Ein Test- und Analyseverfahren zur Kontrastierung von Problemlöse-Prozessen informatischer Hoch- und Niedrigleister – erste Ergebnisse einer Pilotstudie

Bertold Kujath

Didaktik der Informatik – Universität Potsdam
August-Bebel-Straße 89
14482 Potsdam
kujath@uni-potsdam.de

Abstract: Was machen Niedrigleister falsch und Hochleister besser? Problemlöseerfolg bei Informatikaufgaben ist nicht nur das Ergebnis von vorher erworbenem Wissen und Übungspraxis, sondern auch der Aktivitäten, die während der Aufgabenbearbeitung entwickelt werden. Dies gilt besonders für unbekannte Aufgaben, bei denen dem Problemlöser keine vorab bekannten Problemlöseschemata zur Verfügung stehen. Im folgenden wird ein Testszenario beschrieben, in dem mit der Methode des Lauten Denkens und anschließender qualitativer und quantitativer Analyse der Verbalisierungen die Problemlösestrategien von Hoch- und Niedrigleistern in der Informatik erfasst, analysiert und verglichen werden können. Erste Ergebnisse der kürzlich abgeschlossenen Pilotstudie werden zur Diskussion gestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass Hochleister ihren Problemlöseerfolg beim Bearbeiten unbekannter Aufgabentypen durch die Wahl effizienterer Problemlöseaktivitäten erreichen und andererseits Niedrigleister über keine oder wenig adäquate Problemlösestrategien verfügen. Das hier vorgestellte Testszenario bietet aber auch die Möglichkeit, weiterführende Fragen, z.B. nach den in der Informatik vorherrschenden Denkstilen zu beantworten.

1 Einleitung

Die Frage, worin sich die Problemlöseprozesse Hochleistender von denen Niedrigleistender unterscheiden und welche unterschiedlichen Problemlöse- und Denkstrategien hierbei zum Einsatz kommen, soll mit der Methode des *Lauten Denkens* untersucht werden. Bei dieser in der Problemlöseforschung seit langem etablierten, wenn auch kontrovers diskutierten Methode, werden die Probanden gebeten, beim Lösen von Informatikaufgaben alle Gedankengänge laut auszusprechen. Studien zur Validität dieses Datenerhebungsverfahrens belegen, dass diese Art des Problemlösens bei Beachtung gewisser limitierender Faktoren den Problemlöseprozess nicht qualitativ verändert [NeSi72, Deff84, ErSi93].

Versuche mit Lautem Denken laufen in der Problemlöseforschung üblicherweise als sog. *Kontraststudien* ab, bei denen in der Regel zwei Extremgruppen hinsichtlich bestimmter Kriterien miteinander verglichen werden. Diese sind meistens als sog. Experten-Novizen-Vergleiche konzipiert. Waren diese Vergleiche anfangs noch auf formale Bereiche wie Mathematik [Dunc66, Ande81], Physik [Ande00], aber auch z.B. Schach [Ande00] begrenzt, finden sich Experten-Novizen-Vergleiche mittlerweile in nahezu allen Problembereichen bis hin zu Betrachtungen von Umweltproblemen, Geschichte [GrRe97] oder Fragestellungen in der medizinischen Diagnostik [Ande00] wieder. Novizen eines Fachgebiets verfügen im Gegensatz zu Laien zwar über gewisse fachliche Kenntnisse, haben aber – und das unterscheidet sie von Experten – noch keine automatisierten Lösungsprozeduren erworben, die sie zur Bearbeitung von Problemen abrufen können. Das Lösen von domänenspezifischen Aufgaben erfolgt bei Novizen also durch Erarbeitung eines Lösungsweges mehr oder weniger unter Einsatz allgemeiner und daher unspezifischer Problemlösestrategien. Experten haben dagegen durch jahrelange zielgerichtete Übung und Erfahrung einen Fundus an vorgefertigten Problemlöseschemata zur Verfügung, die lediglich an eine abweichende Problemlösesituation angepasst werden müssen [Ande00, Frie01]. Als weiteren Befund der Expertiseforschung berichtet [Spad92] über das vermehrte Auftreten systematischer Fehler bei Novizenlösungen im Gegensatz zu den selteneren zufälligen Fehlern bei Experten.

Allerdings besteht beim Experten-Novizen-Paradigma zwischen den Vergleichsgruppen üblicherweise ein großer Altersunterschied, der die Verwendbarkeit der Ergebnisse für den hier verfolgten Zweck fraglich erscheinen lässt. So hat man zwar herausgefunden, dass Experten Problemlöseschemata abrufen, während Novizen Lösungen erarbeiten müssen [Frie01]. Das Problemlöseverhalten der Experten ist aber von Faktoren geprägt (z.B. umfassende Wissensbasis und jahrelange Problemlösepraxis), die nicht ohne weiteres auf Novizen übertragen werden können. Im hier vorliegenden Ansatz sollen daher *Kontrastgruppen gleichen Alters* untersucht werden, die sich in ihrer Problemlöseleistung deutlich unterscheiden. Um eine vergleichbare Ausgangssituation herzustellen, sollen beide Gruppen während des Erarbeitens von Lösungswegen unbekannter Aufgabentypen beobachtet werden. Da diese Aufgabentypen in der Regel weder wissens- noch könnensbasiert gelöst werden, zielen sie auf Unterschiede in den kognitiven Fähigkeiten ab. Dies soll auch durch den Vergleich der Lösungen mit den Ergebnissen eines Intelligenzstrukturtests verdeutlicht werden.

Über den Problemlöseerfolg entscheidet neben Intelligenz, Kreativität oder Motivation auch der bei der Aufgabenbearbeitung vorherrschende Denkstil, also die Art, wie jemand seine kognitiven Mittel einsetzt [StZh01]. Der Denkstil entscheidet mitunter sogar über den Lernerfolg im Unterricht. So berichtet [Borr04], dass Schüler oft deutlich mehr Schwierigkeiten im Mathematikunterricht haben, wenn sie andere mathematische Denkstile favorisieren als die Lehrkraft. Mit den Möglichkeiten der qualitativen Datenanalyse soll daher hinterfragt werden, ob sich in der Informatik ebenfalls unterschiedliche Denkstile identifizieren lassen.

Sollten die Untersuchungen ergeben, dass charakteristische Problemlösestrategien der Hochleister ursächlich für den höheren Problemlöseerfolg und als Strategiemuster beschreibbar sind, kann in einem weiteren Schritt geprüft werden, inwieweit diese Strate-

gien an Niedrigleister vermittelt werden können.

Unter den Vorarbeiten anderer Autoren zu ähnlichen Fragestellungen sind besonders die folgenden zu erwähnen: R. Borromeo Ferri [Borr04] forschte zu mathematischen Denkstilen, indem sie 12 Schüler der 6. und 9. Jahrgangsstufe beim paarweisen Lösen mathematischer Aufgaben beobachtete. Sie identifizierte bei ihnen drei bereits von [Burt97] bei praktizierenden Mathematiklehrern und –lehrerinnen beschriebene mathematische Denkstile durch qualitative Datenanalyse. Da in unserer Studie ein direkter interindividueller Vergleich angestrebt ist, werden die Versuche in Einzelsitzungen durchgeführt.

G. Friege [Frie01] führte Experten-Novizen-Vergleiche beim Lösen elektrotechnischer Aufgaben durch. Die Auswertung der Problemlöseprozesse basierte auf den schriftlichen Lösungswegen der Versuchspersonen, die Ergebnisse wurden mit dem Berliner Intelligenzstrukturtest (BIS) abgeglichen. Vorangegangen waren Voruntersuchungen mit Teilnehmern der Physik-Olympiade. In unserer Studie sollen unmittelbar an die Bearbeitung der Probleme anschließende retrospektive Interviews zum Problemlöseerleben durchgeführt werden, um zusätzliche Information über die individuellen Strategien und Entscheidungsgründe zu gewinnen.

2 Hypothesen

Erfolgreiche, d.h. schnelle und effiziente Problemlöser lösen Informatikaufgaben mit adäquaten informatischen Methoden, Niedrigleister tun dies nicht oder nicht in ausreichendem Maße. In Anlehnung an die Fundamentalen Ideen der Informatik [ScSc04] kann man also in den Problemlöseprozessen informatischer Hochleister Prinzipien des Algorithmisierens, des strukturierten Zerlegens und sprachlicher Konzepte erwarten. Ebenso sind die Methoden des allgemeinen Problemlösens wie Zerlegen in Teilprobleme, planvolles Hypothesenbilden und –testen bei Hochleistern besser ausgeprägt. Als Konsequenz daraus sind die Problemlösestrategien von informatischen Hochleistern effizienter, schneller und führen häufiger zu richtigen Ergebnissen. Bei der Analyse von Verbalprotokollen werden sich daher verstärkt Kategorien des allgemeinen und des informatikspezifischen Problemlösens identifizieren lassen.

Ein weiterführender Forschungsaspekt ist die Analyse der Verbalisierungen nach den in der Informatik vorherrschenden Denkstilen. Ähnlich wie in [Borr04] für mathematische Denkstile beschrieben, wird erwartet, dass sich auch in der Informatik verschiedene für die Informatik spezifische Denkstile identifizieren lassen. Es soll untersucht werden, inwieweit sich diese von den mathematischen Denkstilen abgrenzen lassen.

3 Probandenauswahl

Für die hier beschriebene Studie wurden die Probanden für die Gruppe der Hochleister aus den Endrundenteilnehmern des Bundeswettbewerbs Informatik 2005 (BWInf 05)

angeworben. Insgesamt 23 dieser Endrundenteilnehmer nahmen im Herbst 2005 an einem Intelligenzstrukturtest teil, bei 15 Teilnehmern wurde ein IQ von >130 ermittelt, was allgemein als Schwellenwert für eine psychometrische Hochbegabung angesehen wird [WaWe90]. Da alle diese Testteilnehmer durch Erreichen der Endrunde des Bundeswettbewerbs offenbar zugleich über eine Leistungsexzellenz im Fach Informatik verfügen, erscheinen sie als besonders geeignet für die Gruppe der Hochleister in dieser Studie.

Die Gruppe der Niedrigleister soll aus denjenigen Gymnasiasten des Landes Brandenburg ausgewählt werden, die in der gleichen Jahrgangsstufe wie die Endrundenteilnehmer des BWInf 05 sind, ebenso wie diese Informatik als Leistungskurs haben, aber schlechte Schulleistungen in diesem Fach erbringen.

Üblich ist bei solchen Versuchen, vor der eigentlichen Testserie das Versuchszenario durch sog. *Pilotstudien* zu überprüfen. An den zwei Testdurchläufen der hier beschriebenen Pilotstudie nahmen bisher insgesamt 6 wissenschaftliche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte des Instituts für Informatik der Universität Potsdam teil.

4 Versuchsablauf

4.1 Datenerhebungsverfahren

Grundlage der Datenerhebung ist eine Kontraststudie mit gleichaltrigen Hoch- und Niedrigleistern. Beide Gruppen erhalten Aufgaben im Stile von nicht unbedingt alltäglichen Klausur- und Übungsaufgaben aus Lehrbüchern der Informatik und sollen Lösungen mithilfe von Lautem Denken erarbeiten. Da Lautes Denken aber nur diejenigen Gedächtnisinhalte erfasst, die dem Probanden tatsächlich bewusst sind, werden anders als bei Versuchen dieser Art mit Experten insbesondere metakognitive Prozesse, also Vorgänge zur Steuerung und Überwachung der Problemlöseprozesse, ausgeblendet. Eine retrospektive Befragung der Probanden direkt nach jeder Aufgabe soll daher auch diejenigen Daten erfassen, die durch Lautes Denken nicht gewonnen werden können. Dies ermöglicht Aussagen über den Denkstil, die individuellen Entscheidungsgründe und eventuelles Vorwissen der Probanden.

Die Auswahl der Informatikaufgaben erfolgte nach folgenden Kriterien. Die Aufgaben sollen

- informatische Inhalte repräsentieren,
- möglichst unbekannt sein,
- einen gewissen Schwierigkeitsgrad aufweisen und auch für Hochleister noch anspruchsvoll sein,
- bei ihrer Bearbeitung möglichst wenig Fachwissen erfordern, da dieses interindividuell unterschiedlich ausgeprägt sein und somit die Problemlösestrategien überlagern kann.

Von 15 in der Pilotphase getesteten Aufgaben wird im folgenden eine Aufgabe mit den zugehörigen Analyseergebnissen exemplarisch vorgestellt. In diesem als Aufgabe 1 bezeichneten Problem sollten die Probanden das Dekrementieren einer Binärzahl um 1 auf einer Turingmaschine implementieren. Bei der Analyse wurde besonderes Augenmerk auf die Phase gerichtet, in welcher der Algorithmus erarbeitet wurde.

Alle Probanden hatten einen Schreibblock mit Stift zur Verfügung. Die während der Aufgabenbearbeitung angefertigten Skizzen wurden ebenso wie die Verbalisierungen der Versuchspersonen mit einer Videokamera aufgezeichnet.

4.2 Datenauswertungsverfahren

Das Videomaterial wurde zunächst Wort für Wort transkribiert, die von den Probanden angefertigten Notizen und Skizzen eingescannt und als Bild den entsprechenden Textpassagen zugeordnet. Zur Dokumentation des zeitlichen Verlaufs wurden die Protokolle mit einem fortlaufenden Zeitstempel versehen. Im Originaltext wurden erste Auffälligkeiten mit Memos kommentiert. Für weitere Analyseschritte und zur späteren grafischen Darstellung der Problemlöseprozesse wurde der Text nach den sog. *Z-Regeln* nach Mayring [Mayr00] semantikerhaltend in eine Kurzform transformiert. Bei der Analyse der Verbaldaten wurde auf Verfahren der qualitativen und quantitativen Datenanalyse zurückgegriffen, wie sie etwa in [ErSi93, Chi97, GlLa04, GlSt98, Mayr00, Stäu81] beschrieben werden. Im Anschluss daran wurden auffällige Textpassagen in den Verbalprotokollen in ex-ante-Problemlösekategorien eingeordnet, die im folgenden Abschnitt erläutert werden.

5 Problemlösekategorien

Durch theoretische Vorüberlegungen wurden zunächst Problemlösekategorien erarbeitet, die durch empirisch aus der Pilotstudie abgeleitete Erkenntnisse ergänzt und verfeinert werden konnten. Diese sollen später induktiv durch spezielle in den Verbalprotokollen identifizierte Kategorien erweitert werden. Das hier vorgeschlagene hierarchische und vernetzte Kategoriensystem unterscheidet drei Klassen von Kategorien:

I. Kategorien der *allgemeinen Problemlösetheorie* [Funk03, MaFr92, Spad92, MüPr02], z.B. einzelne Problemlöse-Prozessphasen oder allgemeine Heuristiken.

II. *Informatikspezifische Problemlösekategorien*, das sind im wesentlichen die fundamentalen Ideen der Informatik [ScSc04] wie z.B. divide-and-conquer-Verfahren, Rekursion, strukturierte Zerlegung oder auch fachspezifische Heuristiken, fachspezifisches Vorwissen oder informatische Elemente in den Skizzen der Probanden.

III. *Aufgabenspezifische Problemlösekategorien*, die aus den einzelnen Teil- oder Zwischenlösungen der jeweiligen Probleme, problemspezifischen Schlüsselerkenntnissen oder der Lösung selbst bestehen. Auch aufgabentypische Fehlannahmen gehören

hierzu.

Subkategorien erben Attribute und ihre dimensionalen Ausprägungen von ihren Oberkategorien und können zusätzlich davon abweichende eigene Attribute aufweisen.

Analog hierzu kann auch die Kategorie Versuchsleiterhinweis in drei Klassen mit aufsteigendem Informationsgehalt unterteilt werden:

I. Hinweise zu *allgemeinen Problemlösestrategien*; Beispiel: „Kann man das Problem vereinfachen?“, „Kennen Sie ein ähnliches Problem?“, „Haben Sie irgendeine Vermutung?“ usw.

II. Hinweise zu *informatikspezifischen Problemlösestrategien*; Beispiel: „Können Sie hier zunächst einmal globale Aussagen machen und diese dann schrittweise präzisieren?“, „Kann man den Ergebnisbereich in irgendeiner Form strukturieren?“ usw.

III. *Aufgabenspezifische Problemlösehinweise*; Beispiel: „Versuchen Sie es mit Dreieckszahlen!“, „Das erste Beispiel selbstbezogener Zahlenfolgen ist: 1,2,1,0.“ usw.

Entsprechende Hinweise sollten speziell für jede Aufgabe ausgearbeitet werden. Idealerweise erhalten Probanden in Sackgassensituationen zuerst Hinweise der Klasse I, danach, wenn notwendig, der Klasse II und zuletzt der Klasse III.

So stellt sich beispielsweise die Oberkategorie der allgemeinen Problemlösestrategie wie folgt dar:

Kategorie	Attribute	Dimension
Allgemeine Problemlösestrategie Subkategorien: Hypothese Heuristik Zerlegung in Teilprobleme[1] Analogiebildung Umdenken	*Eignung* *Effizienz* *Flexibilität*	gut ↔ schlecht hoch ↔ niedrig hoch ↔ niedrig
Beschreibung: “Allgemeine Problemlösestrategie” ist die Oberkategorie für die in der allgemeinen Problemlösetheorie beschriebenen Phänomene. Dazu gehören das planvolle Aufstellen und Prüfen von Hypothesen nach Dewey (hier als Hypothese zusammengefasst), das Zerlegen eines Problems in Teilprobleme nach Descartes und das Heranziehen von Analogien aus bekannten Lösungen ähnlicher Aufgaben. Außerdem lässt sich der Problemlöseprozess in verschiedene Problemlösephasen unterteilen.		

Weitere Beispiele sind als Auszug aus dem bisher erarbeiteten Kategoriensystem im Anhang aufgeführt.

6 Bisherige Ergebnisse der Pilotstudie

Bisher liegen nur Ergebnisse aus der Pilotphase vor; Ergebnisse aus der Hauptstudie sind ab Herbst 2006 zu erwarten. Die Pilotstudie diente in erster Linie der Überprüfung und Evaluation des Testszenarios. Exemplarisch für die Vorgehensweise bei der Analyse der Verbalprotokolle werden hier die Ergebnisse der Aufgabe 1 vorgestellt. Sämtlichen Probanden wurde die folgende Aufgabe präsentiert, die als Kernaspekt die Dekrementierung einer binär-kodierten natürlichen Zahl um 1 auf einer deterministischen Turingmaschine beinhaltet:

„Geben Sie eine deterministische Einband-Turingmaschine τ an, die die Funktion:

$$f: \mathbb{N}_0 \rightarrow \mathbb{N}_0, f(n) = \max(0, n-1)$$

berechnet!“

Direkt nach dem Vorlesen der Aufgabe durch den Versuchsleiter wurde ein Startsignal gegeben und mit der Videoaufzeichnung begonnen. Die qualitativen und quantitativen Auswertungen der einzelnen Videosequenzen werden im folgenden für jeden Probanden einzeln skizziert.

6.1 Qualitative Analyse

Proband G

Problembearbeitung: G interessiert sich zunächst für das Kernproblem: Finden des Algorithmus zur Dekrementierung einer Binärzahl um 1, alle anderen Aspekte werden untergeordnet. Das Finden der Regel für die Übertragsbehandlung fällt G nicht ganz leicht. Relativ frühzeitig wird die Lösungsfindung von der Betrachtung einer Turingmaschine abstrahiert.
Diese Versuchsperson löst die Testaufgabe eigenständig und richtig, die anfängliche Frage an den Versuchsleiter bezieht sich ausschließlich auf das Aufgabenverständnis. Sein Problemlöseverhalten entspricht voll und ganz den Erkenntnissen der allgemeinen Problemlöseforschung: engagierte Herangehensweise, Aufteilung in Teilprobleme, planvolles Hypothesenbilden, empirisches und rationales Hypothesenprüfen, Strategiewechsel bei Sackgassensituationen, Anwenden von Heuristiken (Induktion und Extremwertüberprüfung) sowie Umrepräsentieren eines Problems (Addition statt Subtraktion). Dies führt dann auch zur Lösungsfindung. Er zeigt nahezu alle in der Literatur als Metaheuristiken dokumentierten Verhaltensweisen.
G geht bei der Suche nach einer allgemeinen Dekrementierungsregel auf eine Art vor, die hier als vertikal beschrieben und damit von einer als horizontal bezeichneten Vorgehensweise anderer Probanden unterschieden werden soll. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, schreibt G zunächst sechs kürzere, später rechts daneben zwei längere Binärzahlen aufsteigend untereinander. Er versucht durch direkten Vergleich aufeinanderfolgender Zahlen eine allgemeine Dekrementierungsregel zu finden.
Proband G verzichtet auf die Erstellung einer Turingtafel und erklärt die Aufgabe nach

der informalen Formulierung des Algorithmus für beendet.

Skizzen: Skizzen werden von G anfangs zum Verständnis (Selbsterklärung) der Funktionsweise einer Turingmaschine, später dann sowohl zur Hypothesengenerierung als auch zur Hypothesenprüfung eingesetzt.

Vermuteter Denkstil: tendenziell analytisch, reflexiv.

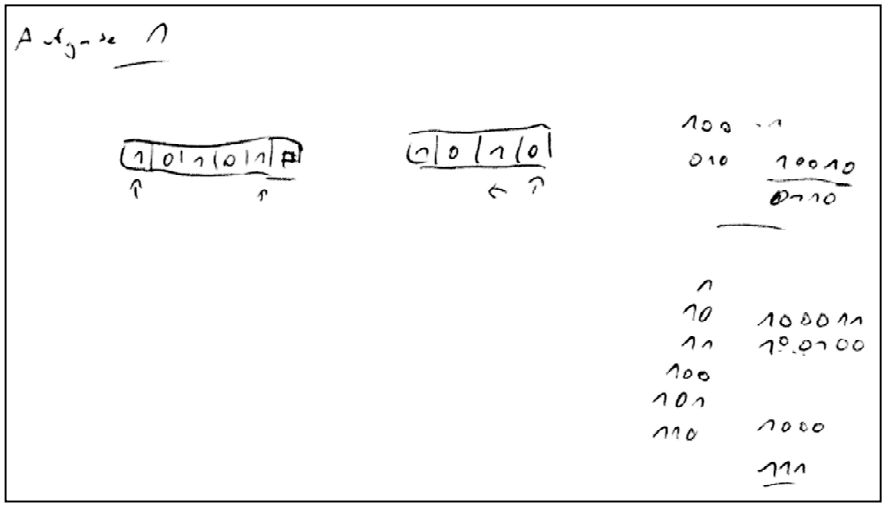

Abbildung 1: Skizze von G zur Bearbeitung der Aufgabe 1

Proband K

Problembearbeitung: K löst die Aufgabe völlig eigenständig und ohne Intervention des Versuchsleiters, verzichtet aber gänzlich auf eine Evaluation der Lösung. So ist die präsentierte Turingtafel formal gesehen ohne Endzustand, intendiert ist aber das Richtige. Die Vorgehensweise von K ist mit der eines Experten vergleichbar: intensive Analyse der Aufgabe bei gleichzeitiger Repräsentation, zielgerichtete und weitgehend sackgassenfreie effiziente Problembearbeitung. Der Lösungsalgorithmus wird ohne Skizzen durch mentales horizontales Scannen einer vorgestellten Zahl von rechts nach links entwickelt. An jeder Stelle erfolgt die Fallunterscheidung „aktuelle Stelle=1“ oder „aktuelle Stelle=0“, eine Vorgehensweise, die der Arbeitsweise der Turingmaschine entspricht. K verfügt über praktische Erfahrungen mit Turingmaschinen. Das zeigt u. a. sein später wieder verworfener Versuch, bewusst eine Lösung zu präsentieren, die über die Aufgabenstellung hinausgeht, nämlich den Schreib-Lese-Kopf am Ende wieder auf die erste Stelle der Bandinschrift zu positionieren. Insgesamt weist K eine sehr effiziente, deutlich von Merkmalen des Expertendenkens geprägte Problemlösestrategie auf.

Skizzen: Die einzige Skizze, die K anfertigt, ist die Dokumentation der Lösung selbst, die sukzessive während des Problemlöseprozesses vervollständigt und somit als eine Art

Leitfaden für den Problemlöseprozess dient.

Vermuteter Denkstil: analytisch, anschauungsgebunden.

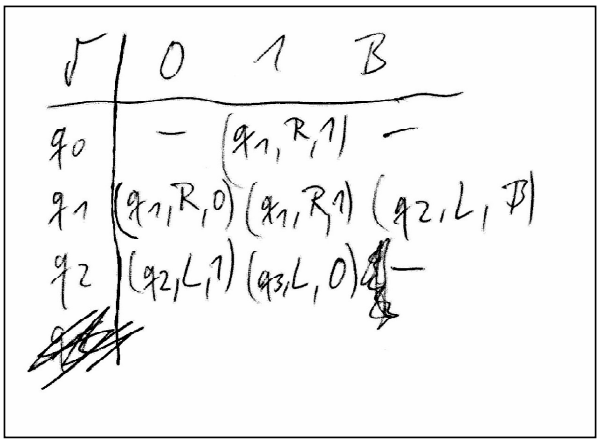

Abbildung 2: Skizze von K zur Bearbeitung der Aufgabe 1

Proband M

Problembearbeitung: die Aufgabenbearbeitung von M ist anfänglich durch ein hohes Maß an Ratlosigkeit gekennzeichnet. Erst nach der Frage des Versuchsleiters, ob man die Aufgabe in Teilprobleme zerlegen (Hinweisklasse I) und wie man die Dekrementierung einer Binärzahl algorithmisieren könne (Hinweisklasse II), kommt ein weitgehend eigenständiger Lösungsprozess in Gang.
Eine spontane Lösungsidee von M ist, die Binärzahl vom Turingband in Stabnotation umzuwandeln, da ihm diese nach eigenen Angaben im Zusammenhang mit Turingmaschinen erheblich geläufiger ist. Er versucht also, auf bekannte Lösungsschemata und Repräsentationen zurückzugreifen, verwirft diesen Ansatz aber wieder.
Im Gegensatz zu G und Q wird der Dekrementierungsalgorithmus nicht anhand mehrerer aufsteigender Binärzahlen gesucht, sondern wie bei Proband K durch Vorstellung einer fiktiven Zahl und Durchlaufen derselben von hinten nach vorne. An jeder Stelle erfolgt dann die Fallunterscheidung, ob eine 1 oder eine 0 gelesen wird mit der entsprechenden Behandlungskonsequenz.
Nach der formalen Notation des Dekrementierungsalgorithmus entwickelt M die Abfrage, ob anfänglich nur Nullen auf dem Band stehen und fügt dies als Programmmodul am Anfang ein. Am Ende der Aufgabenbearbeitung erfolgt die Lösungsevaluation nur anhand der Beispielzahl 1010, ein zufälliger Fehler im Abfragemodul bleibt daher unentdeckt.

Skizzen: eine einzige Skizze reicht M zur Hypothesenüberprüfung, die Herleitung einer allgemeinen Dekrementierungsregel erfolgt rein mental. Die restliche Skizze dient der Lösungsnotation.

Vermuteter Denkstil: tendenziell analytisch

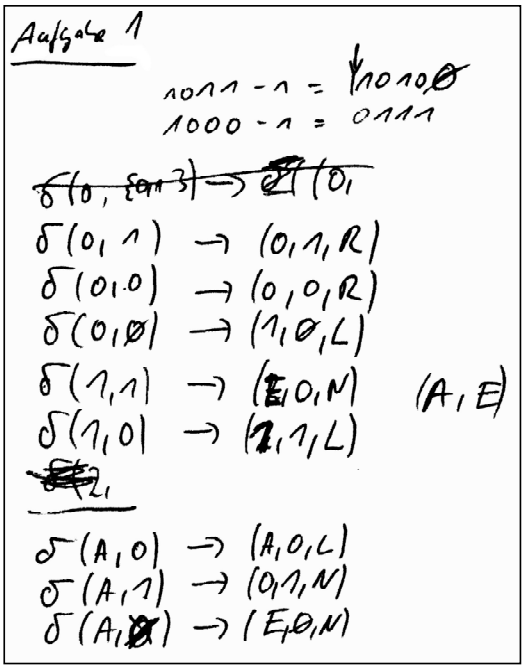

Abbildung 3: Skizze von M zur Bearbeitung der Aufgabe 1

Proband Q

Problembearbeitung: Q geht – wie eher für Novizen typisch – sehr früh zur Problemlösephase über. Er bearbeitet Teillösungen streng sequentiell nach der Reihenfolge ihres Auftretens. Sein erster Fehler erfolgt gleich zu Beginn: Dekrementierung einer Binärzahl von links her. Als der Fehler erkannt wird, bearbeitet Q die Zahl von rechts, scheint aber nach wie vor von links zu denken. Die Implementierung des Lösungsalgorithmus ist unvollständig und auf seine selbstgewählte Beispielzahl 110 zugeschnitten: korrekt ist das Bewegen des Zeigers ganz nach rechts und die Dekrementierung einer Binärzahl, die auf 1 endet. Endet eine Binärzahl auf 0, werden nur diejenigen Zahlen korrekt berechnet, die auf 10 enden. Bei Zahlen mit mehr als einer Null am Ende, wie z.B. 100 oder 1010000, wird zunächst die erste 1 von rechts in eine 0 umgewandelt. Danach wird aber nur noch die 0 unmittelbar rechts daneben in eine 1 umgewandelt und nicht, wie es nötig wäre, alle Nullen bis zum rechten Ende. So wird beispielsweise 100-1=010 oder 1010000-1=1001000 usw. ausgeführt. Es erfolgt auch keine Evaluation der Lösung mit anderen Beispielzahlen, sonst wäre der Fehler aufgefallen. Jede gefundene Teillösung wird ohne Betrachtung des Gesamtzusammenhangs sofort als Anweisung in die Turing-

tabelle eingetragen. Der Sonderfall n=0 wird überhaupt nicht betrachtet.

Skizzen: die erste Skizze ist, wie aus Abbildung 4 ersichtlich, ein Modell einer Turingmaschine mit konkreter Beispielzahl (#100##). Die zweite Skizze folgt dann mit Binärzahlen; zu diesem Zeitpunkt liegt eine korrekte Repräsentation des Problems und eine folgerichtige Informationsbeschaffung vor. Skizzen werden überwiegend als externer Speicher und nur ansatzweise zur Regelherleitung verwendet. Keine einzige Skizze dient zur Hypothesenprüfung, die auch generell nicht stattfindet.

Vermuteter Denkstil: eher intuitiv und impulsiv.

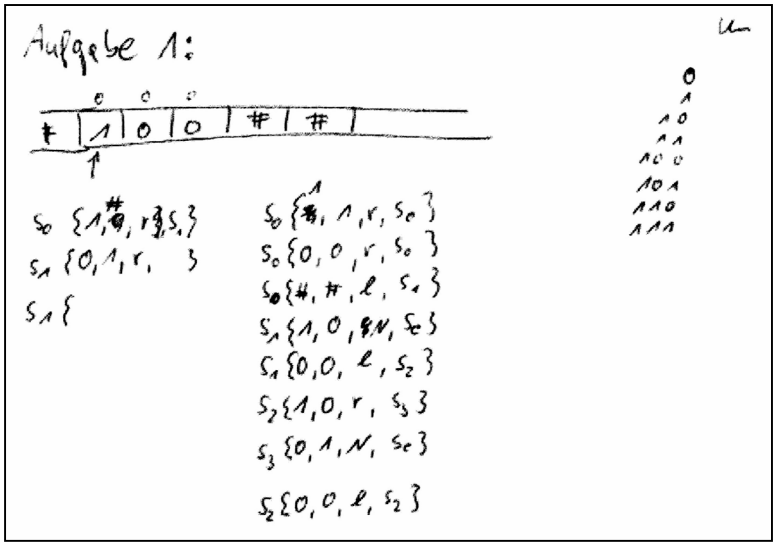

Abbildung 4: Skizze von Q zur Bearbeitung der Aufgabe 1

6.2 Quantitative Analyse

Die oben geschilderten Ergebnisse der qualitativen Analyse werden nun durch quantitative Betrachtungen ergänzt. Diese beziehen sich hauptsächlich auf interindividuelle Zeit-Vergleiche der einzelnen Lösungsphasen (Tabelle 1) und die Häufigkeiten bestimmter Phänomene wie beispielsweise Anzahl der Versuchsleiterinterventionen oder Häufigkeit und Art der Skizzen (Tabelle 2). Die Zeiten der Teillösungen beziehen sich auf das erstmalige Bearbeiten und Formulieren der betreffenden Teillösung, unabhängig davon, ob dies durch informale Aussagen oder gleich formal als Übergangsfunktion erfolgte. Die einzelnen Teillösungen der Aufgabe 1 sind im Anhang unter „Klasse III: Aufgabenspezifische Problemlösekategorien“ beschrieben.

	Proband G		Proband K		Proband M		Proband Q	
Zeiten	Start	Dauer	Start	Dauer	Start	Dauer	Start	Dauer
Gesamtprozess	0:00	8:48	0:00	6:37	0:00	19:22	0:00	10:03
Aufgabenverständnis	0:00	1:28	0:00	2:22	0:00	3:00	0:00	1:26
Repräsentation	1:28	0:32	0:00	2:22	3:00	1:04	1:26	0:50
Problemlösephase	2:00	5:42	2:22	4:15	4:18	12:49	2:56	7:07
Evaluation	7:42	0:45	Ø	0:00	17:20	2:02	Ø	0:00
Teillösung 1	6:14	0:01	3:51	0:15	15:41	0:20	Ø	0:00
Teillösung 2	2:00	0:18	4:55	0:38	9:55	0:03	5:18	0:59
Teillösung 3	2:18	0:07	5:38	0:30	4:36	0:18	6:17	1:05
Teillösung 4	2:32	5:17	5:38	0:30	5:21	0:36	7:22	2:41

Tabelle 1: Ergebnis der Zeit-Analyse bei Aufgabe 1

	Proband G	Proband K	Proband M	Proband Q
Skizzen				
Skizzen insgesamt	**7**	**1**	**3**	**3**
Modellskizzen	2	0	0	1
Hypothesengenerierung	3	0	0	1
Hypothesenprüfung	2	0	1	0
externer Speicher	0	1	2	1
Sonstiges				
VI-Interventionen	**1**	**0**	**16**	**4**
davon aktiv	0	0	8	2
durch Frage an VI	1	0	8	2
richtige Fachtermini	**6**	**10**	**7**	**4**

Tabelle 2: Frequenzanalytische Ergebnisse bei Aufgabe 1

7 Diskussion

Die Ergebnisse der Pilotstudie sind aufgrund der niedrigen Probanden- und Aufgabenzahl für verallgemeinernde Aussagen zur Zeit noch ungeeignet. Zumindest aber kann festgestellt werden, dass die vorab aufgestellten Vermutungen durch die Versuchsergebnisse nicht widerlegt wurden, die Ergebnisse der betrachteten Einzelfälle waren sogar durchaus hypothesenkonform.

Proband K hat die Aufgabe 1 ohne Hinweise durch den Versuchsleiter richtig gelöst. Vieles in seinem Problemlöseprozess deutet auf das Vorhandensein einer gewissen Expertise hin, dies wurde auch in der retrospektiven Befragung bestätigt. Das äußerst zielgerichtete Vorgehen bei der Aufgabenanalyse bei gleichzeitiger Repräsentation unter Einsatz aller relevanten Wissensinhalte ist ebenfalls typisch für Experten. Aufgrund dessen würden Testpersonen wie K aber nicht zur Zielgruppe für die Hauptstudie zählen.

Die Problemlösestrategie von G war zwar nicht sehr effizient, trotzdem können bei dieser Testperson viele allgemeine Problemlösekategorien innerhalb des Lösungsprozesses identifiziert werden. So führte das mehrfache planvolle Aufstellen von Lösungshypothesen, deren Prüfung und anschließende Veränderung, die Anwendung von globalen und domänespezifischen Heuristiken und auch von Metaheuristiken wie engagierte Herangehensweise, Variierung der Problemlösestrategie sowie vereinfachende Umformulierung der Problemstellung zur eigenständig ausgearbeiteten korrekten Lösung. Ein Problem für G war offensichtlich, dass die anfänglich notierten Beispielzahlen zu kurz waren, um daraus eine allgemeine Regel ableiten zu können. G schrieb später zwei größere aufeinander folgende Binärzahlen untereinander, was ihm zusammen mit der Erkenntnis, dass binärarithmetisch das Subtrahieren einer 1 von einer 0 in der selben Stelle dasselbe Ergebnis liefert, wie das Aufaddieren einer 1, die Formulierung einer allgemeinen Regel ermöglichte.

Proband Q verfolgte einen Ansatz, bei dem jede Erkenntnis gleich in eine Implementierung umgesetzt wurde. Man kann hier von einem depth-first-Zugang ohne globale Übersicht sprechen. Alle anderen Probanden gingen eher nach einem breadth-first-Ansatz vor: zuerst erfolgte die Identifizierung der einzelnen Teillösungsschritte, dann wurde der Algorithmus für die einzelne Teillösungen allgemeingültig formuliert und danach – mit Ausnahme von G – umgesetzt. Dies verhinderte, dass einmal gefundene Teillösungen ständig an neue Erkenntnisse angepasst werden mussten. Genau das war beim Problemlöseprozess von Proband Q aber zu beobachten. Die übereilte Implementierung ungeprüfter Lösungssequenzen verhinderte letztlich das Erkennen einer allgemeingültigen Regel. Während der gesamten Problemlösephase wurde niemals vom Turingmaschinenmodell abstrahiert, vielmehr wurden alle Lösungsansätze unmittelbar auf das Modell bezogen. Der Proband zeigte keine engagierte Herangehensweise und gab sich bei dieser Aufgabe stets mit der erstbesten Lösung zufrieden. Wie für Novizen typisch, war auch bei Q das Auftreten systematischer Fehler im Problemlöseprozess erkennbar.

Beispiele für das Anwenden informatischer Problemlösekategorien sind in den Verbalprotokollen der Probanden K und M zu finden. Bei dieser Aufgabe führte der Zugang der Probanden, ein Suchverfahren ohne konkrete Beispielzahl anzuwenden, dazu, dass die

Regel zur Dekrementierung erheblich schneller präsentiert werden konnte als durch das Vorgehen der anderen Probanden, welches sich an konkreten Zahlenfolgen orientierte und damit durch die Betrachtung von Einzelfällen ablenkte oder zu Fehlschlüssen verleitete. K und M gingen bei der Herleitung einer Dekrementierungsregel mit einem Algorithmus vor, der von hinten beginnend zunächst eine Fallunterscheidung macht. Steht an der aktuellen Stelle eine 1, wird diese in eine 0 umgewandelt und der Algorithmus terminiert. Ist dagegen die aktuelle Stelle =0, wird diese in eine 1 umwandelt, dann der Stellenindex um 1 inkrementiert und derselbe Algorithmus mit verändertem Stellenindex auf die Ziffer der nächsten Stelle angewendet. Dieses Vorgehen kann als Anwendung der fundamentalen Idee der Parametrisierung beschrieben werden, was die Hypothese stützt, dass die Anwendung adäquater fundamentaler informatischer Prinzipien zu schnellerem Problemlöseerfolg führt. Das eben geschilderte Verfahren erinnert auch an die Art der schriftlichen Subtraktion, wenn Minuend und Subtrahend untereinandergeschrieben werden und der Übertrag immer an die nächste Stelle weitergereicht wird, und hat somit auch Bezug zur Praxis.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diejenigen Probanden, deren Problemlöseprozesse charakteristische allgemeine und informatische Problemlösekategorien aufwiesen, auch die erfolgreicheren Problemlöser waren.

Literaturverzeichnis

[Ande81] J.R. Anderson, Cognitive Skills and Their Acquisition, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1981

[Ande00] J.R. Anderson, Kognitive Psychologie, Spektrum Akademie Verlag, 2000

[Borr04] R. Borromeo Ferri, Mathematische Denkstile, Franzbecker, 2004

[Burt97] L. Burton, Mathematicians and their Epistemologies – and the Learning of Mathematics, in: Inge Schwank, (Ed.), European Research in Mathematics Education Vol. I, Osnabrück: Forschungsinstitut für Mathematikdidaktik, p. 87-102, 1999

[Chi97] M.T.H. Chi, Quantifying Qualitative Analyses of Verbal Data: A Practical Guide, The Journal of the Learning Sciences, 6(3), 271-315, 1997

[Deff84] G. Deffner, Lautes Denken - Untersuchungen zur Qualität eines Datenerhebungsverfahrens, Verlag Peter Lang, 1984

[Dunc66] K. Duncker, Zur Psychologie des produktiven Denkens, Springer, 1966

[ErSi93] K. A. Ericsson, H. A. Simon, Protocol Analysis, MIT Press, 1993

[Frie01] G. Friege, Wissen und Problemlösen, Logos Verlag, 2001

[Funk03] J. Funke, Problemlösendes Denken, Kohlhammer, 2003

[GlLa04] J. Gläser, G. Laudel, Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse, Verlag für Sozialwissenschaften, 2004

[GlSt98] B. G. Glaser, A.L. Strauss, Grounded Theory, Verlag Hans Huber, 1998

[GrRe97] H. Gruber, A. Renkl, Wege zum Können, Verlag Hans Huber, 1997

[GrZi96] H. Gruber, A. Ziegler, Expertiseforschung: theoretische und methodische Grundlagen, Westdt. Verlag, 1996

[MaFr92] H. Mandl, H.F. Friedrich, Lern- und Denkstrategien, Hogrefe 1992

[Mayr00] Ph. Mayring, Inhaltsanalyse, 2000

[MüPr02] J. Müsseler, W. Prinz, Allgemeine Psychologie, Spektrum Akademie Verlag, 2002

[NeSi72] A. Newell, H.A. Simon, Human Problem Solving, Prentice-Hall, 1972

[ScSc04] S. Schubert, A. Schwill, Didaktik der Informatik, Spektrum Akademie Verlag, 2004
[Spad92] H. Spada, Allgemeine Psychologie, Hans Huber, 1992
[Stäu81] Th. Stäudel, Kodiersystem zur Transkription des Lauten Denkens, Memorandum des Projektes "Systemdenken", Lehrstuhl Psychologie II, Universität Bamberg, 1981
[StZh01] R. J. Sternberg, L.-F. Zhang, Perspectives on Thinking, Learning and CognitiveStyles, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 2001
[WaWe90] M.R. Waldmann, F.E. Weinert, Intelligenz und Denken, Hogrefe 1990

Anhang

Klasse I: Allgemeine Problemlösekategorien

Kategorie	Attribut	Dimension
Problemlösephase Subkategorien: Aufgabenverständnis Repräsentation Lösungserarbeitung Evaluation	*Dauer* *Vollständigkeit*	Minuten + Sekunden vollst. ↔ unvollst.
Beschreibung: nach [Frie01] lässt sich der Problemlöseprozess in verschiedene Einzelphasen, wie „Aufgabenverständnis", „Repräsentation", „Lösungserarbeitung" und „Evaluation" unterteilen, die interindividuell unterschiedlich strukturiert sein können. In der Pilotphase hat sich gezeigt, dass sich diese Phasen probanden- und aufgabenabhängig sowohl in ihrer Dauer als auch in ihrer Vollständigkeit stark unterscheiden können.		

Die Kategorie „Problemlösephase" hat die folgenden 4 Sub-Kategorien:

Kategorie	Attribut	Dimension
Aufgabenverständnis Oberkategorie: Problemlösephase	*Qualität*	klar ↔ unklar
Beschreibung: Phase zu Beginn der Problembearbeitung, in der die Aufgabenstellung unter Zuhilfenahme vorhandenen Wissens analysiert wird		

Kategorie	Attribut	Dimension
Repräsentation Oberkategorie: Problemlösephase	*Qualität*	richtig ↔ falsch
Beschreibung: Repräsentation meint die Transformation der Aufgabenstellung in eine domänespezifische Fachsprache. Zweck ist, die Anwendung domänespezifischer Problemlöseoperatoren zu ermöglichen.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Lösungserarbeitung Oberkategorie: Problemlösephase	*Richtigkeit* *Strukturiertheit*	richtig ↔ falsch hoch ↔ niedrig
Beschreibung: Eigentliche Aufgabenbearbeitungsphase, in der die Lösung erarbeitet wird.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Evaluation Oberkategorie: Problemlösephase	*Vollständigkeit*	vollständig ↔ unvollständig
Beschreibung: Überprüfung von Lösungen oder Teillösungen. Wenn die Lösung als falsch befunden wird, setzt der Problemlöse-Prozess in einer der 3 vorherigen Phasen wieder ein.		

Weitere allgemeine Problemlösekategorien sind u. a.:

Kategorie	Attribut	Dimension
Hypothese Oberkategorie: Allgemeine Problemlösestrategie	*Lösungsähnlichkeit*	hoch ↔ gering
Beschreibung: Hypothesen sind Vermutungen über die Lösung, die mehr oder wenig Ähnlichkeit mit der tatsächlichen Lösung aufweisen. Die Hypothesen werden in einem als Hypothesengenerierung bezeichneten Prozess entwickelt und in der (meist direkt anschließenden) Phase der Hypothesenprüfung evaluiert. Als Lösungsähnlichkeit kann die noch erforderliche Anzahl von Schritten verstanden werden, die noch bis zum Erreichen der tatsächlichen Lösung erforderlich sind und die umso niedriger ist, je ähnlicher eine Lösungsvermutung der angestrebten Lösung ist.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Hypothesengenerierung Oberkategorie: Allgemeine Problemlösestrategie	*Frequenz* *Vollständigkeit* *Abbruchkriterium:* *rationale Falsifizierung* *fehlende Wissensinhalte*	oft ↔ nie ja ↔ nein
Beschreibung: bei der Generierung einer Hypothese wird die vorhandene Information ausgewertet und unter Zuhilfenahme von Wissensinhalten mental ein mögliches Lösungsszenario konstruiert. Dieser Prozess kann entweder vollständig ablaufen, was dann zu einer zu überprüfenden Lösungsvermutung führt oder aber durch das Erkennen einer Fehlvermutung vorher abgebrochen werden. Der Prozess der Hypothesengenerierung entfällt, wenn eine bekannte Musterlösung als Lösung vermutet wird.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Hypothesenprüfung Oberkategorie: Allgemeine Problemlösestrategie	*Form* *Genauigkeit* *Zielsetzung*	empirisch ↔ rational hoch ↔ niedrig Verifikation↔Falsifikation
Beschreibung: im Anschluss an die Generierung einer Lösungsvermutung wird diese in der Regel überprüft. Dies kann mit einem unterschiedlichen Maß an Genauigkeit erfolgen, entweder rational, d.h. durch Überdenken oder empirisch durch Anwenden der vermuteten Lösung auf einzelne Beispiele. Fällt diese Prüfung positiv aus, wird die Hypothese zur (Teil-) Lösung erklärt. [MüPr02] beschreiben, dass sowohl von Novizen als auch Experten Hypothesen mit dem Ziel einer Verifikation der aufgestellten Hypothesen geprüft werden, d.h., es werden Evidenzen für die Richtigkeit der Hypothese gesucht, anstatt, wie es effektiver wäre, zu versuchen, die aufgestellte Hypothese zu falsifizieren.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Denkstil	*Ausprägung* *Art*[2]	stark ↔ schwach reflexiv intuitiv analytisch impulsiv ...
Beschreibung: der bei einer Versuchsperson vorherrschende Denkstil kann möglicherweise nur aus retrospektiven Interviews abgeleitet werden und ggf. aus der Art der verwendeten Skizzen.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Heuristik Oberkategorie: Allgemeine Problemlösestrategie Subkategorien: Globalheuristik Domänespezifische Heuristik Metaheuristik	*Frequenz* *Spezifität*	oft ↔ nie hoch ↔ niedrig
Beschreibung: Heuristiken sind wesentlicher Bestandteil des Problemlösungsprozesses. Durch sie soll der Suchraum eingeschränkt und die Problemlösung vereinfacht werden. Eine heuristische Vorgehensweise garantiert jedoch keine Lösungsfindung, diese wird aber durch die Wahl von spezifischeren Heuristiken anstelle von allgemeinen Heuristiken wahrscheinlicher. Heuristiken können nicht nur zur Lösungsfindung, sondern z.B. auch zur Repräsentation oder Evaluation eingesetzt werden.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Globalheuristik <u>Oberkategorie:</u> Heuristik <u>Subkategorien:</u> Rekognitionsheuristik Alltagsheuristik Trial and Error Hill-climbing Mittel-Ziel-Analyse Induktion Schleifenvermeidung	*Frequenz* *Spezifität*	oft ↔ nie hoch ↔ niedrig
Beschreibung: Globalheuristiken sind unspezifisch und können daher in der Regel auf sehr viele unterschiedliche Problemklassen angewendet werden. Globalheuristiken werden meist bei unbekannteren Problemen angewendet.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Skizze <u>Subkategorien:</u> Modellskizze Externer Speicher Zwischenrechnung	*Frequenz* *Zeitpunkt* *Form* *Effizienz* <u>*Zweck:*</u> *Aufgabenverständnis Aufgabenrepräsentation* *Lösungserarbeitung* *Evaluation* *Hypothesengenerierung* *Hypothesenprüfung*	oft ↔ nie in welcher Problemlöse-Phase? ikonisch symbolisch führte die Skizze zu einer Annäherung an die Lösung? In welcher Zeit, in welchem Maß?
Beschreibung: Skizzen können in verschiedenen Phasen und zu verschiedenen Zwecken angefertigt werden. Sie können sich aus ikonischen oder symbolischen Elementen zusammensetzen. Weiterhin können Skizzen zum einmaligen oder zum vernetzten Gebrauch dienen, wenn beispielsweise eine Versuchsperson zu verschiedenen Zeiten und Zielsetzungen wiederholt auf eine bestimmte Skizze zugreift. Analysiert werden soll, ob sich Einsatz, Häufigkeit, Form und Zweck der Skizzen in den einzelnen Leistungsgruppen unterscheiden.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Indikator für Vorwissen oder Bekanntheit der Aufgabe <u>Subkategorien:</u> Äußerungen der Vp Richtig verwendete (aufgabenspezifische) Fachtermini Überspringen von ganzen Lösungsschritten	*Frequenz* *Evidenz*	oft ↔ nie hoch ↔ niedrig
Beschreibung: die Beantwortung der Frage nach dem Bekanntheitsgrad einer Aufgabe ist zur richtigen Interpretation der Analyseergebnisse entscheidend. Aus verschiedenen Gründen kann nicht in jedem Fall davon ausgegangen werden, dass diese Frage von der Versuchsperson zutreffend beantwortet wird. Mitunter sind also indirekte Hinweise in den Verbalprotokollen die einzige Informationsquelle.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Vl-Intervention <u>Subkategorien:</u> aktiv: Lösungshinweis Fehlerhinweis Aufforderung zum Lauten Denken reaktiv: Vp-Frage	*Frequenz* *Zeitpunkt* <u>Grund:</u> *fehlerhafte Aussage* *falsches Aufgabenverständnis* *völlige Ratlosigkeit, Sackgassensituation* *Frage an Vl* *Informationsgehalt*	oft ↔ nie Minuten + Sekunden nach Beginn Dimensioniert nach Klassenzugehörigkeit des Hinweises (s.o.)
Beschreibung: zunächst sei angemerkt, dass jede Intervention des Versuchsleiters den Problemlöseprozess der Versuchsperson beeinflusst. Somit müssen solche Eingriffe äußerst sparsam und nach wohldefinierten und objektiven Kriterien erfolgen. Sofort korrigiert werden sollte ein falsches Aufgabenverständnis, weil andernfalls keine vergleichenden Aussagen über den Problemlöseprozess gemacht werden können. Auch Wissensfragen können beantwortet werden, da es hier nicht um einen Wissenstest geht. Lösungs- und Fehlerhinweise sollten – das hat die Pilotstudie gezeigt – möglichst erst am Ende eines Problemlöseprozesses erfolgen, also wenn der Proband eine falsche Lösung präsentiert, wenn er nach einer längeren Phase der Ratlosigkeit erklärt, eine Aufgabe nicht lösen zu können oder wenn in einer Sackgassensituation kein weiteres Fortschreiten des Lösungsprozesses mehr zu erwarten ist. Die Hinweise sollten dann nach Möglichkeit nach dem oben beschriebenen abgestuften Kategoriensystem vermittelt werden.		

Kategorie	Attribut	Dimension
Umdenken Oberkategorie: Allgemeine Problemlösestrategie	*Frequenz* *Effektivität*	oft ↔ nie hoch ↔ niedrig
Beschreibung: Umdenken eines Problems stellt im Gegensatz zum heuristischen Vorgehen eine Erweiterung des Suchraums dar, was dann sinnvoll ist, wenn der subjektiv angenommene Suchraum kleiner als der objektive Problemraum ist und es dadurch zu keiner Lösungsfindung kommen kann.		

Klasse II: Informatische Problemlösekategorien

Die informatischen Problemlösekategorien werden in Anlehnung an die fundamentalen Ideen der Informatik definiert. Geklärt werden soll die Frage, welche dieser Ideen im Lösungsprozess einer Versuchsperson zum Tragen kommt. Als Oberkategorien sind in [ScSc04] die 3 Masterideen *Algorithmisieren*, *strukturierte Zerlegung* und *Sprache* mit ihren jeweiligen Subkategorien beschrieben. Im Bereich der Algorithmisierung findet sich beispielsweise die Idee der Alternative (if, case, usw.) sowie der rekursiven Prozeduren. Die Masteridee der strukturierten Zerlegung wird u. a. durch die Idee der Hierarchisierung verfeinert, welche etwa die Zerlegung eines Objektraums in eine Baumstruktur enthält. Auch domänenspezifische Heuristiken sind Bestandteil informatischer Problemlösekategorien.

Kategorie	Attribut	Dimension
Domänespezifische Heuristik Oberkategorie: Heuristik Subkategorien: First Fit – Best Fit Extremwertüberprüfung Good-suffix-Heuristik Näherungsverfahren	*Frequenz* *Spezifität*	oft ↔ nie hoch ↔ niedrig

Klasse III: Aufgabenspezifische Problemlösekategorien

Die aufgabenspezifischen Problemlösekategorien zu Aufgabe 1 können wie folgt definiert werden:
Schlüsselerkenntnis: Wenn n <> 0, realisiere die Funktion n-1. Wenn n=0: STOP.
Fehlannahme: n wird vom höchstwertigen Bit her dekrementiert.
Teillösung 1: Testen, ob die Zahl auf dem Turingband 0 ist. Wenn ja: STOP.
Wenn nein:
Teillösung 2: Bewegen des Schreib-Lese-Kopfes auf die letzte Stelle der Zahl
Teillösung 3: Testen, ob die aktuelle Ziffer eine 1 ist. Wenn ja, dann diese durch eine 0 ersetzen und STOP. Wenn nein:
Teillösung 4: Letzte Ziffer in eine 1 umwandeln, Schreib-Lese-Kopf eine Stelle nach links und mit Teillösung 3 fortfahren.

Anmerkungen

1 Darstellung der Zerlegung in Teilprobleme als Baumdiagramm mit h (Höhe) als Maß für die Anzahl der Hierarchieebenen und $b_0 ... b_h$ als Maß für die Anzahl der Teilprobleme auf jeder Ebene. Untersucht werden soll, inwieweit sich die Werte für h und b bei Hochleistern und Niedrigleistern unterscheiden.

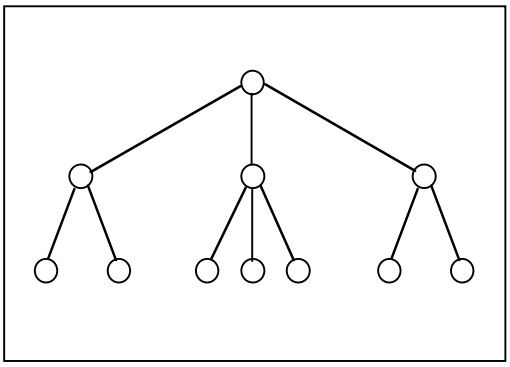

Abbildung 2: Baum mit h=2, b_0=1, b_1=3 und b_2=7

2 Darstellung der Ausprägung der verschiedenen Denkstile, über die eine Person verfügt, als Netzdiagramm. Interessant ist die Frage, ob die Versuchspersonen ihre Denkstile in Abhängigkeit von dem präsentierten Aufgabentyp einsetzen.

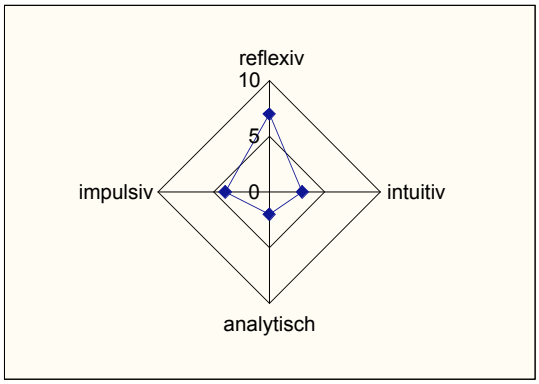

Abbildung 3: Netzdiagramm mit Ausprägungsmaß von 4 verschiedenen Denkstilen