

Aufbau und Ergebnisse eines Falsifikationsexperiments zur Schwierigkeitsstufung von Internoperationen

von Harald RIEDEL (Berlin)

Aus dem Institut für Unterricht im allgemeinbildenden Bereich der Technischen Universität Berlin

1. Vorbemerkung

Im Heft 3 habe ich über die Vorbereitung eines Falsifikationsexperiments zur Schwierigkeitsstufung von Internoperationen berichtet. Im einzelnen habe ich beschrieben,

- daß die Internoperationen des Auswertens und konvergenten Denkens innerhalb der Systemtheoretischen Didaktik einen wichtigen Stellenwert besitzen,
- wie, ausgehend von der Definition beider Internoperationen, zwei Theoreme (über den unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad der Operationen und über eine technologische Konsequenz hieraus) abgeleitet wurden,
- wie die Theoreme in falsifizierbare Hypothesen überführt wurden,
- wie, aufbauend auf den Modellvorstellungen der Systemtheoretischen Didaktik, die im Experiment zu kontrollierenden Variablen bestimmt werden konnten, In diesem Beitrag
- in welcher Art und Weise die unabhängigen Variablen systematisch variiert wurden.

In diesem Beitrag werde ich zunächst beschreiben, wie das Experiment organisiert und durchgeführt wurde, um zu verhindern, daß eine Scheinverifikation der Hypothesen erfolgte.

2. Zur Durchführung der Experimente

Die Versuche wurden mit Schülern der ersten bis vierten Klassenstufen aus der Schweizerhofschule, der Zinnowwaldschule und der Christoph-Ruden-Schule in Berlin durchgeführt¹, die Vorversuche zur Verbesserung und Eichung des Instrumentariums und zur endgültigen Festlegung der zu kontrollierenden Variablen (Hilfsmittel, Initiationen und organisatorische Maßnahmen) in der Zeit vom 29.10.82 bis 1.2.83, die Hauptversuche in der Zeit vom 22.2.83 bis 16.8.83. Nachdem die Versuchspersonen lediglich über einen Nebenzweck der Untersuchung und darüber informiert worden waren, daß sie keine Konsequenzen hinsichtlich Beurteilung oder Benotung zu befürchten hatten, wurde die Erkennensphase realisiert. Hierzu entwickelten wir ein spezielles Operationsobjekt: Ein halbtransparenter Spiegel, der sowohl das Erkennen als auch die Kontrolle der Lage von Spiegelobjekten dadurch erleichtert, daß wiederholt auf Operationen an realen Objekten zurückgegriffen werden kann. Mit Hilfe dieses Operationsobjektes gelang es ohne Schwierigkeiten, auch den Schülern der 1. Klasse die notwendigen Grundinformationen über „Symmetrie“ zu vermitteln.

Entsprechend den beschriebenen Beobachtungskriterien (vgl. Riedel 1985, Pkt. 5.2.1) wurden die Leistungen der Schüler während der Erkennensphase festgehalten. Der Erkennensphase folgte eine ca. fünfminütige Pause, in der die Versuchsperson sich mit einer Schülerzeitschrift beschäftigen konnte, damit die Versuchsleiterin Zeit hatte, die Versuchsperson entsprechend den gezeigten Leistungen parallelisierend der Gruppe A oder B zuzuordnen und den Schwierigkeitsgrad jenes Objekts zu bestimmen, mit dem die Versuchsperson im Experiment als erstes konfrontiert werden sollte. Anschließend wurden die experimentellen Phasen realisiert.

In den Aufgaben zum Auswerten mußten die Versuchspersonen Original- und Spiegelpunkte mit einem Stift zeigen und die Spiegelung auf Richtigkeit überprüfen. In den Aufgaben zum konvergenten Denken mußten sie die Spiegelpunkte selbst finden und ihre Lage dadurch markieren, daß sie farbige Stecknadeln in den Zeichenträger einstachen.

Um soweit als möglich eine „natürliche“ Kommunikationssituation zu erhalten, sprach die Versuchsleiterin mit der Versuchsperson in freier Rede, hielt sich dabei jedoch so eng wie möglich an die zuvor erprobten und schriftlich niedergelegten Initiationen. Alle organisatorischen Maßnahmen wurden streng nach der Versuchsanleitung durchgeführt (vgl. Riedel 1985, Pkt. 5.1). Bei allen Objekten (2-4), welche die Spiegelung mehrerer Punkte verlangten, wurde die Arbeit mit dem schwierigsten Punkt begonnen, um zu vermeiden, daß sich die Versuchspersonen beim konvergenten

¹ * Ich danke der Schulin Frau A. Arbeit für die Genehmigung zur Durchführung der Versuche und den betroffenen Rektoren für ihr Interesse und ihre organisatorischen Hilfen. Besonderer Dank gilt den beteiligten Lehrerinnen, die verständnisvoll und bereitwillig einzelne Schüler aus dem Unterricht beurlaubten, damit die Versuche während der Schulzeit durchgeführt werden konnten.

Denken an zuvor erreichten richtigen Spiegelungsergebnissen zusätzlich auswertend orientieren konnten. Bei den Auswertungsaufgaben wurde zunächst das gesamte Spiegelbild aufgedeckt, dann wurden durch Abdecken jeweils nur einzelne Punktpaare zum Vergleich freigegeben. Sowohl beim Auswerten als auch beim konvergenten Denken wurden die Fehlerzahlen und -positionen sofort notiert, bevor das nächste Objekt vorgelegt wurde. Die Spiegelungsergebnisse beim konvergenten Denken wurden durch Einkreisen der Nadelstiche fixiert, um nachträgliche Kontrollen zu erleichtern. In den Vorversuchen hatte es sich herausgestellt, daß den Versuchspersonen nicht erlaubt werden durfte, mit den Stecknadeln vor dem eigentlichen Einstechen Suchbewegungen und damit verbundene Auswertoperationen auf dem Operationsobjekt vorzunehmen.

3. Zur Organisation der Experimente

3.1 Zur Gruppenbildung

Die Hypothese H1, die voraussagte, daß die Versuchspersonen beim Auswerten weniger Fehler als beim konvergent denkenden Anwenden machen würden (vgl. Riedel 1985, Punkt 4), würde nur verlangen, daß die Versuchspersonen beider Gruppen A und B jeweils entweder nur auswertend oder konvergent denkend operieren müßten. Die Hypothese 2 dagegen erfordert, daß jede Versuchsperson sowohl auswerten als auch konvergent denken muß, andernfalls wäre ja nicht nachzuweisen, daß eine Versuchsperson eine bestimmte Information mit „kritischem Informationsgehalt“ zwar noch auswertend, aber nicht mehr konvergent denkend anwenden kann. Nun spielt aber die Reihenfolge, mit der die Operationen durchgeführt werden, eine wichtige Rolle. Auch bei fehlerhaftem Operieren der ersten Art könnte eine Versuchsperson so viel dazugelernt haben, daß sie die Operation zweiter Art schon fehlerlos oder mit geringerer Anzahl von Fehlern durchführen kann. Daher wurde der Versuch so aufgebaut, daß die Versuchspersonen der Gruppe A die jeweiligen Objekte zuerst auswertend, dann konvergent denkend anwenden mußten, die Versuchspersonen der Gruppe B in der umgekehrten Reihenfolge.

Gleichgültig, ob die Versuchsperson dem Versuch nach dem Organisationschema A oder B unterzogen wurde, die Leistungen beim Auswerten und konvergenten Denken konnten immer direkt miteinander verglichen werden. Jede Versuchsperson diente also insofern als eigener Kontrollpartner.

In beiden Gruppen wurde der Schwierigkeitsgrad der Objekte erhöht, falls die Versuchsperson beide Internoperationen fehlerfrei ausführen konnte. Er wurde verringert, falls beide Operationen zu Fehlern führten.

3.2 Vorrangigkeit der theoretischen Hypothesen

Den Organisationsplänen für die Gruppe A und für die Gruppe B ist zu entnehmen, in welcher Reihenfolge die Versuchspersonen mit welchem Objekt und mit welcher Internoperation im Experiment konfrontiert wurden. Die Versuchsleiterin hatte streng nach diesen (unterschiedlichen) Organisationsplänen zu verfahren. Folgende Grundgedanken liegen den Organisationsplänen zugrunde: Die Untersuchung soll vorrangig die schärfere der beiden theoretischen Hypothesen, H2, überprüfen. Daher wurde der Fortgang des Experiments zu jedem Zeitpunkt danach bestimmt, ob die Versuchsperson eine fehlerfreie oder fehlerhafte Leistung vollzogen hat (im Organisationsschema in Bild 1 durch „Plus“- und „Minus“-Zeichen symbolisiert). Unabhängig davon können aber zur Überprüfung der Hypothese H1 die Daten jener Fälle dienen, in denen die Versuchspersonen an einem Objekt gleichen Schwierigkeitsgrades Fehler sowohl beim konvergenten Denken als auch beim Auswerten gemacht haben, indem die Fehlerzahlen aller dieser Fälle bei Aufgaben einerseits zum Auswerten, andererseits zum konvergenten Denken verglichen werden.

3.3 Hinweise auf technologische Hypothesen H3 und H4

Nach Möglichkeit soll die Untersuchung auch Hinweise zum Gehalt der technologisch ausgerichteten Hypothesen H3 und H4 erbringen. Obwohl das Experiment eigentlich nur zur Beantwortung der theoretisch orientierten Hypothesen H1 und H2 angelegt wurde, ergab sich die Möglichkeit, aus der Versuchsgruppe B Aussagen zur Richtigkeit von H3/H4 zu gewinnen: Hat eine Versuchsperson bereits an einem Objekt zunächst fehlerhaft konvergent gedacht, dann aber fehlerlos ausgewertet („Theo +“), so wird ihr nochmals ein Objekt zum konvergent denkenden Anwenden vorgelegt, das äquivalent zu jenem ist, das die Versuchsperson (vor dem fehlerfreien Auswerten) nicht konvergent denkend bewältigen konnte. Erbringt die Versuchsperson nun eine positive Leistung beim neuerlichen konvergenten Denken, so muß dies als Wirkung der vorangegangenen Auswert-Operation interpretiert werden. Jedenfalls hat die Versuchsperson ja vor dem Auswerten eine äquivalente Leistung beim konvergenten Denken nicht erbringen können. Es sei darauf hingewiesen, daß sich eine Möglichkeit zur Falsifizierung dieser Hypothesen in die Untersuchung allerdings nicht einbauen läßt, was durch grundsätzliche wissenschaftstheoretische Zusammenhänge bedingt ist (vgl. dazu H. Riedel 1984). Insofern können die durch den Fall „T+“ gewonnenen Daten (s. Plan B) lediglich einen Hinweis auf eine zu konzipierende experimentelle Untersuchung zur technologischen Fragestellung liefern, nicht aber etwa die Wirksamkeit der technologischen Vorschrift zur Erzeugung von Operationsergebnisketten bereits erweisen. Im gleichen Sinn nur können jene Ergebnisse verwertet werden, die man erhält, wenn man die unterschiedlichen Anzahlen der „Theo +“ und „Theo -“-Fälle in den Gruppen A und B vergleicht. Da die Versuchspersonen in der Gruppe A ja erst auswerten und dann konvergent denken müssen, erhalten sie (im Sinne des Lernprozesses „bewußte Imitation“; vgl. Theorem 2) mit der Auswertphase ein Stück Unterricht, der sie eher dazu befähigen müßte, die Objekte (anschließend) fehlerfrei konvergent denkend anzuwenden als in der Gruppe B, wo die Versuchspersonen zuerst konvergent denken und dann

auswerten müssen. Der Hypothese H4 zufolge müßte daher eine höhere Zahl „Theo +“-Fälle in Gruppe B als in Gruppe A auftreten.

3.4 Jede Versuchsperson als eigener Kontrollpartner

Jede Versuchsperson soll nach Möglichkeit mehrere Daten-Paare liefern. Für diese Forderung gibt es zwei Gründe: Der erste ist inhaltlicher Art: Obwohl - wie in Punkt 6.8 dargestellt - ein eigens hierfür entwickeltes Programm zur Ausscheidung von Zufallsergebnissen eingesetzt wurde, konnte die Aussagekraft der Ergebnisse dadurch erhöht werden, daß eine Versuchsperson an Objekten verschiedenen Schwierigkeitsgrades die gleichen Ergebnisse entweder zugunsten des Auswertens oder des konvergenten Denkens lieferte. Der andere Grund zielt auf eine ökonomische Realisierung des Experiments: Die Erkennensphase beanspruchte mehr Zeit als die eigentliche experimentelle Phase. Der hiermit verbundene Zeitaufwand kann durchschnittlich verringert werden, wenn eine Versuchsperson mehr als ein Ergebnis lieferte. Aus beiden Gründen wurde die Untersuchung in den Fällen „Theo +“ und „Theo -“ mit anderen Objekten fortgesetzt.

3.5 Zur Ökonomie der Versuche

Von jeder Versuchsperson soll nach Möglichkeit mindestens ein verwertbares Daten-Paar gewonnen werden. Es war vorauszusehen, daß Versuchspersonen oftmals an einem Objekt beide Operationen nicht fehlerlos ausführen können, am nächst-leichteren Objekt jedoch jedesmal fehlerfrei arbeiten, oder umgekehrt an einem Objekt beide Operationen fehlerfrei durchführen, am nächsten jedoch beide fehlerhaft. Um dennoch verwertbare Daten auch von diesen Versuchspersonen zu erhalten, wurde zum Objekt jeder Schwierigkeitsstufe ein „äquivalentes“ Objekt konstruiert, das im Schwierigkeitsgrad dem Ursprungsobjekt sowohl hinsichtlich der Bestandteile des Unterrichtsobjekts als auch jener des Operationsobjekts gleichwertig ist. Diese äquivalenten Objekte konnten in den oben beschriebenen Fällen eingesetzt werden und führten häufiger zu verwertbaren Daten („Theo +“ oder „Theo -“-Fälle im oberen Teil des Organisationsschemas des Bildes 1 und 2).

3.6 Zum Schwierigkeitsgrad des ersten Experiments

Jede Versuchsperson sollte möglichst wenig (unnötige) Operationen ausführen, bis die für sie „kritische Informationsmenge“ erreicht ist. Daher begann die Versuchsperson mit Operationen an einem Objekt mit jenem Schwierigkeitsgrad, der aufgrund der Beobachtungsergebnisse während der Erkennensphase nach einem in Vorversuchen erprobten Zuordnungsschlüssel bestimmt worden war. Konnte die Versuchsperson beide Operationen am Operationsobjekt fehlerfrei ausführen, so wurde ihr das nächst-schwerere Objekt vorgelegt. Konnte sie keine der beiden Operationen fehlerfrei ausführen, so mußte sie das nächst-leichtere Objekt bearbeiten.

3.7 Zur Dauer der Experimente

Jede Versuchsperson soll nur solange am Experiment teilnehmen, wie sie es wünscht. Sobald das Experiment zu einem Ergebnis „Theo +“ oder „Theo -“ geführt hat, wurde die Versuchsperson vor der Fortsetzung des Experiments befragt, ob sie noch Lust hätte, weiter am Experiment teilzunehmen.

3.8 Maßnahmen zur Falsifikation

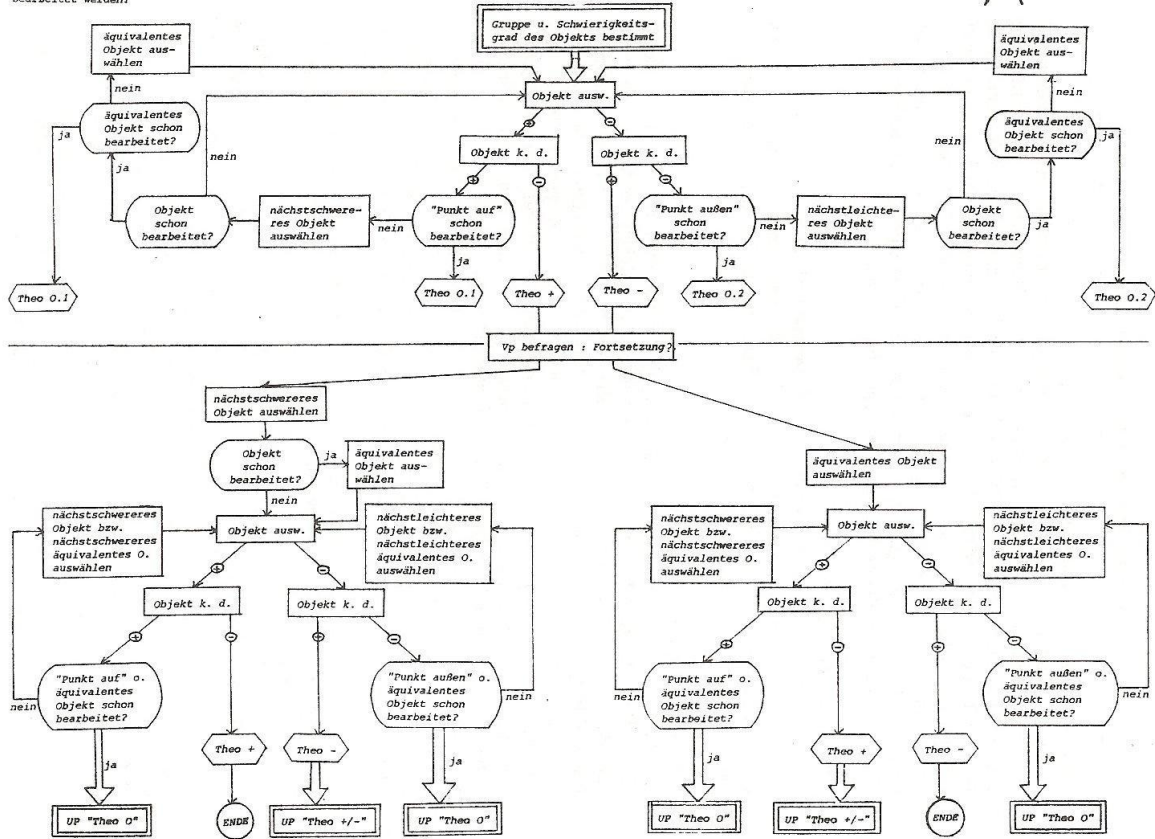
3.8.1 Beide Anordnungen sind geeignet, die Hypothesen H1 und H2 zu falsifizieren. Die - theoretisch vorausgesagte - geringere Schwierigkeit des Auswertens gegenüber dem konvergenten Denken hat im Falle A den Vorzug - dem alten unterrichtlichen Prinzip „vom Leichten zum Schweren“ folgend - einen allmählichen Lernfortschritt zu verwirklichen, den Informationsgehalt der zu bewältigenden Objekte also schrittweise zu verringern, so daß die Wahrscheinlichkeit größerer Fehlerhäufigkeiten beim konvergenten Denken stark herabgesetzt ist. In Gruppe B dagegen müssen die Lernenden erst die schwierigere Operation ausführen, was leicht zu Verwirrung und Unsicherheit führen kann, sobald die „kritische Informationsmenge“ erreicht ist, so daß hier eher Fehler als beim folgenden Auswerten auftreten müßten. Damit H1 und H2 nicht widerlegt werden, wird verlangt, daß die Zahl der fehlerlosen bzw. weniger fehlerhaften Leistungen jedoch in beiden Gruppen signifikant höher beim Auswerten ist.

3.8.2 Die Wahrscheinlichkeit für eine Widerlegung der zu untersuchenden Hypothesen soll größer als jene der Bestätigung sein. Diese Forderung konkretisierte sich in folgenden Punkten:
In der Gruppe A wird das Experiment nach einem „Theo +“-Fall mit einem schwereren Objekt fortgesetzt, nach einem „Theo -“-Fall dagegen mit einem äquivalenten Objekt. Im „Theo +“-Fall hat die Versuchsperson fehlerlos ausgewertet, nicht aber fehlerfrei konvergent denken können. Bei einem äquivalenten Objekt wäre nun die Wahrscheinlichkeit für eine Wiederholung beider Leistungen sehr hoch. Sie würde nochmals die Hypothesen H1 und H2 bestätigen, also nochmals einen „Theo +“-Fall liefern. Um die Theorie jedoch eher zu belasten, wird der Versuchsperson sofort ein nächst-schwereres Objekt vorgelegt und damit die Wahrscheinlichkeit erhöht, daß nun auch das Auswerten fehlerhaft geschieht. Anders dagegen wurde beim Fall „Theo -“ verfahren. Hier hat die Versuchsperson richtig konvergent gedacht, aber fehlerhaft ausgewertet und damit H1/H2 widerlegt. Um diesen Fall nochmals zu provozieren, also die Theorie wiederum zu belasten, wird der Versuchsperson als nächstes ein gleichschweres „äquivalentes“ Objekt vorgelegt.

- Jedes Objekt darf nur einmal bearbeitet werden!

ORGANISATIONSPLAN für Gruppe A

A



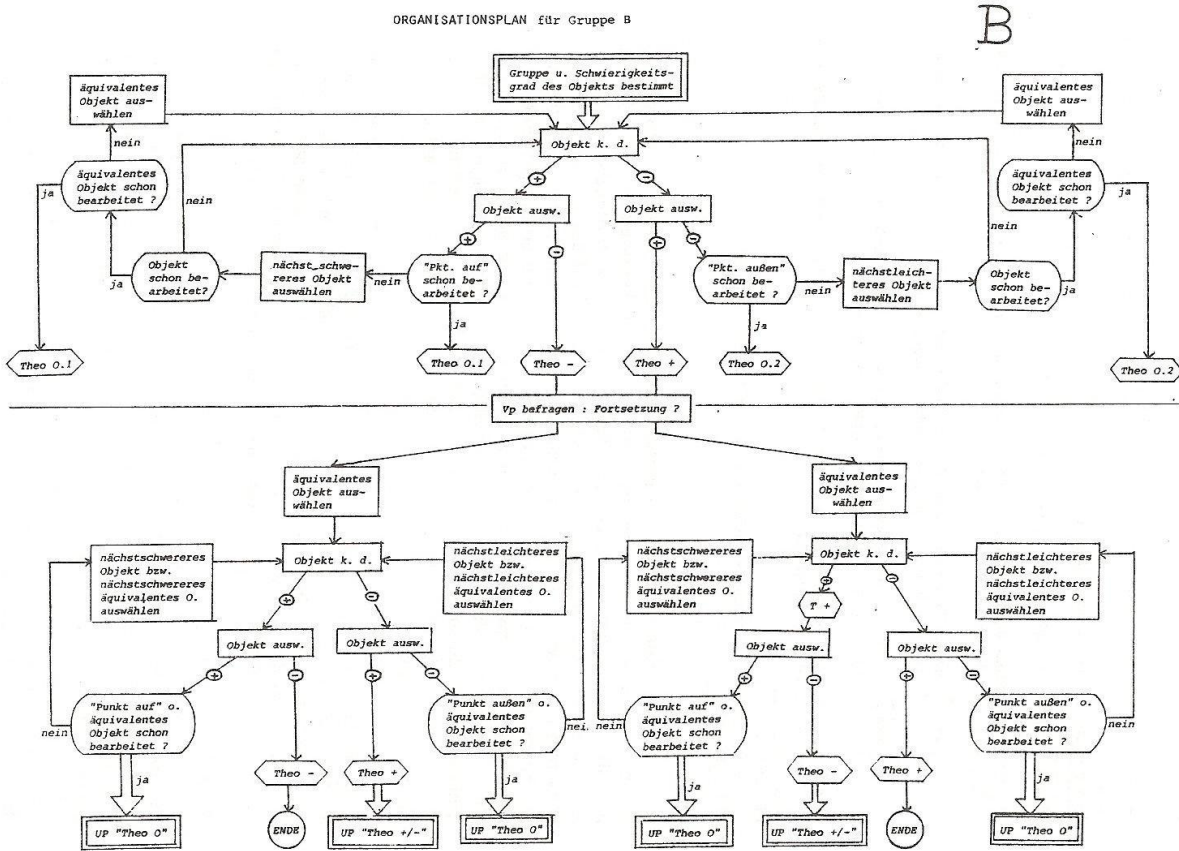
Organisationsplan für Gruppe A

Legende:

- Theo +** Die Befunde bestätigen die Theorie
- Theo -** Die Befunde widersprechen der Theorie
- Theo 0** Die Befunde können durch die Theorie erklärt werden; geben aber keine Information hinsichtlich der Gültigkeit der Theorie,
- Theo 0.1** da das Unterrichtsobjekt für die Vp so informationsarm ist, daß die Vp sowohl auswertend als auch konvergent denkend operieren kann,
- Theo 0.2** da das Unterrichtsobjekt für die Vp so informationsreich ist, daß die Vp weder auswertend noch konvergent denkend operieren kann.
- T +** Die Befunde bestätigen die technische Vorschrift zur Erzeugung von Operationsergebnissen (für bew. Imitation)
- UP „Theo +/-“** } Programme zur Ausscheidung von Zufallsergebnissen
- UP „Theo 0“** }

3.8.3 Bei der Konstruktion von Operationsobjekten wurde bei jenen Aspekten, von denen her eine völlige Gleichheit beim Auswerten und konvergenten Denken nicht hergestellt werden konnte, immer zu Ungunsten der Auswert-Aufgaben verfahren. So müssen die Versuchspersonen beispielsweise bei der Erfüllung der Aufgaben zum konvergenten Denken farbige Stecknadeln in ein Styroporbrett stecken, um die Lage der Spiegelpunkte zu markieren. Bei Aufgaben zum Auswerten dagegen lassen sich diese Externoperationen nicht realisieren, da Spiegelpunkte ja schon im Operationsobjekt vorgegeben sind. Hier haben die Versuchspersonen nun lediglich die Möglichkeit, mit

einem spitzen Stift zu zeigen und gegebenenfalls zu verbalisieren, was - wie sich bereits in Vorversuchen herausstellte - weit weniger „reizintensiv“ ist als die Handtierung mit Stecknadeln.



Organisationsplan für Gruppe B

3.8.4 Eine weitere Erschwerung der Aufgaben zum Auswerten ergibt sich bei den Objekten vom zweiten Schwierigkeitsgrad an dadurch, daß die notwendigen Vorgaben (Punkte auf Strecken, Kurven, Flächenbegrenzungen) leicht zu semantischen Assoziationen führen, so daß die Versuchspersonen geneigt sind, die Aufgabenstellung eher ganzheitlich-phänomenologisch zu erfüllen als durch produzierende Anwendung der zuvor erlernten Relationen. Auch dies führte zu mehr Fehlern beim Auswerten.

3.9 Fehlerbereinigung

Um so weit wie möglich zu vermeiden, daß Störungen von außen oder Konzentrationsschwierigkeiten bzw. flüchtiges Arbeiten seitens der Versuchspersonen die Ergebnisse verfälschen, werden die Daten und „Fälle“ einem Programm zur Bereinigung von Störeinflüssen unterworfen, bevor sie statistisch oder inhaltlich ausgewertet wurden. Zwei Grundüberlegungen sind für die Programme bestimmend. Erstens: Kommt ein „Theo -“ oder ein „Theo +“ -Fall nur dadurch zustande, daß bei einer der beiden Operationen lediglich ein Fehler gemacht wird, obwohl mehrere möglich sind, dann besteht die Gefahr, daß der Fall aufgrund nicht rekonstruierbarer Störungen eingetreten ist. Daher wird der Fall nicht gewertet, sofern er nicht durch andere Daten der Versuchsperson gestützt wird. Zweitens: Die Wahrscheinlichkeit für die Verfälschung von Daten wird geringer, wenn die Versuchsperson an einem anderen Objekt nochmals denselben Fall erreicht oder aber wenn die Tendenz der Fehler beim Auswerten gegenüber dem konvergenten Denken an keinem der bearbeiteten Objekte dem erreichten Fall widerspricht. Hat eine Versuchsperson z.B. einen „Theo +“-Fall erreicht und hat sie jedoch an einem anderen Objekt weniger Fehler beim

konvergenten Denken als beim Auswerten gemacht, so wird der „Theo +“-Fall nicht gewertet. Beide Grundgedanken sind in den Programmen (Up „Theo +/-“ bzw. Up „Theo 0“) konkretisiert.

4. Ergebnisse

Die aus der Untersuchung gewonnen Rohdaten wurden sämtlich „nicht-parametrischen statistischen Methoden“ unterworfen, wie von S. Siegel (1976) beschrieben. Die Daten zur Überprüfung der Hypothese H1 konnten mit Hilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für abhängige Paare verarbeitet werden, da die zu vergleichenden Daten aus den Aufgaben zum Auswerten und zum konvergenten Denken jeweils paarweise von denselben Versuchspersonen gewonnen wurden und die Daten selbst auf Ordinalskalen-Niveau liegen. Für die Überprüfung der Hypothesen H2 und H4 (nach dem zweiten Modus) wurde der Chi-Quadrat-Test für den Einstichprobenfall dem Binominal-Test vorgezogen, da er (für die Theorie) ungünstigere Werte liefert. Für den ersten Berechnungsmodus zur Hypothese H4 ließen sich sowohl der Chi-Quadrat-Test für zwei unabhängige Stichproben als auch der Fisher-Test heranziehen, da die Daten in einer Vierfelder-Tafel angeordnet werden können. Zur Berechnung der Daten für die Hypothese H3 schließlich gaben wir dem Mann-Whitney-U-Test gegenüber dem Kolmogorov-Smirnov-Test für zwei Stichproben den Vorzug, da er nach Siegel die höhere Teststärke aufweist.

Hypothese	statistischer Test	alle Vp	n		p	einzelne Klassenstufen	n		p	einzelne Objekte	n		p
Berechnungsgrundlage													
H₁	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test	in A und B	159		<0.001	1	43	<0.001	1	6	n.s.		
Fehlerpaare: auswerten gegen konvergent denken		in A	85	<0.001	2	43	<0.01	2	29	<0.001			
		in B	74	<0.001	3	45	<0.001	3	65	<0.001			
					4	28	<0.001	4	52	<0.001			
									5	7	<0.05		
						159				159			
H₂	Chi-Quadrat-Test	in A und B	Theo- Theo+	<0.001	1	Theo- Theo+	<0.001	1	Theo- Theo+	n.s.			
Fälle: „Theo-“ gegen „Theo+“		in A	18 56	>0.05; n.s.	2	9 12	n.s.	2	1 13	<0.01			
		in B	6 33	<0.001	3	5 19	<0.01	3	5 21	<0.01			
					4	3 11	<0.05	4	9 15	n.s.			
									5	1 5	n.s.		
H₃	Mann-Whitney-U-Test		185		n.s.								
H₄	Fisher-Test Chi-Quadr.-T.	in A	Theo- Theo+	0.052 >0.05; n.s.									
Fälle „Theo-“/ „Theo+“ in A gegen B		in B	12 23 6 33										
H₄	Chi-Quadrat-Test	in A	123		<0.025								
fehlerloses konvergentes Denken in A gegen B	in B	83											

Bild 3

Die wichtigsten Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Danach wird keine der beiden Hypothesen falsifiziert, die sich auf die zu überprüfenden Gesetzesaussagen der Systemtheoretischen Didaktik beziehen. Die Hypothese H1, die eine geringere Fehlerzahl bei den Auswertaufgaben als bei den Aufgaben zum konvergenten Denken voraussagte, wird hochsignifikant bestätigt, und dies sowohl im Vergleich aller Fehlerpaare als auch bei einer differenzierten Betrachtung, getrennt nach den Versuchsgruppen A und B. Auch eine gesonderte Berechnung der Ergebnisse in den einzelnen Klassenstufen erbringt signifikante p-Werte, ebenso die differenzierende Betrachtung nach den fünf Schwierigkeitsgraden. Lediglich für die Objekte des ersten Schwierigkeitsgrades sind die Ergebnisse nicht signifikant, was aus der zu geringen Anzahl der aufgetretenen Fehlerpaare (n=6) zu erklären ist.

Auch die schärfere Hypothese H2, die behauptet, daß Versuchspersonen bei „kritischem Informationsgehalt“ zwar noch fehlerlos auswerten, nicht aber mehr fehlerfrei konvergent denken können, wird hochsignifikant bestätigt. Allerdings zeigt eine getrennte Berechnung der Werte für die beiden Versuchsgruppen, daß zwar in B ein hochsignifikanter p-Wert, in A aber kein signifikantes Ergebnis zustande kommt. Aus diesem Unterschied wird ein Schluß hinsichtlich der Bewährung von H3 zu ziehen sein. Die gesonderte Betrachtung der Ergebnisse in den einzelnen Klassenstufen erbringt mit Ausnahme der Klasse 2 signifikante Werte. Hinsichtlich der fünf Schwierigkeitsgrade ergibt sich folgendes Bild: Für die Objekte 2 und 3 wird die Hypothese bestätigt, nicht aber für Objekt 4. Für die Objekte 1 und 5 liegen zu wenig Fälle vor, als daß eindeutigere Ergebnisse hätten erwartet werden können.

Ein anderes Bild bieten die Ergebnisse im Zusammenhang mit den technologischen Hypothesen H3 und H4. Die Hypothese H3, die voraussagt, daß beim konvergenten Denken weniger Fehler gemacht werden, falls zuvor die Auswertoperation durchgeführt wurde, muß nach den Ergebnissen dieser Untersuchung zugunsten der Null-Hypothese zurückgewiesen werden. Für Hypothese H4, die behauptet, daß die Zahl der fehlerlosen Leistungen beim konvergenten Denken erhöht wird, wenn zuvor ausgewertet wurde, sind die Ergebnisse weniger eindeutig. Betrachtet man nämlich alle Fälle in Gruppe A und B, in denen die Versuchspersonen fehlerlos konvergent denken konnten (bis zum Zeitpunkt, da die Aufgaben wieder erleichtert wurden), so kommt man zu einem - für technologische Hypothesen - recht guten Wert von $p < 0.025$ (nach dem Chi-Quadrat-Test für den Zwei-Stichproben-Fall). Und vergleicht man die Zahl der „Theo -“-Fälle (bei dem die Versuchspersonen nicht fehlerlos auswerten, wohl aber fehlerfrei konvergent denken können) und die „Theo +“-Fälle (fehlerfreies Auswerten, dagegen fehlerhaftes konvergentes Denken) in den beiden Untersuchungsgruppen, so ist in Gruppe B die Zahl der „Theo +“-Fälle deutlich höher gegenüber den „Theo -“-Fällen als in A.. Der Fisher- und der Chi-Quadrat-Test ergeben jeweils p-Werte knapp über 0.05.

5. Diskussion

Hinsichtlich der Hypothese H1 (weniger Fehler beim Auswerten als beim konvergenten Denken) liefert die Untersuchung ein sehr einheitliches Bild: Weder die Klassenstufe noch die Schwierigkeitsstufung der Objekte ändert etwas an der Eindeutigkeit der Ergebnisse zugunsten des Auswertens als der leichteren Internoperation. Allerdings muß wegen mangelnder Daten für das Objekt 1 eine Nachuntersuchung vorgenommen werden. Das Bild entspricht übrigens völlig den langjährigen Erfahrungen der Praktiker, die nach Verfahren der Systemtheoretischen Didaktik unterrichten. Danach haben Lernende - sowohl im Grundschulunterricht als auch in der Hochschulausbildung - weitaus weniger Schwierigkeiten beim auswertenden als beim konvergent denkenden Anwenden erlernter Informationen. Nicht ganz so einheitlich ist das Bild in Bezug auf die Hypothese H2 (weniger fehlerfreie Leistungen beim konvergenten Denken als beim Auswerten). Die deutlich nicht-signifikanten Ergebnisse von Klasse 2 und bei Objekt 4 machen in jedem Fall weitere Untersuchungen notwendig.²

Wenn auch keine systematische Störung erkennbar ist, so bleibt doch die Frage nach der Abhängigkeit von Klassenstufe bzw. Lebensalter oder Anfangszustand der Lernenden offen. Die Analyse des Objekts 4 dagegen läßt die Vermutung zu, daß eine Besonderheit der Aufgabenstellung für die nicht-signifikanten Ergebnisse verantwortlich ist: Die fünfeckige Fläche berührt in einem Punkt die Symmetrieachse und erinnert leicht an (häufig in Schulbüchern angeregte) Klecksbilder. Es ist möglich, daß Versuchspersonen hier eher phänomenologisch entschieden haben als mit den erlernten mathematischen Relationen auswertend bzw. konvergent denkend umgegangen sind.

Insgesamt müssen die Ergebnisse der Untersuchung so interpretiert werden, daß sich die Hypothesen H1 und H2 bewährt haben - natürlich mit der Einschränkung, daß sie auf ein bestimmtes Unterrichtsobjekt („Symmetrie“ aus dem Bereich Mathematik), auf eine bestimmte Personengruppe (Grundschul Kinder bis zur vierten Klassenstufe) bezogen sind und von einem einzigen Versuchsleiter untersucht wurden. Um eine breitere Verallgemeinerung zu ermöglichen, müssen Paralleluntersuchungen mit anderen Unterrichtsobjekten aus anderen Lernbereichen mit älteren Schülern und unterschiedlichen Versuchsleitern durchgeführt werden.³

Immerhin zeigt die Untersuchung zweierlei:

1. Entgegen neuerdings häufig geäußerten Meinungen (vgl. z.B. Eckard König, 1979, S. 265) ist die experimentelle Untersuchung unterrichtswissenschaftlicher Gesetzaussagen sinnvoll. Die Untersuchung förderte nicht „Belanglosigkeiten“ und „Trivialitäten“ zutage. Außerdem können ihre Ergebnisse in der praktischen Unterrichtssituation ohne Schwierigkeit genutzt werden. Der fundamentale Stellenwert der Internoperationen sowohl im Zielsystem wie als Bestandteil des Modells der Unterrichtssituation innerhalb der Systemtheoretischen Didaktik wurde an anderem Ort beschrieben (vgl. H. Riedel 1985). Außerdem wurde dort die Auswahl der beiden Operationen „Auswerten“ und „konvergentes Denken“ für die Untersuchung durch ihre besondere technologische Bedeutung gerechtfertigt.
2. Auch innerhalb der Unterrichtswissenschaft ist es lohnend, fundamentale Gesetzaussagen entsprechend dem Popperschen Falsifikationsprinzip auf ihren Wahrheitsgehalt zu überprüfen. Die Gefahr einer Scheinverifikation und nutzloser, sich daran anschließender technologischer wie praxeologischer Bemühungen ist dadurch sehr stark gemindert. Voraussetzung für entsprechende Falsifikationsexperimente ist allerdings, daß die zugrundegelegte Theorie ein kohärentes Zielsystem, eindeutig formulierte, vom Modell der Unterrichtssituation abgeleitete Gesetzaussagen und eine Transformation dieser Gesetzaussagen in technologische Verfahren liefert, die geeignet sind, in der Unterrichtspraxis eingesetzt zu werden.

² Eine neuere Untersuchung von A. Siegmund (1985) ergibt auch für diese Klassenstufe signifikante Werte zugunsten der Theorie.

³ Vorläufige Ergebnisse aus Untersuchungen mit musiktheoretischen Unterrichtsobjekten in der Sekundarstufe und mit anderem Versuchsleiter führen zu den gleichen Ergebnissen.

Wie schon in Punkt 3.3 ausgeführt, wurde die Untersuchung nicht angelegt, um die Hypothesen H3 und H4 direkt zu untersuchen. Doch liefern die Ergebnisse wichtige Hinweise, die eine eigens für die technologische Fragestellung entworfene Untersuchung rechtfertigen. Zunächst ergibt unsere Untersuchung für die zweite Auswertung im Zusammenhang mit H4 ein signifikantes Ergebnis. Zwar bestätigen die p-Werte, die mit dem ersten Auswertmodus knapp oberhalb von 0.05 liegen, das obengenannte Ergebnis nicht ausreichend, doch sind außerdem folgende zwei Tatbestände zu beachten:

- a) Für die Hypothese H2 ergab sich in der Gruppe B ein hochsignifikantes, in der Gruppe A dagegen kein signifikantes Ergebnis.
- b) Die Auswertung der Daten zum Objekt 4 im Zusammenhang mit der Hypothese H1 erbrachte - über alle Fälle gesehen - ein hochsignifikantes Ergebnis. Die zusätzliche Trennung der Daten nach den Gruppen A und B jedoch führte zu einem hochsignifikanten Wert nur in Gruppe B und einem nicht-signifikanten Wert in Gruppe A (nicht in Bild 1 enthalten).

Vom theoretischen Modell her sind beide Tatbestände folgendermaßen zu interpretieren: Gegenüber den Aufgaben zum konvergenten Denken liefern die Auswertaufgaben schon bestimmte Informationsteile (z.B. entweder die senkrechte Verbindungslinie oder den Abstand). Es ist also zu erwarten, daß die Möglichkeit, Fehler zu machen, geringer ist, auch wenn die Objekte sonst gleichen Schwierigkeitsgrad haben. Achtet die Versuchsperson allerdings auf keines der Informationselemente, so ist die Fehlerwahrscheinlichkeit gleich groß wie beim konvergenten Denken. Die Untersuchungsmethode in Gruppe B macht ein Raten bei der Erfüllung der Auswertaufgaben weniger wahrscheinlich als in Gruppe A, weil die Versuchsperson vor dem Auswerten schon beim konvergenten Denken beide Informationsteile hat anwenden müssen und nun die entsprechenden Gedächtnisinhalte leichter vergegenwärtigen kann. In Gruppe A dagegen beginnt die Versuchsperson mit der Auswert-Operation, so daß die Gefahr des Ratens und damit die Fehlerwahrscheinlichkeit beim Auswerten größer wird.

Nun können die Tatbestände (a) und (b) auch als eine indirekte Bestätigung der durch H3 und H4 konkretisierten technologischen Aussagen herangezogen werden. Ist die Auswertoperation „leichter“ als das konvergente Denken - dies hat ja die Untersuchung zugunsten von H1 und H2 ergeben! - und muß die Versuchsperson das Objekt zunächst auswertend und erst anschließend konvergent denkend anwenden, so ist zu erwarten, daß sie beim Auswerten schon soviel gelernt hat, daß das anschließende konvergent denkende Anwenden geringere Schwierigkeiten macht. Selbst wenn die Versuchsperson beim Auswerten Fehler gemacht hat, so hat sie nochmals die vom Operationsobjekt vorgegebenen Informationsteile erkannt, daher mit höherer Wahrscheinlichkeit auch bereits gespeichert, so daß sie anschließend beim konvergent denkenden Anwenden besser gehandhabt werden können!

Das bestätigen auch die detaillierten Einzelanalysen jener Versuchspersonen, die entsprechend dem Organisationsschema den Fall „T+“ erreicht haben. In allen Fällen waren die Versuchspersonen (der Gruppe B) zunächst beim konvergenten Denken gescheitert. Erhielten sie jedoch nach dem Auswerten ein im Schwierigkeitsgrad „äquivalentes“ Objekt zur konvergent denkenden Anwendung, so waren sie nun in der Lage, fehlerlos zu operieren. Somit wird die technologische Maßnahme, die die Systemtheoretische Didaktik im „Algorithmus zur Bestimmung von Operationsergebnissen“ für den Lernprozeß „bewußte Imitation“ empfiehlt, durch die diskutierten Ergebnisse unterstützt. Daher ist nun - nach Bewährung der grundlegenden theoretischen Gesetzaussagen - eine gezielte experimentelle Untersuchung der technologischen Theoreme über die Stufenfolge von Internoperationen beim Lernprozeß „bewußte Imitation“ zu rechtfertigen.

Angesichts der überwiegenden Häufigkeit, mit der „bewußte Imitation“ im Schulunterricht initiiert wird, kommt einer solchen technologischen Untersuchung auch große praktische Bedeutung zu. Wie an anderem Ort (Riedel 1983) ausgeführt, rechtfertigt dies allein noch nicht den mit technologischen Experimenten verbundenen Aufwand. Die Vergangenheit hat genügend bewiesen, daß allzu oft „technologischer Schrott“ produziert wird, weil die Bedingungen der Untersuchungen nicht hinreichend klar und mit jenen ähnlicher Untersuchungen nicht vergleichbar sind. Nach einer (vorläufigen) Bestätigung jener theoretischen Gesetzaussagen jedoch, auf denen eine technologische Maßnahme basiert, kann diese Gefahr als überwunden betrachtet werden.

Schriftum

- KÖNIG, Eckard: Was leistet die Empirische Erziehungswissenschaft für die Praxis? Unterrichtswissenschaft 1979, III, 263-268
RIEDEL, H.: Zum Verhältnis von Zielen, Gegenständen und Verfahren der Unterrichtsforschung. Unterrichtswissenschaft 4. 1984. S. 367 - 386
RIEDEL, H.: Vorbereitung eines Experiments zur Schwierigkeitsstufung von Internoperationen. GrKG 3/1985, S. 99
SIEGEL, S.: Nichtparametrische Statistische Methoden. Fachbuchhandlung f. Psych., Frankfurt/M. 1976
SIEGMUND, A.: Empirische Untersuchung zum Anforderungsniveau von Aufgaben des Auswertens und konvergenten Denkens im Mathematikunterricht des 2. Schuljahres. Wiss. Hausarbeit. Landesprüfungsamt Berlin. 1985

Eingegangen am 22. Juli 1985

Starigo kaj rezultoj de falsifikadeksperimento pri la malfacilecoskaligo de internaj operacioj (resumo)

Estis kontrolita ce 134 lemantoj de la klasstupoj 1 - 4 en Berlinaj elementaj lernejoj la verecenhavo de hipotezoj de la Sistemteoria Didaktiko pri la diferenca malfacilegrado de du operacioj gravaj por la instruoprocedoj („analizado“ estus pli facila ol „konverga pripensado“). Ciu esplorito devis plenumi ambaŭ operaciojn ce pluraj instruobjektoj kun variaj malfaciloj pri la temo „simetrio“, tiel ke la persono mem agis kiel propra kontrolpartnero. Rilate la postulon de Popper, ne verifiki sed falsifiki teorie postulitajn jregulecojn, oni faris la eksperimentojn tiel ke

la laborbipotezoj estis provitaj en diversaj manieroj. Cikaze gravis la sinsekvo kaj de la pripensoperacioj kaj ankaŭ la malfacilegrado de la instruobjektoj. Ĉirilate la eksperimentoj estis stiritaj per organi-zadplano precipe evoluita por citiu celo. Malgraŭ la sistema pruvo de la hipotezoj neniuj de la teoriaj prognozoj estis falsifikataj. Lau tio lernantoj de ciuj klasstupoj (sendepende de la malfacilegrado de la instruobjektoj) faras malpli da eraoj ce la analizado ol ce la konverga pripensado. Se la instruobjekto enhavas la ielnomatan „kritikan informenhavon" por la koncerna esploro, tiam citiu solvas ankoraŭ senerela taskojn pri analizado, sed erarenhave la taskojn pri la konverge pripensenda apliko de la informacio de la instruobjekto.