

Das Rechtzeitige. Doppelte Extension und formales Experiment

Julian Rohrhuber

Der Begriff des Zeitkritischen wird üblicherweise an Fragen nach der unteren Grenze der technischen Addressierbarkeit, nach den höchsten Frequenzen und den kleinsten Zeiträumen geknüpft. Ich werde im folgenden versuchen, einigen anderen Implikationen dieses Begriffs nachzugehen. Statt mich etwa für eine einzelne, allen Prozessen unterliegenden Matrix des Werdens zu interessieren, möchte ich eher die heterogene Unvereinbarkeit verschiedener Zeitebenen betrachten, wie sie immer dann besonders deutlich wird, wenn Vorstellungen von *Echtzeit* und unmittelbarer Präsenz nicht ganz aufgehen. Was an ihrer Stelle bleibt, ist etwas, das man einfach das *Rechtzeitige* nennen kann.

Aus einer solchen Perspektive zeichnen sich zeitkritische Prozesse weniger durch ihre Geschwindigkeit aus, sondern durch die Tatsache, dass in ihnen versucht wird, Ereignissen vorzugreifen, die Bedingungen vorwegzunehmen, unter denen etwas eintreten wird; und, nicht zuletzt auch dadurch, dass sie einen Zeitpunkt des Eintretens vorhersagen. Insofern es gelingt, eine Invarianz als allgemeine Gesetzmäßigkeit zu formulieren, ermöglicht die theoretische Überlegung eine Beschreibung einer zukünftigen Situation. Wie ein Wetterkundler oder Astronom kann man dann sagen: Unter diesen und jenen Bedingungen wird eine bestimmte Situation eintreten. Unter einem solchen Blickwinkel erscheint eine gelungene technische Ausstattung als materielle Verkörperung der einmal festgestellten Beziehung zwischen Erinnerung und Zukunft.

Macht man die Zeit zum Thema, die im Prozess der Herstellung dieser Beziehung selbst zwangsläufig vergeht, wird schnell klar, dass es sich beim Zuvorkommen weniger um diese eine Beziehung, sondern eher um ein Verhältnis zweier solcher Beziehungen handelt. Erst wenn es nicht von vornherein sicher ist, ob etwas noch rechtzeitig ankommt, ob man die Zeit gut eingeteilt hat usw. werden beide Prozesse relevant. In anderen Situationen verschwindet sie, und im Fall einer etablierten, reibungslosen Technik scheint die Vorwegnahme zunächst vollkommen aufzugehen. Diesen transparenten Zustand erreicht sie jedoch bekanntlich nur unter bestimmten Umständen: Es ist eher der Normalfall, dass er immer neu hergestellt werden muss und gelegentlich vollkommen in sich zusammenbricht – wobei er dann Gewissheit und Hellsicht als Wunsch entlarvt. In experimentellen Verfahren ist die brüchige Wunschvorstellung wohl am ehesten willkommen: einerseits geht es nicht einfach darum, die Welt sich selbst zu überlassen und gewissermaßen vorurteilsfrei zu beobachten, sondern die Methode muss gezielt in den Lauf der Dinge eingreifen.¹ Andererseits geht es trotz Eingrenzung gerade darum, den Ausgang des Experiments offen zu halten – sonst könnte es eine Überlegung weder bestätigen noch ihr widersprechen und der Versuch wäre nichts anderes als eine reine Konstruktion.

¹A. Kaplan: *The conduct of enquiry: Methodology for behavioral science*. New York: Chandler 1964, S. 400 ff.

1 Formales Experimentieren

Es scheint also, als würden in dieser Offenheit die Zeitebenen des Zuvorkommens und des Eingeholten koexistieren. Doch auch im experimentellen Verfahren findet sich häufig eine Rollenverteilung wieder, die zwischen vorgängiger Theorie und praktischer Realisierung unterscheidet: Das Experiment soll sich darauf beschränken, das bereits formal geklärte Zusammenspiel zwischen den in Frage kommenden Größen so genau wie möglich in die Praxis umzusetzen, mit dem Zweck, die theoretische Ansicht zu widerlegen oder zu bestätigen. So werden Theorie und Praxis in ein Verhältnis gebracht, in dem auf der einen Seite das „dominante“ System, auf der anderen das „abgeleitete, untergeordnete oder degenerierte“ System steht.² So macht Rheinberger darauf aufmerksam, dass die Vorstellung einer reinen Vorgängigkeit des Theoretischen genauso problematisch ist wie die der unmittelbaren Übersetzbarkeit einer formalen Beschreibung in einen Versuchsaufbau. Das *epistemische Ding*, der offene, mehrdeutige Gegenstand der Untersuchung, lässt sich weder auf die Rolle der empirischen Übersetzung der theoretischen Formulierung reduzieren noch auf eine reine unberührte Gegenständlichkeit: Im epistemischen Objekt verbinden sich theoretischer Diskurs und empirisches Verfahren zu einem hybriden Gebilde.³ Das Spurenlegen und das Spurenlesen sind gleichermaßen Teil einer „Maschinerie zur Erzeugung von Zukunft“,⁴ in der sich Vorwegnahme von Setzungen (Entscheidungen, Axiome, Schreibweisen, Hypothesen) mit der rückwirkenden Herleitung ihrer Angemessenheit abwechseln und sich gegenseitig vorher nicht denkbare Bedingungen setzen.

Damit steht aber nicht nur ein wie auch immer geartetes Prioritätsverhältnis zwischen Theorie und Praxis in Frage, sondern es ist zunehmend unklar, was die Eigenschaften *theoretisch* und *praktisch* eigentlich ausmachen soll. Denn ebenso wie der Versuch ein Verfahren der Theoriebildung ist, eine „Materialisierung von Fragen“,⁵ stellt das theoretische Vorgehen eine spezifische Praxis dar.

Das Spezifische des Experimentalverfahrens stellt sich also nicht erst an der Stelle her, an der sich ein Versuchsaufbau materialisiert. Auch die formale Ableitung von Sätzen konstruiert bereits einen Weg der Folgerungen, dessen Versuchsanordnung in seinen Umformungsregeln und Axiomen besteht und dessen Resultat im Prinzip ebenso unvorhersehbar sein kann wie eine chemische Reaktion. Solche Systeme sind produktiv, indem sie immer wieder Zustände der Ambivalenz und Inkonsistenz durchlaufen: So streng die Ableitungsregeln auch sein mögen, es gehen in sie immer Annahmen ein, die unsichtbar bleiben, und ihre Anwendung hat unübersichtliche Konsequenzen. Nur in sehr einfachen Fällen kann man sich sicher sein, dass sie nie zum Selbstwiderspruch oder in die Absurdität (was auch immer das ist) führen können. Indem er auf die Offenheit formaler Systeme hinweist, macht Tisza sich für die Möglichkeiten der Deduktion stark, von denen zu Unrecht behauptet werde, dass sie starr und eng sind und zur Verknöcherung von Theorien führen. Die bereits erwähnte Trennung zwischen „Abgeleitetem“ und „Dominanten“ findet sich daher bei Tisza bereits innerhalb der Deduktion:

The deductive method is quite prominent in the early development of mechanics by Galileo and Newton. Also the great systems of 19th century physics can be considered as somewhat loosely organized deductive systems. However more recently the use of deductive systems has declined. The impression seems to prevail that deductive systems are rigid, narrow and lead to the ossification

²Tisza (1962, S. 114)

³Rheinberger (2001, S. 14ff.)

⁴Rheinberger (2001, S. 281, S. 25 n. Jacob)

⁵Rheinberger (2001, S. 22)

of theories by lending authority to obsolescence, However, the potentialities of this method are in striking contrast with its actual uses in the past. [...] Instead of assuming that deductive systems have to be perfect in order not to collapse, the present method of analysis deals with imperfect systems.⁶

In diesem Zusammenhang wird die Methode der *Deduktion* letztlich ein experimenteller Charakter zugeschrieben: Deduktive Systeme haben mit Experimentalsystemen im gewöhnlichen Sinn gemeinsam, dass sie sich in einem Wechsel zwischen entscheidenden (und meist nicht innerhalb des Systems begründbaren) Setzungen und den Konsequenzen aus der Anwendung der so festgelegten Regeln entfaltet. Wie Tisza bemerkt, besteht auch hier, je nach Kontext, ein „dominanter“ Teil des Systems, der gewisse Bedingungen und Erwartungshaltungen aufrecht erhält.⁷ Der Wunsch nach Widerspruchsfreiheit und der Widerstand des Zeichensystems geben der regelhaften Umformung der Aussagen dabei letztlich die nötige Prägnanz, während die Begriffe, also die Konzepte, die das System strukturieren, auch im Fall eines rein formalen Systems nie ganz klar abgegrenzt sind: Es sind ja gerade diese Begriffe, die sich in ihrem operativen Kontext verändern und in deren Klärung sich Lösungen niederschlagen.⁸ So wie die wechselhafte Entwicklungsgeschichte von technischen Verfahren immer dann unsichtbar wird, wenn diese in eine reibungslose Technik eingegangen sind, scheinen auch die Eingriffe im deduktiven Verfahren genau dann zu verschwinden, sobald es sich als wirkungsvoll erweist – was zuvor provisorische Konvention war, wird zur natürlichen Gegebenheit.

Dieser Wechsel zwischen Versuchsaufbau und funktionierendem technischem Verfahren zeigt sich in symbolischen Systemen im Unterschied zwischen dem Weg, auf dem eine neue Beziehung erarbeitet wird, und der Form, die der Lösungsweg schließlich annimmt. Anders gesagt: Der Weg von Umformungen, der letztendlich plausibel macht, dass die eine Formulierung (von der man ausgeht) der anderen entspricht (die man als gleichwertig nachzuweisen versucht), unterscheidet sich meist wesentlich von den vielen Formulierungsversuchen, Fehlschlägen und Provisorien, über die dieser Lösungsweg entsteht.

Solche Unsicherheiten im Verfahren könnte man einer ungenügenden Sprache (oder einer ungenügenden technischen Ausstattung) zuschreiben, und hoffen, dass ihre Bereinigung von selbst zu einer systematischeren Methoden führen würde. Spätestens gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde jedoch klar, dass sich dieses Vorhaben nicht erfüllen lässt. Freges Arbeit ist einer der wohl bekanntesten Versuche, eine reibungslose theoretische Sprache zu entwerfen; es ist sicher kein Zufall, dass dieser gleich zu Beginn seiner *Begriffsschrift* auf den Unterschied zwischen Genese und Funktion aufmerksam macht. Frege schreibt im Vorwort:

Das Erkennen einer wissenschaftlichen Wahrheit durchläuft in der Regel mehrere Stufen der Sicherheit. Zuerst vielleicht aus einer ungenügenden Zahl von Einzelfällen errathen, wird der allgemeine Satz nach und nach sicherer befestigt, indem er durch Schlussketten mit anderen Wahrheiten Verbindung erhält, sei es dass aus ihm Folgerungen abgeleitet werden, sei es dass er umgekehrt als Folge schon feststehender Sätze erkannt wird. Es kann daher einerseits nach dem Wege gefragt werden, auf dem ein Satz allmählich errungen wurde, andererseits nach der Weise, wie er nun schliesslich am festesten zu begründen

⁶Tisza (1962, S. 111f.)

⁷Tisza (1962, S. 114)

⁸In rein axiomatischen Verfahren geht man dann sogar soweit, die Grundbegriffe überhaupt nicht mehr zu definieren, sondern man präzisiert nur noch allgemeine Verbindungen zwischen Platzhaltern.

ist.⁹

Nicht anders als gewöhnliche Texte, die vielfach umgeschrieben, gestrichen, umgestellt usw. werden, unterliegt natürlich auch die Entwicklung einer formalen Herleitung über eine Reihe von Eingriffen oder Kontingenzen – eine Reihe von Eingriffen, die nicht der Schlusskette selbst entspricht: die Verkettung der Sätze lässt sich nicht mit der Geschichtlichkeit ihrer Entstehung zur Deckung bringen.

2 Doppelte Extension

Es scheint also durchaus angebracht, sowohl von formalen Experimentalsystemen als auch von formalen epistemischen Objekten zu sprechen: Bereits innerhalb der Entwicklung einer theoretischen Formulierung gibt es die Offenheit des Experiments und die Improvisation mit begrenzten Mitteln. Sie erzeugt nicht erst Objekte, wenn sie in Techniken der Beobachtung oder der Einflussnahme eingeht. Indem die Zeichen und Sätze aufeinander verweisen, machen sie sich gegenseitig zum Gegenstand. In den Debatten um die Objektivität wissenschaftlicher Sprache um 1900 spielte Frege eine besondere Rolle, wobei das von ihm häufig verwendete Begriffspaar *Extension/Intension* geeignet ist, einige Schwierigkeiten innerhalb formaler Beschreibungen genauer zu bestimmen.¹⁰

Die Verweisbeziehung innerhalb des Formalen selbst, in all ihren Komplikationen, kann à la Frege in der Unterscheidung von Intension (Inhalt des Ausdrucks oder Begriffs) und Extension (dessen Umfang) ausgedrückt werden. Freges berühmtestes Beispiel für diese Unterscheidung ist die Tatsache, dass die Begriffe *Morgenstern* und *Abendstern* beide *Venus* bedeuten – verschiedene Intensionen verweisen also auf die gleiche Extension. Legt man diese Unterscheidung zugrunde, dann sollte bei einer adäquaten Umformung eines Ausdrucks die Extension immer erhalten bleiben, während sich die Intension ändert: Die *differenzielle Reproduktion* von immer neuen Varianten möglicher Zugänge zu einem unveränderlichen Sachverhalt stellt den Sinn des experimentellen Prozesses sicher.¹¹

Betrachtet man die Umformungen des symbolischen Systems, sieht man, dass ihr Weg aus verschiedenen Teilen besteht. Setzt man dabei die Konsistenz des Systems voraus, sind diese Herleitungs- und Ableitungsschritte, in denen sich ein einzelner Ausdruck immer weiter abrollt, verschiedene Facetten ein und der selben Extension; wenn sie auch gegeneinander austauschbar sind, stellen sie auf der anderen Seite die Objekte des Diskurses dar. Damit verweist ein Ausdruck oder ein Begriff nicht nur auf seinen Umfang (also auf seinen Wahrheitswert oder die Menge der Dinge für die er zutrifft), sondern zunächst insbesondere auf die vielfältigen gleichwertigen Ausdrücke, die er möglich macht. Man kann sagen, dass ein Ausdruck, als Objekt des Diskurses, diese Umformungen als *zweite Extension* besitzt, eine Extension von Intensionen.¹² Sobald eine Formulierung entweder

⁹Frege (1879, S. 3)

¹⁰Die Frage nach der *tatsächlichen Existenz* abstrakter Objekte gewann über das 19. Jahrhundert hinweg zunehmend an Bedeutung und wurde insbesondere Teil der Schwierigkeiten in der Grundlegung der Mathematik und der Logik um die Jahrhundertwende. Frege spielt an diesem Punkt eine besondere Rolle, da er im Versuch, die sprachlichen Ausdrücke so weit wie möglich zu objektivieren (Vgl. Posner, Klaus und Sebeok (2005, S. 2074ff.))

¹¹Rheinberger (2001, S. 88ff.)

¹²Vom formalistischen Standpunkt aus gesehen, ist diese Aussage eine Aussage der Metamathematik, das heißt eine Aussage über die Gesetzmäßigkeiten von Zeichenmustern, aus denen mathematische Aussagen bestehen. (Vgl. Krämer (1988, S. 138ff.)) In semiotischen Theorien zur Mathematik nimmt diese eine Verkettung der Peirce'schen Triade ein. Vgl. z.B. Heinz Steinbring: „Epistemological Investigation of Classroom Interaction in Elementary Mathematics Teaching“, in: *Educational Studies in Mathematics*,

in Zweifel steht oder Ausgangspunkt für neue Fragestellungen wird, zielt sie nicht mehr nur auf ihre Extension im herkömmlichen Sinn, sondern die potentiellen Umformulierungen und deren neue Bedeutungen bekommen Gewicht. Wenn eine Herleitung einmal als gültig anerkannt ist, kann sie in ihrer abgekürzten Form weiter verwendet werden, ohne den Weg des Beweises jedesmal neu zu gehen. Das epistemische Objekt der Beweisführung verfestigt sich zu einer operativen Technik, wobei das Vertrauen in diese Auslassung sich letztlich auf die extensionale Äquivalenz aller Ausdrücke stützt.

3 Vorstellungen einer direkten Abbildung

Auf der anderen Seite bleibt natürlich die Frage, inwieweit die symbolischen Relationen im formalen Kalkül empirisch anwendbar sind, inwieweit diese ein Bild der Welt darstellen, oder, wenn man das lieber hat, inwieweit sie nützlich sind. Gibt man den abstrakten Platzhaltern die Bedeutung von empirischen Größen, setzt man die formalen Operationen, die sie verknüpfen, in ein Verhältnis mit den Möglichkeiten, sie in einem Versuch oder einem technischen Verfahren zu implementieren. Beispielsweise kann eine vermutete Beziehung zwischen zwei physikalischen Größen mathematisch formuliert, und dann in einer Messreihe überprüft werden. Unter der Annahme der Extensionalität, dass also auch nach einer Umformulierung des Ausdrucks die Bedeutung dieser Variablen erhalten bleiben, bildet der deduktive Weg eine alternative, gewissermaßen parallele Bewegung zum Gang der Dinge, die letztlich die Voraussetzung für seinen zuvorkommenden Charakter bildet.¹³ Die erste und zweite Extension treten in eine bestimmte, oft komplexe Beziehung. Die Schritte der Ableitung sind dann jeweils auf bestimmte empirische Situationen bezogen, mit ihnen verstrickt, sie sind Teil der im epistemischen Objekt gestellten Frage: „Bei näherem Hinsehen entpuppt sich jede vermeintliche Darstellung ‚von‘ immer schon zugleich als eine Darstellung ‚als‘.“¹⁴ Im Zustand seiner Entwicklung bedeutet eine Veränderung des theoretischen Ausdrucks also einen Eingriff in zwei verschiedene Bereiche, in beide Extensionen: es sind davon sowohl die möglichen Umformungen des begrifflichen wie des empirischen Apparats betroffen. Dabei stehen sowohl die Beziehungen der Variablen zu ihrer empirischen Bedeutung in Frage (z.B. physikalische Eigenschaften) als auch die formalen Regeln, nach denen sie kombiniert werden dürfen, wenn sie ihre Integrität erhalten sollen.

32 1997, Nr. 1, Peter Bøgh Andersen: *Theory of Computer Semiotics, A*, Cambridge University Press 1997.

¹³Annähernd kann man sich das vielleicht gut an folgendem Beispiel vorstellen: Peirce zeigt, dass in manchen Fällen ein mathematischer Ausdruck nicht nur symbolisch, sondern auch ikonisch gelesen werden kann, mit der Ähnlichkeit der Form zweier Ausdrücke:

Wenn wir in der Algebra Gleichungen in regelmäßiger Anordnung untereinander schreiben, vor allem dann, wenn wir ähnliche Buchstaben für entsprechende Koeffizienten gebrauchen, so ist diese Anordnung ein Ikon. Hier ist ein Beispiel:

$$a_1x + b_1y = n_1$$

$$a_1x + b_2y = n_2$$

Dies ist insofern ein Ikon, als es Quantitäten ähnlich aussehen läßt, die in analogen Beziehungen zum Problem stehen. In der Tat ist jede algebraische Gleichung ein Ikon, insoweit sie mittels der algebraischen Zeichen (die selbst keine Ikons sind) die Beziehungen der betreffenden Quantitäten offenlegt. (Peirce (2000 (1895), S. 205f.))

¹⁴Rheinberger (2001, S. 129)

Die Wunschvorstellung der Übereinstimmung des Formalen mit dem Empirischen bahnt sich ihren Weg nicht nur durch einen distanzierten, gewissermaßen desinteressierten Tausch zwischen Vorhersage und Experiment. Indem sowohl Deduktion als auch Versuchsaufbau aufeinander bezogene Teilsysteme des Experimentalsystems sind, nehmen diese aufeinander Einfluss: Die Notwendigkeit auf der einen Seite, beispielsweise eine spezielle Schreibweise zu entwerfen, entspricht auf der anderen einem bestimmten Versuchsaufbau, der eine theoretische Frage klären soll. Der Wunsch, die beiden Bereiche zur Deckung zu bringen ist im übrigen genau derjenige nach der Übereinstimmung der Zeitschnitte, das Anliegen der Rechtzeitigkeit. Dieser Wunsch bekommt nun genau an der Stelle einen besonderen Ausdruck, an dem das Symbolische *direkt* als Mechanismus zur Produktion der von ihm beschriebenen Denotation fungieren soll: Im Computerprogramm.

Begriffsgeschichtlich betrachtet, entstand die Bezeichnung *Programm* aus der *program control*, also aus einer Steuerungseinheit, die den Produktionsprozess von Maschinen steuern sollte.¹⁵ Die Vorstellung, dass Programme laufende Prozesse sind, mit denen die Nutzerin interagiert entspricht der Interaktion mit Reglern, Schaltern und Einstellschrauben, die ja bis heute als ‚Sliders‘ und ‚Buttons‘ fester Bestandteil von Softwarekultur sind.

Es andererseits gängig, ein Programm als *Script* für die Konfiguration einer Maschine anzusehen: Der Text des Computerprogramms verweist auf die Arbeitsschritte, die nötig sind, um ein Computerprogramm herzustellen (das dann seinerseits produktiv als Werkzeug einsetzbar sein soll). Der Begriff des *Programms*, so wie er heute gebräuchlich ist, ist offenbar doppeldeutig: er verweist sowohl auf den Programmtext als auch auf den laufenden Prozess des Programms. Sicher gibt es in der Informatik klarere Abgrenzungen – andererseits taucht die Vermischung immer wieder auf. So spricht beispielsweise schon Babbage von „small pieces of formulae“, die in den Lochmustern der *operational cards* enthalten sind, und Zuse verwendet den Begriff „Rechenplan“ meist synonym mit „Lochstreifen“.¹⁶

Diese Ambivalenz zwischen Literatur und Maschine kann als Indiz dafür gesehen werden, dass das Verhältnis zwischen symbolischer Schrift und ihrer prozessualen Realisierung nicht unproblematisch ist. Die Tatsache, dass die beiden Aspekte des Programms immer wieder als austauschbar behandelt werden, legt nahe, dass man die beiden Bedeutungen noch weitergehend miteinander identifizieren könnte. Indem ein Algorithmus ja gewissermaßen das beschreibt, was er produziert, fällt Plan und Resultat ineins. Ich werde im Weiteren zu zeigen versuchen, warum dies nicht der Fall ist. Zunächst ist aber der Versuch, die Differenz zum Verschwinden zu bringen, nicht vollkommen abwegig, und an einem Beispiel wird deutlicher, wo die Schwierigkeit liegt.

In seiner kurzen Schrift *Frege und die Schaltalgebra*¹⁷ von 1957 demonstriert Hoering, wie man einen „möglichst unmittelbaren Übergang von der Formel zur Schaltung“ finden kann: Die Fregesche Begriffsschrift lässt sich, so Hoering, *unmittelbar* als elektrischer Schaltkreis interpretieren (Abbildung 1).¹⁸ Dabei wird der Wahrheitswert der Variablen *A* und *B* durch entsprechende Spannungen am rechten Ende der Schaltung dargestellt und das Resultat durch eine geerdete Anzeigelampe links. Die zentralen Grapheme der Begriffsschrift werden gewissermaßen direkt für ihre Extension leitend gemacht, indem nämlich der waagrechte Inhaltsstrich als Draht interpretiert wird, der senkrechte Strich der Implikation und der Negation als primitive Schaltelemente. Dabei ist das, was die Zeichnung

¹⁵Hellige (2003)

¹⁶Hellige (2003, S. 46)

¹⁷Hoering (1957)

¹⁸Die Abbildung stammt aus Hoering (1957), Digitalisierungszentrum der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek.

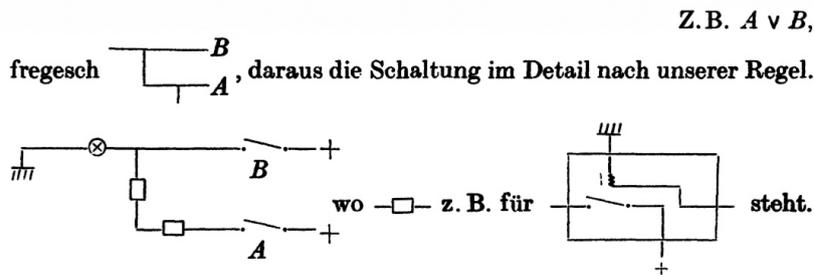


Abbildung 1: Interpretation der Begriffsschrift als Schaltung (aus: Hoering, *Frege und die Schaltalgebra*)

kurzschließt genau das, was man aus ihr schließen kann – diese Interpretation versucht, die Form der Schrift als Beschreibung eines logischen Zusammenhangs als Mechanismus zu aktualisieren. Hoering schließt mit der Bemerkung, dass dieser Zusammenhang ein Beweis dafür sei, „wie überraschend aktuell Frege selbst dort sein kann, wo er zunächst nur umständlich zu sein scheint“. Die Umständlichkeit der von Frege entwickelten Schreibweise liest sich so gewissermaßen rückwirkend als Bild ihrer physikalischen Implementierung. Die über die Extension bestimmte Rolle, welche die Variablen dieser Struktur einnehmen, wird unmittelbar über den Kurzschluss mit der Elektrizität realisiert.

Liest man die Aussagen der Begriffsschrift im Hoeringschen System als Versuchsaufbau, kann man sagen, dass die unbekanntes Größen auf der rechten Seite (also hier A und B) und das Resultat auf der linken (das Lämpchen) stehen; gleichzeitig kann man aus dieser Aussage für bestimmte Werte der Größen das Resultat im Voraus schließen – man kann z.B. alle Kombinationen von Ein- und Ausgabe in einer Wertetabelle vorwegnehmen. Die Variablen bzw. Argumente (A, B, \dots) stellen die Anknüpfungspunkte dar, über die man mit dem System experimentieren kann, um für die von der Schaltung eingegrenzte Konstellation eine Lösung zu finden. Die möglichen Zustände der Welt bilden sich über die Schaltung auf die möglichen Zustände des Regelsystems ab.

Im großen und ganzen stellt dieses System also die Situation eines interaktiven Computerprogramms dar, das dynamisch auf Veränderungen reagiert, mit dem Unterschied, dass im fertigen Programm meist nur noch die Inputs und die Outputs sichtbar sind: Das vollendete Programm ist eine Funktion, die Input (die Argumente) auf Output (Funktionswerte) abbildet. Dieses Verhältnis zwischen Schrift und Prozess zeichnet sich hier dadurch aus, dass Veränderungen der Extension nur durch Veränderungen von Eingabewerten verursacht sein kann – sie sind die Anknüpfungspunkte für Veränderung. Das System kennt selbst gewissermaßen keine Zeit, es ist auch in diesem Sinn zunächst so „unmittelbar“ wie die angestrebte Übersetzbarkeit der Schrift in den laufenden Prozess. In diesem Beispiel überschneiden sich zwei Vorstellungen von Unmittelbarkeit: Eine direkte Übertragung des Eingabe auf die Ausgabe in 'Echtzeit' einerseits, und eine direkte Übersetzung der Beschreibung eines logischen Zusammenhangs in einen äquivalenten Prozess. Sucht man nach einem möglichst offenen, interaktiven System, scheint diese Direktheit die ideale Lösung – weder die Differenz zwischen formaler und physikalischer Realisierung scheint zu existieren, noch eine Wartezeit zwischen Ein- und Ausgabe. Allerdings impliziert diese Konzeption, dass die Veränderung nicht die innere Struktur des Systems betrifft, sondern nur dessen vorher definierte Variablen. Die Vorstellung des Programms als Übereinstimmen der theoretischen Formulierung (z.B. die Begriffsschrift) mit der physikalischen Implementierung (z.B. die Schaltung) setzt stillschweigend voraus, dass sie erst dann zusammengefügt wer-

den, wenn der Plan bereits aufgestellt, die Hypothese sauber niedergeschrieben ist. Dieser Auffassung liegt die Trennung zwischen Instrumentarium und seinem Gegenstand zugrunde: Es geht darum, ein bereits existierenden theoretischen Entwurf zu materialisieren, eine gegebene Hypothese zu überprüfen.¹⁹ Das klassische Modell der Programmierung als Planung, Übersetzung und Anwendung entspricht einer problematischen Reduktion des Experiments²⁰ auf eine nachträgliche Übertragung der ‚theoretischen‘ Konstruktion in die ‚Praxis‘.

4 Interaktive Programmierung

Soll das Programm, sowohl in seinem schriftlichen als auch seinem physikalischen Aspekt, Teil eines experimentellen Vorgehens sein, rücken nun allerdings gerade die Schritte seiner Entwicklung und Veränderung in den Vordergrund. Aufgrund der Grenzen der Berechenbarkeit, die das Verhalten von Algorithmen zu einer komplexen, teilweise unvorhersehbaren Landschaft machen, werden formale Herangehensweisen Teil von Experimenten, die sich im Übergang zwischen physikalischem und literarischem Versuch bewegen.

Bereits in den 1960er Jahren wurden nicht nur interaktive Programme, sondern auch interaktive Verfahren der Programmierung entworfen – solche Ansätze ergaben sich aus der Notwendigkeit, Programme während der Laufzeit strukturell zu verändern.²¹ Die Programmierung rückt näher an die Praxis der schriftlichen Problemlösung (Abb. 2²²) – das Programm wird Teil des Diskurses, anstelle Mittel der Implementierung zu sein, und die Tätigkeit des Programmierens.²³

Insbesondere in der Ära vor dem Personal Computer galt nicht nur unter Spezialisten die *Kommunikation* mit der Maschine als wichtige Hürde, die zu überwinden war – die Kenntnis von Computersprachen wurde als zukünftig unausweichliche Grundlage der Allgemeinbildung gesehen. Einerseits wurde daher von der Mathematikpädagogik gefordert, formale Sprachen und computernahe Denkweisen bereits in der Grundschule zu vermitteln,²⁴ andererseits ist in Publikationen zur interaktiven Programmierung die Annäherung des Programmtextes an natürliche Sprachen ein vieldiskutiertes Thema.²⁵

Das zeitliche Modell für die Integration des Computers in Arbeitsabläufe der Forschung

¹⁹Hier stimmt die Hoeringsche Übertragung insofern noch mit Freges Ausführungen überein, als dass dieser in der Begriffsschrift das Problem der *Entdeckung* eines logischen Zusammenhangs in den Bereich der Psychologie verlagert, und sich dem Problem seiner *Rechtfertigung* zuwendet (Frege (1879, Vorwort)). Seine formale Schrift versteht er gewissermaßen als Beobachtungsinstrument dessen Funktion in seiner Präzision und Transparenz liegt. *Das Verhältnis meiner Begriffsschrift zu der Sprache des Lebens glaube ich am deutlichsten machen zu können, wenn ich es mit dem des Mikroskops zum Auge vergleiche.* (Vgl. Frege (1879, S.11))

²⁰Vgl. Fleck (1980, S. 114), Rheinberger (2001, S. 25ff.)

²¹ „*The utopian notion of a computer which accepts the statement of a problem and automatically finds a way of solving it is clearly chimerical, save for those ‚problems‘ whose structure has been thoroughly understood and for which methods of solutions are well known*“ (Walter J. Karplus: *On-Line Computing*, McGraw-Hill Education 1967, S. 168, zit. nach Melvin Klerer und Juris Reinfelds: *Interactive Systems For Experimental Applied Mathematics (Proceedings Of The ACM Symposium Held In Washington DC August 1967)*, Academic Press 1968, S. 9)

²²Vgl. <http://hopl.murdoch.edu.au/showlanguage.prx>

²³Kenneth E. Iverson: *Notation as a Tool of Thought (ACM Turing Award Lecture)*, Detroit October 1979

²⁴Julian Rohrhuber: „New Mathematics and the Subject of the Variable“, in: Eckhard Furlus und Siegfried Zielinski (Hrsg.): *Varianteologie 3*, Buchhandlung König 2007

²⁵Klerer und Reinfelds, a. a. O. Für eine spätere sehr einflussreiche Weiterentwicklung der Literalität von Computersprachen, siehe auch Donald E. Knuth: *Literate Programming*, Stanford, California: Center for the Study of Language and Information 1992, CSLI Lecture Notes, no. 27.

ist die des Hin und Her zwischen Gesprächspartnern einer Konversation (*turn-taking*). Oft wurden menschliche Dialoge zum Vorbild für Mensch-Maschine-Interaktion genommen.²⁶ Die Form der Interaktion, die man heute von Terminal-Applikationen (z.B. *bash*) kennt, funktionieren noch immer, wie der Fernschreiber, aus dem sie sich herleiten, über *call und response*: Vielen frühen Formen interaktiver Programmierung (*conversational programming*) liegt ein solches *Commandline-Paradigma* zugrunde.

In den frühen 1970er Jahren entwickeln sich nun andererseits Formen der parallelen Verbindung zwischen Programmierertätigkeit und Programmablauf: Insbesondere die noch heute verbreiteten Programmiersprachen, die sich aus *Smalltalk* (ab 1971) herleiten, erlauben es, ein System (einschließlich der Sprache selbst) während seiner Laufzeit umzuschreiben. In dieser Form des *interactive programming* ist der Programmtext gleichzeitig Beschreibung des Systems als auch als Punkt der Intervention in den Programmfluss. Es ist einerseits charakteristisch für beide Paradigmen, dass die Entwicklung von Algorithmen eng mit den Prozessen verschränkt sind, die sie beschreiben, andererseits, dass die abstrakte Beschreibung als literarische (oder auch bildlich-symbolische) Form Teil von Konversation und Experimentalpraxis sind.

Wennoach diese Paradigmen weiter relevant sind, werden sie doch im Lauf der Entwicklung schnell von der Werkzeugmetapher der Computerapplikation in den Hintergrund gedrängt. Die Entwicklung des Programms selbst ist von seiner Anwendung getrennt – insbesondere in den Ansätzen der strukturierten Programmierung sollte dabei die Funktionalität zunächst klar definiert sein, um dann möglichst fehlerfrei umgesetzt zu werden. Modulare Ansätze lösen diese große Entwurfsarchitektur zwar später teilweise ab, die Konstruktion des Programms bleibt jedoch (oft schon aus ökonomischen Interessen) eine von der Anwendung getrennte Ebene.

Gleichzeitig wird insbesondere im wissenschaftlichen und künstlerischen Bereich die Schwächen dieser Aufteilung offensichtlicher – insbesondere dann, wenn die Formulierung von Algorithmen selbst zum Gegenstand der Forschung wird, bleibt der literarisch-symbolische Aspekt des Programms im Vordergrund. Seit den späten 90er Jahren entwickelte sich ausgehend von der Integration von Algorithmen zur Echtzeit-Signalverarbeitung und ‚höheren‘ Programmiersprachen²⁷ eine neue Generation von interaktiver Programmierung, bei der die Frage nach der unmittelbaren Interaktion mit dem System, die hier einer allgemeinen Form Thema ist, besonders klar zum Vorschein kommt. Insbesondere im Bereich der Klangsynthese, in der die Zeitstruktur von Prozessen gewissermaßen der einzige Gegenstand ist, werden diese Fragen relevant.²⁸ Während gleichzeitig Interaktivität vor allem über die Möglichkeiten haptischer Intervention in bereits formulierte Prozesse definiert wird, gewinnt durch die Möglichkeit gedanklicher Intervention die Frage der Verbindung zwischen Prozess und symbolischer Beschreibung erneut an Bedeutung.

5 Rechtzeitigkeit

Unter welchen Bedingungen gibt es so etwas wie eine Programmierung in ‚Echtzeit‘? Man ist es inzwischen gewöhnt, dass Applikationen Bewegungen oder andere dynamische

²⁶Die Programmiersprache JOSS (Clifford Shaw 1963, Charles L. Baker et al 1966) gab beispielsweise „Eh?“ als Antwort auf eine „fehlerhafte“ Eingabe.

²⁷James McCartney: „Rethinking the computer music language: SuperCollider“, in: *Computer Music Journal*, 2002, Nr. 26

²⁸Julian Rohrhuber, Alberto de Campo und Renate Wieser: „Algorithms today - Notes on Language Design for Just In Time Programming“, in: *Proceedings of International Computer Music Conference*, Barcelona 2005

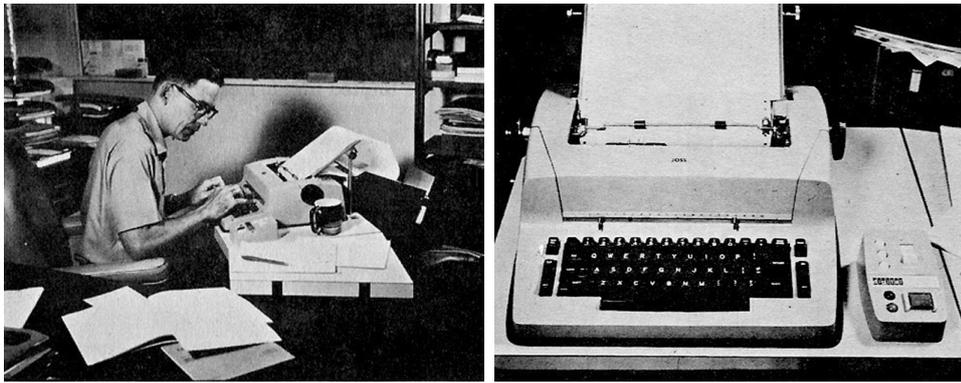


Abbildung 2: Baker an der Konsole der interaktiven Computersprache *JOSS*

Einfüsse direkt umsetzen, und ausreichend schnell an die Umgebung zurückgeben. Diesen Applikationen liegt ein Algorithmus zugrunde, der beschreibt, wie sich der laufende Prozess verhalten soll. Im Fall der Idee von Höring, formale Sprache und Schaltkreis soweit wie möglich gleichzusetzen, würde nun eine Veränderung der Schrift, deren Linien identisch sind mit den Wirkungen, welche die Eingabewerte haben können, unmittelbar auf dieses Verhalten des Systems auswirken. In einer Art formallogischem *circuit-bending* würde sich die Veränderung des Plans auf dessen Ausführung lückenlos fortsetzen. Anders gesagt, der Übergang von einer Formulierung zur nächsten würde gleichzeitig einen Übergang einer Extension zur anderen bedeuten.²⁹ Nimmt man diesen Prozess der Umprogrammierung als Experimentalverfahren, kann man sagen, dass dabei ein Beobachtungswerkzeug, also eine Art erweiterte Messtechnik Stück für Stück verändert wird: Die Abbildung der Eingabe auf die Ausgabe wird immer neuen Verknüpfungen unterworfen. Diese Transparenz macht zustandsfreie Beschreibungsweisen immer wieder interessant; Allerdings ergibt sich ein Problem, sobald die Vergangenheit des Systems in irgend einer Weise relevant ist. Denn in zustandsfreien Systemen existiert zwar im System keine Vergangenheit (weswegen jedes Teil jederzeit gegen ein anderes ausgetauscht werden kann), außerhalb des Systems, also in seinen Aus- und Eingabewerten existiert doch ein sich verändernder Zustand. So erzeugt beispielsweise die Funktion $\sin(kt)$ zwar für jeden Eingabewert k zu jedem Zeitpunkt t genau einen Wert, die Zeit wird dabei jedoch als linear voranschreitend und als außerhalb des Systems verortet. Das entscheidende Problem tritt dann auf, wenn das Programm nicht mehr nur ein indirektes Bild einer außerhalb angenommenen Zeit aufgefasst wird. Wird das Programm zum Plan, der beschreibt, wann, bzw. unter welchen internen Umständen ein bestimmtes Verhalten eintreffen soll, verändert sich die Lage. Bereits im einfachen Fall eines langsam ansteigenden Werts (Abb. 3) stellt sich diese Frage: Wenn beispielsweise der Aufstieg, der durch die Funktion definiert ist, schon zu einem Teil zurückgelegt ist und dessen Steigung verändert werden soll, ist nicht unmittelbar klar, ob diese Veränderung den gesamten Prozess meint (also der momentane Wert von neuem berechnet werden müsste), oder ob vom Moment des Eingriffs an die Steigung eine andere sein soll.

Seien allgemeiner a, b Variablen, die beliebige Teile des Programms repräsentieren (Abb. 4). Dabei sei b abhängig von a , was man ausdrücken kann durch $b(a)$. Man kann sich vorstellen, dass zu irgendeinem Zeitpunkt t_1 nach Beginn der Programmteil a ein

²⁹Indem nämlich die Extensionalität der Schrift garantiert, dass auf der Seite des „objektiven Gedankens“ nur die durch Spannungswerte implementierten Wahrheitswerte existieren, können jederzeit Teile des Ausdrucks umgeschrieben und ausgetauscht werden. Da jede zeitliche Veränderung dieser Werte immer Abbildungen der Umwelt (also der Inputs, bzw. freien Variablen) sind, leitet das System konsistent jede Umformulierung ‘in Echtzeit’ weiter.

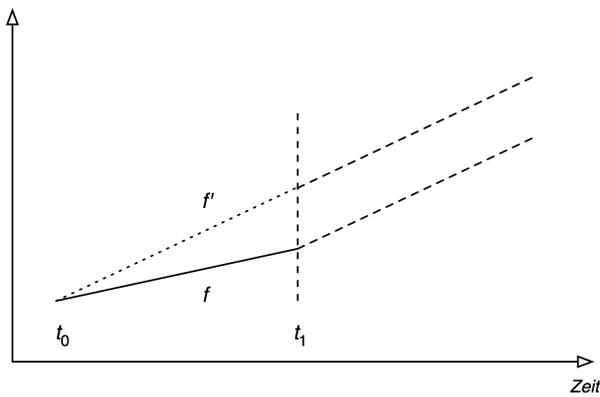


Abbildung 3: Ambiguität der Neudefinition einer einfachen linearen Funktion zum Zeitpunkt t_1

Ereignis in b auslöst, das den Zustand von b dauerhaft verändert. Will man an diesem Punkt wissen, wie sich das System verhalten würde, wenn es anders konzipiert wäre, kann man es mit diesem vergleichen, indem man beispielsweise a zum Zeitpunkt t_2 mit einem anderen Ausdruck c ersetzt. Nun steht man aber vor der Entscheidung, was dieser neue Ausdruck $b(c)$ meint: sieht man ihn analog zur Form $b(a)$, die in b die Spezifikation eines Plans sieht (*vor* dem Ereignis, das es verändert hat)? Oder versteht man b als Verweis auf den momentanen Zustand des Programms *nach* dem Ereignis? Entscheidet man sich für die erste Interpretation, muss unter den neuen Bedingungen der Prozess wieder von Anfang an ablaufen. Dabei ist aber unsicher, inwiefern der Vergleich der beiden Varianten $b(a)$ und $b(c)$ zum Zeitpunkt t_2 überhaupt noch Sinn macht, denn es kann ja sein, dass $b(c)$ kein Ereignis eintritt. Entscheidet man sich für die zweite Interpretation, kann man zwar unmittelbar auf das System Einfluss nehmen, aber dem Vergleich von a und c steht das Ereignis im Weg, das ja a ausgelöst hat: Man vergleicht also gewissermaßen a mit der Wirkung, die seine Vergangenheit auf die Gegenwart von c hat. Die oben beschriebene Doppeldeutigkeit des Begriffs *Programm* im gewöhnlichen Sprachgebrauch überträgt sich also auf die Bedeutung der Variable: sie kann prinzipiell entweder als Repräsentation des Plans oder als Stellvertretung des Zustands gesehen werden. Anders ausgedrückt: Ihre Extension, also das, worauf sie verweist, kann sichentweder auf das beziehen, was sie produziert, oder wie sie es produziert. Die Differenz zwischen *Extension* und *Intension* wird dann nicht mehr von der Variable selbst erzeugt, sondern ist auf die Entscheidung eines Dritten angewiesen.³⁰ Anders ausgedrückt: Den Plan während seiner Ausführung zu ändern, muss zu Unentscheidbarkeiten führen, die im jeweiligen Kontext zu verschiedenen Schlüssen führen werden – die Grenze zwischen dem, was im Programm zu Disposition gestellt ist (also die Argumente) und was schon entschieden ist (also Teil der Funktion ist), muss selbst zu Disposition stehen. Diese Grenze ist dabei immer eine Grenze von Zeitebenen, die, zumindest von Rechts wegen, miteinander in Widerstreit stehen.

Versucht man also jede Ambiguität solcher Interpretationen zu vermeiden, und nimmt sowohl eine unmittelbare Abbildung von Eingabe auf Ausgabe als auch eine jeweils unmittelbare Abbildung des Programmtextes auf den programmierten Prozess an, muss man verhindern, dass es innerhalb des Systems Zustände und Ereignisse gibt. Setzt man jedoch voraus, dass das Experiment selbst ein Prozess ist, *innerhalb* dessen es zu Ereignis-

³⁰Diese Ambivalenz wird besonders dann wirksam, wenn das, worauf ein Programm verweist, vollständig in der Zeit verläuft. Verweist beispielsweise ein Algorithmus zur Klangsynthese auf ein Schallereignis oder auf die Maschine, die es erzeugt?

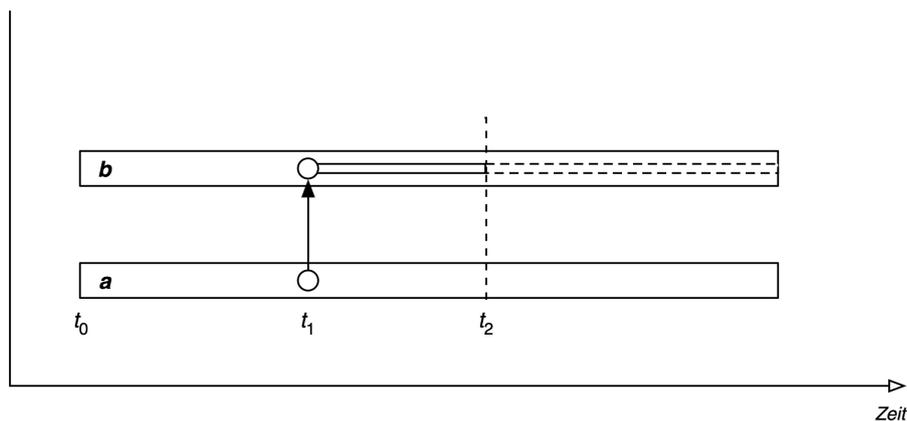


Abbildung 4: Teile eines Programms zu verschiedenen Zeitpunkten.

sen kommt,³¹ stellt die beschriebene Situation nur noch einen Teilbereich innerhalb des Experimentalsystems dar: den der Methode, der Werkzeuge, der fertigen Verfahren, also der Teil des Systems, von dem ausgegangen werden muss, dass er unverändert bleibt. Die andere Seite, die der ungeklärten Begriffe, der epistemischen Dinge, wird außerhalb des Schaltkreises verortet. Sobald man also das Programm als Einführung des Formalen mit dem Empirischen über diesen Punkt hinaus fortführt, scheitert die direkte Übersetzung. Wenn es innerhalb des Programms Zustände gibt, die die Zeit überdauern, die aber nicht schon vorher festgehalten worden sind, ist nicht mehr jeder Teil des Systems einfach Ausdruck seiner formalen Schrift: Sobald das Programm unter den Einfluss seiner eigenen Vergangenheit kommt, wird seine Extension doppeldeutig. Im Moment der iterativen, experimentellen Entwicklung eines Programms steht die Grenze zwischen den beiden Deutungen immer wieder neu in Frage.

Die doppelte Extension des formalen Experimentalsystems spiegelt sich im Widerstreit zwischen der Darstellung *von* einem Programm und der Darstellung *als* Programm. Der Entscheidung über diese Grenze entspricht die letztendlich die Entscheidung zwischen dem Beobachtungsverfahren und dem Gegenstand der Beobachtung. Im Zustand der Entstehung von Verfahren oder auch im Moment ihres Scheiterns wird die Trennung zwischen Theorie und Praxis neu verhandelt: Letztlich steht im „verdinglichten Theorem“³² und in der „objektiven Vorstellung“³³ die Person des Beobachters ebensowohl zur Disposition wie das epistemische Ding – als Subjekt des Satzes und als dessen Autorin. Wenn man, wie hier, das Programmieren als Beispiel für ein Experimentalsystem auffasst, wird sichtbar, dass die Koexistenz der Vergangenheitsschichten seiner Entwicklung der Vorstellung einer eindeutigen Zuordnung zwischen Beobachtungsverfahren und Gegenstand, zwischen Plan und seiner Ausführung durchkreuzt. Der Wunsch der Unmittelbarkeit des Zugriffs auf die Zeit schlägt sich am Ort der Variable nieder; Die Variable, als Punkt der größten Verdichtung, erweist sich aber als gespalten.³⁴

³¹Bachelard (1980 (1940), S. 85ff.)

³²Gaston Bachelard: *Les intuitions atomistiques, essai de classification*. Paris: Vrin 1933, S. 140, zit. n. Rheinberger (2001, S. 132)

³³Frege (1996 (1884), § 28, Die Anzahl als Menge)

³⁴In dieser Position der Nahtstelle ist die Variable selbst eins der epistemischen Dinge des formalen Experimentierens.