

## 9. *Efikanco*

Lernado kaj forgesado, kreskado kaj malkreskado de inklinoj aŭ malinklinoj, maturiĝado kaj kadukiĝado estas ekzemploj por statsanĝoj  $z \rightarrow z'$ . Ili bezonas tempon. Se ĝi estas mallonga, oni parolas antaŭscience pri „rapida“ ŝanĝo. Se du ŝanĝoj bezonas la saman tempon  $\Delta t$ , tiam oni emas konsideri la „pli grandan“ ŝanĝon esti la pli rapida. Per ĉi tiu komparo oni supozas, ke la statojn  $z$  povas reprezenti valoroj  $m(z)$  de almenaŭ ordiga skalo. La koncepto de ŝanĝrapideco  $v$  supozas eĉ diferencskalon. Alikaze la kvociento ( $v :=$ )  $\Delta m(z)/\Delta t$  estus sensenca.

La mezuranta observado de la statsanĝoj  $z \rightarrow z'$  povas laŭ (2.1) okazi per mezurado de la rimarkablaj kondutŝanĝoj  $y \rightarrow y'$  pro la sama stimulo  $x$ . En lerneksperimentoj oni mezuras ilin per la ŝanĝiĝinta nombro  $F(y') \neq F(y)$  da eraroj en la sama testo  $x$ . Se ĉi tiuj nombroj estas egalaj spite diversecon de la statoj (aŭ eĉ ankoraŭ de la kondutmanieroj), tiam oni pritaksas ĉi tiujn statojn (resp. kondutmanierojn) esti „ekvivalentaj“ t.e. samvaloraj. Tial eblas  $m(z') = m(z)$  spite  $z' \neq z$ . La mezurrezulto de la ŝanĝrapideco  $v$  fariĝas 0, kvankam la statsanĝo kostis tempon.

Lerni informon signifas: atingi staton, en kiu estontaĵoj (ekz. signoj) estas pli ofte ĝuste prognozeblaj, en kiu ili do enhavas *por la lerninto* malpli da informacio – la diferencon li estis lernanta. La mezuro de la lernstato rilate instruaĵon

## 9. *Effikanz*

Lernen und Vergessen, Wachsen und Schwinden von Zuneigungen oder Abneigungen, Reifen und Altern sind Beispiele für Zustandsänderungen  $z \rightarrow z'$ . Sie benötigen Zeit. Ist sie kurz, dann spricht man vorwissenschaftlich von einer „schnellen“ Änderung. Benötigen zwei Änderungen dieselbe Zeit  $\Delta t$ , dann ist man geneigt, die „größere“ Änderung als die „schnellere“ anzusehen. Man unterstellt also, dass die Zustände  $z$  auf Werte  $m(z)$  einer (mindestens) Ordinalskala abbildbar sind. Die Vorstellung von einer Änderungsschnelle (Geschwindigkeit)  $v$  unterstellt sogar eine Differenzskala. Sonst wäre der Quotient ( $v :=$ )  $\Delta m(z)/\Delta t$  sinnlos.

Die messende Beobachtung der Zustandsänderungen  $z \rightarrow z'$  kann nach (2.1) durch Messung der bemerkbaren Verhaltensänderungen  $y \rightarrow y'$  beim selben Reiz  $x$  erfolgen. In Lernexperimenten misst man sie durch die veränderte Fehlerzahl  $F(y') \neq F(y)$  im selben Test  $x$ . Sind diese Zahlen trotz der Verschiedenheit der Zustände (oder auch noch der Verhaltensweisen) gleich, dann werden diese Zustände (bzw. Verhaltensweisen) als „äquivalent“, d.h. gleichwertig, gewertet. Daher ist  $m(z') = m(z)$  trotz  $z' \neq z$  möglich. Die gemessene Änderungsgeschwindigkeit  $v$  ist dann 0, obwohl die Zustandsänderung Zeit kostete.

Information (= informo) lernen heißt einen Zustand erreichen, in welchem Künftiges (z.B. Zeichen) mit höherer Trefferzahl voraussagbar ist, der Gehalt an Information (= informacio) *für den Lerner* also kleiner ist: die Differenz hatte er gelernt. Das lehrstoffbezogene

do ĉikaze estas la instruaĵinformacio  $\hat{W}$  ankoraŭ lernenda. Por la rapideco de tia lernado (nome: enmemorigado) estas mezurita maksimumo  $C_v$ , kiu estas laŭ (6.5) maturedependa. Normale de ĉi tiu maksimumo je ĉiu tempopunkto  $t$  nur parto  $\eta(t)C_v < C_v$  estas uzata, ĉar pasas temperoj dum la transiro al „ekvivalentaj“ statoj (dum la lernado de „nekonsiderinda“ estetika informo aŭ dum ŝanĝiĝo de inklinoj, kio povas esti „afekcia instruaĵo“).  $\eta(t)$  nomitis (Frank, 1976, p. 41) *efikanco* (je tempopunkto  $t$ ). Ĝi estas la laŭprocenta parto de  $C_v$ , kiu estas uzata por la lernado (ne de nekonsiderinda informo sed) de difinita instruaĵo  $L$  (vd. bildon 9.1).

$C_v$  sciigas, kiom da bitoj da informacio eniras la antaŭkonscian memoron dum unu unuo de la tempo. Ni supozu, ke  $C_v$  estas (almenaŭ en veka stato) konstanta, ke la lernado do estas neevitebla kaj okazas nelacigeble, alivorte: ke daŭre fluas dum ĉiu tempounuo la informacio  $C_v$  el la nunmemoro en la memoron. Tiukondiĉe enmemorigas dum  $t$  tempounuoj la informacio

$$(9.1) \quad i(t) = C_v \cdot t$$

Por lerni certan kvanton  $I$  da informacio do estas bezonata la tempo

$$(9.2) \quad t = I / C_v.$$

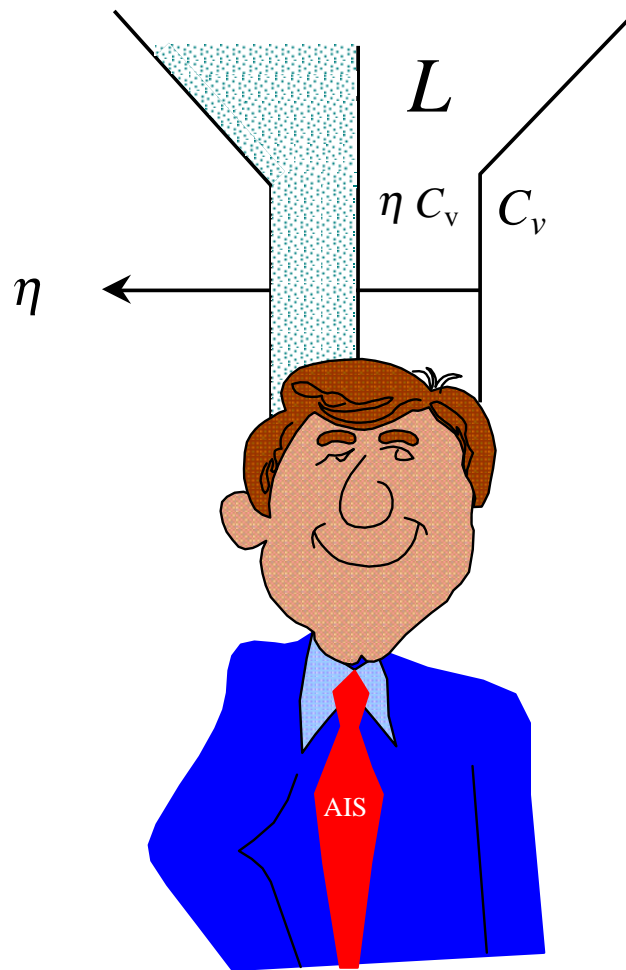
Se  $I$  estas la instruaĵinformacio  $I(L)$ , tiam ĝis ajna tempopunkto  $t < I / C_v$  laŭ (9.1) kaj (9.2) *povas* eniri la memoron nur *parto*  $i(t) < I$ , do la procentaĵo

Maß des Lernzustands ist hier also die noch zu lernende Lehrstoffinformation  $\hat{W}$ . Für die Schnelle solchen Lernens (die Aufnahmegeschwindigkeit ins Gedächtnis) ist ein Maximum  $C_v$  gemessen, das nach (6.5) reifungsabhängig ist. Von ihm wird gewöhnlich zu jedem Zeitpunkt  $t$  nur ein Teil  $\eta(t)C_v < C_v$  genutzt, denn es vergehen Zeitintervalle beim Übergang zu „äquivalenten“ Zuständen (beim Lernen „irrelevanter“ ästhetischer Information oder bei einer Änderung von Neigungen, was „affektiver Lehrstoff“ sein kann).  $\eta(t)$  wurde (Frank, 1976, p. 41) *Effikanz* (zum Zeitpunkt  $t$ ) genannt. Sie ist der prozentuale Teil von  $C_v$ , der für das Lernen eines bestimmten Lehrstoffs  $L$  (nicht für Irrelevantes) benutzt wird (Bild 9.1).

$C_v$  besagt, wieviel bit Information während einer Zeiteinheit in das vorbewusste Gedächtnis einfließt. Nehmen wir an, die  $C_v$  sei (zumindest im Wachzustand) konstant, Lernen sei also unvermeidlich und erfolge unermüdlich, m. a. W.: dauernd fließe in jeder Zeiteinheit die Information  $C_v$  aus dem Kurzspeicher ins Gedächtnis. In dieses gelangt dann innerhalb von  $t$  Zeiteinheiten die Information

Um einen bestimmten Informationsbetrag  $I$  zu lernen, bedarf es also der Zeit

Bezeichnet  $I$  die Lehrstoffinformation  $I(L)$ , dann *kann* bis zu einem Zeitpunkt  $t < I / C_v$  nach (9.1) und (9.2) nur ein *Teil*  $i(t) < I$  ins Gedächtnis gelangen, also der Prozentsatz



*Bildo 9.1: La (eble ŝanĝanta) efikanco  $\eta$  estas la procentaĵo de la lernkapablo  $C_v$  (momente) uzata por la instruado  $L$ .*

*Bild 9.1 Die (evt. zeitlich veränderliche) Effizienz  $\eta$  ist der für den Lehrstoff  $L$  (augenblicklich) benutzte Teil der Lernfähigkeit  $C_v$ .*

$$(9.3) p = i(t)/I = (C_v/I)t < 1$$

Tiu ĉi *parto* estas nur tiam la *kompetenteco* akirita (aldone al eventuala antaŭscio) pro konstanta  $C_v$  ĝis la tempopunkto  $t$ , se

1)  $i(t)$  estas pura instruajinformacio (normale do semantika, ne ankaŭ estetika informacio), kio nur eblas, se ĉiam sufiĉe da instruajinformacio ankoraŭ ne lernita estas alirebla (do ne tro longe retenita), kaj se

2)  $i(t)$  ne nur estis *lernata* (t.e. eniranta en la memoron), sed estas ankoraŭ *sciata* (t.e. rememorigebla) - do: se dum la lerntempo  $t$  perdiĝis ankoraŭ neniom de la dum ĝi ler-

Dieser *Anteil* ist nur dann die mit konstantem  $C_v$  bis zum Zeitpunkt  $t$  (zusätzlich zu einem etwaigen Vorwissen) erlangte *Kompetenz*, falls

1)  $i(t)$  durchweg *Lehrstoffinformation* ist (in der Regel also semantische, nicht auch ästhetische Information), was nur möglich ist, wenn stets genügend viel noch ungelernete Lehrstoffinformation zugänglich ist (also nicht zu lange vor-enthalten wird), und wenn

2)  $i(t)$  nicht nur *gelernt wurde* (d.h. in das Gedächtnis eingegangen war), sondern auch noch *gewusst wird*, d.h. erkennbar ist - wenn also während der Lernzeit  $t$  noch nichts von der in ihr gelernten

nita informacio.

Sub ĉi tiuj supozoj  $\dot{I}(t)$  estas la *instruaĵinformacio*  $I(t)$  sciata de lernantoj sen antaŭkonoj je la *tempopunkto*  $t$ , kaj el (9.3) sekvas *lineara* kresko de la *kompetenteco*  $p$ :

$$(9.4) \quad p = I(t) / I = \frac{C_v}{I} t$$

por  $t \leq I/C_v$ , poste  $p = 1$ .

Se la parto  $I(0) \geq 0$  de  $I$  jam *komence estas sciata*, tiam la *entute sciata* instruaĵinformacio post la lerntempo  $t$  estas pli ĝenerale

$$(9.5) \quad I(t) = I(0) + \dot{I}(t) = I(0) + C_v t$$

(vd. bildon 9.2) kaj la *kompetenteco*

$$(9.6) \quad p = I(t)/I = p_0 + \frac{C_v}{I} t$$

Sed ĉi tiu teoria, optimuma lernfunkcio validas nur, se  $C_v$  estas konstanta, se ĉiam kaj nur instruaĵinformacio estas lernata ( $\eta = 1$ ), kaj se nenioma forgesado okazas. En la empiria observo montriĝas malpli alta kompetenteco. Ĉar en la realeco ĉiam lernmalakcele efikas almenaŭ iuj el la jenaj **kvar** kaŭzoj.

1. Dum homa lernado forgesiĝas samtempe parto de tio, kio estis antaŭe lernata.

2. Ne ĉiam sufiĉe da nova (nelernita) instruaĵinformacio estas alirebla: ĝi estas almenaŭ en la kazo de lernstirado almenaŭ parte tro longe retenata, nome dum ĉiu superflua ripetado. (Dume  $C_v$  nur estas uzebla por la lernado de revaĵoj aŭ de alia nekonsiderinda in-

Information verloren ging.

Unter diesen Voraussetzungen ist  $i(t)$  die zum Zeitpunkt  $t$  von vorkenntnisfreien Lernern gewusste Lehrstoffinformation  $I(t)$ , und es folgt aus (9.3) ein *lineares* Wachstum der *Kompetenz*  $p$ :

$$(9.4) \quad p = I(t) / I = \frac{C_v}{I} t$$

für  $t \leq I/C_v$ , hernach  $p = 1$ .

Wenn der Teil  $I(0) \geq 0$  von  $I$  schon zu Beginn bekannt ist, dann ist die *insgesamt* gewusste Lehrstoffinformation nach der Lernzeit  $t$  allgemeiner

$$(9.5) \quad I(t) = I(0) + \dot{I}(t) = I(0) + C_v t$$

(vgl. Bild 9.2) und die *Kompetenz*

$$(9.6) \quad p = I(t)/I = p_0 + \frac{C_v}{I} t$$

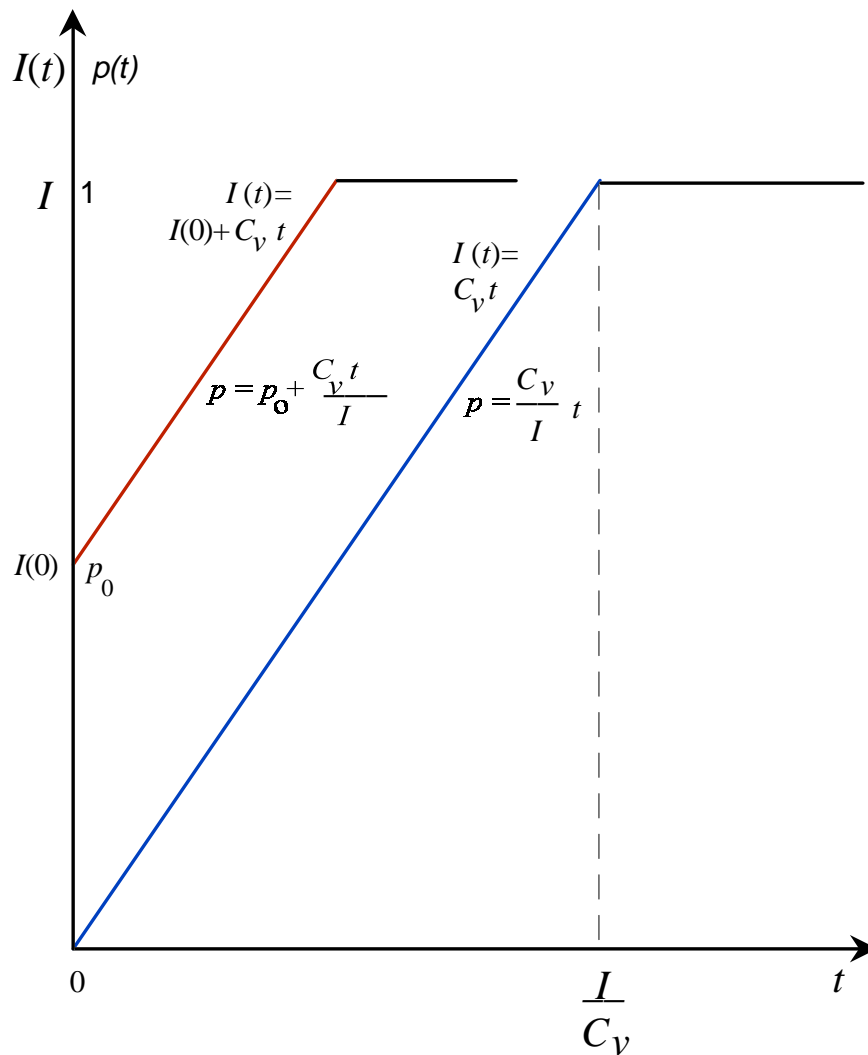
Aber diese theoretische, optimale Lernfunktion gilt nur, falls  $C_v$  konstant ist, jederzeit und nur Lehrstoffinformation gelernt wird ( $\eta = 1$ ), und kein Vergessen stattfindet. In der empirischen Beobachtung zeigt sich eine geringere Kompetenz. Denn in Wirklichkeit wirken stets wenigstens einige der folgenden **vier** lernfortschrittshemmenden Ursachen.

1. Während des menschlichen Lernens wird zugleich ein Teil des zuvor Gelernten vergessen.

2. Nicht immer ist genügend neue (ungelernte) Lehrstoffinformation zugänglich: sie wird mindestens im Fall der Lernsteuerung wenigstens teilweise zu lange vorenthalten, nämlich während jeder überflüssigen Wiederholung. ( $C_v$  kann einstweilen nur zum Lernen von Träumereien oder sonstiger irrelevanter

formo.)

Information verwendet werden.)



*Bildo 9.2: Ideala irado de la lernkurbo. Ĉiu pli realisma aŭ eĉ reala lernkurbo situas sube.*

3. Spite la alireblon de sufiĉa kvanto da nova instruaĵinformacio nur certa procentaĵo  $\eta < 1$  de la lernkapablo  $C_v$  estas uzata por ĉi tiu, per la resto oni lernas nekonsiderindan (estetikan) informacion.

4. Dum ĉiu homa lernado okazas iom-post-ioma laciĝo, t.e. malkreskado de  $C_v(t)$  (ĝis 0 kaze de endormiĝo), kaj reduktiĝo de la atentemo, do malkresko de  $\eta(t)$ .

Ni pritraktos dise la influojn (1) de la forgesado, (2) de informretono per superflua ripetado kaj (3) de

*Bild 9.2: Idealer Lernkurvenverlauf. Jede realistischere oder gar reale Lernkurve liegt darunter*

3. Trotz der Zugänglichkeit von genügend viel neuer Lehrstoffinformation wird für sie nur ein gewisser Prozentsatz  $\eta < 1$  der Lernfähigkeit  $C_v$  verwendet, mit dem Rest lernt man irrelevante (ästhetische) Information.

4. Bei jedem menschlichen Lernen kommt es zur allmählichen Ermüdung, d.h. zu sinkendem  $C_v(t)$  (bis 0 beim Einschlafen) und zu nachlassender Aufmerksamkeit, d.h. sinkendem  $\eta(t)$ .

Wir betrachten getrennt die Einflüsse (1) des Vergessens, (2) der Informationsvorenthaltung durch überflüssiges

la ne devigata kunlernado de estetikaj informacio. Nur ĉi tiun trian kaŭzon de devioj dis de (9.6) ni poste kombinas unuope kun la du antaŭaj (kies kombino estus pli komplika ol la simpla saturiĝfunkcio). – La laciĝon kaj la perdiĝon de atentemo ni preteratentas pro manko de konataj funkcioj  $C_v(t)$  kaj  $\eta(t)$ . Supozante ilian konstantecon  $I(0) > 0$  resp. reguliĝas en maldekstrenŝovo de ĉiuj lernkurboj. (Malofte maturiĝo influas pro [6.5] konsiderinde  $C_v$  dum la lernado.)

(1) Oni *ne* povas (kiel en bildo 9.1) modeligi la informfluron tra la kanalo kondukanta informon de la nunmemoro al la antaŭkonscia memoro per fluo de likvidaĵo tra funelo en ujon. Ĉar *informo ne estas substanco*, do ne plenumas leĝon de konservado: ĝi estas *komunikebla* (kopiebla, do plurobligebila) kaj *neniigebla*. Eblas neniigi (do forgesigi) la instruaĵinformon storitan, se oni storas en la saman storilon alian informon. La storilo havu la kapaciton ( $K_v =$ )  $K$ , de kiu jam  $I(t)$  estas uzata por lernenda (instruaĵ-)informo. Alfluas en unu tempounuo la informacio ( $C_v =$ )  $C$ , storota parte tie, kie troviĝas parto de  $I(t)$ , parte aliloke. Tiam oni povas ekspekti, ke la relativa parto  $I(t)/K$  de  $C$  nuligas parton de la jam sciata instruaĵinformacio  $I(t)$ , tiel ke ĉi tiu ne kreskas laŭ (9.1) kun rapideco  $C$  sed je  $(I(t)/K)C$  malpli rapide, do (ĝis maksimume  $I$ ) nur laŭ la diferenciala ekvacio (Frank, 1962, p. 101, <sup>2</sup>1969, volumo 2, pj 104s)

Wiederholen und (3) des nicht erzwungenen Mitlernens ästhetischer Information. Nur die dritte Abweichungsursache gegenüber (9.6) verknüpfen wir anschließend einzeln mit den beiden ersten (deren Kombination komplizierter als die einfache Sättigungsfunktion wäre). – Ermüdung und schwindende Aufmerksamkeit lassen wir mangels bekannter Funktionen  $C_v(t)$  und  $\eta(t)$  außer Acht. Bei Annahme ihrer Konstanz führt  $I(0) > 0$  zur Linksverschiebung aller Lernkurven. (Selten beeinflusst Reifung nach [6.5] während des Lernens merklich  $C_v$ .)

(1) Man kann den Informationsfluss durch den Kanal, der Information vom Kurzspeicher zum vorbewussten Gedächtnis führt, *nicht* (wie in Bild 9.1) durch ein Fließen von Flüssigkeit durch einen Trichter in einen Behälter modellieren. Denn *Information ist keine Substanz*, erfüllt also keinen Erhaltungssatz: sie ist *mittelbar* (kopierbar, also vervielfältigbar) und *vernichtbar*. Es ist möglich, in einem Speicher gespeicherte Lehrstoffinformation durch Einspeicherung anderer Information zu löschen (also zu vergessen). Der Speicher habe die Kapazität ( $K_v =$ )  $K$ , wovon schon  $I(t)$  für Lehrstoffinformation benutzt ist. In *einer* Zeiteinheit fließt die Information ( $C_v =$ )  $C$  zu und wird z.T. anstelle von  $I(t)$ , z.T. sonstwo gespeichert. Dann ist zu erwarten, dass der Anteil  $I(t)/K$  dieser Information  $C$  einen Teil der schon bekannten Lehrstoffinformation  $I(t)$  löscht, so dass diese nicht nach (9.1) mit der Schnelle  $C$  wächst, sondern um  $(I(t)/K)C$  langsamer, also (bis zum Höchstwert  $I$ ) nur nach der Differentialgleichung (Frank, 1962, S. 101, <sup>2</sup>1969, Bd. 2, S. 104 – 105)

$$(9.7a) \quad I(t)' = C - CI(t)/K$$

La funkcio, kiu plenumas la kondiĉon (9.7a), estas la saturiĝfunkcio

$$(9.7b) I(t) = K - (K - I(0))e^{-Ct/K}$$

La instruaĵlernfunkcio kreskas do *malakcelate* kun asimptoto  $I(t) = K$  ĝis  $I(\infty) = \min\{I; K\}$ , do ĝis  $p(\infty) = \min\{1; K/I\}$  laŭ bildo 9.3, t.e. laŭ

$$(9.7c) p = I(t)/I = K/I - (K/I - p_0)e^{-Ct/K}$$

Nur por tre malgrandaj valoroj  $Ct/K$ , do komence, la lernfunkcio kreskas proksimume lineare, nome (kun la rekonkretigo  $C = C_v$ ,  $K = K_v$ ) laŭ sia tanĝanto en sia startpunkto:

$$(9.7b^*) I(t) = I(0) + C_v t(1 - I(0)/K_v)$$

$$(9.7c^*) p = p_0 + \frac{C_v}{I} \cdot \left(1 - \frac{p_0 I}{K}\right) t$$

Ĝi estas la limesa lernfunkcio de (9.7b,c) por  $K/I \rightarrow \infty$ . do: se malaperas la supozita kaŭzo de forgesado. La bildo 9.2 evidentiĝas esti la limesa kazo de la bildo 9.3.

La egalajoj (9.7a,b,c) nur validas, se *nur* la kaŭzo 1 deviigas la lernprogreson disde (9.6), kaj se la forgesado *ne* okazas *sisteme* (sed hazarde pro anstataŭado per novaj lernataĵoj). Por la provizora kaj la longdaŭra antaŭkonsciaj memoroj (kun la koncernaj valoroj de  $C_v$  kaj  $K_v$  laŭ ĉapitro 6) oni povas tion (almenaŭ proksimume) supozi.

(2) Se la informfluo  $i(t)$  enhavas instruaĵinformon, kiu jam (kaj ankoraŭ) estas sciata, tiam ĉi tiu *ne* aldoniĝas al la mezurebla scio  $I(t)$ . Tio okazas dum lernstirado des pli

Die Funktion, welche der Bedingung (9.7a) genügt, ist die Sättigungsfunktion

Die Lehrstofflernfunktion wächst also *verzögert* mit der Asymptote  $I(t) = K$  bis  $I(\infty) = \min\{I; K\}$ , also bis  $p(\infty) = \min\{1; I/K\}$  nach Bild 9.3, d.h. nach

Nur für sehr kleine Werte  $Ct/K$ , also am Anfang, wächst die Lernfunktion ungefähr linear, nämlich (nach Rückkehr zur Konkretisierung  $C = C_v$ ,  $K = K_v$ ) längs ihrer Tangente im Anfangspunkt:

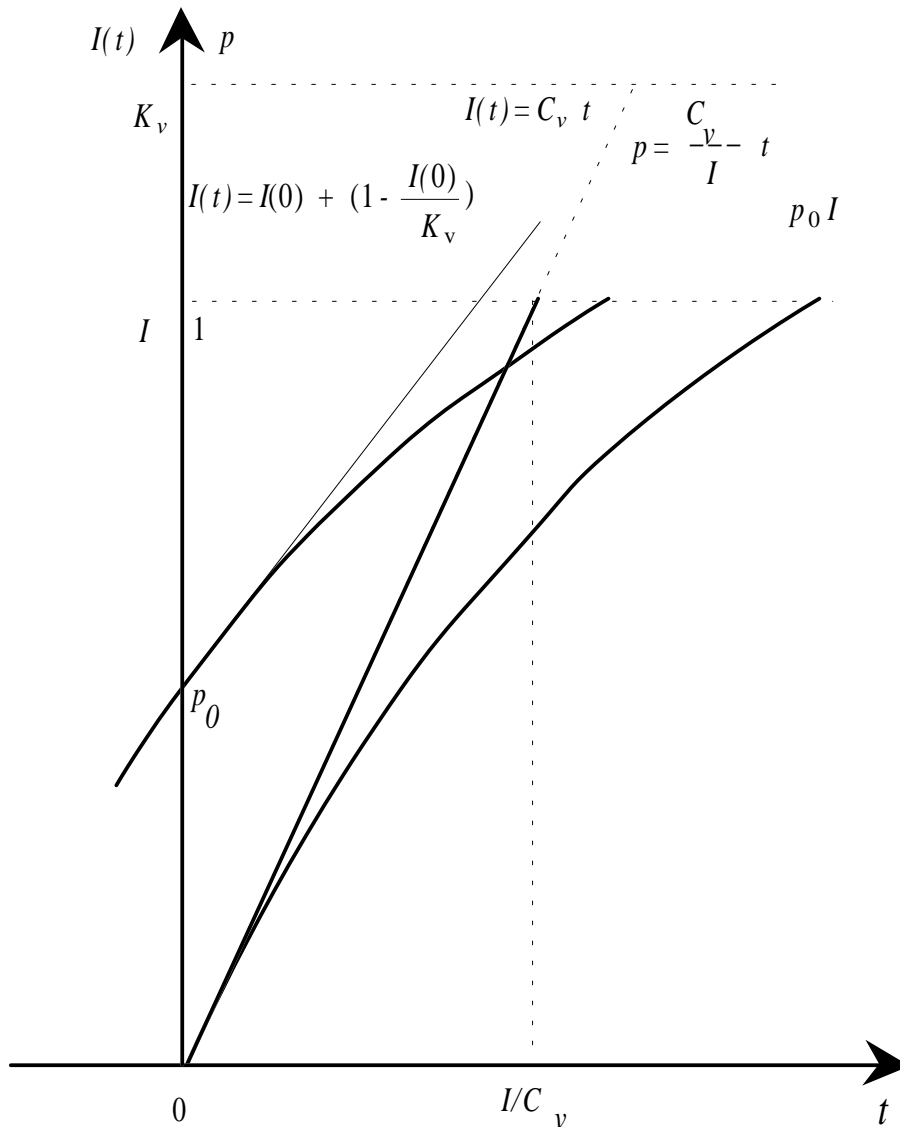
Sie ist die Grenzfunktion der Lernfunktion (9.7b,c) für  $K/I \rightarrow \infty$ , wenn also die unterstellte Ursache des Vergessens verschwindet. Bild 9.2 erweist sich somit als Grenzfall von Bild 9.3.

Die Gleichungen (9.7a,b,c) gelten nur, wenn *nur* der Grund 1 die Abweichung des Lernfortschritts gegenüber (9.6) bewirkt, und wenn das Vergessen *nicht systematisch* erfolgt (sondern zufällig, wegen Verdrängung durch - Neugelerntes). Das kann man (wenigstens näherungsweise) für das provisorische und das langzeitliche vorbewusste Gedächtnis (mit den jeweiligen Werten von  $C_v$  und  $K_v$  nach Kapitel 6) voraussetzen.

(2) Wenn der Informationsfluss  $i(t)$  Lehrstoffinformation enthält, die bereits (und noch immer) bekannt ist, dann kommt diese *nicht* zum messbaren Wissen  $I(t)$  hinzu. Das kommt bei Lern-

probable, ju pli granda jam estas la kompetenteco;  $p = I(t)/I$  estas la probablo, ke iu instruaĵinformero alfluanta la memoron *ne* pligrandigas la kompetentecon, ĉar ĝi jam (kaj ankoraŭ) estas konata, do superflue

*steuerung* mit desto höherer Wahrscheinlichkeit vor, je größer die Kompetenz schon ist;  $p = I(t)/I$  ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein beliebiges, zum Gedächtnis fließendes Lehrstoffinformationselement die Kompetenz *nicht* erhöht, weil es schon



*Bildo 9.3: Lernkurbo konsideranta forgesadon de instruaĵeroj dum la plua lernado (pro limigita storkapacito de la memoro), sen ripeto de jam kaj ankoraŭ konataj elementoj (la kurbo do priskribas la kazon de la t.n. lernregulado - vd. ĉapitron 12).  $p(\infty) = \min \{1; K/I\}$ .*

*Bild 9.3: Lernkurve unter Berücksichtigung von Vergessen von Lehrstoffteilen beim Weiterlernen (wegen beschränkter Gedächtniskapazität), ohne Wiederholung schon und noch bekannter Elemente (die Kurve beschreibt also den Fall der sog. Lernregelung - vgl. Kapitel 12.)  $p(\infty) = \min \{1; K/I\}$ .*

ripetata (vd. bildon 3.5). Eviti superflujajn ripetojn kaze de lernstirado nur komence eblas: per nur

(und noch) bekannt ist, seine Wiederholung also überflüssig war (Bild 3.5). Überflüssige Wiederholungen können

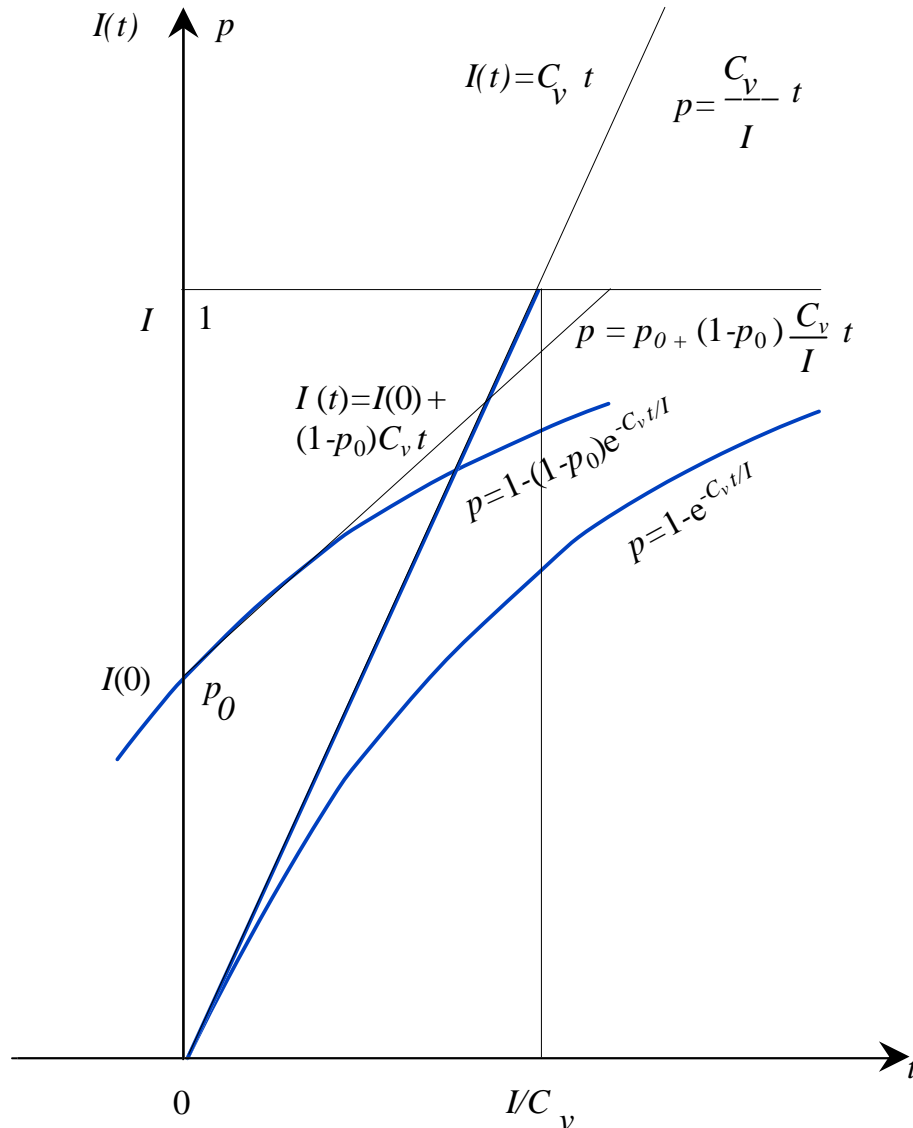
unufoja oferto de  $I$ . (La lernregulado - vd. ĉapitron 11 - elfiltras la sciataĵon antaŭ ol ĝin ripeti.) Tial la lernfunkcio kaze de lernstirado kreskas *malakcelite* (vd. bildon 3.6), eĉ se la storkapacito estas tre granda kompare kun la lernenda informacio (instruaĵinformacio):  $K \gg I$ . Tiukaze oni povas ekspekti, ke la relativa parto  $1-p$  de  $C$  pligrandigas la enmemorigitan informacion. Sekve la kreskon  $I(t)$  de la lernfunkcio priskribas la diferenciala ekvacio (9.7a), post kiam tie estas anstataŭigata  $K$  per  $I$ . La sama anstataŭo transformas (9.7b,c) en la saturaĵfunkcion, kiun bildigas bildo 9.4. Ĝi ne validas, se krome la kaŭzo 1 aŭ 3 deviigas ĝin de (9.5) resp. (9.6), kaj laŭ (10.7) ĝi validas nur kiel proksimaĵo por diferenca ekvacio kun  $\Delta t = \tau$ .

(3) Se la informfluo  $i(t)$  enhavas informon, kiu ne estas lernenda, do ne apartenas al la instruaĵo, sed estas „estetika informacio“, ĉi tiu povas esti kunlernata (krom se la lernanto ĝin pro altega instruaĵrilata motiviteco estas preteratentata). Lernitan estetikan informacion oni en la testo ne konstatas. La mezurita informacio  $I(t)$ , sciata je la fino de la lerntempo  $t$ , do estas malpli granda ol la entute sciata informacio. Se do por la efikanco validas eĉ nur dumtempe  $\eta < 1$ , tiam reduktiĝas la lernrapideco almenaŭ dumtempe al  $\eta C_v < C_v$ , kaj la lerntempo necesa por atingi certan kompetentecon  $p$  kreskas (je faktoro  $1/\eta$ , se  $\eta$  estas konstanta). Se krom  $C_v$  ankaŭ la efikanco restas

bei Lernsteuerung nur *anfangs* vermieden werden: durch nur einmaliges Angebot von  $I$ . (Die Lernregelung - vgl. Kapitel 11 - filtert das Gewusste vor der Wiederholung aus.) Daher steigt die Lernfunktion im Falle der Lernsteuerung *verzögert* (vgl. Bild 3.6), selbst wenn die Speicherkapazität sehr groß im Vergleich zur zu lernenden (Lehrstoff-)Information  $I$  ist:  $K \gg I$ . In diesem Falle kann man erwarten, dass der Anteil  $1-p$  von  $C$  die ins Gedächtnis aufgenommene Information vergrößert. Folglich wird das Wachsen  $I(t)$  der Lernfunktion durch die Differentialgleichung (9.7a) beschrieben, sobald dort  $K$  durch  $I$  ersetzt ist. Dieselbe Substitution transformiert (9.7b,c) in die durch Bild 9.4 dargestellte Sättigungsfunktion. Sie gilt *nicht*, wenn *auch* die Ursache 1 oder 3 ihre Abweichung von (9.5) bzw. (9.6) bewirkt, und sie gilt nach (10.7) nur als Näherung für eine Differenzgleichung mit  $\Delta t = \tau$ .

(3) Wenn der Informationsfluss  $i(t)$  Information enthält, die *nicht* gelernt werden soll, also nicht zum Lehrstoff gehört, sondern „ästhetische Information“ ist, kann diese mitgelernt werden (außer wenn der Lerner sie wegen größter lehrstoffbezogener Motiviertheit nicht beachtet). Gelernte ästhetische Information wird im Test nicht festgestellt. Die gemessene Information  $I(t)$ , die am Ende der Lernzeit  $t$  bekannt ist, ist also *kleiner als die insgesamt bekannte* Information. Gilt also für die Effizienz auch nur vorübergehend  $\eta < 1$ , dann sinkt die Lerngeschwindigkeit mindestens vorübergehend auf  $\eta C_v < C_v$ , und die erforderliche Lernzeit für die Erreichung einer bestimmten Kompetenz  $p$  wird (um einen Faktor  $1/\eta$ , falls  $\eta$  konstant ist) *größer*. Bleibt während des Lernens außer  $C_v$

konstanta dum la lernado, tiam sufiĉas simple anstataŭi en (9.3) ĝis (9.6)  $C_v$  per  $\eta C_v$ , por ricevi la lernfunkciojn, kiuj devias de ĉi tiuj optimumaj lernprogresoj nur pro (konstanta)  $\eta < 1$  (bildo 9.5).



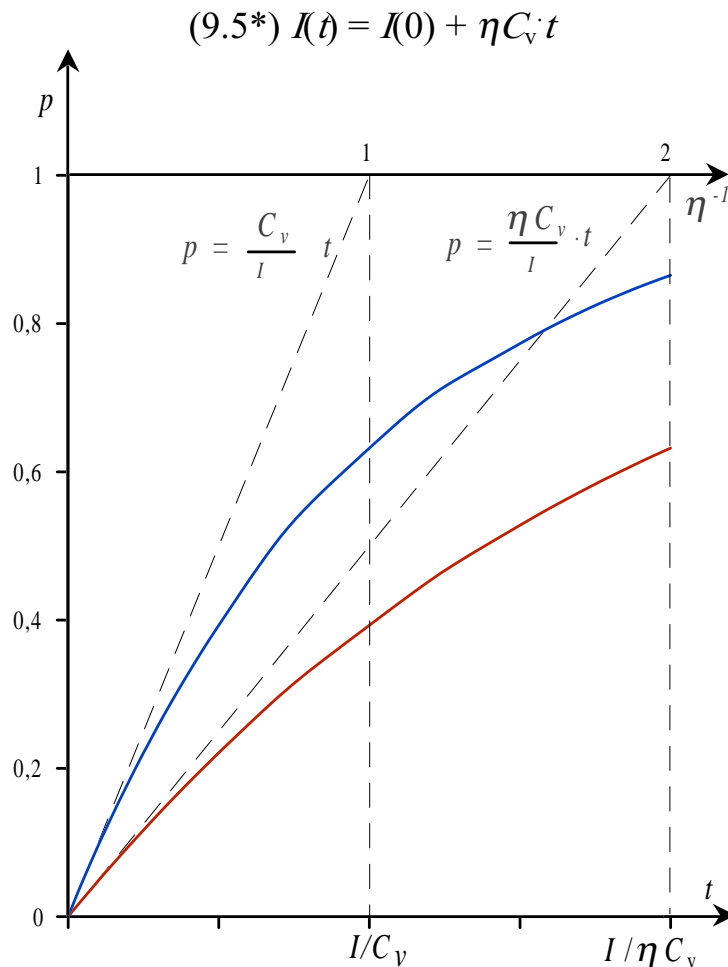
*Bildo 9.4: Lernkurbo supozanta senlime grandan storkapaciton de la memoro (do nenian bezonon de forgesado) kaj daŭran mallongan ( $\tau \approx 0$ ) ripetadon de la tuta instruado (lernstirado - vd. ĉap. 3). La asimptoto estas  $I(t) = I$  (do  $p = 1$ ).*

La sama anstataŭado havigas ankaŭ el la supraj aliaj lernfunkcioj iliajn ĝeneraligojn por la kazo, ke konstanta  $\eta \leq 1$  eble krominfluas la lernprogreson. El (9.5) tiel fariĝas

auch die Effizienz konstant, dann ist in (9.3) bis (9.6) einfach  $C_v$  durch  $\eta C_v$  zu ersetzen, um die Lernfunktionen zu erhalten, die von diesen Optimalverläufen nur wegen (konstantem)  $\eta < 1$  abweichen (Bild 9.5).

*Bild 9.4: Lernkurve unter der Voraussetzung unbeschränkten Fassungsvermögens des Gedächtnisses (also keiner Vergessensnotwendigkeit) und ständiger, kurzer ( $\tau \approx 0$ ) Wiederholung des Gesamtlehrstoffs (Lernsteuerung - vgl. Kap. 3). Die Asymptote ist  $I(t) = I$  (also  $p = 1$ ).*

Dieselbe Einsetzung erzeugt auch aus den obigen anderen Lernfunktionen deren Verallgemeinerung für den Fall, dass ein konstantes  $\eta \leq 1$  den Lernfortschritt evt. mitbeeinflusst. Aus (9.5) wird so



*Bildo 9.5: Redukto de la instruelkonforme uzita lernkapablo je konstanta faktoro  $\eta \leq 1$  multiplikas ĉiujn lerntempojn per  $1/\eta$ . Per maldekstrenŝovo de la kurbo tra  $p = p_0 > 0$  oni ricevas la lernfunkcion validan por ĉi tiu antaŭscio.*

Se estas  $I(0) = 0$  kaj  $t$  mallonga, la lernprogreso ĉiam okazas (proksimume) laŭ  $I(t) = \eta C_v t$ . Tial eblas trovi la efikancon per mezurado de  $I(t)$  kaj divido per  $C_v t$ :

$$(9.8) \quad \eta \approx I(t) / C_v t$$

La kompetenteco  $p$  atingata dum la lerntempo  $t$ , dependas laŭ ĉiuj supre prezentitaj lernfunkcioj nur de la produkto  $\eta C_v t$ , ne dise de iu el la tri valoroj. Evidente validas

$$(9.9a) \quad \eta C_v t = (\eta C_v) t = C_v(\eta t) =: C_v t_{\min}$$

*Bild 9.5: Reduktion der lehrzielgemäß benutzten Lernfähigkeit um einen konstanten Faktor  $\eta \leq 1$  verlängert alle Lernzeiten um den Faktor  $1/\eta$ . Durch Linksverschiebung der Kurve durch  $p = p_0$  erhält man die für diese Vorkenntnis gültige Lernfunktion*

Ist  $I(t) = 0$  und  $t$  kurz, dann erfolgt der Lernfortschritt stets (ungefähr) gemäß  $I(t) = \eta C_v t$ . Man kann also die Effizienz durch Messung von  $I(t)$  und Division durch  $C_v t$  bestimmen:

Die Kompetenz  $p$ , die innerhalb der Lernzeit  $t$  erreicht wird, hängt nach allen oben aufgeführten Lernfunktionen nur vom Produkt  $\eta C_v t$  ab, nicht von einer der drei Größen getrennt.

Se do la efikanco reduktiĝas de 1 al konstanta valoro  $\eta < 1$ , tiam la ĝisnuna kompetenteco estos atingata post plilongigo de la minimuma tempo  $d_{\min}$  al  $d = d_{\min}/\eta$  (vd. bildon 9.5). Tial validas (kaj estis [Frank, 1976] la origina efikanco-defino):

$$(9.9b) \quad \eta = d_{\min}/d.$$

### Ekzercaĵo

El empiriaj esploroj de multaj aŭtoroj eblis konkludi (vd. Frank, 1975, ĉapitroj 1.1 - 1.4; 1976, pj 43 - 48), ke bona instruado en klasoj okazas kun efikanco  $\eta = 40\%$ . Por universitatnivela kurso oni mezuris 30%an efikancon. Kaze de bone programita „enobjektigita instruado“  $\eta$  estas konsiderinde pli granda: kaze de lernado laŭ ne disbranĉiganta instruprogramlibro proksimume 70%, kaze de analoga aŭdvida instruado eĉ proksimume 80% (Frank, 1975, p. 45; vd. la pli postan bildon 10.3).

Normala instruhoro daŭras  $d = 50$  minutojn kaj kondukas (en la aritmo de la lernantoj de homogena klaso) al certa fina kompetenteco  $p_d$ .

1. *Post kiom da tempo eblas verŝajne atingi per bone programita, aŭdvida instruado de kompareblaj lernantoj la saman kompetentekon kiel ĉe tia (bona) klasinstruado de 18jaraj lernantoj?*
2. *Kiom da lerntempo oni devus antaŭvidi, se la samo estus atingenda per bona instruprogramlibro? Aŭ pro universitata lekcio?*
3. *Kiom da tempo daŭrus la lernado en krome samtipa (do lernstira) eksperimenta situacio, en kiu per maksimumaj motivigo kaj elimino de perturboj estas evitata la kunlernado de nekoncerna informacio, tiel ke fariĝas  $\eta = 1$ ?*
4. *Kalkulu superan baron  $x > I(d)$  por la instruajinformacio lernita en la instru-situacio por la kazo  $I(0) = 0$ !*

Sinkt also die Effikanz von 1 auf ein konstantes  $\eta < 1$ , dann wird die bisherige Kompetenz nach Vergrößerung der erforderlichen Mindestlernzeit  $d_{\min}$  auf  $d = d_{\min}/\eta$  erreicht (vgl. Bild 9.5). Daher gilt (und diente [Frank, 1976] als ursprüngliche Definition der Effikanz):

### Übungsaufgabe

Die Auswertung empirischer Untersuchungen zahlreicher Autoren (vgl. Frank, 1975, Abschnitte 1.1 - 1.4; 1976, S. 43 - 48) ergab für guten Klassenunterricht eine Effikanz von  $\eta = 40\%$ . Für eine universitäre Vorlesung wurden 30% Effikanz errechnet. Bei gut programmiertem „objektivierten Unterricht“ liegt  $\eta$  wesentlich höher: beim Lernen nach einem nicht verzweigenden Lehrprogrammbuch bei 70%, bei entsprechendem audiovisuellen Unterricht sogar bei 80% (Frank, 1976, S. 45; vgl. das spätere Bild 10.3).

Eine übliche Unterrichtsstunde dauert  $d = 50$  Minuten und führt (im Mittel der Schüler einer homogenen Klasse) zu einer bestimmten Schlusskompetenz  $p_d$ .

1. *Nach welcher Zeit kann durch gut programmierten, audiovisuellen Unterricht voraussichtlich bei vergleichbaren Lernern dieselbe Kompetenz wie bei solchem, 18jährigen Schülern erteilten (guten) Klassenunterricht erreicht werden?*
2. *Welche Lernzeit wäre zu erwarten, wenn dasselbe mit einem guten Lehrprogrammbuch erreicht werden sollte? Oder durch eine Universitätsvorlesung?*
3. *Wieviel Zeit würde das Lernen in einer sonst gleichartigen (also lernsteuernden) Labor-situation benötigen, in welcher durch höchste Motivation und Ausschluss von Störungen das Mitlernen irrelevanter Information vermieden wird, so dass  $\eta = 1$  wird?*
4. *Berechnen Sie eine obere Schranke  $x > I(d)$  für die im Unterricht gelernte Lehrstoffinformation für den Fall  $I(0) = 0$ !*