

ÜBER DEN URSPRUNG VON INTELLIGENZ¹

Peter JAENECKE

Kreativität gilt als ein charakteristisches Merkmal von Intelligenz. Ein Vorgang erscheint uns als kreativ, wenn er aus bestimmtem Eingangsmaterial etwas Neues, noch nicht in diesem Material Enthaltenes hervorbringt. Doch was heißt *etwas Neues hervorbringen* wirklich? Neues aus dem Nichts erschaffen, ist technisch nicht möglich; etwas aus Altem hervorbringen, ergibt nichts wirklich Neues. Das Dilemma lässt sich aber auflösen, wenn das Neue als ein Phänomen betrachtet wird, das aus vielen einzelnen ähnlichen Elementen von einem strukturbildenden abstraktiven Prozess erzeugt wird; er bringt als Neues eine noch nicht bekannte Struktur hervor. Seine Wirkungsweise wird an einem einfachen nachrichtentechnischen Simulationsmodell erläutert: Ausgangspunkt ist ein ungestörter Satz, der von einem Sender zu einem Empfänger übertragen werden soll; er ist dem Empfänger unbekannt und repräsentiert hier für ihn das Neue. Bei der Übertragung wird er jedoch durch Störungen verstümmelt, so dass mehrfach der gleiche Satz, aber jeweils unterschiedlich entstellt, gesendet werden muss. Diese entstellten Sätze repräsentieren die einzelnen Elemente, die dem ungestörten Satz ähneln und aus denen beim Empfänger der korrekte Satz zu rekonstruieren ist. Als Mustervorgang stellen wir hierfür einen einfachen Algorithmus vor und erläutern an ihm einige typischen Eigenschaften der abstraktiven Prozesse. Auch bei der biologischen Erregungsleitung treten zwangsläufig Störungen auf und machen ebenfalls einen Korrekturvorgang mit abstraktiven Prozessen erforderlich. Es wird gezeigt, daß abstraktive Prozesse sich ferner dazu eignen, einen Speicher zu belegen und Abstraktionen im eigentlichen Sinn auszuführen können. Dies legt den Schluß nahe: Das phylogenetisch auslösende Moment für die Entstehung von Intelligenz war die Notwendigkeit, sich mit Erregungsleitungsstörungen auseinandersetzen zu müssen.

I. Was ist Intelligenz?

Es gibt Messverfahren, um den Intelligenzquotienten eines Menschen zu bestimmen; es gibt eine Fachrichtung mit dem Namen *Künstliche Intelligenz*, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, Intelligenz auf dem Rechner nachzubilden; und es gibt Gegner dieser Richtung, die meinen bewiesen zu haben, dass dieses Ziel niemals zu erreichen sei. Eine allgemein anerkannte Definition von *Intelligenz* aber gibt es bis heute nicht: Jeder meint zu wissen was Intelligenz sei, doch keiner kann es wirklich sagen. Völlig kontrovers sind die Ansichten über die Natur der Intelligenz hervorbringenden Vorgänge.²

STERNBERG & SALTER definieren *Intelligenz* als *zielgerichtetes adaptives Verhalten* und hoffen, mit dieser behavioristisch geprägten sehr allgemein gehaltenen Formulierung breite Zustimmung zu finden.³ Aber ihre Allgemeinheit ist zugleich ihre Schwäche, trifft sie doch letztlich auch auf Pflanzen zu, die auf chemische Reize mit einer gerichteten Bewegung reagieren und sich auf Licht- und Schwerkraftrichtung einstellen können. Am weitesten verbreitet unter denen, die Intelligenz nicht als eine bestimmte Form von Verhalten, sondern als ein (besonderes) geistiges Vermögen ansehen, ist die erstmals von STERN vorgeschlagene Definition, wonach Intelligenz die Fähigkeit ist, Schwierigkeiten in neuen Situationen zu überwinden.⁴ Die Schwäche dieser Definition liegt in dem unpräzisen Ausdruck 'Schwierigkeiten in neuen Situationen'. STERN, von dem der Begriff *Intelligenzquotient* stammt, hatte bei seiner Formulierung wohl einen Intelligenztest vor Augen gehabt: In solch einem Test ist durch den Versuchsleiter festgelegt, was für die Testperson neu zu sein hat; er entscheidet auch, ob die Schwierigkeiten gemeistert wurde. Außerhalb eines Intelligenztests ist es jedoch problematisch, von Schwierigkeiten in neuen Situationen zu sprechen. Stellt man z.B. einem Nichtmathematiker eine anspruchsvolle mathematische Aufgabe, so bringt man ihn gewiß in eine neue und zugleich schwierige Situation. Er wird sie nicht meistern können, aber ihm deswegen Intelligenz abzusprechen, widerspräche der Vorstellung von Intelligenz als einer allgemeinen geistigen Fähigkeit. Offenbar kommen nur bestimmte Situationen in Frage: neu und schwierig müssen sie sein und dennoch im Prinzip von jedem lösbar — eine widerstreitende kaum zu erfüllende Anforderung. Es gibt noch mehrere andere ebenso unbefriedigende Definitionsversuche, so dass es ratsam erscheint, sich nicht mit dem gesamten Intelligenzphänomen, sondern nur mit einer seiner typischen Erscheinungen auseinanderzusetzen. In allen Definitionen wird mehr oder weniger deutlich Kreativität als typisches Anzeichen von Intelligenz aufgefaßt; auf dieses Merkmal wollen wir uns im Folgenden beschränken.

¹ Erweiterte Fassung von: W. GÖDERT, P. JAENECKE & W. SCHMITZ-ESSER [Hrsg.] (1992): *Kognitive Ansätze zum Ordnen und Darstellen von Wissen*, p. 12 – 23.

² MEILL, R. (1987): *Intelligenz*.

³ STERNBERG, R. J. & SALTER, W. (1988): *Conception of intelligence*, p. 3.

⁴ STERN, W. (1920): *Die Intelligenz der Kinder und Jugendlichen und Methoden ihrer Untersuchung*; STERN, W. (1921): *Differentielle Psychologie*.

2. Was ist Kreativität?

Ein Überblick über die für wesentlich gehaltenen Bestimmungsstücke der Kreativität zeigt, dass (wie beim Intelligenzbegriff) nicht alle Autoren vom gleichen Sachverhalt sprechen. Kreativität wird häufig ziemlich unterschiedslos auf Personen, Prozesse und deren Produkte bezogen. Auch divergieren die Ansichten darüber, welche Merkmale jeweils Person, Prozess und Produkt haben müssen, um sich als kreativ auszuzeichnen. Originalität, Phantasie, Intuition, wissenschaftlich-technisches Erfinden und künstlerisches Schaffen sind oft genannte Schlüsselwörter.⁵ ULLRICH betrachtet Kreativität als Fähigkeit, Gegenstände in neuen Beziehungen und auf originelle Art zu erkennen, neue Probleme zu sehen, wo scheinbar keine sind, vom gewohnten Denkschema abzuweichen und aus der Norm fallende Ideen zu entwickeln, selbst gegen den Widerstand der Umwelt.⁶ Kreativ können nur Prozesse sein; Personen oder Rechner verfügen über Kreativität, sofern sie fähig sind, kreative Prozesse auszuführen. Produkte können anregend wirken, sind aber nicht selbst kreativ. Wir begnügen uns wiederum mit einem einzigen typischen Kennzeichen. An der obigen Definition fällt der häufige Gebrauch von *neu* auf; wir folgern daraus: Ein charakteristisches Merkmal von Kreativität – und damit auch von Intelligenz – ist die Fähigkeit, etwas Neues hervorzubringen. Was heißt, etwas sei neu? Hinter dieser scheinbar harmlosen Frage verbirgt sich ein ernstes Problem, das bei dem Versuch, einen kreativen Prozess bzw. Algorithmus zu beschreiben, deutlich wird: Die Ansicht, Neues entstehe aus dem Nichts, läßt sich schwer verstehen und noch schwerer in einen Prozess umsetzen, ließe es doch auf die Konstruktion eines perpetuum mobile hinaus. Die andere Möglichkeit, nämlich Neues aus Vorhandenem hervorzubringen, stellte zwar kein technisch unlösbares Problem dar, aber inwiefern ist das so Entstandene tatsächlich neu? Ist das Gewünschte bereits im Material enthalten und muß nur aus ihm herausgeholt werden, etwa so, wie man aus Axiomen mit Hilfe von bestimmten Regeln mechanisch Theoreme ableiten kann, so entsteht nicht wirklich Neues, auch wenn die Ableitung zum ersten Mal geschieht. Ist es dagegen nicht im Material enthalten, so handelt es sich wiederum um eine Schöpfung aus dem Nichts und es bleibt unklar, wofür eigentlich Eingangsmaterial gebraucht wird, da es ja doch nichts beiträgt. Wir stehen somit vor dem nun aufzulösenden Dilemma:

Neues aus dem Nichts erschaffen, ist technisch unmöglich; etwas aus Altem hervorbringen, ergibt nichts wirklich Neues.

3. Nachrichtentechnisches Modell für abstraktive Prozesse

Zum besseren Verständnis betrachten wir zunächst folgendes Gedankenexperiment: Ein Sender versucht einem Empfänger einen Satz zu übermitteln. Da die Übertragungsstrecke unter Rauscheinfluss steht, kommt jedoch dieser Satz beim Empfänger stets mehr oder weniger verstümmelt an. Die Mitteilung soll nur in einem einzigen Satz bestehen und es soll möglich sein, den Sender beliebig oft zu einer Wiederholung seines Satzes zu veranlassen. Auch bei der Wiederholung treten Störungen auf, so daß der Empfänger schließlich über mehrere, alle vom gleichen Satz abstammende verstümmelte Sätze verfügt. Es besteht die Aufgabe, aus diesen verstümmelten Sätzen wieder den ursprünglichen unverstümmelten Satz zu rekonstruieren.

Ein solches Gedankenexperiment läßt sich sehr einfach auf einem Rechner simulieren. Wir legen zunächst irgendeinen ungestörten Satz fest. Danach werden über einen Zufallsgenerator mehrere Stellen im diesem Satz ausgewählt und die Zeichen, die an diesen Stellen stehen, durch andere, zufällig aus einem bestimmten Zeichenvorrat ausgewählte ersetzt. Der Einfachheit halber bleibt die Anzahl und die Stellung der Zeichen im Satz von der Störung unberührt, d.h. die empfangenen Sätze sind alle gleichlang und die korrekt übertragenen Zeichen erscheinen immer an der richtigen Stelle. Abbildung 1 zeigt ein Simulationsergebnis für solch eine Übertragung. Der ursprüngliche Satz kommt so stark zerstört an, dass es offenbar wenig Sinn hat, weitere Wiederholungen anzufordern; der Fall scheint hoffnungslos zu sein. Ordnet man jedoch in diesem Text Spalte für Spalte die Zeichen nach aufsteigender Häufigkeit, und zwar so, dass das häufigste Zeichen in der untersten Zeile zu stehen kommt, so ergibt sich das in Abbildung 2 gezeigte Bild: Die Zeichen, die sich in der letzten Zeile eingefunden haben, scheinen zwar immer noch keinen Sinn zu ergeben, aber sie bilden wenigstens leicht lesbare Wörter, was sowohl bei den darüberliegenden Zeilen, die die weniger häufigen Zeichen enthalten, als auch bei den ursprünglich empfangenen Zeilen (Abbildung 1) nicht der Fall ist. Man kann daher mit einer gewissen Berechtigung vermuten, dass es sich hierbei tatsächlich um den ursprünglichen Satz aus einer uns unbekanntem Sprache handele, sicher ist es jedoch nicht.

⁵ MATTHÄUS, W. (1976): *Kreativität*, p. 1194f.

⁶ ULLRICH, E. (1987): *Kreativität*.

Wir hatten unsere Untersuchung über die Kreativität unterbrochen, als wir bei der Klärung des Begriffes 'neu' in ein Dilemma geraten waren: Neues aus dem Nichts erschaffen, mußte aus technischen Gründen fallengelassen werden; bei der anderen Möglichkeit, Neues aus Altem hervorbringen, blieb ungeklärt, inwiefern das so Entstandene das Prädikat *neu* verdient. Anhand des Rekonstruktionsexperiments können wir nun das Dilemma auflösen.

```

K? TTUOIJIEPCKGI.OKIT"E ;MN/ASW?RUZ?,?D ?XFUCMITST,BK:C.;NA"OPHA.
KA T:U UFUE,R;GI:DXC.,F R(M"A X FNA, /O;ITARUSAAMU,EKA ?P?E BU.MG
SA:SUUMYGVEGOAGP:KI NE HLNUA .//QS, N, ;TUMAZUAKEKIHH ZXGOHQA.
OA DU( GFWZTF ?1/ V/ TKGH-NJC MUP/K, S- ZOA/-JBTUBI PZN:;KCEOHIAK
KA QU/PI:TE YA:IRTXILFF HTN", EIQAA,MYO .RNEUMUHUGSGKAINIK(LRHOAG
HRT)EUGIETE RAJNA ZIIH MYN?A EDRNU, NO HJA)(FF UM?XDIVHIMNOHQA.
QA-CII F;TE ZAG;,BBIJEEWPELUA QLPR)VQ VOOIB"ATUP:VDA HAT,N,HUAA
KA?T U)I GE";AYIHMKMAT?THE?B,YONRE)- HZ HCATOM/TUH, /,HIAKZ,OBGIR
UA;TB) OFTEGRIGIKSO.FKMB?E-TMNE/RU.A NOZ -AFUMV-UA,FKACUA,ALIWLZY
.Y IUU ) T IIAGQ :;I T)-F JIH ELLTNM N?PHOAFUD,ITQ"E KI GF:PNQ -AG
DK:KUQ D SGURIG,B K- T: --EUAPIYRLAU.AU SNATUMG;.B,IWAOHAXAUOHICT
KN,UUDPLWS GAGI K(KTM AEN)XTMXR)Y,V ZLH,ATD(RTKRPIKA L:U,NOFOO.
QKN1UV ?SDETRJGI TFD TL HENSA?:/RUA, .O)OQA?UM:QUU, J? HNKAIOBOAU
U" THDRAIDVUDIGUY?)II:EUH/ UA E -.Y,)KO HQ)TUMMTUA,EK: WFELNOHOAK
ZDSQ,S?: TA :SCIE :C TW:TUJ,H EDGK(H NO HUA:UMATQA, KAFHAKVMADSAN
JC TUV ITXEXTAKNQ ""OSIRHE(UVRC R,DP NO IIN(K ATUFM RAHHADR/HOAF
KAJ-UU ATUEUR?G-LRYIYUESNE-DA D,R-U, XOCUOAYCMKUZAX-KAYWXZA(D,BSF
HKP GBFVQTE RAG/, LENTLOH,/ULHE ZUAZ ZI/(!FCHMQUAROHA QPKAEB(OAA
QOJTU:NIUTE TUQSDYTIP/Y HLNUC( T("UT, ,K I-ATXHTUA)IKA HTSAKOMO-.
FYDJ OTR LO,RHGI, LI)LYZHMUA EP:Y(PB?"PIO,MUMRTIU,VS-DHAKANONO-.
FLU"?; I.:EJJAGN, AI)?EKHSTUAPE RYJ,F-O?HOMTU,)TIAZC:B YAKT:O,WAM
KAITAZ ,NTE ;COI,AKL LE;M?NUNUR R?,DEHP PHZRT/B F)A?- (DAG:ZHQD"
KA T;. I PL I GI, KI)XEUH/N)AI" (UA, T, HU?H?"WUA;EZD RK.TNYPOLJ
K( TMU E:WVHN/GU, B; TROXEAI E ?DA, VO/?XLC-MATJA(M)R(H.LEJSLO H
/ASTTU X TXUS":S:WFINT)I(ENHA PI.?A,GNZ BAAT.MATNSATKA VFKNINHJT.
IA:TESUOXTEQRKGRIR K,XG. /EUVT EI"UA,Z.H G?(M:C:TUA-,WAO-AKSTBHOYJ
HVJTUU)J-TE NRA.C" .IYTF DEFTA D ?X;MHNS HS?.UM T/AOLOA )LKV:DHOTS
S? XU:-;HT/ ,(I:;TI MEAHEMTC E ?UA, /O;D)AUUIU/UU"VKAIHAKENSJNA.
KACGT(SID?M RA)-, ZII?-YGH UTKE MUA, :OAZSMZGMADUE? Q; PIKANUVH)I
AZCU" IFT;VCANVMA:I:TN (EV:NHC( UA. NV HOGT(MPTUBTJ)"IFHB?A)OTIAK
A TU.BI(-X RB/I,X.IOTE IUNUTTE RRA. VTXPCATQM/- (A; LY,HR""HOJJGY
K" TPWMO ,LDRAB?HCK L)E HENYT ZARDA.AW;OHGX(YI,TU IEAJF)GKARGQKAK
RKPTUU ,GVJ,GQDSS VNTTC BQUJAF;RESE YN HO:IT S)TXA,EKE IAKAN"HW.A.
UA TES ITBEGUL)S/NKI UE H/"TC I RXA)CN WHRKTUT,T.CBDQA HA: NOQMS.
QA BUEI; LN MAGIK U/.TE NNRA-E LUAJI/OKHOUT:MATB,D KI?H" A/ONOA.
KI TUU(I ADRIGJ ,K TG WFN)CVE FJAG NK MAAOPHATS,,JJAYIOKTFOHJ")
KIWKUJ?D .E RMC-,TKTYER HD/UA HUVUN,LNK"HOATUMASRSZ "A JAJAPHGW/D
YQ N U - JEFREGR:MKJ)TNJ:EVJFKRFS?A-VNO H";FUSA UA,ZKSIIN?NG)HOJY
UA ,U-GHX-!GRAKI, PIMTE/MRTUA E A ACJZVN,"XPU(AU(V, KA HA(AN.P/A,
V/T;U)WCPECPRA;I,FEIDTV HENU"(E XGAZ)AS(ADA/CMJCOA,SL"WX.,JAM?HDA/
ZS TNL I "E:,AGIZGTI NO ,ENVA E HUA,CNUFS?"GOAHDA" ,KHAL(NWHO-,
MAHT?UKX,O-"DHTIY:VIFH;XK,SN/ EPRUA" DOOH-AT;I C;Z,"KAFHNMAM)HGOQ
UAB/"UJI ;E Y(GIRHKZ XV,E:NDASFRDU.,RMO H,AICMGQUI,?TA,HAKAN:OP.
JAEQUF ISPP RA(VR KSOFM HEIUO(/ WJK,BNOHHZSSUM:TXADVKE PAKAHUJAY/
KG ATT HXT,RR-OIA;KIS?E HEQUW?H/R?Z, RORHBADU;B/UA) KGWHOKSIO/OA.
KA NUC ; TO(TIKICVK,/TE HE./TFRVKA, M)/OAEB?CTU?A(LR QM (FOH-J-
CGBF,M I-TQ RO-IB,:IWEQ HTNEARE RUA-)I TO"UK-,TAA"MYDHAK-?OZSFX
BANAUUQI : RN)U,E:CKTE "ENPA L RX(, NW:H:ATJWA:IWUK,A HAKKVP-PA
V.;TUU)T-,EDN/)I MKIPTHKHEN OQF P;-SVNOXHOA?:PWJIAQ KANWA(A OHOA(
VAGTUZU? ". FUGI,TEI T: HEQ:"?E FU(R)NO FO,HUPKTUAAU -D LVKAN:HOAG

```

Abbildung 1: Simulationsergebnis für die Übertragung eines Satzes unter Rauscheinfluß.

In jeder Zeile müßte, wenn die Übertragung nicht gestört wäre, immer der gleiche Satz erscheinen. Die Störung besteht darin, dass einige zufällig ausgewählte Zeichen im ungestörten Satz durch andere zufällig aus einem Zeichenvorrat ausgewählte ersetzt sind. Die Anzahl und die Stellung der Zeichen im Satz bleiben von der Störung unberührt, so dass alle empfangenen Sätze gleichlang sind und die korrekt übertragenen Zeichen stets an der richtigen Stelle erscheinen.

Bei der Rekonstruktion wurde aus einer bestimmten Menge von mehr oder weniger ähnlichen Objekten (den gestörten Sätzen) ein neues Objekt (der rekonstruierte Satz) gewonnen. Im Gegensatz zu den gestörten Sätzen ist der rekonstruierte Satz lesbar. Er besitzt also eine Eigenschaft, die in keinem der Sätze, aus denen er rekonstruiert wurde, vorkommt; folglich ist die Satzrekonstruktion ein kreativer Prozess: Keiner der Sätze in Abbildung 1 reicht, für sich allein genommen, an den Informationsgehalt des rekonstruierten Satzes heran, obwohl alle mehr oder weniger etwas zur Rekonstruktion beigetragen haben. Würde man etwa in Abbildung 1 irgendeine Zeile durch einen völlig beliebigen Satz gleicher Länge ersetzen, so würde doch das Häufigkeitsverfahren noch immer das gleiche Ergebnis liefern; sofern solche Sätze nicht zu oft auftreten, beeinflussen sie das Ergebnis nicht. Die Lesbarkeit ist daher nicht in den einzelnen gestörten Sätzen, sondern in der Gesamtheit der gestörten Sätze enthalten. Aus einem einzigen gestörten Satz läßt sich der ursprüngliche nicht rekonstruieren, es sind dazu immer mehrere erforderlich; wieviel, hängt vom Grad ihrer Zerstörung ab. Wir sehen nun, wie es zu unserem Dilemma gekommen ist: Etwas aus Altem hervorbringen, ist nur dann nichts wirklich Neues, wenn, wie z.B. bei der Symbol(ketten)verarbeitung das Alte etwas Einzelnes darstellt und durch den Prozess nur eine Veränderung erfährt. Tragen aber viele einzelne Elemente etwas zur Entstehung bei, dann muss das Produkt notwendigerweise etwas enthalten, was in den einzelnen Elementen allein nicht zu finden ist: Das Neue ist ein Massenphänomen. In diesem Sinn wurde bei der Satzrekonstruktion aus Altem tatsächlich etwas Neues hervorgebracht.⁷ Ein Prozess dieser Art bezeichnen wir als *abstraktiven Prozess*. Wir beschränken uns im folgenden darauf, seine kreativen Merkmale und die sich daraus ergebenden Folgerungen in enger Anlehnung an unser Rekonstruktionsexperiment zu erläutern; dazu ist es erforderlich, einige neue Begriffe einzuführen.

```

R
V
T
/
I U ; O P J W T ) TIG " U
S Q Y J I J O F ? X / Q S ! . I G S X . W N
. D DOGEGZ S B J K - Lh . - / H Z . J ! I H M I F P . N U R M
) ? - ) B P F ; S G P ? . S A ? G A ( E S . G A ? L V N O Y H J F K P E I / Z ? I , X ( I F M "
/ R ? K : R ) L O S I O U ? E ? O M ! " W W T Y ( , ! Z T R K C O Q ) . X F V Z H P - J , N ! C K A D . ! S
I N D - ! O F P Q X / X Z C J Q R ? . X , I T N A H Y : ? : . A X - ? U H . Z T D ! A F " M C R ? U X X G J / ( U Z I
R D U ! ; N ? U ? M J Q " Y L Y ) - : K . B X S F : X N C N . , P U , ? A ( U Z O ? Q Z J R X ; H - V G T U Z T D L L C )
Y C I " B " T : . B ; H : H Q P D W " ( H : - - / ? " Y V B O L M - ) H - P W B ) L P . , P W N F R T S B . Y K E P ) Z M B D O
M O C X H W - V N J Q J Q N ; " X Y D S S C : D H T R L U T Y V R D D F T H K G Z ( ; Q C . ; / ) ( . Z ? D L D L R Y V I L ,
J L Z G . E S R H . N N S L / , M C A " / U G R G Q S N ( I " X S T E E : T " D B G ! Y I C Q B E - L ) ; I R B S R / I T K Q
C ( W B G - B . O J ! V G M B ! S N U E W / ; S I N I W - P , A G J ) G W ; N M : K S T R G R T Z O J K V R G : P U J M ) -
B V H R A L I E ( ; - F U E D / Z F P L N G L Z B F Q E ? V ( ( X J , J Z D N ( , D U D P H U D O C B S A S , - G . " H G G / G X
U ; E ; ; F ( , C U P C M - ; C C G X ; I ) Y ; D . P F R Z A H ; ; G A R F A I ; R ; O / S D . ) " ! " C I " " . ; " ! D "
F / G / M T K - , V , ; ; N T ? H V L N L O ) I W R D / Q ; ; D N - C I ! W H / X S C J ? ) H ; , Q ? ? . ( J M : N V M / A / (
S S S O P C J W I L Q R I ( J / E B T T N R A : - ; U P I F W L Y " L ? , R T S , M D - J O A V ? ( D G O X V J - L ; Z P P F
G P F N M Q T : - . ( C K - R K A F J . H N Y M - ? " , H / R G Y U S J , V : F C N ( - W ! Z ; K W I I ; ; K E P - I F A
Z . T O " Y U A G O V T , I : U Y H Z Z F L V / , L U I N T L V " O S B . Y S P R F / ( " G J O I ! I Q : Y ) P Z , : B H T J
O Y B I , I U D T : X " D H . V A ; . S K M M X K H M V O K M D ( E N P H Z U / ? A ? E G ( , - . ? Z D " E W I ! L V G S , G S H
H " N C ? ( M X S , L , Y ( C Q B , E / P X O , E U O " S O U L ) . M C A " ; Z " M ? B I K U S W U J : R D P , M S I . Q - O Y
Q ! ; , E . ? H X " A D N / O N K M T Y F : O " , // H ( H P P K K Z B M I O P ? : H K ; : C ( S O M , Y N O O E F ) U S Y /
V Q : N S G O - W O U F O K - : : V , ) ? F K ; T V ) C F F I ? X Z , V V Z ) S , X F : P B / X B A V - O H L F ( ( W N W J K
J K J A T Z ) ; F P G T ! ) S T : C O E H U ( / J T T ? R / F ? ( - ) / K X I - " U C S W I U " E L I F W N ? T M B P J - G
K A T U U I T E R A G I , K I T E H E N U A E R U A , N O H O A T U M A T U A , K A H A K A N D H O A .

```

Abbildung 2: Rekonstruktion des ursprünglich gesendeten Satzes.

Spalte für Spalte wurden in dem Text von Abbildung. 1 die Zeichen nach aufsteigender Häufigkeit geordnet, und zwar so, daß das jeweils häufigste Zeichen in der untersten Zeile zu stehen kommt; auf diese Weise entsteht in dieser Zeile (im Unterschied zu den darüberliegenden Zeilen und zu denen aus Abbildung 1) eine gut lesbare Wortfolge. Mit einer gewissen Berechtigung wird man daher vermuten, daß es sich hierbei um den ursprünglichen vom Absender mitgeteilten Satz aus einer unbekanntenen Sprache handelt.

⁷ Neu ist etwas immer nur in Bezug auf etwas anderes, d.h. zwischen dem Alten und dem Neuen muß eine Beziehung bestehen. Beim Entstehungsprozess ergibt sie sich dadurch, dass das eine aus dem anderen hervorgeht. Irgendein beliebig hingeworfener Satz mag im Sinne von 'noch nie dagewesen' neu sein, aber da ihm die Beziehung zu den Sätzen, gegenüber denen er neu sein soll, fehlt, ist er nicht aus einem kreativen Akt hervorgegangen. Aus dem gleichen Grund kann auch der Zufall — wie übrigens die düftigen Brainstormingergebnisse belegen — nicht kreativ sein. Außerdem wird durch die Redensart 'etwas ist durch Zufall entstanden' eine Prozesshaftigkeit vorgetäuscht, die der Zufall nicht besitzt; in Wirklichkeit besagt sie nur, dass der Entstehungsvorgang unbekannt ist. Wäre der Zufall ein Prozess mit bekannten Eigenschaften, würde man nicht mehr von Zufall sprechen.

Die einzelnen vom abstraktiven Prozess verarbeiteten Elemente bezeichnen wir als *Singurale*, das Produkt als *Struktural*. Im Rekonstruktionsexperiment waren die gestörten Sätze die Singurale, der rekonstruierte Satz war das Struktural (letzter Satz in Abbildung 2). Singurale, die wie in Abbildung 1 vom gleichen Struktural abstammen, bilden ein *Kollektiv* von Singuralen. Ein Singural kann verschiedenen Kollektiven angehören, d.h. es kann zu mehreren, verschiedene Aspekte einer Sache widerspiegelnden Strukturalen gehören; welcher Aspekt erfasst wird, hängt davon ab, worauf der abstraktive Prozess abgestimmt ist. Ein System, das einen abstraktiven Prozess ausführt, bezeichnen wir kurz als *Abstraktor*. Ein Abstraktor macht aus einer Vielheit von Dingen (aus einem Kollektiv von Singuralen), jedes Ding für sich unvollständig, eine neue Einheit (das dem Kollektiv zugrundeliegende Struktural), ohne auf den Inhalt der Singurale Bezug zu nehmen. Dabei trägt er stets selbst etwas zu dem von ihm erzeugten Produkt bei, d.h. durch das Zusammenwirken von Prozess und Singuralen entsteht etwas Neues, das zuvor nicht in den Singuralen (und natürlich auch nicht im Prozess) enthalten war: Das Struktural ist mehr als die Summe der Singurale.

Die Satzrekonstruktion beruht auf einem Häufigkeitsprinzip; es ist ein allgemeines Strukturbildungsprinzip, das allen abstraktiven Prozessen zugrundeliegt. Sofern die Singurale in der überwiegenden Zahl vom gleichen Struktural stammen und hinreichend viele von ihnen zur Verfügung stehen, konvergiert ein abstraktiver Prozeß immer nach endlich vielen Schritten; es bleibt allerdings offen, nach wievielen Schritten die Konvergenz erreicht ist, denn das hängt von der Güte der Singurale ab und diese Güte kann schwanken. Jeder abstraktive Prozess benötigt, wenn er sinnvoll einsetzbar sein soll, ein auf Erfahrungswerten beruhendes Abbruchkriterium. Dabei kann es vorkommen, dass der Abbruch zu früh, d.h. bei einem noch nicht vollständig ausgebildeten Struktural, erfolgt. Das Ergebnis eines abstraktiven Prozesses ist daher immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. So ist es z.B. keineswegs gewiss, ob es sich bei der letzten Zeile von Abbildung 2 tatsächlich um den vom Sender ausgesendeten Satz handelt. Die Konsequenzen hieraus sind indes, wie wir noch sehen werden, nicht so brisant wie in der Logik bezüglich des Induktionsproblems angenommen. Wir wollen nun einen Zusammenhang herstellen zwischen unserem Rekonstruktionsexperiment und der Herausbildung von Intelligenz.

4. Störungskorrektur als Promoter von Intelligenz

Ohne Sinneswahrnehmung gäbe es keine Informationsverarbeitung und damit auch keine Möglichkeit, angemessen auf Umwelteinflüsse zu reagieren. Intelligenz ist eine Eigenschaft der Informationsverarbeitung; ohne Sinneswahrnehmung gäbe es das Phänomen *Intelligenz* nicht. Wenn wir etwas über den Ursprung von Intelligenz in Erfahrung bringen möchten, müssen wir uns daher mit den Bedingungen für die Möglichkeit von Sinneswahrnehmung beschäftigen.

Grundlegend für die Sinneswahrnehmung ist das Vermögen, die von den Rezeptoren ausgehenden Erregungen an eine beliebige Stelle des Gehirns weiterleiten zu können. Die Erregungsleitung ist das biologische Gegenstück zur technischen Nachrichtenübertragung und ebenso wie bei dieser muss es auch bei jener das Phänomen der Signalstörungen geben. Es ist sogar anzunehmen, dass es in biologischen Systemen noch viel ausgeprägter in Erscheinung tritt als in technischen, weil die Erregungsleitung über chemisch-physikalische Vorgänge erfolgt, die sich, im Gegensatz zu denen der technischen Nachrichtenübertragung, viel dichter in einem dem Wärmerauschen ausgesetzten molekularen Bereich abspielen. Wenn die Erregungsleitung Störungen ausgesetzt ist, muss es auch entsprechende Vorkehrungen gegen den dabei aufgetretenen Informationsverlust geben. Damit haben wir die gleiche Situation vorliegen wie bei der Rekonstruktion verstümmelter Sätze; auch die Voraussetzungen sind gleich: das Eingangsmaterial ist hoch redundant. Bei der Sehwahrnehmung z.B. gibt es zwei Zustände: die sakkadische Augenbewegung und eine Ruhezeit, während der die Augen auf ein bestimmtes Ziel fixiert bleiben. Solange die Augen in Bewegung sind, kann nichts wahrgenommen werden; in ihrer fixierten Position dagegen nehmen sie für eine gewisse Zeit mehr oder weniger gestörte Daten vom gleichen Objekt auf; diese Daten, die man sich als eine diskrete Folge von Bildern vorstellen kann, sind ein typisches Kollektiv von Singuralen, aus denen der tatsächlich wahrgenommene visuelle Eindruck gebildet werden muss. Entsprechendes findet sich auch bei den anderen Sinneswahrnehmungen. Wir leiten daraus die These ab:

In biologischen Systemen erfolgt die Störungskorrektur über abstraktive Prozesse; ihr Ergebnis sind die Sinneseindrücke.

Die Erregungsleitung, so unentbehrlich sie auch für kognitive Vorgänge ist, trägt höchstens vorintelligente Züge. Intelligenz tritt erst auf, wenn der Organismus fähig ist, Erfahrungen aus Sinnesdaten zu sammeln; dazu ist eine Informationsspeicherung erforderlich. Wir beschränken uns hier auf den reinen Speichervorgang und lassen alle Probleme, die die Organisation des Speicherinhalts betreffen, außer acht. Betrachten wir zunächst wieder die Verhältnisse in der Physik. Sowenig eine Nachrichtenübertragung ohne Störungen abläuft, sowenig gibt es einen leeren funktionsbereiten Speicher: In dem Moment, wo ein Rechner angeschaltet ist, steht etwas in seinem Speicher; soll dort ein anderer Inhalt hineinkommen, muss zuvor der alte überspeichert werden. Speicherbelegung bedeutet daher immer Verdrängung des alten Inhalts durch den neuen. Auf den ersten Blick scheint es daher vorteilhaft zu sein, Speicher mit leicht verdrängbarem Speicherinhalt zu konstruieren. Doch dies ließe sich nur auf Kosten der Stabilität des Speicherinhaltes verwirklichen, denn die unvermeidlichen Störungen wirken ebenfalls am Verdrängungsprozess mit und würden dafür sorgen, dass nach einer gewissen Zeit der alte Speicherinhalt auch ohne Einwirkung eines neuen verloren geht. Damit würde der Speicher aber nicht mehr seine Funktion als dauerhafter Aufbewahrungsort von Nachrichten erfüllen. Die leichte Verdrängbarkeit ist also keine gute Lösung; der Inhalt muss vielmehr so schwer verdrängbar sein, dass ihm die Störungen nichts anhaben können. Das erschwert wiederum die Überspeicherung mit einem neuen Inhalt. In der Physik lässt sich dieses Problem vergleichsweise leicht energetisch lösen; im Biologischen dagegen gibt es keine hohen Energiedifferenzen; hier bleibt nur das bewährte Mittel der Wiederholung: der neue Inhalt wird solange mit dem alten überlagert, bis er sich schließlich durchgesetzt hat; dabei wirkt der alte Inhalt auf den neuen wie eine Störung. Auch diesen Vorgang veranschaulicht Abbildung 2: Hierzu ist es nur notwendig, sich die unterste Zeile als den zu füllenden Speicher vorzustellen. Wir haben es also hier erneut mit einer auf redundanten Eingangsdaten aufbauenden und daher mit einem abstraktiven Prozeß lösbaren Rekonstruktionsaufgabe zu tun:

Der gleiche Prozeß, der die Störungen bei der Erregungsleitung aufhebt, eignet sich auch dazu, Daten in einem Speicher abzulegen.

Mit dem bisher Behandelten können wir erklären, wie ein unmittelbarer Sinnesindruck entsteht und festgehalten wird. Damit haben wir uns noch nicht sehr weit von den untersten Stufen der Sinneswahrnehmung entfernt. Erfahrung geht über reine Sinnesindrücke hinaus; wir müssen daher abschließend noch klären, wie abstrakte Eindrücke entstehen. Wir werden zeigen, dass auch diese Eindrücke aus einer Störungskorrektur hervorgehen. Dazu müssen wir auf eine weitere "Erfindung" des Organismus eingehen und den Begriff 'Störung' etwas verallgemeinern.

Charakteristisch für die abstraktiven Prozesse ist, so hatten wir herausgefunden, dass sie bei entsprechendem Eingangsmaterial stets zum richtigen Ergebnis führen, dass aber das Ergebnis dennoch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet bleibt, weil niemals sicher ist, ob das Eingangsmaterial bei Abbruch des Vorgangs die erforderlichen Bedingungen tatsächlich erfüllt. Die Unsicherheit hat jedoch keine ernsthaften Folgen, sofern die in den abstraktiven Prozess eingehenden Erfahrungswerte dafür sorgen, dass wenigstens in der überwiegenden Zahl der Fälle ein korrektes Ergebnis erzielt wird. Dann erfüllen nämlich seine Produkte gerade wieder die Anforderungen, die ein Kollektiv von Singulare erfüllen muss, um als ein solches zu gelten, und es ist möglich, die Unsicherheit, die der eine abstraktive Prozeß mit sich bringt, durch einen nachfolgenden zweiten zu verringern. Hierzu ist es notwendig, die Kopplung von Abstraktoren zu erfinden, d.i. eine Schaltung, bei der die Strukturale des einen Abstraktors als Singulare in einen nachfolgenden eingehen. Zugleich muß dafür gesorgt werden, daß die Reichhaltigkeit des Datenmaterials für die nachfolgenden Abstraktoren erhalten bleibt.⁸ Dies wird durch multiple Ein- und Ausgänge erreicht — ein einfaches Bauprinzip, das zu beliebig komplexen Gebilden führen kann: Am Ausgang eines vorausgehenden Abstraktors wird die Erregungsleitung verzweigt, so dass sein Ergebnis mehreren nachfolgenden Abstraktoren zugutekommt; an deren Eingängen wiederum werden mehrere Bahnen von den vorausgegangenen vereinigt. Die Strukturale mehrerer benachbarter Abstraktoren bilden somit das Eingangsmaterial für einen neuen, eine Stufe höher lie-

⁸ In vielen Darstellungen zur Sinneswahrnehmung wird der von den Rezeptoren gelieferte hoch redundante Datenstrom als etwas Negatives angesehen, dessen sich der Organismus sogleich im ersten Verarbeitungsschritt zu erwehren habe. Nun bewirkt ein abstraktiver Prozess, indem er aus einem Kollektiv von Singularen ein Struktural erzeugt, gerade solch eine Redundanzreduktion. Wenn jedoch abstraktive Prozesse auch auf den höheren Abstraktionsstufen maßgeblich an der Sinneswahrnehmung beteiligt sein sollen, muß der Redundanzverlust am Ausgang eines abstraktiven Prozesses wenigstens teilweise wieder wettgemacht werden. Die Ansicht, der Informationsstrom müsse auf einige wenige Eindrücke reduziert werden, wird damit begründet, dass man nicht mehr im Bewusstsein behalten könne. Sie beruht auf einem doppelten Missverständnis: Zum einen unterschätzt man die Komplexität dieser Eindrücke und tut so, als umfassten sie nur eine Informationsmenge von ein paar Bits; zum anderen trifft es, wie z.B. die Fähigkeit, Bilder wiederzuerkennen, zeigt, nicht zu, dass nur das bewusst Wahrgenommene verarbeitet und im Gedächtnis abgelegt wird.

genden Abstraktor. Dadurch wird die in der vorausgegangenen Stufe verursachte Redundanzreduktion zu einem gewissen Teil wieder aufgehoben.

Nachdem die "Hardware"-Voraussetzungen geklärt sind, fehlt nur noch die Verallgemeinerung des Störbegriffes, um die Verbindung zwischen Störungskorrektur und dem, was im eigentlichen Sinn unter Abstraktion verstanden wird, herzustellen. Störungen machen aus einer Folge von identischen eine Folge von ähnlichen Nachrichten. So sind, auch wenn kaum noch kenntlich, alle Sätze in Abbildung 1 untereinander ähnlich, denn sie sind aus dem gleichen Satz hervorgegangen. Singurale können aber auch noch aus vielen anderen Gründen ähnlich sein, z.B. weil sie von verschiedenen ähnlichen Quellen, etwa von örtlich benachbarten Rezeptoren stammen; oder weil es sich bei ihnen, wie bei einer handschriftlichen Darstellung von Buchstaben, um Variationen einer feststehenden Form handelt; oder weil sie aus einer bestimmten "Verdrahtung" hervorgehen, z.B. aus einer hierarchischen, die zu einer Abstraktion im eigentlichen Sinn führt usw. Für den abstraktiven Prozess ist es irrelevant, wie die Ähnlichkeit der Singurale zustande kommt; er wertet sie ohne Rücksicht auf ihre Entstehungsgeschichte aus. Folglich bestimmt allein das Eingangsmaterial die Abstraktionsstufe, nicht der Prozess; dieser bleibt immer gleich.

Welche experimentellen Belege sprechen für unsere theoretischen Überlegungen? Dass jeder Moment der Sinneswahrnehmung durch abstraktive Vorgänge ausgefüllt ist, zeigt sich an ganz alltäglichen Beispielen. Personen oder Gegenstände werden wiedererkannt, und zwar nicht, weil man sich alle einzelnen Züge, sondern weil man sich *charakteristische* Züge eingepägt hat. Nur so ist es möglich, einen einmal gesehenen Gegenstand trotz unterschiedlicher Beleuchtung, eine einmal gesehene Person trotz anderer Kleidung und anderem Blickwinkel wiederzuerkennen. Zeigt man einer Versuchsperson eine Handschrift, so wird sie auch Tage später noch in der Lage sein, sie wiederzuerkennen, und zwar auch dann, wenn es sich um einen in einer anderen Sprache abgefaßten Text handelt und das Format des Schriftbildes verändert wurde. Hätte sich die Versuchsperson bei der ersten Darbietung Einzelheiten gemerkt, wäre ihr die Wiedererkennung nicht möglich gewesen. Interessant ist ferner, dass diese Merkmalsextraktion automatisch erfolgt und nicht beeinflussbar ist.

Die Funktionen der verschiedenen neurologischen Bestandteile sind noch nicht unter dem Aspekt der abstraktiven Prozesse betrachtet worden, und so ist es schwierig anzugeben, in welchen Organen sie stattfinden. Die Synapsen kommen für die Störungskorrektur infrage; neben ihrer Funktion als Schaltstelle wird ihnen auch ein gewisser Summationseffekt zugeschrieben; letzteres könnte als Ergebnis eines abstraktiven Vorgangs interpretiert werden. In den Neuronen sollten ebenfalls abstraktive Vorgänge stattfinden; im Unterschied zu denen in den Synapsen sollten sie mit einer permanenten Informationsspeicherung verbunden sein. Höhere Abstraktionsstufen erfordern multiple Ein- und Ausgänge; diese Voraussetzungen sind erfüllt: ein Axon (Neuronenausgang) weist oft einen hohen Verzweigungsgrad auf, so daß die gleiche Nachricht verschiedenen nachfolgenden Prozessen mitgeteilt werden kann; an einem Dendrit (Neuroneneingang) können mehrere Synapsen sitzen.

Unsere Ergebnisse stützen die neuroanatomische Vermutung, dass sich jeder kognitive Vorgang auf Erregungsleitung und speziell Lernen auf eine Änderung der Verschaltung, d.h. auf eine Änderung des Erregungsleitungsweges, zurückführen läßt. Wir gingen von der Annahme aus, dass kognitive Vorgänge auf Erregungsleitung beruhten und dass es keine Erregungsleitung ohne Störungen und folglich auch keine ohne Störungskorrektur gäbe. Anhand eines einfachen Beispiels erläuterten wir, wie mit einem abstraktiven Prozess solch eine Korrektur ausgeführt werden kann und zeigten anschließend, dass dieser Prozess mit seinem kreativen Vermögen auch die Voraussetzungen für die höheren kognitiven, Intelligenz bewirkenden Leistungen schafft. Wir kommen daher zu dem Schluss:

Das phylogenetisch auslösende Moment für die Entstehung von Intelligenz war die Notwendigkeit, sich mit Erregungsleitungsstörungen auseinandersetzen zu müssen. War erst einmal hierfür das Gegenmittel gefunden, so war auch der Weg frei für die Entwicklung aller höheren kognitiven Leistungen.

Literatur

- JAENECKE, PETER (1992): Über den Ursprung von Intelligenz. In: W. GÖBERT, P. JAENECKE & W. SCHMITZ-ESSER [Hrsg.]: *Kognitive Ansätze zum Ordnen und Darstellen von Wissen*. Indeks Verlag/Ergon Verlag. Frankfurt/Würzburg, 1992, p. 12 – 23. Im Internet verfügbar unter: <http://www.peterjaenecke.de/kognition.html>
- MATTHÄUS, W. (1976): Kreativität, in: J. RITTER & KARLFRIED GRÜNDER (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie Bd. 4*, Schwabe & Co. Basel 1976.
- MEILI, R. (1987): Intelligenz. In: W. ARNOLD, H.J. EYSENCK & R. MEILI *Lexikon der Psychologie Vol. II*, Herder Freiburg, Basel & Wien.
- STERN, WILLIAM (1920): *Die Intelligenz der Kinder und Jugendlichen und Methoden ihrer Untersuchung*. J. Ambrosius Barth Verlag. Leipzig, 1920.
- STERN, WILLIAM (1921): *Differentielle Psychologie*. J. Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1921.
- STERNBERG, R. J. & SALTER, W.: Conception of intelligence. In: R.J. STERNBERG (ed.): *Handbook of human intelligence*. Cambridge University Press. Cambridge etc. 1988.
- ULLRICH, E. (1987): Kreativität, in: W. ARNOLD, H.J. EYSENCK & R. MEILI: *Lexikon der Psychologie Vol. II*, Herder Freiburg, Basel, Wien 1987.

<http://www.peterjaenecke.de/kognition.html>

01.01.06/08.10.14