

DIE BESTIMMUNG VON SPEICHERDATEN UND ZERFALLSKONSTANTEN FÜR
EIN INFORMATIONSPSYCHOLOGISCHES GEDÄCHTNISMODELL

Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 8/1/1967, S. 14 -22

von Harald R i e d e l, Berlin

In einer früheren Arbeit (Riedel, 1967*) schlug der Verfasser vor, mittels Einführung eines sogenannten "Überlernfaktors" Zerfallskonstanten und Kapazitäten hypothetischer Speicher zu bestimmen und jene Werte in einem speziellen Modell von Frank (1965) zu verwenden, nach welchem die Wahrscheinlichkeiten berechnet werden können, mit denen Wörter oder Aussagen zu bestimmten Zeitpunkten eines Lehrprogramms im Gedächtnis des Adressaten gespeichert sind. Die Behaltenswerte, die sich aus der in derselben Arbeit behandelten empirischen Untersuchung ergaben, wurden entsprechend jenem Vorschlag zur Berechnung der gesamten Speicherdaten herangezogen.

a) Zerfallskonstanten und Überlernfaktoren

Die Werte für die Zerfallskonstanten wurden mit Hilfe eines graphischen Verfahrens ermittelt. Nach Ausdruck (4) in der oben zitierten Publikation

$$(1) \quad y = \frac{I_t^*}{I_0^*} \cdot e^{-\alpha t}$$

wurden für die einzelnen Meßwerte Funktionskurven berechnet und gezeichnet, Sofern sich alle gemessenen Behaltenswerte ein und derselben Meßmethode durch (1) und mit einer gemeinsamen Zerfallskonstanten beschreiben lassen, müssen sich die zugehörigen Funktionskurven in einem Punkte schneiden.

Zu Experiment I

Die Abbildungen 1a - 1c zeigen die Funktionskurven für die Auswertungen B, C und D. Die Kurven von B schneiden sich gegenseitig im Bereich 0.037 bis 0.048

Wochen für α . Bei C ergibt sich ein gemeinsamer Schnittpunkt für b, c und d (Behaltenszeit 6 Tage, 4 Wochen, 11 Wochen) bei $\alpha = 0.039 \cdot 1 / \text{Wochen}$, die Kurve für a (Behaltenszeit 1 Tag) liegt außerhalb. Entsprechendes gilt für D (= 0.048). Es könnte daraus geschlossen werden, daß die Zerfallskonstante nie mehr für die Behaltenszeit von 1 Tag Gültigkeit besitzt. Dagegen jedoch spricht die Darstellung der Kurven von B. Aus diesem Grund wurden aus der Behaltens-

* in diesem Heft

Bild 1a (B)

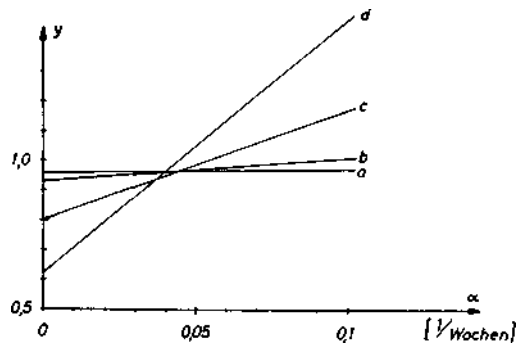


Bild 1b (C)

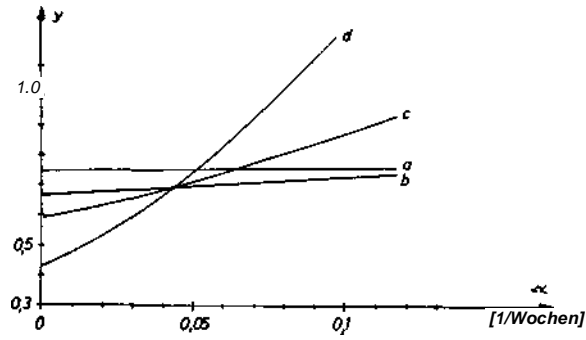


Bild 1c (D)

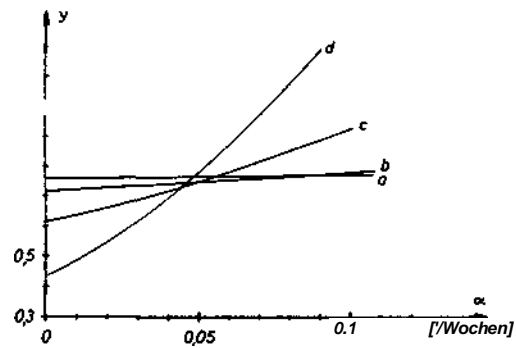
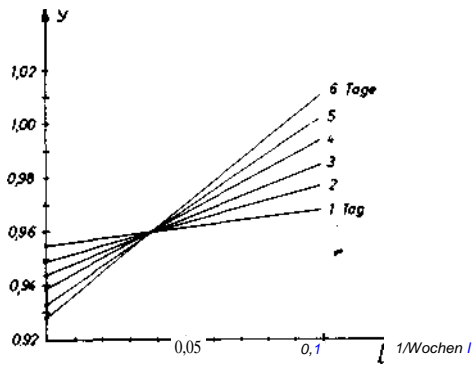


Bild 1 d
(B_{theor})

kurve Bin Abb.1(a.a. 0) theoretische Zwischenwerte für die Behaltenszeiten 1,2, 3,4,5,6 Tage ermittelt und für sie die Funktionskurven gemäß (1) berechnet. Abbildung 1 d gibt das Ergebnis wieder. Es ist ersichtlich, daß alle jene Wertemittels der gemeinsamen Konstanten $\alpha = 0.038 \cdot 1/\text{Wochen}$ beschrieben werden können. Es kann daher geschlossen werden, daß die Behaltenswerte für Behaltenszeiten zwischen 1 Tag und 11 Wochen durch eine gemeinsame Zerfallskonstante beschreibbar sind, die im Bereich von 0.037 bis $0.048 \cdot 1/\text{Wochen}$ oder $6.29 \cdot 10^{-8} \cdot 1/\text{sec}$ liegt. Der Mittelwert für α brechnet sich zu $6.95 \cdot 10^{-8} \cdot 1/\text{sec}$. Als Werte für den Überlernfaktor ergeben sich bei B und $B_{\text{theoretisch}} y = 0.95$, bei C $y = 0.69$ und bei D $y = 0.75$.

Zu Experiment II

Die Funktionskurven für die Auswertungen F, G und H sind in Abbildung 2a und 2 b dargestellt. Es wird ersichtlich, daß sich für die Behaltenszeit zwischen einer und vier Stunden ein Wert zwischen $1.39 \cdot 10^{-5} \cdot 1/\text{sec}$ und $2.06 \cdot 10^{-5} \cdot 1/\text{sec}$ ergibt. Es kann nicht erstaunen, daß die Werte einen solch breiten Streubereich einnehmen, denn zur Berechnung wurden die tatsächlich gemessenen und nicht die auf der theoretischen Behaltenskurve liegenden Werte herangezogen, da aufgrund der relativ großen Standardabweichungen die Angabe eines theoretischen Behaltenswertes sehr zweifelhaft sein müßte. Der Durchschnittswert für die Zerfallskonstante beträgt $\alpha = 1.76 \cdot 10^{-5} \cdot 1/\text{sec}$. Die Überlernfaktoren liegen im Bereich zwischen 0.615 und 0.745 , im Durchschnitt bei $y = 0.670$. Für die Behaltenszeit zwischen 10 und 30 Minuten resultiert eine um eine Zehnerpotenz größere Zerfallskonstante, die im Bereich zwischen $1.06 \cdot 10^{-4}$ und $1.42 \cdot 10^{-4} \cdot 1/\text{sec}$

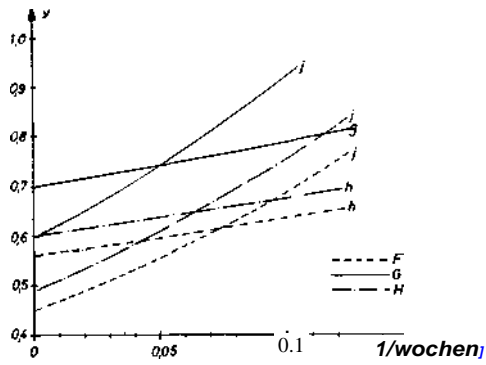


Bild 2a

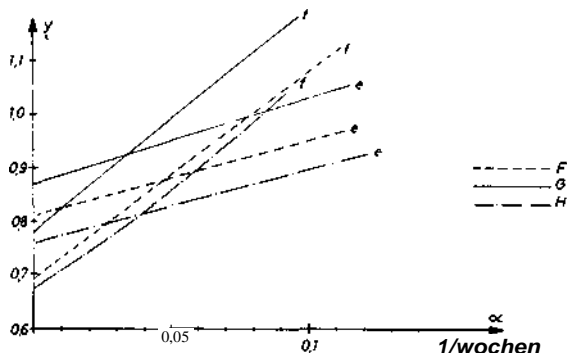


Bild 2b

liegt, ihr Durchschnittswert beträgt $\alpha = 1.23 \cdot 10^{-4} \cdot 1/\text{sec}$. Die Daten für den Überlernfaktor streuen im Bereich von 0.83 bis 0.93 und ergeben im Mittel $y = 0.88$.

Die Untersuchung liefert also als wesentliches Ergebnis, daß zur Beschreibung von Gedächtnisinhalten nach Speicherzeiten bis zu 11 Wochen drei Speicher angenommen werden können, die sich in ihren Zerfallskonstanten deutlich unterscheiden. Dabei ist es für den vorliegenden Zweck, nämlich die möglichst genaue Beschreibung und Vorhersage, mit welchen Wahrscheinlichkeiten einmal eingelernte Gedächtnisinhalte nach bestimmten Zeitspannen noch gespeichert sind, zunächst unwesentlich, ob die einzelnen Speicher auch tatsächlich physiologisch realisiert sind, was jedenfalls zum jetzigen Zeitpunkt ziemlich zweifelhaft zu sein scheint.

b) Zufluß- und Speicherkapazitäten

Als Voraussetzung für die Anwendung der berechneten Werte zum genannten Zweck müssen zusätzlich die Daten für Zuflußkapazitäten und die Speicherkapazitäten bestimmt werden. Zumindest für die beiden nach Experiment II angenommenen Speicher lassen sich jene Werte ohne Schwierigkeiten mit einiger Genauigkeit ebenfalls aus dem Experiment selbst berechnen. Durch die Einführung des Überlernfaktors γ wurde ja ein Maß dafür gewonnen, zu welchem Anteil der Lernstoff in die jeweiligen Speicher während des für den Lernvorgang zur Verfügung stehenden Zeitraumes eingeschrieben werden konnte. Andererseits sind die Informationsmenge des Lernstoffes sowie die Lernzeit bekannt. Die Information pro Silbe berechnet sich zu 10.6 bit (vgl. Riedel, 1964); im Hauptversuch wurden während der 160 Sekunden Lernzeit durchschnittlich 7.91 Silben gelernt. Es ergibt sich also ein durchschnittlicher Zufluß $C_{V160} = 0.524$ bit/sec.

Dieser Wert liegt erheblich höher als der früher vom Verfasser erhaltene (Riedel 1965, S. 50), stimmt demgegenüber jedoch sehr gut mit den informationstheoretisch ausgewerteten Angaben von Hovland (1939, S. 625) für Studenten überein. Durch Multiplikation dieses Wertes für den durchschnittlichen Lernfluß mit den aus Experiment II e, f und II g, h, i, j erhaltenen Daten für die Überlernfaktoren werden die gesuchten Werte für die Zuflußkapazitäten beider Speicher

$C_{V10 \text{ min} - 30 \text{ min}} = 0.462$ bit/sec bzw. $C_{V1 \text{ Std.} - 4 \text{ Std.}} = 0.351$ bit/sec ermittelt.

Macht man weiterhin den plausiblen Ansatz, es gelte folgende Beziehung zwischen der Informationsaufnahme­geschwindigkeit eines Speichers zum Zeitpunkt Null und zum Zeitpunkt t :

$$(2) \quad C_{vt} = C_{v0} \cdot e^{-\alpha t}$$

so erhält man bei Rechnung nach der sicheren Seite folgende Werte für die Zuflußgeschwindigkeit der bei den Speicher:

$$1. \quad C_{v0} = \frac{0.462}{e^{-600 \cdot 1.23 \cdot 10^{-4}}} = 0.497 \text{ (bit/sec)}$$

und

$$2. \quad C_{v0} = \frac{0.351}{e^{-3600 \cdot 1.76 \cdot 10^{-5}}} = 0.374 \text{ (bit/sec) .}$$

Als Werte für die Speicherkapazitäten der beiden Speicher erhält man entsprechend Gleichung (2) in Riedel (1967)

$$(3) \quad K_v = \frac{C_{vo}}{\alpha}$$

$$1. \quad K_v = \frac{0.497}{1.23 \cdot 10^{-4}} = 4.04 \cdot 10^3 \quad (\text{bit})$$

und

$$2. \quad K_v = \frac{0.374}{1.76 \cdot 10^{-5}} = 2.12 \cdot 10^4 \quad (\text{bit})$$

Die Berechnung entsprechender Werte für den aus Experiment I erhaltenen Speicher ist nicht leicht möglich, da keine genauen Angaben über den Informationsbetrag des zu lernenden Materials gemacht werden können. Allerdings kann eine vorsichtige Schätzung vorgenommen werden, indem der - sicher recht tiefe - Wert von ca. 5 bit/Wort für die subjektive Information nach Bürmann u. a. (1963, S. 85) verrechnet wird. In durchschnittlich 6,98 Versuchen (A) wurden im Mittel 58,4 Wörter (B) gelernt; für jeden Versuch standen 5 Minuten Lernzeit zur Verfügung. Demnach wurde der Lernstoff während der 300 Sekunden mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von

$$\frac{58.4 \cdot 5}{6.98 \cdot 300} \text{ bit/sec} = 0.139 \text{ bit/sec}$$

aufgenommen.

Durch Multiplikation mit dem Überlernfaktor $y_{v \text{ 1 Tag} - 11 \text{ Wochen}} = 0.69$ (es wird der kleinste y -Wert gewählt, da zur sicheren Seite geschätzt werden soll) ergibt sich.

$$C_{v \text{ 1 Tag} - 11 \text{ Wochen}} = 0.139 \cdot 0.69 = 0.096 \quad (\text{bit/sec})$$

Wieder nach (3) wird

$$3. \quad C_{vo} = \frac{0.096}{e^{-8.65 \cdot 10^3} \cdot 6.95 \cdot 10^{-8}} \approx 0.096 \quad (\text{bit/sec})$$

Man erhält weiter nach (3)

$$3. \quad K_v = \frac{0.096}{6.95 \cdot 10^{-8}} = 1.38 \cdot 10^6 \quad (\text{bit}) .$$

Die Informationstheoretische Darstellung der Lernkurve von Hovland (1939) zwingt zu dem Schluß, daß zur genauen Beschreibung ein weiterer Speicher mit einer Speicherzeit bis zu ca. 5 Minuten angenommen werden müßte. Die Bestimmung der Kapazitätswerte für diesen Speicher soll einer weiteren Arbeit vorbehalten bleiben. Der Einfachheit halber sei dieser Speicher hier als Speicher 1 und die in der vorliegenden Arbeit besprochenen als Speicher 2,3,4 bezeichnet. Eine Zusammenstellung der Speicherdaten gibt Tafel I.

A 1s wesentlich für die algorithmische Lehralgorithmierung - genauer: für die Berechnung von durchschnittlichen Speicherwahrscheinlichkeiten einzelner Wörter oder Aussagen zu bestimmten Zeitpunkten eines Lehrprogramms - können zunächst nur die Speicher S1, S2, S3 Unterrichts über Zeiträume von Wochen hinaus möglich ist, was seinerseits eine völlige Veränderung der jetzt üblichen Soziostruktur bedingen würde. Dennoch mag ein Vergleich der Werte für die Zerfallskonstante des Speichers S4. aus dieser Untersuchung und jenen aus einem Alin-Experiment berechneten interessant sein. Nach Alin (1964, S. 173) erhält man den Wert $\alpha = 1.2 \cdot 10^{-8}$. Es könnte eventuell die Folgerung abgeleitet werden, daß sich zumindest die Zerfallskonstanten im Alter zwischen 15 und 20 Jahren nicht mehr wesentlich verändern.

TAFEL I

Bezeichnung	Speicherzeit	Zerfallskonstante (1/sec)	Zufluß- kapazität (bit/sec)	Speicher- kapazität (bit)
S ₁	bis 5 min			
S ₂	bis 30 min	$1.23 \cdot 10^{-4}$	0.497	$4.04 \cdot 10^3$
S ₃	bis 4 Std.	$1.76 \cdot 10^{-5}$	0.347	$2.12 \cdot 10^4$
S ₄	bis 11 Wochen	$6.95 \cdot 10^{-8}$	≈ 0.1	$\approx 10^6$

Hypothetisch angenommene Speicher, ihre Kapazitäten, Zerfallskonstanten und Speicherzeiten

Weiterhin ist von Interesse, daß die Zuflußkapazität des Speichers S_4 mit $C_{v04} = \text{ca. } 0.1 \text{ bit/sec}$ deutlich über jener von Frank (1964) aufgrund einer groben Schätzung angegebenen liegt .obwohl bei der hier vorgenommenen Berechnung eher ein zu kleiner Wert hätte resultieren müssen. Bei künftiger Verwendung des Frank'sehen Modells mit Kurz- und Langzeitgedächtnis sollte daher eher der eben genannte Wert 0.1 bit/sec für die Zuflußkapazität des Langspeichers verwendet werden.

Abschließend sei nochmals bemerkt, daß es sich bei der vorliegenden Arbeit um den Versuch handelt, für ein sehr spezielles Verfahren nach Frank (1965), wonach die mittleren Wahrscheinlichkeiten, mit denen Wörter oder Textabschnitte zu bestimmten Zeitpunkten eines Lehrprogramms berechnet werden sollen, Daten zu liefern, die eine möglichst genaue Beschreibung und Vorhersage zulassen. Die Frage, ob die einzelnen Speicher auch physiologisch realisiert sind, bleibt davon unberührt.

Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen einer früheren Untersuchung wurden Werte für die Zerfallskonstanten dreier hypothetischer Speicher sowie deren Zufluß- und Speicherkapazitäten berechnet. Der Berechnung liegt die Hypothese zugrunde, der Anteil des nach der Behaltenszeit Reproduzierten von dem unmittelbar nach Lernschluß Wiedergegebenen sei das Produkt aus dem Anteil der zu den entsprechenden Zeitpunkten gespeicherten Informationsmenge und einer mit "Überlernfaktor" bezeichneten Variablen, die von der Lernzeit und der Lernfähigkeit der Versuchsperson abhängig ist.

Schriftumsverzeichnis

- | | |
|--|---|
| Alin, L.H. | Experimental studies in verbal versus figural learning.
Ahnquist u. Wisell. 1964, 173, 186 |
| Frank, H.,
Bürmann, G. u.
Lorenz | Informationstheoretische Untersuchungen über Rang
und Länge deutscher Wörter, GrKG 1963 |

- Frank, H. Vereinfachtes Adressatenmodell für Gedächtnisleistung. 1965 (unveröffentlichtes Manuskript)
- Hovland, C.J. Studies in rote learning theory V. J. exp. Psy. 25 1939, 625
- Riedel, H. Die Altersabhängigkeit informationspsychologischer Parameter und ihre mögliche Bedeutung für Lehralgorithmen, Klett u. Oldenbourg, 1964
- Riedel, H. Empirische Untersuchungen zur kybernetischen Pädagogik, Verlag Schnelle, 1965 Empirische
- Riedel, H. Untersuchung zu einem informationspsychologischen Gedächtnismodell, GrKG 8/1. In diesem Heft.

Eingegangen am 15. Oktober 1966

Anschrift des Verfassers:

Harald Riedel, 1 Berlin 37, Eiderstedter Weg 27