

Experimente über mnestiche Entropie bei Gesunden und Hirnkranken

A. E. ADAMS

Neurologische Klinik Köln-Merheim (Direktor: Prof. Dr. K. J. Zülch)

Eingegangen am 20. Januar 1971

Memory Entropy in Normal Persons and Patients with Memory Deficits

Summary. Fifteen normal subjects (Ss) and 15 selected patients with memory deficits were examined with the aid of a modified Shannon Guessing Test. Verbal transitive inventories were used as data to serve as an information-theory model of text-entropy and forgetting. Equal numbers of text-words were guessed only once at certain times by different participants or guessed repeatedly by the same participant.

Normal Ss organize the learning material in the following way: Material with a high information value is more difficult to be stored immediately; it is therefore repeated more and in the end learned better than material with low information value.

Memory impairment comes about not only through a loss of retention but also through a change in the ability to perceive learning material. This change interferes with learning brought about by practising repeated reproductions. This experimental presentation of "organization" and "change of ability" defines some earlier views in "Gestalt-psychology" more precisely. The entropy profile of learning matter determines not only the time and the motivations necessary for perception, but also the stability of memory. Forgetting is thought of as a necessary condition for learning, relearning, and adaptation.

Key-Words: Memory and Forgetting — Memory Deficit — Guessing Test — Information Theory.

Zusammenfassung. 15 Gesunde und 15 ausgewählte Patienten mit mnesticher Leistungsschwäche wurden mit einer modifizierten Ratetechnik nach Shannon untersucht. Verbale transitive Inventare dienten zur informationstheoretischen Darstellung von Text-Entropie und Vergessen.

Gleiche Textwörter-Mengen wurden zu bestimmten Zeiten entweder von verschiedenen Probanden nur je einmal, oder von jeweils gleichen Probanden wiederholt erraten.

Gesunde organisieren das Material: hohe Informationsbeträge werden unmittelbar schwerer behalten, daher mehr wiederholt und so durch Übung besser gelernt als informationsarme Angebote.

Mnestiche Leistungsschwäche ist nicht nur ein Ausfall des Behaltens, sondern ein Leistungswandel des Auffassens. Dieser behindert das Lernen als Übungseffekt wiederholter Reproduktionen. Diese experimentelle Darstellung von „Organisation“ und „Leistungswandel“ präzisiert frühere gestaltpsychologische Anschauungen.

Das Vergessen ist nicht einfach mit einem Verschwinden zuvor gewußter Informationsmengen gleichzusetzen. Das Entropieprofil des zu merkenden Materials bestimmt neben der Zeit und den Motivationen des Auffassens auch die mnestiche Stabilität. Das Vergessen wird als eine Bedingung des Lernens, Umlernens, und Anpassens aufgefaßt.

Schlüsselwörter: Gedächtnis und Vergessen — Mnestiche Leistungsschwäche — Ratetest — Informationstheorie.

Einleitung und Fragestellung

Die klinischen Einschätzungen mnesticher Leistungen gehen meist von beliebig gewählten, wenig definierten Mengen- und Zeitverhältnissen zwischen Angebot (Testmaterial, Wahrnehmung, Erlebnis) und Reproduktion aus. Dabei gilt „Gedächtnis“ als Substantivierung und Postulat einer einheitlichen Hirnfunktion. Dem steht im wesentlichen folgendes entgegen:

1. Das menschliche Gedächtnis resultiert aus unterschiedlichen Hirnfunktionen als ein Aggregat von Leistungserfolgen, die durch pauschale Feststellungen eines Behaltensschwunds nicht einwandfrei meßbar werden.
2. Die quantitativen Leistungen dieses mnesticen Systems variieren zwar selektiv mit angebotenen Informationswerten, aber die „Inhalte des Gedächtnisses“ haben wie die Erinnerungen eine subjektive Eigenbeziehung, die in nicht experimentell begrenzten Situationen kaum zu kontrollieren ist.
3. Das Behalten ist nicht an Eindrücke von Affekten wahrgenommener Gegenstände oder Ereignisse gebunden. Emotionen, Gedanken, Vorstellungen und irrealen Phantasien sind oft mnestic stabil als gemerkte Tatsachen aus der Sachwelt.
4. Nach früheren Auffassungen und neueren Ergebnissen zwingt nichts zur Annahme endgültiger mnesticher Bestandsverluste durch Schwund oder „Vergessen“.
5. Es ist unvereinbar mit dem alten Konzept einer Lernzeit als Maß für Arbeitsaufwand und einer Vergessenszeit als Kennlinie mnesticher Stabilität (H. Ebbinghaus, 1885), wenn aus vielen wahrgenommenen Eindrücken („Engrammen“) plötzlich ein wichtiges Resultat erkannt wird: Zeitaufwand und „Spuren“-Menge würden dann zwar die Dauer dieses Lernens bestimmen, nicht jedoch die effektive mnestiche Leistung.
6. Oft geübte Tätigkeiten können zu nicht erinnerten Gewohnheitshandlungen und gängige Überlegungen zu bewußtseinsfernen Denkschablonen werden. Plötzlich auftauchende Erinnerungen sind dagegen in ihrer mnesticen Prägnanz meist unabhängig von der Vergessensdauer.

Angebot und Reproduktion können heute mit informationstheoretischen Mitteln genauer definiert und miteinander verglichen werden. *Information*, völlig abstrakt und mathematisch vom Kehrwert der Wahrscheinlichkeit als Grad von Seltenheit oder Neuigkeit ableitbar, ist

nichts anderes als der meßbare kognitive Strukturgehalt von Signalen, die ein Individuum aufnimmt oder abgibt. Es ist mathematisch begründbar und leuchtet unmittelbar ein, daß (physikalisch oder biologisch) endliche Systeme Gehalte an kognitiver Struktur haben, die nur endliche Werte annehmen können und von denen andererseits (ohne geänderte Nebenbedingungen) auch nichts verloren gehen sollte.

Man gewinnt Aufschlüsse über eine vollständige mnestische Leistungsstruktur nur dann, wenn auch der nicht explizit reproduzierte Rest des wahrgenommenen Angebots untersucht wird. Ein Ansatz zur Untersuchung des „Vergessens“ oder „Behaltensschwunds“ war die Aufgabe der folgenden Experimente, die durch Ergebnisse bei 15 Gesunden und 15 ausgewählten Patienten mit mnestischer Leistungsschwäche dargestellt werden.

Methodik

C. E. Shannon (1951) hatte mit seiner „Ratespiel-Technik“ die ersten Untersuchungen über statistische sequentielle Zusammenhänge zwischen Gedächtnis und Sprachsignalen durchgeführt. Wer eine Sprache spricht, beherrscht implizit eine große Anzahl verbaler Folgewahrscheinlichkeiten, die eine Rekonstruktion mnestischer Dispositionen erleichtern. Umgekehrt bewirkt „mnestische Disposition“ bei einer unvollständigen interpretierbaren Signalfolge bestimmte Fortsetzungserwartungen aufgrund ihres schon interpretierten Anteils. Gegenüber späteren Varianten dieses Konzepts (I. Pollack, 1952, 1953; N. G. Burton u. J. C. R. Licklider, 1955) stützen wir uns auf die ursprüngliche Methode, die zur klinischen Anwendung modifiziert werden konnte.

Zur Darstellung mnestischer Leistungen dienten sprachliche Signalfunktionen aus transitiven Inventaren, die sich aus dem aktiven Idiolekt der Versuchspersonen und dem passiven Idiolekt des Versuchsmaterials zusammensetzten. Idiolekt heißt mathematisch die Menge der jeweils verfügbaren Zeichen und Zeichenfunktionen. Als transitive Inventare dienten Texte (aus je 30 Wörtern) in denen jedes Wort nur einmal vorkam und die den Versuchspersonen (Vp) oder Patienten (Pat) zuvor nicht bekannt waren. Beispiele:

a) Kolumbus (1) suchte (2) den (3) kürzesten (4) Weg (5) nach (6) Indien (7). Er (8) fand (9) Amerika (10). Heute (11) sind (12) die (13) leeren (14) Flecken (15) von (16) unseren (17) Landkarten (18) verschwunden (19). Wir (20) kennen (21) alle (22) Kontinente (23) der (24) Welt (25). Sie (26) ist (27) sehr (28) klein (29) geworden (30).

c) Oft (1) fahren (2) mehrere (3) Leute (4) mit (5) zwei (6) Autos (7) in (8) Urlaub (9). Unterwegs (10) möchten (11) sie (12) Verbindung (13) halten (14). Dies (15) endet (16) durch (17) rasches (18) Überholen (19) leicht (20) mit (21) einem (22) Unfall (23). Es (24) wäre (25) deshalb (26) besser (27), getrennt (28) zu (29) reisen (30).

Ein solcher Text (ohne Wortnumerierung) wurde dem jeweiligen Probanden ohne jede Instruktion über den Zweck der Prüfung vorgelegt mit der Aufforderung, ihn „einmal laut und aufmerksam“ vorzulesen.

Prinzip des Rateversuchs: Jeder Proband sollte später zunächst den Buchstaben aufschreiben, mit dem nach seiner Meinung der gelesene Text beginnt. War dies der richtige Buchstabe, so mußte der zweite Buchstabe (usw.) aufgeschrieben werden. Andernfalls war der erste (bzw. zweite) Buchstabe (usw.) bis zum jeweiligen Erfolg weiter zu erraten. Die arithmetischen Mittel der zum „richtigen“ Wort führenden Zahlen von Ratevorgängen wurden über der Textfolge (Wörter Nr. 1–30) abgetragen.

Für dieses Abrufen (Raten) des Textes waren geeignete zeitliche Abstände zum vorausgegangenen Lesen bestimmt: 25 sec, 2 Std, 10 Std, 50 Std, 10 Tage. Diese Prüfungsintervalle (z) folgen einer um den Faktor 1,61 versetzten Skala der Funktion e^z ($e = 2,718$, Basis des natürlichen Logarithmus) zur Vermeidung willkürlicher Festlegung. Zum Abrufen dienten zwei Verfahren:

1. Der gleiche Text wurde von *verschiedenen* Probanden nur je *einmal* zu unterschiedlichen Zeiten (z) erraten (einmalige zeitabhängige Reproduktion: „Erinnern“).
2. Der gleiche Text wurde jeweils von *gleichen* Probanden zu den Zeiten (z) *wiederholt* erraten (wiederholte übungsabhängige Reproduktion: „Lernen“).

Die informationstheoretische Formulierung der Ergebnisse gründet sich auf das Klassen-Inventar eines Alphabets von 29 Buchstaben. In den Texten hat jede Buchstabenposition k eine Fortsetzungshäufigkeit $p^{(k)}(i)$. Diese kann zunächst pauschal als idiolektbezogene Übergangswahrscheinlichkeit aufgefaßt werden und zur Berechnung einer *rechtläufigen idiolektbezogenen Übergangsentropie* $H^{(k)}$ der Position k bezüglich des jeweils vorausgegangenen Rumpf-Textes führen:

$$H = - \sum_i^{29} p_i {}^2 \log p_i. \quad (1)$$

(p_i steht für die relative Häufigkeit jeder Buchstabenposition. Genaue Erläuterungen dieser Formel: F. Attneave, 1959; H.-J. Flechtner, 1967; W. Meyer-Eppler, 1969; A. E. Adams, 1971.) Die Auswertung der Ergebnisse berücksichtigte aber den Einwand, daß diese grundsätzliche „Shannon-Wiener-Formel“ nur bedingt auf geratene Buchstabensequenzen anwendbar ist: diese sind numerisch nicht-ergodisch, das Raten kann um so genauer werden, je mehr Buchstaben gefunden sind.

Bei den 15 Patienten mit „mnestischer Leistungsschwäche“ (A. E. Adams, 1971) handelte es sich klinisch um: Encephalitis (2), Hirnkontusion (4), Hirntumor (3), cerebrovasculäre Insuffizienz (6). Alter: 15–62 Jahre. Die Vp waren im Alter von 23–58 Jahren.

Ergebnisse

I. Einmalige zeitabhängige Reproduktion (Abb. 1)

Die über der Textfolge abgetragenen arithmetischen Mittel aller Rateversuche bilden eine Anschauung (wären in logarithmischer Form als idiolektbezogene Informationswerte $H^{(k)}$ eine exakte Darstellung) der rechtläufigen idiolektbezogenen *Entropieprofile* mit Auskünften über

die positionelle Verteilung der Informationsgehalte. Diese Profilierung zwischen den extremen Wortpositionen:

—suchte (2) kürzesten (4) heute (11)	Viele Rateversuche.
leeren (13) kennen (21) Kontinente (23)	Geringe sequentielle
klein (29)	Wort-Wahrscheinlichkeit

und dem größeren Texthintergrund:

Kolumbus — den — Weg nach Indien.	Wenige Rateversuche.
Er fand Amerika. — sind die — Flecken von	Große sequentielle
unseren Landkarten verschwunden. Wir —	Wort-Wahrscheinlichkeit
alle — der Welt. Sie ist sehr — geworden.	

nahm bei Gesunden (Vp) rein zeitabhängig bis $z = 10$ Std zu und blieb dann weitgehend konstant.

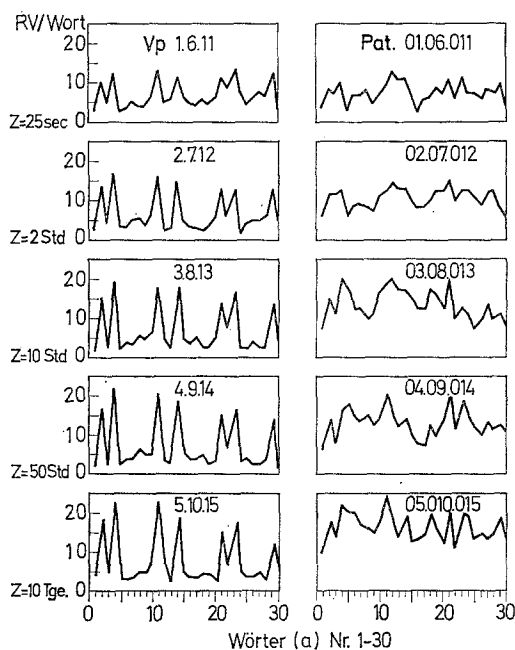


Abb.1. *Einmalige zeitabhängige Reproduktion.* Über der Wortsequenz abgetragene arithmetische Mittel der notwendigen Rateversuche (RV) pro Wort. Jeder Proband (Vp 1—15 und Pat. 01—015) erriet den Text (a) nur einmal zu den jeweils unterschiedlichen Zeiten (z)

Jedes geschlossene oder endliche (technische, biologische) System tendiert von selbst nach einem Zustand, der wahrscheinlicher (ungeordneter) ist als der jeweils momentane (geordnete) Zustand: Seine *Entropie* nimmt zu (entsprechend dem

zweiten Hauptsatz der Thermodynamik). Große (sequentielle Wort-)Wahrscheinlichkeit oder Entropie enthält wenig Ordnung. Ordnung ist nach ihrem Wesen Mangel an Geläufigkeit, wenig wahrscheinlich, selten, überraschend oder (anders ausgedrückt): informativ. Information durch Ordnung oder kognitive Struktur ist als Gegensatz von Entropie, nämlich als *Negentropie* meßbar. Dies ist der Sinn von Formel (1).

Die oft geratenen, meist „vergessenen“ oder „schwer gemerkten“ Wortpositionen bilden in den Profilen eine *obere Grenze* von Informationsbeträgen. Diese lassen sich nach einer von C. E. Shannon angegebenen, auf Schätzungen beruhenden Formel ausdrücken als statistisch maximaler Informationsgehalt (ab $z = 10$ Std bei Vp):

$$H_{\max} = \sum_i^{29} \hat{p}_i^N \log \frac{1}{\hat{p}_i} \approx 4,52 \text{ bt/Wort} \quad (2)$$

\hat{p}_i heißt: wieviele Male i Vermutungen auftraten, um den N -ten Buchstaben einer Sequenz richtig zu raten.)

Das numerisch nicht-ergodische Rateprinzip führt zur weiteren Annahme einer *unteren Grenzformel* (C. E. Shannon), die dagegen (ab $z = 10$ Std bei Vp) folgende Werte annimmt:

$$H_{\min} = \sum_i^{29} (\hat{p}_i - \hat{p}_{i+1})^N i \log i \approx 1,46 \text{ bt Wort} . \quad (3)$$

Diese Formeln sollen nur das Prinzip der Auswertung begründen. Sie symbolisieren nichts anderes als Schätzungen. Zur klinischen Anwendung von Rateversuchen kann man sie entbehren. Die Anzahl der Informationseinheiten „Bit“ (bt) ist gleich dem dyadischen Logarithmus der Anzahl gleich wahrscheinlicher, wie auch immer beschaffener Alternativen.

Gegen eine exakte Realisation der Formel (3) gibt es Einwände (F. Attneave, 1959), die jedoch bei unseren Untersuchungen nicht ins Gewicht fallen. Wesentlich ist folgendes:

Die Entropieprofile bei mnestischer Leistungsschwäche (Pat) sind denen bei Gesunden (Vp) kaum ähnlich. Sie sind von vornherein durch höhere und vermehrt streuende Ratezahlen weniger ausgeprägt. Ihre statistischen Informationsgehalte betragen

$$H_{\max} \approx 2,95 \text{ bt/Wort} \text{ und } H_{\min} \approx 1,48 \text{ bt/Wort} .$$

Die Patienten behalten (auch unter anderen Versuchsbedingungen: A. E. Adams, 1971) wie die Gesunden am besten ein informationsarmes Material.

Bei Gesunden zeigt sich unter diesen verbalen Bedingungen schon im „unmittelbaren Behalten“ ($z = 25$ sec bis $z = 2$ Std) eine Organisation (Profilierung) des Materials:

1. in unmittelbar „vergessene“ Positionen der oberen Grenze mit statistisch hoher Negentropie (Information), die empirisch eine explizit

genaue Definition des Textinhalts (ohne Rücksicht auf wortgetreue Wiedergabe des übrigen Texthintergrundes) möglich machen würden,

2. in unmittelbar leicht behaltene Positionen dieses Texthintergrundes mit höherer statistischer Entropie und weniger Information, dessen Rekonstruktion (mit zufällig passenden Wörtern) den Sachverhalt empirisch nur ungefähr treffen würde.

Normalerweise erfassen, denken und erinnern wir offenbar nach dem Motto des geringsten Widerstandes in persönlich gewohnten oder allgemein geläufigen Bereichen. Wer einen Lehrsatz der Mathematik oder etwa eine politische Doktrin aus dem Gedächtnis mit Worten reproduzieren kann, braucht diese Sachverhalte zunächst noch nicht mathematisch bzw. rational verstanden zu haben.

Daraus folgt: „Vergessen“ wird normalerweise von einem persönlich neutralen, untrainierten Material nicht durch zufälligen oder nur individuell bedingten Schwund im Laufe der Zeit. Vergessen (und Behalten) hängen vom Entropieprofil des aufgenommenen Materials ab. Deshalb dürften die Störungen bei mnestischer Leistungsschwäche auch in der Aufnahme des Materials zu suchen sein und nicht nur bei dessen Speicherung oder Reproduktion. Trifft dies tatsächlich zu, so wären durch wiederholte Materialaufnahmen (Übung, Lernen) größere Unterschiede zwischen den mnestischen Leistungen Gesunder und Kranker zu erwarten.

II. Wiederholte übungsabhängige Reproduktion. (Abb. 2)

Die vermuteten größeren Unterschiede stellten sich dar. Bei Patienten handelte es sich wieder um große Streuungen und Ratezahlen in allen Profilen, die im Laufe der Wiederholungen kaum eine Zunahme irgend einer Ordnung erkennen ließen und deren durchschnittliche statistische Informationsbeträge (von $z = 25$ sec bis $z = 10$ Tagen) mit

$$H_{\max} \approx 3,05 \text{ bt/Wort} \quad \text{und} \quad H_{\min} \approx 1,37 \text{ bt/Wort}$$

berechnet wurden.

Dagegen zeigte sich bei den Vp eine schon anfangs klare Profilierung oft geratener Wortpositionen (-3-6-13-16-19-26-28-) der oberen Grenze gegenüber dem rasch gemerkten Rest als Texthintergrund. Dieser wurde bei den Wiederholungen ab $z = 2$ Std mit durchschnittlich 2–3 Rateversuchen dargestellt. Ab $z = 50$ Std kehrte sich das Profil insofern um, als die bis dahin am meisten geratenen oberen Grenzpositionen nun im Mittel weniger als alles andere geraten wurden (1–2 Versuche).

Daraus folgt: die mit dieser Technik untersuchten Patienten mit mnestischer Leistungsschwäche erzielten auch durch wiederholte Reproduktionen keinen wesentlichen, positiven Übungseffekt oder Lerngewinn am vorausgegangenen Erfolgsmaterial. Sie zeigten andererseits keine nur zeitabhängig zunehmenden Vergessensraten. Die zunächst

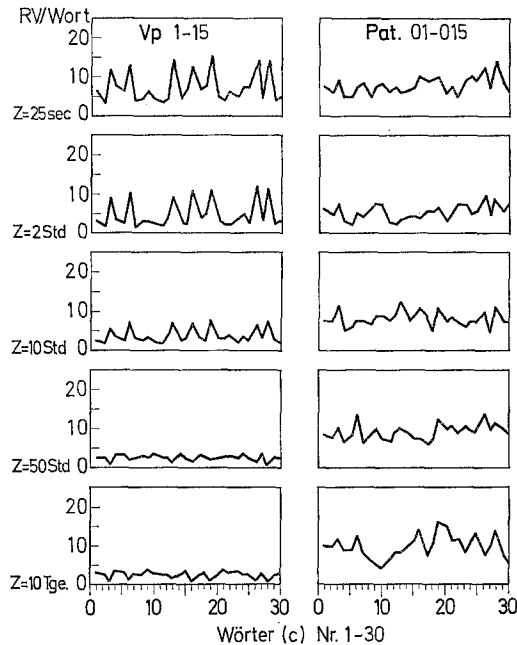


Abb. 2. *Wiederholte übungsabhängige Reproduktion.* Über der Wortsequenz abgetragene arithmetische Mittel der notwendigen Rateversuche (*RV*) pro Wort. Ein Text (c) wurde vom jeweils gleichen Probanden (Vp 1—15 und Pat. 01—015) zu den Zeiten (z) wiederholt erraten

etwas überraschende Profilmkehr bei Gesunden drückt kaum etwas anderes als eine lapidare und wenig bedachte Alltagserfahrung aus: was ungeläufig ist und sich gegen „unmittelbares Behalten“ sträubt, wird am meisten repetiert und schließlich eindringlicher oder genauer als leicht zu merkende Angebote behalten.

III. Ratetechnik, verglichen mit Ersparnismethode (Abb. 3a und b)

Nach einer Theorie von H. Ebbinghaus (1885, 1919) schwinden Gedächtnis-Inhalte („einmal gestiftete Assoziationen“) stetig im Zeitverlauf, zuerst rascher und dann allmählich langsamer bis zu ihrem völligen Erlöschen — wenn sie nicht inzwischen durch wiederholte Einprägungen erneuert wurden. Das „Ersparnisverfahren“ läuft folglich auf die Feststellung hinaus: „mit welcher Minderzahl von Wiederholungen“ (*Wiederholungersparnis*) „auswendig gelernte Stoffe zu verschiedenen späteren Zeiten wiedererlernt werden können“. Mit anderen Worten: für die Auffrischung des erst kürzlich Gelernten braucht man weniger Wiederholungen als für länger zurückliegende Inhalte.

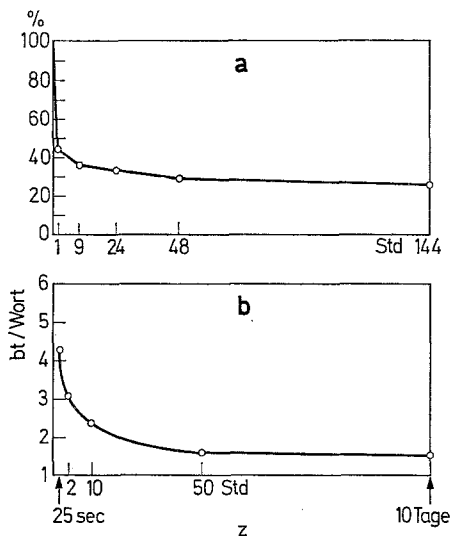


Abb. 3a und b. *Ebbinghaus-Kurve und Ratetechnik.* a Koordinatentreue Wiedergabe der zeitabhängig abfallenden prozentualen Ersparnisse beim Wiedererlernen einer Silbenreihe nach H. Ebbinghaus: Grundzüge der Psychologie, 1919, S. 722; b Abfallende obere Grenzwerte in bt/Wort unserer Versuchsreihe IIc bei Vp 1–15 über einer vergleichbaren Zeitstrecke (z)

Ebbinghaus betrachtete zunächst die auswendige Beherrschung seiner Silbenreihe als 100%ige Ersparnis. Seine Kurve (Abb. 3a) zeigt dann die zeitabhängig abfallenden prozentualen Ersparnisse beim Wiedererlernen. Es spricht unter diesen Voraussetzungen nicht viel dagegen, die anfänglichen 100% als vollkommene mnestiche Ordnung oder Negentropie zu interpretieren und den Kurvenverlauf gleichsam als stetigen zeitabhängigen Informationsverlust.

Deshalb wurden zum Vergleich (Abb. 3b) die *oberen Grenzwerte* unserer Versuchsreihe IIc bei Gesunden (Vp 1–15/Abb. 2) in bt/Wort über der Zeitskala (z) abgetragen.

In der ähnlichen, bei Ebbinghaus offenbar intuitiven Zeitskalierung ergaben sich so zwei weitgehend ähnliche Kurvenverläufe. Die Ebbinghaus-Kurve drückt abnehmende Ersparnisse oder zunehmende Lernwiederholungen aus (Abb. 3a). Unsere Kurve (Abb. 3b) zeigt im Grunde das Gegenteil, nämlich die in zwangsläufigen Wiederholungen zunehmende Rateersparnis.

Daraus folgt, daß die Ebbinghaus-Kurve zwar einen typischen Faktor der Zeitskalierung enthalten kann, jedoch nicht eine allgemein gültige Charakterisierung der mnestiche Leistung Gesunder. Sie paßt in keiner

Weise zu den vorliegenden oder früheren (A. E. Adams, 1971) Ergebnissen bei mnestischer Leistungsschwäche.

Besprechung der Ergebnisse

Es ist keine neue Idee, ein Erraten als mnestische Leistungsmethode aufzufassen: F. Kainz (1954) sprach von einem reproduktiven „Evozieren mnestischer Bestände aufgrund empfangener Laut- und Sinndiakritika, die dem dargebotenen Reizmaterial entnommen werden“.

Gegen die mit Ratetechniken erzielten Entropieprofile könnte man die Vermutung einwenden, daß mit zunehmender Länge richtig erratener Sequenzen (durch anwachsende inhaltliche oder empirisch-logische Textzusammenhänge) die Zahl der weiteren Rateversuche immer weiter abnehmen müßte. Dies ist auch nach den Untersuchungen von N. G. Burton u. J. C. R. Licklider (1955) nicht der Fall: in englischen Drucktexten findet man etwa ab 32 Positionen weitgehend konstante Übergangs-entropien. In den Sprachen gibt es häufige und seltene Buchstaben, Buchstabenaggregate (N-gramme) und Wörter, deren Einzel- und Verbundwahrscheinlichkeiten tabelliert werden könnten; Beispiele: H. Hörmann (1967) oder J. Jung (1968).

Shannon's „Ratespiel“ ist theoretisch für höhere Ansprüche einer mathematischen Symbolstatistik und in seiner numerischen Beziehung zum χ^2 -Test nicht problemlos (F. Attneave, 1959). Praktisch ist die Ratetechnik aber gegenüber anderen, kaum mehr als zwei Antwort-Alternativen bietenden Leistungsprüfungen im Vorteil: die Vp kann sich beliebig oft alternativ äußern und sie liefert somit Daten von statistischer Stabilität. Weitere Vorzüge erleichtern die praktische Anwendung:

Im transitiven Versuchsinventar ist für Angebot (passiver Idiolekt) und Ergebnis (aktiver Idiolekt) Identität und folglich genaue, inter-individuell neutrale Kontrolle gewährleistet, der Spielraum von Konsensus oder Evidenz zwischen Prüfer und Proband ist ausgeschaltet.

Unsere verbale Produktion (oder mnestische Reproduktion) ist normalerweise grundsätzlich indeterminiert und nur grammatisch oder durch den individuell verfügbaren Wortschatz beeinflusst (A. E. Adams, 1971). Die Ratetechnik bewirkt zwangsläufig einen sequentiellen Determinismus jenseits von Bildungsstand, Wortschatz und Individualität bei produktiver Kontrolle der Vp.

Patienten mit mnestischer Leistungsschwäche zeigen mehr als Gesunde *Redundanz*: einen Überschuß von Signalen (Wörtern) oder Signalwiederholungen. Redundanz oder geringe Informationsausnutzung ist nicht unbedingt mit mnestischen Störungen verknüpft und wird im Rateversuch vermieden. Solche Patienten sind gegenüber Gesunden auch

vom *Materialdruck* der gestellten Anforderungen (Lesegeschwindigkeit, Wort-, Informationsmengen) abhängig, der im Rateversuch konstant bleibt.

Nach einigen dieser früheren Untersuchungen (A. E. Adams, 1971) liegt die *maximale Flußkapazität* der Information (sozusagen die afferente Datenmenge) bei Pat wie bei Vp in der gleichen Größenordnung von 7 bt/sec. Das *maximale Informationsvolumen* ist dagegen bei mnestischer Leistungsschwäche mit durchschnittlich 2 bt/Wort (gegenüber rund 5 bt/Wort bei Gesunden) nach Art einer wenig einprägsamen, eindimensionalen Nacheinander-Perzeption vermindert.

Die Rateprofile zeigen im Überblick folgendes: Gesunde organisieren schon das aufgenommene Material (Abb. 1) und lernen durch organisierte Wiederholungen (Abb. 2). Bei mnestischer Leistungsschwäche kann schon in der Wahrnehmung (Perzeption) von einem Leistungswandel gesprochen werden, dessen Hauptergebnis als eine wahllos reizkonforme Kette von Einzelaktionen unter dem Druck der Angebotsserie zu umschreiben wäre. Gedächtnisschwäche ist daher nicht einfach durch verminderte Datenspeicherung oder nur durch Behaltensschwund als Funktion der Zeit definierbar.

Dies ist ein methodisch wichtiger Hinweis. „Gedächtnis“ wird heute nicht mehr als einheitliche oder homogene Hirnleistung aufgefaßt. *Wir vermuten daher, daß die künftige klinische Untersuchung unterschiedlicher mnestischer Syndrome auch weitere Unterscheidungen im pathologischen Leistungswandel von Wahrnehmung, Merken und Behalten darstellen wird.*

Es ging bei unseren Untersuchungen nicht um eine Abwertung der experimentell gewonnenen „Vergessenskurve“ selbst, die Ebbinghaus zu seiner Zeit nach assoziativen Denkmodellen nur zu einseitig interpretiert hatte. Abzulehnen ist allerdings seine nicht rational begründbare logarithmische Formel des zeitlichen Einflusses auf die Reproduktion (1885). Hinter der Kurve verbirgt sich neben einigen Imponderabilien ein Faktor der zeitlichen Skalierung und eine konzeptionell vergessene Unterscheidung:

Lernen (auch „Adaption“ an bestimmte Kenngrößen, J. S. Zypkin, 1970) ist ein Prozeß, der durch wiederholte Einwirkungen auf das lernende System und durch die Korrektur der jeweiligen kontrollierten Systemreaktionen definierbar wird. Nur in einem solchen Prozeß sind Definitionen des Vergessens möglich. *Selbstlernen* ist dagegen, wie bei Ebbinghaus, ein Vorgang ohne Korrektur oder genaue Information über Fehler und Richtigkeit. Übereinstimmende Ergebnisse sind bei so verschiedenen Lernleistungen nicht zu erwarten.

F. Attneave (1957) und W. Meyer-Eppler (1969) hatten schon begründet, daß der Ratetest Einblicke in das psychologische Problem der *Gestalterfassung* vermittelt: beim erratenden Komplettieren figuraler Vorlagen (Zeichnungen) ist die Unsicherheit der Strichfortsetzung meist

an den Ecken und Kanten der Figuren, nämlich an den Stellen höchster lokaler Negentropie, am größten (J. E. Hochberg u. E. McAlister, 1953). „Gestalt“ ist gleichsam der Allgemeinbegriff für die jeweilige optimale Grenzzidee einer kognitiven Realisierung. Es gibt dafür keine unmittelbar hirnnorganischen Korrelate und es wirkt wissenschaftlich suspekt, wenn von „Gestaltzerfall“ gesprochen wird: „zerfallen“ kann nur die Leistung des Gestaltens, nicht die Gestalt selbst. K. Conrad hatte als einer der ersten die Bedeutung der Wahrnehmung für die Leistungsanalyse des Gedächtnisses erkannt. Seine 1948 geäußerten Ideen vom pathologischen Gestaltungswandel werden in folgenden Einzelheiten durch unsere experimentellen Ergebnisse dargestellt:

Die normale mnestische Leistung tendiert schon in der Wahrnehmung nach einer aktiven „epikritischen“ Organisation aus genetischen Vorstufen zu Endgestalten (zur Profilierung zwischen Ordnung als Information und Wahrscheinlichkeit als Entropie). Im pathologischen Leistungswandel von Wahrnehmung und Reproduktion „laufen diese Gestaltungsprozesse nicht mehr bis zur vollen Durchgestaltung . . . ab, sondern bleiben auf früheren Stufen, in den protopathischen Erlebnisformen des Gestaltwandels stecken“. — „Fluktuation“: Streuung der Profilpositionen bei Patienten gegenüber denen bei Vp — „Nichtendgültigkeits-tönung der erlebten Gegenstände, Kohärenzsteigerung“: verminderte informative Profilierung, mehr sequentiell abhängiges Gleichmaß.

Das Vergessen ist offenbar auch eine produktiv wirkende Bedingung des aktuellen Lernens, und es mag in längeren biographischen Zeitläufen als Voraussetzung des Umlernens und Anpassens bewertet werden. Wer so nicht vergessen kann, bewahrt tradierte Vorurteile oder sanktionierte Irrtümer, verliert Chancen der weiteren Erfahrungsbildung und erleidet den auch in hirnnpathologischen Fällen von K. Conrad gemeinten „Verlust der Freiheitsgrade des Erlebenden“. Die Informationstheorie ist nicht eine Theorie der Psychologie, und die Gestaltlehre löst keine psychopathologischen Probleme. Beide eignen sich vielmehr zu realistischen Beschreibungen und fördern die erwünschte empirische Offenheit.

Literatur

- Adams, A. E.: Informationstheorie und Psychopathologie des Gedächtnisses. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1971.
- Attneave, F.: Physical determinants of the judged complexity of shapes. *J. exp. Psychol.* **53**, 221—227 (1957).
- Transfer of experience with a class-schema to identification—learning of patterns and shapes. *J. exp. Psychol.* **54**, 81—88 (1957).
- Applications of information theory to psychology. New York: Holt & Co. 1959.
- Burton, N. G., Licklider, J. C. R.: Long-range constraints in the statistical structure of printed English. *Amer. J. Psychol.* **68**, 650—653 (1955).

- Conrad, K.: Strukturanalysen hirnpathologischer Fälle. I. Über Struktur- und Gestaltwandel. Dtsch. Z. Nervenheilk. **158**, 344—371 (1948).
— Zur Psychopathologie des amnestischen Symptomenkomplexes. Dtsch. Z. Nervenheilk. **170**, 35—60 (1953).
Ebbinghaus, H.: Über das Gedächtnis. Leipzig: Duncker & Humblot 1885.
— Grundzüge der Psychologie. Leipzig: Veit & Co. 1919.
Flechtner, H.-J.: Grundbegriffe der Kybernetik. Stuttgart: Wissenschaftl. Verlagsges. 1967.
Hochberg, J. E., McAlister, E.: A quantitative approach to figural "goodness". J. exp. Psychol. **46**, 361—364 (1953).
Hörmann, H.: Psychologie der Sprache. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1967.
Jung, J.: Verbal learning. New York: Holt & Co. 1968.
Kainz, F.: Psychologie der Sprache, Bd. 3. Stuttgart: Enke, 1954.
Meyer-Eppler, W.: Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1969.
Pollack, I.: The information of elementary auditory displays. I. J. acoust. Soc. Amer. **24**, 745—749 (1952); II. J. acoust. Soc. Amer. **25**, 765—769 (1953).
Shannon, C. E.: Prediction and entropy of printed English. Bell Syst. techn. J. **30**, 50—64 (1951).
Zypkin, J. S.: Adaption und Lernen in kybernetischen Systemen. München-Wien: Oldenbourg 1970.

Doz.-Dr. A. E. Adams
Neurologische Klinik
BRD-5000 Köln 91
Ostmerheimer Straße 200
Deutschland