komponentenfolge N1 (mittlere Latenz hier ca. 110 ms) - P2 (mittlere Latenz hier ca. 210 ms). Die Latenz der N1 liegt üblicherweise bei ca. 100 ms, gefolgt von einer Positivierung der Latenz von ca. 170-200 ms (P2). Dieser N1/P2-Komplex zeigt eine Prädominanz über dem Vertex und wird daher auch als Vertex-Potential bezeichnet; die Amplitude verringert sich mit der Stimuluswiederholung (Rockstroh, Elbert, Canavan, Lutzenberger & Birbaumer, 1989). Die GKR zeigten im Gegensatz zu den gesunden und autistischen Kontrollpersonen eine deutlich frühere frontale Negativierung (mittlere Latenz nur ca. 30-50 ms). Auf diese folgte die beschriebene deutliche frühe Komponente im Zeitfenster 90-150 ms, eine Positivierung mit parietaler und außerdem frontaler Prädominanz und einer mittleren Latenz von nur ca. 120 ms. Diese Komponentenfolge der GKR ist nicht als N1/P2-Komplex interpretierbar, zumal die Negativierung bei ihnen bereits vor der Darbietung des Kalenderdatums einsetzte. So scheint sich die frühe Negativie-

rung GKR vielmehr als antizipatorische Erwartungswelle (CNV, contingent negative variation) qualifizieren zu lassen. Es wird möglich, die sich anschließende deutliche frühe Komponente bzw. Positivierung als CNV-Auflösung (CNV-resolution) einzuordnen. Bei den ASKR war jedoch keine deutliche antizipatorische Erwartungswelle beobachtbar, obgleich auch bei ihnen im Zeitfenster 90-150 ms in Form der beschriebenen deutlichen frühen frontalen Komponente eine CNV-Auflösung-ähnliche Positivierung auftrat. Analog wäre das im Zeitfenster 90-150 ms beobachtete temporoparietale evozierte Feld GKR bzw. frontale evozierte Feld ASKR als CNV_m-Auflösung interpretierbar. Dennoch bleibt kritisch anzumerken, dass sich nicht beide Gruppen von Kalenderrechnern bereits in der CNV von den gesunden und autistischen Kontrollpersonen unterschieden.

Die Erwartungswelle (CNV) ist ein negativer Potentialverlauf im frontozentralen Bereich, der zwischen einem Ankündigungsreiz (S1) und einem imperativen Stimulus (S2) beobachtbar ist (Walter, Cooper, Aldridge, McCallum & Winter, 1964). Die CNV-Auflösung tritt vorwiegend in der Nähe von S2 bzw. der Reaktion auf, welche zeitlich meist nahe beieinander liegen. Diese Komponenten sind bei klassischen Paradigmen mit einer vorbereitenden Zeitspanne beobachtbar sowie generell bei allen Paradigmen, bei denen die Leistung der Probanden von der adäquaten Verarbeitung der Information abhängt (Macar & Vitton, 1982). Macar konnte zeigen, dass die CNV-Auflösung erst dann auftritt, wenn die Information, die die Art der Reaktion bestimmt, vollständig verfügbar ist (Macar, 1977). Dies stimmt mit der Hypothese von Järvilehto und Fruhstorfer (1970) überein, welche annehmen, dass sich die Negativität so lange entwickelt, wie Unsicherheit besteht, und dann durch einer Positivierung ersetzt wird, wenn die Unsicherheit gelöst wurde.

Die beobachtete Komponentenfolge der Experten-Kalenderrechner ließe sich damit im Rahmen unseres Versuchsaufbaus folgendermaßen interpretieren: Für beide Experten-Kalenderrechner-Gruppen handelte es sich bei den Kalenderdaten um hochrelevante Reize, so dass bei ihnen nach der Darstellung des Fixationskreuzes (S1) eine starke Erwartung entstand, dass ein Kalenderdatum (S2) erscheint. Aufgrund der größeren Bedeutsamkeit und grundsätzlichen Handlungsrelevanz der Kalenderdaten für Experten-Kalenderrechner war ihre Erwartungshaltung mutmaßlich ausgeprägter als die der gesunden und autistischen Kontrollpersonen, für die Kalenderdaten keine derart hohe Relevanz besaßen. Erschien nun ein Kalenderdatum, wurde die Erwartung bestätigt: Die Information, die die Art der Reaktion – nämlich Kalenderrechnen – bestimmt, war jetzt vollständig verfügbar (Macar, 1977) und mit der CNV-Auflösung trat die Positivierung in Form der signifikanten frühen parietalen Komponente GKR bzw. frühen frontalen Komponente ASKR auf. Auch Roth und Mitarbeiter (Roth, Rothbart & Kopell, 1978) konnten zeigen, dass die CNV-Auflösung eher zeitgebunden mit dem Ereignis, das die Reaktion auslöst (S2, bei uns das Kalenderdatum), auftritt. Bereits Wilkinson und Spence (1973) beschrieben, dass die CNV-Auflösung erscheint, sobald der Reiz als zu der relevanten Reizklasse gehörig identifiziert wurde, wie eben bei unserer Versuchsanordnung, wenn der Stimulus als zur Klasse der relevanten Kalenderdaten und nicht der einfachen Kontrolldaten gehörig erkannt wurde.

Die frühe Positivierung wies bei den ASKR in Übereinstimmung mit der Untersuchung von Macar und Vitton (1982) eine frontale Prädominanz auf, auch bei den GKR trat neben der (für eine CNV-Auflösung untypischen) signifikanten parietalen Positivierung eine frontale Positivierung auf. Rohrbaugh und Mitarbeiter (Rohrbaugh, Syndulko & Lindsley, 1976) nehmen an, dass die CNV kein einzelnes Phänomen ist. Sie beschrieben ebenfalls eine frontale Komponente, die dem Ankündigungs-

reiz (S1) folgt, ferner jedoch ein zentrales Bereitschaftspotential, welches der motorischen Reaktion vorangeht. Da sich in unserer Untersuchung die motorische Reaktion unter der Experimentalbedingung nicht von der unter der Kontrollbedingung unterschied, zeigte sich bei uns keine derartige Komponente, die spezifisch für die Experimentalbedingung gewesen wäre.

Insgesamt ließe sich somit die deutliche frühe Komponente der ASKR einerseits und GKR andererseits (Zeitfenster 90-150 ms) anstelle eines Zugriffs auf frühe Schritte der IVA als neuronales Korrelat der Bedeutsamkeit der Kalenderreize für Experten-Kalenderrechner interpretieren. Es ist denkbar, dass die bestätigte Erwartung eines Kalenderdatums bei Experten-Kalenderrechnern zu einer CNV-Auflösung führt, die sich in den EKPs als deutliche Positivierung zeigt. Das Fehlen einer deutlichen Erwartungswelle bei ASKR sowie die ungewöhnliche parietale Prädominanz der Positivierung bei GKR hinterlässt jedoch auch Zweifel an der Interpretation der frühen Komponenten als CNV-Auflösung.

Differenzierung GKR und ASKR anhand einer frontalen Komponente GKR im Zeitfenster 210-370 ms: N2 als neuronales Korrelat der Anwendung expliziter Regeln GKR?

Bei der Betrachtung der EKPs fällt auf, dass insgesamt die Komponenten ASKR geringere Amplituden aufwiesen als die GKR. Hier wird vorstellbar, dass bei ASKR beim Kalenderrechnen weniger bzw. einfache (frühe, s.o.) Prozesse ablaufen, während bei GKR komplexere Prozesse stattfinden. Für diese Annahme spricht, dass bei den GKR in MEG wie EEG im späteren Zeitfenster 210-370 ms im Gegensatz zu den ASKR (sowie gesunden und autistischen Kontrollpersonen) eine deutliche frontale Komponente beobachtbar war:

Die Analyse der MEG-Daten brachte eine Interaktion der Faktoren Zeitfenster, Bedingung, Region und Gruppe zum Vorschein. Diese basierte darauf, dass die GKR unter der Experimentalbedingung im Zeitfenster 210-290 ms die Tendenz einer stärkeren mittleren frontalen Feldstärke als gesunde Kontrollpersonen aufwiesen, welche im Zeitfenster 290-370 das Signifikanzniveau deutlich überschritt - hier zeigten die GKR ein signifikant stärkeres frontales evoziertes Feld als gesunde und autistische Kontrollpersonen. Bei der Analyse der EEG-Daten (laterale Ableitungsorte) fand sich im Zeitfenster 210-290 ms eine Interaktion der Faktoren Bedingung, Region und Gruppe. Diese Interaktion bestätigte die frontale Komponente GKR, die sich signifikant von der gesunden und autistischer Kontrollpersonen unterschied. Während GKR eine frontale Negativierung zeigten, war bei gesunden und autistischen Kontrollpersonen eine Positivierung beobachtbar. Die ASKR zeigten im EEG im Zeitfenster 210-290 ms eine sehr schwache frontale Negativierung, welche sich signifikant von der Positivierung autistischer Kontrollpersonen unterschied. Im MEG ließ sich bei den ASKR im Gegensatz zu den GKR keinerlei frontale Komponente im Zeitfenster 210-370 ms beobachten. Insgesamt ist die deutliche frontale Komponente im späteren Zeitfenster also als spezifisch für die GKR interpretierbar.

Dabei kann die frontale Komponente in diesem späteren Zeitfenster als kalenderrechenspezifisch angesehen werden. Zum einen zeigte bei der Analyse der EKPs (laterale Ableitungsorte) die Interaktion der Faktoren Zeitfenster, Bedingung und Region, dass sich im Zeitfenster 210-290 ms sowie im Zeitfenster 290-370 ms über alle Gruppen hinweg die mittlere frontale Amplitude zwischen Experimental- und Kontrollbedingung unterschied: Unter der Kontrollbedingung war je eine Positivierung beobachtbar, unter der Experimentalbedingung im Zeitfenster 210-290 ms eine signifikant schwächere Positivierung, im Zeitfenster 290-370 ms eine Negativierung. Zum anderen zeigte sich bei der Analyse

der EKF's, dass die Stärke des evozierten frontalen Feldes der GKR im Zeitfenster 210-370 ms mit der Prozentzahl ihrer richtig gegebenen Antworten korrelierte: je mehr richtige Antworten gegeben wurden, desto größer war die mittlere frontale Feldstärke.

Diese deutliche frontale Komponente GKR mit einer mittleren Latenz von 200 ms könnte sich anhand der Komponentenfolge im EEG (siehe Abbildung 24) als N2 bestimmen lassen. Die folgende Interpretation wird denkbar: Die hochrelevanten Kalenderreize führen bei den GKR zur oben beschriebenen antizipatorischen Negativierung. Nach der Bestätigung dieser Erwartung zeigt sich die CNV-Resolution als Positivierung. Diese wird schließlich abgelöst durch die Bereitstellung von Ressourcen zur Verarbeitung, die sich in den EKP's in der deutlich ausgeprägten Negativierung im Zeitfenster der N2 widerspiegelt, in den EKF's als N2_m.

Rösler und Mitarbeiter (1997) setzten die N2 mit dem explizitem Wissen von Regelmäßigkeiten in Verbindung. Sie konnten zeigen, dass die Amplitude der N2 mit dem Ausmaß explizierbaren bzw. verbalisierbaren Strukturwissens in Zusammenhang steht. In einer Studie zum impliziten und expliziten Lernen fanden sie, dass die EKP's unterschiedlich starke Ausprägungen der N2 zeigten, je nachdem ob Wissen verbal verfügbar war oder nicht. So ist denkbar, dass sich das Wissen der GKR bezüglich Regelmäßigkeiten bzw. Regularitäten des Kalenderjahres in der beobachtbaren frontalen N2 widerspiegelt, wohingegen die anderen Gruppen nicht über derartiges explizites Kalenderwissen verfügen und somit keine deutliche frontale N2 aufweisen. Diese Interpretation stimmt mit der Analyse der behavioralen Daten überein. Auch diese hatte Evidenzen ergeben, dass die ASKR im Gegensatz zu den GKR Schwierigkeiten zeigten, die ihrer Fähigkeit zugrundeliegenden Strategien zu explizieren, obgleich ihnen unter bestimmten Umständen gewisse Facetten durchaus zugänglich waren. Während gemäß den Angaben im FraZuKal alle GKR bei ihren Berechnungen die Regularitäten des Gregorianischen Kalenders nutzten, machten nur zwei der drei ASKR Gebrauch von bestimmten Regularitäten und verneinten im FraZuKal einstimmig, sich je mit dem ewigen Kalender beschäftigt zu haben bzw. sich innerhalb der Kalenderwissenschaften auszukennen. Im Gegensatz hierzu haben sich zwei der drei GKR mit dem ewigen Kalender auseinandergesetzt, eine Kalenderrechnerin kannte sich ferner in den Kalenderwissenschaften aus. Diese Angaben können als Hinweis darauf gesehen werden, dass die GKR mehr Regeln und Strukturen beherrschen als die ASKR, ferner auch als die gesunden und autistischen Kontrollpersonen, die bezüglich des Kalenderrechnens naive Laien darstellten.

Ein Zusammenhang zwischen der N2 und explizitem Wissen ließ sich in zahlreichen Studien bestätigen (Eimer, Goschke, Schlagheken & Stürmer, 1996; Schlagheken, Stürmer & Elmer, 2000; Rüsseler & Rösler, 2000; Rüsseler, Kuhlicke, Münte & Rösler, 2003; Miyawaki, Sato, Yasuda, Kumano & Kuboki, 2005). Bei Rösler und Mitarbeitern (1997) war die stärkere N2 bei vorhandenem explizierbarem Strukturwissen vor allem parietal beobachtbar, bei Miyawaki und Mitarbeitern (2005) über alle Elektrodenpositionen der Midline (Fz, Cz, Pz) hinweg. Die räumlich-zeitliche Dipolanalyse des in unserer Untersuchung beobachteten frontalen evozierten Feldes im Zeitfenster 210-370 ms ergab, dass sich dieses neben einer medial-frontalen Quelle in Übereinstimmung mit der Untersuchung von Rösler und Mitarbeitern (1997) am besten anhand einer weiteren Quelle im Parietallappen erklären ließ.

Die verstärkte Anwendung expliziten Wissens von Regularitäten bei GKR stimmt mit der eingangs formulierten Annahme überein, dass bei den GKR beim Kalenderrechnen komplexere Prozesse ablaufen, während bei den ASKR beim Kalenderrechnen weniger bzw. einfache (frühe, s.o.) Prozesse

stattfinden. In diesem Zusammenhang ist die bei der Analyse der EKFs beobachtete Interaktion der Faktoren Zeitfenster, Bedingung, Region und Gruppe von besonderem Interesse: Im Gegensatz zu dem oben beschriebenen stärkeren frontalen evozierten Feld GKR unter der Experimentalbedingung als bei gesunden und autistischen Kontrollpersonen (Zeitfenster 210-290 ms Tendenz; 290-370 ms signifikant) zeigten die ASKR im Zeitfenster 210-290 ms ein stärkeres frontales evoziertes Feld als gesunde Kontrollpersonen unter der einfachen Kontrollbedingung. Auch bei der Analyse der behavioralen Daten war deutlich geworden, dass zwei der drei ASKR beim Lösen der einfachen Kontrollaufgabe massive Schwierigkeiten aufwiesen (siehe Abbildung 18). Dieser Zusammenhang ist dahin interpretierbar, dass die einfache Kontrollaufgabe für die ASKR ebenso komplex war bzw. eine ebenso explizite Regelanwendung erforderte, wie das Kalenderrechnen für GKR, und daher in beiden Gruppen ein frontales evoziertes Feld im Zeitfenster der N2 erschien – nur eben bei den GKR als neuronales Korrelat des Kalenderrechnens, und bei den ASKR als hirnelektrische Entsprechung des Lösens der einfachen Kontrollaufgabe.

Insgesamt wird die folgende Differenzierung zwischen GKR und ASKR denkbar: Bei den GKR laufen während des Kalenderrechnens komplexe Prozesse ab. GKR speichern bzw. nutzen explizite Prozeduren bezüglich der Regularitäten des Kalenderjahres anstelle einer größeren Datenmenge, was sich in der deutlich ausgeprägten N2 bzw. N2_m GKR als neuronales Korrelat der Nutzung expliziten Wissens von Regelmäßigkeiten widerspiegelt. Bei ASKR laufen während des Kalenderrechnens hingegen einfachere, schnellere Prozesse ab. Dies deutet sich in den geringeren Amplituden ASKR als GKR an. Anstelle komplexer Prozeduren speichern sie eine größere Datenmenge. Evidenzen für diese Annahmen gehen auch aus den Ergebnissen der Analyse der behavioralen Daten hervor, die deutliche Hinweise darauf gaben, dass die Fähigkeit zum Kalenderrechnen bei beiden Gruppen von Experten-Kalenderrechnern auf unterschiedlichen Konstellationen aus Gedächtnis- und Rechenfertigkeiten beruht: So gaben die mangelhaften mathematischen Leistungen der ASKR, ihre schnellen Antworten sowie die besonders gute Performanz bei Daten der Gegenwart und Vergangenheit Anhaltspunkte dafür, dass ihre Leistungen nicht allein durch arithmetische Berechnungen erklärbar sind, sondern vermehrt auf Gedächtnisfunktionen beruhen. Die behavioralen wie neurophysiologischen Ergebnisse weisen somit einstimmig darauf hin, dass die Fähigkeit GKR zum Kalenderrechnen stärker auf arithmetischen Berechnungen und der Anwendung regelbasierter Strategien basiert als die Fähigkeit ASKR.

Automatisierung (Hypothese XIII bzw. 1.4.2.2): Keine Effekte auf die frontale Hirnaktivität im Zeitfenster des LPC.

Pauli und Mitarbeiter (1996; 1994) zeigten, dass die frontale Hirnaktivität im Zeitfenster des LPC mit bewussten Rechenprozessen in Zusammenhang steht: Durch Training verringerte sich die Amplitude des LPC in frontalen Regionen (Verringerung der Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis), während die parietale Aktivität (Gedächtnisabruf) konstant blieb. Basierend auf dieser Beobachtung war gemäß Hypothese XIII angenommen worden, dass Kalenderrechnen bei ASKR zu einer geringeren Amplitude des LPC in frontalen Regionen als bei GKR, gesunden und autistischen Kontrollpersonen führe, da bei ihnen die Fähigkeit stärker automatisiert sei (Young & Nettelbeck, 1994) und nicht so stark unter der Kontrolle expliziter Funktionen stünde (Hypothese I; Hypothese VI).

Die Analyse der neurophysiologischen Daten ergab jedoch ein subkonträres Bild. Zwar konnte bei GKR im Zeitfenster 210-370 ms eine deutliche frontale Komponente beobachtet werden; diese zeigte sich aber im Zeitraum der N2 und nicht des LPC. Außerdem erwies sie sich bei den GKR nicht als stärker als bei ASKR sondern als stärker als bei gesunden und autistischen Kontrollpersonen, bei denen die Fähigkeit zum Kalenderrechnen sicher nicht automatisiert ist. Damit kann diese deutliche frontale Komponente der GKR kaum im Sinne von Hypothese XIII mit bewussten Rechenprozessen in Zusammenhang gebracht werden, sondern vielmehr mit der oben beschriebenen expliziten Nutzung von Regularitäten.

Lokalisation der neuronalen Korrelate des Kalenderrechnens ASKR und GKR (Hypothese X, Hypothese XI und Hypothese XII bzw. 1.4.2.2) – keine Hinweise auf eine Beteiligung rechenspezifischer Areale.

Basierend auf der Annahme, dass es sich beim Kalenderrechnen um einen Spezialfall des Rechnens handelt, wurde in Hypothese X formuliert, dass das Kalenderrechnen zu einer höheren Aktivierung des bilateralen inferioren Parietallappens als die Kontrollaufgabe führt. Dieser enthält nach dem Triple-Code-Modell der Zahlverarbeitung (Dehaene & Cohen, 1995) eine analoge Repräsentation numerischer Größe („Zahlenstrahl“). Bezogen auf das frühe Zeitfenster und die Theorie von Snyder und Mitchell wurde angenommen, dass sich hier der Zugriff auf frühe Schritte der IVA bzw. die Fähigkeit zur „Equipartition“ widerspiegelt. Bei der Analyse der EKPs (laterale Ableitungsorte) im frühen Zeitfenster (90-150 ms) brachte die Interaktion der Faktoren Gruppe, Bedingung und Region jedoch als einzigen Unterschied zwischen der Experimental- und Kontrollbedingung eine stärkere Positivierung GKR im Parietallappen beim Kalenderrechnen zum Vorschein. Bei den ASKR fand sich keinerlei Unterschied in der Aktivierung zwischen Experimental- und Kontrollbedingung. Damit erscheint es fraglich, die frühe parietale Komponente als rechenspezifisch zu interpretieren, zumal es sich hierbei um eine ausgeprägte Positivierung handelte. Besser scheint diese frühe parietale Positivierung GKR im Sinne der oben diskutierten CNV-resolution qualifizierbar.

Während Dehaene und Mitarbeiter (1999) zeigen konnten, dass im Zeitfenster 210-290 ms Unterschiede in der Aktivierung zwischen den verschiedenen Rechenarten deutlich werden, ergaben sich hier beim Kalenderrechnen keinerlei Unterscheidungszeichen. So ließ sich anhand der Analyse der neurophysiologischen Daten weder Hypothese XI (dass Berechnungen von Daten aus der Vergangenheit und Gegenwart mechanisch überlernt und so in Form einer sprachlichen Assoziationstabelle gespeichert und direkt abrufbar sind - analog zu mechanisch überlernten Rechenarten wie Multiplika-

tion und Addition), noch Hypothese XII (dass Berechnungen von Daten aus der Zukunft zu tatsächlichem Rechnen und damit einer Manipulation des Zahlenstrahls führen - analog zu Subtraktion und Größenvergleich) bestätigen: Kalenderberechnungen von Daten der Vergangenheit sowie der Gegenwart führten bei ASKR nicht zu einer Aktivierung des inferioren Parietallappens mit linkshemisphärischer Lateralisierung; auch konnte bei Kalenderberechnungen von Daten der Zukunft keine Aktivierung des bilateralen inferioren Parietallappens mit rechtshemisphärischer Lateralisierung beobachtet werden. Damit wurde deutlich, dass die neuronalen Korrelate des Kalenderrechnens auch nicht direkt mit den neuronalen Korrelaten üblicher Rechenarten (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Größenvergleich) in Verbindung gebracht werden können.

Insgesamt ergab die Analyse der neurophysiologischen Daten keine Hinweise darauf, dass beim Kalenderrechnen primär Aktivierungen in solchen Arealen deutlich wurden, die mit Rechnen in Zusammenhang gebracht werden.

Lateralisierung (Hypothese XIV bzw. 1.4.2.3) – keine einheitlichen Hinweise auf Unterschiede zwischen ASKR und GKR in der cerebralen Lateralisierung.

Savant-Fähigkeiten sind oft mit einer kompensatorischen rechtshemisphärischen Dominanz in Zusammenhang gebracht worden (z. B. Brink, 1980). Geschwind und Galaburda (1987) entwickelten eine Theorie zur cerebralen Lateralisierung, die davon ausgeht, dass der schädigende Einfluss des zirkulierenden männlichen Hormons Testosteron zu pränatalen Schädigungen der linken Hemisphäre führe, wodurch sich die rechte Hemisphäre kompensatorisch stärker entwickle, was auch das häufigere Auftreten von Savant-Begabungen bei Männern erkläre. So wurde in Hypothese XIV die Annahme formuliert, dass das Kalenderrechnen bei ASKR im Gegensatz zu GKR bei Berechnungen von Daten aller Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) zu einer rechtshemisphärischen Lateralisierung führt. Zwar fand sich auch in unserer Studie das häufigere Vorkommen von Savant-Begabungen bei Männern bestätigt, insofern alle aufgefundenen und untersuchten ASKR männlich waren. Bei der Analyse der neurophysiologischen Daten zeigten sich aber nur sehr schwache Evidenzen für die Theorie der cerebralen Lateralisierung: Die Interaktion der Faktoren Gruppe und Hemisphäre bei der Analyse der EKPs beider Gruppen von Kalenderrechnern ergab, dass die GKR im frühen Zeitfenster 90-150 ms über beide Hemisphären eine Positivierung zeigten – die ASKR hingegen eine Negativierung, die rechtshemisphärisch signifikant stärker war als linkshemisphärisch. Eine derartige Lateralisierung ließ sich anhand der Analyse der EKFs aber nicht bestätigen. Dies stimmt mit dem Stand der Forschung überein, wonach Untersuchungen zur cerebralen Lateralisierung bei Savants uneindeutig blieben (Dorman, 1991; Mannheim et al., 1992), so dass nun – wie auch bei unserer Untersuchung – andere Theorien zur besseren Erklärung des Savant-Syndroms herangezogen werden.

Keine Anzeichen für eine pathologische Entwicklung in temporalen und parietalen Regionen (siehe Hypothese XV bzw. 1.4.2.3) bei ASKR.

Auch fanden sich bei der Analyse unseres Datenmaterials keine Hinweise darauf, dass Savant-Fähigkeiten bei Menschen mit Autismus auf einer pathologischen Entwicklung in temporalen und parietalen polysensorischen Arealen basieren, wie es von einigen Autoren (z. B. Rumsey et al., 1992; Hou et al., 2000) angenommen wurde. So konnte auch Hypothese XV nicht bestätigt werden: Die Aktivie-

rung in den primären sensorischen Arealen sowie den temporalen und parietalen polysensorischen Arealen unterschied sich beim Kalenderrechnen nicht zwischen ASKR und den drei Kontrollgruppen..

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Analyse der neurophysiologischen Daten konnten klar mit den Ergebnissen der Analyse der Verhaltensdaten in Zusammenhang gebracht werden. Bei beiden Gruppen von Experten-Kalenderrechnern bildete sich im Gegensatz zu den gesunden und autistischen Kontrollpersonen eine deutliche frühe Komponente ab, die spezifisch für das Kalenderrechnen war und deren Ausprägung mit ihrer Leistung beim Kalenderrechnen (Reaktionszeit, Fehlerrate) korrelierte. Dieser Zusammenhang zwischen den Veränderungen in den frühen Schritten der IVA bei Experten-Kalenderrechnern und ihren behavioralen Leistungen gibt starke Hinweise für die Theorie von Snyder und Mitchell (1999), dass die herausragenden Leistungen auf Veränderungen in der frühen IVA zurückzuführen sind. Die Tatsache, dass nicht nur ASKR sondern auch GKR größere Amplituden früher Potentiale bzw. evozierter Felder zeigten, stimmt mit der Annahme von Birbaumer (1999) überein, dass auch Normalpersonen den Zugriff auf frühe Informationsverarbeitungsschritte erlernen können. Hinsichtlich der Bedeutung des Zugriffs auf frühe Schritte der IVA ist denkbar, dass die frühe frontale Komponente ASKR zur raschen Aktivierung eines assoziatives Netzwerks (Bitan, 2005) bezüglich des kognitiven Kontexts des Kalenderreizes führt, und dass in der frühen parietalen Komponente GKR das neuronale Korrelat der frühen visuellen Suche bzw. Identifizierung (Galletti et al., 2003) des Datums innerhalb einer Schablone/ Liste bzw. eines Kalenders zu sehen ist.

Da bislang keine Studien methodischer Qualität zu dieser neuen Theorie der Erklärung des Savant-Syndroms vorliegen, ist es nicht möglich, die gefundenen Ergebnisse zu anderen Studien in Beziehung zu setzen. Bezogen auf die Analyse der EKPs bzw. EKFs wäre lediglich eine alternative Interpretation der frühen Komponenten im Sinne einer CNV-resolution denkbar, zumal es sich bei den frühen Komponenten GKR und ASKR um Positivierungen handelte. Hiernach führte – in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen zur CNV-Auflösung (z. B. Macar, 1977; Roth et al., 1978; Wilkinson & Spence, 1973) – aufgrund der enormen Bedeutsamkeit der Kalenderreize für GKR und ASKR deren Erwartung der Präsentation eines Datums zu einer CNV, die Bestätigung der Erwartung dann zur CNV-Auflösung, die sich in den EKPs als deutliche Positivierung zeigte. Diese Interpretation ist insofern fragwürdig, als dass bei den ASKR keine deutliche CNV beobachtbar war; ferner zeigte die CNV-resolution bei den GKR eine untypische parietale Prädominanz. Der Einwand dieser alternativen Interpretation ließe sich in künftigen Experimenten dadurch ausräumen, den Zeitraum zwischen der Darbietung des Fixationskreuzes und des Stimulus (Kalenderreiz; Kontrollreiz) noch stärker zu variieren, um durch eine größere SOA den Effekt einer präparatorischen CNV (contingent negative variation, (Lutzenberger et al., 1985)) - ähnlichen Welle auf die Baseline weiter zu minimieren (siehe auch 4.3).

Insgesamt gibt der Vergleich der Komponentenfolge ASKR und GKR Hinweise darauf, dass bei den ASKR beim Kalenderrechnen weniger bzw. einfache (frühe, s.o.) Prozesse ablaufen, bei den GKR hingegen komplexere Prozesse. Zum einen wiesen die Komponenten ASKR insgesamt geringere Amplituden auf als die GKR. Zum anderen trat ausschließlich bei den GKR im späteren Zeitfenster 210-370 ms in MEG wie EEG eine deutliche kalenderrechenspezifische frontale Komponente auf. Die

Stärke des entsprechenden evozierten Feldes korrelierte mit den behavioralen Daten (Prozentzahl der richtig gegebenen Antworten). Die Komponente konnte als N2 bzw. N2_m bestimmt werden, die nach verschiedenen Studien (Eimer et al., 1996; Schlaghecken et al., 2000; Rüsseler & Rösler, 2000; Rüsseler et al., 2003; Miyawaki et al., 2005) mit explizitem Faktenwissen in Verbindung gebracht worden ist. Die verstärkte Anwendung expliziten Wissens von Regularitäten bei GKR stimmt mit den Ergebnissen der Analyse der behavioralen Daten überein, die deutliche Hinweise darauf gaben, dass die Fähigkeit GKR stärker auf arithmetischen Berechnungen und der Anwendung regelbasierter Strategien beruht als bei ASKR. Damit deuten die Ergebnisse der Analyse der neurophysiologischen Daten und deren Beziehung zu den Ergebnissen der behavioralen Daten auf die folgende Differenzierung zwischen GKR und ASKR hin: GKR nutzen komplexere Prozeduren bzw. (explizite) regelbasierte Strategien. Dies zeigt sich in den größeren Amplituden und der deutlich ausgeprägten N2 bzw. N2_m. Bei ASKR laufen einfachere (schnelle) Prozesse ab, sie speichern anstelle komplexer Prozeduren eine größere Datenmenge, was sich in den geringeren Amplituden, der besseren Leistung in Reaktionszeit wie Fehlerrate und den deutlichen Hinweisen auf die verstärkte Anwendung von Gedächtnisfunktionen bei der Analyse der behavioralen Daten zeigt. Hier gaben die mangelhaften mathematischen Leistungen der ASKR, ihre auffallend schnellen Antworten sowie die besonders gute Performanz bei Daten der Gegenwart und Vergangenheit Anhaltspunkte dafür, dass ihre Leistungen nicht allein durch arithmetische Berechnungen erklärbar sind, sondern vermehrt auf Gedächtnisfunktionen beruhen. Die behavioralen wie neurophysiologischen Ergebnisse weisen somit einstimmig darauf hin, dass die Fähigkeit ASKR zum Kalenderrechnen stärker auf Gedächtnisfertigkeiten basiert, die Fähigkeit GKR hingegen auf arithmetischen Berechnungen und der Anwendung regelbasierter Strategien. Die Analyse der MEG- und EEG-Daten ergab keine Hinweise darauf, dass das Kalenderrechnen auf ähnlichen neurophysiologischen Korrelaten wie die üblichen Rechenarten basiert. Auch fanden sich keine eindeutigen Evidenzen für eine rechtshemisphärische Lateralisierung der Savant-Fähigkeit des Kalenderrechnens, obgleich Savant-Fähigkeiten lange mit einer kompensatorischen rechtshemisphärischen Dominanz in Zusammenhang gebracht worden waren (z. B. Brink, 1980; Geschwind, 1987): Die ASKR zeigten zwar im frühen Zeitfenster 90-150 ms eine Negativierung, die rechtshemisphärisch signifikant stärker war als linkshemisphärisch, diese Lateralisierung kam aber nicht in den MEG-Daten zum Ausdruck. Außerdem fanden sich bei den ASKR keine Anzeichen auf pathologische Entwicklungen in temporalen und parietalen polysensorischen Arealen, wie es von einigen Autoren (z. B. Rumsey et al., 1992; Hou et al., 2000) als Grundlage von Savant-Fähigkeiten angenommen worden war. Damit konnte der Stand der Forschung bestätigt werden, dass andere bzw. neuere Theorien besser zur Erklärung des Savant-Syndroms herangezogen werden sollten als frühere Theorien, für die sehr widersprüchliche Evidenzen vorliegen.

4.3 Methodische Mängel

Bezüglich der methodischen Mängel dieser Studie sind in erster Linie die kleine Fallzahl ASKR und GKR zu nennen. Zwar wurden bei den gewählten statistische Analysemethoden die kleinen Fallzahlen und damit verbundenen größeren Streuungen berücksichtigt. Eine Studie, die auf größeren Fallzahlen basierte, wäre aber von zweifellos besserer methodischer Qualität.

Insbesondere der folgende Spezialfall unsere Untersuchung lässt die Anwendung der parametrischen Statistik bei den vorhandenen kleinen Fallzahlen fragwürdig erscheinen: Die Grundvoraussetzung parametrischer Statistiken liegt darin, aus einer großen Population völlig zufällig eine kleinere Stichprobe auszuwählen. Dem steht der Einwand entgegen, inwieweit man bei solchen Ausnahme-Phänomenen wie der Fähigkeit des Kalenderrechnens bei gesunden und autistischen Savants überhaupt von einer Population sprechen kann. Der Begriff "Population autistischer Savant-Kalenderrechner" erscheint hier widersprüchlich. Außerdem bleibt die Frage, ob drei oder vier solcher Phänomene als zufällige Stichprobe einer Population angesehen werden dürfen. Diese Situation ist jedoch deshalb nicht verbesserbar bzw. lösbar, weil es aufgrund der Seltenheit des Phänomens kaum erreichbar ist, größere Stichproben zu wählen; von solchen Untersuchungen weiß auch die bisherige Literatur nichts.

Damit sind die Ergebnisse der behavioralen und neurophysiologischen Analysen mit Sicherheit eher als Tendenzen denn als deutliche Evidenzen zu interpretieren. Die „vorhandenen Ergebnisse“ geben Hinweise auf mögliche neuropsychologische Korrelate, die „nicht vorhandenen Ergebnisse“ (wie die fehlenden Hinweise, dass das Kalenderrechnen auf ähnlichen neurophysiologischen Korrelaten wie die üblichen Rechenarten basiert) können auch ein Resultat der kleinen Fallzahlen und der sicher bestehenden Heterogenität der Stichproben ASKR und GKR darstellen. Somit ist es wünschenswert, weitere Untersuchungen an Kalenderrechnern durchzuführen, die die vorhandenen Ergebnissen entweder in Frage stellen oder sie bestätigen bzw. ergänzen. Hierbei werden auch die neurophysiologischen sowie behavioralen Daten der Untersuchung autistischer Gedächtnissavants Bedeutung erlangen, die derzeit am Institut für Medizinische Psychologie in Tübingen ausgewertet werden (Neumann et al., 2004b; Neumann et al., 2004a).

Bezogen auf die Auswertung der neurophysiologischen Daten stehen zwei methodische Mängel im Vordergrund: Erstens wird es in künftigen Experimenten notwendig sein, den Zeitraum zwischen der Darbietung des Fixationskreuzes und des Stimulus (Kalenderreiz; Kontrollreiz) noch stärker zu variieren, um durch eine größere SOA den Effekt einer präparatorischen CNV-ähnlichen Welle (Lutzenberger et al., 1985) auf die Baseline weiter zu minimieren. Hierdurch kann eine Interpretation der frühen Komponenten im Sinne einer CNV-resolution besser ausgeschlossen (oder eben bestätigt) werden. Zweitens ist das Ergebnis, dass es sich bei der frühen Komponente (90-150 ms) ASKR und der späten Komponente (210-370 ms) GKR um frontale Aktivierungen handelt, im Hinblick auf okuläre Artefakte zu diskutieren. Das Auge bildet durch die Polarisation der Retina selbst einen Dipol. Dieses Dipolfeld wandert bei Augenbewegungen sowie bei Lidschlägen; starke Potentialänderungen machen sich in EEG wie MEG dann vor allem in frontalen Regionen bemerkbar (Lutzenberger et al., 1985). Starke okuläre Artefakte sind bei unseren Ergebnissen jedoch nicht wahrscheinlich, denn es wurde ein Tiefpassfilter mit einer Tiefgrenzfrequenz von 40 Hz bei einem Frequenzabfall von 48 dB/ Oktave gesetzt, durch dessen Einsatz die hochfrequenten Augenbewegungen herausgefiltert wurden; ferner

waren die frontalen Aktivierungen eindeutig spezifisch für die Experimentalbedingung und traten unter der einfachen Kontrollbedingung nicht auf. Da sich die visuellen Anforderungen der Kontrollaufgabe nicht von denen der Experimentalaufgabe des Kalenderrechnens unterschied, wäre bei einem Einfluss durch Augenbewegungen zu erwarten gewesen, dass sich diese zufällig über beide Bedingungen verteilen und so keine bedingungsspezifischen Effekte erzeugen. Da dies nicht der Fall ist, ist der Einfluss okularer Artefakte quasi auszuschließen. Dennoch wäre in zukünftigen Untersuchungen die zusätzliche Ableitung eines vertikalen und horizontalen EOGs von Vorteil, um im Anschluss an die Datenaufnahme Artefakte, die aufgrund von Augenbewegungen oder Lidschlägen entstanden sind (z. B. durch den Algorithmus von Gratton und Mitarbeitern (Gratton, Coles & Donchin, 1983)), weiter zu korrigieren und dadurch zu minimieren.

Aufgrund der kleinen Fallzahlen und weiteren limitierenden Faktoren ist unsere Untersuchung insgesamt eher als hypothesengenerierende Heuristik im Bereich der Untersuchung der neurophysiologischen Grundlagen von Savant-Fähigkeiten zu betrachten, als dass Hypothesen methodisch einwandfrei überprüft werden konnten. Weitere Untersuchungen an autistischen Savants sind damit dringend notwendig, um mit optimierter methodische Qualität der Herausforderung des neurophysiologischen Verständnisses der bizarren Savant-Fähigkeiten weiter zu begegnen.

5 LITERATUR

- Alho, K. (1995). Selective attention in auditory processing as reflected by event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 29(3), 247-263.
- Anderson, J. R. (1995). *Cognitive psychology and its implications*. New York: Freeman.
- Ashcraft, M. H. (1992). Cognitive Arithmetic: Review of Data and Theory. *Cognition*, 44, 75-106.
- Asperger, H. (1944). Die autistischen Psychopathen im Kindesalter. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 117, 76-136.
- Asperger, H. (Ed.) (1991). *Autistic psychopathy in childhood (U. Frith, Trans.)*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Bakwin, H. & Bakwin, R. M. (1972). *Behavior Disorders in Children*. Philadelphia: W.B. Saunders.
- Baron-Cohen, S., Tager-Flusberg, H. & Cohen, D. J. (2000). *Understanding other minds: Perspectives from developmental cognitive neuroscience*. New York: Oxford University Press.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: An experimental and social study*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bauman, M. & Kemper, T. L. (1985). Histoanatomic observations of the brain in infantile autism. *Neurology*, 35, 866-874.
- Bäumler, G. (1974). *Lern- und Gedächtnistest LGT-3*. Göttingen: Hogrefe.
- Bear, D. M. (1979). Personality Changes associated with neurologic lesions. In A. Lazare (Ed.), *Textbook of outpatient psychiatry*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
- Binet, A. (1894). *Psychologie des Grands Calculateurs et Joueurs d'Echecs*. Paris: Hachette.
- Birbaumer, N. (1999). Rain man's revelations. *Nature*, 399, 211-212.
- Bitan, T., Booth, J. R., Choy, J., Burman, D. D., Gitelman, D. R. und Mesulam, M.-M. (2005). Shifts of Effectiveness Connectivity within a Language Network during Rhyming and Spelling. *The Journal of Neuroscience*, 25(22), 5397-5403.
- Boller, F. & Grafman, J. (Eds.) (1985). *Acalculia*. Amsterdam: North Holland.
- Bölte, S., Feineis-Matthews, S. & Poustka, F. (2001). Neuropsychologie des Autismus. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 12(3), 221-231.
- Bölte, S., Uhlig, N. & Poustka, F. (2002). Das Savant-Syndrom: Eine Übersicht. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, 31(4), 291-297.
- Bölte, S. & Poustka, F. (2003). Comparing the intelligence profiles of savants and nonsavant individuals with autistic disorder. *Intelligence*, 32, 121-131.
- Borkowski, J. & Cavanaugh, J. (Eds.) (1979). *Maintenance and generalization of skills and strategies by the retarded*. Hillsdale: Erlbaum.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler (Vol. 4. Auflage)*. Berlin: Springer.
- Bourne, L. E., Pauli, P., Fendrich, D. W., Rickard, T. C. & Healy, A. F. (2001). Deliberate and automatic processing in mental arithmetic. *Cognitive Processing*, 2, 487-522.
- Brink, T. (1980). Idiot savant with unusual mechanical ability: An organic explanation. *American Journal of Psychiatry*, 137, 250-251.
- Bruneau, N., Garreau, B., Roux, S. & Lelord, G. (Eds.) (1987). *Modulation of auditory evoked potentials with increasing stimulus intensity in autistic children*. New York: Elsevier.

- Buckley, P. & Gillman, C. B. (1974). Comparison of digits and dot patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 103, 1131-1136.
- Burbaud, P., Degreze, P., Lafon, P., Franconi, J. M., Bouligand, B., Bioulag, B., et al. (1995). Lateralization of prefrontal activation during internal mental calculation: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neurophysiology*, 74, 2194-2200.
- Butterworth, B. (2001). What makes a prodigy. *Nature Neuroscience*, 4(1), 11-12.
- Byrd, H. (1920). A case of phenomenal memorising in a feeble minded negro. *Journal of Applied Psychology*, 4, 202-206.
- Carpenter, P. A. & Just, M. A. (1975). Sentence comprehension. A psycholinguistic processing model of verification. *Psychological Review*, 82, 45-73.
- Carruthers, P. & Smith, P. K. (1996). *Theories of Theories of Mind*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Casey, B., Gordon, C. T., Manheim, G. B. & Rumsey, J. M. (1993). Dysfunctional attention in autistic savants. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 15, 933-946.
- Chakrabarti, S. & Fombonne, E. (2001). Pervasive developmental disorders in preschool children. *Journal of the Medical Association*, 285, 3093-3099.
- Charness, N., Clifton, J. & McDonald, L. (Eds.) (1988). *Case study of musical "mono-savant:" A cognitive-psychological focus*. New York: Guilford Press.
- Chochon, F., Cohen, L., Van De Moortele, P. F. & Dehaene, S. (1999). Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 617-630.
- Cipolotti, L. & Butterworth, B. (1995). Toward a multi-route model of number processing: Impaired number transcoding with preserved calculation skills. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 375-390.
- Cohen, L. & Dehaene, S. (1996). Cerebral Networks for number processing: Evidence from a case of posterior callosal lesion. *NeuroCase*, 2, 155-174.
- Courchesne, E., Kilman, B. A., Galambos, R. & Lincoln, A. J. (1984). Autism: Processing of novel auditory information assessed by event-related brain potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59(3), 238-248.
- Courchesne, E., Lincoln, A., Kilman, B. & Galambos, R. (1985). Event-related brain potential correlates of the processing of novel visual and auditory information in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 15 (1), 55-76.
- Courchesne, E., Lincoln, A. J., Yeung-Courchesne, R., Elmasian, R. & Grillon, C. (1989). Pathophysiologic findings in nonretarded autism and receptive developmental language disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 19, 1-17.
- Courchesne, E. & Yeung-Courchesne, R. (Eds.) (1987). *Event-related brain potentials*. New York: Guilford.
- Critchley, M. (1979). *The Divine Banquet of the brain*. New York: Raven Press.
- Dagenbach, D. & McCloskey, M. (1992). The organization of arithmetic facts in memory: Evidence from a brain-damaged patient. *Brain and Cognition*, 20, 345-366.

- Dawson, G., Finley, C., Phillips, S., Galpert, L. & Lewy, A. (1988). Reduced P3 amplitude of the event-related brain potentials: Its relationship to language ability in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 19, 1-17.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 14, 1-42.
- Dehaene, S. (1996). The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors methods. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 47-68.
- Dehaene, S. (2000). Cerebral bases of number processing and calculation. In M. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (pp. 987-998). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (1991). Two mental calculation systems: A case study of severe acalculia with preserved approximation. *Neuropsychologia*, 1045-1974.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematics and Cognition*, 1, 83-120.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: Double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*, 33, 219-250.
- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, E. & Tsikvin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and Brain Imaging Evidence. *Science*, 284, 970-974.
- Dehaene, S., Tzourio, N., Frak, V., Raynaud, L., Cohen, L., Mehler, J. & Mazoyer, B. (1996). Cerebral activations during number multiplication and comparison: A PET-Study. *Neuropsychologia*, 34, 1097-1106.
- Delazer, M. & Benke, T. (1997). Arithmetic facts without meaning. *Cortex*, 33, 697-710.
- Delazer, M., Girelli, L., Semenza, C. & Denes, G. (1999). Numerical skills and aphasia. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5, 213-221.
- Dorman, C. (1991). Exceptional calendar calculating ability after early left hemispherectomy. *Brain and Cognition*, 15, 26-37.
- Down, J. L. (1887). *On Some of the Mental Afflictions in Childhood and Youth*. London: Churchill.
- Duckett, J. (1976). *Idiots savants: super-spezialization in mentally retarded persons (doctoral dissertation)*. University of Texas, Austin.
- Duckett, J. (1977). Adaptive and maladaptive behavior in idiots savants. *American Journal of Mental Deficiency*, 82, 308-311.
- Eimer, M., Goschke, T., Schlagheken, F. & Stürmer, B. (1996). Explicit and implicit learning of event sequences: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(4), 970-987.
- Ericsson, K. A. & Faivre, I. A. (1988). What's exceptional about exceptional abilities? In L. K. Obler & D. B. Fein (Eds.), *The exceptional brain* (pp. 258-281). New York: Guilford Press.
- Escalante-Mead, P. R., Minshew, N. J. & Sweeney, J. A. (2003). Abnormal brain lateralization in high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33, 539-543.
- Etard, O., Mellet, E., Papathanassiou, D., Benali, K., Houdé, O., Mazoyer, B. & Tzourio-Mazoyer, N. (1999). Picture naming without Broca's and Wernicke's area. *Neuroreport*, 11, 617-621.
- Fein, D., Humes, M., Kaplan, E., Lucci, D. & Waterhouse, L. (1984). The question of the left hemisphere dysfunction in infantile autism. *Psychological Bulletin*, 95, 258-281.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, M.A.: MIT-Press.

- Foerstl, J. (1989). Early interest in the idiot savant. *American Journal of Psychiatry*, 146, 566.
- Fombonne, E. (1999). The epidemiology of autism: A review. *Psychological Medicine*, 29, 769-786.
- Frith, U. (1989). *Autism: Explaining the enigma*. Oxford: Basil Blackwell.
- Frith, U. & Happé, F. (1994). Autism: beyond "theory of mind". *Cognition*, 50, 115-132.
- Galletti, C., Kutz, D.F., Gamberini, M., Breveglieri, R. & Fattori, P. (2003). Role of the medial parieto-occipital cortex in the control of reaching and grasping movements. *Experimental Brain Research*, 153, 158-170.
- Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia disorientation for right and left agraphia and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 44, 398-408.
- Geschwind, N., Galaburda, A.M. (1987). *Cerebral Lateralization: Biological Mechanisms, Associations, and Pathology*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Giard, M. H., Perrin, F., Perniern, J. & Bouchet, P. (1990). Brain generators implicated in the processing of auditory stimulus deviance: A topographic event-related potential study. *Psychophysiology*, 27, 627-640.
- Giray, E. F. & Barclay, A. G. (1977). Eidetic imagery: longitudinal results in brain-damaged children. *American Journal of Mental Deficiency*, 82, 311-314.
- Goldberg, T. E. (1987). On hermetic reading abilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 17, 29-45.
- Gombrich. (1960). *Art and illusion*. Oxford: Phaidon Press.
- Gomot, M., Giard, M. H., Adrien, J. L., Barthelemy, C. & Bruneau, N. (2002). Hypersensitivity to acoustic change in children with autism: Electrophysiological evidence of left frontal cortex dysfunctioning. *Psychophysiology*, 39, 577-584.
- Goodman, J. (1972). A case of an "autistic savant": mental function in a psychotic child with markedly discrepant abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 13, 267-278.
- Grafman, J., Kampen, D., Rosenberg, J., Salazar, A. & Boller, F. (1989). Calculation abilities in a patient with a virtual left hemispherectomy. *Behavioral Neurology*, 2, 183-194.
- Gratton, G., Coles, M. G. & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifacts. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55, 468-484.
- Gray, C. R. & Gummerman, K. (1975). The enigmatic eidetic image: a critical examination of methods, data, and theories. *Psychological Bulletin*, 82, 383-407.
- Grossman, H. (1983). *Classification in mental retardation*. Washington, D.C.: AAMD.
- Happé, F. G. (1996). Studying weak central coherence at low levels: children with autism do not succumb to visual illusions. A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(7), 837-877.
- Happé, F. G. (1999). Why Success Is More Interesting Than Failure: Understanding Assets And Deficits In Autism. *The Psychologist*, 12(11), 540-546.
- Happé, F. G. & Frith, U. (1994). Theory of mind in autism. In E. Schopler & G. Mesibow (Eds.), *Learning and cognition in autism*. New York: Plenum Press.
- Harris, L. J. (1980). Left handedness: Early theories, facts and fancies. In J. Herron (Ed.), *Neuropsychology of left handedness* (pp. 3-78). New York: Academic Press.

- Hauser, S. L., DeLong, G. R. & Rosman, N. P. (1975). Pneumographic findings in the infantile autism syndrome. *Brain*, 98, 667-688.
- Heaton, P. & Wallace, G. L. (2004). Annotation: The savant syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(5), 899-911.
- Heavey, L., Pring, L. & Hermelin, B. (1999). A date to remember: the nature of memory in savant calendrical calculators. *Psychological Medicine*, 29, 145-160.
- Hermelin, B. & O'Connor, N. (1986). Idiot savant calendrical calculators: Rules and regularities. *Psychological Medicine*, 16, 885-893.
- Hermelin, B., O'Connor, N. & Lee, S. (1987). Musical inventiveness of five idiot savants. *Psychological Medicine*, 17, 685-694.
- Hill, A. L. (1975). An investigation of calendar calculating by an idiot savant. *American Journal of Psychiatry*, 132, 557-560.
- Hill, A. L. (1977). Idiot savants: Rate of incidence. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 161-162.
- Hill, A. L. (1978). Idiot savants: mentally retarded individuals with special skills. In N. R. Ellis (Ed.), *International Review of Research in Mental Retardation* (Vol. 9). New York: Academic Press.
- Ho, E. D., Tsang, A. K. & Ho, D. Y. (1991). An Investigation of the Calendar Calculation Ability of a Chinese Calendar Savant. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 21(3), 315-327.
- Hoffman, E. (1971). The idiot savant: A case report and a review of explanations. *Mental Retardation*, 9, 18-21.
- Holstein, A.P. (1965). Discussion. *American Journal of Psychiatry*, 121, 1077-1079.
- Horwitz, W. A., Deming, W. E. & Winter, R. E. (1969). A Further Account if the Idiots Savants, Experts with the Calendar. *American Journal of Psychiatry*, 121, 1075-1077.
- Horwitz, W. A., Kestenbaum, C. & Person, E. (1965). Identical twin-"idiots savants"- calendar calculators. *American Journal of Psychiatry*, 126(3), 412-415.
- Hou, C., Miller, B. L., Cummings, J. L., Goldberg, M., Mychack, P., Bottino, V. & Benson, D.F. (2000). Artistic savants. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavior Neurology*, 13(29-38).
- Howe, M. J. (1989). *Fragments of the genius: The strange feats of idiot savants*. London: Routledge.
- Howe, M. J. & Smith, M. E. (1988). Calendar calculating in "idiots savants": How do they do it? *British Journal of Psychology*, 79(371-386).
- Howlin, P. & Goode, S. (1998). Outcome in adult life for people with autism and Asperger's syndrome. In F. Volkmar (Ed.), *Autism and pervasive developmental disorders*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hugues, C., Russell, J. & Robbins, T. W. (1994). Evidence for executive dysfunction in autism. *Neuropsychologia*, 32, 477-492.
- Inouye, T., Shinosake, K., Iyama, A. & Matsumoto, Y. (1993). Localization of activated areas and directional EEG patterns during mental arithmetic. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 86, 224-230.
- Ireland, W. W. (1900). *The Mental Affections of Children*. Philadelphia: P. Blakiston's Son.
- Järvilehto, I. & Fruhstorfer, N. (1970). Defferentiation between slow cortical potentials associated with motor and mental acts in man. *Experimental Brain Research*, 11, 309-317.

- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 20, 371-375.
- Jensen, A. R. (1969). Intelligence, learning ability and socio-economic status. *Journal of Special Education*, 3, 23-35.
- Jolliffe, T. & Baron-Cohen, S. (1997). Are people with autism and Asperger syndrome faster than normal on the Embedded Figures Test? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38(5), 527-534.
- Jones, H. S. (1926). Phenomenal memorizing as a special ability. *Journal of Applied Psychology*, 10, 367-376.
- Judd, T. (1988). The variety of musical talent. In L. K. Obler & D. Fein (Eds.), *The exceptional brain*. New York: Guilford Press.
- Kaas, J. (1991). Plasticity of sensory and motor maps in adult mammals. *Annual Review of Neuroscience*, 14, 137-167.
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous Child*, 2, 217-250.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kelly, S. J., Macaruso, P. & Sokol, S. M. (1997). Mental calculation in an autistic savant: A case study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 19, 172-184.
- Kemner, C. (1994). Visual and somatosensory event-related brain potentials in autistic children and three different control groups. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 92, 225-237.
- Kemner, C., Verbaten, M. N., Cuperus, J. M., Camfferman, G. & Engelan, H. v. (1995). Auditory event-related brain potentials in autistic children and three different control groups. *Biological Psychiatry*, 38 (3), 150-165.
- Kiefer, M. & Dehaene, S. (1997). The time course of parietal activation in single-digit multiplication. Evidence from event-related potentials. *Math. Cognition*, 3, 1-30.
- LaFontaine, L. (1974). *Divergent abilities in the idiot savant (doctoral dissertation)*. Boston University, Boston.
- LaFontaine, L. & Benjamin, G. (1971). Idiot savants: Another view. *Mental Retardation*, 9, 41-42.
- Lewicki, P., Hill, T. & Czyzewski, M. (1992). Nonconscious acquisition of information. *American Psychologist*, 14, 796-802.
- Lewis, M. (1985). Gifted or dysfunctional: The child savant. *Pediatric Annals*, 14, 733-742.
- Lincoln, A. J., Courchesne, E., Harms, L. & Allen, M. (1993). Contextual probability evaluation in autistic, receptive developmental language disorder, and control children: Event-related Brain Potential Evidence. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 23 (1), 15-35.
- Lincoln, A. J., Courchesne, E., Harms, L. & Allen, M. (1995). Sensory modulation of auditory stimuli in children with autism and receptive developmental language disorder: Event-related brain potential evidence. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 25 (5), 521-539.
- Lindsley, O. R. (1965). Can deficiency produce specific superiority: The challenge of the idiot savant. *Exceptional Children*, 31, 224-232.
- Logan, G. D. (1985). Skill and automaticity: Relations, implications, and future directions. *Canadian Journal of Psychology*, 39(2), 367-386.

- Lord, C., Rutter, M. & Couteur, A. L. (1994). Autism Diagnostic Interview-Revised: a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 24, 659-685.
- Lord, C., Risi, S., Lambrecht, L., Cook, E.H., Leventhal, B., DiLavore, P.C., Pickles, A. & Rutter, M. (2000). Autism Diagnostic Interview-Revised: A revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 30, 205-223.
- Lutzenberger, W., Elbert, T., Rockstroh, B. & Birbaumer, N. (1985). *Das EEG. Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag.
- Macar, F. (1977). Signification des variations contingentes négatives dans la dimension temporelle du comportement. *Annals of Psychology*, 77, 213-228.
- Macar, F. & Vitton, N. (1982). An early resolution of contingent negative variation (CNV) in time discrimination. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 54, 426-435.
- Mannheim, G., Krasnewich, D., Rumsey, J. & Hibbs, T. (1992). Calendar calculating savants (CCS): A distinct phenotype/phenomenology from autism. *Neurology*, 42, 462.
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G. & Haxby, J. V. (1996). Neural Correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379(649-652).
- McCloskey, M., Macaruso, P. & Goodman, R. A. (1992). Cognitive processes in verbal-number production: Inferences from the performance of brain-damaged subjects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 307-330.
- Miller, L. K. (1987). The "savant syndrome". Exceptional skill and mental retardation. In N. Colangelo, S. Assoulinem & D. Ambroson (Eds.), *Talent development* (pp. 215-239). Dayton: Ohio University Press.
- Miller, L. K. (1989). Musical savants: exceptional skills in the mentally retarded. In Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Miller, L. K. (1999). The savant syndrome: Intellectual impairment and exceptional skill. *Psychological Bulletin*, 125(1), 31-46.
- Milner, A.D. & Goodale, M.A. (1995). *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Mishkin, M., Ungerleider, L.G. & Macko, K.A. (1983). xxx. *Trends in Cognitive Neuroscience*, 6, 414-417.
- Miyawaki, K., Sato, A., Yasuda, A., Kumano, H. & Kuboki, T. (2005). Explicit knowledge and intention to learn in sequence learning: an event-related potential study. *Neuroreport*, 16(7), 705-708.
- Moscovitch. (1983). The linguistic and emotional functions of the right hemisphere. In E. Perecman (Ed.), *Cognitive processing in the right hemisphere* (pp. 57-83). New York: Academic Press.
- Mottron, L. & Belleville, S. (1993). A study of perceptual analysis in a high-level autistic subject with exceptional graphic abilities. *Brain and Cognition*, 23(279-309).
- Mottron, L., Belleville, S., Stip, E. & Morasse, K. (1998). Atypical memory performance in an autistic savant. *Memory*, 6(593-607).
- Moyer, R. S. & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215, 1519-1520.

- Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Näätänen, R. & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24(375-425).
- Neumann, N., Dubischar-Krivec, A. M., Braun, C., Bölte, S., Poustka, F. & Birbaumer, N. (2004a). *Memory encoding in autistic "savants": the DM effect measured with MEG*. Poster presented at the 34rd Annual Meeting of the Society for Neuroscience, San Diego.
- Neumann, N., Dubischar-Krivec, A. M., Braun, C., Bölte, S., Poustka, F. & Birbaumer, N. (2004b). *Recognition memory in autistic "savants": an MEG study*. Poster presented at the 44th annual meeting of the Society for Psychophysiological Research, Santa Fe, USA.
- Newell, A. & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 1-55). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Norris, D. (1990). How to build a connectionist idiot-savant. *Cognition*, 35, 277-291.
- Novick, B., Kurtzberg, D. & Vaugh, H. G., Jr. (1979). An electrophysiologic indication of defective information storage in childhood autism. *Psychiatry Research*, 1, 101-108.
- Nurcombe, M. D. & Parker, N. (1964). The idiot savant. *Journal of the American Academic Child Psychiatry*, 3, 469-487.
- O'Connor, N. & Hermelin, B. (1984). Idiot savant calendrical calculators: Maths or memory? *Psychological Medicine*, 14(801-806).
- O'Connor, N. & Hermelin, B. (1989). The memory structure of autistic idiot-savant mnemonists. *British Journal of Psychology*, 80, 97-111.
- O'Connor, N. & Hermelin, B. (1991a). A specific linguistic ability. *American Journal of Mental Retardation*, 95, 673-681.
- O'Connor, N. & Hermelin, B. (1991b). Talents and pre-occupations in idiots savants. *Psychological Medicine*, 21, 959-964.
- O'Connor, N. & Hermelin, B. (1992). Do young calendrical calculators improve with age? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 33, 907-912.
- Oades, R. D., Walker, M. K., Geffen, L. B. & Stern, L. M. (1987). Event-related potentials in autistic and healthy children on an auditory choice reaction time task. *International Journal of Psychophysiology*, 6 (1), 25-37.
- Obler, L. & Fein, D. (1988). *The Exceptional Brain: Neuropsychology of Talent and Special Abilities*. New York: Guilford.
- Oldfield, R. C. (1971). Analysis of Handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Ozonoff. (1995). *Executive functions in autism*. New York: Plenum.
- Pauli, P., Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Rickard, T. C. & Bourne Jr, L. E. (1996). Neurophysiological correlates of mental arithmetic. *Psychophysiology*, 33(5), 522-529.
- Pauli, P., Lutzenberger, W., Rau, H., Birbaumer, N., Rickard, T. C., Yaroush, R. A., et al. (1994). Brain potentials during mental arithmetic: effects of extensive practice and problem difficulty. *Cognitive Brain Research*, 2, 21-29.

- Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X. & DeVolder, A. (2000). Neuroanatomical Substrates of Arabic Number Processing, Number Comparison and Simple Addition: A PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 461-479.
- Pesenti, M., Zago, L., Crivello, F., Mellet, E., Samson, D., Duroux, B., et al. (2001). Mental calculation in a prodigy is sustained by right prefrontal and medial temporal areas. *Nature Neuroscience*, 4(1), 103-107.
- Picton, T. W., Woods, D. L. & Proulx, G. B. (1978). Human auditory sustained potentials. II. Stimulus relationships. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45, 198-210.
- Pinel, P., LeClec'H, G., van de Moortele, P.-F., Naccache, L., LeBihan, D. & Dehaene, S. (1999). Event-related fMRI analysis of the cerebral circuit for number comparison. *Neuroreport*, 10, 1473-1479.
- Posner, M. I. & Raichle, M. E. (1994). *Images of the mind*. New York: Scientific American Library.
- Pring, L., Hermelin, B., Buhler, M. & Walker, I. (1997). Native savant skill and acquired skill. *Autism*, 1(2), 199-214.
- Pring, L., Hermelin, B. & Heavey, L. (1995). Savants, segments, art and autism. *Journal of Child Psychology, Psychiatry and Allied Disciplines*, 36, 1065-1076.
- Pritchard, W. S., Raz, N. & August, G. (1987). Visual augmenting-reducing and P300 in autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 17, 231-242.
- Rapin, D. (1996). Preschool children with inadequate communication. *Clinics in Developmental Medicine*, 139.
- Raven, J. C., Court, J. & Raven-Jr., J. (1979). *SMP. Raven Matrizen Test. Standard Progressive Matrices. Deutsche Bearbeitung von Heinrich Kratzmeier unter Mitarbeit von Ralf Horn*. Weinheim: Beltz.
- Restak, R. M. (1984). *The brain*. New York: Bantham Books.
- Rickard, T. C., Romero, S. G., Basso, G., Wharton, C., Flitman, S. & Grafman, J. (2000). The calculating brain: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 38, 325-335.
- Rife, D. C. & Snyder, L. H. (1931). Studies in human inheritance: A genetic refutation of the principles of "behavioristic" psychology. *Human Biology*, 3, 547-559.
- Rimland, B. (1978a). Inside the mind of the autistic savant. *Psychology Today*, August, 69-80.
- Rimland, B. (1978b). Savant capabilities of autistic children and their cognitive implications. In G. Serban (Ed.), *Cognitive Defects in the Development of Mental Illness* (pp. 44-63). New York: Bruner & Mazel.
- Rimland, B. & Fein, D. (1988). Special talents of autistic savants. In L. Obler & D. Fein (Eds.), *The Exceptional Brain* (pp. 474-492). New York: Guilford Press.
- Ring, H. A., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Williams, S. C., Brammer, M., Andrew, C., et al. (1999). Cerebral correlates of preserved cognitive skills in autism: a functional MRI study of embedded figures task performance. *Brain*, 122, 1305-1315.
- Robinson, G. & Solomon, D. (1974). Rhythm is processed by the right hemisphere. *Journal of Experimental Psychology*, 102, 508-511.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Canavan, A., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (1989). *Slow cortical potentials and behavior* (2nd ed.). Baltimore: Urban & Schwarzenberg.

- Rohrbaugh, J., Syndulko, K. & Lindsley, D. (1976). Brain wave components of the contingent negative variation in humans. *Science*, 191, 1055-1057.
- Roland, P. E. & Friberg, L. (1985). Localization of cortical areas activated by thinking. *Journal of Neurophysiology*, 53, 1219-1243.
- Rosen, A. M. (1981). Adult calendar calculating in a psychiatric OPD: A report of two cases and a comparative analysis of abilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 11, 285-292.
- Rösler, F., Bajric, J., Heil, M., Hennighausen, E., Niedeggen, M., Pechmann, T., Röder, B., Rüsseler, J. & Streb, J. (1997). Gedächtnisspuren im EEG. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, XLIV(1), 4-37.
- Roth, W., Rothbart, R. & Kopell, B. (1978). The timing of CNV-resolution in a memory-retrieval task. *Biological Psychology*, 6, 39-49.
- Rubin, E. J. & Monaghan, S. (1965). Calendar calculation in a multiple handicapped blind person. *American Journal of Mental Deficiency*, 70, 478-485.
- Rueckert, L., Lange, N., Partiot, A., Appollonio, J., Litvar, I., LeBihan, D. & Grafman, J. (1996). Visualizing cortical activation during mental calculation with functional MRI. *NeuroImage*, 3, 97-103.
- Rühl, D., Bölte, S., Feineis-Matthews, S. & Poustka, F. (2003). *Beobachtungsskala für Autistische Störungen (ADOS)*. Bern, Switzerland: Huber.
- Rumsey, J., Mannheim, G., Aquino, T., Gordon, C. & Hibbs, E. (1992). Neuropsychological characteristics of calendar calculating savants with pervasive developmental disorders. *Clinical Neuropsychologist*, 6, 320.
- Rüsseler, J., Kuhlicke, D., Münte, T. & Rösler, F. (2003). Differences in incidental and intentional learning of sensorimotor sequence as revealed by event-related brain potentials. *Brain research. Cognitive Brain Research*, 15, 116-126.
- Rüsseler, J. & Rösler, F. (2000). Implicit and explicit learning of event sequence evidence for distinct coding of perceptual and motor representations. *Acta Psychologica*, 104, 45-67.
- Sacks, O. (1985). *The twins*. New York: Review of Books, Feb.28, pp.16-20.
- Saloviita, T., Ruusila, L. & Ruusila, U. (2000). Incidence of savant syndrome in Finland. *Perceptual and Motor Skills*, 91, 120-122.
- Sano, F. (1918). James Henry Pullen, the Genius of Earlswood. *Journal of Mental Sciences*, 64, 251-267.
- Sass, H. & Wittchen, H.U. (1996). *Diagnostisches und Statistisches Manual Psychischer Störungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Scheerer, M., Rothmann, E. & Goldstein, K. (1945). A case of "idiot savant": an experimental study of personality organisation. *Psychological Monographs*, 58, 1-63.
- Schlaghecken, F., Stürmer, B. & Elmer, M. (2000). Chunking processes in the learning of event sequence: electrophysiological indicators. *Memory and Cognition*, 28, 821-831.
- Schlaug, G., Jancke, L., Huang, Y. & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267, 699-701.

- Schmötzer, G., Rühl, D., Thies, G. & Poustka, F. (1993). *Autismus Diagnostisches Interview - Revision*. Germany: J.W. Goethe-University Frankfurt/M.
- Selfe, L. (1977). *Nadia: A Case of Extraordinary Drawing Ability in an Autistic Child*. New York: Academic Press.
- Selfe, L. (1983). *Normal and anomalous representational drawing ability in an autistic child*. London: Methuen.
- Selfe, L. (1995). Nadia reconsidered. In C. Golomb (Ed.), *The development of artistically gifted children* (pp. 197-237). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Seri, S., Cerquiglini, A., Pisani, F. & Curatolo, P. (1999). Autism in tuberous sclerosis: evoked potential evidence for a deficit in auditory sensory processing. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1825-1830.
- Shaw, A. & Frith, U. (1983). An islet of ability in autistic children: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 24(4), 613-620.
- Shaw, A. & Frith, U. (1993). Why do autistic individuals show superior performance on the block design task? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(8), 1351-1364.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II Perceptual Learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84 (2), 127-190.
- Shikiba, R. (1957). *Works of Kiyoshu Yamishita*. Tokyo: Nihon Burai Burat, Bungei Shunju Shinsha.
- Silberberg, N., E. & Silberberg, M. C. (1971). Hyperlexia: The other end of the continuum. *Journal of Special Education*, 5(233-242).
- Sloboda, J. A., Hermelin, B. & O'Connor, N. (1985). An exceptional musical memory. *Music Perception*, 3, 155-170.
- Snyder, A. W. & Mitchell, D. J. (1999). Is integer arithmetic fundamental to mental processing?: the mind's secret arithmetic. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, 266, 587-592.
- Snyder, A. W., Mulcahy, E., Taylor, J. L., Mitchell, D. J., Perminder, S. & Gandevia, S. C. (2003). Savant-like skills exposed in normal people by suppressing the left fronto-temporal lobe. *Journal of Integrative Neuroscience*, 2(2), 149-158.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74 (Whole No. 498).
- Spitz, H. (1979). *Beyond field theory in the study of mental deficiency*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spitz, H. (1994). Lewis Carroll's formula for calendar calculating. *American Journal of Mental Retardation*, 98, 601-608.
- Spitz, H. (1995). Calendar calculating, idiots savants, and the smart unconscious. *New Ideas in Psychology*, 13, 167-192.
- Spitz, H. & LaFontaine, L. (1973). The digit span of idiot savants. *American Journal of Mental Deficiency*, 6, 757-759.
- Stanescu-Cosson, R., Pinel, P., van de Moortele, P.F., LeBihan, D., Cohen, L. & Dehaene, S. (2000). Understanding dissociations in dyscalculia: a brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation. *Brain*, 123, 2240-2255.

- Steinkopff, W. (1973). Extraordinary calculating ability of an imbecile patient: report on follow-up and autopsy. *Psychiatr Neurol Med Psychol (Leipz)*, 25, 108-116.
- Süllwold, F. (1964). *Das unmittelbare Behalten und seine denkpsychologische Bedeutung*. Göttingen: Hogrefe.
- Suzuki, K., Yamadori, A., Kumabe, T., Endo, K., Fujii, T. & Yoshimoto, T. (2000). Hyperlexia in an adult patient with lesions in the left medial frontal lobe. *Rinsho Shinkeigaku*, 40, 393-397.
- Tager-Flusberg, H. B. (1981). On the nature of linguistic functioning in early infantile autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 11, 45-56.
- Takayama, Y., Sugishita, M., Akiguchi, I. & Kimura, J. (1994). Isolated acalculia due to left parietal lesion. *Archives of Neurology*, 12, 10-14.
- Tewes, U. (1983). *Hamburg-Wechsler Intelligenztest für Kinder (HAWIK-R)*. Bern: Huber
- Tewes, U. (1991). *HAWIE-R. Hamburg-Wechsler Intelligenztest für Erwachsene, Revision 1991*. Bern: Huber.
- Tredgold, A. F. (1914). *Mental deficiency*. London: Bailliere, Tindall & Cox.
- Tredgold, A. F. (1952). *Mental deficiency*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Treffert, D. (1988). The Idiot Savant: A Review of the Syndrome. *American Journal of Psychiatry*, 145, 563-572.
- Treffert, D. (2000). *Extraordinary People*. New York: Harper & Row.
- Tzeng, O. J. L. & Wang, W. (1983). The first two R's. *American Scientist*, 71, 238-243.
- Verbaten, M. N., Roelofs, J. W., Van Engeland, H., Kenemans, J. L. & Slangen, J. L. (1991). Abnormal visual event-related potentials of autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 21, 449-470.
- Viscott, D. S. (1970). A musical idiot savant. *Psychiatry*, 32, 494-515.
- Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. J., McCallum, W. C. & Winter, A. L. (1964). Contingent negative variation: An electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203, 380-384.
- Waterhouse, L., Fein, D. & Modahl, C. (1996). Neurofunctional mechanisms in autism. *Psychological Review*, 103, 457-489.
- Wechsler, D. (1987). *Wechsler Memory Scale. Revised Manual*. New York: The Psychological Corporation.
- Wilkinson, R. & Spence, M. (1973). Determinants of the post-stimulus resolution of contingent negative variation (CNV). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 35, 503-509.
- Wing, L. (1976). *Early childhood autism*. Oxford, England: Pergamon Press.
- Yewchuk, C. (1999). Savant syndrome: Intuitive excellence amidst general deficit. *Developmental Disabilities Bulletin*, 27, 58-76.
- Young, R. (1995). *Savant Syndrome: Processes underlying extraordinary abilities. Unpublished doctoral dissertation*. University of Adelaide, South Australia.
- Young, R. & Nettelbeck, T. (1994). The "intelligence" of calendrical calculators. *American Journal of Mental Retardation*, 99, 186-200.
- Zago, L., Pesenti, M., Mellet, E., Crivello, F., Mazoyer, B. & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Neural Correlates of Simple and Complex Mental Calculation. *NeuroImage*, 13, 314-327.

APPENDIX

A 1 Fragebogen zur genaueren Beschreibung der herausragenden Leistung des Kalenderrechnens

Medizinische Fakultät

Institut für Medizinische Psychologie und
Verhaltensneurobiologie

Leiter: Prof. Dr. N. Birbaumer

EBERHARD KARLS

UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



Universität Tübingen · Gartenstr.29 · 72074 Tübingen

Fragebogen zur genaueren Beschreibung der herausragenden Leistung des Kalenderrechnens

Name: _____

Geburtsdatum: _____

**Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen,
geben Sie gerne auch zusätzliche Informationen (z. B. Rückseite)**

- 1) Können Sie angeben, wie Sie die Kalenderberechnungen durchführen?
o ja o nein
Wenn ja, wie? Bitte verwenden Sie zur Beschreibung die Rückseite.
- 2) In welcher Zeitspanne vermögen Sie die Leistung des Kalenderrechnens zu erbringen?
Von _____ (Jahr) bis _____ (Jahr)
- 3) Wie gut waren Sie im Bereich Mathematik in der Schule?
Schulart (Haupt-/ Real-/ Sonderschule/ Gymnasium): _____
Durchschnittliche Zensur (Schulnote): _____
- 4) Haben Sie auch in anderen Bereichen besondere Fähigkeiten (z. B. im Bereich Gedächtnis/ Musik/ Kunst)?
o ja o nein
Wenn ja, welche? Bitte verwenden Sie zur Beschreibung die Rückseite.
- 5) Wofür haben Sie ein besonders gutes Gedächtnis (z. B. Namen, Zahlen, Daten, Situationen)?

- 6) Wofür haben Sie ein besonders schlechtes Gedächtnis?

- 7) Haben Sie sich je mit dem ewigen Kalender beschäftigt?
o ja o nein
Wenn ja, wie ausführlich? o kaum o sehr
- 8) Kennen Sie sich in den Kalenderwissenschaften aus (z. B. Übergang vom Julianischen zum Gregorianischen Kalender 1582 etc.)?
o ja o nein
- 9) Verfügen Sie über Wissen zu Regularitäten des Gregorianischen Kalenders (z. B. Regularität der gepaarten Monate/ 28-Jahres-Intervalle etc.)
o ja o nein
Wenn ja, welche kennen Sie? (Bitte verwenden Sie die Rückseite!)

- 10) Berechnen Sie die Kalenderdaten "bewusst", d. h. sind Ihnen alle Zwischenschritte bei den Berechnungen gegenwärtig, oder berechnen sie die Tage automatisch, d. h. die Ergebnisse „schießen Ihnen direkt ins Gedächtnis“?
- bewusst automatisch
- 11) Gebrauchen Sie bei Ihren Berechnungen Referenz- bzw. Ankerdaten, d. h. Daten, von denen aus Sie die Berechnungen durchführen (z. B. 1974 war der 06.11. ein Mittwoch, dann war es 1978....)?
- ja nein
- Wenn ja, welche (z. B. bestimmte Jahre/ Monate)? _____
- 12) Wann zeigten Sie erstmals Interesse für Kalender bzw. für Kalenderberechnungen?
- 19____ im Alter von _____ Jahren
- 13) Seit wann beherrschen Sie die Leistung des Kalenderrechnens?
- Seit 19____ im Alter von _____ Jahren
- 14) Wie viel Zeit verbrachten Sie mit dem Studium von Kalendern?
- täglich ____ Stunden
- wöchentlich ____ Stunden
- anders: _____
- 15) Wie häufig üben Sie nun das Kalenderrechnen?
- gar nicht
- täglich ____ Stunden
- wöchentlich ____ Stunden
- anders: _____
- 16) Zeigen Sie eine besondere Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial, d. h. können Sie sich lange aufmerksam damit beschäftigen?
- ja nein
- 17) Zeigen Sie eine besondere Konzentrationsfähigkeit für andere Bereiche (z. B. Daten, historische Ereignisse, U-Bahn-Pläne o.ä.)?
- ja nein

Herzlichen Dank für Ihre Angaben!

A 2 Das Reizmaterial beim Kalenderrechnen**Experimentalbedingung**

Gegenwart	
Korrekte Wochentagszuordnung	Falsche Wochentagszuordnung
Dat001r "01. Oktober 2003" Mittwoch ?	Dat085f "02. Oktober 2003" Freitag ?
Dat002r "03. Oktober 2003" Freitag ?	Dat086f "04. Oktober 2003" Freitag ?
Dat003r "05. Oktober 2003" Sonntag ?	Dat087f "06. Oktober 2003" Dienstag ?
Dat004r "07. Oktober 2003" Dienstag ?	Dat088f "08. Oktober 2003" Dienstag ?
Dat005r "09. Oktober 2003" Donnerstag ?	Dat089f "10. Oktober 2003" Samstag ?
Dat006r "11. Oktober 2003" Samstag ?	Dat090f "12. Oktober 2003" Samstag ?
Dat007r "13. Oktober 2003" Montag ?	Dat091f "14. Oktober 2003" Mittwoch ?
Dat008r "15. Oktober 2003" Mittwoch ?	Dat092f "16. Oktober 2003" Mittwoch ?
Dat009r "17. Oktober 2003" Freitag ?	Dat093f "18. Oktober 2003" Sonntag ?
Dat010r "19. Oktober 2003" Sonntag ?	Dat094f "20. Oktober 2003" Sonntag ?
Dat011r "21. Oktober 2003" Dienstag ?	Dat095f "22. Oktober 2003" Donnerstag ?
Dat012r "23. Oktober 2003" Donnerstag ?	Dat096f "24. Oktober 2003" Donnerstag ?
Dat013r "25. Oktober 2003" Samstag ?	Dat097f "26. Oktober 2003" Montag ?
Dat014r "27. Oktober 2003" Montag ?	Dat098f "28. Oktober 2003" Montag ?
Dat015r "29. Oktober 2003" Mittwoch ?	Dat099f "30. Oktober 2003" Freitag ?
Dat016r "31. Oktober 2003" Freitag ?	Dat100f "01. Oktober 2003" Donnerstag ?
Dat017r "03. Oktober 2003" Freitag ?	Dat101f "05. Oktober 2003" Samstag ?
Dat018r "07. Oktober 2003" Dienstag ?	Dat102f "09. Oktober 2003" Freitag ?
Dat019r "11. Oktober 2003" Samstag ?	Dat103f "13. Oktober 2003" Sonntag ?
Dat020r "15. Oktober 2003" Mittwoch ?	Dat104f "17. Oktober 2003" Samstag ?
Dat021r "19. Oktober 2003" Sonntag ?	Dat105f "21. Oktober 2003" Montag ?

Vergangenheit	
Korrekte Wochentagszuordnung	Falsche Wochentagszuordnung
Dat022r "08. Januar 1950" Sonntag?	Dat106f "16. Februar 1952" Sonntag ?
Dat023r "27. März 1953" Freitag ?	Dat107f "07. April 1955" Mittwoch ?
Dat024r "09. Mai 1956" Mittwoch ?	Dat108f "18. Juni 1957" Mittwoch ?
Dat025r "21. Juli 1958" Montag ?	Dat109f "28. August 1960" Samstag ?
Dat026r "30. September 1961" Samstag ?	Dat110f "05. Oktober 1962" Samstag ?
Dat027r "12. November 1964" Donnerstag ?	Dat111f "15. Dezember 1965" Dienstag ?
Dat028r "18. Januar 1966" Dienstag ?	Dat112f "20. Februar 1967" Dienstag ?
Dat029r "31. März 1968" Sonntag ?	Dat113f "05. April 1969" Freitag ?
Dat030r "08. Mai 1970" Freitag ?	Dat114f "17. Juni 1971" Freitag ?
Dat031r "26. Juli 1972" Mittwoch ?	Dat115f "28. August 1973" Montag ?
Dat032r "02. September 1974" Montag ?	Dat116f "03. Oktober 1976" Montag ?
Dat033r "12. November 1977" Samstag ?	Dat117f "15. Dezember 1978" Donnerstag ?
Dat034r "25. Januar 1979" Donnerstag ?	Dat118f "06. Februar 1980" Donnerstag ?
Dat035r "10. März 1981" Dienstag ?	Dat119f "19. April 1982" Sonntag ?
Dat036r "29. Mai 1983" Sonntag ?	Dat120f "02. Juni 1984" Sonntag ?
Dat037r "12. Juli 1985" Freitag ?	Dat121f "14. August 1986" Mittwoch ?
Dat038r "23. September 1987" Mittwoch ?	Dat122f "31. Oktober 1989" Mittwoch ?
Dat039r "04. November 1991" Montag ?	Dat123f "13. Dezember 1992" Samstag ?
Dat040r "16. Januar 1993" Samstag ?	Dat124f "25. Februar 1994" Samstag ?
Dat041r "28. März 1996" Donnerstag ?	Dat125f "23. April 1997" Dienstag ?
Dat042r "12. Mai 1998" Dienstag ?	Dat126f "07. Juni 1999" Dienstag ?

Zukunft	
korrekte Wochentagszuordnung	Falsche Wochentagszuordnung
Dat043r "04. Juli 2004" Sonntag ?	Dat127f "13. August 2005" Sonntag ?
Dat044r "22. September 2006" Freitag ?	Dat128f "25. Oktober 2007" Mittwoch ?
Dat045r "05. November 2008" Mittwoch ?	Dat129f "14. Dezember 2010" Mittwoch ?
Dat046r "24. Januar 2011" Montag ?	Dat130f "03. Februar 2013" Samstag ?
Dat047r "08. März 2014" Samstag ?	Dat131f "17. April 2015" Samstag ?
Dat048r "26. Mai 2016" Donnerstag ?	Dat132f "28. Juni 2017" Dienstag ?
Dat049r "03. Juli 2018" Dienstag ?	Dat133f "12. August 2019" Dienstag ?
Dat050r "20. September 2020" Sonntag ?	Dat134f "23. Oktober 2021" Freitag ?
Dat051r "25. November 2022" Freitag ?	Dat135f "28. Dezember 2023" Freitag ?
Dat052r "03. Januar 2024" Mittwoch ?	Dat136f "11. Februar 2025" Montag ?
Dat053r "16. März 2026" Montag ?	Dat137f "25. April 2027" Montag ?
Dat054r "27. Mai 2028" Samstag ?	Dat138f "28. Juni 2030" Donnerstag ?
Dat055r "03. Juli 2031" Donnerstag ?	Dat139f "04. August 2032" Donnerstag ?
Dat056r "06. September 2033" Dienstag ?	Dat140f "09. Oktober 2034" Sonntag ?
Dat057r "11. November 2035" Sonntag ?	Dat141f "20. Dezember 2036" Sonntag ?
Dat058r "30. Januar 2037" Freitag ?	Dat142f "03. Februar 2039" Mittwoch ?
Dat059r "14. März 2040" Mittwoch ?	Dat143f "23. April 2041" Mittwoch ?
Dat060r "26. Mai 2042" Montag ?	Dat144f "28. Juni 2043" Samstag ?
Dat061r "02. Juli 2044" Samstag ?	Dat145f "11. August 2045" Samstag ?
Dat062r "20. September 2046" Donnerstag ?	Dat146f "30. Oktober 2047" Dienstag ?
Dat063r "02. November 2049" Dienstag ?	Dat147f "12. Dezember 2050" Dienstag ?

Kontrollbedingung

Scheindaten	
Korrekte Zuordnung	Falsche Zuordnung
Dat064r "13. AAAA 2005" AAAA ?	Dat148f "22. BBBB 2006" CCCC ?
Dat065r "25. CCCC 2007" CCCC ?	Dat149f "05. DDDD 2008" EEEE ?
Dat066r "14. EEEE 2010" EEEE ?	Dat150f "24. FFFF 2011" GGGG ?
Dat067r "03. GGGG 2013" GGGG ?	Dat151f "08. HHHH 2014" IIII ?
Dat068r "17. IIII 2015" IIII ?	Dat152f "26. JJJJ 2016" KKKK ?
Dat069r "28. KKKK 2017" KKKK ?	Dat153f "03. LLLL 2018" MMMM ?
Dat070r "12. MMMM 2019" MMMM ?	Dat154f "20. NNNN 2020" OOOO ?
Dat071r "23. OOOO 2021" OOOO ?	Dat155f "25. PPPP 2022" QQQQ ?
Dat072r "28. QQQQ 2023" QQQQ ?	Dat156f "03. RRRR 2024" QQQQ ?
Dat073r "11. SSSS 2025" SSSS ?	Dat157f "16. TTTT 2026" SSSS ?
Dat074r "25. UUUU 2027" UUUU ?	Dat158f "27. VVVV 2028" UUUU ?
Dat075r "28. WWWW 2030" WWWW ?	Dat159f "04. ZZZZ 2004" AAAA ?
Dat076r "13. AAAA 2005" AAAA ?	Dat160f "22. BBBB 2006" CCCC ?
Dat077r "25. CCCC 2007" CCCC ?	Dat161f "05. DDDD 2008" EEEE ?
Dat078r "14. EEEE 2010" EEEE ?	Dat162f "24. FFFF 2011" GGGG ?
Dat079r "03. GGGG 2013" GGGG ?	Dat163f "08. HHHH 2014" IIII ?
Dat080r "17. IIII 2015" IIII ?	Dat164f "26. JJJJ 2016" KKKK ?
Dat081r "28. KKKK 2017" KKKK ?	Dat165f "03. LLLL 2018" MMMM ?
Dat082r "12. MMMM 2019" MMMM ?	Dat166f "20. NNNN 2020" OOOO ?
Dat083r "23. OOOO 2021" OOOO ?	Dat167f "25. PPPP 2022" QQQQ ?
Dat084r "28. QQQQ 2023" QQQQ ?	Dat168f "03. RRRR 2024" QQQQ ?

A 3 Beispiel Instruktion Kalenderrechnen (Bedingung Kalenderrechner, Tastendruck links = richtig, rechts = falsch)

Sie werden nun Daten in der Form "24.November 2003" präsentiert bekommen.

Unter diesem Datum wird ein Wochentag stehen, zB. "Sonntag?"

Ist der Wochentag der Richtige für dieses Datum, drücken Sie bitte die linke Taste.

Ist der Wochentag der Falsche für dieses Datum, drücken Sie bitte die rechte Taste.

Es werden Ihnen auch "Scheindaten" in der Form "26.AAAA 2005" präsentiert.

Darunter werden Buchstaben stehen, zB. "AAAA?"

Entscheiden Sie hier, ob die darunter stehenden Buchstaben denen entsprechen, die in der Mitte des "Scheindaten" stehen.

Sind die Buchstaben gleich, drücken Sie bitte die linke Taste.

Sind die Buchstaben nicht gleich, drücken Sie bitte die rechte Taste.

Die Antwort sollte so schnell und so richtig wie möglich erfolgen.

Bitte vermeiden Sie auch kleinste Augen- oder Kopfbewegungen.

Zunächst gibt es eine kurze Testphase.

Das Experiment wird ca. 40 Minuten dauern.

Nach jeweils fünf Minuten wird es eine kurze Pause geben.

A 4 Antworten der ASKR und gesunden Kalenderrechner im FraZuKal**(I) Autistische Savant-Kalenderrechner**

Savants – Kalenderrechner			
	Herr MR (von Eltern beantwortet)	Herr MS	Herr PH
Alter (Geburtsdatum)	08.07.1969	23.01.1985	01.05.1966
IQ (siehe 3.1)	Liegt nicht vor	110	> 124
Fragebogen zur genaueren Beschreibung der herausragenden Leistung des Kalenderrechnens			
1) Können Sie angeben, wie Sie die Kalenderberechnungen durchführen?	Nein (Matthias sagt; „Habe ich im Kopf. Ist ein Computer)	Ja, Berechnungen	Keine Angabe
2) Zeitspanne, in der Leistung des Kalenderrechnens erbracht wird	Von 1750 bis 2000	Von minus bis plus unendlich (alle)	Von 1900 bis 2050
3) Wie gut waren Sie im Bereich Mathematik in der Schule?	<u>Schulart:</u> Sonderschule <u>Durchschnittliche Zensur:</u> Keine Zensuren, aber nicht gut	<u>Schulart:</u> Fachoberschule <u>Durchschnittliche Zensur:</u> 2	<u>Schulart:</u> Gymnasium <u>Durchschnittliche Zensur:</u> 4
4) Haben Sie auch in anderen Bereichen besondere Fähigkeiten (z. B. im Bereich Gedächtnis/ Musik/ Kunst)?	Ja, - Kunst (Malerei) - Gedächtnis eines Elefanten - Wege/ Orientierung	Ja	Ja, - Musik
5) Wofür haben Sie ein besonders gutes Gedächtnis (z.B. Namen, Zahlen, Daten, Situationen)?	Situationen/ Geschehnisse der Vergangenheit	Zahlen, Situationen, Daten (z.B. U-Bahnsysteme)	Zahlen, Situationen, Daten (z. B. Fahrpläne, Geschichtsdaten), Namen (z. B. Flugzeuge)
6) Wofür haben Sie ein besonders schlechtes Gedächtnis?	Können wir (Eltern) nicht beantworten	Aussehen von noch wenig bekannten Personen	Wenn mehrere Dinge gleichzeitig erledigt werden müssen
7) Haben Sie sich je mit dem ewigen Kalender beschäftigt? Wenn ja, wie ausführlich?	Nein	Nein	Nein
8) Kennen Sie sich in den Kalenderwissenschaften aus?	Nein	Nein	Nein
9) Verfügen Sie über Wissen zu Regularitäten des Gregorianischen Kalenders? Wenn ja, welche kennen Sie?	Nein	Ja: - 28 –Jahres –Intervalle - Monatsgruppen	Ja
10) Berechnen Sie die Kalenderdaten „bewusst“, oder berechnen sie die Tage automatisch, d. h. die Ergebnisse „schießen Ihnen direkt ins Gedächtnis“?	Automatisch (von Eltern aufgrund Geschwindigkeit vermutet)	Automatisch bei Daten, die eher in „meiner Gegenwart“ liegen, bewusst bei Daten, die weiter entfernt liegen (egal, ob Zukunft oder Vergangenheit)	Bewusst
11) Gebrauchen Sie bei Ihren Berechnungen Referenz- bzw. Ankerdaten?	Gebrauch von Ankerdaten (von Eltern vermutet)	Ja, unterschiedlich	Ja, z. B. den 01.05.1966

Wenn ja, welche (z. B. bestimmte Jahre/ Monate)?			
12) Wann zeigten Sie erstmals Interesse für Kalender bzw. für Kalenderberechnungen?	1976 im Alter von 7 Jahren	1990 im Alter von 5 Jahren	1976 im Alter von 10 Jahren
13) Seit wann beherrschen Sie die Leistung des Kalenderrechnens?	Seit 1976 im Alter von 7 Jahren. Er habe den Kalender sicher schon mit 4/5 Jahren beherrscht, die Eltern wussten es aber nicht, da er nicht sprach	Seit 1990 im Alter von 5 Jahren	Seit 1976 im Alter von 10 Jahren
14) Wie viel Zeit verbrachten Sie mit dem Studium von Kalendern?	Eltern vermuten nicht, dass Mathias jemals geübt hat	Gelegentlich von Gästen ausgefragt	Wöchentlich zwei Stunden
15) Wie häufig üben Sie nun das Kalenderrechnen?	Siehe Frage 14)	Weiß nicht wie	Gelegentlich in unregelmäßigen Abständen
16) Zeigen Sie eine besondere Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial?	Siehe Frage 14)	Ja	Ja
17) Zeigen Sie eine besondere Konzentrationsfähigkeit für andere Bereiche?	Keine Angabe	Ja	Ja, Flugpläne

(II) Gesunde Kalenderrechner

Gesunde Kalenderrechner			
	Frau RP	Herr DB	Herr US
Alter (Geburtsdatum)	04.03.1947	02.05.1965	24.03.1950
IQ	120	> 124	> 124
Fragebogen zur genaueren Beschreibung der herausragenden Leistung des Kalenderrechnens			
1) Können Sie angeben, wie Sie die Kalenderberechnungen durchführen?	Ja - Berechnungen	Ja - Berechnungen	Ja – „sieht“ Jahreskalender, Berechnungen bei anderen Daten (Vergangenheit/ Zukunft)
2) Zeitspanne, in der Leistung des Kalenderrechnens erbracht wird	Von 1900 bis 2064	Von 1582 bis „unendlich“	Von 1900 bis 2100
3) Wie gut waren Sie im Bereich Mathematik in der Schule?	Schulart: Sekundarschule Durchschnittliche Zensur: 1-2	Schulart: Fachhochschule Durchschnittliche Zensur: 2	Schulart: Berufsschule Durchschnittliche Zensur: 1-2
4) Haben Sie auch in anderen Bereichen besondere Fähigkeiten (z. B. im Bereich Gedächtnis/ Musik/ Kunst)?	Ja, Musik (Nachspielen von Musikstücken)	Ja, Gedächtnis: merkt sich beliebige Zahlen (Telefon-, Autonummern) anhand eines Ankersystem; Musik (Rhythmus, Schlagzeug)	Ja, Rückwärts reden von Wörtern, Sätzen, Liedern; Spiegelschrift-Lesen, Bildliches Beschreiben lange vergangener Ereignisse
5) Wofür haben Sie ein besonders gutes Gedächtnis (z.B. Namen, Zahlen, Daten, Situationen)?	Überall – Namen, Zahlen, Daten, Situationen, alles haargenau gemerkt; Terminkalender im Kopf, Geburtsdaten, Blutgruppen	Orientierungssinn: Erinnerung an Wege/ Strecken, die er schon gelaufen/ gefahren ist	Situationen/ Erlebnisse mit den entsprechenden Daten; Autokennzeichen, Telefonnummern

6) Wofür haben Sie ein besonders schlechtes Gedächtnis?	Gehörtes (im Gegensatz zu Gesehenem) wiedergeben	Für Namen, Geburtstage, Daten ohne Ankersystem (siehe 4))	Vornamen
7) Haben Sie sich je mit dem ewigen Kalender beschäftigt? Wenn ja, wie ausführlich?	Ja	Ja, sehr ausführlich	Nein
8) Kennen Sie sich in den Kalenderwissenschaften aus?	Nein	Ja	Nein
9) Verfügen Sie über Wissen zu Regularitäten des Gregorianischen Kalenders? Wenn ja, welche kennen Sie?	Gewisse Regularitäten selbst herausgefunden (z. B. 28-Jahres-Intervalle)	Ja	Ja (gemäß Angaben)
10) Berechnen Sie die Kalenderdaten "bewusst", oder berechnen sie die Tage automatisch?	Automatisch (z. B. Einschies-sen der Wochentage-Zahlen) und bewusst (schwierige Daten, v. a. Jan und Feb)	Bewusst, gewisse Schritte automatisieren jedoch durch Übung	Automatisch bei Daten des-selben Jahres; Bewusst bei allen anderen Daten
11) Gebrauchen Sie bei Ihren Berechnungen Referenz- bzw. Ankerdaten? Wenn ja, welche (z. B. bestimmte Jahre/ Monate)?	Ja, verschieden	Ja (s.Antwort 6)/ Nein	Ja, den aktuellen Jahreska-lender
12) Wann zeigten Sie erst-mals Interesse für Kalender bzw. für Kalenderberechnun-gen?	1980 im Alter von 33 Jahren (bereits als Kind nie Listen zum Einkaufen, sehr gut in „Memory“)	2003 im Alter von 38 Jahren; Anlass: Aufruf von MTW	1960 im Alter von 10 Jahren
13) Seit wann beherrschen Sie die Leistung des Kalen-derrechnens?	1980, jeweils nur für das laufende Kalenderjahr (statt Agenda),	2004 im Alter von 38 Jahren	1963 im Alter von 13 Jahren, jeweils nur für das laufende Kalenderjahr
14) Wie viel Zeit verbrachten Sie mit dem Studium von Kalendern?	Seit Dezember 2003 für MTW täglich ca. 20 Minuten	Seit Oktober 2003 täglich 20 Minuten für MTW	Seit Januar 2004 für MTW
15) Wie häufig üben Sie nun das Kalenderrechnen?	Ein paar Minuten in der Wo-che	Täglich 1-2 Minuten	Wöchentlich in Summe eine Stunde“
16) Zeigen Sie eine besonde-re Konzentrationsfähigkeit für Kalendermaterial?	Ja	Ja	Ja (wenn es sein muss)
17) Zeigen Sie eine besonde-re Konzentrationsfähigkeit für andere Bereiche?	Ja, Landkarten	Ja	Ja