

Allokation von Aufmerksamkeit und Metakognition beim Problemlösen mit Einsicht

Günther Knoblich
Max-Planck-Institut für psychologische Forschung
Leopoldstr. 24
80802 München
e-mail: knoblich@mpipf-muenchen.mpg.de

Abstract. Beim Lösen von Einsichtsproblemen geraten Menschen oft in Situationen, in denen die Lösung des Problems unmöglich scheint. Untersucht werden zwei Prozesse, welche den Raum der Handlungsmöglichkeiten erweitern, wenn eine solche Sackgasse angetroffen wird: Die Lockerung von Randbedingungen und die Dekomposition von chunks. Die Annahme dieser Prozesse erlaubt die Ableitung von Voraussagen über die Allokation von Aufmerksamkeit in Problemen der Streichholz-Arithmetik. Die Voraussagen werden durch die Ergebnisse einer Blickbewegungsstudie bestätigt. Nur erfolgreiche Problemlöser verlagern ihre Aufmerksamkeit graduell auf lösungsrelevante Aufgabenelemente. Eine zweite Untersuchung zeigt, dass sich die Aufmerksamkeitsverlagerung nicht in der subjektiven Einschätzung über die Nähe zur Lösung widerspiegelt. Prozesse, die in einer Sackgasse neue Handlungsmöglichkeiten eröffnen, verlagern die Aufmerksamkeit, ohne das subjektive Erleben über die Nähe der bevorstehenden Lösung zu beeinflussen.

1 Einleitung

Manche Probleme sind deshalb schwierig, weil Problemlöser in einem Problemraum, der aus einer schier unendlichen Anzahl möglicher Zustände besteht, die richtige Lösungssequenz finden müssen, um das Problem zu lösen (Newell & Simon, 1972). Heuristiken und der Abruf früherer Problemlöse-Episoden können dann den Suchraum einschränken. Von sogenannten Einsichtsproblemen gewinnen Problemlöser schnell den Eindruck, dass sie unlösbar seien (Ohlsson, 1992), weil es oft unmöglich ist, überhaupt nützliche Handlungen zu generieren. Das Stadium im Problemlöseprozess, in dem keine neuen Handlungen mehr generiert werden können, wird häufig als Sackgasse bezeichnet. In Sackgassen haben Problemlöser auch subjektiv das Empfinden, dass eine Lösung des Problems nicht möglich ist (Metcalfe & Wiebe, 1987).

Sackgassen treten auf, weil die anfängliche Problemrepräsentation die Lösung nicht enthält (Kaplan & Simon, 1990). Um aus einer Sackgasse zu entkommen, muss die Problemrepräsentation verändert werden. Eine veränderte Problemrepräsentation kann neue Handlungen aktivieren, die es erlauben, mit der Problemlösung fortzufahren (Ohlsson, 1992). Nachfolgend werden zwei Prozesse untersucht, welche die Problemrepräsentation verändern: die Lockerung von Randbedingungen und die Dekomposition von chunks (Knoblich, Ohlsson, Haider, & Rhenius, in press;

Knoblich & Wartenberg, 1998). Nachfolgend werden die beiden Prozesse genauer erläutert.

Lockerung von Randbedingungen: Die anfänglich Repräsentation des Ziels einer Problemlösung ist von Vorwissen beeinflusst, das bei der Lösung ähnlicher Probleme erworben wurde. Dieses Vorwissen generiert Erwartungen darüber, welche Aspekte der Problemsituation veränderlich sind. Ist man zum Beispiel mit dem arithmetischen Problem $X = 9 + 8$ konfrontiert, wird eine Zielvorstellung gebildet, welche die möglichen Lösungen auf solche einschränkt, in denen die Variable X durch einen Wert ersetzt wird. Bei unvertrauten Problemen ist weniger klar, welche Aspekte der Problemsituation variabel sind. Ein Beispiel für solche Probleme liefert die Domäne der Streichholz-Arithmetik (Abbildung 1). Die Probleme stellen anfänglich nicht korrekte arithmetische Ausdrücke dar, die aus römischen Zahlen und den arithmetischen Operatoren „+“, „-“ und „=“ bestehen. Alle Symbole sind aus Hölzchen gelegt. Die Aufgabe besteht darin, genau ein Hölzchen zu bewegen, um einen wahren Ausdruck zu erzeugen, der ausschliesslich römische Zahlen und die genannten arithmetischen Operatoren enthält. Beim Antreffen dieser Probleme sollte die Aktivierung arithmetischen Vorwissens dazu führen, dass die arithmetischen Operatoren in der Zielrepräsentation als konstant repräsentiert werden und die Zahlenwerte als variabel.

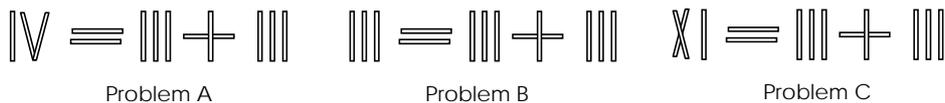


Abbildung 1: Drei Probleme der Streichholz-Arithmetik

Das Problem A in Abbildung 1 kann mit einer solchen Zielrepräsentation gelöst werden (die Lösung ist $VI = III + III$). Um die Lösung für Problem B zu finden, müssen dagegen auch die Operatoren als variabel angesehen werden (die Lösung ist $III = III = III$). Als Lockerung von Randbedingungen wird der Prozess bezeichnet, der Konstanten in der Zielvorstellung durch Variablen ersetzt, und dadurch den Problemraum erweitert, wenn eine Sackgasse angetroffen wird.

Dekomposition von chunks: Die Vertrautheit Konfigurationen perzeptueller Komponenten führt zur Bildung von chunks. Wird eine Konfiguration angetroffen, die zu einem chunk im Gedächtnis passt, wird die Konfiguration automatisch als Instanz dieses chunks erkannt. Bei der Enkodierung von neuen Problemen werden chunks aktiviert, die bei der Lösung oberflächlich ähnlicher Probleme nützlich waren. Meistens erleichtern chunks das Problemlösen (Ericsson & Lehmann, 1996). Chunks können aber die Lösung neuer Probleme behindern, wenn es nötig wird, einen chunk in seine Komponenten zu zerlegen und die Komponenten zu rekonfigurieren. Der Prozess, der dieses leistet, wird nachfolgend als Dekomposition von chunks bezeichnet. Die Schwierigkeit der Dekomposition hängt von den Charakteristiken bestimmter chunks ab. So ist es relativ einfach, den losen chunk „IV“ in seine Bestandteile „I“ und „V“ zu zerlegen, weil die resultierenden Bestandteile selbst bedeutungshaltige Symbole innerhalb des römischen Zahlensystems sind. Um das Problem A in Abbildung 1 zu lösen, muss nur ein solcher loser chunk dekomponiert werden. Dagegen existieren chunks, deren Einzelkomponenten im Kontext der römischen Zahlen keine Bedeutung haben. Um das Problem C in Abbildung 1 zu

lösen, muss der starre chunk „X“ in zwei bedeutungslose, geneigte Hölzchen zerlegt werden (die Lösung ist $VI = III + III$).

2 Allokation von Aufmerksamkeit

Oberflächlich unterscheiden sich die drei Probleme in Abbildung 1 nur im Ergebnis. Um das Problem B zu lösen, muss aber die Randbedingung gelockert werden, dass arithmetische Operatoren nicht verändert werden können. Um das Problem C zu lösen, muss ein starrer chunk dekomponiert werden. Deswegen sollten sowohl Problem B wie auch Problem C schwerer zu lösen sein als Problem A.

Die Erhebung von Blickbewegungen liefert detaillierte Informationen darüber, welche Aufgabenelemente während des Problemlöseprozesses beachtet werden. Die Dauer einer Fixation auf ein Aufgabenelement deutet an, wie lange die Information im Arbeitsgedächtnis verarbeitet wird (Just & Carpenter, 1976). Der Anteil an der Fixationszeit, der auf einzelne Aufgabenelemente entfällt, gibt Auskunft darüber, welche Elemente extensiv bearbeitet wurden. Wenn sich die Anteile, die auf bestimmte Elemente entfallen, in aufeinanderfolgenden Phasen der Problemlösung verändern, verlagert sich die Aufmerksamkeit zwischen diesen Elementen. Die Lockerung der Randbedingung, dass Operatoren nicht verändert werden können, sollte in Problem B dazu führen, dass sich die Aufmerksamkeit vom Ergebnis und den Operanden hin zu den Operatoren verlagert. Da das Problem nur gelöst werden kann, wenn diese Randbedingung gelockert wurde, sollte die Aufmerksamkeitsverlagerung bei erfolgreichen Problemlösern ausgeprägter sein als bei erfolglosen Problemlösern. Im Problem C sollte die Dekomposition des starren chunks „X“ zu einer Aufmerksamkeitsverlagerung auf diesen chunk führen. Da das Problem nur gelöst werden kann, wenn der chunk zerlegt wird, sollte die Aufmerksamkeitsverlagerung bei erfolgreichen Problemlösern ausgeprägter sein als bei erfolglosen Problemlösern. Wir überprüften diese Hypothesen in einem Experiment, an dem 24 Studenten der University of Illinois at Chicago teilnahmen. Sie bearbeiteten die drei in Abbildung 1 dargestellten Probleme, während gleichzeitig Blickbewegungen aufgezeichnet wurden.

Dabei ergaben sich die folgenden Ergebnisse: Die Lösungshäufigkeit innerhalb des Zeitlimits von fünf Minuten betrug 100% für Problem A, 38% für Problem B und 71% für Problem C. Problem B und C wurden signifikant seltener gelöst als Problem A (alle $p < .05$). Jede einzelne Problemlösung wurde in drei Intervalle gleicher Dauer zerlegt. Für jedes Intervall wurde der Anteil der Fixationszeit auf einzelne Aufgabenelemente an der Gesamtfixationszeit berechnet. In einem zweiten Schritt wurde jeweils pro Aufgabe über alle erfolgreichen und alle erfolglosen Problemlöser gemittelt. In Problem B (Abbildung 2) ergibt sich für erfolglose Problemlöser kein konsistentes Muster über die drei Intervalle. Bei erfolgreichen Problemlösern wandert die Aufmerksamkeit von den Zahlen zu den Operatoren in der Gleichung. Die Lockerung der Randbedingung, dass Operatoren konstant bleiben, stellt somit eine notwendige Voraussetzung für das Finden der Lösung dar.

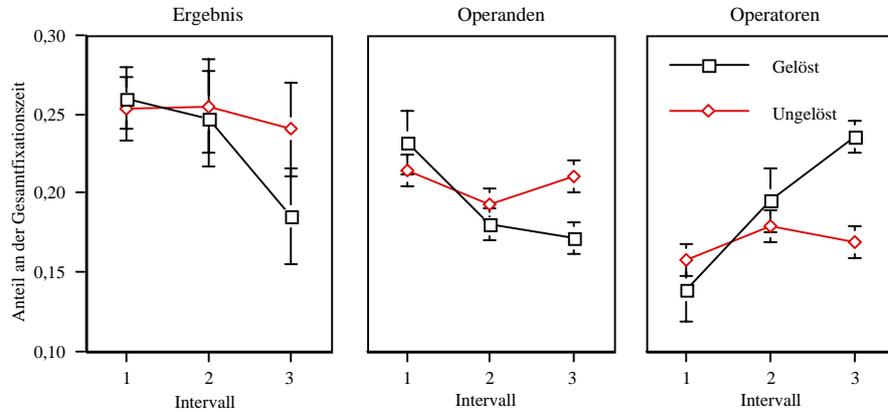


Abbildung 2: Mittlere Fixationszeit auf verschiedene Aufgabenelemente in Problem B.

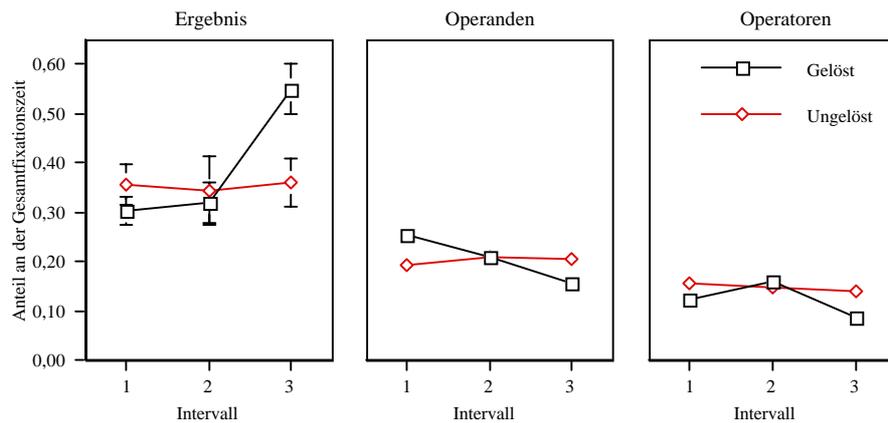


Abbildung 3: Mittlere Fixationszeit auf verschiedene Aufgabenelemente in Problem C (Standardfehler für Operanden und Operatoren sind zu klein, um angezeigt zu werden).

Auch in Problem C (Abbildung 3) bleibt das Muster für erfolgreiche Problemlöser über alle Intervalle hinweg unverändert. Erfolgreiche Problemlöser ziehen die Aufmerksamkeit von den Operanden ab und verschieben ihre Aufmerksamkeit auf das Ergebnis hin. Der starre chunk „X“ kann nur dekomponiert werden, wenn die Problemlöser ihre ganze Aufmerksamkeit diesem Element widmen.

3 Metakognitive Urteile über die Nähe zur Lösung

In einem zweiten Experiment gingen wir der Frage nach, ob sich die bei erfolgreichen Problemlösern beobachteten Aufmerksamkeitsverschiebungen auch auf das subjektive Empfinden über die Nähe einer bevorstehenden Lösung auswirken. Dazu erhoben wir sogenannte Heiss-Kalt Urteile (Metcalf & Wiebe, 1987), mit denen Problemlöser auf einer Skala von 1 (ganz kalt) bis 9 (ganz heiss) angeben, wie weit sie sich von der Lösung entfernt glauben. Falls sich Aufmerksamkeitsverschiebungen im subjektiven Empfinden über die Nähe zum Ziel widerspiegeln, sollten Heiss-Kalt Urteile bei der Bearbeitung von Problem B und C für erfolgreiche Problemlöser in aufeinanderfolgenden Intervallen ansteigen und für erfolglose Problemlöser flacher verlaufen. Wir bezogen zusätzlich eine Additionsaufgabe und eine Wasserumschütttaufgabe (Luchins, 1942) in die Untersuchung mit ein, um den Verlauf der Heiss-Kalt Urteile im Problem B und C mit Aufgaben vergleichen zu können, von denen bekannt ist, dass sie eher schrittweise gelöst werden. An diesem Experiment nahmen 42 Studenten der Universität München teil. Sie lösten sie ein Additionsproblem, ein Wasserumschüttproblem und die Probleme A, B und C aus Abbildung 1. Alle 10 s gaben sie an, wie nahe sie sich der Lösung fühlten. Die maximale Bearbeitungszeit betrug 5 Minuten.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse: Die Lösungshäufigkeit betrug 100% für Problem A, 71% für Problem B, 52% für Problem C, 64% für die Additionsaufgabe und 69% für die Wasserumschütttaufgabe. Die Probleme B und C waren signifikant schwerer als Problem A (alle $p < .05$). Wie in Experiment 1 wurde jede Problemlösung in drei Intervalle zerlegt. Danach wurde der Mittelwert der Heiss-Kalt Urteile in jedem Intervall berechnet und jeweils pro Aufgabe über alle erfolgreichen und alle erfolglosen Problemlöser gemittelt.

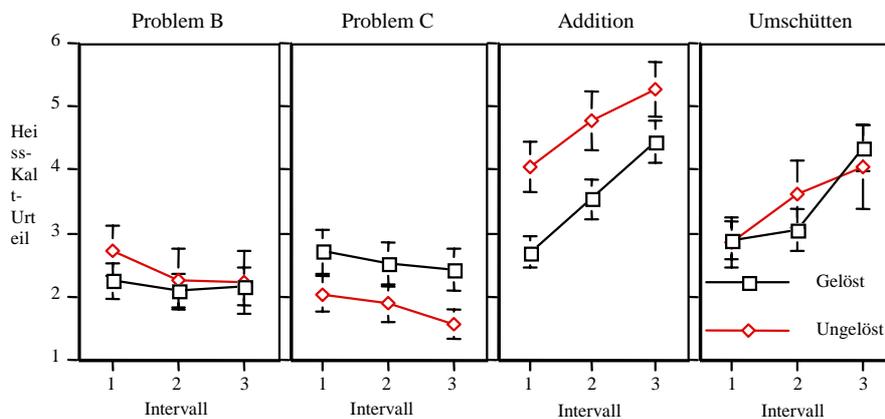


Abbildung 4: Verlauf von Heiss-Kalt Urteilen.

Aus Abbildung 4 geht hervor, dass sich bei Problem B und C weder für die erfolgreichen noch für die erfolglosen Problemlöser ein Anstieg der Heiss-Kalt Urteile in aufeinanderfolgenden Intervallen ergibt. Ausserdem verlaufen die Kurven in beiden Gruppen weitgehend parallel. Dieses Ergebnis zeigt, dass Problemlöser in beiden

Gruppen nicht glauben, sich dem Ziel anzunähern. Zweitens wird durch den parallelen Verlauf der Kurven deutlich, dass sich die Aufmerksamkeitsverlagerung der erfolgreichen Problemlöser auf die lösungsrelevanten Elemente nicht im subjektiven Empfinden über die Nähe zur Lösung widerspiegelt. Ein Blick auf den Verlauf der Heiss-Kalt Urteile in der Additions- und der Wasserumschütttaufgabe macht deutlich, dass die Urteile in Aufgaben, die eher schrittweise gelöst werden, in späteren Intervallen sowohl bei erfolgreichen als auch bei erfolglosen Problemlösern linear ansteigen. Dieses Ergebnis schliesst die Erklärung aus, dass der Verlauf der Heiss-Kalt im Problem B und C nur deswegen flach ist, weil diese Urteile kein sensitives Mass zur Messung des subjektiven Empfindes über die Nähe zum Ziel darstellen.

Fazit

Das Wirken von Prozessen, die zur Veränderung von Problemrepräsentationen führen, verschiebt die Aufmerksamkeit auf lösungsrelevante Problemelemente. Das subjektive Empfinden über die Nähe zur Lösung, bleibt von dieser Verschiebung unberührt. Daher das plötzliche AHA-Erlebnis: dass eine neue Handlungsmöglichkeit zum Erfolg führt, wird im subjektiven Erleben erst deutlich, wenn der Erfolg eintritt.

Literatur

- Ericsson, K. A., & Lehmann, A. C. (1996). Expert and exceptional performance: Evidence of maximal adaptation to task constraints. *Annual Review of Psychology*, *47*, 273-305.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, *8*(4), 441-480.
- Kaplan, C. A., & Simon, H. A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology*, *22*(3), 374-419.
- Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., & Rhenius, D. (in press). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*.
- Knoblich, G. & Wartenberg, F. (1998). Unbemerkte Lösungshinweise erleichtern Repräsentationswechsel beim Problemlösen. *Zeitschrift für Psychologie*, *206*, 207-234.
- Luchins, A. (1942). Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung. *Psychological Monographs*, *54* (Whole No. 248).
- Metcalfe, J., & Wiebe, D. (1987). Intuition in insight and noninsight problem solving. *Memory & Cognition*, *15*(3), 238-246.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Ohlsson, S. (1992). Information-processing explanations of insight and related phenomena. In M. Keane & K. Gilhooly (Eds.), *Advances in the psychology of thinking*. London: Harvester-Wheatsheaf.