

Langsame Hirnpotentiale beim Schreiben: Die Wechselwirkung von Schreibhand und Sprachdominanz bei Rechtshändern

Richard Jung, Andreas Hufschmidt und Wolfgang Moschallski

Abteilung Neurophysiologie, Universität Freiburg i. Br., Hansastrasse 9, D-7800 Freiburg
i. Br., Bundesrepublik Deutschland

Slow Brain Potentials in Writing: Interaction of Writing Hand and Speech Dominance in Right-Handers

Summary. 1. Slow cerebral potential shifts were recorded from the scalp over both cerebral hemispheres by retrograde summation while 23 right-handers were writing. Averaging included writing errors, but eliminated eye movements and other artifacts. Repeated writing of the same word or sentence was compared to writing different dictated words, to drawings, and to other control experiments.

2. Surface negative readiness potentials (*Bereitschaftspotentiale*) appeared about 1 s before writing, which was similar to those preceding other voluntary movements.

3. During writing, the *writing potentials* in different cortical regions began with a negative increase of the *Bereitschaftspotential*, usually followed by a plateau or positive waves. One or several biphasic potentials persisted for another 2 s after writing had ceased.

4. The writing potentials had rather constant forms in the same individual, but showed large interindividual variations of form and polarity. The largest initial negativity (with both ear lobes serving as reference) occurred at the vertex and the left motor region contralateral to the writing hand.

5. The left hemispheric preponderance of writing potentials, maximal at the precentral region contralateral to the writing hand, was less marked when writing with the left hand. An interaction of the writing hand and language dominance is assumed.

6. Writing the same word or short sentence repeatedly caused potentials of larger amplitude than the preceding readiness potentials. Writing dictated words or drawing figures after verbal stimuli that require language processing caused larger potentials in the left hemisphere than did repeated word writing.

7. The fact that negative potentials with larger left hemispheric amplitudes appear after verbal stimuli may indicate that language information is processed in the speech-dominant hemisphere before and during writing or drawing.

8. By variously combining bipolar leads, the lateral differences of the potential fields can be more clearly distinguished than by using only unipolar leads with ear reference.

Key words: Slow brain potentials – Cerebral cortex – Writing act – Writing potentials – Language processing – Dominant hemisphere – Right-handers

Zusammenfassung. 1. Langsame Hirnpotentiale über beiden Großhirnhemisphären beim Schreiben mit der rechten und linken Hand (Schreibpotentiale) wurden durch Rückwärtssummutation und Mittelung bei 23 Rechtshändern mit EMG und Schreibdruck registriert. Bei Aufsummierung wurden Schreibfehler mitgezählt, aber Augen- oder Bewegungsartefakte durch Markierung ausgeschaltet. Das Schreiben gleicher Wörter und Sätze wurde mit dem Diktatschreiben verschiedener Wörter, mit Zeichnen und anderen Kontrollen verglichen.

2. *Vor* dem Schreibakt entstehen die gleichen oberflächennegativen Bereitschaftspotentiale wie vor anderen Bewegungen.

3. *Während* des Schreibens beginnt das Schreibpotential mit einem negativen Anstieg des Bereitschaftspotentials, dann folgen negative Plateaus oder positive Wellen. In der Regel überdauern eine oder mehrere biphasische Potentialverschiebungen den Schreibakt um etwa 2 s.

4. Die Schreibpotentiale sind bei derselben Person formkonstant, zeigen aber große interindividuelle Variationen der Form und Polung. Die größte Negativität gegen beide Ohrelektroden erreichen sie in Scheitelmittle und links präzentral *kontralateral zur Schreibhand*.

5. Die Amplituden der negativen Maxima der Schreibpotentiale sind größer als die Bereitschaftspotentiale, aber beim Schreiben der gleichen Wörter oder kurzer Sätze meist kleiner als die Schreibpotentiale beim Diktatschreiben.

6. Die größten *Seitendifferenzen der Schreibpotentiale links und rechts* entstehen präzentral. Ein Linksüberwiegen über der motorischen Region kann beim Diktatschreiben des Rechtshänders sowohl kontra- wie ipsilateral zur schreibenden Hand auftreten. Eine cerebrale *Wechselwirkung von Sprachdominanz und Schreibhand* ist daher anzunehmen.

7. Die größeren negativen Schreibpotentiale, die über dem linken Großhirn bei Diktatschreiben und bei verbaler Auslösung des Figurzeichnens auftreten, können einer stärkeren Tätigkeit der sprachdominanten Hemisphäre bei der Sprach- und Schreibtransformation entsprechen.

8. Verschiedene bipolare Ableitungskombinationen können die Potentialquellen und Seitendifferenzen besser charakterisieren als unipolare Ableitungen gegen beide Ohren.

Schlüsselwörter. Langsame Hirnpotentiale – Cortex cerebri – Schreibakt – Schreibpotentiale – Akustische Sprachverarbeitung – Sprachdominanz – Rechtshänder

Einleitung

Das Schreiben ist wie die Sprache eine erlernte Bewegungskoordination, die von der sprachdominanten Großhirnseite gesteuert wird. Korrelationen zwischen Schreiben und Hirnpotentialverschiebungen sind leichter zu registrieren als beim Sprechen. Die von Kornhuber und Mitarbeitern 1972–1980 bei Sprachleistungen beschriebenen Seitenunterschiede der langsamen Hirnpotentiale werden durch Atmungsbeeinflussung verdeckt [4–6]. Diese Fehlerquelle der Sprechatmung kann beim Schreiben vermieden werden. Wir haben daher versucht, hirnelektrische Korrelate der Sprachdominanz durch Schreibuntersuchungen nachzuweisen.

Neben der Sprachdominanz ist die corticale Repräsentation der *Schreibhand* zu beachten. Nachdem ein kontralaterales Überwiegen der cerebralen Bereitschaftspotentiale [3, 16] und Zielbewegungspotentiale [8, 9] bei Bewegungen einer Hand nachgewiesen ist, wird man auch höhere Amplituden von Schreibpotentialen der zur Schreibhand gegenseitigen Großhirnseite erwarten. Nachdem wir diese gemessen haben [15], konnten die Wechselwirkungen zwischen Schreibhand und Sprachdominanz des Großhirns untersucht werden.

Im Folgenden berichten wir über unsere ersten Experimente zu diesen Fragen und beschreiben einige typische Hirnpotentialbefunde beim Schreiben von Rechtshändern.

Methodik

Registrierung. Polygraphische EEG-Ableitungen von symmetrischen Hirnregionen, meist präzentral und parietal links und rechts (C_3 , C_4 , P_3 und P_4 des internationalen 10/20 Elektrodensystems [11] und von der Scheitelmittle (C_z) gegen beide Ohren wurden mit langer Zeitkonstante von 5 s durch einen Mingograph Siemens registriert und auf Magnetband gespeichert. Wiederholte Durchgänge gleicher oder ähnlicher Schreibhandlungen wurden aufsummiert und über XY-Plotter mit etwa gleichen Eichamplituden aufgezeichnet (Abb. 2–5), um die langsamen Potentialverschiebungen gut aus den rascheren Grundrhythmen des EEG herauszuheben. Kontrollableitungen von der Stirn (F_z , F_3 und F_4) und temporal links (T_3) wurden registriert und bipolare Ableitungen mit Seitenvergleich rechts und links präzentral-parietal beiderseits durch Subtraktion der Bandmittelung gewonnen.

Der *Schreibakt* selbst wurde elektromyographisch als Innervation des M. interosseus I und der Fingerstrecker mit kurzer Zeitkonstante von 0,01 s erfasst und nach Gleichrichtung aufsummiert. Der *Schreibdruck* wurde mit einem in den Schreibstift eingebauten Druckmesser registriert und ebenfalls summiert und gemittelt.

Einwandfreie Ableitungen ohne Bewegungsartefakte oder Potentialeinstreuungen wurden durch *Endmarkierung „guter“ Registrierungen* nach visueller Kontrolle der Hirnpotentiale bezeichnet. Nur diese markierten Potentiale wurden automatisch durch Rückwärtsanalyse vom Band aufsummiert. Damit wurden alle „schlechten“ Registrierungen mit Bewegungs- und Lidschlagstörungen ausgeschlossen. So markierte Originalkurven zeigt Abb. 1.

Für die EEG-Summierung des willkürlich intendierten Schreibaktes und des Diktatschreibens wurden *Rückwärtsanalysen* verwendet, die mit *Verzögerungen von 1 oder 2,5 s nach Ende der Schreibbewegung* von hinten die Schreibvorgänge bis 2 s vor Beginn erfassen (Abb. 2–5). Als Kontrollen dienten *Vorwärtsanalysen* nach einem akustischen Startsignal. Entsprechende Signale für kontrollierende Vorwärtssummation wurden als Starttrigger des Schreibaktes und beim Diktat von Wörtern durch Knopfdruck oder Lautsprecher aufgenommen. So konnte der Zeitablauf der cerebralen und motorischen Vorgänge beginnend mit der

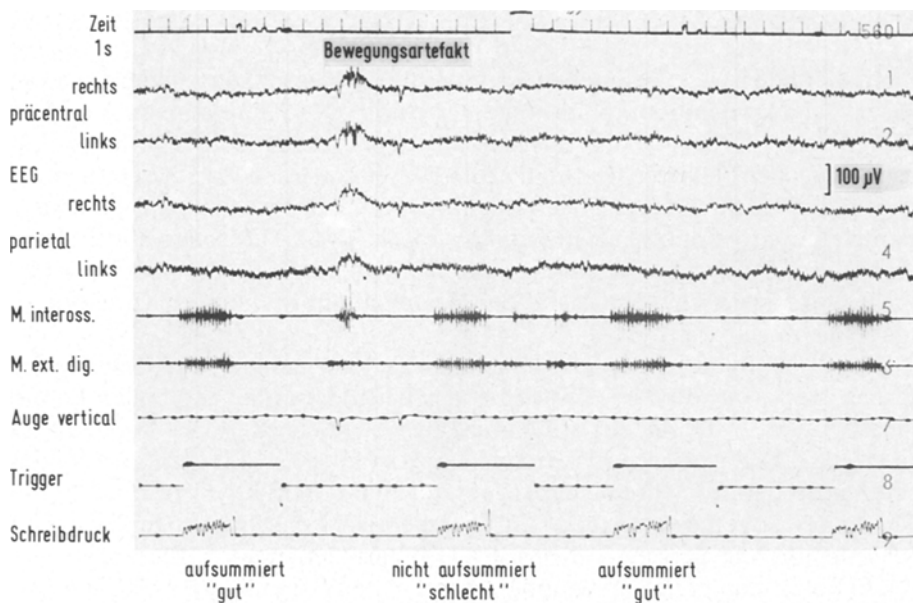


Abb. 1. Mehrfache Registrierung eines Schreibexperiments mit Markierung zur Mittelung. Vier telemetrische EEG-Ableitungen gegen beide Ohren, Handmuskelpotentiale, vertikale Augenbewegungen, Schreibdruck und Trigger. Für die Rückwärtsanalyse triggert der im Schreibstift aufgenommene Schreibdruck eine Markierung nach oben, die mit Verzögerung von 2,5 s nach Schreibende zur Grundlinie zurückkehrt. Die Selektion guter EEG-Ableitungen und das Ausschalten artefaktgestörter EEGs von der Mittelung geschieht durch einen bei sauberer Registrierung eingeschalteten Endimpuls nach unten: Nur diese als „gut“ endmarkierten Kurven werden von der retrograden Bandanalyse erfaßt. 31-jähriger Rechtshänder (W.M. ♂) Exp. S. 46

Intention des Schreibaktes bis nach Ende der Schreibhandlung erfaßt werden. Die Eichung mit $100\mu\text{V}$ Rechteckimpulsen wurde auf das Band genommen und gilt nur für genau synchron summierte Potentiale.

Die EEG-Mittelkurven waren so gepolt, daß Negativität der Konvexitätelektrode gegen Ohr nach oben und Positivität nach unten gerichtet waren, unsere Amplitudenmessungen der Schreibpotentiale beschränkten sich zunächst auf Maxima der negativen Gipfel oder positiven Täler.

Außer der Summierung „unipolarer“ Ableitungen gegen beide Ohren wurden durch *Subtraktion* der gemittelten langsamen Potentiale verschiedener Konvexitätelektroden mit dem „Averager“ auch „bipolare“ aufsummierte Ableitungen beim Schreibvorgang erhalten (Abb. 5).

Da das Schreiben normalerweise mit dem Blick kontrolliert wird, die Blickbewegung aber große Potentialverschiebungen erzeugt, wurden die Augenfolgebewegungen beim Schreiben durch *Fixation eines benachbarten Punktes* unterdrückt. Kontrollen mit Blickfolge des Schreibvorganges wurden in getrennten Versuchen durchgeführt.

Schreibaufgaben. Die Versuchsperson saß an einem Tisch in bequemer Schreibhaltung und erhielt folgende Schreib- und Zeichenaufgaben für die rechte und linke Hand:

1. Wiederholtes Schreiben eines *Wortes* nach freiem Entschluß:
 - a) des Namens und
 - b) eines Testwortes (Neurophysiologie).

2. Wiederholtes Schreiben des gleichen kurzen *Satzes* von 3 Worten (Ich bin müde).
3. Diktatschreiben verschiedener Wörter mit 4 Buchstaben (*akustische Sprach-Schreibtransformation*).
4. Schreiben verschiedener im Fixationspunkt gezeigter Wörter (*visuelle Lese-Schreibtransformation*).
5. Zeichnen einer *Linie* in Schreibrichtung mit etwa gleicher Zeitdauer der Schreibwörter.
6. *Intendiertes Diktatschreiben* ohne motorische Ausführung, um den Einfluß des Worterkennens zu untersuchen.
7. *Wortschreiben in der Luft* ohne Widerstand, um den Einfluß des Druckwiderstandes der Schreibunterlage auszuschalten.
8. Zeichnen einfacher geometrischer *Figuren*,
 - a) frei, b) nach Benennen, c) nach Sehen der Figur.

Statistische Ergebnisse beschränkten sich auf die technische *Aufsummierung und Mittelung* von 32 oder 64 Wiederholungen der gleichen Aufgabe bei jedem Probanden.

Probanden. Die Versuchspersonen waren 30 gesunde Erwachsene, die seit der Schule mehrjährige Schreibübung hatten. Alter zwischen 20 und 35 Jahren, 18 Männer und 12 Frauen. Unter den Probanden waren 23 rechtsschreibende Rechtshänder, 4 rechtsschreibende Linkshänder und 3 linksschreibende Linkshänder.

Im Folgenden werden vorwiegend die typischen Befunde der 4 rechtshändigen Probanden beschrieben, bei denen mehrfache bilaterale Ableitungen mit Kontrollversuchen beim Schreiben und Zeichnen mit der rechten und linken Hand vorlagen. Dazu wurden 40 andere Versuche ausgewertet, bei denen nur ein Teil der Aufgaben 1–8 durchgeführt wurde. Unter diesen wurden 21 wegen Grundlinienunruhe, Augenbewegungseinstreuung oder Störung durch galvanische Hautreflexe nicht berücksichtigt.

Ergebnisse

I. Schreibversuche und Hirnpotentiale

Von den 65 Untersuchungen an 23 gesunden Rechtshändern werden im Folgenden die regelmäßig registrierten Potentialformen und die charakteristischen Befunde bei 4 Versuchspersonen beschrieben. Bei diesen 4 Probanden wurden die Aufgaben 1–8 in mehrfachen Sitzungen zuverlässig registriert und die Schreibhand mit der ungeübten Hand verglichen. Im Gegensatz zu den erheblichen *interindividuellen* Variationen der Schreibpotentiale zeigten die mehrfachen Ableitungen der *gleichen* Probanden an verschiedenen Tagen nur geringe *intraindividuelle* Unterschiede. Sowohl beim Schreiben desselben Wortes als auch beim Diktatschreiben fanden sich *konstante* Formen der langsamen Hirnpotentiale derselben Versuchspersonen (Abb. 2).

Im Folgenden werden die während des Schreibaktes auftretenden Potentialänderungen nach negativ und positiv *Schreibpotentiale* genannt. Mit *negativ* werden alle oberflächennegativen Potentialverschiebungen über der Konvexität gegenüber den basalen Ohrableitungen bezeichnet. Die oberflächenpositiven Ablenkungen werden entsprechend *positiv* genannt: Die Potentialrichtung gilt also jeweils für eine über der betreffenden Hirnregion liegende Kopfhautelektrode an der Schädelkonvexität gegenüber der Schädelbasis an beiden Ohren (sog. „*unipolare*“ Ableitung).

23 Rechtshänder zeigten folgende mehrfach bestätigten Befunde der summierten Hirnpotentiale.

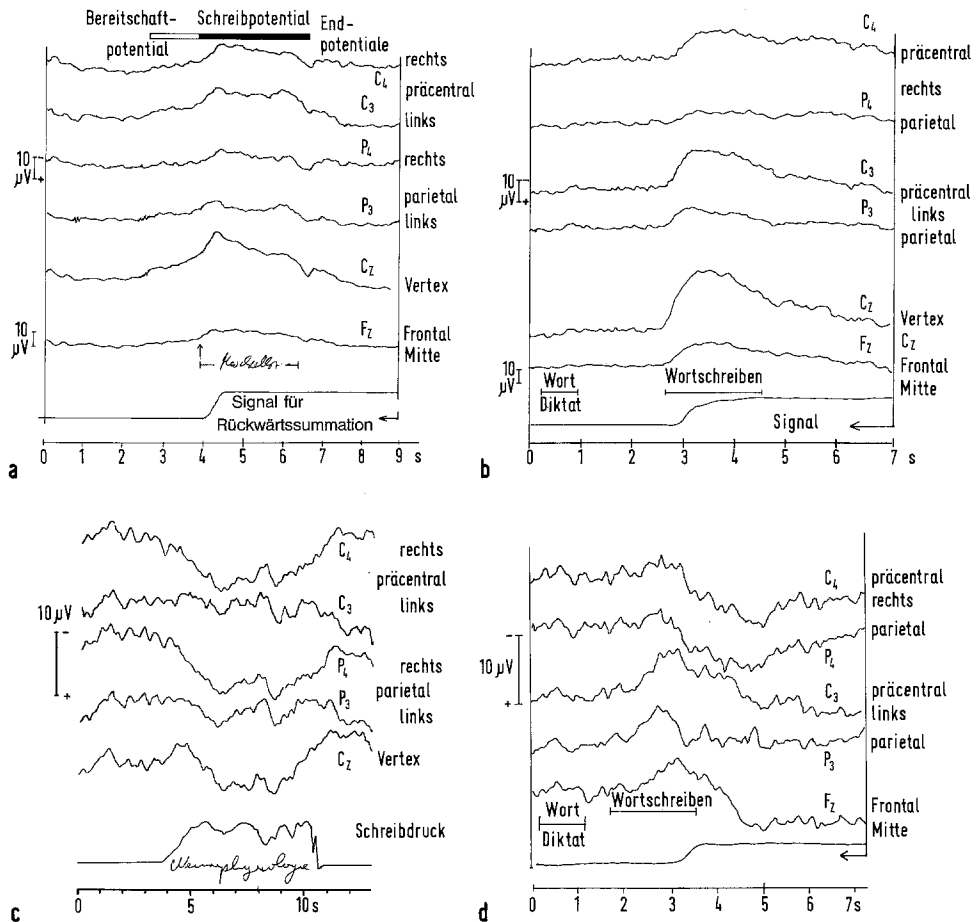


Abb. 2. Schreibpotentiale mit oberflächennegativem Plateau (**a, b**) und vorwiegend positivem Verlauf (**c, d**) beim wiederholten Schreiben gleicher Wörter (**a, c**) und Diktatschreiben (**b, d**). Rückwärtsanalysen von je 64 aufsummierten Durchgängen. (**a**) Namensschreiben rechts. Große negative Schreibpotentiale über allen Hirnregionen mit Linksüberwiegen. Das kleine negative Bereitschaftspotential vor dem Schreibakt ist vom größeren Schreibpotential abgrenzbar, das beim Aufsetzen des Stiftes beginnt und eine kleine positive Delle zeigt. Den höchsten Gipfel erreicht die Scheitelmittle (C_z , $24 \mu V$). Nach Schreibende entsteht ein kleines biphasisches Endpotential. (**b**) Diktatschreiben verschiedener Wörter rechts. Die negativen Schreibpotentiale beginnen nach kleiner negativer Vorwelle bei Hören der Diktatworte und erreichen am Vertex ($28 \mu V$, C_z) und präzentral links ($18 \mu V$, C_3) die höchsten Gipfel. Ein Linksüberwiegen ist präzentral und parietal deutlicher als beim Namensschreiben (**a**). **a** und **b**: 31-jähriger Rechtshänder (W.M. ♂) Exp. S 60/1 u. 5). (**c**) Testwortschreiben rechts. Beim 64mal wiederholten Schreiben „Neurophysiologie“ entspricht die Schreibdruckendzacke dem i-Punkt. Die kleine Anfangsnegativität sinkt beim Schreiben rechts mehr als links über $10 \mu V$ nach positiv ab bis unter das Mittelniveau. Nur die linke Präzentralregion bleibt leicht negativ. (**d**) Diktatschreiben verschiedener Wörter rechts. Bei ähnlicher Form der Schreibpotentiale rechts sind die ersten negativen Gipfel links präzentral und parietal um μV größer als in **c**, und die linken Hirnregionen behalten eine leichte Negativität. Das positive Tal reicht nur rechts weit unter das Mittelniveau. Auch die frontale Mitte zeigt nach anfänglicher Negativität später eine Positivität. **c** und **d**: 29-jähriger Rechtshänder (B.N. ♂) Exp. S 52/2 u. 3 und 63/1

Vorangehende negative Potentiale

Vor jedem willkürlich begonnenen Schreibakt wurde bei *allen* Versuchspersonen eine bilaterale, nach *negativ* gerichtete Verschiebung registriert, die etwa 1 s vor Schreibbeginn begann und dem *Bereitschaftspotential* [16] entsprach. Die größte Negativität zeigte die mittlere Scheitelektrode (C_2), meistens 5–8 μV . Selten hatte die präzentrale Elektrode (C_3) gegenüber der Schreibhand gleiche oder höhere Amplituden.

Schreibpotentiale mit wechselnder Polung

Während des spontanen Schreibens eines Wortes oder kurzen Satzes begann als Fortsetzung des Bereitschaftspotentials zunächst ein weiterer *negativer Anstieg*. Nach diesem konstant negativen Gipfel zeigten die Schreibpotentiale bei verschiedenen Probanden jedoch sehr unterschiedliche Polungen und Formen. Meistens blieb die Negativität nicht ein Plateau wie beim Zielbewegungspotential [8, 9], sondern in der Regel entstand nach dem ersten Gipfel ein Tal mit einer *positiv* gerichteten Phase, der mehrere biphasische nach negativ und positiv gerichtete Wellen verschiedener Größe folgten (Abb. 2 und 3). Der positive Abfall erreichte bei den meisten Versuchspersonen nicht die Grundlinie. Eine stärkere Positivität bis zum Mittelniveau oder darunter fand sich nur bei 3 Probanden (Abb. 2c, d). Die negativen Gipfel betrugen am Vertex 7–30 μV .

Hirnlokalisation

Die bilateral über der Convexität ableitbaren Schreibpotentiale zeigten die *größte Negativität* über der *Scheitelmittle* (Elektrode C_2). Etwas kleinere negative Gipfel fanden sich präzentral (C_3 , C_4), parietal (P_3 , P_4) und frontal (F_2). Links präzentral und meist auch parietal (kontralateral zur rechten Schreibhand) war die Negativität größer als rechts. Sonst waren die negativen Gipfel präzentral links und am Vertex auch vor tiefen positiven Tälern noch deutlich erkennbar (Abb. 2c, d).

Beim *Diktatschreiben* wurden Amplituden und Linksüberwiegen größer: Die Amplitudenmaxima der *Negativität* erreichten beim wiederholten Wortschreiben 5–20 μV , beim Diktatschreiben 8–30 μV . Bei lateralen Ableitungen von Rechtshändern war die anfängliche Negativität *präzentral links* (C_3 *kontralateral zur Schreibhand*) immer größer als präzentral rechts und parietal beiderseits (Abb. 6). Das Linksüberwiegen präzentral betrug 3–10 μV . Bei Wechsel der *schreibenden Hand nach links* zeigte die *rechte* Präzentralregion (C_4) zwar höhere Negativität, doch blieb C_3 (präzentral links) über der sprachdominanten Seite auch dann größer als C_4 , wie Abb. 4a zeigt. Das Linksüberwiegen C_3 gegen C_4 betrug beim Linksschreiben nur 1–5 μV (Abb. 6) oder war bei kleinen Schreibpotentialen nicht erkennbar. P_3 und P_4 zeigten beim Linksschreiben, aber nicht beim Rechtsschreiben, auch Rechtsüberwiegen (Abb. 6).

Bei *Linkshändern*, die rechts oder links schreiben, war das Überwiegen der Präzentralregion kontralateral zur Schreibhand weniger deutlich. Doch ist noch eine größere Anzahl von Linkshändern zu untersuchen, bevor Aussagen über Seitenlokalisation und Händigkeit zu machen sind.

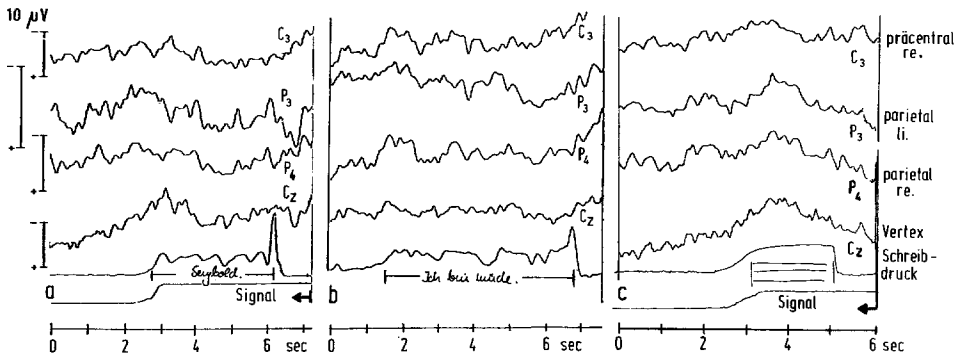


Abb. 3. Schreibpotentiale beim wiederholten Schreiben des gleichen Namens (a) und kurzen Satzes (b), verglichen mit Linienzeichnen (c). Je 32 Durchgänge mit summierten Rückwärtsanalysen 1 s nach Schreibdruckende. (a) Namensschreiben. Der erste negative Beginn des Bereitschaftspotentials mit Übergang in ein höheres Schreibpotential ist am deutlichsten in der Scheitelmittle (C_z). Dann folgt an allen Ableitungen ein Absinken nach positiv, und nach Schreibende erscheint parietal links und am Vertex eine kurze positive Welle als Endpotential. (b) Satzschreiben. Beim Schreiben des gleichen Satzes („Ich bin müde“) ist die Negativität etwa 500 ms nach Schreibbeginn am höchsten, dann dauernd leicht erhöht. Das längere negative Plateau bedingt wahrscheinlich auch die kleineren Schreibpotentiale am Scheitel. Geringe negative Gipfel bei jedem Wort sind nur angedeutet. Ein positives Tal unterschreitet nur links parietal das Mittelniveau mit folgenden negativem Anstieg aller Ableitungen. (c) Strichzeichnen. Beim Zeichnen einer Linie von links nach rechts beginnt das negative Bereitschaftspotential etwa 1 s vor dem Linienzeichnen. Die folgende höhere Negativität bleibt länger als beim Schreiben erhalten und wird erst am Ende positiv. Durch die von 2–2,8 s variierende Dauer des Linienzeichnens beginnen Schreibdruck und Triggersignal bei Rückwärtssummutation allmählich innerhalb 1 s. 23jährige Rechtshänderin (I.S. ♀) Exp. S 44/1–3

Endpotentiale

Nach dem Schreiben war die folgende erste Schwankung am Ende des Schreibpotentials häufiger negativ als positiv. Dieser Gegensatz zu dem konstanten positiv gerichteten Vollzugspotential nach Zielbewegung [8, 9, 12] schien von der verschiedenen Polungsrichtung der späteren Schreibpotentiale abhängig zu sein. In der Regel verlief das Endpotential biphasisch, so daß auch einem positiven Tal noch ein negativer Gipfel folgte (Abb. 2a), der in 1 s allmählich zur Mittellinie abfiel. Oft war die erste Welle bei Schreibende wie Abb. 2c umgekehrt zur vorangehenden Richtung, also nach einer positiven Welle nach negativ, nach einer negativen aber positiv gerichtet [15]. Nur ein Rechtshänder (A.W., Exp. S. 57) zeigte auch nach vorangehendem negativen Schreibpotential eine noch stärkere negative Endschwankung in allen Ableitungen, am stärksten in Scheitelmittle (C_z). Der folgende Abfall des oft negativen Endpotentials nach positiv zum Mittelniveau erfolgte meist langsam in etwa 1 s. Bei zu rascher Folge des Wort- oder Satzschreibens erschien dann schon eine negative Schwankung als Bereitschaftspotential des nächsten Schreibakts (Abb. 3a, b).

Schreibhandeffekt

Alle Rechtshänder zeigten beim Schreiben mit der rechten Hand größere negative Amplituden über der linken kontralateralen Präzentral- und Parietalregion

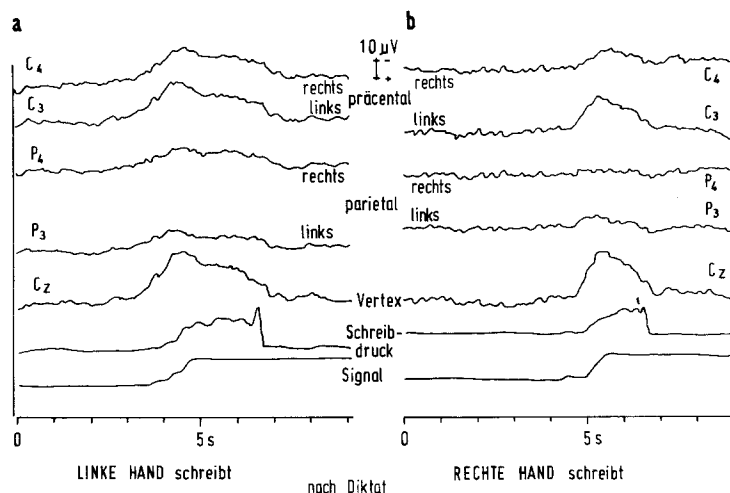


Abb. 4. Große negative Schreibpotentiale beim Diktatschreiben mit der linken und rechten Hand und konstantes Linksüberwiegen präzentral bei Sprachdominanz links. (a) Beim Diktatschreiben der 32 verschiedenen Wörter von 4 Buchstaben mit der ungeübten *linken* Hand ist das Schreibpotential links präzentral mit $20 \mu\text{V}$ größer als rechts ($15 \mu\text{V}$), obwohl kontralateral zur schreibenden Hand rechts präzentral eine höhere Negativität entsteht als mit der rechten Schreibhand (b). (b) Beim entsprechenden Diktatschreiben mit der Schreibhand *rechts* werden die Wörter schneller geschrieben als mit der linken Hand (a). Der negative Anstieg des Schreibpotentials *präzentral links* ist mehr als doppelt größer als rechts (C_3 , $19 \mu\text{V}$; C_4 , $9 \mu\text{V}$). Auch parietal ist das Linksüberwiegen deutlicher als in a. 31-jähriger Rechtshänder (W.M. ♂) Exp. S 53/7 u. 8

(C_3 , P_3) im Vergleich zu rechts (C_4 , P_4) (Abb. 2–4). Beim Diktatschreiben war dieses Linksüberwiegen wegen höherer Amplituden deutlicher und konstanter als beim Wortschreiben, das nach mehrfacher Wiederholung ein geringeres Linksüberwiegen zeigte. Nur in einem Fall war das Linksüberwiegen parietal größer als präzentral. Beim Schreiben mit der *linken Hand* fand sich immer rechts präzentral eine Vergrößerung der negativen Schreibpotentiale, doch blieben die Amplituden der linken Präzentralregion meist höher als rechts, während rechts parietal auch gleiche oder höhere Potentiale als links vorkamen. Eine Übersicht zeigt Abb. 6.

Beim *Linksschreiben* des Rechtshänders fanden sich größere Amplituden der linken Präzentralregion vorwiegend beim Diktatschreiben verschiedener Wörter (Abb. 4a und 6). Solche *ipsilateral zur Schreibhand* größeren Schreibpotentiale links überdecken offenbar den kontralateralen Schreibhandeffekt. Dieses von der Schreibhand unabhängige Linksüberwiegen ist wahrscheinlich Symptom einer größeren Aktivität der *sprachdominanten Hemisphäre*.

Für den Seitenvergleich der aufsummierten linken und rechten Ableitungen präzentral (C_3 und C_4) und parietal (P_3 und P_4) und für Korrelationen zur mittleren Scheitelektrode (C_z) wurden bei 10 Versuchspersonen genügend lange artefaktfreie Ableitungen von 32 bis 64 Durchgängen verwendet. Abbildungen 2–6 zeigen typische Beispiele mit Seitendifferenzen symmetrischer Ableitungen bei verschiedenen Aufgaben, die im Folgenden beschrieben werden.

1. Wiederholtes Schreiben des gleichen Wortes

Wenn dieselben Worte mit Pausen von 4–8 s geschrieben wurden, zeigten alle Probanden *vor* jedem Wortschreiben konstant ein oberflächennegativ gerichtetes Bereitschaftspotential, das etwa 1 s vor Aufsetzen des Schreibstiftes begann und in der Mittelung etwa $5\text{--}8\ \mu\text{V}$ Amplitude hatte. Diese erste Negativität stieg nach Schreibbeginn meistens weiter an. Die Amplituden der frühen negativen „Schreibpotentiale“ *während* des Schreibaktes waren immer größer als die Bereitschaftspotentiale und erreichten oft doppelte Amplituden, selten über $15\ \mu\text{V}$. Höhere negative Amplituden waren häufiger bei dem Testwort „Neurophysiologie“ als beim Namensschreiben. Ein großes, langdauerndes negatives Plateau während des 1–3 s dauernden Schreibaktes zeigten nur 3 Probanden (Abb. 2a). Die meisten hatten biphasische Abläufe mit kleineren negativen Gipfeln. Zwei Probanden zeigten eine Umkehrung der anfänglichen Negativität nach *positiv* unter das Mittelniveau (Abb. 2c). Ein deutlicher Seitenunterschied mit größeren negativen Potentialen über der linken Präzentralregion beim Rechtsschreiben war meistens vorhanden, aber bei kleinen Schreibpotentialen nicht immer signifikant. Bei oft wiederholtem Namensschreiben wurde das Linksüberwiegen geringer (Abb. 2a).

Ein Vergleich des Schreibens wiederholter gleicher Wörter mit dem Schreiben nach Diktat wurde nur bei 10 Versuchspersonen durchgeführt. Von diesen werden im Folgenden die Befunde bei 4 Rechtshändern genauer beschrieben.

2. Schreiben gleicher Sätze

Der kurze Satz „*Ich bin müde*“ zeigte anfangs ähnliche negative Bereitschafts- und Schreibpotentiale, die dann während des etwa 5 s dauernden Schreibens in mehrfache Wellen mit negativ-positiver Abfolge übergingen (Abb. 3b). Die negativen Amplituden zeigten beim Schreiben jedes Wortes kleine Gipfel und erreichten etwas geringere Höhen (bis zu $12\ \mu\text{V}$) als beim Schreiben einzelner Wörter. Eine genauere Analyse wurde zurückgestellt, bis mehr Vergleichsmaterial von frei geschriebenen und diktieren Sätzen vorliegt.

3. Diktatschreiben

Beim diktieren Schreiben *verschiedener gehörter Wörter* zeigten alle Probanden *größere negative Amplituden* der Schreibpotentiale als beim Schreiben des gleichen Wortes (Namen und Neurophysiologie). Auch die Potentialfelder symmetrischer bipolarer Ableitungen rechts und links waren beim Diktatschreiben deutlich verschieden. Diese Seitenunterschiede waren meistens präzentral am stärksten mit größeren negativen Amplituden links kontralateral zur Schreibhand (Abb. 2b, d).

II. Potentialfelder und bipolar gemittelte Ableitungen

Unsere bisherigen Untersuchungen mit 4–6 unipolaren Ableitungen gegen Ohr und 6 weiteren bipolaren Elektrodenkombinationen (quer zwischen den lateralen Elektroden links und rechts und von diesen zu den Mittelelektroden, seitlich in Längsrichtung präzentral-parietal links und rechts) lassen nur wenige all-

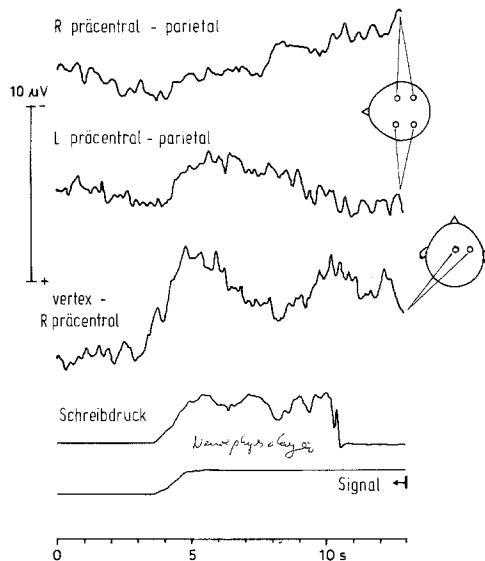


Abb. 5. Verschiedene Potentialfelder des linken und rechten Großhirns und der Bereitschafts- und Schreibpotentiale in bipolaren Ableitungen. Die zweite Längsableitung links präzentroparietal zeigt ein rein negatives *Schreibpotential* mit Beginn des Schreibaktes, da die linke präzentrale Elektrode C_3 höhere Negativität hat als P_3 , während sich das etwa gleichgroße Bereitschaftspotential präzentral und parietal bipolar aufhebt. Die dritte Querableitung zeigt ein frühes Bereitschaftspotential und ein folgendes Schreibpotential, denn in der Scheitelmittle (C_z) haben beide die größte Negativität und sind hier durch eine kleine positive Zacke getrennt (wahrscheinlich reafferentes evoked potential der Hand beim Stiftaufsetzen). Die oberste Längsableitung rechts präzentral-parietal zeigt eine Positivität, da das negative initiale Schreibpotential nur links präzentral deutlich ist und die anderen Elektroden C_4 , P_3 und P_4 kleine negative und große positive Potentiale gegen Ohr haben (vgl. Abb. 2c). 64 Rückwärtsanalysen von 13 s, beginnend 2,5 s nach Schreibdruckende bis 3,5 s vor dem willkürlich frei gewählten Schreibbeginn. 29jähriger Rechtshänder (B.N. ♂) Exp. S 52/2 u. 3

gemeingültige Aussagen zu. Denn nicht nur Amplitude und Form der Schreibpotentiale, sondern auch ihre Potentialfelder sind interindividuell verschieden. Doch ergab die Auswertung der Quer- und Längsableitungen rechts und links einige bemerkenswerte Seitenverschiedenheiten, die auf Abb. 5 dargestellt sind. Die Bereitschaftspotentiale erscheinen bipolar nur in Querrichtung gegen die mittlere Scheitelektrode, doch nicht in Längsrichtung, die aber verschiedene Felder der Schreibpotentiale erkennen läßt.

Seitendifferenzen links und rechts

Querableitungen zwischen symmetrischen Elektroden der linken und rechten Hemisphäre zeigen klar die Seitenunterschiede präzentral und parietal mit überwiegender Negativität links oder rechts. Alle Rechtshänder hatten beim *Rechtsschreiben* höhere Negativität links präzentral und parietal gegenüber rechts. Auch

beim *Linksschreiben* nach Diktat zeigten die wiederholt registrierten 4 Probanden mit großen negativen Amplituden ein Linksüberwiegen der sprachdominanten Seite wie in Abb. 4a. Die höhere Negativität ipsilateral zur linken Schreibhand war bei 2 Probanden präzentral und parietal, bei 2 anderen nur präzentral oder parietal, erkennbar. Bei Probanden mit kleinen Schreibpotentialen sind Seitendifferenzen von 2–3 μV unsicher und nur mit Formverschiedenheiten der Längsableitungen (Abb. 5 oben) auswertbar und signifikant. Die negativen Gipfel waren beim Rechtsschreiben von W.M. präzentral links 8–9 μV größer, beim Linksschreiben nur 2–5 μV präzentral und parietal 1–3 μV größer als an der gegenseitigen Region rechts, wie Abb. 6 zeigt. Bei Spiegelschrift links hatte dagegen nur die Präzentralregion ein Linksüberwiegen, die Parietalregion dagegen ein Rechtsüberwiegen (Abb. 6). Auch 2 Linkshänder zeigten ein Linksüberwiegen beim Links- und Rechtsschreiben. Doch sind wegen der kleinen Zahl von 7 untersuchten Linkshändern und ihren variablen Befunden hier noch keine Schlüsse auf linke oder rechte Sprachdominanz möglich.

Potentialfelder präzentral-parietal

Längsableitungen in sagittaler Richtung zwischen den präzentralen und parietalen Elektroden links und rechts (C_3 gegen P_3 und C_4 und P_4) zeigen noch eindrucksvollere Seitendifferenzen zwischen beiden Hemisphären als die Amplitudenvergleiche links und rechts. Da beim Schreiben der rechten Hand die linken präzentralen Elektroden in der Regel stärker negativ sind als parietal, ergab sich ein steiles linksseitiges negativ-positives Potentialgefälle links von den Elektroden C_3 zu P_3 . Dagegen zeigten die rechtsseitigen Längsableitungen von C_4 zu P_4 bei 3 Probanden ein überwiegend positives Potentialgefälle von präzentral zu parietal (Abb. 5). Diese entsprach meist einer höheren Negativität der präzentralen und parietalen Elektroden links und einer relativen Positivität der rechtsseitigen Ableitungen gegenüber links.

III. Kontrollversuche

Die folgenden Kontrollen wurden vorwiegend den 12 Experimenten mit W.M. entnommen, bei dem alle Schreib- und Zeichenaufgaben 1–8 links und rechts und Zielbewegungen registriert wurden. Abbildung 6 und Tabelle 1 zeigen einige vergleichende Ergebnisse.

A. Wortschreiben in der Luft

Um den Schreibvorgang ohne den Druckwiderstand der Unterlage und deren mögliche Reafferenz zu untersuchen, wurden die gleichen Wörter *frei* mit dem Finger in die Luft geschrieben. Das Luftschreiben wurde registriert mit einem Beschleunigungsaufnehmer und ergab bei W.M. gleichgroße negative Gipfel der Schreibpotentiale wie beim Schreiben mit dem Stift, bei B.N. etwas geringere positive Täler.

B. Intendiertes Diktatschreiben und Worterkennen

Um den peripher-motorischen Anteil des Schreibaktes beim Diktatschreiben auszuschalten, wurden 4 Kontrollversuche *ohne Schreiben* durchgeführt: Die Wörter mit 4 Buchstaben wurden wie beim Diktatschreiben dem Probanden zugerufen mit der Aufforderung, nur „in

Gedanken“ rechts zu schreiben, ohne die Hand zu bewegen. Die Vorwärtsanalyse nach dem Signal des gesprochenen Wortes zeigte kleinere primär negative Potentialverschiebungen mit geringerem Linksüberwiegen präzentral als beim ausgeführten Direktschreiben, aber etwa seitengleiche Amplituden parietal (Abb. 6).

In einem Versuch markierte der Proband zur Rückwärtsanalyse das gehörte Wort nach einer der Schreibdauer entsprechenden Latenz durch Fingerdruck, ohne Schreibbewegungen zu machen. Die negativen Potentiale waren etwa von gleicher Größe mit geringem Linksüberwiegen entsprechend einer verzögerten Bewegungsintention und der Erwartungswelle Walters [17] vor einer bedingten Bewegung.

C. Figurenzeichnen nach Diktat

Nach sprachlicher Aufforderung, verschiedene einfache *geometrische Figuren* (Dreieck, Viereck, Kreis, Kreuz, Rhombus usw.) zu zeichnen, fanden sich ähnliche große, nach Zeichenbeginn negative Potentialverschiebungen wie beim Diktatschreiben. Diese waren ebenfalls über den linken Präzentral- und Parietalregionen größer als rechts und wie die Schreibpotentiale am größten in Scheitelmittle (C_z).

Abbildung 6 gibt eine anschauliche Übersicht des Amplitudenvergleichs der wichtigsten Schreib- und Zeichenexperimente der linken und rechten Hand mit Sprachverarbeitung (Standardversuche und Kontrollen).

D. Figurenabzeichnen

Beim *Abzeichnen* nach visueller Exposition derselben geometrischen Figuren, die in (C) diktiert wurden, entstanden kleinere Hirnpotentialänderungen als beim Zeichnen nach sprachlichem Auftrag. W.M. und 3 andere Probanden mit vorwiegend negativen Schreibpotentialen hatten beim Abzeichnen nur geringe Negativität am Vertex, präzentral und parietal. Nach sehr kleinem oder fehlendem negativen Gipfel zeigten die summierten Hirnpotentiale geringe flache Wellen mit vorwiegend *positiver* Potentialverschiebung. Obwohl W.M. beim sprachinduzierten Zeichnen und allen anderen Aufgaben große negative Potentiale in allen Hirnregionen hatte (Abb. 6), wurde beim Abzeichnen die Parietalregion rechts bis zu 10 μ V positiv. Auch das bei allen anderen Aufgaben sehr große negative Vertexpotential erreichte beim Abzeichnen höchstens 5 μ V. Die frontale Mitte zeigte einmal höhere, bei anderen Versuchen nur sehr kleine Negativität. Diese andersartigen Befunde rein visueller Figurwahrnehmung bedürfen weiterer Kontrollen mit occipitalen Ableitungen.

E. Linienzeichnen

Waagerechte Linien in der Schreibrichtung von links nach rechts wurden zwischen zwei Senkrechten mit dem Schreibakt ähnlicher Zeitdauer (2–2,5 s) gezeichnet. Nach dem Bereitschaftspotential begann mit Einsetzen des Linienzeichnens ein längerer negativer Potentialanstieg, vorwiegend über der mittleren Scheitelektrode und weniger links präzentral und parietal (Abb. 3c). Doch entstand meist auch ein kleiner positiver Abfall an der Scheitelmittle (C_z). Sonst ähnelte die negative Potentialverschiebung mehr den Zielbewegungspotentialen [8, 9]. Nach Ende des Linienzeichnens zeigten die vorher negativen Potentialniveaus am Vertex, präzentral und parietal beiderseits eine *positive Schlußwelle*. Sie erschien aber etwa 400 ms später als bei Zielbewegungen mit Berühren des Zieles.

F. Schreibpotentiale und Zielbewegungspotentiale

Bei langsamen, willkürlichen *Zielbewegungen* von etwa gleicher Dauer wie der Schreibakt war der negative Potentialanstieg nach dem Bereitschaftspotential größer als beim wiederholten Schreiben des gleichen Wortes, aber meistens kleiner als beim Diktatschreiben. Das Vollzugspotential nach Berühren des Ziels war immer und in allen Ableitungen stark *positiv* [8, 12], nie negativ, wie oft nach Schreibende. Die Amplitude der positiven Welle unter dem Mittelniveau wird größer, wenn der Zielfehler angezeigt wird [8].

Tabelle 1. Amplituden in μV über den Hirnregionen links, rechts und Vertex bei Zielbewegungen und beim Schreiben und Zeichnen mit der rechten Hand: C_z Scheitelmittel, C₃ präzentral links, C₄ präzentral rechts, P₃ parietal links, P₄ parietal rechts bei W.M.

	C _z	C ₃	C ₄	P ₃	P ₄
Zielbewegung (μV)	20	15	12	15	10
Schreiben gleicher Wörter (μV)	19	16	9	8	3
Diktatschreiben (μV)	25	20	12	8	4
Diktatzeichnen (μV)	18	15	12	10	8

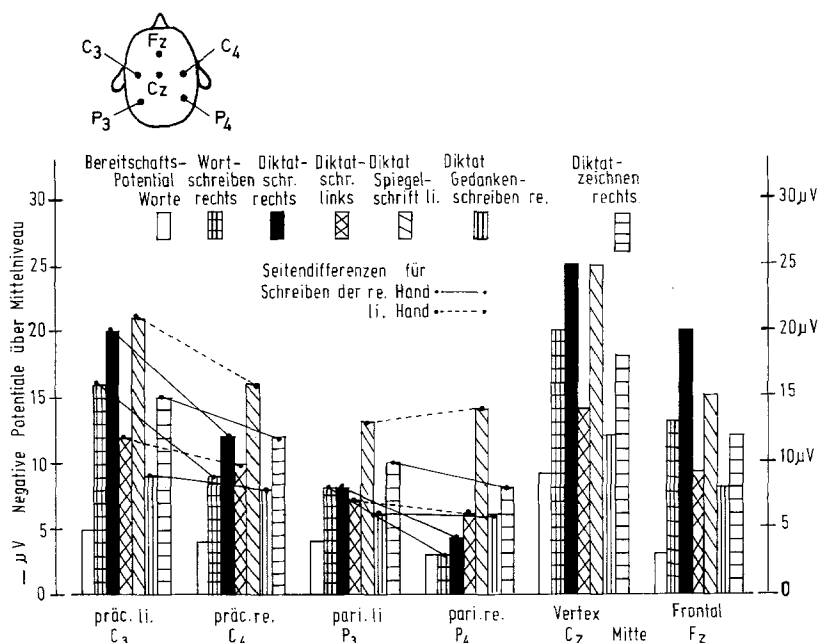


Abb. 6. Amplitudenmaxima der negativen Potentiale verschiedener Hirnregionen beim Schreiben und Zeichnen. Nach Aufsummierung von 32 oder 64 Durchgängen wurden die größten negativen Amplituden als μV über dem durchschnittlichen Potentialniveau bei dem 31-jährigen männlichen Probanden W.M. gemessen: Die Größen des Bereitschaftspotentials und der Schreib- und Zeichenpotentiale wurden den 5 besten Experimenten (S 47, 48, 53, 60 und 64) entnommen und so durch mehrfache Kontrollen bestätigt. Die Vergrößerung der Schreibpotentiale über der sprachdominanten linken Großhirnhemisphäre ist beim Rechtsschreiben am deutlichsten. Die Linien über den Säulen verbinden die Amplitudenwerte symmetrischer Ableitungspunkte über dem linken und rechten Großhirn. Die Steilheit des Abfalls nach rechts zeigt die Größenrelation des Linksüberwiegens beim Schreiben mit der rechten Schreibhand (—) und mit der ungeübten Hand (---)

Diese Kontrollversuche zeigen, daß eine größere Negativität über der *sprachdominanten* linken Hemisphäre bei Rechtshändern nicht nur Begleitsymptom des motorischen Schreibaktes selbst oder der Schreibdruckveränderungen ist. Vielmehr ergibt auch die intendierte *sprachliche Schreibverarbeitung* auch ohne motorische Schreibleistung und das *sprachlich* induzierte Figurenzeichnen ein solches Überwiegen langsamer negativer Potentiale über der sprachdominanten Hemisphäre und eine asymmetrische Potentialverteilung über beiden Großhirnhälften.

G. Vergleichende Übersicht der negativen Potentiale bei verschiedenen Aufgaben

Die negativen Maxima von Proband W.M. ergaben mit 32 und 64 Durchgängen bei *Ziel- und Schreibbewegungen* rechts die folgenden Werte der Tabelle 1. Auch bei Zielbewegungen rechts besteht ein Linksüberwiegen präzentral, das aber im Gegensatz zu den Schreibpotentialen beim Zeigen links zu einem Rechtsüberwiegen wird.

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der Schreib- und Zeichenversuche in graphischer Darstellung und mit frontalen Ableitungen beim Vergleich der rechten und linken Hand. Die sehr großen Schreibpotentiale des einen von uns (W.M.) machten die Amplitudendifferenzen zwischen links und rechts deutlicher und leicht ausmeßbar. Bei anderen Probanden mit kleinen Schreibpotentialen sind die Seitendifferenzen entsprechend, aber die Unterschiede von 1–4 μV zwischen links und rechts liegen mehr an der Variationsgrenze.

Zusammengefaßt ergeben sich die folgenden, für die Sprach- und Schreibfunktionen interessanten Befunde:

1. Die Schreibpotentiale zeigen bei demselben Probanden an verschiedenen Tagen und sogar bei verschiedenen Schreibleistungen *gleiche Formen und Polungen*. Form und Amplituden sind daher individuell charakteristisch ähnlich wie bei der Handschrift. Eine große *intraindividuelle Formkonstanz* steht also den vielen *interindividuellen* Formvarianten gegenüber.

2. Die Schreibpotentiale sind zunächst oberflächen-negativ mit folgenden positiv-biphasischen Abläufen. Die *vorangehenden Bereitschaftspotentiale* und die *folgenden Schreibpotentiale* sind in ihren Potentialfeldern zentroparietal unterscheidbar.

3. Beim *Diktatschreiben* verschiedener Wörter sind die negativen Schreibpotentiale größer als beim wiederholten Schreiben eines gleichen Wortes oder Satzes.

4. Bipolare Längsableitungen zwischen den Zentral- und Parietalregionen links und rechts zeigen bilateral unterschiedliche *Potentialfeldverteilungen*. Beim Rechtshänder überwiegen negative Schreibpotentiale des *linken* Großhirns.

5. Die größten Schreibpotentiale über der *sprachdominanten Hemisphäre* entstehen beim Schreiben gehörter oder gelesener Wörter mit der kontralateralen Schreibhand, d. h. beim Rechtshänder über dem linken Großhirn.

6. Die Lateralisierung der Schreibpotentiale wird sowohl durch die *Schreibhand* wie durch die *Sprachdominanz* des Großhirns beeinflusst. Doch kann auch beim Diktatschreiben mit der *linken* Hand beim Rechtshänder das sprachdominante *linke* Großhirn größere Schreibpotentiale zeigen.

7. Beim nur *intendierten*, aber motorisch nicht ausgeführten Schreiben nach Diktat, also bei der Sprachverarbeitung, kann ein Amplitudenüberwiegen der linken Hemisphäre erhalten bleiben.

Diskussion

Die Hirnpotentiale beim Schreiben sind wegen möglicher Beziehungen zur Sprachdominanz interessant, aber noch nicht systematisch untersucht worden. Bisher gibt es nur unsere Kurzmitteilung [15] und eine Arbeit über Bereitschaftspotentiale beim Schreiben mit verschiedener Handhaltung [1].

Das Schreiben ist eine über viele Jahre erlernte Fertigkeit, deren cerebrale Steuerung mit der Sprachdominanz und Händigkeit zusammenhängt. Die Schreibleistung links und rechts ist wie andere trainierte Bewegungsformen [13] übungsabhängig. Wir können die geübte Schreibhand mit der ungeübten Hand vergleichen und damit auch die Zusammenarbeit beider Großhirnhemisphären und den Einfluß der Händigkeit untersuchen [14].

Formvarianten der Schreibpotentiale

Wie die Handschrift individuell verschieden ist, so zeigen auch die Schreibpotentiale erhebliche interindividuelle Variationen der Amplitude und Polung [15]. Im Gegensatz zu den immer nach oberflächennegativ gerichteten Bereitschaftspotentialen [3, 16] und Zielbewegungspotentialen [8, 9], die auch bei Links- und Rechtshändigkeit sehr ähnlich sind [7], haben die Schreibpotentiale mehr biphasische und positive Komponenten. Schon Bashore und Mitarbeiter haben beim kurzen Wortschreiben einen positiven Abfall des Bereitschaftspotentials beschrieben [1]. *Nach* dem Schreibakt fanden wir sowohl positive wie negative Endpotentiale [15]. Wegen solcher Formvarianten wird eine Korrelation zur Händigkeit erst nach Untersuchung größerer Populationen möglich sein. Wir beschränken uns deshalb zunächst auf die Auswertung systematischer Experimente bei einzelnen repräsentativen Rechtshändern.

Individuelle Formkonstanz der Schreibpotentiale

Wenn derselbe Proband wiederholt untersucht wird, findet man fast die gleiche Form und Amplitude seines Schreibpotentials. Diese Formkonstanz bleibt auch bei verschiedenen Schreibleistungen erhalten. Abbildung 2a–d zeigt dies bei den zwei Aufgaben wiederholten Wortschreibens und Diktatschreibens von zwei Probanden. Auch wenn ein bis mehrere Monate zwischen den Untersuchungen liegen, bleiben Form und Amplitude der Schreibpotentiale im Zeitverlauf beim selben Individuum konstant. Trotz großer interindividueller Verschiedenheiten finden sich also nur geringe *intraindividuelle* Variationen der Hirnpotentialformen beim Schreiben. Die erstaunliche *Formkonstanz* der Schreibpotentiale erinnert an die persönliche Handschrift. Wenn das Schreibpotential ein Hirnkorrelat der Handschrift ist, kann es vielleicht als individuelle Eigenschaft objek-

tiv meßbar werden. Etwaige Beziehungen zu graphologischen Schriftmerkmalen sind noch nicht untersucht.

Sprachdominanz und Diktatschreiben

Nach unseren Ergebnissen entstehen beim *Diktatschreiben* verschiedener Wörter die größten Schreibpotentiale über dem Großhirn mit Linksüberwiegen der Amplituden (Abb. 2b, d, 4 und 6). Vorbedingung des Diktatschreibens ist eine akustische Sprachwahrnehmung für den Schreibentwurf *vor* dem Schreibakt. Diese *Sprachverarbeitung* nach Diktat ist offenbar eine Funktion der sprachdominanten Hemisphäre. Das gehörte Wort muß in ein gestaltetes Wortbild umgesetzt und auf den folgenden motorischen Schreibakt übertragen werden, der bei jedem Wort *verschieden* ist. Dagegen sind beim oft wiederholten Schreiben des *gleichen* Wortes oder Satzes die Handlungen mehr automatisiert und der Schreibentwurf bereits gegeben. Wahrscheinlich wird die sprachdominante linke Hemisphäre beim wiederholten Schreiben des gleichen Wortes nur ein erlerntes Bewegungsmuster überwachen. Daher kann bei wiederholtem und automatisiertem Namensschreiben das Linksüberwiegen geringer werden (Abb. 2a) als beim Diktatschreiben (Abb. 2b). Doch sieht man auch beim gleichartigen Wortschreiben sehr verschiedene Potentialfelder links und rechts (Abb. 5).

Die größeren Amplituden der Schreibpotentiale über der linken sprachdominanten Großhirnhälfte des rechtsschreibenden Rechtshänders werden beim Schreiben mit der linken Hand geringer, aber wechseln meist nicht zur rechten Seite (Abb. 4a). Offenbar überlagern sich die Einflüsse der Sprachdominanz und der Schreibhand.

Schreibhandeffekt und Sprachdominanz

Wenn der Rechtshänder mit der rechten Hand nach Diktat schreibt, ist das Linksüberwiegen der negativen Schreibpotentiale präzentral und parietal am größten und kann bis zu $10\ \mu\text{V}$ betragen (Abb. 2b, 4b und 6). Beim Schreiben mit der *linken Hand* wird das negative Potential über der kontralateralen rechten Präzentralregion größer und über der linken kleiner, daher auch das Linksüberwiegen geringer (Abb. 4a). Beim Linksschreiben zeigen dann manche Probanden nur noch über einer linksseitigen Hirnregion größere Schreibpotentiale als rechts. In diesen Fällen überdeckt der Schreibhandeffekt lokal den Einfluß der Sprachdominanz. Wenn das Linksüberwiegen auch unabhängig von der Schreibhand erkennbar bleibt, ist es als *spezifischer Effekt* der sprachdominanten Hemisphäre anzusehen. Dies zeigen die größeren Amplituden links präzentral beim Linksschreiben der Abb. 4a, b. Ein solches Linksüberwiegen ist aber bei kleinen negativen Schreibpotentialen schwer nachweisbar und kann allein auf die Anfangsnegativität oder auf einzelne Hirnregionen beschränkt sein. Personen mit ausgeprägten positiven Potentialanteilen behalten diese Positivität auch beim Diktatschreiben (Abb. 2d). Doch haben auch solche Probanden beim Linksschreiben meistens eine größere Negativität links präzentral oder parietal als rechts.

Daß eine *sprachlich-akustische Wortverarbeitung* in der sprachdominanten Großhirnseite die Hirnpotentiale links vergrößert, wurde durch die Kontrollversuche nachgewiesen: *Intendiertes Diktatschreiben* nach dem Worthören ohne Schreibhandbewegung und *Wortwahrnehmung ohne Schreibakt* bewirken zwar kleinere, aber auch links überwiegende Potentiale ähnlich wie beim Diktatschreiben (Abb. 6). Der Vergleich *sprachlicher und visueller Erkennung* beim Figurenzeichnen ergibt bei Sprachverarbeitung ebenfalls links größere Amplituden nach rechts. Das sprachlich-akustisch ausgelöste Figurenzeichnen nach Diktat bewirkt eine stärkeres Linksüberwiegen als das optisch-nicht sprachliche Abzeichnen der Figuren.

Schreiben, Zeichnen und Spiegelschrift

Weitere Kriterien für die Sprachdominanz und den Handeffekt bringen die Vergleiche von Schreiben und Zeichnen. Wie oben beschrieben, besteht ein deutlicheres Linksüberwiegen über der sprachdominanten Hemisphäre beim Figurenzeichnen nach Wortdiktat (Abb. 6 letzte Säule) als beim *Abzeichnen* derselben Figuren, das ohne sprachliche Verarbeitung sehr kleine oder positive Potentiale erzeugen kann. Wie diese andersartigen Links-Rechts-Differenzen beim Zeichnen zu beurteilen sind, bleibt noch offen.

Wenn der Proband links *Spiegelschrift* schreibt, was statt Normalschrift einer unbewußt erlernten gegenseitigen Bewegungskoordination entspricht [12, 14], kann auch, wie in Abb. 6, präzentrals Linksüberwiegen und parietales Rechtsüberwiegen vorkommen. Solche hirnlokalen Verschiedenheiten bei Schreiben und Zeichnen bedürfen noch einer Klärung durch weitere Experimente. Die wichtigste Kontrolle der Sprachdominanz ist der Vergleich der rechten mit der linken Hand. Ein bleibendes Linksüberwiegen der Schreib- und Zeichenpotentiale beim Linksschreiben und Linkszeichnen spricht für vermehrte Aktivität des linken Großhirns, obwohl sich diese oft nur auf die Präzentral- oder Parietalregion beschränkt.

Bereitschaftspotential und Schreibpotential

Vor jedem Schreibakt sieht man eine bilaterale kleine, negativ gerichtete Potentialverschiebung, die über dem Scheitel die höchsten Amplituden hat. Die entspricht dem *Bereitschaftspotential* Kornhubers und Deeckes vor einfachen Bewegungen [3, 16]. Beim Schreiben wird es kontralateral zur Schreibhand größer und geht in biphasische negativ-positive Potentialabläufe über (Abb. 2 und 3). Diese Schreibpotentiale sind zwar auch bilateral, aber zeigen schon im Beginn kontralateral zur Schreibhand größere, negativ gerichtete Potentialfelder als die Bereitschaftspotentiale. Die Feldverteilung ist über beiden Hemisphären verschieden. Solche unterschiedlichen Erregungsmuster über dem linken und rechten Großhirn erkennt man am deutlichsten beim Diktatschreiben und in bipolaren Ableitungen präzentro-parietal und in queren Ableitungen zur mittleren Scheitelektrode (Abb. 5).

Über der Mittellinie ist das Bereitschaftspotential meistens am größten, während die Schreibpotentiale auch lateral große Amplituden erreichen können.

Geeignete Ableitungskombinationen lateral von der Scheitelektrode können dann in bipolaren Differenzauswertungen von präzentral bis parietal ein reines Schreibpotential zeigen (Abb. 5 oben), wenn sich das an beiden Elektroden gleichgroße Bereitschaftspotential in dieser Ableitung aufhebt.

Potentialfelder und Potentialrichtung

Die Potentialfeldverteilung und ihre negativen und positiven Komponenten beim Schreiben sind wegen der zahlreichen dafür notwendigen Ableitungen über beiden Großhirnseiten und der individuellen Unterschiede zunächst noch schwierig zu untersuchen. Die wechselnden Felder und ihre Äquipotentiallinien auf der Schädeloberfläche hoffen wir durch weitere Untersuchungen mit 14 Ableitungskombinationen zu klären. Auch genauere zeitliche Differenzierungen von Kornhubers Bereitschaftspotential [16] und Walters Erwartungswelle [17] nach auslösenden Sinnesreizen müssen noch durch Vorwärts- und Rückwärtsanalysen an einer größeren Zahl von Probanden untersucht werden.

Die Bedeutung der negativen und positiven Potentialrichtungen gegen die basalen Ohrableitungen muß bei der stark gefalteten Hirnrinde des Menschen offenbleiben; denn je nach Lage eines oberflächennegativen Dipols in der Windungsoberfläche oder in der Furchentiefe kann ein negatives oder positives Potential auf der Schädeloberfläche resultieren. Die tief medial an der Falx liegenden parasagittalen Rindenregionen können eine geringere Negativität auf der Schädeloberfläche erzeugen: Bei Fußbewegungen findet man contralateral kleinere negative Bereitschaftspotentiale [2]. Ferner sind bei tonischem Halten auch *positive* Potentiale beschrieben [10]. Die Ursache der individuell verschiedenen Schreibpotentiale mit vorwiegender Negativität oder Positivität (Abb. 2) bleibt noch ungeklärt.

Ob die Schreibpotentiale bessere Hinweise auf die Sprachdominanz der Großhirnseiten bringen werden als die Hirnpotentiale beim Sprechen [4–6], wird sich später zeigen. Wir brauchen dafür mehr vergleichende Untersuchungen von Rechts- und Linkshändern und genauere Analysen der Potentialfelder über der rechten und linken Hemisphäre, die jetzt in Arbeit sind.

Unsere Befunde über bisher unbekannte Seitenverschiedenheiten der Großhirnpotentiale beim Schreiben mit akustischer und visueller Sprachverarbeitung sollen dazu anregen, die cerebrale Wechselwirkung von Schreibhandeffekt, Händigkeit und Sprachdominanz weiter zu untersuchen.

Danksagung. Herrn Ing. B. Natsch danken wir für seine Verbesserung der Schreibdruckregistrierung und experimentelle Hilfe, Herrn Ing. H. Kapp und Herrn G. Brenneisen für ihre wirksame technische Beratung. Die Untersuchungen wurden durch den *Sonderforschungsbereich 70* (Hirnforschung und Sinnesphysiologie) unterstützt.

Literatur

1. Bashore R, McCarthy G, Heffley III EF, Clapman RM, Donchin E (1982) Is handwriting posture associated with differences in motor control? An analysis of asymmetries in the readiness potential. *Neuropsychologia* 20 : 327–346

2. Brunia CHM (1980) What is wrong with legs in motor preparation? In: Kornhuber HH, Deecke L (eds) *Progress in brain research*, vol 54. Elsevier North-Holland, Amsterdam New York Oxford, pp 491-495
3. Deecke L, Kornhuber HH (1978) An electrical sign of participation of the mesial 'supplementary' motor cortex in human voluntary finger movement. *Brain Res* 159 : 473-476
4. Grözinger B, Kornhuber HH, Kriebel J (1975) Methodological problems in the investigation of cerebral potentials preceding speech: Determinating the onset and suppressing artifacts caused by speech. *Neuropsychologia* 13 : 263-270
5. Grözinger B, Kornhuber HH, Kriebel J, Murata K (1972) Menschliche Hirnpotentiale vor dem Sprechen. *Pflügers Arch* 332 [Suppl] : R100
6. Grözinger B, Kornhuber HH, Kriebel J, Szirtes J, Westphal KTP (1980) The Bereitschaftspotential preceding the act of speaking. Also an analysis of artifacts. In: Kornhuber HH, Deecke L (eds) *Progress in brain research*, vol 54. Elsevier North-Holland, Amsterdam New York Oxford, pp 798-804
7. Grünewald G, Grünewald-Zuberbier E, Hömberg V, Netz J (1979) Cerebral potentials during smooth goal-directed hand movements in right-handed and left-handed subjects. *Pflügers Arch* 381 : 39-46
8. Grünewald-Zuberbier E, Grünewald G (1978) Goal-directed movement potentials of human cerebral cortex. *Exp Brain Res* 33 : 135-137
9. Grünewald-Zuberbier E, Grünewald G, Jung R (1978) Slow potentials of the human precentral and parietal cortex during goal-directed movements (Zielbewegungspotentiale). *J Physiol* 284 : 181-182 P
10. Grünewald-Zuberbier E, Grünewald G, Schuhmacher H, Wehler A (1980) Scalp recorded slow potential shifts during isometric ramp and hold contractions in human subjects. *Pflügers Arch* 389 : 55-60
11. Jasper HH (1958) The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroen Clin Neurophysiol* 10 : 371-375
12. Jung R (1981) Perception and action. In: Szentágothai J, Palkovits M, Hámosi J (eds) *Regulatory functions of the CNS. Motion and organization principles*. *Adv Physiol Sci*, vol 1. Pergamon Press, New York; Akadémia Kiadó, Budapest, pp 17-36
13. Jung R, Dietz V (1976) Übung und Seitendominanz der menschlichen Willkürmotorik: Zur Programmierung der Stoß- und Wurfbewegung im Rechts-Linksvergleich. *Arch Psychiatr Nervenkr* 222 : 87-116
14. Jung R, Fach C (1983) Spiegelschrift und Umkehrschrift bei Linkshändern und Rechtshändern: Ein Beitrag zum Balkentransfer und Umkehrlernen. In: Spillmann L, Wooten B (Hrsg) *Sensory Experience, adaptation, and perception*. *Festschrift für Ivo Kohler*. Erlbaum, Hillsdale/USA, pp 377-399
15. Jung R, Hufschmidt A, Natsch B (1982) Slow brain potential shifts in writing man. *Pflügers Arch* 394 [Suppl] : R 55
16. Kornhuber HH, Deecke L (1965) Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflügers Arch ges Physiol* 284 : 1-17
17. Walter WG (1964) Slow potential waves in the human brain associated with expectancy, attention and decision. *Arch Psychiatr Nervenkr* 206 : 309-322

Eingegangen am 4. November 1982