

15. *Limoj de legitimeco kaj optimumigo*

Sendepende de tio, ĉu la kompetenteco p_t pri instruaĵo B kreskas (pro lernregulado) *lineare* aŭ (pro lernstirado) laŭ *saturiĝkurbo* aŭ (pro nekompleta lernregulado de lernklaso, aŭ pro ne homogena instruaĵo aŭ alikiale) laŭ ia *alia monotona funkcio*, ĉia transfero kaŭzita de antaŭkurso A montriĝas konforme al bildo 14.3 *kaj* en pli frua akiro de la sama kompetenteco p , do en ŝparebla tempo

$$(15.1) \Delta t = \hat{s} = t_p(B) - t_p(B|A)$$

kaj en la akiro de pli alta kompetenteco ĝis la sama tempopunkto de la B-lernado

$$(15.2) p_t(B|A) = p_t(B) + \Delta p_t$$

Sufiĉe facile eblas konstati (15.2) farante la saman teston samtempe en eksperimentklaso (partopreninta la antaŭkurson) kaj en kunĝi kunigita kontrolklaso; sed malfacilas prijuĝi, ĉu la gajno $\Delta p_t > 0$ indigas la tempoinveston $T > 0$ en antaŭkurson. Inverse oni povas sufiĉe facile prijuĝi, ĉu la tempoinvesto T en la A-kurson estas kompensata per la tempoŝparo \hat{s} en la B-kurso, se \hat{s} estas konata (bildo 15.1); sed malfacilas mezuri la tempopunktojn, kiam la komparndaj klasoj atingas certan, saman kompetentecan, tiel, ke \hat{s} estas malfacile *empirie* trovebla. Por *kalkuli* \hat{s} el la rezultoj de kompetentecmezurado je difinitaj tempopunktoj, necesas koni la lernfunkcion.

Krom en la kazo de perfekta (ekz. perkomputila) lernregulado de

15. *Rechtfertigungsgrenzen und Optimierung*

Unabhängig davon, ob die Kompetenz p_t über den Lehrstoff B (aufgrund von Lernregelung) *linear* oder (aufgrund von Lernsteuerung) nach einer *Sättigungskurve* oder (wegen unvollständiger Lernregelung in einer Lernerklasse oder wegen nicht homogenen Lehrstoffs oder aus anderen Gründen) *sonstwie monoton* wächst, zeigt sich jeder durch einen Vorkurs A bewirkte Transfer gemäß Bild 14.3 sowohl daran, dass dieselbe Kompetenz p um die einsparbare Zeit

früher erreicht wird, als auch im Erreichen einer höheren Kompetenz zum selben Zeitpunkt des B-Lernens:

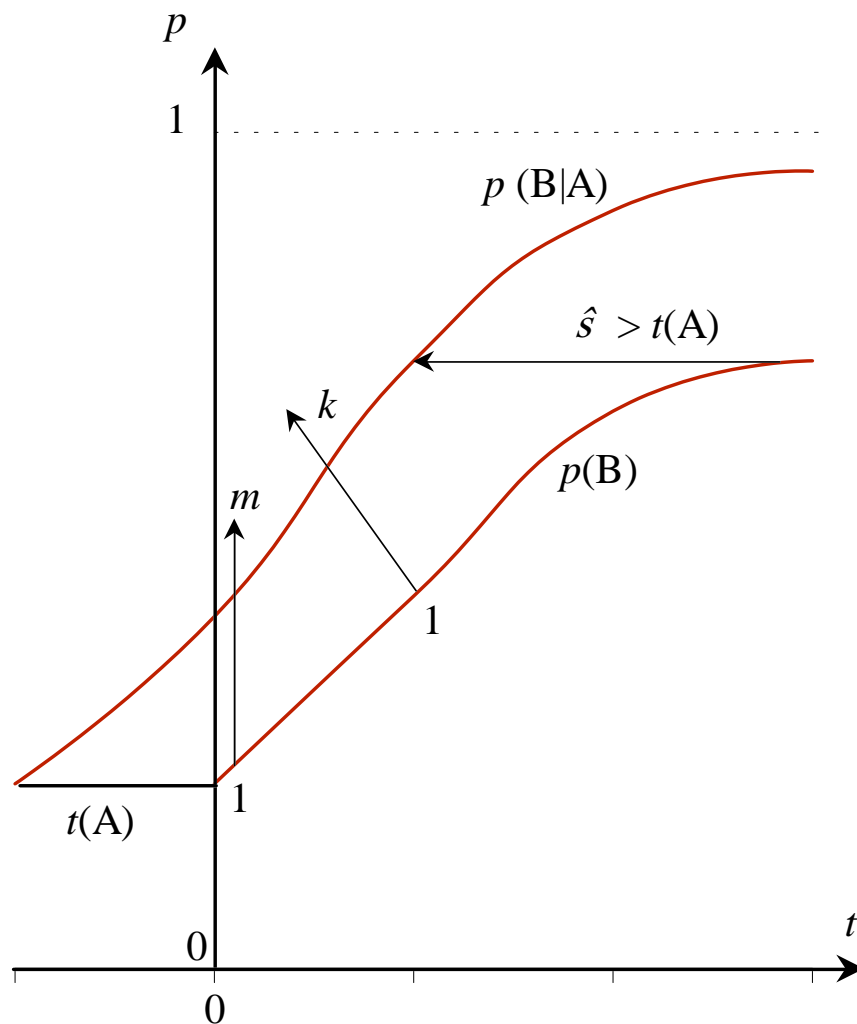
Ziemlich leicht ist (15.2) durch gleichzeitigen Einsatz desselben Tests in einer Versuchsklasse (die den Vorkurs besucht hatte) und einer Kontrollklasse feststellbar; aber es ist schwer zu beurteilen, ob der Gewinn $\Delta p_t > 0$ den Aufwand für den Vorkurs der Dauer $T > 0$ aufwiegt. Umgekehrt ist ziemlich leicht zu beurteilen, ob die Zeiteinsparung \hat{s} beim B-Kurs den Zeitaufwand T für den A-Kurs wert ist, falls \hat{s} bekannt ist (Bild 15.1); schwer messbar sind aber die Zeitpunkte, zu denen die zu vergleichenden Klassen eine gleiche Kompetenz erreichten, so dass \hat{s} schwierig *empirisch* zu bestimmen ist. Um \hat{s} aus den Ergebnissen der Kompetenzmessung zu bestimmten Zeitpunkten zu *berechnen*, muss die Lernfunktion bekannt sein.

Außer im Falle einer vollständigen Lernregelung eines Einzellerners (z.B.

unuopa lernanto, la lernkurbo deduktebla por stirado de la lernado de homogena instruaĵo per homogena klaso pli bone ol rekta linio priskribas la empirian lernprogreson. Transfero (m, K) kaŭzas transformon de ĉi tiu lernfunkcio, nome

$$(15.3a) \quad u_t = u_0 e^{-\Delta t} \Rightarrow (15.3b) \quad u_t = (u_0/m) e^{-K\Delta t}$$

im rechnerunterstützten Unterricht) beschreibt die Lernkurve, die für die Steuerung des Lernens eines homogenen Lehrstoffs durch eine homogene Klasse herleitbar ist, besser als eine Gerade den empirischen Lernfortschritt. Transfer (m, K) bewirkt eine Transformation dieser Lernfunktion, nämlich



Bildo 15.1: Pedagogie legitimita prepar-kurso A kun daŭro $t(A) = T$ kaŭzas transferon (m, K) tiel, ke la tempo \hat{s} ŝparota por atingi celitan (sufiĉe altan) kompetencecon en kurso B superas la investon T .

Bild 15.1: Ein pädagogisch gerechtfertigter Vorbereitungskurs mit der Dauer $t(A) = T$ verursacht einen Transfer (m, K) derart, dass die eingesparte Zeit \hat{s} um eine angestrebte (genügend hohe) Kompetenz in einem Kurs B zu erlangen, den Aufwand T übertrifft.

Testinte je la tempopunktoj $t_1 \geq 0$ kaj $t_2 = t_1 + \Delta > t_1$ oni ricevas en la du klasoj po du mezurrezultojn u_t

Zu den Zeitpunkten $t_1 \geq 0$ und $t_2 = t_1 + \Delta > t_1$ gewinnt man in den beiden Klassen je zwei Testergebnisse $u_t(B|A)$

(B|A) resp. $u_t(B)$, do el (15.3a) resp. (15.3b) po du egalajojn, kiuj ebligas elkalkuli la kvar nekonaĵojn: Λ , K , u_0 , m . Tiam eblas kalkuli \hat{s} el (15.1) kalkulinte t_u el (15.3a,b). Enkondukinte la mallongigojn w_{12} por la kleriginkremento akirita inter la tempopunktoj t_1 kaj t_2 , kaj

$$(15.4) m_t = u_t(B) / u_t(B|A)$$

por la „transfero jam manifesta je la tempopunkto $t \geq 0$ post la komenco de la B-kurso“ oni ricevas la solvojn

$$(15.5) \Lambda = \Delta^{-1} \ln w_{12}(B)$$

$$(15.6) K = \ln w_{12}(B|A) / \ln w_{12}(B)$$

$$(15.7) u_0 = \frac{u_1(B)^{t_2/\Delta}}{u_2(B)^{t_1/\Delta}}$$

$$(15.8) m = \frac{m_1(B)^{t_2/\Delta}}{m_2(B)^{t_1/\Delta}}$$

Kiam la kontrolklaso estas lerninta la instruaĵon B dum la tempo t kaj reduktinta sian nekompetentecon al u_t , la eksperimentklaso estas akirinta pro transfero la saman kompetentecon jam je la tempo

$$(15.9) \hat{s} = (1-K^{-1})t + K^{-1}\Lambda^{-1} \ln m = \Lambda^{-1}([1-K^{-1}] \ln u_t(B)/u_t + K^{-1} \ln m)$$

pli frue, do ŝparinta la tempon \hat{s} pro la investo de tempo T en la antaŭkurson (bildo 15.1). La neta tempoparado $\hat{s} - T$ estas pozitiva, A do pedagogie legitimita, se estas $K > 1$ kaj se realiĝas unu el la tri kazoj ilustritaj en bildo 14.2, nome se estas

- la lernfacileco Λ de B sufiĉe malgranda aŭ la celita kompe-

resp. $u_t(B)$, also aus (15.3a) bzw. (15.3b) je zwei Gleichungen, welche die vier Unbekannten Λ , K , u_0 , m zu berechnen gestatten. Dann kann \hat{s} aus (15.1) ermittelt werden, nachdem man t_u aus (15.3a,b) berechnete. Mit den Kürzungen w_{12} für das zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 erreichten Bildungsincrement, und

für den „zum Zeitpunkt $t \geq 0$ nach Beginn des B-Kurses schon manifesten Transfer“ erhält man die Lösungen

Wenn die Kontrollklasse den Lehrstoff B während der Zeit t lernte und dabei ihre Inkompetenz auf u_t verringerte, hatte die Versuchsklasse wegen Transfers dieselbe Kompetenz schon um die Zeitspanne

früher erreicht, also die Zeit \hat{s} durch die Investition der Zeit T in den Vorkurs eingespart (Bild 15.1). Die Nettozeiterparnis $\hat{s} - T$ ist positiv, A also pädagogisch gerechtfertigt, wenn $K > 1$ und wenn einer der drei in Bild 14.2 veranschaulichten Fälle eintritt, nämlich wenn

- die Lernleichtigkeit Λ von B genügend klein oder die erstrebte Kompetenz $1-u_t$ genügend hoch (also jeden-

tenteco $1-u_t$ sufiĉe alta (tiel ke la daŭro t de la instruado de B estas sufiĉe longa), aŭ eventuale

- la transfero (m, K) sufiĉe granda aŭ
- la tempo T bezonata por la antaŭ-kurso sufiĉe mallonga.

La limon t_{\min} de la legitimeco de la tempoinvesto T en la A-instruadon oni do ricevas, se oni substituas en (15.9) \hat{s} per T . Nur se por B estas je dispono tempodaŭro

$$(15.10) D \geq t_{\min} = TK(K-1)^{-1} - \Lambda^{-1}(K-1)^{-1} \ln m$$

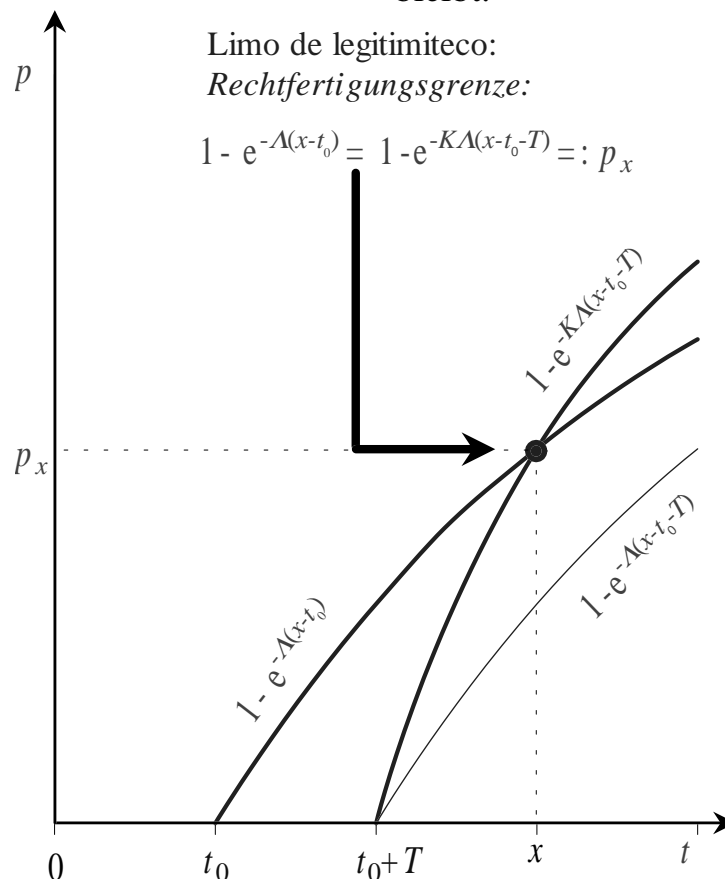
indas investi de ĝi la tempon T en antaŭkurson kaj konservi nur la restan tempon $D-T$ por B.

falls die Dauer t des B-Unterrichts genügend lang), oder unter Umständen

- der Transfer (m, K) genügend groß oder
- die für den Vorkurs benötigte Zeit T genügend kurz ist.

Die Rechtfertigungsgrenze t_{\min} der Zeitinvestition T in den A-Kurs erhält man also, indem man in (15.9) \hat{s} durch T ersetzt. Nur wenn für B wenigstens eine Zeitdauer

verfügbar ist, lohnt es sich, davon die Zeit T in den Vorkurs zu investieren, so dass nur die Restzeit $D-T$ für B verbleibt.



Bildo 15.2: Pro kaŝita transfero $K > 1$ de A al B, lernantoj, kiuj ne tuj komencas lerni B sed investas la tempon T por lerni iom pri A, je certa tempopunkto x eksuperos je kompetenteco pri B tiujn, kiuj dekomence nur lernas la instruajon B.

Bild 15.2: Aufgrund von latentem Transfer $K > 1$ werden Lerner, die nicht sofort B zu lernen beginnen, sondern die Zeit T zum Lernen von A aufwenden, ab einem bestimmten Zeitpunkt x jene an Kompetenz in B übertreffen, die von vorneherein nur den Lehrstoff B lernen.

Bildo 15.2 evidentigas tion por la kazo de mankantaj antaŭkonoj $p_0 = 1 - u_0$ kaj mankanta manifesta transfero. Estu decidende je la tempopunkto t_0 , ĉu tuj komenci la kurson pri B aŭ ĉu ĝis la tempopunkto $t_0 + T$ instrui la instruadon A, kvankam pro manko de manifesta transfero tio ne manifestiĝas en bildo 15.2 per kreskanta kompetenteco pri B. Oni ĉi tiun duan eblon preferas nur, se tamen restas por la kurso B almenaŭ la tempo ĝis tiu momento $x = t_0 + t_{\min}$, kiam la lernkurbo pri B, kiu kreskas pro la latent transfero pli rapida ol sen A, tranĉas la lernkurbon, kiun oni ricevas kaze de senpera komenco per B. Ambaŭ kurboj atingas la saman kompetentecvaloron je la tempopunkto x , por kiu validas $\Lambda'(x - t_0) = K\Lambda'(x - t_0 - T)$. La rezulto $x - t_0 = t_{\min} = TK(K - 1)^{-1}$ de ĉi tiu ekvacio estas specialiĝo de (15.10) por la kazo de mankanta manifesta transfero.

Se la eksperimentklaso kaj la kontrolklaso lernas samtempe la instruadon B (kazo de bildo 15.1), oni ricevas la tempopunkton, je kiu Δp_t laŭ egalajo (15.2) estas maksimuma, helpe de (15.3a,b) per diferencialigo: la derivaĵo estas 0 por la tempopunkto

$$(15.11) \quad t^* = (K - 1)^{-1} \Lambda^{-1} (\ln K - \ln m)$$

post la komenco de la B-kurso. Estas do necesa kaj sufiĉa kondiĉo por la apero de la fenomeno de komence kreskanta kompetentecsupereco de la eksperimentklaso, ke la latent transfero superas la manifestan.

La unua laŭkvante esplorita apliko de la kibernetika transferteo-

Bild 15.2 verdeklaras dies für den Fall fehlender Vorkenntnisse $p_0 = 1 - u_0$ und fehlenden manifesten Transfers. Zum Zeitpunkt t_0 sei zu entscheiden, sofort den B-Kurs zu beginnen oder bis zum Zeitpunkt $t_0 + T$ den Lehrstoff A zu unterrichten, obgleich mangels manifesten Transfers sich dies in Bild 15.2 nicht in einer zunehmenden Kompetenz über B manifestiert. Man entscheidet sich für die zweite Möglichkeit nur, wenn für den Kurs B trotzdem wenigstens die Zeit bis zu demjenigen Zeitpunkt $x = t_0 + t_{\min}$ verbleibt, zu welchem die Lernkurve für B, die wegen des latenten Transfers schneller als ohne A steigt, die Lernkurve schneidet, die man bei unmittelbarem Beginn mit B erhalten würde. Beide Kurven erreichen denselben Kompetenzwert zum Zeitpunkt x , für den $\Lambda'(x - t_0) = K\Lambda'(x - t_0 - T)$ gilt. Die Lösung $x - t_0 = t_{\min} = TK(K - 1)^{-1}$ dieser Bestimmungsgleichung ist in (15.10) für den Fall fehlenden manifesten Transfers enthalten.

Wenn die Versuchsklasse und die Kontrollklasse den Lehrstoff B gleichzeitig lernen (Fall des Bildes 15.1), dann erhält man den Zeitpunkt, zu welchem Δp_t aus Gleichung (15.2) maximal wird, mittels (15.3a,b) durch Differenzieren: die Ableitung wird 0 für den Zeitpunkt

nach Beginn des B-Kurses. Eine notwendige und hinreichende Bedingung für das Erscheinen des Phänomens zunächst steigender Kompetenzüberlegenheit der Versuchsklasse ist also, dass der latente Transfer den manifesten übertrifft.

Die erste, quantitativ untersuchte Anwendung der kybernetischen Trans-

rio okazis ekde 1975 konforme al bildo 15.1 lige al la enkonduko de la Lingvo-Orientiga Instruado (LOI) kiel antaŭkurso (kun parto de ILo kiel instruaĵmodelo A) de tradicia fremdlingvoinstruado. (La pli frua enkonduko de antaŭkurso pri komputilmodelo por plifaciligi lernejan instruadon de informadiko okazis sen jam difini kaj mezuri manifestan kaj latentan transferon.) LOI okazis por germanlingvaj infanoj dum $T = 80$ lernejoj horoj en la 4a elementlerneja jaro aŭ dum $T = 160$ lernejoj instruoj (ih) distribuitaj al la 3a kaj 4a jaro. Kaze de $T = 80$ l.h. LOI kaŭzis al la instruado de la angla lingvo en la 5a kaj 6a lerneja jaro nur $m = 1,00775$ manifestan sed mezume $K = 1,20$ latentan transferon. Ĉi tiu kreskas al $K = 1,34$ por $T = 160$ lh. Sen la kaŝita transfero el LOI do ($K-1 =$) 20% resp. 34% pli da instruoj de la angla lingvo estas bezonataj por akiri la saman kompetentecon. Por la lernfacileco en tia normala instruado de la Angla al germanaj mezlernejoj rezultas $\Lambda = 0,005744$ 1/ih, kio signifas, ke en ĉiu lerneja horo proksimume 0,57% de la ankoraŭ ne konata instruaĵinformacio estas lernata (laŭ [15.3a] ja validas la diferenciala ekvacio $u' = -\Lambda u$). Por ke la tempo \hat{s} , kiu estas pro la transfero el LOI ŝparebla dum la instruado de la Angla sen redukto de la rezulto, ne malsuperu la investitan tempon $T = 80$ resp. 160 ih, la disponebla tempo D por la lingvoinstruado devas esti minimume $t_{\min} = 473$ resp. 627 ih (En Germanio ĝi estas dum la ankoraŭ devigaj 5a ĝis 8a lernejoj jaroj

fertheorie erfolgte ab 1975 gemäß Bild 15.1 im Zusammenhang mit der Einführung des Sprachorientierungsunterrichts (SpOU) als Vorkurs (mit einem Teil von ILo als Lehrstoffmodell A) zu herkömmlichem Fremdsprachunterricht. (Die frühere Einführung eines Vorkurses über ein Rechnermodell zwecks Erleichterung eines schulischen Informatikunterrichts erfolgte noch ohne Definition und Untersuchung des manifesten und latenten Transfers.) Der SpOU wurde für deutschsprachige Kinder im Umfang von $T = 80$ Schulstunden im 4. Grundschuljahr oder von $T = 160$, auf das 3. und 4. Schuljahr verteilten Schulstunden durchgeführt. Ein $T = 80$ Unterrichtsstunden (Ustd) umfassender SpOU bewirkte auf den Englischunterricht im 5. und 6. Schuljahr einen manifesten Transfer von nur $m = 1,00775$, aber einen latenten Transfer von durchschnittlich $K = 1,20$. Letzterer wächst auf etwa $K = 1,34$ für $T = 160$ UStd. Ohne den latenten Transfer aus dem SpOU sind also ($K-1 =$) 20% bzw. 34% mehr Englischstunden zur Erlangung derselben Kompetenz erforderlich. Als Lernleichtigkeit in einem solchen normalen Englischunterricht ergibt sich $\Lambda = 0,005744$ 1/Ustd, so dass in jeder Unterrichtsstunde etwa 0,57% der noch unbekanntes Lehrstoffinformation gelernt werden (gemäß [15.3a] gilt ja die Differentialgleichung $u' = -\Lambda u$). Damit die Zeit \hat{s} , welche wegen des Transfers aus dem SpOU beim Englischunterricht ohne Ergebnisminderung einsparbar ist, die investierte Zeit $T = 80$ resp. 160 Unterrichtsstunden nicht unterschreitet, muss die für den Sprachunterricht verfügbare Zeit D mindestens $t_{\min} = 473$ resp. 627 Unterrichtsstunden betragen. (In Deutschland beträgt sie vom 5. bis 8. Schuljahr, also während der Schulpflicht, etwa $D = 640$ UStd). Die Maxi-

proksimume $D = 640$ ih). La maksimuma diferenco Δp_t inter la klasoj sen kaj kun antaŭa LOI montriĝas post $t^* = 152$ resp. 146 lh de la instruado de la Angla.

La kalkulo jam montras, ke pli taŭgas la enkonduko de LOI en la elementan lernejon, ol tie, je la sama tempopunkto t_0 , samamplekse jam starti la instruadon de la Angla. La avantaĝo estas eĉ pli granda ol montras bildo 15.2, ĉar ne temas pri simpla maldekstrenŝovo de la lernkurbo: pro la (ĝis la 15a vivjaro valida) aĝproporcieco de C_v kaj pro $\Lambda \approx \lambda = \eta C_v / I$ la komenca kresko de la lernkurbo estas eĉ 8-jaruloj nur 80% de tiu eĉ 10-jaruloj.

Kio estas la optimuma daŭro de LOI dependas de tio, ĉu oni deziras - post konstanta *suma* daŭro D de LOI kaj la instruado de la Angla - laŭeble grandan finan kompetentcon en la Angla, aŭ ĉu oni deziras la ĝisnunan rezulton dum minimuma D . (Ambaŭkaze validas $80 \text{ ih} < T_{\text{opt}} < 160 \text{ ih}$)

Alia konkretigo de la sama kalkulo koncernas eventualan antaŭmeton de pliperfektiga kurso pri la instrulingvo, ekzemple kiel preparanta lingvokurso por eksterlandaj studentoj. (Rezultoj pri tio troviĝas en Barandovská/Frank, 1994, kaj T.Frank, 1994.)

Ekzercaĵo

Hispanlingvaj studentoj, kiuj ankoraŭ ne estis eklernintaj ILo kaj sciis neniom pri klerigkibernetiko, partoprenis klerigkibernetikan kurson, kiu estis realigita en ILo. Pro la uzitaj bildoj kaj formuloj kaj pro la simileco de 2/3 de la vortpartoj de

maldiferenco Δp_t zwischen den Klassen ohne und mit vorhergegangenem SpOU zeigt sich nach $t^* = 152$ resp. 146 Englisch-Unterrichtsstunden.

Die Berechnung zeigt schon, dass die Einführung des SpOU in die Grundschule geeigneter ist, als dort, zum selben Zeitpunkt t_0 , im selben Umfang schon den Englischunterricht zu starten. Der Vorteil ist sogar größer als Bild 15.2 zeigt, denn es handelt sich nicht um eine einfache Linksverschiebung der Lernkurve: wegen der (bis zum 15. Lebensjahr gültigen) Altersproportionalität von C_v und wegen $\Lambda \approx \lambda = \eta C_v / I$ beträgt die Anfangssteigung der Lernkurve bei 8-jährigen nur 80% jener bei 10-jährigen.

Welches die optimale Dauer des SpOU ist, hängt davon ab, ob man - nach einer festen *Gesamtzeit* D für den SpOU *und* den Englischunterricht - eine möglichst hohe Schlusskompetenz in Englisch wünscht, oder das bisherige Ergebnis in minimaler Gesamtzeit D . (Beidesmal gilt $80 \text{ UStd} < T_{\text{opt}} < 160 \text{ UStd}$.)

Eine andere Konkretisierung desselben Kalküls ist eine eventuelle Vorschaltung eines Kurses zur Verbesserung der Unterrichtssprachkenntnis, beispielsweise als vorbereitende Sprachkurse für ausländische Studenten. (Ergebnisse dazu finden sich in Barandovská/Frank, 1994, und T.Frank, 1994.)

Übungsaufgabe

Spanischsprachige Studierende, die noch nicht ILo zu lernen begonnen hatten und nichts von Bildungskybernetik wussten, nahmen an einem bildungskybernetischen, in ILo durchgeführten Kurs teil. Wegen der benutzten Bilder und Formeln und wegen der Ähnlichkeit von

Ilo al samsignifaj vortoj en latinidaj lingvoj la studentoj tamen komprenis tion, ke ilia kompetenteco pri la klerigkibernetika instruado kreskis al 5%. Alia, krome samtipa parto de la kursanoj estis en antaŭa rapidkurso lerninta dum $T = 12$ horoj ILo; ili akiris en la klerigkibernetika kurso la nivelon de „orientiĝo“ (Lehnert, 1972, p. 230), t.e. proksimume la kompetentcon $p = 30\%$.

1. *Kiom granda estis la klerecinkremento de ambaŭ partoprenantoj de la klerigkibernetika kurso?*
2. *Kiom granda estis la plifaciligado („transfero“ K) kaŭzita de la antaŭa ILo-kurso?*
3. *Kiom da tempo D devas esti minimume je dispono, por ke la studentoj ne akiru malpligrandan kompetentcon en klerigkibernetiko, se oni investas la tempon T de D por prepara lingvokurso?*

2/3 der Wortteile von ILo mit gleichbedeutenden Wörtern romanischer Sprachen verstanden die Studierenden soviel, dass ihre Kompetenz über den bildungskybernetischen Lehrstoff auf 5% wuchs. Ein anderer, sonst gleichartiger Teil der Kursteilnehmer hatte in einem vorherigen Intensivkurs $T = 12$ Stunden lang ILo gelernt; sie erreichten im bildungskybernetischen Kurs das Niveau des „Orientiertseins“ (Lehnert, 1972, S. 230), d.h. etwa die Kompetenz $p = 30\%$.

1. *Wie groß war das Bildungsinkrement beider Teilklassen beim bildungskybernetischen Kurs?*
2. *Wie groß war die Lernerleichterung (der „Transfer“ K), den der vorangegangene ILo-Unterricht bewirkte?*
3. *Wieviel Zeit D muss mindestens verfügbar sein, damit die Studenten über Bildungskybernetik keine kleinere Kompetenz erreichen, wenn die Zeit T von D in einen vorbereitenden Sprachkurs investiert wird?*