

ZUM EINFLUSS DER VISUELLEN OBERFLÄCHE AUF
BILDHAFTE ANALOGIEN

Dissertation zur Erlangung der Würde des Doktors der Philosophie
der Universität Hamburg

vorgelegt von

Angela Brunstein
aus Neuruppin

Hamburg, 2001

Eingereicht am 11.1.2001

Tag der letzten mündlichen Prüfung (Rigorosum): 28.8.2001

Referent: Prof. Dr. Detlef Rhenius

Co-Referent: Prof. Dr. Christian Freksa

INHALTSVERZEICHNIS

INHALT

0. Einleitung	1
I. THEORETISCHER TEIL	5
1. Das Konzept der Gleichartigkeit	5
Differenzierungen innerhalb des Ähnlichkeitsbegriffs	5
Ablaufmodelle für den Ähnlichkeitsvergleich	7
Einfluß auf andere kognitive Prozesse	9
2. Die Struktur-Mapping-Theorie	11
Vorannahmen	11
Formalisierungen	12
Regeln für die Abbildung der Basis auf das Target	13
2.1. Empirische Belege für die strukturelle Dominanz	14
<i>Die Interpretation von Analogien ist bevorzugt relational...</i>	14
<i>Spontan generierte Vergleiche während des Wissenserwerbs sind zunehmend relational.</i>	15
<i>Beim „crossmapping“ wird trotz identischer Attribute relational zugeordnet.</i>	15
<i>Beim Vergleich werden verbundene Attribute höher gewichtet.</i>	15
<i>Inferenzen knüpfen bevorzugt an relationale Informationen an.</i>	16
<i>Die Erweiterung einer vorhandenen Zuordnung fällt leichter...</i>	17
<i>Der Transfer von Fertigkeiten ist u.a. strukturabhängig.</i>	17
3. Die Multi-Constraint-Theorie	18
3.1. Abbildungsdirektiven: Struktur, Semantik & Pragmatik	18
Strukturelle Direktive des Isomorphismus	18
Direktive der semantischen Ähnlichkeit	20
Direktive der pragmatischen Zentralität	21
3.2. Empirische Befunde für die pragmatische Zentralität	22
4. Ross‘ Remindings-Theorie	24
Ablaufmodell	25
Rolle der Semantik	27
Gedächtnishypothese	28
Interpretationshypothese	29
4.1. Empirische Belege für den Einfluß der Semantik	32
Weitere Befunde	33

5. Visuelle Analogien	36
6. Zusammenfassung	42
II. Empirischer Teil	45
1. Einleitung	45
1.1. Arbeitshypothesen	46
Hypothese 1: <i>Je ähnlicher, desto hilfreicher.</i>	46
Hypothese 2: <i>Nicht alle Attribute der visuellen Oberfläche...</i>	47
Hypothese 3: <i>Formen des Transfers</i>	47
Hypothese 4: <i>Gemischte Serien</i>	48
1.2. Überblick über die Experimente	49
Pilotstudie (Exp. 1 und 2)	49
Hauptuntersuchung (Exp. 3 bis 6)	50
2. PILOTSTUDIE	51
2.1. Experiment 1: Testung des verwendeten Materials	51
2.1.1. Arbeitshypothesen	51
2.1.2. Methode	52
2.1.2.1. Versuchspersonen	52
2.1.2.2. Material	52
Exkurs: rep4-Figuren als Lösung der Farmaufgabe	54
Formen des Transfers	58
<i>Allgemeine Vorbereitung</i>	58
<i>Oberflächentransfer</i>	58
<i>Abstrakter Transfer</i>	58
2.1.2.3. Geräte	59
2.1.2.4. Durchführung	60
2.1.3. Ergebnisse	60
(a) Relative Lösungshäufigkeiten	60
(b) Aufgabenanalysen	63
<i>Farmaufgabe</i>	63
Puzzlestrategie	64
analytischer Lösungsweg	64
Zerlegung in Dreiecke	65
Zerlegung in Quadrate	65
rechnerische Zerlegung	65
Neuorientierung	66

<i>Bischofsmütze</i>	67
<i>Baumpflanzaufgabe</i>	69
2.1.4. Diskussion	73
2.2. Experiment 2: Quantifizierung der visuellen Oberfläche	
<i>...zum Zusammenhang zwischen Ähnlichkeit und Nutzbarkeit</i>	76
2.2.1. Arbeitshypothesen	76
2.2.2. Methode	76
2.2.2.1. Versuchspersonen	76
2.2.2.2. Material	77
2.2.2.3. Durchführung	81
2.2.3. Ergebnisse	82
(a) Bearbeitung der Farmaufgabe	82
(b) Beurteilung der Figuren	83
Ähnlichkeitsurteile	83
Nutzbarkeitsurteile	87
2.2.4. Diskussion	90
HAUPTUNTERSUCHUNG: ÄHNLICHKEITSABHÄNGIGER ANALOGER TRANSFER	92
Experimente 3 bis 6	92
Hypothesen	93
Überblick über die Experimente	94
3. Experiment 3: Eine Abbildung	97
3.1. Hypothesen	97
3.2. Methode	97
3.2.1. Versuchspersonen	97
3.2.2. Material	98
3.2.3. Geräte	99
3.2.4. Durchführung	99
3.3. Ergebnisse	100
(a) Bearbeitung der Farmaufgabe	100
(b) Bearbeitung der Basisfigur	102
3.4. Diskussion	102
4. Experiment 4: Zwei Abbildungen	103
4.1. Hypothesen	103
4.2. Methode	104

4.2.1. Versuchspersonen	104
4.2.2. Material	104
4.2.3. Geräte	105
2.2.4. Durchführung	105
4.3. Ergebnisse	106
(a) Bearbeitung der Farmaufgabe	106
(a1) Lösungszeiten	106
(a2) Anzahl der Lösungsskizzen	108
(a3) Verwendete Lösungswege	109
(b) Bearbeitung der zweiten und dritten Teilungsaufgabe	110
(c) Bearbeitung der Basisfiguren	111
4.4. Diskussion	111
5. Experiment 5: 18 Abbildungen ohne Hinweis	113
5.1. Hypothesen	113
5.2. Methode	114
5.2.1. Versuchspersonen	114
5.2.2. Material	114
5.2.3. Geräte	116
5.2.4. Durchführung	116
5.3. Ergebnisse	117
(a) Bearbeitung der Farmaufgabe	117
(b) Bearbeitung der anderen Teilungsaufgaben	120
(c) Bearbeitung der Basisfiguren	122
5.4. Diskussion	123
6. Experiment 6: 18 Abbildungen mit Hinweis	124
6.1. Hypothesen	124
6.2. Methode	124
6.2.1. Versuchspersonen	124
6.2.2. Material	125
6.2.3. Geräte	125
6.2.4. Durchführung	126
6.3. Ergebnisse	126
(a) Bearbeitung der Farmaufgabe	126
(b) Bearbeitung der anderen Teilungsaufgaben	129
(c) Bearbeitung der Basisfiguren	132
6.4. Diskussion	133

III. Gesamtdiskussion	135
Formen des Transfers	136
Struktur-Mapping	137
Ausgangssituation für analoges Problemlösen	137
1. Korrespondierende Problemlösungen	137
2. (Re-)Konstruktion der Basis	138
3. Korrespondenz der Anfangssituationen und inkrementelles Mapping	138
Kontinuum Inhalt-Struktur	139
<i>Vorwissen</i>	140
<i>Merkmale der Aufgabendomäne(n)</i>	140
<i>Problemlöseprozeß</i>	141
Vorwissen, Aufgabendomäne und Problemlöseprozeß anhand der Farmaufgabe	142
IV. Literatur	147

ANHANG

Material zu Experiment 1	I-IV
Material zu Experiment 2	V-X
Material zu Experiment 3	X-XIII
Material zu Experiment 4	XIII-XVII
Material zu Experiment 5	XVII-XXII
Material zu Experiment 6	XXII-XXIII
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	XXIV-XXVII
Lebenslauf	XXVIII

EINLEITUNG

O. EINLEITUNG

„Und nach dem Essen veranstaltete der Zauberer eine sehr praktische und schöne Zauberei. Er legte zwei leere Bögen Pergament auf den Tisch und bat Drinian, ihm einen genauen Bericht ihrer Reise zu geben; und während Drinian sprach, erschien all das, was er beschrieb, in feinen und klaren Linien auf dem Pergament, bis die Blätter schließlich zu phantastischen Karten geworden waren. Sie zeigten die Östlichen Meere mit Galma, Terebinthia, den Sieben Inseln, den Einsamen Inseln, der Dracheninsel, der Verbrannten Insel, der Todeswasserinsel und dem Land der Tölpel, und alles hatte genau die richtige Größe und war an der richtigen Stelle eingezeichnet. Dies waren die allerersten Karten von diesen Meeren, und sie waren besser als all die Karten, die inzwischen ohne Zauberei gemacht wurden. Denn die Städte und die Berge auf diesen Karten sahen zwar so aus wie auf einer normalen Karte, aber nachdem der Zauberer seinen Gästen ein Vergrößerungsglas geliehen hatte, sahen sie, daß es perfekte kleine Abbilder der Wirklichkeit waren; so konnte man zum Beispiel das Schloß und den Sklavenmarkt und die Straßen von Enghafen erkennen, und alles war ganz klar und doch weit weg, so wie die Dinge durch das falsche Ende eines Teleskops aussehen.“ (C.S. Lewis, S.135-136)

Die Zauberkarten weisen als eine genaue und detailgetreue Abbildung der Östlichen Meere sehr viele Parallelen mit der abgebildeten Gegend auf, obwohl sie nicht alle Merkmale mit dieser teilen. Zum Beispiel dürfte das Wasser auf diesen Karten nicht nass sein und die Berge sich nicht über die Täler erheben. Außerdem fehlen ihnen sämtliche dynamischen Aspekte.

Auf diese Art von Korrespondenzen zwischen zwei Repräsentationen referiert die Definition von *Analogien*, wobei Basis (die „realen“ Meere) und Target (die Zauberkarte der Östlichen Meere) in ihren internen, relationalen Strukturen übereinstimmen sollten, aber nicht notwendigerweise in inhaltlichen Details. Allerdings konzentrieren sich die Theorien über analoges Schließen üblicherweise auf mentale Repräsentationen. Die Verbindung der beiden Repräsentationen erfolgt mit dem Ziel des Wissenstransfers von der Basis auf das Target. Damit tun die nicht geteilten Attribute der Analogie zwischen Karte und dargestellter Region keinen Abbruch, solange z.B. weite Wege in beiden Repräsentationen relativ lang sind, und Orte mit kurzen Distanzen durch relativ kurze Wege verbunden sind ect.. Entsprechend wird die strukturelle Korrespondenz häufig als wesentliches Merkmal eines analogen Paares genannt, was in der Vergangenheit häufig dazu führte, daß Struktur und Inhalt in Untersuchungen orthogonal gekreuzt wurden. In diesen Designs errang die korrespondierende Struktur erwartungsgemäß den Sieg über unverbundene inhaltliche Parallelen.

In vielen Problemlösesituationen drängt sich jedoch der Verdacht auf, daß inhaltliche Details –wie der Sklavenmarkt von Enghafen auf den Zauberkarten– nicht nur Zierrat der „eigentlichen“ Repräsentationen sind, sondern wertvolle Weggefährten auf gefährvollen Entdeckungsreisen, die

einem auch dann zur Seite stehen, wenn man die Struktur erst ansatzweise verstanden hat. Wenn Schüler lieber Äpfel und Orangen addieren als Äpfel und Körbe (Bassok, Chase, u. Martin, 1998; Bassok, 1993), ist nicht auszuschließen, daß selbst bei scheinbar orthogonaler Kreuzung Inhaltseffekte „im Hintergrund“ wirken, z.B. in Form von Objektkorrespondenzen. Daher stellt sich die Frage, wie inhaltliche Details *zusätzlich zur* relationalen Struktur wirksam sind. Wäre die Karte der Östlichen Meere für die Reisenden vielleicht weniger wertvoll, wenn sie statt der bewunderten Gebäude in der Detailansicht phantasievolle geometrische Muster offenbarte? Und in welcher Form sind inhaltliche Details wirksam?

Diese Diskussion über Struktur und Inhalt („Similarity“-Debatte) ist nicht nur für analoges Denken, sondern für viele Formen des Vergleichs diskutiert worden. Diesem Diskurs lassen sich wertvolle Impulse für das analoge Denken entlehnen.

Bei visuellen Repräsentationen wird das Zusammenwirken von Struktur und Inhalt besonders deutlich: Zum einen ist es extrem schwer, zwischen relationalen und nicht relationalen Eigenschaften zu trennen, weil sich meistens bei genauerer Betrachtung der nicht relationalen Entitäten neue Relationen ergeben, so als legte man das Vergrößerungsglas des Zauberers an. Wenn es aber erst einmal gelungen ist, diese Grenze mindestens provisorisch ausfindig zu machen, wird man durch die Problemlösestrategien der Entdecker überreich belohnt: Häufig ist gut zu erkennen, auf welchem Abstraktionsniveau sie sich orientieren, und das oft besser als bei verbalen Antworten. Wenn etwa die Studenten bei Gick und Holyoak (1980, 1983) einen General mit einem Doktor vergleichen und die Armee des Generals mit den zu dosierenden Strahlen in der medizinischen Therapie, ist nicht zu erkennen, ob sich hinter diesen Vergleichen abstrakte Konzepte oder Oberflächenkorrespondenzen verbergen. Wenn sich dagegen ein Schüler die Unterteilung eines Dreiecks in kleine Dreiecke (Basis) zunutze macht, um ein Quadrat (Target) zu zerlegen, weisen seine Lösungsskizzen auf eine oberflächliche Korrespondenz hin, wenn er das Quadrat ebenfalls in Dreiecke zerlegt, und auf strukturelle Korrespondenzen, wenn er es in verkleinerte Kopien seiner selbst zerlegt, d.h. das Quadrat in Quadrate zerlegt, weil das Dreieck in Dreiecke zerlegt war. Unter einer visuellen Analogie sei im Folgenden die erstmalige Verbindung zweier oder mehrerer mentaler Repräsentationen mit dem Ziel des Wissenstransfers verstanden, wobei die beteiligten Repräsentationen mindestens visuelle Anteile haben sollten.

Zusätzlich zur „sichtbaren“ Trennung zwischen Struktur und Inhalt bieten komplexe visuelle Analogien die Möglichkeit, die Similarity-Debatte innerhalb der Theorien zum analogen Denken aus einer neuen Perspektive zu betrachten. Möglicherweise ergeben sich dabei neue Aspekte, die auch auf verbal codierte Analogien übertragbar sind.

Ausgehend von den klassischen Ansätzen zu analogem Denken (Gentners „Structure-Mapping-Theory“, 1983; und Holyoak & Thagards „Multi-Constraint-Theory“, 1989; 1995) wird im Folgenden unter Einbeziehung der Similarity-Debatte und exemplarbasierter Ansätze (insbesondere Ross' Reminders Theory, 1984, 1987, 1989a, Ross & Kennedy, 1990; Ross & Sofka, 1986) dem Einfluß

inhaltlicher Details auf visuelle Analogien nachgegangen. Anschließend wird die Untersuchung dieser Effekte auf die verschiedenen Formen analogen Schließens (einfache und multiple Analogien sowie expliziter und impliziter Transfer) *zusätzlich zur relationalen Struktur* beschrieben. Bei einfachen Analogien wird ein Target bearbeitet, nachdem eine analoge Basis bearbeitet wurde. Bei multiplen Analogien wurden vor dem Target mehrere Basis-Aufgaben bearbeitet. Unter implizitem Transfer versteht man i.S. Holyoaks analoges Schließen, bei dem der Versuchsleiter nicht explizit durch einen Hinweis eine Beziehung zwischen Basis und Target schafft. Üblicherweise werden Basis und Target nacheinander bearbeitet, ohne daß die Instruktion für das Target auf die Basis referiert. Bei explizitem Transfer gibt der Versuchsleiter vor oder während der Target-Bearbeitung einen Hinweis, der an die Basis erinnert und damit eine Beziehung zwischen beiden Repräsentationen stiftet. Ob die Probanden bei der Target-Bearbeitung explizit auf die Basis zurückgreifen, wird üblicherweise nicht thematisiert.

Schließlich ergibt sich aus den Lösungsskizzen, nachträglichen Laut-Denk-Protokollen sowie den entsprechenden Lösungszeiten der Probanden bei geometrischen Aufgaben – ganz ohne Zauberei – ein neues Stück für die teilweise noch weiße Karte analogen Denkens.

THEORETISCHER TEIL

I. THEORETISCHER TEIL

1. DAS KONZEPT DER GLEICHARTIGKEIT

Der „Similarity“-Begriff wird im Zusammenhang mit Analogien immer wieder genannt und steht für Gleichartigkeit, Ähnlichkeit, Gemeinsamkeit oder auch Vergleich zweier Entitäten.

Medin, Goldstone, & Gentner (1993, S. 255) definieren Ähnlichkeit folgendermaßen: „Zwei Dinge sind einander in dem Maß ähnlich, in dem sie Prädikate gemeinsam haben, und sind in dem Maß ungleich, in dem Prädikate nur für eine der Entitäten zutreffen, aber nicht für die andere.“¹

In der Literatur spielt der Ähnlichkeitsbegriff eine Chamäleon-Rolle, häufig mündend in einer Aufzählung der verschiedenen Formen von Korrespondenzen oder der Beschreibung des Vergleichsprozesses. Zusammengefasst ergibt sich das Bild eines vielschichtigen, oft unpräzise beschriebenen Vergleichsprozesses, der je nach Kontext, Vorwissen, Aufgabe und Erwartung des Probanden variiert. Aus diesem Grund bezweifeln Autoren wie Rips (1989) oder Goodman (1972) den Erklärungsgehalt von Ähnlichkeit als psychologischem Konstrukt. Goodman (1972, S. 437) charakterisiert sie personifiziert als „...ärgerlich, heimtückisch, ein Heuchler, ein Hochstapler, ein Scharlatan...“².

Dennoch ist der Vergleichsprozess hinreichend regelhaft, um systematisch beschrieben zu werden (Gentner & Markman, 1997). Zunächst zu den verschiedenen Formen von Korrespondenzen zwischen zwei verglichenen Repräsentationen:

Differenzierungen innerhalb des Ähnlichkeitsbegriffs

Die wichtigste und meist vertretene Differenzierung innerhalb des Ähnlichkeitsbegriffs ist die zwischen Tiefen- und Oberflächengemeinsamkeiten. Insbesondere die Gruppe um Gentner (z.B. Medin, Goldstone, & Gentner, 1993) unterscheidet innerhalb des Vergleichsprozesses zwischen Objektattributen und Relationen und entsprechend zwischen attributionaler, struktureller und literaler Ähnlichkeit, wobei literal gleiche Objekte sowohl relationale als auch attributionale Prädikate gemeinsam haben. Für ein Objektpaar ergibt sich die Gesamtähnlichkeit dabei aus strukturellen und attributionalen Parallelen. Je nach Umfang und Art geteilter Eigenschaften konzipieren Gentner et al. (z.B. Gentner & Markman, 1997) unterschiedliche Vergleichsarten: Bei einer *Anomalie*, z.B. dem Vergleich einer Birke mit einer Wasseruhr, bestehen weder strukturelle noch attributionale Parallelen. Bei einer *Analogie* hingegen teilen beide Objekte viele Relationen, aber nicht notwendigerweise Attribute, z.B. beim Vergleich einer Wolke mit einem Schwamm. Eine *Abstraktion*,

¹ „Two things are similar to the extent that they share predicates and dissimilar to the extent that predicates apply to one entity but not to the other.“

² „... invidious, insidious, a pretender, an imposter, a quack...“

z.B. das Sonnensystem als zentrales Kräftesystem, verfügt auf der Konzeptseite ausschließlich über abstrakte und damit strukturelle Prädikate. Bei einem *literalen Vergleich*, z.B. zwischen einem Kinderwagenrad und einem Baggerreifen, bestehen sowohl relationale als auch attributionale Parallelen. Bei einem *rein äußerlichen Vergleich* zwischen einem Mimikry-Insekt und der imitierten Pflanze bestehen ausschließlich attributionale Gemeinsamkeiten. Die *Metapher* nimmt, solange sie noch nicht in den lexikalisierten Gebrauch übergegangen ist, eine Zwischenstellung ein und deckt Vergleiche von vielen bis wenig strukturellen Parallelen und von wenigen bis vielen attributionalen Gemeinsamkeiten ab, zum Beispiel die Lebensweg-Metapher und der Tod als ablaufende Uhr oder niederbrennendes Lebenslicht.

Im Zusammenhang mit der Strukturdebatte ergeben sich zwei Typen von Unterschieden zwischen den verglichenen Objekten: Zum einen existieren Unterschiede, welche in Zusammenhang mit dem relationalen Zuordnungssystem stehen, z.B. in der Wolke-Schwamm-Analogie erfolgt die Wasserspeicherung jeweils auf unterschiedliche Weise. Zum anderen gibt es isolierte Unterschiede, welche nicht mit dem Zuordnungssystem verbunden sind, z.B. dass ein Schwamm flauschig ist und die Wolke nicht. Schließlich differenzieren Gentner et al. zwischen Transparenz und Systematik, sowie zwischen perzeptuellen und konzeptuellen Vergleichen.

Bei Smith (1989) existiert keine explizite Verknüpfung des Ähnlichkeitskonzeptes mit dem Prozess analogen Denkens, dafür beschreibt sie verschiedene Formen des visuell-perzeptuellen Vergleichs, was bei weiterer Verfeinerung für visuelle Analogien nutzbar wäre. Sie differenziert innerhalb der perzeptuellen Ähnlichkeit zwischen globalen und dimensionalen Gemeinsamkeiten. Dabei lässt sich für dimensionale, aber nicht für globale Parallelen die Unterscheidung zwischen Oberfläche und Tiefe bzw. Attributen und Struktur analysieren. Innerhalb ihres Systems zu Vergleichen von Wahrnehmungsinhalten beschreibt Smith Gemeinsamkeiten und Unterschiede für Gesamtobjekt und Teile getrennt und differenziert zwischen Gleichheit (Identität) und Gleichartigkeit (Ähnlichkeit). Sie geht davon aus, dass erworbene Konzepte mit zunehmender Expertise differenziert werden. Entsprechend sind immer differenziertere Vergleiche möglich. Zum Beispiel wird die Analyse der Silbengrenzen bei unbekanntem Material anhand der Sonoritätskriterien der eigenen Muttersprache vorgenommen (Treisman & Danis, 1988a, 1988b), was dazu führt, dass der Wortfluss in unbekannt Fremdsprachen anderer Sprachfamilien schwer oder gar nicht strukturierbar wirkt, während der Sprachfluss einer unbekannt Sprache der eigenen Sprachfamilie strukturiert werden kann, obwohl der Inhalt unbekannt ist.

Noch weiter entfernt von der klassischen Trennung zwischen Struktur und Inhalt, nicht aber dem Prozess analogen Denkens, ist der Ansatz von Ross (z.B. 1984, 1987, 1989a). Er definiert Ähnlichkeit pragmatisch: Wenn die Änderung eines Details lösungsrelevant ist, so nennt er dieses Detail strukturell. Betrifft seine Änderung die Lösungsstruktur nicht, so ist dieses Detail laut Ross der semantischen Oberfläche zuzuordnen. Innerhalb der oberflächlichen Gemeinsamkeiten zweier

Repräsentationen unterscheidet Ross die sogenannte „story line“ und Objektkorrespondenzen (vgl. 2.3.).

Außerdem existieren weitere Klassifizierungen von Ähnlichkeitsformen, etwa die Unterscheidung zwischen *salienten*, d.h. leicht erkennbaren Parallelen *und nicht salienten Übereinstimmungen* (Vosniadou, 1989). Die Kriterien für Salienz können sich im Laufe des Wissenserwerbs verschieben. Außerdem gelten laut Barsalou (1989) unterschiedliche Maßstäbe für Ähnlichkeitsvergleiche innerhalb einer Kategorie und Vergleiche über *Kategoriegrenzen* hinaus. Collins u. Burstein (1989) schließlich trennen sich völlig vom Klassifikationskriterium Struktur und unterteilen Ähnlichkeitsvergleiche je nach System-, Konzept- bzw. Eigenschaftskorrespondenzen.

In den verschiedenen Klassifikationssystemen spiegelt sich die Vielschichtigkeit von Vergleichsprozessen wider und ergeben sich erste Anhaltspunkte zur systematischen Erhebung von Daten. Ein weiteres Kriterium für empirische Befunde stellt laut Medin et al. (1993) der **Kontext**, in dem die Ähnlichkeitswerte erhoben werden. Dieser ist mindestens solange zu berücksichtigen, wie die zugrunde liegenden Prozesse nicht aufgeklärt sind, weil die Daten je nach Kontext, Aufgabe und Erhebungsmethode variieren. Neben dem *direkten Vergleich* eines Objektes, einer Szene oder einer Geschichte mit einem Standardreiz oder einer Skala gibt es eine *Reihe indirekter Erhebungsmethoden*, z.B. über die Anzahl von Verwechslungsfehlern, die Häufigkeit von falschem Alarm bei Wiedererkennungsaufgaben, die Reaktionszeit für „gleich/ungleich“-Urteile oder für die Kategorisierung neuer Vertreter.

Ablaufmodelle für den Ähnlichkeitsvergleich

Neben der Unterscheidung der Ähnlichkeitsformen existieren einige Modelle zum Vergleichsprozess und seiner Direktiven. Diese orientieren sich, in Anlehnung an den Prozess analogen Denkens, an Aktivierung, Zuordnung und Generalisierung. Allerdings ist der analoge Transfer nicht für alle Formen des Vergleichs relevant. Außerdem entfällt in experimentellen Designs mit vorgegebenen Objektpaaren die Suche nach geeigneten Kandidaten durch den Probanden, der nur noch die geforderten Konzepte aktivieren muss.

Das Vorgängermodell zu heutigen Ähnlichkeitstheorien ist die Kontrasttheorie von Tversky (1977). Dieses Modell ist für Wahrnehmung und Konzepte (Wort- und Bildpaare) ausgelegt und ist an die Mengenlehre angelehnt. Demnach entspricht die Ähnlichkeit zwischen zwei Entitäten *i* und *j* der Summe der Gemeinsamkeiten, d.h. Attribute, welche auf beide Entitäten zutreffen, $g(\mathbf{i} \cap \mathbf{j})$, abzüglich der gewichteten Unterschiede, d.h. Attribute, welche nur auf eine der Entitäten zutreffen, $f(\mathbf{i} - \mathbf{j})$ und $f(\mathbf{j} - \mathbf{i})$:

$$S(\mathbf{i}, \mathbf{j}) = g(\mathbf{i} \cap \mathbf{j}) - \alpha f(\mathbf{i} - \mathbf{j}) - \beta f(\mathbf{j} - \mathbf{i}); \alpha, \beta > 0.$$

In der Kontrasttheorie werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede als voneinander unabhängig verstanden, werden jedoch bei visuellem und verbalem Material unterschiedlich gewichtet: Bei verbaler Präsentation dominieren die Gemeinsamkeiten beider Entitäten, bei visueller Darbietung desselben Materials hingegen werden die Unterschiede zwischen beiden Objekten höher gewichtet. Die Ähnlichkeit zwischen beiden Objekten verändert sich durch Hinzufügen und/oder Wegnehmen von Attributen. Dieses „Hinzufügen“ und „Wegnehmen“ wird üblicherweise als Anweisung zur Konstruktion von Testitems verstanden, z.B. als Hinzufügen einer Wolke zu der Abbildung einer Landschaft mit See bzw. zum Bild einer Berglandschaft bei Gati und Tversky (1984). Für diese Konfigurationen wird nacheinander, voneinander unabhängig, ein Ähnlichkeitsurteil bezüglich eines Standardreizes erhoben. Alternativ ist eine Veränderung komplexer Stimuli innerhalb einer Darbietung denkbar, z.B. wenn sich der Protagonist einer gelesenen Kurzgeschichte im Laufe der Erzählung verändert (Rips, 1989): Ein Vogel mutierte nach Konsum verseuchter Nahrung zum Insekt. Am Ende der Geschichte sollten die Probanden entscheiden, ob diese Phantasiegestalt einem Vogel ähnlicher ist oder einem Insekt. Als Kontrollgruppe dienten Probanden, die entweder nur den Vogelteil der Geschichte gelesen hatten oder den Teil der Geschichte nach der Veränderung.

Wie oben angedeutet, kritisieren Gentner et al. an diesem Ansatz insbesondere die Unabhängigkeit der einzelnen Attribute voneinander. Anstelle der Modellierung mentaler Repräsentationen mit Begriffen der Mengentheorie gehen sie von strukturierten Repräsentationen aus. Entsprechend erweitern sie das Modell struktureller Zuordnung beim analogen Denken auf weitere Formen des Vergleiches, da oft erst die relationale Struktur bestimmt, ob z.B. die Kiemen von Fischen als Unterschied zu den Lungen von Säugetieren zu werten sind oder aufgrund der vergleichbaren Funktion als Gemeinsamkeit beider Kategorien. Sie führen verschiedene Belege dafür an, dass strukturelle Aspekte auch bei Ähnlichkeitsvergleichen relevant sind (vgl. Medin et al., 1993) und leiten neben der strukturellen Direktive den Einfluss von Ziel und Relevanz aus dem Vergleichsprozess selbst ab. Allerdings beschäftigen sich ihre Studien ausschließlich mit direkt erhobenen Urteilen.

Neben den oben beschriebenen Zuordnungsregeln wird eine Reihe weiterer Aussagen über den Vergleichsprozess gemacht: Er sei selektiv, kontextabhängig, flexibel, aber regelhaft, und außerdem direktional, asymmetrisch, informativ, aktiv, dynamisch und explizit. Ob eine zusätzliche gemeinsame Relation oder ein weiteres geteiltes Attribut für den Vergleich einflussreicher ist, hängt von der Art mengenmäßig bereits dominierender Eigenschaften ab (MAX-Modell). Wie beim analogen Denken gibt es eine doppelte Dissoziation zwischen Abruf und Bewertung sowie strukturellen und attributionalen Prädikaten: Die Probanden rufen die zu vergleichenden Objekte überwiegend aufgrund oberflächlicher Korrespondenzen aus dem Gedächtnis ab (Holyoak & Koh, 1987; Novick, 1988; Reed, Ernst, & Banerji, 1974), empfinden aber strukturelle Parallelen als nützlicher und informativer (Gentner & Landers, 1985; Rattermann & Gentner, 1987). Die relationale Struktur dirigiert die Zuordnung von Entitäten und generiert Transferkandidaten. Außerdem

ermöglicht sie eine Online-Kontrolle des Prozesses und damit eine Korrekturmöglichkeit. Diese Dissoziation spiegelt sich auch in Veränderungen während des Expertise-Erwerbs bzw. der Individualentwicklung (Brown & Kane, 1988; Chi, Feltovich, & Glaser, 1981; Crisafi & Brown, 1986; Gentner, 1988, 1992; Gentner & Rattermann, 1991; Gentner & Toupin, 1986; Kolstad & Bailargeon, 1991; Kotovsky & Gentner, 1990; Novick, 1988) wider: Novizen und Experten erinnern sich per Oberflächeneigenschaften, aber der Experte kann Gefundenes besser strukturieren und anwenden (Novick, 1988). Außerdem dominieren Oberflächeneigenschaften bei Ähnlichkeitsurteilen unter Zeitdruck, während ohne Zeitbegrenzung relationale Prädikate bevorzugt werden (Goldstone & Medin, 1994; Ratcliff & McKoon, 1989). Die Transparenz nimmt im Ansatz von Gentner et al. eine Zwitterstellung zwischen Oberfläche und Struktur ein und gibt an, wie leicht die Zuordnung einzelner Elemente beider Repräsentationen zueinander fällt. Bei älteren Kindern und Experten bestimmen Transparenz und Systematik den Transfer zwischen zwei Repräsentationen, bei Novizen und jüngeren Kindern ist hingegen nur die Transparenz nutzbar (Gentner & Toupin, 1986). Gentners Struktur-Mapping-Theorie ist sowohl als *Kompetenztheorie* als auch *Performanztheorie* ausgelegt: Sie beschreibt, welche Zuordnungen Experten präferieren und wie sie tatsächlich zuordnen. Ähnlichkeitsbasierte Vergleiche dienen nicht zuletzt als nützliche Heuristik, sie erlauben Schließen und Handlungsplanung trotz unvollständigem Wissen, wecken beim Lerner Erwartungen und lenken die Aufmerksamkeit.

Auch Ross' „Remindings-Theorie“ (Ross, 1984, 1987, 1989a, Ross & Kennedy, 1990; Ross & Sofka, 1986) baut konsequent auf den verschiedenen Arten der Übereinstimmung zweier Repräsentationen auf und konzentriert sich – im Gegensatz zu Gentner – auf die Korrespondenzen innerhalb einer Domäne im Rahmen von Lernen und Problemlösen.

Er differenziert innerhalb des Abrufs eines Gedächtnisinhaltes zwischen Erreichen des Inhaltes und der vollständigen Rekonstruktion dieses Inhaltes. Diese Subprozesse interagieren mit den verschiedenen Ähnlichkeitsformen: Die Oberflächenähnlichkeit („story line“) und die Verwechselbarkeit der Aufgabenstruktur mit anderen Aufgabentypen steuern das Bemerkens der Korrespondenz. Die globale Ähnlichkeit beeinflusst den vollständigen Abruf der entsprechenden Repräsentation. Und die Objektkorrespondenzen beeinflussen Mapping und Transfer.

Aus diesen komplexen Beziehungen leitet Ross ein Modell ab, das die Dissoziation zwischen Struktur und Semantik erklärt und genügend Raum lässt für die veränderten Gewichte der Einflussfaktoren während des Expertise-Erwerbs (vgl. Gentner, 1988, 1992; Gentner & Rattermann, 1991). Eine ausführliche Darstellung des Ablaufmodells folgt unter 2.3..

Einfluss auf andere kognitive Prozesse

Neben der Relevanz von Vergleichsprozessen und -arten für das analoge Denken werden sie von vielen Vertretern (z.B. Vosniadou & Ortony, 1989) als grundlegende kognitive Aktivität bei Wahrnehmung, Erinnerung, Klassifikation, Lernen, Transfer, Problemlösen und Handlungsplanung sowie wissenschaftlichen Entdeckungen und Kreativität beschrieben.

Auch die Analogiedefinition profitiert von der Auseinandersetzung mit Ähnlichkeitsvergleichen: Meist definieren die Autoren Analogien innerhalb des eigenen theoretischen Systems als Wissenstransfer. Im Kontext des Vergleichs erhält der Begriff von denselben Autoren eine erfreulich erweiterte Definition als Übereinstimmung in der relationalen Struktur von Basis und Target mit Transferaussicht (Gentner, Rattermann, & Forbus, 1993) oder als partieller Ähnlichkeitsvergleich –im Gegensatz zu globaler Ähnlichkeit– zwischen Domänen (Clement & Gentner, 1991).

Korrespondenzen werden auch in verschiedenen anderen Kontexten aufgebaut (vgl. Collins & Burstein, 1989): als verschiedene Formen komparativer Urteile über Ähnlichkeit, Typizität, Kategorisierung, Identität, Überlappung oder Unterschied zwischen zwei Entitäten; der Zuordnung eines Konzeptes zu einem anderen sowie konzeptuelle Kombinationen. Rips (1989) hat gezeigt, dass für die einzelnen Kontexte unterschiedliche Ähnlichkeitsaspekte relevant sind: Ein Regenschirm kann aufgrund seines Designs aussehen wie ein Lampenschirm, wird jedoch als Regenschirm klassifiziert, solange er seiner Funktion gerecht wird. Allerdings würde er aufgrund seines Erscheinungsbildes nicht als typischer Regenschirm gelten.

Zusammenfassend lassen sich Analogien als partielle, vorwiegend strukturelle Ähnlichkeitsvergleiche mit Transferaussicht definieren, deren Subprozesse mit denen anderer Vergleichsprozesse weitgehend übereinstimmen. Die verschiedenen Differenzierungen innerhalb von Ähnlichkeitsarten und Vergleichsprozessen können als Anregung dienen, den Prozess analogen Denkens differenzierter zu betrachten und eventuell multipler zu verstehen: Möglicherweise gibt es auch mehrere Formen analogen Denkens, wobei Repräsentationsarten und Subprozesse variieren könnten. So lässt sich in Anlehnung an Medin et al. (1993) nach dem Einfluss der Pragmatik auf das analoge Schließen als Direktive neben strukturellen Einflüssen fragen. Diesem Einfluss wird die Multi-Constraint-Theorie von Holyoak und Thagard (1989, 1995) am ehesten gerecht.

2. DIE STRUKTUR-MAPPING-THEORIE NACH GENTNER (1983)

Gentners Theorie zum analogen Denken lässt sich auf einen Slogan verkürzen: „Struktur, Struktur, Struktur!“, da alle wesentlichen Funktionen dieser Theorie, d.h. Abgrenzung von anderen Formen des Vergleichs, Abbildungsregeln und Heuristiken zur Generierung spontaner Inferenzen, rein syntaktisch³ gelöst werden, d.h. unabhängig vom spezifischen Inhalt der beteiligten Repräsentationen.

Ausgangspunkt zu Gentners Überlegungen war Tversky's Kontrasttheorie (1977), in der die Ähnlichkeit zweier Repräsentationen als Kardinalität der Schnittmenge gemeinsamer Attribute relativ zur Kardinalität der Menge nicht geteilter Attribute verstanden wurde.

Gentner geht mit ihrer Struktur-Mapping-Theorie (Gentner, 1983) über die Kontrasttheorie hinaus, indem sie auf untereinander verbundene Attribute innerhalb der Repräsentationen oder Konzepte fokussiert. Und diese sollten für Vergleichsprozesse wichtiger sein als isolierte Fakten. Zum Beispiel sollten für die Analogie zwischen Bus und Straßenbahn alle Eigenschaften, die mit der Funktion als öffentliches Nahverkehrsmittel in Verbindung stehen, wichtiger sein als unverbundene Attribute, wie Farbe, Nummer, Anzahl der Räder, Geschlecht des Fahrers u.ä..

Zentrale Idee der Struktur-Mapping-Theorie ist, dass die interne relationale Struktur der Repräsentationen über Domänengrenzen hinweg übertragbar ist. Eigenschaften, die sich aus der Funktion des Busses als Verkehrsmittel zur Personenbeförderung ergeben, können potentiell auch für die Straßenbahn gelten.

Für die Struktur-Mapping-Theorie gelten folgende Vorannahmen und Formalisierungen:

Vorannahmen

1. Domänen und Situationen sind als Systeme von Objekten, Objektattributen und Relationen zwischen Objekten beschreibbar.
2. Wissen wird in propositionalen Netzwerken repräsentiert, deren Einheiten aus Argumenten und Prädikaten bestehen (Miller & Johnson-Laird, 1976; Norman, Rumelhart, & the LNR Group, 1975; Rumelhart & Ortony, 1977; Schank & Abelson, 1977).
3. Es gibt zwei syntaktische Differenzierungen innerhalb der Prädikate: Zum einen die Unterscheidung zwischen Objektattributen und Relationen. Als Attribute gelten Propositionen mit nur einem Argument, und als Relation gelten Propositionen mit mindestens zwei Argumenten. Zum zweiten unterscheidet man Prädikate erster vs. zweiter oder höherer Ordnung. Dienen Objekte als Argument, so handelt es sich um ein Prädikat erster Ordnung. Prädikate höherer Ordnung haben hingegen Propositionen als Argumente.

³ Reeves und Weisberg (1994) argumentieren, daß es sich hier um eine semantische Theorie handelt, da die Operatoren auf eine semantische Repräsentation zurückgreifen.

Attribute des Busses sind z.B. seine Farbe, die Anzahl der Sitzplätze und der Fenster, die Fahrzeugnummer und das aktuelle Fahrziel. Eine Relation niedriger Ordnung wäre die Beziehung zwischen der Anzahl der Fahrgäste und der Attraktivität des Fahrzieles. Zur Struktur höherer Ordnung gehört zum Beispiel die Variabilität der ansteuerbaren Ziele, die sich aus den Konstruktionsmerkmalen des Fahrzeugs, dem Straßennetz und den Gegebenheiten des Verkehrsbetriebes ergibt.

4. Die beschriebenen Repräsentationen orientieren sich an der menschlichen Informationsverarbeitung und nicht an formaler Logik.

Formalisierungen

Bei einem analogen Schluss wird Wissen aus einer bekannten mentalen Repräsentation, der analogen Basis, auf die Repräsentation einer aktuell zu bewältigenden Situation, das Target, übertragen.

Die Repräsentation der Basisdomäne bestehe aus den Objektargumenten b_1, b_2, \dots, b_n und Prädikaten, z.B. A, R, R'. Die Targetdomäne bestehe analog dazu aus den Objekten t_1, t_2, \dots, t_m (meist $m = n$) und den entsprechenden Prädikaten.

Die Abbildungsfunktion laute „M: $b_i \rightarrow t_i$ “ und bilde Objekte auf Objekte und Prädikate auf Prädikate ab.

Unter Berücksichtigung der postulierten *strukturellen Dominanz* für analoges Denken ergeben sich folgende drei Maximen:

1. Strukturelle Konsistenz: Die Abbildung soll beide Repräsentationen parallel verbinden, d.h., bei einander entsprechenden Relationen werden auch die zugehörigen Argumente einander zugeordnet. Außerdem soll die Zuordnung 1:1-Korrespondenzen erzeugen, d.h., jedem Element der einen Repräsentation darf maximal ein Element der anderen Repräsentation entsprechen (Falkenhainer, Forbus, & Gentner, 1986, 1989; Gentner, 1983, 1989; Gentner & Clement, 1988; Holyoak & Thagard, 1989).

2. Relationaler Fokus: Die Abbildung bevorzugt analoge Relationen vor analogen Objektbeschreibungen.

3. Systematik: Innerhalb der potentiell abbildbaren Relationen werden verbundene Relationensysteme vor isolierten Relationen bevorzugt (Gentner, 1983, 1989). Bei gleichzeitiger Beachtung der Forderungen nach struktureller Konsistenz und relationalem Fokus ergibt sich eine implizite Präferenz kohärenter Zuordnungen und kausal plausibler Vorhersagen für das Target. Wenn sich Probanden wie oben dargestellt verhalten, sollten sie, sobald sie Prädikate höherer Ordnung mindestens vermuten, zugehörige Prädikate bevorzugt bearbeiten. Wenn sie z.B. Aussagen vom Bus auf die Straßenbahn übertragen wollen, ist es ratsam, sich an Gemeinsamkeiten zu halten, welche mit der Funktion als Transportmittel verbunden sind, da die Chance groß ist,

Relationensysteme abzubilden. Aussagen über die Anzahl der Lampen, den Klang des Abfahrtsignals oder das Material des Fußbodenbelags hingegen sind schlechte Kandidaten für potentielle Inferenzen, da sie mit wenigen anderen Eigenschaften verbunden sind.

Regeln für die Abbildung der Basis auf das Target

Die strukturellen Maximen lassen sich in folgende Abbildungsregeln übersetzen:

1. *Relationaler Fokus*: Alle Objektattribute werden fallen gelassen und möglichst alle Relationen zwischen Objekten bewahrt.

$$\begin{array}{l} \text{M:} \quad \begin{array}{c} \text{---}A(b_i)\text{---} \rightarrow A(t_i) \\ R(b_i, b_j) \rightarrow R(t_i, t_j) \end{array} \end{array}$$

2. *Systematik*: Relationensysteme werden vor isolierten Relationen präferiert und Relationen höherer Ordnung vor Relationen niedriger Ordnung beibehalten.

Wenn die Relationen R' und R_1 alternativ abbildbar sind, R' eine Relation höherer Ordnung ist und R_1 eine Relation niedriger Ordnung, dann wird R' vor R_1 bevorzugt:

$$\begin{array}{l} \text{M:} \quad R'(R_1(b_i, b_j), R_2(b_k, b_l)) \rightarrow R'(R_1(t_i, t_j), R_2(t_k, t_l)) \\ \quad \quad \quad \text{---}R_1(b_i, b_k)\text{---} \rightarrow \text{---}R_1(t_i, t_k)\text{---} \end{array}$$

Für den Prozess des analogen Vergleichs zwischen Bus und Straßenbahn würden alle einstelligen Propositionen beider Repräsentationen zugunsten mehrstelliger Propositionen zurückgestellt. Das bedeutet, dass der Zuordnungsalgorithmus diese Entitäten ignoriert, jedoch nicht dass sie aus den Repräsentationen beider Objekte entfernt werden. Ein gemeinsames Merkmal von Bus und Straßenbahn ist, dass beide Fahrzeuge Räder haben. Nun wäre zum Beispiel denkbar, dass Größe und Material der Räder in Verbindung gebracht werden, woraus ableitbar ist, wie die Bremseigenschaften beider Verkehrsmittel sind. Dieses relationale Gefüge wird vermutlich eher in die Abbildung einfließen als die unverbundene Anzahl der Räder pro Fahrzeug.

Die Implementierung im „Structure-Mapping-Engine“, kurz SME (Falkenhainer, Forbus, & Gentner, 1986, 1989; Forbus, Gentner, & Law, 1995), ist psychologisch wenig plausibel, da im ersten Schritt alle identischen Prädikate beider Repräsentationen blind, lokal aufeinander abgebildet werden, wobei Eins-zu-viele-Verbindungen entstehen können. Allerdings bietet die blinde Zuordnung den Vorteil, inhaltsunabhängig aufgrund struktureller Parallelen operieren zu können. Erst im zweiten Schritt werden die lokalen Prädikatenpaare in strukturell konsistente Gruppen (kernals) vereinigt, welche anschließend zu einer oder einigen wenigen konsistenten Interpretationen zusammengefasst werden.

Die Annahmen zur strukturellen Dominanz sind für den Prozess analogen Denkens sehr wertvoll, da hier Wissen aus der Basis auf das Target übertragen werden soll. Und Inferenzen sind nur dann sinnvoll, wenn beide Repräsentationen strukturell mindestens annähernd äquivalent sind. Sind die Ähnlichkeit von Oberflächeneigenschaften und strukturelle Äquivalenz orthogonal gekreuzt, sollte die Präferenz eindeutig bei strukturellen Eigenschaften liegen. Zum Beispiel sehen sich Bus und Straßenbahn sehr ähnlich und werden beide im Nahverkehr zum Personentransport eingesetzt. Für alle Fragestellungen, die mit der Straßenbahn als Schienenfahrzeug zusammenhängen, z.B. Bremseigenschaften oder Maßnahmen zu Brandschutz und Verkehrssicherheit, wäre der Problemlöser jedoch besser beraten, eine Analogie zur Eisenbahn aufzubauen, obwohl diese möglicherweise mit der Straßenbahn weniger Attribute teilt als der Bus. Auch innerhalb des analogen Paares ist es meistens effektiver, Inferenzen aufgrund struktureller Zusammenhänge innerhalb der Repräsentationen zu ziehen. Die Struktur-Mapping-Theorie macht allerdings keine Aussagen über die Art der Korrespondenzen. Dort kommt es nur auf die Verbundenheit von Attributen und die Abstraktheit dieser Relationen an. Ob es sich bei diesem Relationennetz um funktionale, technische oder kausale Zusammenhänge handelt, wird hingegen nicht berücksichtigt. Für die strukturelle Dominanz beim analogen Schließen gibt es etliche empirische Belege, meistens basierend auf orthogonaler Kreuzung von Semantik und Struktur bzw. der Gegenüberstellung analoger Schlüsse mit anderen Formen des Vergleichs:

2.1. EMPIRISCHE BELEGE FÜR DIE STRUKTURELLE DOMINANZ

Die Interpretation von Analogien ist bevorzugt relational, Objektbeschreibungen hingegen nicht (Gentner, 1980).

Wenn Probanden Sätze wie „A cigarette is like a time bomb.“ interpretieren, knüpfen ihre Aussagen überwiegend an das gemeinsame Relationensystem an, z.B.: „Zigaretten und Zeitbomben schädigen den Organismus erst im Nachhinein.“ Das bedeutet, dass die genannten Eigenschaften für beide Objekte eine vergleichbare Rolle spielen, aber nicht identisch sein müssen. Zigaretten schädigen den Raucher erst nach Jahren des Konsums. Zeitbomben verursachen erst durch das punktuelle Ereignis der Explosion Schäden, die –wie die Tabakschäden– auch erst lange nach diesem Ereignis zutage treten können.

Bei der Beschreibung der Objekte machen dieselben Probanden überwiegend Aussagen, die nicht mit einem gemeinsamen Relationensystem in Verbindung gebracht werden können, z.B.: „Eine Zigarette kann man rauchen, eine Bombe kann man nicht rauchen,“ oder „Eine Bombe explodiert, eine Zigarette explodiert nicht.“ In beiden Fällen existiert nur der Eintrag des Attributes nur im Konzept eines Objektes und wird für das zu vergleichende Objekt negiert. Das gleiche gilt für das Beispiel „Einen Apfel kann man essen, eine Limousine nicht.“

Spontan generierte Vergleiche während des Prozesses des Wissenserwerbs sind zunehmend relational. (zu den unterschiedlichen Formen des Vergleichs vgl. 2.1.2.)

Ein Beispiel für die Möglichkeit zunehmender Abstraktion beim Wissenserwerb stammt von Forbus & Gentner (1983). In ihrer Einzelfallstudie wurde ein Proband mit einem sich verjüngenden Rohr konfrontiert, durch das Wasser fließt. Beim Versuch, das Fließverhalten des Wassers zu verstehen, generierte er zunächst literale Vergleiche, z.B. Wasser in einem verstopften Rohr, gefolgt von einer Analogie zu einem bremsenden oder beschleunigenden Zug. Zum Schluss erkannte der Proband das zugrunde liegende Bernoulli-Prinzip und damit das zugrunde liegende abstrakte Gesetz.

Beim sogenannten „Crossmapping“ wird trotz identischer Attribute überwiegend relational zugeordnet.

Das überzeugendste Argument für strukturelle Dominanz beim analogen Mapping stammt von Vergleichen, in denen identische Objekte in beiden Repräsentationen unterschiedliche Rollen erfüllen (Gentner & Toupin, 1986; Gentner & Rattermann, 1991; Goldstone & Medin, 1994; Markman & Gentner, 1993b; Ross, 1987, 1989a), z.B.:

$$1 : 3 :: 3 : 9$$

Für gewöhnlich bilden die Probanden nicht die identischen Entitäten aufeinander ab, d.h. $3 \rightarrow 3$, sondern einander entsprechende Rollenträger: $1 \rightarrow 3$ und $3 \rightarrow 9$. In beiden Zahlenpaaren ist die rechts abgedruckte Zahl dreimal so groß wie die linke Zahl. Diese strukturelle Parallele wird bei Zuordnungsaufgaben stärker gewichtet als die Identität der Ziffern 3 und 3 in beiden Paaren.

Beim Vergleich werden verbundene Attribute höher gewichtet als unverbundene.

Vergleiche sind selektiv: Einige Gemeinsamkeiten und Unterschiede fallen ins Auge, sie sind salient, während andere nicht bemerkt werden. Laut Gentner und Markman (z.B. 1997) bestimmt der Fokus auf strukturelle Parallelen, welche Eigenschaften salient werden. Dabei werden Eigenschaften und Relationen, welche mit dem gemeinsamen Abbildungssystem zusammenhängen, vor isolierten Attributen bevorzugt.

Außerdem werden verbundene Eigenschaften bei Bildpaaren (Markman & Gentner, 1996) und bei Textpaaren (Clement & Gentner, 1991; Markman & Gentner, 1993b; Markman & Wisniewsky, 1997) mit höherer Wahrscheinlichkeit bemerkt, werden flüssiger generiert (Gentner & Markman, 1994) und sind für das Ähnlichkeitsurteil wichtiger (Markman & Gentner, 1996) als unverbundene Eigenschaften.

Dazu ein Beispiel: Bei Wortpaaren aus einander ähnlichen Begriffen, wie „Hotel - Motel“, welche über einen großen Bereich gemeinsamer Attribute verfügen, werden in einer bestimmten Zeitspanne mehr Unterschiede genannt als für weniger ähnliche Paare, z.B. „Kätzchen - Magazin“. Außerdem sind die Unterschiede bei ähnlichen Paaren überwiegend relational, z.B. „Hotels sind in der Stadt und Motels an der Autobahn.“, während die Unterschiede bei nicht ähnlichen Paaren überwiegend isoliert sind, z.B. „Ein Kätzchen hält man als Haustier, ein Magazin nicht.“ (Markman &

Gentner, 1993b)

Inferenzen knüpfen bevorzugt an relationale Informationen an.

Während sich die Befunde zur strukturellen Dominanz vorwiegend auf die Abbildungsfunktion zwischen Basis und Target beziehen, basieren die Befunde zu Inferenzen aus der Basis auf das Target auf dem analogen Transfer, welcher laut Gentner auf die Zuordnung aufsetzt. Als Inferenzkandidaten kommen Entitäten in Frage, welche mit dem gemeinsamen Relationensystem verbunden sind, d.h. Fakten innerhalb des Beziehungsgeflechts der Basis, das mit einem Relationensystem des Targets korrespondiert, die jedoch noch nicht im Target etabliert sind.

Die Probanden bei Gick und Holyoak (1980, 1983) haben hin und wieder den General der gelesenen Basisgeschichte mit dem Arzt des zu bearbeitenden Targetproblems in Beziehung gesetzt. Die Ziele beider Protagonisten ließen sich ebenfalls in Korrespondenz zueinander bringen, da beide versuchten, ein Ziel trotz räumlicher Hindernisse zu erreichen: Der General nahm eine Festung trotz verminderter Zufahrtsstraßen ein, und der Arzt bemühte sich, einen inoperablen Magentumor zu zerstören, ohne das umliegende Gewebe zu zerstören. Aufbauend auf diesen Parallelen nutzten die Probanden im Idealfall die Angriffstrategie des Generals, um das Ziel des Arztes zu verwirklichen: Der General verteilte seine Soldaten auf alle Zufahrtswege. Damit war die Belastung der Straßen durch das Gewicht der Kämpfer an allen Stellen hinreichend klein, aber die Menge der Angreifer an der Festung hinreichend groß, da alle Soldaten gleichzeitig dort eintrafen. Auch der Arzt kann die notwendige Strahlendosis auf mehrere Geräte verteilen, so dass die Konzentration im Tumor hinreichend groß und in der Umgebung hinreichend klein ist. Um die Strategie der verteilten Kräfte auf das medizinische Problem umsetzen zu können, müssen die Probanden etliche inhaltliche Unterschiede ignorieren, z.B. dass die Soldaten belebt sind und die Strahlen nicht. Deshalb ist es für Analogien über Domänengrenzen hinweg unabdingbar, strukturelle Parallelen vor domänenspezifischen Details zu präferieren. Es sollten also wie beim Ähnlichkeitsvergleich verbundene Entitäten der Basis vor unverbundenen präferiert werden.

Clement und Gentner (1991) legten ihren Probanden jeweils zwei analoge Geschichten vor und baten sie, Vorhersagen für die Targetgeschichte aus der Basisgeschichte abzuleiten. Zum Beispiel handelte eine Basis von Lebewesen namens Tams, welche sich von Mineralien ernähren. Die Tams gewinnen diese durch spezialisierte Körperteile aus dem Stein, auf dem sie leben. Wenn die Mineralien an ihrem Aufenthaltsort zur Neige gehen, stoppen sie die Nahrungsaufnahme und bewegen sich ein Stück weiter. Außerdem werden die Körperteile eines Tams zur Nahrungsaufnahme im Laufe seiner Individualgeschichte an den Stein, auf dem er lebt, angepasst, so dass Tams ihren Aufenthaltsort nicht beliebig wechseln können.

Die entsprechende Targetgeschichte handelte von Robotern, die auf einem Planeten Gesteinsproben sammeln. Auch die Roboter unterbrechen hin und wieder ihre Tätigkeit, allerdings nicht aus „Nahrungsmangel“, sondern aufgrund von Überhitzung des internen Computers. Außerdem spezialisieren sich die Roboter im Laufe ihrer Tätigkeit auf den aktuellen Planeten.

Die Probanden prognostizierten wesentlich häufiger den mit dem gemeinsamen Kausalsystem

verbundenen Fakt, dass der Roboter nicht auf anderen Planeten eingesetzt werden kann, als dass er den Einsatzort nach einer Pause wechselt. (vgl. auch Lassaline, 1996; Markman, 1996; Read, 1984; Spellman & Holyoak, 1996).

Die Erweiterung einer vorhandenen Zuordnung fällt Probanden leichter als das Generieren einer neuen Analogie.

Der letzte Satz eines kurzen Textes wird schneller gelesen, wenn er an die bestehende Metapher anknüpft, als wenn eine neue Metapher aufgebaut wird (Boronat & Gentner, 1996; Gentner & Boronat, 1992). Offenbar sind die Kosten für die Erweiterung einer bestehenden Struktur um ein weiteres Element geringer als für das Errichten einer völlig neuen Struktur.

Der Transfer von Fertigkeiten ist u.a. strukturabhängig.

Wird die Benutzungsoberfläche eines Computerspiels nach erfolgreicher Performanz bei einer simulierten Schiffssteuerung verändert, z.B. zur Steuerung eines Flugsimulators, ist der Transfer zwischen beiden Spielen davon abhängig, wie ähnlich sich beide Steuereinheiten sehen und welche kausalen Erklärungen der Versuchsleiter über zugrunde liegende Prozeduren bei der Steuerung beider Transportmittel gibt (Gentner & Schumacher, 1986; Schumacher & Gentner, 1988).

Dank der Annahme struktureller Dominanz ließe sich theoretisch ein numerischer Index für die Güte einer Analogie erstellen, indem man die gewichtete Anzahl gemeinsamer Relationen im Verhältnis zur gewichteten Anzahl nicht geteilter Relationen ermittelt. Dabei sollten Relationen höherer Ordnung höher gewichtet werden als Relationen niedriger Ordnung und Relationensysteme höher gewichtet werden als einzelne Relationen. In der Praxis scheitert dieser Index daran, dass die Relationen innerhalb der Repräsentationen des Problemlösers nicht erschöpfend darstellbar sind. Entsprechend sind auch die Anzahl und die Abstraktheit der Korrespondenzen nicht erschöpfend quantifizierbar.

Mit der Struktur-Mapping-Theorie wurden wesentliche Grundlagen für das Verständnis analogen Denkens gelegt: Es wurden Prämissen und Direktiven explizit und differenziert formuliert und die Dominanz struktureller Aspekte der beteiligten Repräsentationen für das analoge Schließen deutlich gemacht. Wenn es um die Differenzierung zwischen Struktur und Inhalt geht, empfiehlt es sich, das „Similarity“-Konzept genauer zu betrachten, zum einen weil die Struktur-Mapping-Theorie häufig auf Ähnlichkeitsvergleiche ausgedehnt wird (z.B. Gentner & Markman, 1995, 1997; Markman & Gentner, 1993b; Medin, Goldstone, & Gentner, 1993); zum anderen werden die unterschiedlichen Formen der Ähnlichkeit von verschiedenen Vertretern (z.B. Bassok, 1990; Holyoak & Thagard, 1989, 1995; Novick, 1988; Ross, 1989a; Ross & Kilbane, 1997) mit den Subprozessen analogen Denkens in Verbindung gebracht. Damit ergeben sich neben der Direktive der Struktur die Einflussfaktoren Inhalt und Pragmatik, welche durch die Ansätze von Holyoak und Thagard (1989, 1995) bzw. Ross (1984, 1987, 1989a; Ross & Kennedy, 1990; Ross & Sofka, 1986) ausführlich dargestellt werden.

3. DIE MULTI-CONSTRAINT-THEORIE VON HOLYOAK & THAGARD (1989/95)

Neben dem Einfluss der relationalen Struktur auf die Abbildungsfunktion (Gentner, 1983) existiert eine Reihe anderer potentiell relevanter Faktoren (vgl. Hall, 1989; Thagard, 1988b). Entsprechend erweiterten Holyoak und Thagard (1989/95) Gentners Überlegungen zur strukturellen Dominanz um die Aspekte Pragmatik und Semantik. Unter *Struktur* verstehen sie in Anlehnung an Gentner die interne, relationale Struktur der propositionalen Repräsentation von Basis und Target. Als *Semantik* werden alle nicht-relationalen, inhaltlichen Aspekte der Repräsentationen bezeichnet. Und zur *Pragmatik* gehören alle Aspekte beider Repräsentationen, die mit dem Ziel der Analogie verknüpft sind bzw. zielrelevant sind. Damit begrenzt die pragmatische Direktive die Anzahl potentieller struktureller und semantischer Korrespondenzen.

Außerdem formulieren sie Annahmen zu allen Subprozessen analogen Denkens: Selektion, Mapping, Transfer und eventuell Lernen. Dennoch betrachten sie wie Gentner analoges Schließen von der Abbildungsfunktion aus. Die beschriebenen Untersuchungen beschreiben explanatorische Analogien und Analogien im Rahmen des Problemlösens über Domänengrenzen hinweg. Die Beispiele zur Theorie decken noch viele andere Anwendungsgebiete bzw. Ziele ab: Argumentation, Diplomatie, Emotionen im Gegenüber wecken, Erklärung, Evaluation von Wissen, kognitive Individualentwicklung, Lernen, Planung, Problemlösen, Unterhaltung, wissenschaftliche Entdeckungen und Wissensvermittlung.

Hauptaussage der Multi-Constraint-Theorie ist, dass Struktur, Pragmatik und Semantik als jeweils eigenständige, aber interagierende Direktiven zu einer optimalen Interpretation der Analogie zwischen Basis und Target führen. Holyoak und Thagard (1989) beschreiben analoges Denken als impliziten Prozess, der auf explizite Repräsentationen angewendet wird.

Die drei Einflussfaktoren Struktur, Semantik und Pragmatik sind nicht als starre Anforderung an den Prozess konzipiert, sondern als *Druck* im Sinne Hofstadters (1984), und laufen im Idealfall konform. Anderenfalls muss durch Ausbalancieren der Faktoren eine suboptimale Lösung generiert werden. Dieser Prozess ist vergleichbar mit der Dekoration einer Festtafel, wo Schmuck, Funktion als Esstisch und Versammlungsort sowie räumlichen Gegebenheiten zu einem kohärenten Ganzen zusammenwachsen müssen.

3.1. ABBILDUNGSDIREKTIVEN: STRUKTUR, SEMANTIK & PRAGMATIK

Strukturelle Direktive des Isomorphismus

Bei der Zuordnung beider Repräsentationen werden Korrespondenzen zwischen den Elementen der analogen Basis und den Elementen des Targets aufgebaut. Vergleichbar mit dem Problem des stereoskopischen Sehens (Marr & Poggio, 1976), wo korrespondierende Raumpunkte einander

zugeordnet werden müssen, sind auch hier Direktiven gefragt, die zu einer optimalen Menge von Zuordnungen führen.

Als erste und im Abbildungsprozess dominierende Direktive wurde das Kriterium konsistenter, struktureller Korrespondenzen von Gentner übernommen (Gentner, 1983; Burstein, 1986; Falkenhainer et al., 1986; Gick & Holyoak, 1980, 1983; Hofstadter, 1984; Winston, 1980). Globales Ziel ist ein Maximum an eineindeutigen, parallelen Abbildungen, d.h. maximale Kohärenz. Eineindeutigkeit bedeutet, dass jedem Element des Targets genau ein Element der Basis zugeordnet wird und umgekehrt. Parallele Verbundenheit (Konsistenz) meint hier, dass bei einander zugeordneten Prädikaten beider Repräsentationen auch die zugehörigen Argumente aufeinander abgebildet werden. Die Formalisierung dieser Direktive erfolgt in der Multi-Constraint-Theorie vergleichbar mit Gentner (1983):

Das **Target T** bestehe aus einer geordneten Menge aus Objekten, Beziehungen zwischen diesen Objekten und Beziehungen höherer Ordnung, d.h. Beziehungen zwischen Objektbeziehungen:

$$T = \langle O, R_1, R_2, \dots, R_n \rangle.$$

Die analoge **Basis B** bestehe aus einer vergleichbaren Menge von Objekten und Beziehungen:

$$B = \langle O', R'_1, R'_2, \dots, R'_n \rangle.$$

Die **Abbildungsfunktion m** bilde Objekte der Basis auf Objekte des Targets ab und Beziehungen innerhalb der Basisrepräsentation auf Beziehungen innerhalb des Targets:

$$m: o_i \rightarrow o'_i; R_i \rightarrow R'_i.$$

Die Abbildungsfunktion m führt genau dann zu einem Isomorphismus, wenn für *alle* Elemente eine eineindeutige, parallele Zuordnung gefunden wird:

$$o_i R_k o_j \text{ impliziert } m(o_i) m(R_k) m(o_j) \text{ und umgekehrt.}$$

Da praktisch relevante Analogien nur im Ausnahmefall die Qualität eines vollständigen Isomorphismus erreichen, begnügen sich Holyoak und Thagard (1989) mit einer Approximation des Isomorphismus' (nach Holland et al., 1986; Holyoak & Thagard, 1989). Diese schwächere Maxime wird dem Trade-off zwischen Vollständigkeit der Abbildung und der Anwendbarkeit abgeleiteter Inferenzen gerecht: Bei vollständigem Isomorphismus werden alle Basiselemente auf Targetelementen abgebildet. Es bleiben dann keine Basiselemente übrig, die sich in das Target projizieren lassen. Andererseits ist eine stabile Verbindung zwischen Basis und Target Voraussetzung für eine plausible Projektion von Inferenzkandidaten.

Eine **valide Analogie A** ist ein geordnetes Tripel aus den relationalen Systemen T und S sowie m mit den oben beschriebenen Eigenschaften.

$$A = \langle T, S, m \rangle.$$

Je nach Art der Abbildungsfunktion m ergeben sich unterschiedlich abstrakte Formen der Zuordnung und damit unterschiedlich informative Analogien:

- a) **Attributionales Mapping** bildet zwei Objekte aufeinander ab, z.B. einen grünen Fisch und einen grünen Stein im Aquarium.
- b) **Relationales Mapping** bildet zwei Objektpaare aufeinander ab und führt zu einer etwas informativeren Analogie, z.B.: Ein Gameboy ist kleiner als ein PC und der grüne Stein ist kleiner als der Fisch.
- c) Bei der abstraktesten und zugleich informativsten Form der Analogie werden Relationensysteme innerhalb beider Repräsentationen aufeinander abgebildet (**Systemmapping**): Was für meinen Bruder technisches Spielzeug bedeutet, bedeutet für meine Schwester ihr Aquarium: Beide verbringen mit ihren Hobbies Zeit, informieren sich darüber, finden bei Freunden Beifall u.s.w..

Systemzuordnungen unterscheiden sich von attributionalen Parallelen dadurch, dass neben der globalen Zuordnung zweier Objekte ein Geflecht aus lokalen Korrespondenzen zwischen den Elementen beider Repräsentationen aufgebaut wird. Gentners (1983) relationaler Fokus und Systematikforderung sind laut Holyoak und Thagard (1989) eine Form, Morphismus anzustreben.

Direktive der semantischen Ähnlichkeit

Neben der Tendenz zur strukturell konsistenten Abbildung lässt sich beobachten, dass es Probanden leichter fällt, semantisch ähnliche Entitäten aufeinander abzubilden, als einander unähnliche Objekte (Gentner, Rattermann, & Forbus, 1993; Holyoak & Koh, 1987; Keane, 1988; Ross, 1989a).

Die semantische Nähe zwischen Repräsentationen als Einfluss auf die Abbildungsfunktion lässt sich über die strukturelle Direktive nur unzureichend abdecken. So präsentierte z.B. Halford (1987) Beispiele mit identischer interner Struktur, aber unterschiedlicher semantischer Nähe:

- (a) John ist größer als Bill, und Bill ist größer als Sam.
- (b) Mary ist schwerer als Susan, und Susan ist schwerer als Beth.
- (c) Kommunismus ist radikaler als Sozialismus, und Sozialismus ist radikaler als Kapitalismus.

Als relationales Gefüge ergibt sich:

John : Bill : Sam :: Mary : Susan : Beth :: Kommunismus : Sozialismus : Kapitalismus

Obwohl die interne Struktur in allen drei Kontexten einer ansteigenden Funktion entspricht, werden Personen als untereinander semantisch näher empfunden als Personen und Gesellschaftssysteme. Auch die Adjektive, welche die steigende Funktion ausdrücken, können in ihrer semantischen Nähe zueinander variieren und sollten deshalb als potentiell relevante Faktoren für den Prozess analogen Denkens berücksichtigt werden. Zum Beispiel könnte in (b) Marys politische Überzeugung liberaler

sein als die von Susan und deren Überzeugung liberaler als die von Beth. Dann würden (b) und (c) übertragene Beziehungen darstellen und (a) eine räumliche. Entsprechend müssten die Ähnlichkeitsurteile revidiert werden: (a) und (b)‘ sind einander ähnlicher als (a) und (c); außerdem sind (b)‘ und (c) einander ähnlicher als (a) und (c).

Die Multi-Constraint-Theorie macht keine Annahmen über Natur und Ursprung der Ähnlichkeitsbewertung. Sie sagt nur aus, *dass* Ähnlichkeitswerte – falls vorhanden – die Abbildungsfunktion mit beeinflussen. Als Berechnungsalgorithmen wären die Ansätze von Hesse (1966) bzw. Tversky (1977) denkbar.

Sowohl Gentner (1983) als auch Holyoak und Thagard (1989) diskutieren, ob Semantik und Struktur tatsächlich voneinander unterscheidbar sind. Gentner löst das Problem, dass Attribute, wie „groß“, durch Bezug auf Domänengrenzen relational auflösbar sind: Ein Stern ist innerhalb des Bezugssystems Sonnensystem groß und ist nicht mit einer großen Schnecke vergleichbar. Außerdem betont sie, dass einstellige Prädikate an der psychischen Realität gemessen werden sollten und nicht an formaler Prädikatenlogik.

Für Holyoak und Thagard wäre es prinzipiell denkbar, die Semantik unter die Struktur zu subsumieren, wenn neben identischen Relationen auch gleichartige Relationen im Zuordnungsalgorithmus berücksichtigt werden (z.B. Burstein, 1986). Das entscheidende Argument für die Existenz einer unabhängigen Maxime ist pragmatischer Natur: Struktur und Semantik nehmen unterschiedlich Einfluss auf den Prozess des analogen Denkens: Die Semantik ist bei der Selektion einer passenden Basis relevant, die Struktur dagegen stärker beim Aufbau der Korrespondenzen (z.B. Gentner, 1989; Holyoak & Koh, 1987; Holyoak & Thagard, 1989, 1995; Keane, 1988; Seifert, McKoon, Abelson, & Ratcliff, 1986).

Am besten gelingt die Trennung auf einem bestimmten, per Definition festgelegten Abstraktionsniveau innerhalb der propositionalen Repräsentation: *Auf dieser Ebene* einstellige Prädikate sind per Definition attributional oder semantisch, *auf dieser Ebene* mehrstellige Prädikate sind per Definition relational oder strukturtragende Entitäten.

Direktive der pragmatischen Zentralität

Der Denker verfolgt mit einer Analogie meist ein Ziel, so dass nicht alle Aspekte der beteiligten Repräsentationen relevant sind. Als Gegenstück zur Flexibilität, die durch den strukturellen Fokus gewonnen wurde, sollte aus Gründen der kognitiven Ökonomie die Pragmatik als Filter dienen, welcher relevante Aspekte beider Repräsentationen und deren Korrespondenzen begrenzt. Dafür kann jede Form des Metawissens herangezogen werden, z.B. kausales Wissen (Hesse, 1966; Winston, 1980), High-level-Pläne, Ziele und funktionales Wissen (Anderson & Thompson, 1989; Burstein, 1986; Carbonell, 1983, 1986; Kedar-Cabelli, 1985).

Für die Abbildungsfunktion bedeutet das die Präferenz bestimmter (lokaler) Korrespondenzen,

entweder weil diese Korrespondenzen vom Problemlöser intendiert sind, oder weil eine bestimmte Entität für so zentral gehalten wird, dass für sie eine Zuordnung gefunden werden sollte.

Die Pragmatik ist damit der deutlichste Unterschied zwischen Struktur-Mapping-Theorie und Multi-Constraint-Theorie: Gentner (1983) postuliert pragmatische Einflüsse vor und nach, aber nicht während des Mappings; Holyoak & Thagard (1989, 1995) beschreiben pragmatische Direktiven für alle Subprozesse analogen Denkens, inklusive der Abbildungsfunktion: Das Ziel beeinflusst laut Holyoak und Thagard (1995) die Art der Targetrepräsentation im Arbeitsgedächtnis, welche Basis abgerufen wird, welche Aspekte beider Repräsentationen in Beziehung gesetzt werden und welche Inferenzkandidaten generiert und transferiert werden.

3.2. EMPIRISCHE BEFUNDE FÜR DIE PRAGMATISCHE ZENTRALITÄT

Trotz überzeugender Argumente für den Einfluss zielrelevanter Entitäten liegen wenige entsprechende Befunde vor. Das mag zum Teil daran liegen, dass implizit wirksame Faktoren nur schwer direkt und isoliert nachweisbar sind. Der wichtigste Beleg für die Wirksamkeit des vorgegebenen Ziels stammt von Spellman und Holyoak (1996). Sie legten ihren Probanden zwei relativ verwirrende Seifenopern vor, in denen es an verschiedenen Schauplätzen um Liebe, berufliche Beziehungen und Betrügereien ging. Die Probanden sollten als mutmaßliche Autoren einer dieser Geschichten das Plagiat ihrer Ideen durch die konkurrierende Fernsehserie aufdecken. Dazu sollten sie entweder angeben, welcher Charakter des Konkurrenzprodukts welchem Protagonisten ihrer eigenen Geschichte entspricht (direkte Messung der Zuordnung). Oder sie sollten die Fortsetzung zur „Kopie“ schreiben (indirekte Messung). Das Target (Konkurrenzprodukt) war mehrfach ambig konstruiert, so dass je nachdem, wie Geschlecht, berufliche, romantische und betrügerische Beziehungen gewichtet werden, jeweils unterschiedliche Zuordnungen zustande kommen. In der Instruktion zum Mapping oder zur Fortsetzung wurde entweder eine romantische oder eine berufliche Beziehung als relevant bezeichnet.

Sowohl bei direkter als auch bei indirekter Messung waren die Zuordnungen überwiegend zielkonsistent, d.h. die Probanden, denen gesagt worden war, dass die beruflichen Beziehungen relevant sind, lösten die Ambiguität zugunsten dieser Relationen auf und ordneten die Vorgesetzten, Kollegen und Untergebenen beider Geschichten einander zu, obwohl Geschlecht, Romantik und Betrügereien dann nicht mehr übereinstimmten. Nur fünf Prozent bei indirekter Messung, bzw. zehn Prozent der Probanden bei direkter Zuordnung, konstruierten Parallelen, die nicht instruktionskonform waren. Der relativ schwache Effekt der Zielvorgabe (ca. 40% konform bei indirekter Messung bzw. ca. 25% bei direkter Messung) dürfte auf das komplexe Versuchsmaterial zurückzuführen sein.

Ein weiterer Beleg für die Relevanz von Zielstrukturen stammt von Brown et al. (1986), welche zeigten, dass kleine Kinder besser in der Lage sind, Problemlösungen von einer Geschichte auf die

andere zu übertragen, wenn sie zuvor gebeten worden waren, auf die zielrelevanten Kausalbeziehungen zu achten.

Schließlich lässt sich die oben beschriebene Dissoziation zwischen Semantik und Struktur im Sinne der pragmatischen Zentralitätshypothese interpretieren, wenn man davon ausgeht, dass beide Präferenzen *strategisch* sind. Zum Beispiel könnten der Abruf eines Gedächtnisinhalts sowie die Nutzung eines Gedächtnisinhalts als analoge Basis (vgl. Holyoak & Koh, 1987; Novick, 1988; Reed et al., 1974) unterschiedliche kognitive Ziele darstellen. Diese werden mit jeweils unterschiedlichen Präferenzen optimal und/oder ressourcensparend erreicht. Deshalb bietet es sich an, für den Abruf semantischer Aspekte den Vortritt zu lassen. Und für die Errichtung der Zuordnungsfunktion empfiehlt es sich, auf strukturelle Parallelen zu achten.

Das Gleiche gilt für Ähnlichkeitsurteile mit bzw. ohne Zeitdruck (vgl. Goldstone & Medin, 1994; Ratcliff & McKoon, 1989) und den Novizen-Experten-Shift (vgl. Gentner, 1988, 1992; Gentner & Rattermann, 1991). In allen Fällen könnte das Favorisieren der Semantik ein Mittel der Wahl sein, solange nicht genügend Zeit und Wissen zur Verfügung stehen, um strukturell zu operieren.

4. ROSS' REMINDINGS-THEORIE

Die Einflüsse von Struktur und Pragmatik auf den Prozess analogen Denkens wurden hinreichend durch die Ansätze von Gentner (1983) sowie Holyoak und Thagard (1989, 1995) abgedeckt. Die Rolle der Semantik jedoch geht in der Multi-Constraint-Theorie nicht wesentlich über Gentners Aussagen zur Transparenz (z.B. Gentner & Toupin, 1986) hinaus: Einander ähnliche Repräsentationen werden leichter erinnert, als analog erkannt und führen über Redundanzen mit der Struktur zu einer stabileren Zuordnung. Bei einander inhaltlich, aber nicht strukturell ähnlichen Repräsentationen interferieren die semantischen Bezüge mit den strukturellen Bezügen. Entsprechend empfiehlt es sich bei orthogonaler Kreuzung von Struktur und Semantik, den strukturellen Direktiven beim analogen Schließen den Vorzug zu geben. In vielen Analogien, insbesondere innerhalb einer Domäne und denen von Novizen, existieren jedoch sowohl inhaltliche als auch strukturelle Parallelen, welche gemeinsam zu einer für den Problemlöser optimalen Lösung führen. Auf Fälle dieser Art geht Ross' (1984, 1987, 1989a; Ross & Kennedy, 1990; Ross & Sofka, 1986) Remindings-Theorie ein.

Unter Semantik versteht Ross in Anlehnung an Holyoak (1985) die Menge aller für die Lösungsstruktur irrelevanten Aspekte beider Repräsentationen, d.h. Aspekte, deren Änderung keinen direkten Einfluss auf die Lösung des Problems hätten. Diese Definition der Semantik deckt sich mit der Pragmatikdefinition von Holyoak und Thagard (1989). Problematisch ist neben der Konfundierung von Semantik und Pragmatik, dass nicht jede Änderung eines lösungsrelevanten Aspektes selbst lösungsrelevant sein muss. Zum Beispiel ist die Art der Strahlung in Duncers (1945) Strahlenproblem nicht von Bedeutung. Dass eine Form von Strahlung eingesetzt werden soll, um den Tumor zu zerstören, ist jedoch lösungsrelevant. Als Gegenstück zur Semantik umfasst die Problemstruktur (nach Reeves & Weisberg, 1994) abstrakte oder strukturelle Details, inklusive des Lösungsprinzips. Diese werden in formalen Aufgabendomänen mit Hilfe von Formeln oder Propositionen repräsentiert und für schlecht definierte Probleme als Schemata (Gick & Holyoak, 1980, 1983; Holyoak, 1984, 1985) oder Tiefenstruktur (Gentner, 1983, 1989).

Der zweite Unterschied zwischen der Remindings-Theorie und den oben beschriebenen Theorien ist, dass sie auf das Problemlösen von Novizen eingeht, welche häufig die analoge Basis noch nicht vollständig verstanden haben. In diesen Fällen kommt nicht eine vertraute Strategie bei einem neuen Beispiel zum Einsatz, sondern Basis und Target führen über Zuordnung und Vergleich zu einem tieferen Verständnis der jeweils anderen Repräsentation.

Der dritte Unterschied ist, dass Ross den Prozess analogen Denkens von der Selektion her aufrollt, wobei er zwischen *Noticing* (Bemerkung der Analogie) und *Retrieval* (Abruf der analogen Basis)

differenziert.

Und schließlich ist die Remindings-Theorie nicht allein auf analoges Schließen ausgerichtet, sondern knüpft direkt an Überlegungen zu Textverstehen, Problemlösen, Konzeptualisierung und Expertise-Erwerb an.

Ablaufmodell

Vergleichbar mit Struktur-Mapping-Theorie und Multi-Constraint-Theorie konzipiert Ross (1989b) einen mehrstufigen Problemlöseprozess, der mit der spontanen Erinnerung an ein früheres, vergleichbares Problem beginnt und der Generalisierung als Aufbau einer gemeinsamen Repräsentation für beide Fälle endet. Allerdings stimmen die einzelnen Stufen nicht exakt mit denen der Vorgängermodelle überein:

- a) spontane Erinnerung an ein vergleichbares Problem (Noticing)
- b) (vollständige) Rekonstruktion dieses Problems und seiner Lösung (Ross & Sofka, 1986)
- c) Analogie, inklusive Abbildungsfunktion und Transfer
- d) Generalisierung

Problemlöser denken häufig spontan an frühere Beispiele (z.B. Anderson, Farrell, & Sauers, 1984; Novick, 1988; Pirolli & Anderson, 1985; Reed, Dempster, & Ettinger, 1985; Ross, 1984). Aber nicht immer sind diese analogen Repräsentationen auch vollständig abrufbar. Ross unterteilt deshalb die Selektionsphase in Bemerkten und Abruf. Dadurch ergeben sich zwei potentielle Fehlerquellen: Eine nicht nutzbare Repräsentation wird aktiviert oder eine nutzbare Basis wird nicht aktiviert. Alternativ könnte die Analogie zwar bemerkt werden, ohne vollständig abrufbar oder rekonstruierbar zu sein. Die Analogie-Phase umfasst den zweiten und dritten Schritt der herkömmlichen Theorien, nämlich Mapping und Transfer. Der letzte Schritt der Generalisierung stimmt wieder mit der Multi-Constraint-Theorie überein.

Die Erinnerung an eine analoge Basis definiert Ross (1984) als nicht intendierten Retrieval einer früheren, spezifischen Episode. Welche analoge Basis erinnert wird, hängt von der Ähnlichkeit zwischen Target und Basis relativ zu anderen potentiellen Basisrepräsentationen ab („short cut“-mapping). Deshalb bewirkt die Selektivität des Abrufs nicht eine optimale Ausnutzung vorhandener Ressourcen, sondern ein salienzgeleitetes, inkrementelles Mapping, welches erst mit zunehmender Expertise optimiert wird. Anschließend muss die Basis in den Arbeitsspeicher geladen werden, wobei verschiedene Abrufstrategien zum Einsatz kommen, inklusive der Rekonstruktion anhand der Targetinformationen, „memory-probing“ und Inferenzen. Die Zuordnung beider Repräsentationen zueinander schafft wie bei den anderen Ansätzen eine Korrespondenz zwischen gleichartigen Entitäten, kann aber in beide Richtungen erfolgen.

Bemerkenswert ist, dass das Mapping bereits einsetzt, *bevor* die Repräsentationen von Basis und Target vollständig aufgebaut wurden (Ross & Bradshaw, 1994). Die Repräsentationen des analogen Paares sind hier im Gegensatz zu den oben beschriebenen Theorien nicht voneinander unabhängig, sondern interagieren miteinander: Von der Basis werden bevorzugt Aspekte aktiviert, welche für das Target nutzbar sind, und der anschließend gelesene Text mit der Targetbeschreibung wird im Sinne der Basis interpretiert. In Anlehnung an schemabasierte Textverstehensmodelle bzw. Modelle, die den Einfluss des Vorwissens berücksichtigen (Lebowitz, 1983; Riesbeck, 1981; Schank, 1980a, 1980b, 1982), ist außerdem anzunehmen, dass der Problemlöser aktiv nach Informationen in der Targetbeschreibung sucht, welche in die Leerstellen des Basisschemas passen. Selektion, insbesondere der Abruf (retrieval), und Mapping sind also untrennbar verknüpft (Ross & Sofka, 1986).

Für den Transfer sind alle Aspekte relevant, die in die Interpretation abstrakter Informationen involviert sind. Es werden zwei Varianten für die Nutzung einer Basis vorgeschlagen: Entweder wird mit Hilfe eines bekannten Beispiels ein neues Beispiel bewältigt. Dann werden aus den aufgebauten Korrespondenzen Inferenzen aus den freien Leerstellen des Basiskonzepts mit Unterstützung semantischer Hinweise der Basisinhalte generiert. Diese werden dann für das Target umgesetzt, wie es bei Gentner (1983) vorgesehen ist. Alternativ wird das Basisbeispiel zur Implementierung eines abstrakten Prinzips herangezogen und illustriert, wie Objekte und Variablen verknüpft werden. Die Möglichkeit, dass die Basis nur herangezogen wird, um das zugrundeliegende Prinzip zu aktivieren („principle-cueing“), weist Ross zurück, weil seine Probanden selbst bei vorgegebener Formel die Objektkorrespondenzen der Beispielaufgaben nutzten, um Wahrscheinlichkeitsaufgaben zu lösen (Ross, 1987, 1989a).

Schließlich ergibt sich aus dem Vergleich beider Repräsentationen ein gemeinsames Konzept, das unter anderem Informationen über den Problemtyp beinhaltet, die Selektion bei und die Lösung von späteren Problemen beeinflusst und so sukzessive den Semantik-Struktur-Shift beim Expertise-Erwerb bewirkt. Die Generalisierung ist strategisch durch den expliziten Gebrauch einer Analogie, d.h., sie läuft nicht automatisch ab, ergibt sich aber direkt aus dem Vergleichsprozess. Damit ist sie kein separater Prozess, sondern Teil des analogen Denkens. Die Generalisierung setzt die Fähigkeit zur nachträglichen Neuinterpretation („hindsight“) voraus und ist konservativ, d.h., sie bewahrt Details der Beispiele. Das resultierende Konzept ist oft weniger allgemein und abstrakt als die zugrunde liegende Problemstruktur. Es kann z.B. eine teilweise dekontextualisierte Episode oder Kombination von Episoden darstellen.

Rolle der Semantik

In der Remindings-Theorie spielt die Semantik eine, wenn nicht sogar *die* Hauptrolle: „...Oberflächendetails von Problemen spielen eine entscheidende Rolle, nicht nur während des Abrufs, sondern auch bei der Zuweisung der Objektkorrespondenzen während des analogen Transfers, selbst in Experimenten, in denen das abstrakte Lösungsprinzip explizit dargeboten wurde (Ross, 1989).“⁴ (Reeves & Weisberg, 1994, S.394)

Diese Aussage wird durch verschiedene Befunde gestützt: Einige Arten der Oberflächenähnlichkeit beeinflussen den Prozess analogen Schließens über den Abruf der Basis hinaus während des Mappings (Bassok, 1990; Bassok & Holyoak, 1989; Bassok et al., 1995; Gentner & Toupin, 1986; Novick & Holyoak, 1991; Ross, 1987, 1989a), z.B. die Transparenz von Objektkorrespondenzen während der Zuordnungsfunktion (Gentner & Toupin, 1986), selbst bei vorgegebener Formel (Ross, 1987, 1989a). Außerdem spricht der allmähliche Wechsel der Dominanz von Semantik zu Struktur beim analogen Schließen im Laufe der Individualentwicklung und des Expertise-Erwerbs (vgl. Gentner, 1988, 1992; Gentner & Rattermann, 1991) zumindest bei Anfängern für den Einfluss der Semantik. So bewältigten Probanden, welche den Umgang mit großen Zahlen übten, in der ersten Sitzung Aufgaben aus einer inhaltlichen Domäne genau so gut wie Aufgaben aus unterschiedlichen Domänen, zeigten aber nach zwei Wochen Pause innerhalb der Domäne, aus der die Übungsbeispiele stammten, bessere Leistungen (Fong & Nisbett, 1991; vgl. auch Bassok & Holyoak, 1989). Schließlich waren bei Cheng et al. (1986) weder die abstrakte Regel allein noch Anwendungsbeispiele allein effizient, um deduktives Schließen zu vermitteln. Die Leistungen der Probanden waren maximal, wenn sie anhand von Regeln *und* Beispielen gelernt hatten (auch Fong et al., 1986).

Ross unterscheidet innerhalb der Semantik zwischen der „*story line*“ und den *Objektkorrespondenzen*. Zur *story line* gehören einerseits die inhaltliche Domäne als übergeordnete Klassifikation des Probleminhalts, welche oft auf den genannten Oberflächenelementen basiert, und andererseits die Oberflächenelemente selbst, d.h. die verwendeten Akteure, Objekte und Orte sowie Attribute. Diese Gruppe umfasst die herkömmlichen semantischen Entitäten und deckt sich mit den Semantikdefinitionen von Gentner (1983) sowie Holyoak und Thagard (1989). Die Objektkorrespondenzen beschreiben, wie die einzelnen Entitäten mit den Variablen der Problemstruktur verknüpft sind, und bilden somit Relationen erster bzw. niederer Ordnung (Gentner, 1983) ab.

⁴ “These findings indicate that surface details of problems play a critical role not only in retrieval processes but in the assignment of object correspondences during analogical transfer, even in experiments in which an abstract solution principle is explicitly provided (Ross, 1989).”

Bassok, Wu & Olseth (1995) nennen in Anlehnung an Ross (1987, 1989; Ross & Bradshaw, 1994) zwei Varianten der semantischen Einflussnahme auf den Prozess analogen Denkens, als *Abrufhilfe* für eine potentielle analoge Basis bzw. als inhaltsgebundene *Interpretation* der zugrundeliegenden Struktur.

Gedächtnishypothese: Inhalt als Abrufhilfe

In allen Theorien zum analogen Denken spielt die Semantik eine Rolle beim Gedächtnisabruf der potentiellen analogen Basis (Gentner & Landers, 1985; Holyoak, 1985; Holyoak & Koh, 1987; Ross, 1984, 1987, 1989a). Im Minimum (Struktur-Mapping-Theorie und Multi-Constraint-Theorie) wird von eliminativer Abstraktion bei der Konzeptualisierung von Problemen ausgegangen. Dann wird die Hilfe semantischer Parallelen beim Abruf mit semantischen Assoziationen erklärt, welche über (noch) nicht gelöschte Details der Konzepte aufgebaut werden und den Abruf der strukturellen Information begünstigen. Andererseits können inhaltliche Parallelen strukturell nicht analoger Repräsentationen den Transfer behindern (Novick, 1988).

Ross (vgl. Reeves & Weisberg, 1994) geht hingegen von einer konservativen Induktion aus. Für ihn sind Inhalt und Struktur untrennbar verknüpft (siehe Interpretationshypothese). Diese Allianz drückt sich unter anderem in einer hohen empirischen Korrelation zwischen Details der Aufgabenstellung und dem zu verwendenden Lösungsalgorithmus in vielen Aufgabendomänen aus (z.B. Lewis & Anderson, 1985; Mayer, 1981, 1982). Da der inhaltliche Rahmen oft *vor* der ersten strukturellen Information genannt wird, erscheint es sinnvoll, das entsprechende Konzept so früh als möglich zu aktivieren, um nachfolgende Informationen zuzuordnen. Entsprechend klassifizierten College-Studenten Sachaufgaben schon nach wenigen Worten korrekt, und zwar *bevor* die erste lösungsrelevante Vokabel genannt wurde (Hinsley, Hayes, & Simon, 1977; Simon & Hayes, 1976). Dazu passt auch, dass Novizen bei der Einordnung der aktuellen Aufgabe stärker für Oberflächeneigenschaften anfällig sind als Experten und gute Problemlöser, welche Aufgaben anhand der zugrunde liegenden Aufgabenstruktur gruppieren (Adelson, 1981, 1984; Chi, Feltovich, & Glaser, 1981; Kay & Black, 1985; Ross, 1987, 1989a; Schiano, Cooper, & Glaser, 1984; Schoenfeld & Herrmann, 1982; Silver, 1979, 1981), sowie der Befund von Novick (1988), dass Experten zunächst auf einen atypischen Aufgabeninhalt „hereinfallen“, aber ihre Konzeptualisierung schneller korrigieren als Novizen.

Die möglichst frühe Klassifikation der zu bearbeitenden Aufgabe ermöglicht außerdem eine Relevanzbestimmung für nachfolgende Details des Targets.

Interpretationshypothese: Schlüssel zum Verständnis der Struktur

Noch wichtiger als die Unterstützung beim Abruf struktureller Informationen durch semantische Details ist, dass, ausgehend von einer konservativen Generalisierung nach Ross (vgl. Reeves & Weisberg, 1994), Struktur und Semantik untrennbar verknüpft sind: „...die Anwendung eines schematischen Prinzips ist untrennbar an die Beispiele gebunden, von denen es abgeleitet wurde.“⁵ (Reeves & Weisberg, 1994, S.388)

Diese Verknüpfung lässt sich im Minimalfall als empirische Korrelation zwischen inhaltlichen Details und Aufgabenstruktur zum Abruf strukturellen Wissens nutzen. Darüber hinaus scheint plausibel, dass die abstrakte Struktur beim Lernen inhaltlich interpretiert wird und beim Abruf mit Hilfe einer analogen Basis in die konkrete Targetsituation instantiiert wird. Schließlich kann formales Wissen bereitgestellt werden, um die Realität zu modellieren (Bassok, Chase, & Martin, 1998).

Dafür spricht, dass es Probanden oft schwer fällt, abstrakte Strukturen ohne inhaltlichen Bezug zu erwerben (Anderson, Farrell, & Sauers, 1984; Charney & Reder, 1986; Cheng et al., 1986; Fong et al., 1986; LeFevre & Dixon, 1986; Novick, 1988; Sweller & Cooper, 1985). Auch bei Ross und Kilbane (1997) war die Performanz der Probanden bei neuen Anwendungsaufgaben nach zuvor abstrakt vorgestellten Prinzipien inklusive anschließendem Einführungsbeispiel schlecht, solange nicht ein Hinweis auf die Nutzbarkeit des Beispiels gegeben wurde (Ross & Kennedy, 1990) oder inhaltliche Parallelen zwischen Aufgabe und Beispiel bestanden (Ross, 1984). Reeves & Weisberg (1994, S.387) formulieren deshalb in Anlehnung an die Remindings-Theorie: „Jede abstrakte Information, die aus einer analogen Basis abgeleitet wurde, ist an spezifische Informationen über diese Analogie gebunden, und abstrakte Informationen werden nur in dem Umfang verstanden und angewendet, den das Beispiel illustriert.“⁶

Bassok, Wu und Olseth (1995) illustrieren die Interpretationshypothese folgendermaßen: Beim Lernen von Wahrscheinlichkeitsgesetzen zu Permutationsaufgaben erwerben Studenten nicht die abstrakte, asymmetrische Zuordnung zweier Mengen zueinander, sondern sie interpretieren diese im Sinne vertrauter inhaltlicher Muster: Bei der Zuordnung von Personen zweier Gruppen zueinander, z.B. den Ärzten zweier Städte zu Kooperationszwecken, interpretierten ihre Probanden die Zuordnungsfunktion im Sinne einer *Paarstruktur*, welche nicht zwischen der Menge zugeordneter Entitäten und der Menge, welcher zugeordnet wird, differenziert. Dieser Mangel war bei nachfolgenden Aufgaben selbst dann nicht zu kompensieren, wenn diese von den Zuordnungen zweier Personengruppen handelten.

⁵ „...the application of a schematic principle is integrally bound with the exemplars from which it was induced.”

⁶ „Whatever abstract information has been induced from a base analogue is bound to specific information about that analogue, and abstract information is understood and used only insofar as it is illustrated within a problem exemplar.“

Wurden hingegen im Einführungsbeispiel Personen und Objekte zueinander in Beziehung gebracht, interpretierten die Probanden die Personen als Empfangende und die Objekte als zu verteilende Entitäten. Zum Beispiel könnten Computer auf Wissenschaftler oder Autos auf Mechaniker verteilt werden. Solange diese inhaltliche Empfangsstruktur („Erhalten-Struktur“) mit den Variablen der abstrakten Struktur übereinstimmte, fiel es den Studenten leicht, die Formel korrekt anzuwenden. Sollten hingegen Personen auf Objekte verteilt werden, z.B. Mechaniker auf Autos oder Wissenschaftler auf Computer, war die Performanz der Probanden noch schlechter als die Leistungen der Studenten mit Paarstruktur (Bassok, Wu, & Olseth, 1995). Selbst die Probanden, welche die Formel im Experiment nicht korrekt reproduzierten, orientierten sich bei der Konstruktion ihrer (falschen) Formeln an den vorgegebenen inhaltlichen Beziehungen. In deutschsprachigen Statistiklehrbüchern (z.B. Bortz, 1993; Clauß & Ebner, 1985; Müller-Fonfara & Scholl, 1992) existieren neben der Illustration von Zuordnungen auch Beispiele für Permutation, welche die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Teilmengen behandeln, insbesondere im Zusammenhang mit Glücksspielen. Entsprechend wären bei mit diesen Materialien unterrichteten Studenten andersartige Inhaltseffekte zu erwarten. Dennoch greift der Einwand von Bassok et al. (1995), anstelle der abstrakten Problemstruktur besser die vom Lerner *interpretierte* Problemstruktur für den Prozess analogen Schließens zugrunde zu legen.

Außerdem füllen Novizen Verständnislücken bezüglich der Struktur mit Semantik auf und können oft nicht zwischen Inhalt und Struktur differenzieren (Holyoak, 1985; Holyoak & Koh, 1987). Auch bei Experten ist es nicht immer sinnvoll, ausschließlich auf abstrahiertes Wissen zurückzugreifen (vgl. Ross, 1989), da die Implementierung in der konkreten Problemlösesituation unter Umständen aufwendiger ist, als auf ein situationsspezifisches, aber lauffähiges Skript zurückzugreifen. Ross plädiert deshalb dafür, Wissen zu einem Thema auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus anzulegen.

Blessing und Ross (1996) konnten zeigen, dass selbst die Performanz von Experten von der empirischen Korrelation zwischen Struktur und Semantik abhängt: Bei typischen Aufgabenthemen waren ihre Leistungen höher als bei neutralen Themen und dort höher als bei für andere Aufgaben typischen Konstellationen.

Wenn nun Inhalt und Struktur untrennbar verknüpft sind, sollte sich dieses außer zur Klassifikation von Aufgaben anhand inhaltlicher Indizien (siehe oben) auch zur Instantiierung von abstraktem Wissen in der Targetsituation mit der Orientierungshilfe alter Beispiele nutzen lassen,

- um Details der Methode zu erinnern, und
- um eine Regel auf diesen konkreten Fall anzuwenden, indem die Objektkorrespondenzen vorangegangener Beispiele herangezogen werden.

Außerdem sollte es im Laufe des Expertise-Erwerbs möglich sein,

- alte Anwendungsbeispiele mit Hilfe neu erworbenen strukturellen Wissens umzuinterpretieren.

Episodisches Wissen ist oft redundant, so dass es wahrscheinlicher ist, dass Details der Problemstruktur abgerufen werden können als bei abstrakt erworbenem Wissen. Wenn die Problemstruktur, z.B. in Form einer Formel, verfügbar ist, kann eine vorangegangene Episode als Muster verwendet werden, um Variablen und Objekte zu verknüpfen. Das bietet sich insbesondere dann an, wenn die Struktur nicht vollständig und erschöpfend verstanden wurde: „...es [das Beispiel] kann einen Teilaspekt des Problems hervorheben und dem Lerner helfen zu verstehen, wie dieser Aspekt mit der Lösung verknüpft ist.“⁷ (Ross & Kilbane, 1997, S.429)

Und schließlich kann das Target als neues Beispiel für die Problemstruktur und das neu hinzugewonnene strukturelle Wissen genutzt werden, um alte Beispiele umzuinterpretieren (hindsight).

Die Allianz aus Inhalt und Struktur erklärt die pragmatisch orientierte Semantikdefinition. Eine Differenzierung zwischen Repräsentations- und Problemstruktur erscheint hier nicht notwendig, da beide aufgrund der Betonung pragmatischer Aspekte bei Aufbau der Target- und Basisrepräsentation zusammenfallen dürften.

Allerdings benötigt man dann zusätzliche Kriterien zur Differenzierung innerhalb der Semantik, um zwischen lösungs- und transferrelevanten Aspekten und irrelevanten Details zu diskriminieren. Ross (1989) nennt deshalb *Salienz* (bzw. relative Ähnlichkeit) und *Prognosewert* als Anhaltspunkte. Eigenschaften einer Repräsentation, die für diese Repräsentation relativ zu anderen potentiellen Basisrepräsentationen prominent sind, erhöhen die Wahrscheinlichkeit des Abrufs, insbesondere des Bemerkens der Analogie. Als Kriterium für eine erfolgreiche Rekonstruktion der Basis und Transfer relevanten Wissens auf das Target (Gebrauch der Analogie) führt Ross den Prognosewert der empirischen Korrelation für den anschließenden Transfer ein. Besteht eine hohe Korrelation zwischen den verwendeten Entitäten und der zugrunde liegenden Struktur, kann man aus dem Inhalt relativ zuverlässig auf die Struktur schließen, dann ist die salienzgeleitete Analogie erfolgreich. Ist das gemeinsame Auftreten von Details und Struktur eher selten, ist die Wahrscheinlichkeit gering, im konkreten Fall vom Inhalt auf die Struktur schließen zu können. Erfolg oder Misserfolg der Analogie sollten anschließend auf die Salienz der herangezogenen Details zurückwirken und sich auf künftige analoge Schlüsse auswirken.

⁷ „... it may highlight a particular aspect of the problem and may help the learner to understand how this aspect is related to the solution.“

4.1. EMPIRISCHE BELEGE FÜR DEN EINFLUSS DER SEMANTIK

Ross' Untersuchungen (Blessing & Ross, 1996; Ross, 1984, 1987, 1989; Ross & Bradshaw, 1994; Ross & Kilbane, 1997) befassen sich überwiegend mit der Wirksamkeit von „Story line“ und Objektkorrespondenzen auf die einzelnen Subprozesse analogen Schließens beim Anwenden von Wahrscheinlichkeitsgesetzen. In dieser Domäne lässt sich gut zwischen dem Abruf und Gebrauch des Wissens differenzieren, indem entweder die anzuwendende Formel vorgegeben wird (Gebrauch) oder erinnert werden muss (Abruf). Außerdem sind Objektkorrespondenzen und „Story line“ systematisch variierbar. Bei Übereinstimmung der „Story line“ handelten Target und Basis z.B. von der Zuordnung von Mechanikern zu den zu wartenden Autos von Firmenangehörigen. Bei einem neutralen Setting handelte das Target stattdessen von Lehrern, welche die Athletikmannschaften ihrer Schule betreuen. Im Fall nicht übereinstimmender „story line“ handelte das Target von einem Thema, das bereits mit einem anderen Gesetz verknüpft war, z.B. von einem Arzt, welcher Risikoabschätzungen für verschiedene Lebensstile seiner Patienten vornimmt. Die Manipulation der Objektkorrespondenzen erfolgte unabhängig vom spezifischen Inhalt des Targets: Im Mechanikerbeispiel wählten bei übereinstimmenden Korrespondenzen Menschen Objekte aus (Mechaniker wählen Autos). Bei entgegengesetzten Korrespondenzen war das Verhältnis umgekehrt: Die Autobesitzer wählen je einen Mechaniker aus, dem sie ihre Autos überlassen. In der neutralen Bedingung wurde auf die ungerichtete Paarstruktur zurückgegriffen.⁸

Als Ergebnisse der Experimentalserien lässt sich zusammenfassen, dass die „Story line“ Einfluss auf den Abruf der Basis hat (Ross, 1987), aber nur dann, wenn das zugrunde liegende Prinzip mit anderen verwechselbar ist, z.B. bei ähnlich beschriebenen Regeln für Variation und Kombination. Auf die Anwendung (Ross, 1987, 1989) hingegen hat die „story line“ keinen Einfluss, nicht einmal in Interaktion mit den Objektkorrespondenzen (Ross, 1989). Diese beeinflussen wiederum die Anwendung des Basiswissens (Ross, 1987, 1989), aber nicht den Abruf (Ross, 1989).

Außerdem ist entscheidend, ob das zugrunde liegende Prinzip in das Beispiel eingebettet (z.B. Gick & Holyoak, 1980, 1983) oder separat vermittelt wurde (Ross, 1984; Ross & Kennedy, 1990), weil die Darbietungsmethode mit dem Einfluss der Oberflächenähnlichkeit interagiert (Ross & Kilbane, 1997). Bei separater Erklärung des Prinzips sind entgegengesetzte Objektkorrespondenzen für die Bearbeitung eines neuen Beispiels wenig hinderlich, es sei denn, es werden dieselben Objekte verwendet wie im Einführungsbeispiel. Dann ist die Performanz nur gewährleistet, wenn sich beide Beispiele allein in diesem einen Aspekt der Objektkorrespondenzen unterscheiden („near miss“,

⁸ Die oben beschriebenen Beispiele wurden teilweise nachempfunden, da die Befunde über mehrere Publikationen verteilt waren und jeweils unterschiedliche Settings für die Aufgaben verwenden.

vgl. Bransford, Franks, Vye, & Sherwood, 1989; Gick & Peterson, 1992; VanderStoep & Seifert, 1993). In diesem Fall kann der Problemlöser den Unterschied einordnen, da er salient ist. Außerdem sind für die Bewältigung von neuen Aufgaben zu separat dargebotenen Prinzipien ein Hinweis (Ross & Kennedy, 1990) oder inhaltliche Parallelen („Story line“; Ross, 1984) notwendig, um das Einführungsbeispiel als analoge Basis zu erkennen. Bei in das Einführungsbeispiel eingebettetem Prinzip ist das Verständnis der Problemstruktur an das Beispiel gebunden, so dass die oben beschriebenen Effekte von Objektkorrespondenzen und „Story line“ gelten.

Neben der Darbietungsart ist für die spätere Anwendbarkeit relevant, ob beim ersten Anwendungsbeispiel ein Hinweis auf die Analogie zum Einführungsbeispiel gegeben wurde (Ross & Kennedy, 1990). Kann die Analogie zwischen diesen Beispielen hergestellt werden, fördert sie bei späteren Aufgaben Abruf und Anwendung und kann entgegengesetzten Objektkorrespondenzen wenigstens teilweise entgegenwirken.

Weitere Befunde

Neben den Untersuchungen von Ross stützen die Befunde von Bassok et al. (Bassok, 1990; Bassok, Chase, & Martin, 1998; Bassok & Holyoak, 1985; Bassok & Olseth, 1995; Bassok, Wu, & Olseth, 1995) die Annahmen zur Wirksamkeit inhaltlicher Bezüge, insbesondere im Zusammenhang mit der Interpretationshypothese. Ähnlich wie bei der im Sinne einer „Bekommen“- oder Paar-Zuordnung interpretierten Struktur von Permutationsaufgaben (Bassok, Wu, & Olseth, 1995; Ross, 1984, 1987, 1989; Ross & Kilbane, 1997) deuten Studenten Aufgaben zu Exponentialfunktionen je nach inhaltlichen Bezügen auf zweierlei Weise: Entweder werden Exponentialfunktionen auf kontinuierlich wachsende Größen angewendet, z.B. Beschleunigung, Wachstum oder Niederschlag. Dabei wird das Wachstum üblicherweise in Raten innerhalb kleiner Zeitintervalle beschrieben. Oder es wird das kontinuierliche Wachstum von sich diskret ändernden Variablen mit einer Exponentialfunktion beschrieben, z.B. Zinserträge auf dem Sparbuch, Lohnerhöhungen, der Lernerfolg bei der Automatisierung von Fertigkeiten. Dort wird Zuwachs in Beträgen über lange Zeitintervalle hinweg angegeben. In verschiedenen Experimenten waren Schüler und Studenten zwar in der Lage, im Mathematikunterricht erworbenes Wissen über Exponentialaufgaben auf strukturell isomorphe Aufgaben im Physikunterricht zu übertragen, jedoch nicht umgekehrt. Wenn der Transfer zu Matheaufgaben im Ausnahmefall gelang, dann waren meist inhaltliche Parallelen zu verzeichnen, z.B. zwischen Beschleunigung in der Physikaufgabe und Wachstum in der Matheaufgabe, und die Zuordnung war wesentlich aufwendiger als von Mathe zu Physik (Bassok & Holyoak, 1985, 1993; Bassok, 1990; Bassok & Olseth, 1995). Ursprünglich wurde die Asymmetrie als Effekt der unterschiedlichen Lehrstoffvermittlung in beiden Fächern erklärt. Bei genauerer Analyse zeigte sich jedoch, dass die Objektkorrespondenzen dafür verantwortlich sind: Die Probanden können zwar von diskreten Ereignissen auf kontinuierliche Ereignisse schließen, jedoch

nicht umgekehrt. Gleichzeitig entspricht dieses Vorgehen der zeitlichen Folge von Lehrstoffvermittlung im Mathematik- und Statistikerunterricht, wo von der Differenzenrechnung zur Differentialrechnung übergegangen wird (z.B. Bussmann & Wenzelburger, 1977; van Briel et al., 1985) oder von der Binominalverteilung zur Normalverteilung (z.B. Bortz, 1993), jedoch nicht umgekehrt.

Damit beeinflussen inhaltliche Relationen, z.B. ob die konstant wachsende Größe kontinuierlich oder diskret zunimmt bzw. intensiv oder extensiv ist, wie bei den Permutationsaufgaben, wie die zugrunde liegende, abstrakte Struktur interpretiert wird (vgl. auch Cheng & Holyoak, 1985, zum deduktiven Schließen).

Diese Verschränkung zwischen Struktur und Inhalt ist auch in der anderen Richtung wirksam und *erzeugt* die empirische Korrelation bei der Konstruktion von Sachaufgaben: Bassok, Chase und Martin (1998; Bassok, 1993) baten ihre Probanden, Sachaufgaben zu den Grundrechenarten zu entwerfen und gaben dazu jeweils einige Objekte vor. Dabei zeigte sich, dass gute Schüler und Lehrbuchautoren die inhaltlichen Relationen selbst dann bewahren, wenn sie deshalb kompliziertere Aufgaben konstruieren mussten. Zum Beispiel wurden Aufgaben konstruiert, in denen Äpfel und Orangen zu addieren waren, aber keine Aufgaben, die Äpfel und Körbe zusammenfassten. In Additionsaufgaben zu Äpfeln und Körben wurden bevorzugt die Äpfel in mehreren Körben zusammengefasst. Selbst die Schüler mit schlechten Leistungen in Mathematik tendierten dazu, die inhaltlichen Relationen zu bewahren, waren jedoch nicht bereit, dafür eine komplexere Aufgabenstruktur in Kauf zu nehmen und konstruierten im Zweifelsfall inhaltlich sinnlose Aufgaben. Sie würden also Äpfel und Körbe addieren, allerdings nur, um komplizierte Rechnungen zu vermeiden. Das bedeutet, dass die Konstrukteure meistens inhaltliche symmetrische Beziehung zwischen mehreren Obstsorten in die symmetrische Beziehung zwischen den Summanden überführten. Bei der asymmetrischen Beziehung zwischen Divisor und Dividend wurden hingegen bevorzugt asymmetrische inhaltliche Beziehungen herangezogen: Äpfel wurden auf Körbe aufgeteilt, aber nicht umgekehrt. Es wurden auch keine Äpfel auf Orangen verteilt, sondern Äpfel und Orangen auf Körbe.

In beiden Richtungen führt die Koinzidenz von Struktur und Inhalt zur sensiblen Applikation abstrakten Wissens: „In den meisten Fällen lösen Menschen keine Probleme aus Zeichentricks-geschichten, in denen Mäuse Katzen fangen und Füchse fliegen, und in den meisten Fällen glauben sie zu Recht, dass jene, welche ihnen eine Aufgabe präsentieren, versuchen, informativ zu sein und nicht irreführend (z.B. Grice, 1975), und löschen deshalb nicht die Korrelationen zwischen Inhalt und Struktur.“⁹ (Bassok, Wu, & Olseth, 1995, S. 365)

⁹ „That is, in most cases people do not have to reason about animated stories in which mice can chase cats and foxes can fly, and in most cases people are justified in believing that those who present them with problem exemplars attempt to be informative rather than misleading (e.g., Grice, 1975) and therefore do not “undo” the correlations between content and structure.”

Das resultierende Problem ist, dass, solange Struktur und Inhalt konform gehen, strukturelle Effekte den Einfluss der Semantik maskieren, was eine Überprüfung bisheriger Befunde, welche als Beleg der strukturellen Dominanz galten, nahe legt. Außerdem ist es oft schwer, zwischen Inhalt und Struktur zu trennen, z.B. bei den von Bassok et al. verwendeten Exponentialfunktionen. Dort könnte sich hinter der inhaltlichen kontinuierlich-diskret-Unterscheidung je nach verwendetem Modell auch ein abstrakter, struktureller Unterschied verbergen.

Als Fazit ergibt sich aus den Überlegungen und Befunden der Remindings-Theorie, dass der Einfluss der Semantik auf analoges Denken sehr komplex ist, dass die Semantik weiter differenziert werden muss, wozu sich zum Beispiel die Differenzierungen innerhalb der Similarity-Debatte anbieten, und dass die Interaktion der Semantik mit der Struktur auf mehreren Ebenen stattfindet.

Insgesamt ist mit den drei Ansätzen zum analogen Schließen ein Ausgangspunkt für das Verständnis visueller Analogien als mehrstufigen Prozess, auf den Struktur, Pragmatik und Semantik Einfluss nehmen, gelegt. Im folgenden ist zu klären, wie sich diese Ansätze auf visuelle Repräsentationen übertragen lassen, welche Befunde bereits vorliegen, und wie sich daraus die Frage nach dem Einfluss der visuellen Oberfläche auf den Prozess analogen Schließens mit bildhaftem Material ableiten lässt.

5. VISUELLE ANALOGIEN

Unter einer visuellen Analogie sei im Folgenden die erstmalige Abbildung zweier mentaler Repräsentationen aufeinander verstanden, die mit dem Ziel des Wissenstransfers erfolgt, und bei der mindestens eine der beiden Repräsentationen visuelle Anteile aufweist. Die Frage nach der Repräsentationsart soll dabei in Anlehnung an Holyoak und Thagard (1995) offen gelassen werden. Diese relativ weite Definition wurde gewählt, um angesichts der geringen theoretischen Fundierung dem Problemlösen mit bildhaftem Material gerecht zu werden, solange dieser Prozess sich mit den Theorien zum analogen Denken beschreiben lässt.

Sowohl die Struktur-Mapping-Theorie (Gentner, 1989) als auch die Multi-Constraint-Theorie (Holyoak & Thagard, 1989, 1995) machen zum Thema "Visuelle Analogien" sehr wenige Aussagen, obwohl viele der angeführten Beispiele (z.B. Gentner, 1983; Holyoak & Thagard, 1995) visuelle Anteile haben. Holyoak und Thagard (1995) verstehen analoges Denken als impliziten Prozess, der auf explizite Repräsentationen angewendet wird. Diese Repräsentationen beschreiben sie in Anlehnung an Gentner bevorzugt symbolisch, d.h. propositional, können sich jedoch auch jede andere Form der Repräsentation vorstellen, solange die Direktiven Struktur, Pragmatik und Semantik darauf anwendbar sind. Degre Gentner (1983) postuliert in ihrer Theorie propositionale Repräsentationen, bezieht jedoch visuelle Stimuli in die Untersuchungen zu Vergleich und Ähnlichkeit (Medin, Goldstone, & Gentner, 1993; Markman & Gentner, 1993b) mit ein und belegt – vergleichbar mit verbalem Material – die Vorherrschaft struktureller Einflüsse auf die Abbildungsfunktion. Ross äußert sich in seiner Remindings-Theorie überhaupt nicht zu visuellen Analogien. Seine Beschreibung des Ablaufs knüpft direkt an Modelle zum Textverstehen an, jedoch nicht an die Interpretation schematisch oder diagrammatisch dargebotener Informationen. Vermutlich orientierte er sich dabei an seinem verbal präsentierten Material zu den Wahrscheinlichkeitsgesetzen. In dieser Domäne wären allerdings auch schematische Abbildungen als Veranschaulichungen der Mengenbeziehungen denkbar.

Damit kann man visuelle Analogien im Rahmen der oben beschriebenen Theorien nur als Sonderfall textbasierten Problemlösens betrachten und hoffen, dass die dort getroffenen Aussagen sich auch auf diese Form des Schließens übertragen lassen.

Dagegen wird häufig die Bedeutung von Abbildung bei der Wissensvermittlung und beim Problemlösen, insbesondere bei räumlichen Problemen, (z.B. Beck, 1978; Chafe, 1976; Dreistadt, 1969; Kintsch, 1974; Kosslyn, 1975; Kosslyn & Pomerantz, 1977; Norman & Rumelhart, 1975; Palmer, 1976) betont. Bilder haben gegenüber Texten dreierlei Vorteile, vorausgesetzt der Leser ist in der Lage, die entsprechende Information auch auszulesen. Zum einen ergeben sich Chancen aus

der räumlichen Struktur von Abbildungen, zum anderen zeichnen sich visuell dargestellte Informationen durch die Reduktion, Konkretisierung und Eindeutigkeit aus, und schließlich lässt sich die kognitive Verarbeitung von bildhaftem Material nutzen:

Als Hauptvorteil wird immer wieder auf die räumliche Struktur verwiesen. Dabei werden zusammengehörende Objekte nahe beieinander positioniert und nicht zusammengehörende Objekte weit auseinander. Damit erspart sich der Autor eine aufwendige Indexierung bei komplexem Material. Die Struktur wird klar und ökonomisch dargestellt. Es werden Relationen veranschaulicht, die im Text oft implizit bleiben. Insbesondere topologische und geometrische Zusammenhänge sind deshalb wesentlich einfacher zu illustrieren als in Texten, welche sich aufgrund ihrer sequenziellen Struktur wiederum besser dazu eignen, temporale und logische Folgen zu beschreiben.

Außerdem kann eine Illustration die relevanten Informationen aus dem Kontext der Basisgeschichte mit ihren irrelevanten Details lösen. Sie zeigt jeweils konkrete Informationen über bestimmte Objekte aus einer spezifischen Perspektive. Das kann ein Vorteil sein, wenn konkretes Material einfacher zu verstehen ist als abstraktes (vgl. Johnson, Bransford, Nyberg, & Cleary, 1972; Pezdek & Royer, 1974; Ross, 1989b) oder effizienter beim Problemlösen ist (Anderson, Farrell, & Sauer, 1984; Medin & Ross, 1989).

Schließlich sprechen Illustrationen bevorzugt mentale Vorstellungen an, sind damit gut zu behalten (Shepard, 1967; Standing, 1973), Informationen sind parallel auslesbar und perzeptuelle Inferenzen werden unterstützt. Die funktionale Äquivalenz mentaler Vorstellungen mit Wahrnehmungsinhalten (vgl. z.B. Finke, 1989; Sternberg, 1996) ermöglicht einen flexiblen Umgang mit der dargebotenen Information, z.B. durch Simulation, sorgt dafür, dass der Aufgabeninhalt nicht mit der verbalen Instruktion interferiert, und ermöglicht damit einen effektiven Umgang mit kognitiven Ressourcen.

Leider wurden einige dieser Vorteile visueller Repräsentationen zwar so häufig zitiert, dass sie mittlerweile in Allgemeingut übergegangen sind, aber nicht empirisch belegt. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die genannten Eigenschaften nicht im gleichen Maße für alle Arten von Illustrationen gelten, und dass sie nicht in jedem Fall von Vorteil sind. Zum Beispiel kann die konkrete Darstellung spezifischer Information auch von Nachteil sein, wenn das dargestellte Detail entweder nicht relevant oder nicht bekannt ist. Etwa ist es in einem Bild unmöglich, *keine* Distanz zwischen zwei Objekten anzugeben, welcher ein konkreter Wert zwischen Null und unendlich zugewiesen wird.

Im Falle visueller Analogien unterstützt die Abbildung einer analogen Basis – genau so wie ein Text – die Bearbeitung des Targets, wenn relevante Informationen dargestellt werden, welche auslesbar sind und durch möglichst wenige irrelevante oder irreleitende Details begleitet werden

(Beveridge & Parkins, 1987). Wie gut diese Abbildung nutzbar ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab: Auf der Seite der Illustration von der "eye-catching quality", d.h. der Anschaulichkeit und Salienz, der Komplexität der dargestellten Informationen, der Einprägbarkeit und Vollständigkeit, und auf der Seite des Lesers von dessen Fertigkeiten zur Interpretation bildhafter Darstellungen, den verfügbaren Operatoren für die Suche von Details, den ihm möglichen Inferenzen. Außerdem ist entscheidend, ob es sich um eine externe Repräsentation handelt, welche zusätzlich als externer Arbeitsspeicher dienen kann, oder um eine mentale Repräsentation. Laut Mayer und Gallini (1990) lässt sich der Nutzen der externen, explanativen, visuellen Repräsentation als Funktion von vier Faktoren beschreiben: der Qualität des begleitenden, explanativen Textes, der Art und Sensitivität des Verständnistestes, dem Umfang, in dem die Illustration den Aufbau eines lauffähigen mentalen Modells i.S. Gentners (1983) ermöglicht und den Voraussetzungen des Lerners bezüglich Vorwissen zum Thema und Lesekompetenz bei Bildern.

Die Studien zu visuellen Analogien stammen von Gick und Holyoak (1983), Beveridge und Parkins (1987) sowie Chen (1995). Unter Umständen lässt sich die Studie von Brown (1989) hinzuzählen, da sie den Transfer von Problemlösestrategien von Kleinkindern anhand von konkreten Objekten beschreibt. Die Studie von Dreistadt (1969) hingegen lässt sich aus heutiger Perspektive nicht als Untersuchung visueller Analogien bezeichnen, da die Basisfiguren im Versuchsraum als Wanddekoration angebracht waren und zu keinem Zeitpunkt explizit bearbeitet wurden. Aus ähnlichen Gründen sind die Untersuchungen von Markman und Gentner (1993), Medin, Goldstone und Gentner (1993), Goswani (1989) sowie Goswani und Brown (1989) in diesem Zusammenhang wenig hilfreich, weil dort zwar Basis und Target in Beziehung zueinander gebracht wurden, aber darauf kein echter Transfer erfolgte. Außerdem bestanden die verwendeten Stimuli aus wenig komplexen, aber mehrdeutigen Strichzeichnungen ohne Aufgabenkontext.

Gick und Holyoak (1980, 1983) (sowie Beveridge & Parkins, 1987) verwendeten als Targetaufgabe Dunckers (1945) Strahlenproblem, bei dem einem Patienten ein Magentumor mittels Röntgenstrahlung entfernt werden soll, ohne das umliegende Gewebe zu schädigen. Mit geringer Strahlung werden weder Tumor noch gesundes Gewebe verletzt und bei starker Strahlung werden beide vernichtet. Ohne Unterstützung durch eine analoge Basis lösten in der ersten Untersuchung (Gick und Holyoak, 1980) weniger als zehn Prozent der Probanden diese Aufgabe korrekt. Die Aussagen erfolgreicher Problemlöser in der Nachbefragung ließen darauf schließen, dass sie oft visuell-räumliche mentale Vorstellungen aufgebaut hatten, obwohl die Basisgeschichten ausschließlich verbal präsentiert wurden.

In einer dieser Geschichten stürmte ein aufständischer General mit seiner Armee die zentral gelegene Festung des Diktators trotz verminter Zufahrtswege, indem er jeweils so viele Soldaten pro Straße entsandte, dass deren Gesamtgewicht die kritische Schwelle nicht überstieg, und die deshalb die

Landminen nicht zur Detonation brachten. Gleichzeitig an der Festung angekommen, reichte die Summe aller Kämpfer aus, um die Festung einzunehmen.

In der zweiten Studie (Gick & Holyoak, 1983) erhielten die Probanden vor Bearbeitung des Strahlenproblems entweder eine der Basisgeschichten oder eine schematische Zeichnung, in der links ein breiter, langer Pfeil von links nach rechts abgebildet war und rechts sechs kreisförmig angeordnete schmale, kurze, schwarze Pfeile zu sehen waren, deren Spitze auf das Zentrum gerichtet waren, aber den Mittelpunkt nicht berührten. In dieser Gruppe wurde die Zeichnung als Gedächtnistest präsentiert. Eine dritte Probandengruppe erhielt eine Geschichte und die Skizze als Illustration. Dabei lösten nach dem Einprägen der Skizze weniger Probanden das Strahlenproblem (7%) spontan als nach der Geschichte (40%). Mit Geschichte und Figur lösten es 23 % der Probanden. Anschließend wurde ein unspezifischer Hinweis auf die Nutzbarkeit der Basis gegeben. Von den verbleibenden Probanden lösten in der Bildbedingung nun 64% das Targetproblem, in der Bedingung mit Geschichte 60% und nach Geschichte und Bild 75%, so dass insgesamt 67% (Bild), 76% (Geschichte) bzw. 81% (Geschichte und Bild) der Probanden das Strahlenproblem lösten.

Damit führten die Bedingungen mit Geschichte sowie Geschichte und Bild zu vergleichbaren Erfolgen bei der Bearbeitung des Strahlenproblems, und zwar vor und nach Hinweis. Für die Bildbedingung wird leider kein Signifikanztest angegeben. Dennoch lässt sich erkennen, dass vor dem Hinweis deutlich weniger Probanden die Aufgabe lösten (7% verglichen mit 31% in den beiden anderen Bedingungen), und dass insgesamt die Lösungsrate tendenziell leicht unter denen der anderen Gruppen liegt (67% vs. 78%). Gick und Holyoak (1983) erklären die relative Ineffektivität der Skizze damit, dass diese für die Probanden keine eigenständige Bedeutung hatte, welche das Bearbeiten der Targetaufgabe erleichtert hätte. Im Fall der Generalgeschichte wurden die Pfeile als Streitkräfte im Sinne des begleitenden Textes interpretiert, und nicht im Sinne einer abstrakten Konvergenzlösung abgeschwächter Kräfte. In diesem Fall behinderte der spezifische Kontext der Geschichte den Transfer, und dies sogar stärker als bei isolierter Darbietung des Textes. Im Fall des Gedächtnistests wurde die Figur überhaupt nicht interpretiert, was den Abruf erschwerte, aber zu erfolgreichem Transfer nach Hinweis führt.

Beveridge und Parkins (1987) erklären die Ineffektivität der Skizze hingegen durch die unvollständig dargestellte Lösungsstruktur. Diese umfasst drei Aspekte: Richtung, Intensität und Aufsummierung im Zentrum. Die Skizze von Gick und Holyoak (1983) veranschaulicht zwar die Aufteilung und Richtung der einzelnen Kräfte, jedoch nur teilweise die Differenz der Stärke zwischen einzelnen Kräften und der Gesamtheit, da beide Pfeilarten schwarz waren. Aber immerhin waren die einzelnen Pfeile kürzer und schmaler. Am gravierendsten ist jedoch, dass sich die Pfeile nicht im Zentrum treffen und damit nicht die Summierung der Kräfte illustrieren. Beveridge und Parkins (1987) ersetzten die Abbildung deshalb durch eine Skizze mit strahlenartigen Bändern, wobei links ein

schwarzer Strahl von links nach rechts in einen Kreis hinein bis zum Mittelpunkt verläuft und rechts drei bzw. sechs Bänder durch das Zentrum des Kreises verlaufen. Diese sind genauso breit wie der schwarze Strahl, bestehen aber aus je sieben feinen schwarzen Strichen, zwischen denen weiße Zwischenräume bestehen. Im Zentrum entsteht dadurch eine dunkle sechseckige Fläche aus den Schnittpunkten aller Linien. Diese Figur zeigt sowohl Richtung als auch Summe und teilweise Intensitätsminderung. Alternativ dazu verwendeten Beveridge und Parkins sechs Streifen aus blauer, durchsichtiger Folie. Übereinander gelegt erscheint auf dem Overhead ein dunkelblauer Streifen. Anschließend wurden die Streifen, welche in der Mitte fixiert waren, auseinander gezogen, so dass sie sich in der Mitte überschneiden, jedoch am Rand jeweils einzeln lagen. Damit war das Zentrum als Überschneidungsfläche aller Streifen genau so dunkel wie der ursprüngliche Streifen und die einzelnen Streifen an den Rändern wesentlich heller.

Sowohl zehn- und elfjährigen Probanden als auch Erwachsene waren bei der Bearbeitung des Strahlenproblems wesentlich erfolgreicher, wenn sie die Plastikstreifen zuvor gesehen hatten (32% bzw. 95%), als wenn sie eine Basisgeschichte gehört hatten (14% bzw. 75%). Beide Gruppen waren erfolgreicher als die Kontrollgruppe ohne Basis (0% bzw. 57%). Außerdem war die Streifendemonstration (95%) und die Strahlenskizze (82%) bei Erwachsenen effektiver als die Abbildung der Pfeile (63%), welche wie bei Gick und Holyoak (1983) weniger effektiv war als die Geschichte (75%). Demonstration und Strahlenskizze waren hingegen erfolgreicher als die Geschichte. Damit hängt die Nutzbarkeit einer visuellen analogen Basis davon ab, ob sie die relevante Struktur vollständig illustriert und wie anschaulich sie dieses vermag. Außerdem erhöht die wiederholte, identische externe Problemrepräsentation in Basis und Target die Nutzbarkeit der nur in der Basis illustrierten lösungsrelevanten Details bei Kindern (23%) und Erwachsenen (94%) verglichen mit der einmaligen Illustration der Aufgabenstellung (12% bzw. 82%). Ob die Effizienz auf die Nutzung als Abrufhilfe oder auf eine Unterstützung der Abbildungsfunktion zurückgeht, bleibt allerdings bei Beveridge und Parkins offen.

Auch Chen (1995) berichtet von der Effizienz einer visuellen analogen Basis für ein verbal präsentiertes Problem, in dem ein Schüler einen Elefanten wiegen soll, jedoch keine für dieses Gewicht ausgelegte Waage findet. Das Problem ist (ähnlich wie das Strahlenproblem) durch Äquivalenzüberlegungen lösbar: Wenn man den Elefanten in ein zur Verfügung stehendes Boot stellt und den Wasserstand des Bootes markiert, kann man anschließend den Elefanten durch hinreichend leichte Objekte, z.B. Steine, ersetzen, bis der markierte Wasserstand wieder erreicht wird. Die Summe der Gewichte aller Objekte entspricht dann dem gesuchten Gewicht des Elefanten. Chen (1995) variierte sowohl Oberflächenattribute, z.B. die verwendeten Objekte (Kisten, Auto und Fernseher, Stier und Katzen, Elefant und Steine) in der Skizze für das Äquivalenzprinzip, als auch die verwendete Prozedur: Entweder wurde die Äquivalenz durch ein schwimmendes Boot erreicht oder durch Federn, welche durch das Gewicht zusammen gedrückt werden. Auf den

strukturellen Unterschied (seriell vs. parallel zu bearbeiten) geht er jedoch nicht ein. Schließlich wurde die Äquivalenzbeziehung entweder implizit dargestellt, indem links ein leeres Boot zu sehen war, in der Mitte ein Boot mit dem schweren Objekt und rechts ein Boot mit den leichten Objekten. Oder die Beziehung wurde explizit ausgedrückt, indem links die drei Boote dargestellt wurden, von denen ein Pfeil nach rechts wies, wo die Objekte noch einmal abgebildet waren und durch “=” verbunden wurden.

Bei gleicher Prozedur in Basis und Target, d.h., in beiden Fällen wurde die Gewichtsäquivalenz mit Hilfe eines Bootes hergestellt, lösten 45% der Probanden die Targetaufgabe, verglichen mit 22% der Probanden, denen das Prinzip anhand einer Feder demonstriert worden war, und 15% der Probanden in der Kontrollgruppe. Bei vergleichbaren Objekten in Basis und Target lösten 43% der Probanden die Targetaufgabe, bei verschiedenartigen Objekten lösten sie nur 24% der Probanden. Beide Effekte und die Interaktion wurden in einer Varianzanalyse signifikant, d.h., bei Verwendung einer Feder haben die verwendeten Objekte keinen Einfluss, während sich in der Bootsversion ein großer Gewinn durch gleichartige Objekte einstellt. Außerdem ergab sich ein Effekt des unspezifischen Hinweisreizes bei erneut variiertem Prozedur: Nach Hinweis lösten 56% der Probanden das Elefantenproblem, ohne Hinweis lösten es 45% der Probanden. Die Interaktion zwischen Prozedur und Hinweis war marginal signifikant, d.h., der Effekt des Hinweisreizes war bei gleicher Prozedur, einem in der Basis verwendeten Boot, wesentlich größer als bei ungleicher Prozedur in Basis und Target. Dabei ist zu beachten, dass die Probanden in allen Abbildungen das Äquivalenzprinzip erkannten.

Schließlich ergab die Studie von Brown (1989), dass bereits 20 bis 30 Monate alte Kleinkinder in der Lage sind, strukturelle Korrespondenzen aufzubauen, solange ihnen der Kontext der Aufgabe vertraut ist: Hatten die Kinder anhand eines spazierstockartigen Gegenstands gelernt, ein interessantes Objekt außerhalb ihrer Reichweite heranzuziehen, ließen sie sich bei einem ähnlichen Problem mit einem unerreichbaren Spielzeug und neuen “Werkzeugen” nicht von Oberflächenähnlichkeiten, z.B. Form und Art der Bemalung irritieren. Sie griffen weder zu einem zu kurzen Haken noch nach einem vergleichbar gestreiften Stock, sondern nach einer Harke, um das begehrte Objekt zu erreichen.

Die Befunde zu visuellen Analogien lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Nicht jede analoge Basisabbildung ist vergleichbar oder besser nutzbar als eine verbale Basis (Gick & Holyoak, 1983). Es kommt darauf an, ob sie die relevante Information vollständig und einprägsam darstellt (Beveridge & Parkins, 1987). Außerdem scheinen die Objektkorrespondenzen bei vollständiger Abbildung für den Transfer relevanter zu sein als die verwendeten Objekte der “story line”, welche jedoch bei übereinstimmenden Objektkorrespondenzen die Performanz ähnlich positiv beeinflussen wie ein unspezifischer Hinweis (Chen, 1995). Schließlich kommt es neben der Qualität der Abbildungen auch auf die Voraussetzungen des Problemlösers an (Brown, 1989): Sind Aufgabendomäne und verwendete Objekte vertraut bzw. interpretierbar, so ist ein Transfer selbst bei Kleinkindern zu beobachten.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Wie sich bereits im letzten Abschnitt andeutete, besteht noch viel Unsicherheit in Bezug auf die theoretische Fundierung und bezüglich empirischer Belege für den Prozess visuellen analogen Denkens. Zum Beispiel ist die Trennung von Struktur und Inhalt noch nicht eindeutig definiert. Und obwohl die wenigen verfügbaren Befunde darauf hindeuten, dass ein strukturdominierter Transfer geleistet wird (Beveridge & Parkins, 1987; Brown, 1989; Chen, 1995), wurde der Frage nach dem Einfluss der Semantik auf visuelle Analogien offenbar noch nicht systematisch nachgegangen, abgesehen vom Klassifikationsmodell von Smith (1989) für visuelle Vergleiche. Dabei wäre es gerade bei visuell präsentem Material plausibel, wenn die Probanden auf Objektkorrespondenzen zurückgreifen würden oder nicht zwischen Oberfläche und Struktur diskriminieren könnten.

Im Folgenden werden als Grundlage für die Similarity-Debatte bei visuellen Analogien die drei Ansätze zum analogen Denken noch einmal mit diesem Schwerpunkt durchleuchtet.

Gentners Struktur-Mapping-Theorie hat zwei wesentliche Akzente innerhalb der Diskussion über analoges Denken gesetzt, die sich auch für visuelle Analogien nutzen lassen: Sie differenziert zwischen Struktur und Semantik, damit wird der Prozess differenzierter beschreibbar. Und sie etabliert durch die Betonung der strukturellen Dominanz ein inhaltsunabhängiges Lernwerkzeug. In Anlehnung an Gentner lässt sich Struktur bei visuellen Analogien, ausgehend von den externen Abbildungen als Menge sämtlicher Relationen zwischen Körpern, Flächen, Linien und Punkten bzw. Lokationen im Raum sowie Relationen höherer Ordnung beschreiben. Dazu gehören z.B. Teil-Ganzes-Relationen, Enthaltensein, Nachbarschaft, relative Größe, relative Lage und relative Entfernung. Entsprechend gehören zum Inhalt bzw. zur visuellen Oberfläche alle nicht-relationalen Attribute, wie z.B. absolute Größe, Lage, Orientierung und Entfernung; Anzahl der Teile, Flächen, Kanten und Ecken; Form, Betrag der Innen- oder Außenwinkel, Farbe und Kontur. Diese Definition ist ähnlich unscharf wie bei verbalem Material: Ob eine zweidimensionale Figur ein Dreieck oder ein Viereck ist, ist eine nicht-relationale Eigenschaft, die sich jedoch aus der relativen Stellung der Seiten, Winkel und Ecken ergibt.

Als Nebenprodukt der Strukturierung lassen sich Analogien in den Kanon anderer Formen des Vergleichs einordnen. Allerdings wirkt der „local-to-global“-Algorithmus psychologisch wenig plausibel, solange davon ausgegangen wird, dass zunächst *sämtliche* möglichen lokalen Korrespondenzen aufgebaut werden und nicht relationale Attribute radikal fallen gelassen werden. Ein weiterer Nachteil der Struktur-Mapping-Theorie ist, dass sie sich vorwiegend auf explanatorische, domänenübergreifende Analogien stützt, wovon die analoge Basis außerdem meist gut verstanden

wurde und dem Problemlöser vertraut ist. Gleichzeitig werden nur wenige Aussagen über Analogien beim Problemlösen von Novizen innerhalb einer Domäne gemacht.

Der Beitrag der Similarity-Debatte zu visuellen Analogien ist dem der Struktur-Mapping-Theorie relativ ähnlich: Es lohnt sich, den Prozess und die Komponenten des Problemlöseprozesses und der beteiligten Repräsentation sorgfältig zu analysieren, ohne dass konkrete wirksame Faktoren – außer Struktur und Inhalt – genannt werden. Außerdem erweitert die Diskussion den Horizont und ermutigt dazu, die Analogiendefinition in einen größeren Kontext zu stellen.

Dass neben der strukturellen Direktive auch semantische und pragmatische Aspekte den Prozess analogen Denkens mitbestimmen, wird in der Multi-Constraint-Theorie deutlich. Mit dem Modell interagierender Einflussfaktoren wird ein eleganter und hinreichend flexibler Entwurf vorgelegt, der in der Umsetzung jedoch weniger konkret wirkt als in der Struktur-Mapping-Theorie. Außerdem werden Semantik und Pragmatik der Struktur unterstellt; und das Modell wird in den empirischen Untersuchungen vorwiegend durch explanatorische, domänenübergreifende Analogien belegt.

Bei Gick und Holyoak (1983) wurden visuelle Analogien so behandelt wie an anderer Stelle verbale Analogien. Bei Hinzuziehung der pragmatischen Direktive ergibt sich neben den rein visuellen Aspekten der Bezug zur Lösungsstruktur als weiterer struktureller Aspekt. Damit sind die visuellen Aspekte der Repräsentationen unter Einbeziehung der zu bearbeitenden Aufgabe neu zu klassifizieren. Außerdem ist in Anlehnung an die Multi-Constraint-Theorie zu erwarten, dass sich die Einflussfaktoren je nach Typ der Analogie unterschiedlich durchsetzen. Es könnte zum Beispiel sein, dass sich der Einfluss der visuellen Oberfläche aufgrund von Abstraktion bei einfachen und bei multiplen Analogien unterschiedlich auswirkt und bei explizitem Transfer anders als bei implizitem Transfer.

Der Einfluss der Semantik auf den Prozess analogen Denkens wird von Ross noch konsequenter umgesetzt als von Holyoak und Thagard. Gleichzeitig realisiert er die Verknüpfung von verschiedenen kognitiven Prozessen und Repräsentationsaspekten, die in der Similarity-Debatte (vgl. 2.1.2.) anklang. Leider werden von ihm keine Aussagen über visuelle Analogien gemacht. Zum Beispiel wäre interessant, wie er dort Objektkorrespondenzen definiert. So bleibt nur, Aspekte der visuellen Oberfläche, die sich als transferrelevant erwiesen haben, nachträglich als Objektkorrespondenz zu klassifizieren. Als Anleihe könnte man für die Definition den Ähnlichkeitsvergleich heranziehen. Aspekte, die sich dort als relevant erweisen, könnten gute Kandidaten für Objektkorrespondenzen sein. Dagegen spricht, dass die beurteilte Nützlichkeit bei Transfer („soundness“-Urteil) und Ähnlichkeitsurteil negativ korreliert sind (Tourangeau & Sternberg, 1982). Allerdings waren in dieser Studie Semantik und Struktur orthogonal gekreuzt.

Als Ausgangspunkt der im Anschluss beschriebenen Untersuchung zur Similarity-Debatte lassen sich folgende Fragen festhalten: Funktionieren visuelle Analogien nach dem vorgegebenen Muster verbaler Analogien? Welche Rolle spielt dabei die visuelle Oberfläche? Und ist dieser Einfluss bei allen Formen analogen Schließens mit bildhaftem Material zu beobachten?

Um versteckte Interaktionen zu vermeiden, sollte die Struktur möglichst konstant gehalten werden. D.h., alle verwendeten Basisfiguren sollten das zugrunde liegende Prinzip vergleichbar salient und möglichst vollständig illustrieren. Aufgabenmaterial und Bearbeitung der Targetaufgabe sollten möglichst genau analysiert und potentiell relevante Eigenschaften der visuellen Oberfläche isoliert werden. Mit diesen Fragen und den entsprechenden Befunden beschäftigt sich der empirische Teil.

EMPIRISCHER TEIL

II. EMPIRISCHER TEIL

1. EINLEITUNG

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die „Similarity“-Debatte auf visuelle Analogien auszudehnen. Was für verbal kodierte Analogien die inhaltlichen oder semantischen Aspekte sind, ist für visuelle Analogien die visuelle Oberfläche. Entsprechend wurde der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Aspekte der visuellen Oberfläche auf den analogen Transfer haben, wenn die zugrunde liegende Struktur möglichst konstant gehalten wird.

Die Struktur-Mapping-Theorie (Gentner, 1983) und die Multi-Constraint-Theorie (Holyoak & Thagard, 1989, 1995) werden den zu erwartenden Effekten wenig gerecht, da dort üblicherweise Struktur und Oberfläche orthogonal gekreuzt werden. Außerdem ist die Wirksamkeit der visuellen Oberfläche vermutlich von der Art des verwendeten Materials abhängig, inklusive inhaltlicher Assoziationen, der Anzahl verwendeter Basis-Repräsentationen und dem Grad der Expertise des Problemlösers auf diesem Gebiet. Am plausibelsten erscheinen in diesem Zusammenhang die Aussagen der Reminders-Theorie (Ross, 1987, 1989). So bieten der gleichzeitige, interaktive Aufbau von Target- und Basis-Repräsentation und die Funktion semantischer Details als Abrufschlüssel, Interpretationshilfe sowie Instantiierungswerkzeug zusätzliche Erklärungsmuster zu dem bestehenden theoretischen Gerüst. Allerdings erweist es sich als ausgesprochen schwierig, empirisch zwischen den einzelnen Varianten semantischer Einflüsse zu differenzieren. Deshalb sollen im Folgenden Aussagen zur inhaltlichen Natur zugunsten der Wirkungsfelder zurückgestellt werden. Außerdem wurde bei den vorliegenden Untersuchungen – außer in den Experimenten von Ross – wenig Rücksicht auf prozedurale Aspekte genommen. So stützen sich die meisten Aussagen zu analogem Denken allein auf Lösungshäufigkeiten, was kaum Rückschlüsse auf die Subprozesse zulässt.

Aufgrund dieser mangelhaften theoretischen Basis diene als Leitfrage der vorliegenden Untersuchung:

Bei welchen *Arten* von Analogien (explizit vs. implizit; einfach vs. multipel) sind welche semantischen *Aspekte* in welchem *Ausmaß* wirksam?

Zur Einordnung der vorliegenden Untersuchung in die Befunde zum analogen Denken bietet sich die Klassifikation anhand von vier Merkmalen an:

Erstens wurde als Target eine geometrische Sachaufgabe gewählt, um sicherzustellen, dass die Probanden auf visuell-anschauliches Wissen zurückgreifen. Damit liefern die Befunde einen Beitrag zu den Erkenntnissen über visuelle Analogien.

Zweitens wurden Probanden ausgewählt, deren Wissen in dieser Domäne deutlich über das von Novizen hinausgeht, aber gleichzeitig deutlich unter dem Wissensschatz von Experten liegt. Das sollte garantieren, dass die Probanden einerseits homogene Problemlösestrategien erkennen lassen, aber andererseits noch von den zuvor bearbeiteten Basis-Figuren profitieren. Oder anders formuliert: Bei diesem Personenkreis sind bei dem verwendeten Material weder Boden- noch Deckeneffekte zu erwarten.

Die Stichprobe wurde in Anlehnung an Ross gewählt, um der Anbindung analogen Denkens an Lernen, Expertise-Erwerb und Konzeptualisierung gerecht zu werden.

Drittens sollten alle Formen visuellen analogen Denkens abgedeckt werden. Deshalb bearbeitete die Kontrollgruppe die Target-Aufgabe ohne Unterstützung durch eine Basis-Figur. Andere Probanden bearbeiteten vor der Target-Aufgabe eine, zwei oder achtzehn Basis-Figuren. Die Basis-Aufgaben zielten jeweils auf eine strukturelle Repräsentation ab. Entsprechend wurden diese Figuren beschrieben (eine Figur), verglichen (zwei Figuren) oder auf das zugrunde liegende Prinzip hin inspiziert (achtzehn Figuren). Außerdem wurde der explizite vs. implizite Transfer nicht wie in vorliegenden Untersuchungen *innerhalb* der Probanden variiert, sondern *zwischen* den Probanden. Deshalb wurde auf einen Hinweis, welcher Basis und Target verknüpft, verzichtet. Für die Untersuchung expliziten Transfers wurde die Target-Aufgabe als Anwendungsbeispiel des Basis-Prinzips eingeführt.

Viertens wurden die relativen Lösungshäufigkeiten für die Target-Aufgabe als übliche abhängige Variable in Anlehnung an Chen (1995) durch Lösungszeiten und die Anzahl der produzierten Lösungsskizzen ersetzt. Außerdem wurden angesichts der vielen gescheiterten Untersuchungen über visuelle Analogien die verwendeten Lösungsstrategien bei Bearbeitung der Target-Aufgabe in Form der produzierten Lösungsskizzen und nachträglichen Lautes-Denken-Protokolle erhoben. Damit sollte dem Prozess analogen Denkens besser Rechnung getragen werden.

1.1. ARBEITSHYPOTHESEN

Als Aspekte der visuellen Oberfläche wurden im theoretischen Teil (S. 42) die nicht-relationalen visuellen Eigenschaften einer Figur definiert, z.B. die Größe, die Lage im Raum, die Anzahl der Teile und die spezifische Form, während die Struktur alle relationalen Eigenschaften der Figur abdeckt.

Hypothese 1: *Je ähnlicher, desto hilfreicher.*

Wenn sich die visuelle Oberfläche zusätzlich zur Lösungsstruktur auf den Prozess analogen Denkens auswirkt, sollten Basis-Figuren, die viele Oberflächenmerkmale mit der Target-Figur gemeinsam haben, die Lösung der Target-Aufgabe nach Bearbeitung der Basis-Aufgabe stärker fördern als Basis-Figuren, welche mit der Target-Figur wenige dieser Attribute teilen.

Dabei wird vorausgesetzt, dass die strukturellen Parallelen beider Basis-Figuren zum Target vergleichbar sind. Außerdem muss eingeschränkt werden, dass wahrscheinlich nicht alle Attribute der visuellen Oberfläche für alle Subprozesse analogen Denkens gleich relevant oder überhaupt relevant sind. Deshalb wurden der Untersuchung ein Pilotprojekt vorangestellt, welches das verwendete Material, die Bearbeitungsstrategien der Probanden sowie potentiell ähnlichkeits- und transferrelevante Attribute der visuellen Oberfläche testete.

Hypothese 2: *Nicht alle Attribute der visuellen Oberfläche...*

Um die Relevanz einzelner Aspekte der visuellen Oberfläche für das analoge Schließen zu gewichten, bietet es sich an, die Relevanz dieser Aspekte für das Ähnlichkeitsurteil heranzuziehen.

Vorausgesetzt, es ergibt sich in der Pilotstudie eine positive Korrelation zwischen dem Ähnlichkeitsurteil und dem sogenannten „Soundness“-Urteil (s.u.), dann sollten ähnlichkeitsrelevante Aspekte der visuellen Oberfläche auch beim analogen Transfer wirksam sein. Andererseits sollten Aspekte der visuellen Oberfläche, welche für das Ähnlichkeitsurteil nicht relevant sind, auch nicht transferrelevant sein.

Das bedeutet, dass die Target-Aufgabe nach Bearbeitung einer der Target-Figur ähnlichen Basis schneller gelöst werden sollte als nach einer dem Target nicht ähnlichen Basis-Figur, vorausgesetzt beide Basis-Figuren sind strukturell äquivalent und der Effekt ist an den Lösungszeiten ablesbar.

Das „Soundness“-Urteil gibt an, wie groß der vermutete Nutzen einer Basis bei Bewältigung des Targets ist oder anders ausgedrückt: Das Soundness-Urteil gibt die vermutete Güte eines analogen Paares an.

Hypothese 3: *Formen des Transfers*

Der Einfluss der visuellen Oberfläche ist mit abnehmender Wahrscheinlichkeit bei der Bearbeitung von ein, zwei oder achtzehn Basis-Figuren zu erwarten, weil zunehmend besser zwischen Struktur und Oberfläche unterschieden werden kann, und Kompensationsstrategien zugunsten der Struktur zu erwarten sind. Aus demselben Grund ist es wahrscheinlicher, Oberflächeneffekte bei implizitem Transfer zu finden, d.h. bei analogem Schließen ohne expliziten Hinweis durch den Versuchsleiter, als bei explizitem Transfer, d.h. bei analogem Schließen nach explizitem Hinweis des Versuchsleiters auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target. Dennoch wäre der Einfluss der visuellen Oberfläche bei allen Formen analogen Schließens möglich, daher gelten folgende Hypothesen:

(3.1.) Wenn die Probanden zunächst eine Basis-Figur bearbeiten, d.h. diese beschreiben und memorieren, und anschließend die Target-Aufgabe bearbeiten, sollte diese Aufgabe deutlich schneller und mit weniger benötigten Lösungsskizzen bearbeitet werden, wenn sich Basis- und Target-Figur ähnlich sind, als wenn sie sich nicht ähneln; vorausgesetzt, beide Basis-Figuren illustrieren die Target-Struktur vergleichbar.

- (3.2.) Bei Bearbeitung zweier Basis-Figuren, d.h. Vergleichen und Memorieren der Figuren, sollte ein Figurenpaar, das aus zur Target-Figur ähnlichen Figuren besteht, die anschließende Bearbeitung der Target-Aufgabe stärker erleichtern als ein Paar aus der Target-Figur wenig ähnlichen Figuren.

Wiederum wird vorausgesetzt, dass alle Figuren die Struktur vergleichbar illustrieren und der Effekt in verkürzten Lösungszeiten und einer reduzierten Skizzenanzahl messbar ist.

- (3.3.) Auch bei der Bearbeitung von achtzehn Basis-Figuren, d.h. der Inspektion zur Generierung des allen Figuren zugrunde liegenden Prinzips, sollte eine Bildserie aus der Target-Figur ähnlichen Basis-Figuren bei der Bearbeitung der Target-Aufgabe hilfreicher sein als eine Serie wenig ähnlicher Figuren, unter den oben genannten Bedingungen.

Das sollte sowohl für impliziten Transfer gelten als auch für expliziten Transfer. Der Effekt sollte also beobachtbar sein, wenn Basis- und Target-Aufgabe unverbunden aufeinander folgen, und wenn die Target-Aufgabe als Anwendungsbeispiel des Basis-Prinzips präsentiert wird.

(Hypothese 4: Gemischte Serien)

Ab der Präsentation zweier Basis-Figuren ist zusätzlich zur Dichotomisierung zwischen ähnlichen und nicht ähnlichen Basis-Paaren auch die Kombination aus ähnlichen und nicht ähnlichen Basis-

Figuren denkbar. Zu diesen Serien lassen sich momentan noch keine dezidierten Hypothesen ableiten. Zwischen zwei extremen Varianten der begünstigten bzw. benachteiligten Konzeptualisierung sind etliche Schattierungen denkbar.

Im Falle der **Begünstigung** können die Problemlöser aufgrund der größeren Variationsbreite vorhandener Exemplare ein von der visuellen Oberfläche unabhängiges Konzept aufbauen, das für alle nachfolgenden Anwendungsbeispiele nutzbar ist. In diesem Fall wären Problemlöser mit gemischten Serien mindestens so erfolgreich bei der Bearbeitung der Target-Aufgabe wie die Probanden, die zuvor ähnliche Serien bearbeitet haben.

Im Fall einer **Benachteiligung** könnten Probanden unter Prämisse der konservativen Induktion bei Präsentation gemischter Serien überfordert sein, überhaupt ein angemessenes Konzept aufzubauen. Sollte es ihnen dennoch gelingen, ständen sie bei der Bearbeitung der Target-Aufgabe erneut vor erhöhtem Verarbeitungsaufwand, nämlich der Implementation in einer konkreten Situation. In beiden Fällen wären die Bearbeitungszeiten der Probanden bei den Target-Aufgaben deutlich länger als die Bearbeitungszeiten von Probanden mit den ähnlichen Serien und vielleicht sogar länger als die Bearbeitungszeiten von Probanden mit den nicht ähnlichen Serien.

Da die Bearbeitung gemischter Basis-Serien und die anschließende Bearbeitung der Target-Aufgabe nicht unverhältnismäßig mehr experimentellen Aufwand bedeutet, aber für den weiteren Similarity-Diskurs wertvoll ist, werden diese Versionen ohne spezifische Hypothese miterhoben. Das Gleiche gilt für die Erhebung der Bearbeitungsstrategien für die Target-Aufgabe in den Hauptexperimenten und für den Vergleich mit der Kontrollgruppe aus der Pilotstudie, welche die Target-Aufgabe ohne Basis-Figuren bearbeitete.

1.2. ÜBERBLICK ÜBER DIE EXPERIMENTE

Pilotstudie (Experimente 1 und 2)

Bevor die oben beschriebenen Hypothesen getestet werden konnten, musste zunächst geeignetes Versuchsmaterial konstruiert und an Probanden getestet werden. Es wurde nach einer geeigneten Target-Aufgabe innerhalb der Domäne der geometrischen Sachaufgaben gesucht, welche nicht ohne Rückgriff auf visuelles Wissen lösbar sein sollte. Außerdem wurden potentielle Basis-Figuren konstruiert und deren Nutzen bei der Bearbeitung der Target-Aufgabe bestimmt.

Die ersten beiden Experimente dienten vorrangig zum Vertrautwerden mit dem Versuchsmaterial und den entsprechenden Problemlösestrategien der Probanden. Außerdem wurden Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteile („similarity“ und „soundness“) erhoben, um Kriterien zur Gewichtung der einzelnen Aspekte der visuellen Oberfläche zu gewinnen. Die Wirksamkeit der visuellen Oberfläche sollte sich in einer positiven Korrelation zwischen Nutzbarkeits- und Ähnlichkeitsurteilen niederschlagen.

Schließlich wurde eine Kontrollgruppe, welche die Target-Aufgabe ohne unterstützende Basis löste, als Kontrast zu den späteren Versuchsgruppen erhoben. Diese Kontrollgruppe war für die oben beschriebenen Hypothesen nicht notwendig, da diese Unterschiede *zwischen* den verschiedenen Basis-Figuren postulieren. Sollten sich jedoch Effekte der visuellen Oberfläche nachweisen lassen, so wäre es sinnvoll, die Größe dieser Effekte anhand der Kontrollgruppe zu relativieren.

In **Experiment 1 der Pilotstudie** wurden drei potentielle Target-Aufgaben bearbeitet. Zeitlich parallel zur Bearbeitung dieser Aufgaben wurde einem Teil der Probanden jeweils eine potentielle Basis-Figur präsentiert. Anhand der produzierten Lösungsskizzen wurde eine Aufgabenanalyse durchgeführt. Die relativen Lösungshäufigkeiten innerhalb von zehn Minuten Bearbeitungszeit sowie die produzierten Alternativlösungen wurden zur Abschätzung der Aufgabenschwierigkeit herangezogen. Schließlich wurde anhand eines Fragebogens erhoben, welche Probleme mit Ablauf und/oder Material auftraten, und wie bekannt die verwendeten Aufgaben waren. Experiment 1 wurde als Papier-und-Bleistift-Version mit 63 Schülern in drei Gruppen durchgeführt.

Experiment 2 der Pilotstudie wurde durchgeführt, um die Eigenschaften der visuellen Oberfläche zu relativieren und zu quantifizieren. Deshalb beurteilten die zwanzig Probanden nach Lösung der Target-Aufgabe ohne unterstützende Basis insgesamt elf Figuren auf Ähnlichkeit zur Target-Figur

und auf vermutete Nutzbarkeit bei Bearbeitung der Target-Aufgabe. Anhand dieser Urteile sollten Aspekte der visuellen Oberfläche isoliert werden, die potentiell transferrelevant sind, und geprüft werden, ob eine positive Korrelation zwischen Ähnlichkeit und Nutzbarkeit besteht.

Im Unterschied zu Experiment 1 wurde nur noch eine der drei Target-Aufgaben verwendet. Das Experiment wurde außerdem in Einzelsitzungen entweder am Computer oder als Papier-und-Bleistift-Version durchgeführt. Alle Probanden bearbeiteten die Target-Aufgabe, bis sie die Lösung fanden. Entsprechend konnten die Daten zum einen in den anschließenden Experimenten als Kontrollbedingung herangezogen werden und zum anderen benutzt werden, um die Aufgabenanalyse aus Experiment 1 zu überprüfen.

Hauptuntersuchung (Experimente 3 bis 6)

Die **Experimente 3 bis 6** wurden durchgeführt, um die oben beschriebenen Arbeitshypothesen zu testen. Basierend auf den Ergebnissen der Pilotstudie, wurden zwei Aspekte der visuellen Oberfläche herausgegriffen und an strukturell vergleichbaren Basis-Figuren zwischen den Probanden variiert. Einer der Aspekte war ähnlichkeitsrelevant, der andere nicht. Die Basis-Aufgaben waren jeweils so gewählt, dass sie eine strukturell orientierte Repräsentation der Basis fördern sollten.

In allen vier Experimenten bearbeiteten die Probanden zunächst eine oder mehrere Basis-Figuren und lösten direkt im Anschluss daran die Target-Aufgabe.

In *Experiment 3* betrachteten 24 Probanden fünf Minuten lang eine Basis-Figur und schrieben möglichst viele Eigenschaften der Figur auf. Anschließend prägten sie sich die Figur eine Minute lang ein und reproduzierten sie anschließend.

In *Experiment 4* verglichen 48 Probanden fünf Minuten lang zwei Basis-Figuren und notierten möglichst viele Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Paares. Darauf folgte wiederum eine Einpräge- und Reproduktionsaufgabe.

In den *Experimenten 5 und 6* inspizierten je 33 Probanden nacheinander maximal achtzehn Basis-Figuren mit der Aufgabe, das zugrunde liegende Prinzip zu erkennen. Anschließend betrachteten sie eine Tafel mit allen Basis-Figuren für eine Minute, ohne sie anschließend zu reproduzieren.

In den Experimenten 3 bis 5 folgte die Target-Aufgabe direkt auf die Basis-Aufgabe, ohne dass explizit eine Beziehung zwischen den Aufgaben hergestellt wurde. In Experiment 6 wurde die Target-Aufgabe als Anwendungsaufgabe für das Basis-Prinzip eingeführt und damit ein expliziter, spezifischer Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target gegeben. In allen Experimenten wurden die Lösungszeit, die Anzahl der benötigten Lösungsskizzen und die verwendeten Strategien erhoben. Zur Ermittlung der verwendeten Lösungsstrategien wurden einerseits die nachträglichen Lautes-Denken-Protokolle der Probanden und andererseits die produzierten Lösungsskizzen herangezogen.

2. PILOTSTUDIE

2.1. EXPERIMENT 1: Testung des verwendeten Materials

(...zur Vollständigkeit der illustrierten Struktur)

Experiment 1 wurde durchgeführt, um mit dem verwendeten Material vertraut zu werden. Als Target wurden drei Geometrieaufgaben ausgewählt, welche mindestens teilweise visuell bearbeitet werden müssen, um zur Lösung zu kommen. Als analoge Basis wurde jeweils eine Abbildung verwendet, welche die Target-Lösung anhand einer vom Target verschiedenen geometrischen Figur illustrierte. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Oberflächenähnlichkeit zwischen Basis und Target eher gering war. So wurde zum Beispiel die Lösung eines Teilungsproblems anhand eines Trapezes illustriert, während die Target-Aufgabe die Zerlegung einer winkelförmigen, rechtwinkligen Figur erforderte.

Die Figuren wurden zeitlich parallel zur Aufgabenstellung dargeboten, und es wurde ein unspezifischer Hinweis auf ihre Nutzbarkeit gegeben. Damit sollten Gedächtniseffekte zunächst ausgeschlossen werden. Die Probanden der Kontrollbedingung bekamen die Target-Aufgabe ohne Basis-Figur.

Jeder Proband löste nacheinander alle drei Target-Aufgaben, wobei er maximal eine Aufgabe in der Kontrollbedingung bearbeitete.

2.1.1. ARBEITSHYPOTHESEN

Oberstes Ziel der Pilotstudie war es, das Material an einer Probandengruppe zu testen. Zusätzlich dazu dienten die folgenden drei Arbeitshypothesen zur Konstruktion des Materials:

(1.) Wenn analoger Transfer von der Basis auf das Target stattfindet, sollte sich das Problemlöseverhalten von Probanden mit Basis-Figur von dem von Probanden ohne Abbildung unterscheiden.

Die Unterschiede in Lösungshäufigkeiten, der Anzahl benötigter Lösungsskizzen oder berichteten Lösungsstrategien könnten u.a. als Indiz für die Nutzbarkeit der analogen Basis-Figuren herangezogen werden. Zum Beispiel sollten mehr Probanden das Target mit Hilfe einer nutzbaren Basis-Figur lösen als Probanden ohne Bild.

relative Lösungshäufigkeiten:

mit Bild > ohne Bild

(2.) Nicht nur zwischen den Probanden mit vs. ohne Bild sind Unterschiede im Problemlöseverhalten bei Bewältigung der Target-Aufgabe zu erwarten, sondern auch innerhalb der Probanden mit Bild.

Da bei vollständiger Illustration der Lösungsstruktur in der Basis größere Chancen bestehen, ein angemessenes Relationensystem zwischen Basis und Target aufzubauen als bei unvollständiger Darstellung, sollte die vollständige Abbildung nützlicher sein als eine unvollständige (vgl. S. 58 für

vollständige vs. unvollständige Illustrationen). Entsprechend sollten in dieser Gruppe mehr Probanden die Target-Aufgabe lösen als in der Gruppe mit unvollständiger Illustration.

relative Lösungshäufigkeit:

mit vollständigem Bild > mit unvollständigem Bild > ohne Bild

(3.) Nicht jeder strukturelle Aspekt der Basis-Figur ist für die Lösung der Target-Aufgabe in gleichem Maße relevant. Bei unvollständiger Darstellung struktureller Aspekte sollten Figuren, die lösungsrelevante Details illustrieren, die Lösung der Target-Aufgabe in stärkerem Maße erleichtern als Illustrationen irrelevanter Details.

relative Lösungshäufigkeit bei unvollständigem Bild:

Lösungsrelevantes > für die Lösung irrelevantes

2.1.2. METHODE

2.1.2.1. Versuchspersonen

Das Experiment wurde im August 1997 im Gymnasium Hamburg-Weidenstraße durchgeführt. Drei elfte Klassen nahmen im Rahmen des Mathematikunterrichts jeweils 45 Minuten lang als Versuchsgruppen teil. Insgesamt bearbeiteten 63 Probanden die Aufgaben.

Die Geschlechterverteilung war ausgeglichen (31 Frauen, 27 Männer und fünf Probanden ohne Angabe). Die Probanden waren zwischen 16 und 21 Jahre alt, das Durchschnittsalter betrug 18 Jahre. Auffällig war, dass nur 37 von 63 Probanden Deutsch als Muttersprache angaben. Bei den alternativen Sprachen dominierten Türkisch mit zehn Vertretern und Polnisch mit vier Vertretern, gefolgt von Albanisch, Dänisch, Griechisch, Indisch, Italienisch, Kurdisch, Persisch und Slowenisch mit je einem Vertreter. Vier Personen machten keine Angaben über ihre Muttersprache, drei Personen gaben zwei Muttersprachen an, eine davon war jeweils Deutsch.

Da offenbar alle Probanden die Instruktionen verstanden hatten, keine leeren Arbeitsblätter abgegeben wurden oder völlig abwegige Lösungsansätze zu beobachten waren, und weil der Mathematikunterricht in dieser Schule üblicherweise in deutscher Sprache abgehalten wird, sind die sprachlichen Differenzen zwischen den Probanden nicht als für problematisch anzusehen. Keiner der Probanden kannte die verwendeten Aufgaben vor dem Experiment.

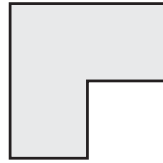
Neben eventuellen sprachlichen bzw. kulturellen Differenzen bleibt kritisch zu erwähnen, dass die Schüler direkt nebeneinander an kreisförmig angeordneten Tischen saßen, so dass nicht völlig ausgeschlossen werden kann, dass Interaktionen zwischen den Schülern stattfanden.

2.1.2.2. Material

Target-Aufgaben.

Als Target wurden in Experiment 1 folgende zwei Teilungsaufgaben und eine Baumpflanzaufgabe verwendet. Die erste Teilungsaufgabe war Dreistadts (1969) Farmaufgabe (s. Abb. 2.1). Die zweite Teilungsaufgabe, die „Bischofsmütze“ (s. Abb. 2.2), stammt von Gardner (1971). Die Baumpflanzaufgabe (s. Abb. 2.3) ist ebenfalls der Untersuchung von Dreistadt (1969) entlehnt.

Aufgabe: Ein Vater vererbt seinen Söhnen ein Feld mit folgender Form:



Er will, dass jeder der vier ein Stück Land mit der gleichen Größe und Form bekommt wie seine Brüder. Teile das Land entsprechend auf!

Abb. 2.1: Farmaufgabe

Aufgabe: Teile die Fläche der folgenden Figur in vier form- und größengleiche Stücke!



Abb. 2.2: „Bischofsmütze“

Aufgabe: Ein Gärtner bekommt folgenden Auftrag:
 „Pflanze 12 Bäume in 6 geraden Reihen zu je 4 Bäumen!“
 Wie kann er das Problem lösen?

Abb. 2.3: Baumpflanzaufgabe

Lösungen der Target-Aufgaben.

Die Lösungen der Target-Aufgaben sind mit Hilfe dreier Entitäten des üblicherweise verwendeten Basis-Niveaus beschreibbar: Bei den Teilungsaufgaben ist eine Gesamtfigur **G** gegeben, bei der Baumpflanzaufgabe wird diese Gesamtanordnung gesucht. In beiden Fällen setzt sich die Gesamtfigur **G** aus Teilen **T** zusammen. Bei den Teilungsaufgaben sind diese Teile und ihre Anordnung in der Gesamtfigur gesucht, bei der Baumpflanzaufgabe sind die Teile in Form von geraden Baumreihen aus je vier Bäumen vorgegeben. In beiden Fällen lassen sich die Teile in Komponenten **K** zerlegen. Im Fall der Baumpflanzaufgabe sind das die einzelnen Bäume, bei den Teilungsaufgaben sind es regelmäßige geometrische Figuren der gleichen Größe und Form, die dazu dienen, Form und Anordnung der Teile zu generieren. Außerdem lassen sich **G**, **T** und **K** verwenden, um potentielle Basis-Figuren zu konstruieren und um strukturelle und inhaltliche Aspekte zu trennen.

Für die Lösung der Farmaufgabe kann man sich das sogenannte rep4-Prinzip zunutze machen, das besagt, dass die Farmfigur in sich selbst viermal abbildbar ist. Oder anders ausgedrückt: Man kann die Farm so in vier deckungsgleiche Stücke unterteilen, dass jedes Teil die gleiche Form wie die Gesamtfigur hat ($F_G = F_T$). Dieses Prinzip findet man in verschiedenen zwei- und dreidimensionalen Kontexten wieder, zum Beispiel in den folgenden:

EXKURS: REP4-FIGUREN ALS LÖSUNG DER FARMAUFGABE

Tetrapaks haben gegenüber Milchflaschen oder Milchtüten zunächst die Vorteile, dass sie bei geringem Verpackungsaufwand den flüssigen Inhalt vor Verunreinigung schützen und gleichzeitig relativ formstabil sind. In die Lebensmittelregale kamen sie jedoch aufgrund zweier weiterer Vorteile: Sie sind ohne Zwischenraum stapelbar, und das zu transportierende Volumen ist nur geringfügig größer als das des zu transportierenden Nahrungsmittels. Viele Milchkartons können so gestapelt werden, dass sich eine milchkartonförmige Palette ergibt, die in einem milchkartonförmigen Container transportiert wird.

Auch eine Tafel Schokolade ist unterteilbar, dass die einzelnen Stücke – unter Vernachlässigung der Tiefe – die gleiche Form haben wie die gesamte Tafel. Außerdem gibt es weitere Fraktalstrukturen, z.B.-selbstabbildende Schneekristalle, Polymere, Fliesen, Parkettmuster und Papierformate. Auch die Algorithmen moderner Komprimierungsverfahren in der digitalen Bildverarbeitung basieren auf dem Selbstabbildungsprinzip. In Märchen liegt der Reiz von Modellen in einer lebendigen Verkleinerung des Originals, wobei nicht nur das Aussehen maßstabsgetreu dargestellt wird, sondern auch die Funktionsweise. Zum Beispiel kann ein Puppenhaus von lebendigen Puppen bewohnt werden, welche aussehen wie die Bewohner des Originals und sich ähnlich verhalten wie diese... (von Woringen: Die Engelsharfe)

Alle diese Vertreter basieren auf dem Selbstabbildungsprinzip (rep-x), das Muster der Gesamtgestalt im kleineren Maßstab wiederholt.

Für die „Bischofsmütze“ ist das rep4-Prinzip nicht anwendbar. Außerdem ergeben die gesuchten Teile keine zusammenhängenden geometrischen Figuren, sondern sie bestehen aus zwei gleichschenkligen, rechtwinkligen Dreiecken, welche einen Eckpunkt gemeinsam haben.

Die Lösung der Teilungsaufgaben, d.h. der Farmaufgabe und der Bischofsmütze, sehen folgendermaßen aus:

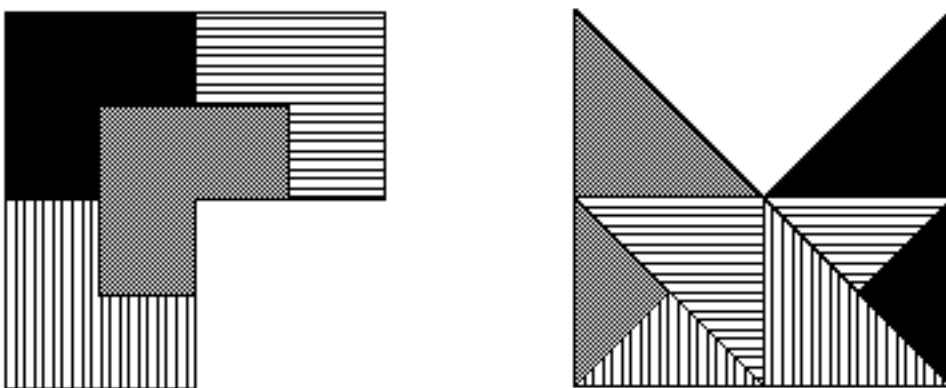


Abb. 2.4: Lösungen der Farmaufgabe und der „Bischofsmütze“

Die Baumpflanzaufgabe ist mit Hilfe des Pappus-Theorems (vgl. z.B. Buekenhout, 1995) lösbar. Dabei ergibt sich u.a. folgende Figur:

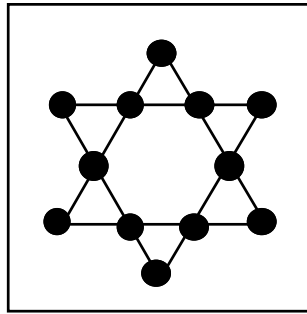


Abb. 2.5: eine Lösung der Baumpflanzaufgabe

Instruktionen

Nach einer kurzen Begrüßung und Vorstellung durch den Lehrer wurden allgemeine Angaben zur Bearbeitung der Aufgaben gemacht und an einer Beispielaufgabe demonstriert. Die mündliche Einleitung war in den drei Versuchsgruppen identisch (siehe Anhang, S. I) und wurde von der Versuchsleiterin vorgelesen. Die wichtigsten Aussagen waren:

1. Es waren drei Aufgaben nacheinander schriftlich zu bearbeiten. Für jede Aufgabe standen zehn Minuten zur Verfügung.
2. Der Lösungsweg sollte in Skizzen und/oder Stichpunkten nachvollziehbar und vollständig dargestellt werden. Für neue Ansätze sollte jeweils neu begonnen werden, statt alte Entwürfe zu korrigieren.
3. Die Aufgaben waren in der vorgegebenen Reihenfolge und der vorgesehenen Zeit ohne nachträgliche Ergänzungen zu bearbeiten. Falls die Schüler innerhalb der Bearbeitungszeit eine Lösung fanden, sollten sie diese markieren und nach weiteren Lösungen suchen.
4. In Anlehnung an Chen (1995) wurde eine Zeitmessung im 40-Sekunden-Takt eingeführt. Auf ein Signal hin sollten die Probanden auf dem Arbeitsblatt markieren, welche Figur sie gerade bearbeiten. Dafür war jeweils am linken Seitenrand eine Skala angebracht.
5. Es wurde darauf hingewiesen, dass sich rechts oben auf den Arbeitsblättern „...manchmal eine Abbildung befindet, welche Dir bei der Lösung der Aufgabe weiterhelfen könnte.“ Sonst wurden keinerlei Erläuterungen zu den Bildern abgegeben.

Beispielaufgabe

Die Beispielaufgabe wurde auf einer Overheadfolie präsentiert und entsprach in der Darstellung den zu bearbeitenden Aufgaben. Allerdings war das Abbildungsfeld leer. Während der Demonstration wurde das Arbeitsblatt durch die blauen Skizzen ergänzt. Die blau eingefärbten Texte dienten als mündliche Erläuterungen, wurden jedoch nicht auf der Folie eingetragen:

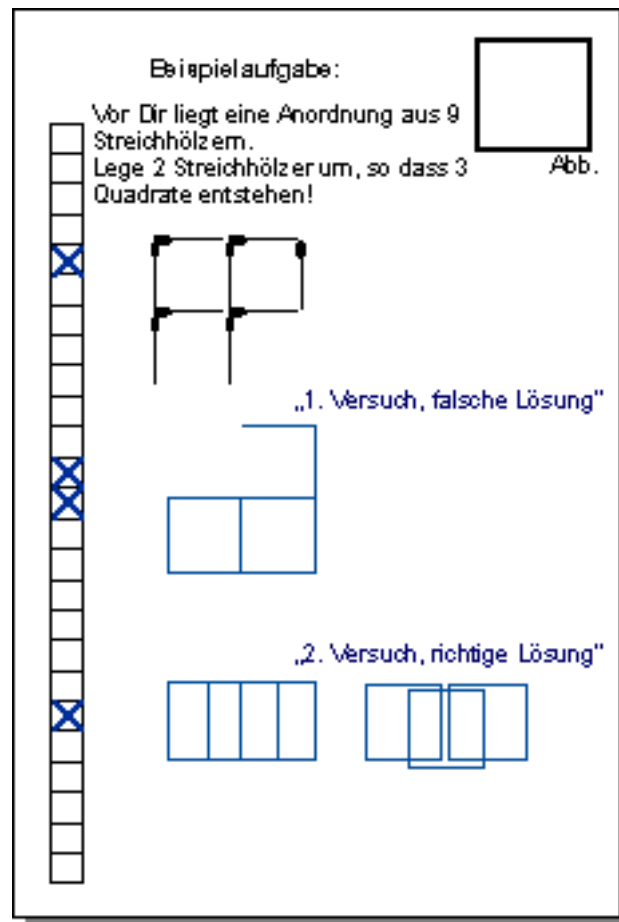


Abb. 2.6: Im Experiment 1 verwendete Beispielaufgabe.

Arbeitsheft (siehe Anhang, S. II-III)

Jeder Proband erhielt ein Arbeitsheft mit acht Seiten aus einseitig bedrucktem, unliniertem Papier. Auf das leere Deckblatt folgten die drei Aufgaben mit je zwei Seiten: Auf der ersten Seite war die Aufgabenstellung inklusive Abbildung abgedruckt, darunter und auf der zweiten Seite waren die Umrisse der zu bearbeitenden Figur dargestellt. Insgesamt wurden je sieben Skizzen untereinander für Farm und Bischofsmütze zur Verfügung gestellt, welche durch gepunktete Linien voneinander getrennt waren. Für die Baumpflanzaufgabe wurden nur diese Begrenzungslinien vorgegeben. Auch auf dem zweiten Arbeitsblatt einer Aufgabe wurde rechts oben die entsprechende Abbildung präsentiert. Bei Bedarf konnten zusätzliche Arbeitsblätter angefordert werden.

Auf der letzten Seite war ein demographischer Fragebogen abgedruckt, der neben Alter, Geschlecht und Muttersprache die Bekanntheit der Aufgaben und die empfundene Hilfestellung durch die Abbildungen abfragte.

Zur Messung der Lösungszeit wurde eine Stoppuhr verwendet, die zehn Minuten lang alle 40 Sekunden ein Signal abgab.

Basis-Figuren

(a) Überlegungen zur Konstruktion potentieller Basis-Figuren

Figuren, welche die Lösung der Teilungsaufgaben erleichtern, könnten entweder einen Hinweis auf die Form der Teile **T**, auf die Anordnung der Teile in der Gesamtfigur **TG**, oder Hinweise auf beides geben.

Basis-Figuren zur Baumpflanzaufgabe könnten das zugrunde liegende Pappus-Theorem (siehe S. 71) illustrieren.

Für alle Varianten lassen sich Figuren mit unterschiedlicher globaler Ähnlichkeit zu den Target-Figuren generieren. Außerdem kann die gegebene Information auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus geliefert werden. Zum Beispiel liefern die folgenden Figuren die Form der gesuchten Teilfiguren für die Farmaufgabe auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau:

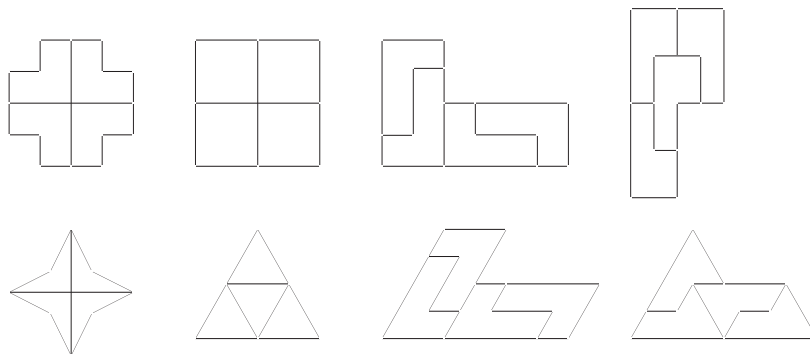


Abb. 2.7: Potentielle Basis-Figuren (in Version TG) für die Farmaufgabe.

Die Teile der dargestellten Figuren haben jeweils die gleiche Form, d.h., sie können durch Drehung und/oder Spiegelung in Deckungsgleichheit gebracht werden. Die Figuren der oberen Reihe sind rechteckig, die Abbildungen darunter geben jeweils die gleiche Information anhand einer spitzwinkligen Figur. Die beiden Figuren an der ersten Position links illustrieren die Form der Teile auf literaler Ebene, d.h., die Teilfiguren weisen eine Innenecke auf und sind gleichschenkelig. Allerdings sind die Teile in der Gesamtfigur anders angeordnet als innerhalb der Farmfigur.

Alle anderen Figuren sind rep4-Figuren und weisen von links nach rechts zunehmend literale Übereinstimmungen, d.h. strukturelle *und* oberflächliche Parallelen, auf. Das rep4-Prinzip könnte man konkret formulieren, z.B.: „Das Quadrat ist in vier Quadrate unterteilt“, oder abstrakt benennen: „Es gibt Figuren, die so in vier form- und größengleiche Teile zerlegbar sind, dass die Teile die gleiche Form haben wie die Gesamtfigur.“

Bei den beiden zweiten Figuren von links ist nur die zweite Beschreibung für die Bearbeitung der Farmfigur nutzbar, da die Figuren weder in Form noch Anordnung der Teile mit der Farm vergleichbar sind. Die dritten Figuren von links sind in vergleichbare Teile bei nicht vergleichbarer Anordnung zerlegt. In den letzten Figuren stimmen Anordnung und Form der Teile mit denen der Farm annähernd überein.

Formen des Transfers

Neben der unterschiedlich abstrakt *dargestellten* Information besteht die Möglichkeit, dass die Probanden die vorhandene Information unterschiedlich abstrakt *interpretieren*:

1. Allgemeine Vorbereitung

Bei der allgemeinsten Form des Transfers könnten die Basis-Figuren auf die Bearbeitung von Teilungsaufgaben einstimmen, vorhandenes Vorwissen und verfügbare Strategien sowie Selbstüberzeugungen zu diesem Thema *voraktivieren*.

2. Oberflächentransfer

Alternativ wäre ein Transfer auf der Ebene der visuellen Oberfläche denkbar. Sind Target- und Basis-Figur einander hinreichend ähnlich, können sie direkt aufeinander abgebildet werden. Die Lösung kann dann direkt auf das Target übertragen werden. Zum Beispiel sieht der Buchstabe L der Farmfigur nach Rotation sehr ähnlich. Bei einem *Oberflächentransfer* bietet sich an, L-förmige Figuren in der beobachteten Anordnung als Teile in die Farm einzusetzen. Bei dieser Form des Transfers ist eine Lösung der Farmaufgabe möglich, ohne dass die rep4-Struktur notwendigerweise erkannt wurde.

3. Abstrakter Transfer

Schließlich ist ein *abstrakter Transfer* der räumlichen Relationen innerhalb der Basis-Figur möglich. Bemerkt der Proband die rep4-Struktur einer Basis-Figur, kann er sie sich zunutze machen, um die Farmaufgabe zu lösen, indem er die Farm in vier Farmminiaturen zerlegt. Inwieweit Attribute der visuellen Oberfläche bei dieser Form des Transfers mindestens implizit wirksam sind, ist bisher noch nicht geklärt.

(b) Verwendete Basis-Figuren

In **Experiment 1 der Pilotstudie** wurden drei Figuren verwendet, welche die Relationen zwischen Gesamtfigur G, Teilfiguren T und Komponenten K unterschiedlich vollständig illustrierten. Diese Figuren sollten den Target-Figuren auf der visuellen Oberfläche nicht allzu ähnlich sein. Da jedoch noch kein konkretes Ähnlichkeitsmaß zur Verfügung stand, wurde für die Basis-Figuren der Teilungsaufgaben der Innenwinkel von 90° auf 60° geändert bzw. umgekehrt. Bei der Basis-Figur zur Baumpflanzaufgabe wurden acht statt zwölf Bäume in Dreier- statt Viererreihen dargestellt.

Als Basis-Figuren wurden folgende drei Figuren verwendet. Jeder Proband sah jeweils eine der vier Versionen zu einer Figur bzw. einen leeren Rahmen in der Kontrollgruppe und erhielt jede der fünf Versionen (KT, KG, TG, KTG oder Kontrollbedingung) zu maximal einer Aufgabe.

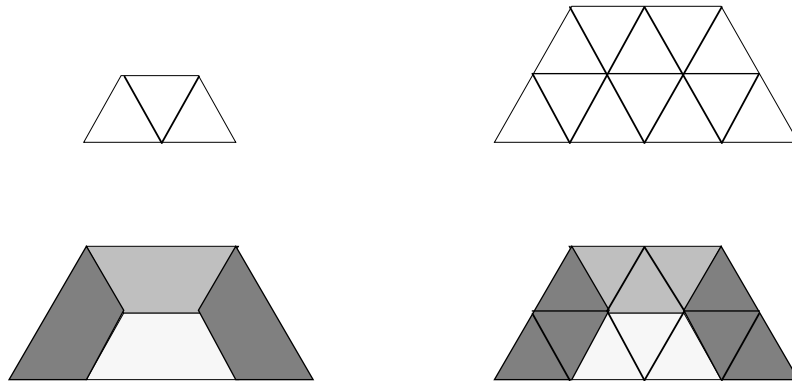


Abb. 2.8a: Basis-Figur zur Farmaufgabe in den Versionen KT, KG (oben); TG und KTG (unten).

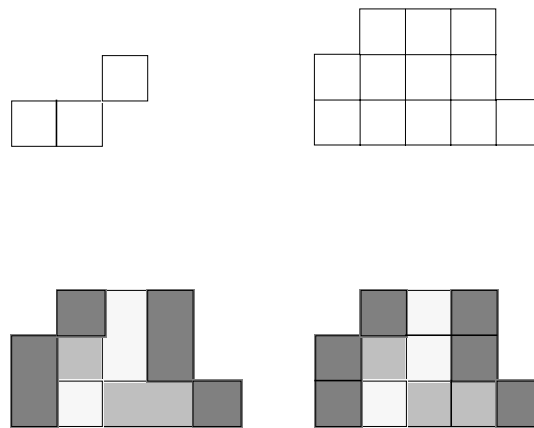


Abb. 2.8b: Basis-Figur zur „Bischofsmütze“ in den Versionen KT, KG (oben); TG und KTG (unten).

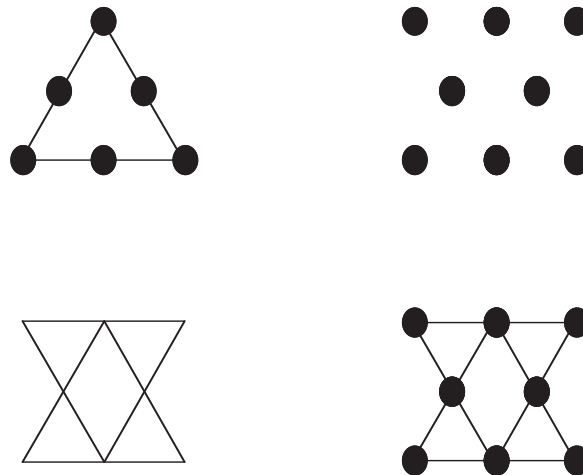


Abb. 2.8c: Basis-Figur zur Baumpflanzaufgabe in den Versionen KT, KG (oben); TG und KTG (unten).

2.1.2.3. Geräte

Das Experiment wurde als Papier-und-Bleistift-Version durchgeführt. Die Beispielaufgabe wurde mit Hilfe eines Overheadprojektors präsentiert. Zur Zeitmessung wurde eine Stoppuhr verwendet.

2.1.2.4. Durchführung

Das Experiment wurde jeweils in einer Mathematikstunde durchgeführt. Alle drei elften Klassen dieser Schule hatten zum selben Termin vier Mathematikstunden im Block ohne Pause. D.h., das Experiment fand in der ersten, zweiten oder dritten von vier Mathematikstunden statt und dauerte jeweils 45 Minuten. Der Lehrer war anwesend, saß aber hinten im Raum.

Nach der Begrüßung und einer allgemeinen Erklärung zum Experiment wurde die Instruktion verlesen und als Erläuterung die Beispielaufgabe demonstriert. Danach wurden die Arbeitsblätter verteilt und mit der Bearbeitung begonnen. Zwischen den Aufgaben war jeweils eine kurze Pause von weniger als einer Minute. Nach Bearbeitung der letzten Aufgabe füllten die Probanden den demographischen Fragebogen aus und gaben die Hefte ab.

Abschließend wurden die Lösungen der Aufgaben vorgestellt und offene Fragen beantwortet.

2.1.3. ERGEBNISSE

(a) *Relative Lösungshäufigkeiten*

Insgesamt lösten neun von 63 Probanden die Farmaufgabe, elf Probanden die Baumpflanzaufgabe und kein Proband die „Bischofsmütze“. Alternativ zu der Betrachtung der Lösungshäufigkeiten wäre denkbar, Dreistadts Bewertungssystem für die Lösungsskizzen zu übernehmen. Dem steht entgegen, dass nicht alle Probanden eine Skizze als Lösung markiert hatten und nicht eindeutig feststellbar ist, welche der Skizzen als letztes bearbeitet wurde.

(a1) *Vergleich mit Dreistadt (1969)*

Zunächst lassen sich die Befunde mit den Ergebnisse von Dreistadt (1969) für Farmaufgabe und Baumpflanzaufgabe vergleichen. Allerdings waren bei Dreistadt die Instruktionen sparsamer formuliert, das Experiment wurde in Einzelsitzungen durchgeführt und pro Aufgabe standen 20 statt zehn Minuten Bearbeitungszeit zur Verfügung. Ohne analoge Abbildung lösten damals zwei von 20 Probanden die Farmaufgabe und mit Abbildung zehn von 20 Probanden.

Die Baumpflanzaufgabe löste bei Dreistadt einer von zwanzig Probanden ohne Abbildung und 14 von zwanzig Probanden mit Abbildung. Die Aufgabenschwierigkeit beider Aufgaben ist offenbar sehr hoch.

	<i>Farmaufgabe</i>	<i>Baumpflanzaufgabe</i>
ohne Bild	10%	5%
mit Bild	50%	70%

Tab. 2.1: Prozentuale Lösungshäufigkeiten bei Dreistadt (1969).

Im Experiment 1 lösten drei von 14 Probanden der Kontrollgruppe die Farmaufgabe. Mit analoger Abbildung lösten sechs von 49 Probanden diese Aufgabe. Die Baumpflanzaufgabe wurde in der Kontrollbedingung von keinem Probanden gelöst. Mit Abbildung lösten sie elf von 51 Probanden.

	<i>Farmaufgabe</i>	<i>Baumpflanzaufgabe</i>
ohne Bild	21%	0%
mit Bild	12%	22%

Tab. 2.2: Prozentuale Lösungshäufigkeiten in Experiment 1.

Die Lösungshäufigkeiten bei der Farmaufgabe sind nicht mit denen von Dreistadt (1969) vergleichbar ($X^2 = 21.14$; $df = 3$; $p < .0001$): Ohne Bild wurden doppelt so viele Lösungen generiert, obwohl nur halb so viel Bearbeitungszeit zur Verfügung stand; mit Bild war die durchschnittliche Lösungshäufigkeit sogar geringer als in der Kontrollgruppe.

Die Bearbeitung der Baumpflanzaufgabe ist mit Dreistadts Befunden vergleichbar ($X^2 = 1.46$; $df = 3$; $p < .69$): Einer extrem niedrigen Lösungsrate in der Kontrollgruppe steht ein deutlich größerer Anteil korrekter Lösungen bei Abbildung gegenüber.

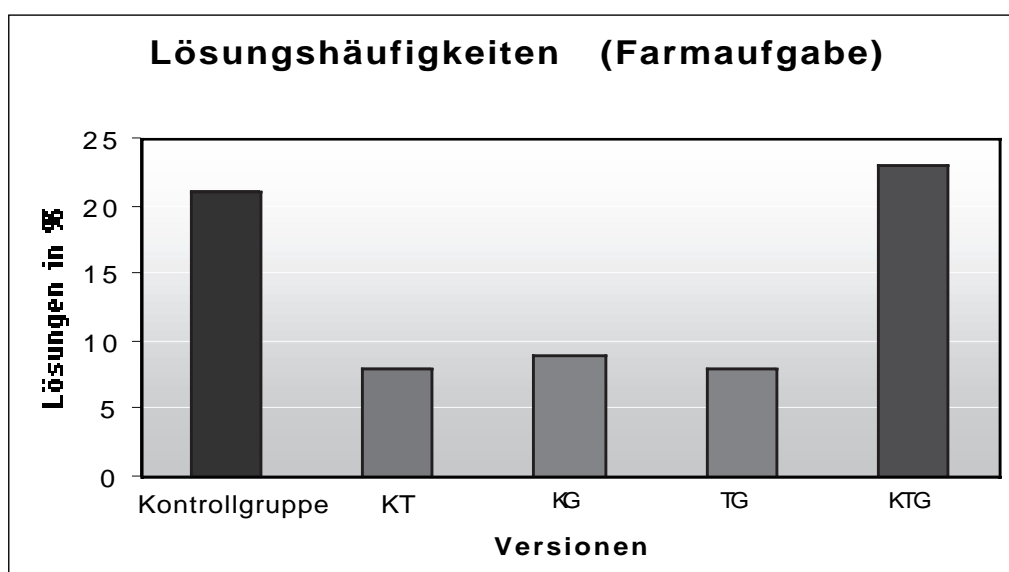
Die Aufgabe „Bischofsmütze“ war von Dreistadt nicht verwendet worden. Da in Experiment 1 keine Lösungen generiert wurden, wird diese Aufgabe von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

(a2) Relative Lösungshäufigkeiten pro Version

Farmaufgabe

Die Lösungshäufigkeit in den Versionen unterschieden sich überzufällig voneinander ($X^2 = 16.43$; $df = 4$; $p < .002$) und waren folgendermaßen verteilt:

In Version KTG wurden mit 23% deutlich mehr Lösungen gefunden als in den Versionen KT, KG und TG mit durchschnittlich 8% ($X^2 = 6.92$; $df = 1$; $p < .009$). Die relativen Lösungshäufigkeiten nach Abbildungen mit unvollständiger Information unterschieden sich untereinander nicht voneinander ($X^2 = .08$) und lagen deutlich unter den relativen Lösungshäufigkeiten von 21% in der Kontrollgruppe ($X^2 = 5.83$; $df = 1$; $p < .016$).



Diagr. 2.1: Prozentuale Lösungshäufigkeiten in den Versionen der Farmaufgabe.

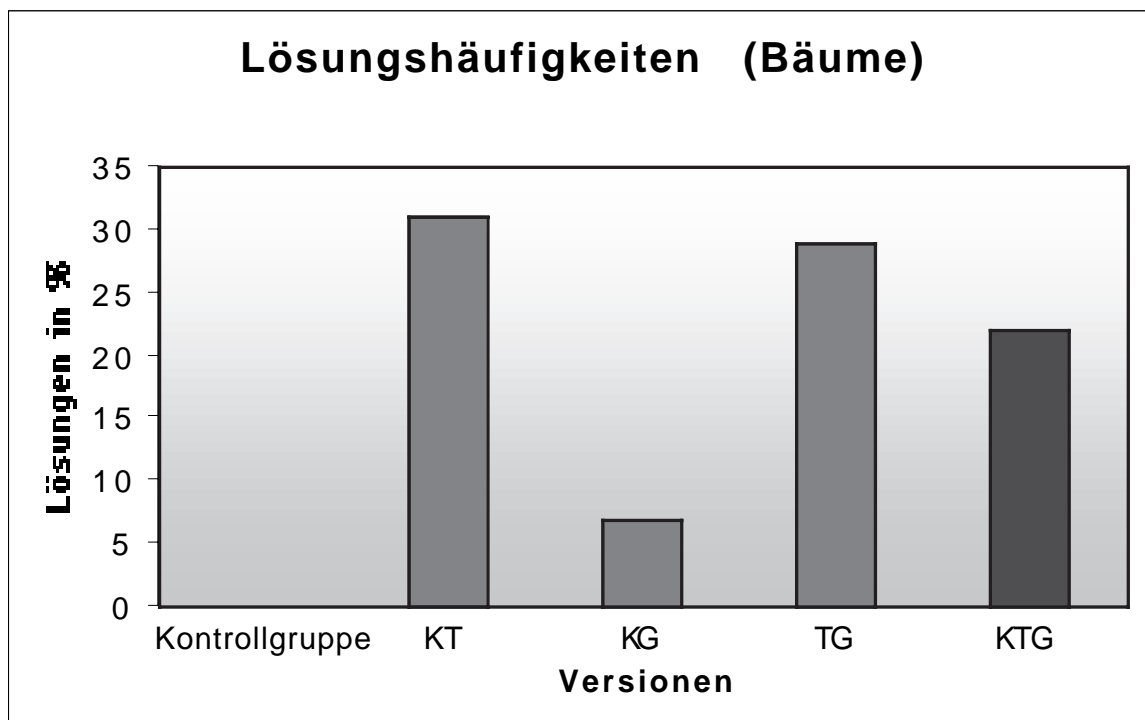
Insgesamt unterscheiden sich die Lösungshäufigkeiten aller Versionen mit Bild mit durchschnittlich 12% nicht signifikant von der Kontrollgruppe ($X^2 = 2.45$; $df = 1$; $p < .11$), liegen jedoch tendenziell unter diesem Wert.

	<i>Pbn.</i>	<i>Lsg. (n)</i>	<i>Lsg. (%)</i>
Kontrollgruppe	14	3	21 %
KT	13	1	8%
KG	11	1	9%
TG	12	1	8%
KTG	13	3	23%
insgesamt	63	9	14%

Tab. 2.3: Verteilung der Lösungshäufigkeiten in Experiment 1 (Farmaufgabe).

Baumpflanzaufgabe

Die relativen Lösungshäufigkeiten unterschieden sich voneinander ($X^2 = 42.28$, $df = 4$; $p < .0000001$) und verteilen sich folgendermaßen:



Diagr. 2.2: Prozentuale Lösungshäufigkeiten in den Versionen der Baumpflanzaufgabe.

Mit Bild lösten 22% der Probanden die Baumpflanzaufgabe, ohne Bild wurden keine Lösungen gefunden ($X^2 = 22$, $df = 1$; $p < .0001$). Zwischen vollständigen Abbildungen und unvollständigen Abbildungen bestand kein Unterschied in den relativen Lösungshäufigkeiten ($X^2 = 1.09$, $df = 1$; $p <$

.29), aber bei den Lösungshäufigkeiten innerhalb der unvollständigen Abbildungen ($X^2 = 15.87$, $df = 2$; $p < .0004$). In der Version KG wurden mit 7% deutlich weniger Lösungen gefunden als in den Versionen KT (31%) und TG (29%).

	<i>Pbn.</i>	<i>Lsg. (n)</i>	<i>Lsg. (%)</i>
Kontrollgruppe	12	0	0%
KT	13	4	31%
KG	15	1	7%
TG	14	4	29%
KTG	9	2	22%
insgesamt	63	11	18%

Tab. 2.4: Verteilung der Lösungshäufigkeiten in Experiment 1 (Baumpflanzaufgabe).

(b) AUFGABENANALYSEN

Anhand der abgelieferten Lösungsskizzen zu den drei Aufgaben ergaben sich für alle Probanden relativ einheitliche Bearbeitungsmuster. Ausgehend von den Anforderungen an eine korrekte Lösung sind verschiedene Strategien ableitbar, denen sich – abgesehen von einigen Schmierereien – alle Skizzen zu den Teilungsaufgaben zuordnen ließen.

1. Lösungsansätze zur Farmaufgabe

Anforderungen an die Lösung der Aufgabe

Die Lösung der Farmaufgabe erfordert die korrekte Anordnung gleichförmiger Teilfiguren in der Gesamtfigur. Entsprechend gibt es zwei Teilziele: Die Form der Teilfiguren zu finden und eine geeignete Anordnung innerhalb der Gesamtfigur zu generieren. Eine korrekte Lösung muss folgende Kriterien erfüllen:

1. Es sollen vier Teilfiguren eingefügt werden, die untereinander **formgleich** sind.

Um die Formgleichheit prüfen zu können, empfiehlt es sich, regelmäßige Figuren mit geraden Begrenzungslinien zu verwenden. Implizit geht aus der Aufgabenstellung außerdem hervor, dass die Teile zusammenhängende Gebilde ergeben sollten („ein Stück Land“). D.h., es sollten vier zählbare Entitäten entstehen.

2. Es sollen vier Teilfiguren eingefügt werden, die untereinander **größengleich** sind, d.h. den gleichen Flächeninhalt haben.

Für die Prüfung der Größenkonstanz sollte der Flächeninhalt der Figuren entweder direkt ablesbar oder zumindest berechenbar sein. In beiden Fällen stellt sich die Frage nach einem geeigneten Maßstab.

Beide Anforderungen lassen sich zum Kriterium der **Deckungsgleichheit** vereinen und sind entweder sukzessive oder gleichzeitig bearbeitbar. Mit der Forderung nach Deckungsgleichheit ist die Frage nach der geeigneten Form der Teile verknüpft.

3. Die vier deckungsgleichen Teile sollen genau viermal (ohne Rest) **in die Gesamtfigur einfügbar** sein.

Dieses Kriterium betrifft die Anordnung der Teilfiguren in der Gesamtfigur.

Für diese Anforderung ist es gleichgültig, ob die Aufgabe deduktiv oder induktiv bearbeitet wird, d.h. die Gesamtfigur in Teilfiguren zerlegt wird oder aus Teilfiguren zusammengesetzt wird. Auch ein Wechsel zwischen beiden Strategien wäre denkbar.

Lösungsstrategien

Aus den Lösungsskizzen zur Farmaufgabe waren folgende drei Lösungsansätze ablesbar:

(a) Puzzle-Strategie

Diese induktive Strategie sucht nach der Form einer Figur, die genau viermal in die Gesamtfigur eingefügt werden kann. Sie ist formorientiert, wobei die Größenkonstanz implizit gewährleistet ist. Als Kandidaten bieten sich regelmäßige, hochfrequente geometrische Figuren an, z.B. Quadrat, Rechteck, Dreieck oder Kreis. Bei Kenntnis des rep4-Prinzips könnte eine verkleinerte Kopie der Gesamtfigur eingesetzt werden.

Es ist entsprechend für jede potentielle Teilfigur zu prüfen, ob die Lösung der Anordnungsforderung gerecht wird. Ohne Kenntnis des rep4-Prinzips ist es sehr unwahrscheinlich, auf diesem Weg zur Lösung zu kommen.

(b) analytischer Lösungsweg

Der im Geometrieunterricht favorisierte Lösungsweg für Teilungsaufgaben besteht in einer sukzessiven Zerlegung der Gesamtfigur in jeweils untereinander gleiche Teile. Diese Strategie ist deduktiv und für das Farmproblem nur teilweise anwendbar, da sich die einzige Lösung, die allen Anforderungen gerecht wird, nicht durch zweimaliges Halbieren der Gesamtfigur generieren lässt. Eine erfolgversprechende Abwandlung dieser Heuristik besteht aus einer zweiteiligen Strategie, bei der auf eine Zerlegung der Gesamtfigur eine Anordnung von Teilen folgt:

Die Gesamtfigur wird in eine durch vier teilbare Anzahl von Komponenten ($4 \times n$ K) zerlegt und anschließend wird aus n Komponenten eine Teilfigur konstruiert (Zerlegung). Diese Figur wird schließlich viermal in die Gesamtfigur eingefügt (Anordnung). Die Suche nach einer geeigneten Anordnung ist auch in der Puzzle-Strategie enthalten, ist dort jedoch schwieriger zu realisieren.

Der Zwischenschritt über die Komponenten bietet drei Vorteile: die Größe der Teile ist direkt als Anzahl der Komponenten ablesbar, die Form der Teile ist als Anordnung der Komponenten beschreibbar und dadurch leicht vergleichbar und schließlich entlastet die Aufteilung der Gesamtfigur in Komponenten das Gedächtnis bei der Suche der geeigneten Anordnung der Teile in der Gesamtfigur.

Dieser Lösungsweg wird aufgrund der Nähe zur vertrauten Teilungsstrategie sehr häufig verwendet. Es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, die Lösung analytisch zu finden. Je nach Form der entstehenden Komponenten lassen sich die Zerlegung in Dreiecke oder die Zerlegung in Quadrate als konsistent verfolgte Lösungsstrategien beobachten:

(b1) Zerlegung in Dreiecke (analytisch-dreieckige Zerlegung)

Ziel des ersten Schrittes ist eine möglichst kleine, durch vier teilbare Anzahl von Komponenten. Bei der Zerlegung kann man sich entweder an der Symmetrieachse der Gesamtfigur orientieren und erhält im ersten Schritt zwei unregelmäßige Vierecke, die zwar untereinander deckungsgleich sind, aber nicht in deckungsgleiche Stücke halbiert werden können. Hier bietet sich an, in den nachfolgenden Teilungen regelmäßige Figuren zu erzeugen, aus denen Teile konstruierbar sind. Nach vier Teilungen erhält man 6 gleichschenklige, rechtwinklige Dreiecke. Nach weiterer Halbierung besteht die Gesamtfigur aus 12 gleichschenkligen, rechtwinkligen Dreiecken. Diese Anzahl von Komponenten ist zum ersten Mal durch vier teilbar. Jedes Teil besteht folglich aus drei Dreiecken. Dank der Komponentenstruktur wird relativ schnell ersichtlich, dass sich zwar vier größengleiche, zusammenhängende Gebilde aus je drei Dreiecken in die Gesamtfigur einfügen lassen, aber keine Anordnung von vier formgleichen Teilen existiert.

Diese Sackgasse lässt sich durch erneute Halbierung der Komponenten oder durch Strategiewechsel überwinden. Zu den entstandenen 24 Dreiecken existiert genau eine Anordnung von sechs Dreiecken, die alle drei Forderungen erfüllt. Da systematisches Kombinieren von sechs Dreiecken und den entsprechenden Anordnungen in der Gesamtfigur die Kapazität des Gedächtnisses übersteigt, ist es relativ unwahrscheinlich, über die Zerlegung der Gesamtfigur in Dreiecke zur Lösung zu gelangen.

(b2) Zerlegung in Quadrate (analytisch-viereckige Zerlegung)

Oft ist nach Scheitern der Zerlegung in Dreiecke eine alternative Zerlegungsstrategie zu beobachten, die mit der Dreiteilung der Gesamtfigur in Quadrate beginnt. Offenbar ist dabei das Streben nach regelmäßigen, teilbaren Figuren bereits bei der ersten Teilung dominant. Anschließend könnte jedes Quadrat in vier Dreiecke unterteilt werden und anschließend die Zerlegung in Dreiecke weiterverfolgt werden. Oder man nutzt die rep_4 -Struktur der Quadrate und erhält insgesamt 12 Quadrate, so dass jedes Teil aus drei Quadraten bestehen muss. Drei Quadrate sind in genau zwei Anordnungen zu zusammenhängenden Figuren kombinierbar: als Rechteck mit dem Seitenverhältnis 1:3 oder als gleichschenklige Winkelfiguren. Für vier Rechtecke existiert keine Anordnung in der Gesamtfigur. Für das Einsetzen der Winkel existieren viele Sackgassen mit maximal drei einfügbaren Teilen. Bei Nutzung der Komponentenstruktur sollte es jedoch möglich sein, die korrekte Anordnung zu finden. Die Dominanz karierten Papiers im Mathematikunterricht kommt dieser Komponentenstruktur sehr entgegen. Durch Abzählen der Kästchen ist einerseits der Flächeninhalt direkt ablesbar und andererseits Teilungsaufgaben mit Figuren, die in Quadrate zerlegbar sind, deutlich erleichtert.

(b3) rechnerische Zerlegung

Schließlich wäre eine abstrakte Form der Zerlegung der Gesamtfigur denkbar, bei der zunächst der Flächeninhalt der Figur bestimmt wird. Da keine Längenangaben ablesbar sind, kommt es hier auf die Wahl eines geeigneten Maßstabes an: Eine Seitenlänge von zwei oder vier Längeneinheiten (LE) führt zu einem durch vier teilbaren Maß für den Flächeninhalt der Gesamtfigur, wobei $4LE$ ($\Rightarrow 12 K$) optimal sind:

$$2LE \times 2LE - 1LE \times 1LE = 3LE^2 \quad \Rightarrow T = 3/4 LE^2$$

$$4LE \times 4LE - 2LE \times 2LE = 12LE^2 \quad \Rightarrow T = 3LE^2$$

Bei einer Seitenlänge von drei oder fünf LE wären die Seitenlängen der Fläche nicht ganzzahlig. Entsprechend ergeben sich für die Flächeninhalte der Teile $27/16 LE^2$ bzw. $4.6875 LE^2$.

Diesem Flächeninhalt müsste im nächsten Schritt eine geeignete Form zugewiesen werden. Dazu muss entweder die Puzzle-Strategie oder die Zerlegung in Dreiecke bzw. Quadrate herangezogen werden.

Das bedeutet, dass die Farmaufgabe nicht losgelöst von den visuellen Eigenschaften der Figur bearbeitet werden kann. Als Ergänzung zur Puzzle- oder Zerlegungsstrategie kann die Flächeninhaltsberechnung jedoch wertvolle Impulse liefern, z.B. bei der Uminterpretation der Gesamtfigur von dreieckigen Komponenten zu quadratischen Komponenten.

(c) Neuorientierung

Bei Scheitern eines Lösungsweges war in der Voruntersuchung oft eine Neuorientierung zu beobachten, die dazu führte, dass die Probanden die Aufgabenstellung erneut lasen und alte Lösungsskizzen überflogen. In dieser Phase sind Bewältigungsversuche zu beobachten, die sich mit den oben beschriebenen Strategien nicht erfassen lassen. Eine Variante besteht in einer

(c1) Veränderung der Aufgabenstellung

Meist wird eine der drei Anforderungen an die Lösung fallen gelassen oder die Geschlossenheit der Teilfiguren aufgegeben. Da die Geschlossenheitsforderung nur implizit durch die Formulierung „ein Stück Land“ in der Aufgabe enthalten war, ist schwer zu entscheiden, ob Lösungen mit mehr als vier zählbaren Entitäten zulässig sind. Weil dadurch mindestens drei weitere Lösungen existieren, stellt die Lockerungsstrategie ein ernsthaftes Problem dar.

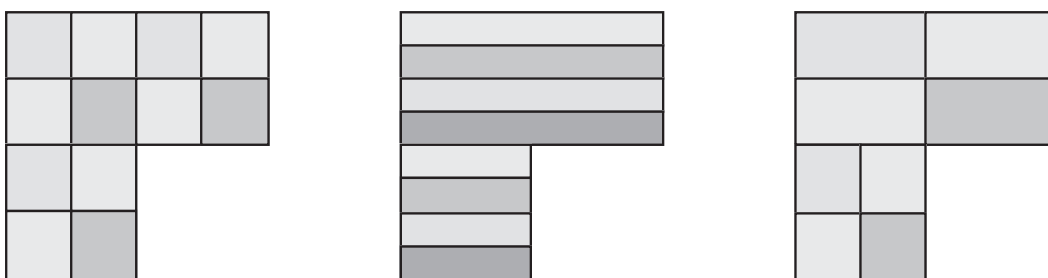


Abb. 2.9: Alternativlösungen zur Farmaufgabe unter Vernachlässigung der Geschlossenheitsforderung.

Bei der Baumpflanzaufgabe besteht ein ähnliches Problem mit der Forderung nach geradlinigen Baumreihen. Dort stieg die Lösungsschwierigkeit der Aufgabe durch die entsprechende explizite Forderung stark an. Weil alle Probanden erst nach Scheitern einer Lösungsstrategie auf diese Möglichkeit zurückgriffen, wurde darauf verzichtet, die Farmaufgabe entsprechend zu modifizieren. Außerdem akzeptierten die Probanden derartige Alternativlösungen nur unter Vorbehalt.

(c2) Veränderung der Fläche u.ä.

Außerdem entstanden Skizzen, die gegen mindestens eine explizite Forderung (Form- und Größengleichheit der Teile sowie restlose Aufteilung in der Gesamtfigur) verstoßen.

Dabei bietet die Anordnungsforderung das größte Potential zu inhaltlichen Manipulationen. Beispielsweise könnte die Anzahl der Söhne verändert werden, so dass nur ein bzw. drei Söhne Land erben und der bzw. die anderen ausgezahlt werden. Alternativ veränderten einige Probanden die Form der Gesamtfigur, indem sie entweder das „fehlende“ Quadrat „dazukaufen“ oder ein Drittel der Fläche „verkauften“ und die entstandene Fläche durch zweimaliges Halbieren vierteilten. Einige Probanden verschieben einen Teil der Fläche, so dass ein Rechteck entstand und zerlegten es anschließend.

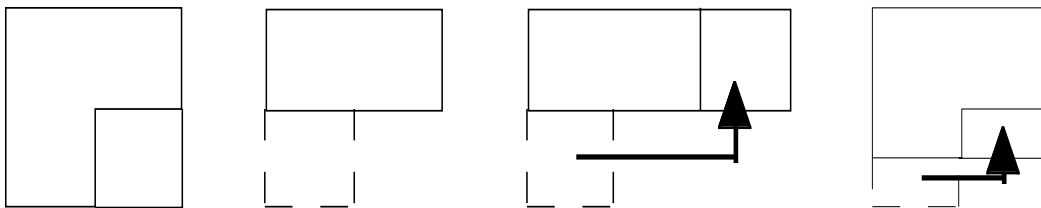


Abb. 2.10: „Ver-/Ankauf von Land“ und Verschiebung von Flächen als alternative Lösungsstrategien zur Farmaufgabe.

Alle inhaltlichen Veränderungen wurden von den Probanden nicht als abschließende Lösung akzeptiert. In allen Fällen folgten Skizzen, welche der Puzzle- oder analytischen Strategie zuzuordnen sind.

(c3) Annäherung an die Lösungsanforderungen

Die letzte beobachtete Bearbeitungsstrategie besteht in einer Annäherung an die drei Forderungen. Diese Skizzen wirken wie das Ergebnis eines unsystematischen Ausprobierens, nachdem der übliche Teilungsalgorithmus gescheitert ist.

2. Lösungsansätze zur „Bischofsmütze“

Die Lösungsstrategien zur Aufgabe „Bischofsmütze“ folgen weitgehend den oben beschriebenen Strategien für die Farmaufgabe. Auch die Bischofsmütze ist eine Teilungsaufgabe, die induktiv oder deduktiv bearbeitbar ist. Es gelten die gleichen Anforderungen wie bei der Farmaufgabe:

Anforderungen an die Lösung der Aufgabe

Auch hier wird die korrekte Anordnung gleichartiger Teilfiguren in der Gesamtfigur gesucht. Entsprechend sind als Teilziele die Form der Teile sowie die geeignete Anordnung zu finden. Allerdings ist die Aufgabe in keinen semantischen Kontext eingebettet, so dass für die Kriterien keine inhaltliche Unterstützung bereitsteht. Die einzige in der Literatur beschriebene Lösung (Gardner, 1971) sieht folgendermaßen aus:

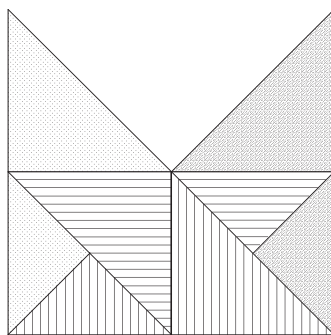


Abb. 2.11: Lösung der Aufgabe „Bischofsmütze“.

Kriterien für eine korrekte Lösung sind

1. die **Formgleichheit** der Teilfiguren. Es empfiehlt sich wiederum, regelmäßige Figuren mit geradlinigen Begrenzungslinien zu verwenden, um diese Anforderung direkt prüfen zu können. Auch der Formulierung „... in vier form- und größengleiche Stücke!“ könnte man eine implizite Forderung nach in sich geschlossenen Figuren entnehmen, die jedoch etwas schwächer ist als bei der Farmaufgabe. Dass die einzige Lösung gegen diese Forderung verstößt, dürfte die Lösung des Problems erheblich erschweren.

2. die **Größengleichheit** der Teilfiguren. Zur Prüfung wäre es wünschenswert, wenn der Flächeninhalt der Teile direkt ablesbar oder leicht zu bestimmen wäre. In beiden Fällen stellt sich erneut die Frage nach einem geeigneten Maßstab.

Beide Kriterien lassen sich zur Forderung nach **Deckungsgleichheit** vereinen und sind sukzessive oder gleichzeitig bearbeitbar.

3. die **Einfügung in die Gesamtfigur ohne Rest**. Damit stellt sich das Problem einer geeigneten Anordnung der vier Teilfiguren in die Gesamtfigur.

Lösungsstrategien

Die beobachteten Lösungsstrategien für die „Bischofsmütze“ sind mit denen bei der Farmaufgabe beschriebenen Strategien vergleichbar:

(a) Puzzle-Strategie

Wie bei der Farmaufgabe ist es ohne Expertise auf dem Gebiet der Teilungsaufgabe sehr unwahrscheinlich, die Form der Teilfiguren zu finden. Dass die gesuchten Teile aus separaten Teilfiguren bestehen, wirkt sich zusätzlich erschwerend aus.

(b) analytischer Lösungsweg

Die vorliegenden Lösungsskizzen deuten darauf hin, dass alle Probanden versucht haben, das Problem auf dem analytischen Weg oder/und durch rechnerische Zerlegung zu lösen. Dabei entstehen für gewöhnlich zuerst sechs und dann zwölf rechtwinklige, gleichschenklige Dreiecke. Interessanterweise kommt man sowohl durch Halbierung als auch durch Dreiteilung der Gesamtfigur

auf diese Einteilung, so dass die Zerlegung in Dreiecke bzw. in Quadrate bei der Farmaufgabe bei der „Bischofsmütze“ zusammenfallen.

Dennoch existieren einige Skizzen, bei denen die Gesamtfigur in Quadrate zerlegt wurde. Dort scheinen die entstandenen „Kästchen“ zur Bestimmung des Flächeninhalts der Gesamtfigur zu dienen und nicht der Suche nach einer geeigneten Form der Teilfiguren.

(b1) rechnerische Zerlegung

Auch die „Bischofsmütze“ besteht aus einem Quadrat, aus dem ein Viertel entfernt wurde. Damit stimmt der Flächeninhalt der Gesamtfigur mit dem der Farmfigur überein:

$$A_G = 3/4 a^2; A_F = 3/16 a^2.$$

Auch hier lässt sich die Frage nach dem geeigneten Maßstab und der Übersetzung in eine geeignete Form nicht umgehen, so dass die Aufgabe nicht allein durch abstrakte Überlegungen zu bewältigen ist.

Da keine Anordnung von viermal drei Dreiecken als in sich geschlossene Teilfigur in der Gesamtfigur existiert, wird entweder erneut halbiert oder auf eine Näherungsheuristik zurückgegriffen. Auf diesen Wegen ist die Lösung nur zu dem Preis zu finden, dass die Geschlossenheitsprämisse aufgegeben wird.

Die Anordnung der Teile in der Gesamtfigur gestaltet sich aufgrund der Zweiteilung der Teilfiguren als sehr aufwendig, da für jedes Teil die Stellung der beiden Stücke zueinander geprüft werden muss.

Bei einem von 63 Probanden wurde die korrekte Form der Teile eingesetzt, dort allerdings bei der Bearbeitung der Farmaufgabe. Damit sind alle Probanden bereits am ersten Teilziel gescheitert.

(c) Neuorientierung

Extrem wenige Probanden bezeichneten die Aufgabe als nicht lösbar. Da die Aufgabe nicht in einen semantischen Kontext gestellt war, waren keine Tendenzen zu inhaltlichen Veränderungen der Aufgabenstellung zu beobachten. Sehr wenige Probanden trennten Teile ab oder fügten Teile zu einer neuen Gesamtfigur zusammen.

Da keiner der 63 Probanden innerhalb von zehn Minuten eine korrekte Lösung generierte, wurde auf die Bearbeitung der „Bischofsmütze“ ab Experiment 2 verzichtet.

3. Lösungsansätze zur Baumpflanzaufgabe

Die Lösungsskizzen zur Baumpflanzaufgabe waren wesentlich weniger homogen als bei den Teilungsaufgaben, was vermutlich daran liegt, dass dieser Aufgabentyp den Probanden nicht vertraut war. Deshalb lässt sich das Problemlöseverhalten der Schüler am besten anhand der beobachteten Hürden beschreiben:

Anforderungen an die Lösung der Aufgabe

Die Aufgabenstellung fordert die Anordnung von zwölf Bäumen in sechs gerade Reihen zu je vier Bäumen.

Das erste Kriterium ist daher, die Bäume in **geradlinige Anordnungen zu je vier Bäumen** zu bringen.

Das zweite Kriterium ist, dass eine **Gesamtanordnung aus sechs solcher Reihen** entsteht.

Die letzte Forderung ist, dass **nur zwölf Bäume** verwendet werden dürfen.

Lösungsstrategien

In Experiment 1 waren zwei Strategien beobachtbar: entweder gingen die Schüler von Bäumen aus und suchten nach einer Anordnung von Reihen (induktiv) oder sie gingen von Reihen aus und suchten nach einer Anordnung der Bäume (deduktiv). Außerdem wäre eine Mischstrategie aus beiden Ansätzen denkbar, welche die Anordnung der Bäume und die Anordnung der Reihen kombiniert.

Hürden bzw. Hindernisse auf dem Lösungsweg

(1) Geeignete Darstellungsform

Als erste Hürde erwies sich die Visualisierung der Aufgabe. Etliche Probanden malten zwölf Laub- oder Nadelbäume horizontal nebeneinander auf das Papier. Eine geeignete Variante einer Viererreihe besteht aus einer Strecke, deren Endpunkte durch Kreise markiert sind, und die zwei weitere Kreise zwischen beiden Endpunkten aufweisen:



Abb.2.12: Geeignete Darstellungsform für Bearbeitung der Baumpflanzaufgabe.

(2) Mehrfachbelegung und Rechtwinkligkeit

Das zweite Hindernis bestand darin, dass die Probanden von parallelen Reihen und konstanten Abständen zwischen den Bäumen ausgingen. In dieser Phase sind die meisten inhaltlichen Veränderungen der Aufgabenstellung zu beobachten: Der Gärtner kauft weitere Bäume, teilt Bäume oder weist den Auftrag zurück.

Diese Hürde ist überwindbar, indem man Schnittpunkte zwischen den Reihen zulässt. Die darauf folgenden Skizzen stellen meist Reihen dar, die sich im 90°-Winkel schneiden.

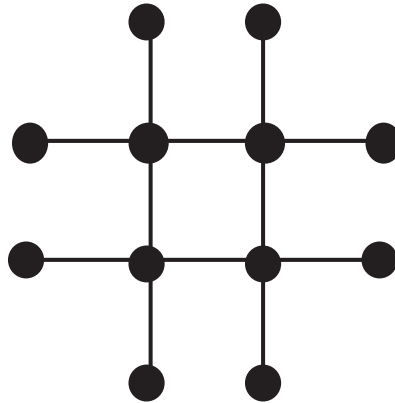


Abb. 2.13: Anordnung von 12 Bäumen in gerade Reihen zu je vier Bäumen.

(3) Jeder Baum gehört durchschnittlich zwei Reihen an.

Bei einfacher Belegung werden 24 Bäume benötigt, es stehen jedoch nur 12 Bäume zur Verfügung. Diese Hürde lässt sich überwinden, indem der Mangel konstruktiv umgewandelt wird: Jeder Baum muss durchschnittlich zwei Reihen angehören, um insgesamt sechs gerade Reihen aus je vier Bäumen zu bilden.

(4) Geeignete Anordnung

Neben der favorisierten Lösung existieren noch mindestens drei weitere Anordnungen von je zwölf Bäumen zu sechs Viererreihen, so dass bei Bewältigung der vorangegangenen Lösungsschritte mindestens eine Lösung gefunden werden sollte.

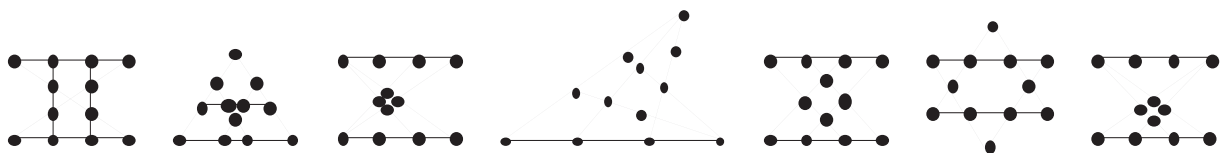


Abb. 2.14: Lösungen der Baumpflanzaufgabe inklusive der Dreistadt-Lösung (6. Figur von links).

(5) Expertise und weitere Strategien

Ausschließlich bei der Baumpflanzaufgabe war zu beobachten, dass Probanden die dargebotenen Basis-Abbildungen „vervollständigten“, so dass Viererreihen entstanden. Aufgrund der globalen Ähnlichkeit zwischen der ersten und dritten Lösung von links zur dargebotenen Basis-Figur führte diese Strategie in einigen Fällen zur Lösung.

Gardner (1985) beschreibt die Baumpflanzaufgabe als Anwendung des Pappus-Theorems und ordnet sie damit der Inzidenzgeometrie zu. Da jeder Punkt als Schnittpunkt zweier Geraden und jede Gerade durch zwei enthaltene Punkte eindeutig festgelegt ist, sind mit dieser Zuschreibung alle Hürden außer der spezifischen Anordnung überwunden: Die in der Geometrie übliche Darstellung von Geraden und Punkten ist geeignet, das Problem zu visualisieren, die Einführung von

Schnittpunkten ermöglicht Mehrfachbelegungen. Die Abstraktion auf Geraden und Punkte schwächt die Annahme rechtwinkliger Anordnungen.

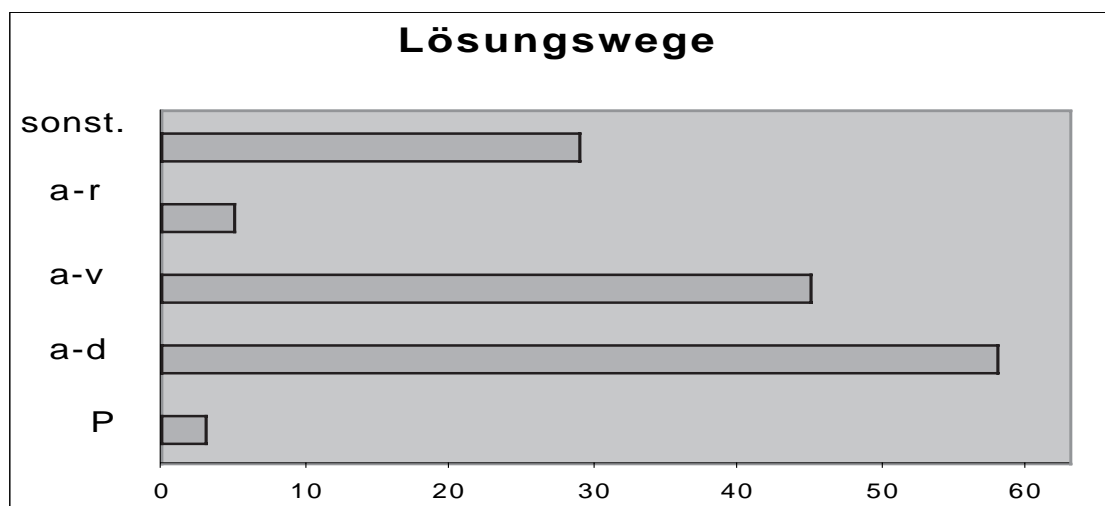
Das Pappus- bzw. Desargues-Theorem legt eine Vielzahl möglicher Anordnungen nahe (vgl. Dorwart, 1966; Klotzek, 1971; Kadison, 1996).

Aufgrund der unüberschaubaren Menge an potentiellen Lösungen wurde in den Experimenten 2 bis 6 auf Verwendung der Baumpflanzaufgabe verzichtet.

Zuordnung der Lösungsskizzen der Probanden zu den verschiedenen Strategien

1. Farmaufgabe

Bei Bearbeitung der Farmaufgabe zeichneten 62 Probanden Figuren, die mit den analytischen Lösungswegen vereinbar sind. Proband 55 löste das Problem mit der ersten Skizze; und außer den Begrenzungslinien der Teilfiguren sind keine weiteren Markierungen oder Linien erkennbar. Dieser Proband gab in der Nachbefragung an, die Aufgabe nicht vor dem Experiment gekannt zu haben.

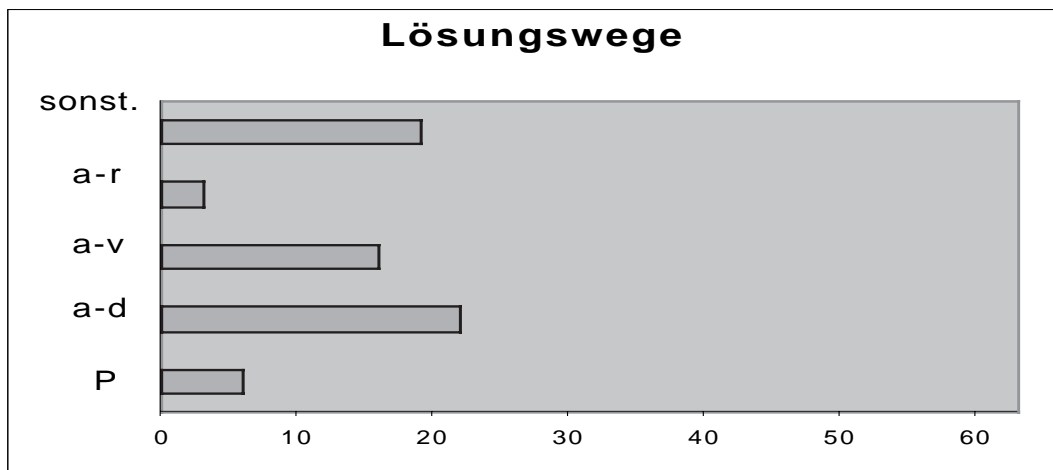


Diagr. 2.3: Prozentuale Anteile der in Experiment 1 beobachteten Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe. (a-r: rechnerische Zerlegung; a-v: analytisch-viereckige Zerlegung; a-d: analytisch-dreieckige Zerlegung; P: Puzzle-Strategie)

2. Bischofsmütze

Die „Bischofsmütze“ wurde von keinem Probanden innerhalb von zehn Minuten gelöst. Entsprechend ist das Bild der Lösungsskizzen weniger homogen. Insgesamt scheinen bei der Bearbeitung die gleichen Strategien wie bei der Farmaufgabe angewendet worden zu sein.

Die Geschlossenheit der Teilfiguren scheint eine wesentliche Bedingung zu sein, die auch ohne inhaltlichen Kontext ungern aufgegeben wird. Viele Probanden haben die Figur in zwölf Dreiecke geteilt, konnten aber trotz Komponentenstruktur keine geeignete Anordnung finden.



Diagr. 2.4: Prozentuale Anteile der in Experiment 1 beobachteten Lösungswege bei Bearbeitung der „Bischofsmütze“.

3. Baumpflanzaufgabe

Für die Baumpflanzaufgabe lassen sich keine homogenen Tendenzen bei der Aufgabenbewältigung beobachten. Daher lassen sich die Skizzen nicht wie bei den Teilungsaufgaben einzelnen Strategien zuordnen.

2.1.4. DISKUSSION

...zum verwendeten Material

Die verwendeten Target-Aufgaben waren den Probanden vor dem Experiment nicht bekannt. Die Aufgabenschwierigkeit war bei der Farmaufgabe angemessen, aber bei der „Bischofsmütze“ zu hoch. Die Baumpflanzaufgabe schied aus den weiteren Untersuchungen aus, weil es zu viele Lösungen und kein einheitliches Herangehen der Probanden gab. Somit stand nach Experiment 1 nur noch die Farmaufgabe als Target zur Verfügung.

Die verwendeten Basis-Figuren waren in ihrer Wirksamkeit sehr heterogen. Das Trapez als Basis zur Farmaufgabe ist offenbar ungeeignet, Hinweise auf die Lösungsstruktur zu illustrieren.

Die Aufgabenanalyse legte eine Vielfalt von Bewältigungsstrategien für beide Aufgabentypen offen, wobei die Herangehensweise bei den Teilungsaufgaben im Gegensatz zur Baumpflanzaufgabe relativ homogen war. Teilungsaufgaben bewältigten die Probanden überwiegend analytisch und orientierten sich dabei an den Symmetrieachsen der Figur. Beim Scheitern einer Strategie waren verschiedene Formen der Neuorientierung zu beobachten.

Bei der Interpretation der Strategien ist zu beachten, dass zum einen nicht zwischen den Versuchsgruppen differenziert wurde und zum anderen auch Skizzen von Probanden einfließen, welche die Lösung nicht gefunden haben. Für dieses Vorgehen spricht, dass Lösungshäufigkeiten

in den Gruppen sehr gering waren und keine offensichtlichen Unterschiede zwischen den Gruppen zu beobachten waren. Sollten die dargebotenen Basis-Figuren Einfluss auf die verwendete Lösungsstrategie haben, könnte sich das Bild jedoch verschieben. Außerdem ist die Puzzle-Strategie vermutlich unterbewertet, da sie sich für gewöhnlich nicht in Lösungsskizzen ausdrückt und bei der Suche nach der Anordnung der Teile in der Gesamtfigur nicht von der zweiten Phase des analytischen Lösungsweges zu unterscheiden ist.

Insgesamt bietet die Aufgabenanalyse eine gute Basis für nachfolgende Experimente, sollte jedoch durch weitere Skizzen und Verbalprotokolle von Probanden überprüft werden. Es wäre außerdem wünschenswert, die Aufgabenschwierigkeit der Farmaufgabe zu senken, ein noch homogeneres Herangehen der Probanden zu bewirken und die Attribute der visuellen Oberfläche klassifizierbar zu machen.

...zur Vollständigkeit der illustrierten Struktur

Laut Arbeitshypothese (1) wurde erwartet, dass mit Basis-Figur mehr Probanden die Lösung finden als ohne Abbildung. Das bestätigte sich für die Farmaufgabe und die „Bischofsmütze“ nicht, aber für die Baumpflanzaufgabe.

Arbeitshypothese (2) besagte, dass eine vollständige Illustration der zugrunde liegenden Struktur zu höheren Lösungshäufigkeiten führt als unvollständige Abbildungen. Das bestätigte sich bei der Farmaufgabe, jedoch nicht bei der Baumpflanzaufgabe. Allerdings war der Anteil der Probanden, welche die Farmaufgaben gelöst haben, in den Gruppen mit Abbildungen und in der Kontrollgruppe ohne Figur vergleichbar, während die durchschnittliche Lösungshäufigkeit bei der Baumpflanzaufgabe mit Abbildung höher war als ohne Bild.

Arbeitshypothese (3) prognostizierte, dass die unvollständigen Abbildungen –je nach Relevanz der dargestellten Struktureigenschaften für die Lösung– zu unterschiedlichen Lösungshäufigkeiten in den einzelnen Gruppen führen sollten. Das bestätigte sich für die Baumpflanzaufgabe, jedoch nicht für die Farmaufgabe. Dort waren die Probanden mit unvollständigen Abbildungen sogar im Durchschnitt weniger erfolgreich als die Probanden der Kontrollgruppe.

Insgesamt wirken die Befunde wenig homogen. Keine der beiden Hypothesen lässt sich für beide Aufgaben bestätigen oder verwerfen. Bei getrennter Betrachtung beider Aufgaben ist folgendes zu erkennen:

Bei der *Farmaufgabe* waren Probanden mit vollständiger Abbildung und ohne Abbildung gleichermaßen erfolgreich. Bei vollständiger Abbildung scheinen der Aufwand, die Figur zu enkodieren, und der Nutzen der Figur für die Aufgabenbewältigung einander aufzuwiegen. Bei unvollständigen Figuren ist dieses Verhältnis zuungunsten der Aufgabenbewältigung verschoben. Es ist z.B. möglich, dass diese Figur nicht oder nicht im Sinne des Targets interpretiert werden konnte. Alternativ ist denkbar, dass keine Abbildungsfunktion für zwei unvollständige Strukturen gefunden wurde. Schließlich könnte die Figur einen irreführenden Hinweis gegeben haben, z.B. die Farm in Dreiecke oder Trapeze zu teilen. Entsprechend war es unerheblich, welcher Aspekt

illustriert wurde.

Insgesamt ist der Nutzen der Basis-Figuren sehr gering. Die beste Strategie für einen Probanden bestünde darin, die Figur zu ignorieren und die „gesparte“ Zeit in die Bearbeitung der Target-Aufgabe zu investieren. Es gilt daher zu klären, welche Eigenschaften eine potentielle Basis-Figur zusätzlich zur vollständig illustrierten Aufgabenstruktur aufweisen muss, um die Bearbeitung der Target-Aufgabe zu erleichtern.

Die *Baumpflanzaufgabe* ist wesentlich schwerer zu lösen als die Farmaufgabe. Ohne Abbildung fand kein Proband innerhalb von zehn Minuten eine Lösung. Die Aufgabenanalyse zeigte, dass es keine vertraute Bearbeitungsstrategie gibt und viele Probanden schon Probleme damit hatten, eine geeignete Visualisierung zu finden. Entsprechend war jede Abbildung, die Ideen zur Bewältigung beisteuert, hilfreich. Da die Version KG zu einer deutlich niedrigeren Lösungsrate führte als die anderen Versionen, lässt sich auch hier vermuten, dass eine angemessene Interpretation der Figur nicht gefunden wurde, weil nur eine Ansammlung von Bäumen dargeboten wurde, aber keine Baumreihen. Selbst Version TG, in der nur Linien präsentiert wurden, und keine Baumreihen, war erfolgreicher. Offenbar war es leichter, die Schnittpunkte der Linien als Bäume zu interpretieren, als die Bäume in Version KG zu Reihen zu verbinden. Aufgrund der hohen Lösungsschwierigkeit und der Oberflächenähnlichkeit zu Alternativlösungen scheinen Merkmale der visuellen Oberfläche, z.B. Anzahl der dargestellten Bäume, nicht ins Gewicht zu fallen. Das könnte sich ändern, wenn die Aufgabenschwierigkeit durch eine vorgegebene Visualisierungsform verringert würde, z.B. indem die Aufgabe als Münzproblem vorgegeben wird oder mithilfe von auf Plastikfolie aufgezeichneten Baumreihen zu bearbeiten ist.

Insgesamt lässt sich die Vollständigkeitshypothese tendenziell bestätigen, muss aber weiter differenziert werden. Bei einer Basis-Figur geringer Qualität ist eine vollständige Darstellung der Struktur offenbar Grundvoraussetzung für den Transfer, während es bei einer semantisch nahen Figur vorwiegend darauf ankommt, dass relevante Aspekte illustriert werden.

Sicher ist, dass mit der Vollständigkeit der dargestellten Struktur in einer Basis-Figur noch nicht alle relevanten Faktoren berücksichtigt sind. Vieles deutet darauf hin, dass die Eigenschaften der visuellen Oberfläche als zusätzlicher Faktor bei der Konstruktion von Basis-Figuren zu beachten ist.

Es gibt eine Vielzahl potentiell relevanter Attribute, welche in psychologischen Tests zu visuellen Analogien aufgeführt werden: Formaspekte (Endpunkte, Kontur, Komplexität, konvex/konkav, Objekt-Grund-Relation, Geschlossenheit, Vertrautheit und Symmetrie), Größenaspekte (Ausdehnung bzw. Flächeninhalt, Länge, Proportionen), Farbaspekte (Farbton, Muster, Helligkeit, Rahmen vs. Füllung, Kontraste) sowie weitere Attribute, wie Orientierung im Raum, Anzahl, Vorder- vs. Hintergrund und Mengenrelationen, z.B. Enthaltensein.

In Experiment 2 wurden einige dieser Merkmale realisiert, um beim Transfer wirksame Faktoren zu isolieren.

PILOTSTUDIE

2.2. EXPERIMENT 2: Quantifizierung der visuellen Oberfläche *(...zum Zusammenhang zwischen Ähnlichkeit und Nutzbarkeit)*

In Experiment 1 war deutlich geworden, dass die Vollständigkeit der illustrierten Struktur allein nicht ausreicht, um visuellen, analogen Transfer hinreichend zu beschreiben. Deshalb wurde in Experiment 2 der Zusammenhang zwischen dem Ähnlichkeitsurteil über zwei Figuren und der vermuteten Nutzbarkeit der entsprechenden Analogie untersucht. Bei nicht orthogonaler Kreuzung von strukturellen und semantischen Aspekten beider Repräsentationen sollten für beide Urteile die gleichen Faktoren verantwortlich sein. Diese sollten anschließend für die Konstruktion nutzbarer Basis-Figuren anwendbar sein.

Um ein angemessenes Nutzbarkeitsurteil abgeben zu können, lösten die Probanden die Farnaufgabe als Target ohne unterstützende Basis oder andere Hinweise und beurteilten anschließend potentielle Basis-Figuren. Die gewonnenen Daten (Lösungsskizzen, Lösungszeiten und Verbalprotokolle der Nachbefragung) dienten außerdem als Kontrollbedingung für nachfolgende Experimente und zur Überprüfung der Aufgabenanalyse aus Experiment 1.

Die Probanden wurden einzeln getestet, und für die Bearbeitung der Target-Aufgabe wurde keine zeitliche Begrenzung vorgegeben.

2.2.1. ARBEITSHYPOTHESEN

(1.) Die Interaktion von Struktur und Semantik sollte sich in einer positiven Korrelation zwischen den Urteilen über die Gesamtähnlichkeit beider Figuren (Basis und Target) und über die Nutzbarkeit der entsprechenden Analogie ausdrücken.

Ähnlichkeit ~ Nutzbarkeit

(1.1.) Die für das Ähnlichkeitsurteil relevanten Aspekte der visuellen Oberfläche sollten auch für das Nutzbarkeitsurteil relevant sein.

2.2.2. METHODE

2.2.2.1. Versuchspersonen

Das Experiment 2A (kariertes Arbeitspapier; siehe unten) wurde im Dezember 1997 im Kreis Ratzeburg mit zehn Schülern und Studenten durchgeführt. Das Experiment 2B (unliniertes Arbeitspapier; s. Anhang S. VI) fand in Kleinmachnow mit zehn Schülern des dortigen Weinberggymnasiums statt. Die Probanden wurden einzeln, ungefähr eine Stunde lang, getestet. Die folgenden Werte beziehen sich jeweils auf die Gesamtgruppe und werden anschließend in Klammern für die Gruppe 2A und 2B getrennt aufgeführt.

Es nahmen sieben Frauen (vier und drei) und 13 Männer (sechs und sieben) teil, das Durchschnittsalter betrug in beiden Gruppen 19 Jahre. Der jüngste Proband war 13 Jahre alt und der älteste 34 Jahre. Der Schwerpunkt lag bei 16 bis 17 Jahren. Vier Probanden waren Studenten

bzw. Auszubildende (drei und einer) im zweiten, dritten, achten und zehnten Semester und studierten Finanzwirtschaft, Krankenpflege, Pädagogik und Theologie. Alle anderen Probanden (sieben und neun) besuchten das Gymnasium in der siebenten bis zwölften Klasse. Alle Probanden gaben Deutsch als Muttersprache an und kannten die Farmaufgabe vor dem Experiment noch nicht. Beide Gruppen sind damit hinsichtlich der demographischen Angaben vergleichbar.

2.2.2.2. Material

Das Experiment wurde in zwei Versionen (2A und 2B) durchgeführt, wobei Experiment 2A als Papier-und-Bleistift-Version durchgeführt wurde und Experiment 2B computergestützt. D.h., in Experiment 2B wurden die Instruktionen und zu bearbeitenden Aufgaben auf dem Bildschirm präsentiert und die Lösungen wurden entweder in den Computer eingegeben, z.B. bei der Ähnlichkeitsbewertung, oder auf Arbeitsblättern festgehalten, z.B. bei der Farmaufgabe.

Die verwendeten Abbildungen, Aufgaben und Instruktionen wurden – abgesehen vom Arbeitspapier bei Bearbeitung der Farmaufgabe – gleich gehalten. Experiment 2B wurde mit einem PowerBook 190cs durchgeführt, die Versuchssteuerung und Zeitmessung wurden mit PsyScope 1.1 realisiert. In Experiment 2B wurde die Lösungszeit für die Farmaufgabe mittels Stoppuhr bestimmt und die mündlich abgegebenen Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteile vom Versuchsleiter schriftlich festgehalten.

Als **Target-Aufgabe** wurde Dreistadts (1969) Farmaufgabe verwendet. Es wurden keine Abbildungen zur Unterstützung der Lösungssuche präsentiert.

Die **Arbeitsblätter** zur Farmaufgabe enthielten 12 Umrisse der Farmfigur (G) auf unliniertem (2B) bzw. kariertem Papier (2A), wobei die Gesamtfigur jeweils 12 cm² groß war, d.h. bei großkariertem Papier 12 Kästchen umfasste. Kariertes Papier sollte die Zerlegung in Quadrate begünstigen. Bei unliniertem Papier sollte die Gesamtfigur –wie in Experiment 1 der Pilotstudie– sowohl die Zerlegung in Dreiecke als auch in Quadrate präsent sein. Die Größe der Gesamtfigur sowie die Anordnung der Umrisse auf dem Papier waren in beiden Versionen identisch.

Als potentielle **Basis-Figuren** wurden die unten abgebildeten elf Figuren verwendet, welche in untereinander deckungsgleiche Teilfiguren unterteilt waren.

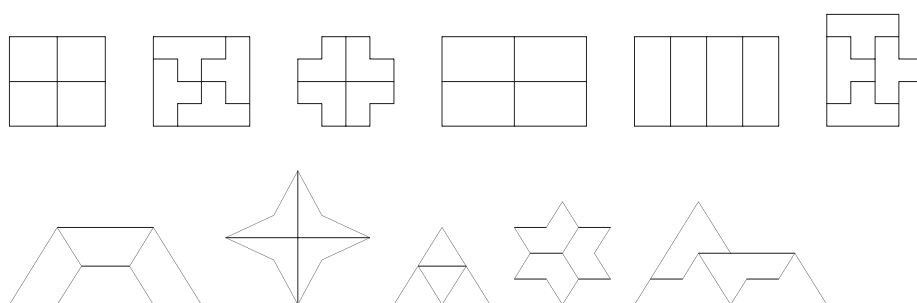


Abb. 2.14: In Experiment 2 verwendete Figuren (oben Nr. 1-6; unten Nr. 7-11).

Die Figuren stimmten in verschiedenen Merkmalen mit der Farmfigur überein (Innenwinkel, rep4-Struktur, Innenecke der Teil- bzw. Gesamtfiguren und Anzahl der Teilfiguren):

Nr.	Innenwinkel (in °)	rep4	Innenecke (T)	Innenecke (G)	Anzahl T
<i>Farm</i>	90	x	x	x	4
1	90	x	-	-	4
2	90	-	x	-	4
3	90	-	x	x	4
4	90	x	-	-	4
5	90	-	-	-	4
6	90	-	x	x	4
7	60, 120	x	-	-	4
8	53, 217	-	x	x	4
9	60	x	-	-	4
10	60, 240	-	x	x	3
11	60, 120, 240	x	x	x	4

Tab. 2.5: Eigenschaften der in Experiment 2 verwendeten Basis-Figuren.

Die Figuren 1 bis 4, 5 bis 9 und 11 sind entweder rep4-Figuren, d.h., die Gesamtfigur G ist so in vier deckungsgleiche Teilfiguren unterteilt, dass Gesamtfigur und Teile die gleiche Form haben, oder sie sind in vier Teilfiguren zerlegt, deren Umriss eine Innenecke aufweist. Figur 11 weist sogar beide Merkmale auf.

Beide Aspekte geben Hinweise auf die Form der gesuchten Teilfigur. Dabei ist der Hinweis auf die rep4-Struktur abstrakt und der Hinweis auf die Innenecke konkret.

Die Figuren 5 und 10 weichen von dieser Regel ab und dienten als Kontrollitems: Figur 5 ist weder rep4-Figur noch in vier Teile ohne Innenecke unterteilt. Figur 10 ist zwar in Teile mit Innenecke unterteilt, allerdings nur in drei Teile, deren Form nicht mit der Gesamtfigur übereinstimmt.

Material für die Beurteilungsaufgaben

Für beide Beurteilungsaufgaben wurden die Basis-Figuren durch schwarze Begrenzungslinien auf weißem Untergrund dargestellt. Der Flächeninhalt der Figuren und die Linienstärke wurden über alle Figuren konstant gehalten.

Für das erste Nutzbarkeitsurteil, bei dem nur die nützlichste Basis-Figur zu bestimmen war, wurde eine Tafel mit den elf Basis-Figuren in der Version TG (vgl. Anhang, S. XVIII-XIX) vorgelegt. Auf diese Tafel wurde auch in der Instruktion zur Ähnlichkeitsbeurteilung referiert.

Für das zweite Nutzbarkeitsurteil, bei dem eine Rangreihe aller Basis-Figuren gebildet werden sollte, wurden elf quadratische Pappkärtchen mit je einer Basis-Figur in der Version TG verwendet. Die Kärtchen waren auf der Rückseite von 1 bis 11 durchnummeriert.

Zur Beurteilung der Ähnlichkeit wurden die Basis-Figuren in Anlehnung an Experiment 1 in sechs Versionen (G, T und K sowie die Relationen KT, KG, und TG) zerlegt, um potentielle Einflussfaktoren zu isolieren bzw. die Urteile zu homogenisieren. Damit wurden zu jeder Basis-Figur sechs Ähnlichkeitsurteile relativ zur Farmfigur erhoben, indem Farmfigur und Basis-Figur

versionsweise verglichen wurden. Insgesamt wurden 66 Bildpaare (elf Figuren in je sechs Versionen, vgl. Abb. A8 auf S. IX im Anhang) auf Ähnlichkeit zur Target-Figur beurteilt.

In Experiment 2A (kariertes Papier) wurden die Bildpaare in Zufallsreihenfolge nacheinander auf dem Bildschirm präsentiert. Dabei war die Version der Farmfigur links abgebildet und die Version der Basis-Figur rechts daneben. Die Umrisse der Farm waren rot, die der Basis schwarz.

In Experiment 2B (unliniertes Papier) wurden die 66 Bildpaare mit Hilfe von Papierstreifen erzeugt: Auf jedem der elf Basis-Streifen waren nebeneinander die sechs Versionen der Figur abgebildet. Auf dem Target-Streifen waren untereinander die sechs Versionen der Farmfigur in der gleichen Reihenfolge abgedruckt.

Die Bildpaare wurden hergestellt, indem ein Basis-Streifen so neben den Target-Streifen gelegt wurde, dass zunächst die beiden Gesamtfiguren nebeneinander lagen. Die Versuchsperson sollte diese beiden Figuren vergleichen. Die fünf weiteren Versionen der Basis-Figur bzw. der Farmfigur sollten ignoriert werden. Durch diese Anordnung eines vertikalen und eines horizontalen Streifens sollte sichergestellt werden, dass jedes Bildpaar isoliert bewertet wurde.

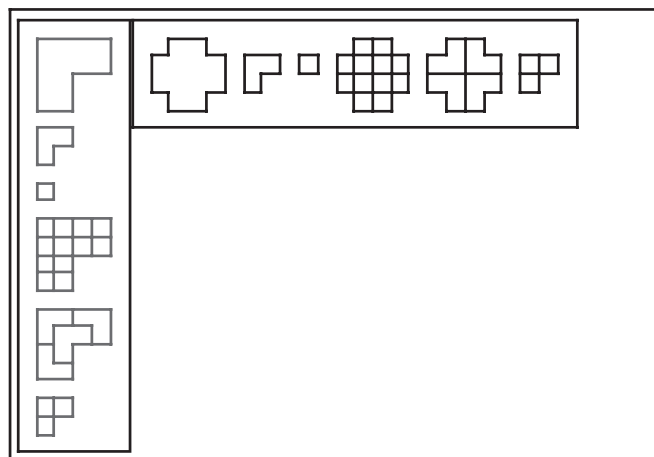


Abb. 2.15a: Versuchsanordnung in Exp. 2B zur Ähnlichkeitsbeurteilung der Gesamtfiguren (G) für Figur 3.

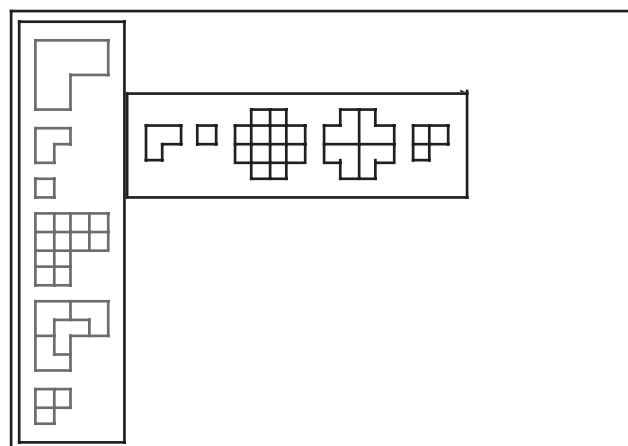


Abb. 2.15b: Versuchsanordnung in Exp. 2B zur Ähnlichkeitsbeurteilung der Teilfiguren (T) für Figur 3.

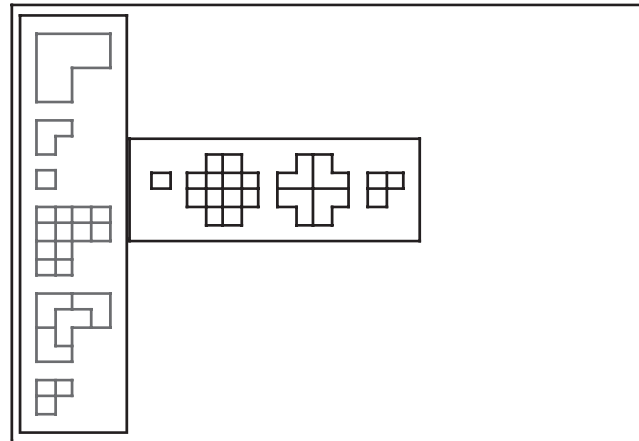


Abb. 2.15c: Versuchsanordnung in Exp. 2B zur Ähnlichkeitsbeurteilung der Komponenten (K) für Figur 3.

Nach Abgabe des Ähnlichkeitsurteils für die Version G wurde der Basis-Streifen so unter den Target-Streifen geschoben, dass die Teilfigur der Farmfigur und die Teilfigur der Basis-Figur nebeneinander lagen. Alle anderen Figuren sollten wiederum ignoriert werden. Anschließend wurde der Basis-Streifen erneut nach links und nach unten geschoben, so dass beide Komponenten nebeneinander lagen u.s.w..

Die Reihenfolge der elf Basis-Streifen wurde per Zufall bestimmt, die Versionen auf den Streifen wurden jeweils von links nach rechts bzw. von oben nach unten bearbeitet (G, T, K, KG, TG, KT).

Instruktionen und sonstiges Material

Die Instruktion zur Bearbeitung der **Farmaufgabe** orientierte sich an der aus Experiment 1.

Für die **Nutzbarkeitsbeurteilung** wurde in beiden Durchgängen eine Instruktion verwendet, die sich auf eine den Probanden vertraute Situation bezieht und ohne eine theoretisch fundierte Nutzbarkeitsdefinition auskommt:

„Stelle Dir vor, Du bist ein(e) Mathelehrer(in), der/die seiner/ihrer Klasse die Farmaufgabe stellt. Als Unterstützung kannst Du den Schülern eine der folgenden Abbildungen zur Verfügung stellen. Welche ist Deiner Meinung nach die hilfreichste?“

Gleichzeitig wurde die Tafel mit den elf Basis-Figuren in Version TG (vgl. Anhang, S. VII) vorgelegt. Der Proband sollte hier die Nummer der nützlichsten Figur nennen.

Bei der zweiten Beurteilung wurde auf die MathelehrerIn-Situation referiert, aber darauf hingewiesen, dass die nützlichste Figur nicht mit der zuerst gewählten übereinstimmen muss. Zur Bildung der Nutzbarkeitsrangreihe wurden elf Pappkärtchen mit den Basis-Figuren in Version TG vorgelegt. Es wurde dem Probanden freigestellt, in welcher Reihenfolge er die Kärtchen bearbeitete. Nach Erstellung der Rangreihe wurden die Kärtchen umgedreht und die Nummern auf der Rückseite – beginnend mit der nützlichsten Figur– in den Computer eingegeben (Exp. 2A) bzw. der Versuchsleiterin mitgeteilt (Exp. 2B).

Bei der Instruktion zur *Ähnlichkeitsbeurteilung* wurde auf die Tafel (siehe Anhang, S. VII) mit den Basis-Figuren in der Version TG referiert. Außerdem wurde folgende fünfstufige Ähnlichkeitsskala auf unliniertem Papier vorgelegt:

Ähnlichkeitsskala:	
	1 — 2 — 3 — 4 — 5
1	sieht der roten Figur überhaupt nicht ähnlich.
2	sieht der roten Figur eher nicht ähnlich/ ist eher unterschiedlich.
3	weder ähnlich noch verschieden.
4	sieht der roten Figur ähnlich .
5	sieht der roten Figur sehr ähnlich / ist (fast) identisch.

Abb. 2.16: In Experiment 2 verwendete Ähnlichkeitsskala.

In der Instruktion wurden die Abstände zwischen den Skalenpunkten als gleich definiert und nur ganzzahlige Skalenwerte als Antwort zugelassen.

Der demographische Fragebogen erhob Geschlecht, Alter und Beschäftigung (Schüler, Student, Auszubildender sowie Klasse, Semester oder Lehrjahr).

2.2.2.3. Durchführung

Der Ablauf wurde in beiden Gruppen so weit als möglich gleich gehalten: Nach der Begrüßung durch den Versuchsleiter wurde die Instruktion zur Farmaufgabe (siehe Anhang, S. V) gegeben. Danach wurde die Farmaufgabe präsentiert sowie Arbeitsblätter und Stifte vorgelegt. Nach Lösung der Farmaufgabe wurde die Instruktion zur Nutzbarkeitsbeurteilung sowie die Tafel mit den elf Basis-Figuren in der Version TG vorgegeben. Nach Benennung einer Figur erfolgte die Instruktion zur Ähnlichkeitsbeurteilung, inklusive Vorlage der Ähnlichkeitsskala und der Tafel mit den elf Figuren. Die Skala stand während der ganzen Bearbeitung zur Verfügung, die Tafel nur während der Instruktion. Die Ähnlichkeitsurteile wurden per Tastatur (2A) in den Computer eingegeben bzw. dem Versuchsleiter mitgeteilt (2B). Zur anschließenden Nutzbarkeitsbeurteilung wurde die Instruktion wiederholt und die Kärtchen mit den Figuren vorgelegt. Nach Bildung der Rangreihe wurden die Nummern in den Rechner eingegeben (2A) bzw. vom Versuchsleiter notiert (2B).

Dann wurde in beiden Gruppen der demographische Fragebogen vorgelegt, welcher Angaben zur Person erhob. Schließlich sollten die Probanden mündlich angeben, wie sie die Farmaufgabe gelöst hatten. Dazu wurden die Lösungsskizzen des Probanden vorgelegt.

2.2.3. ERGEBNISSE

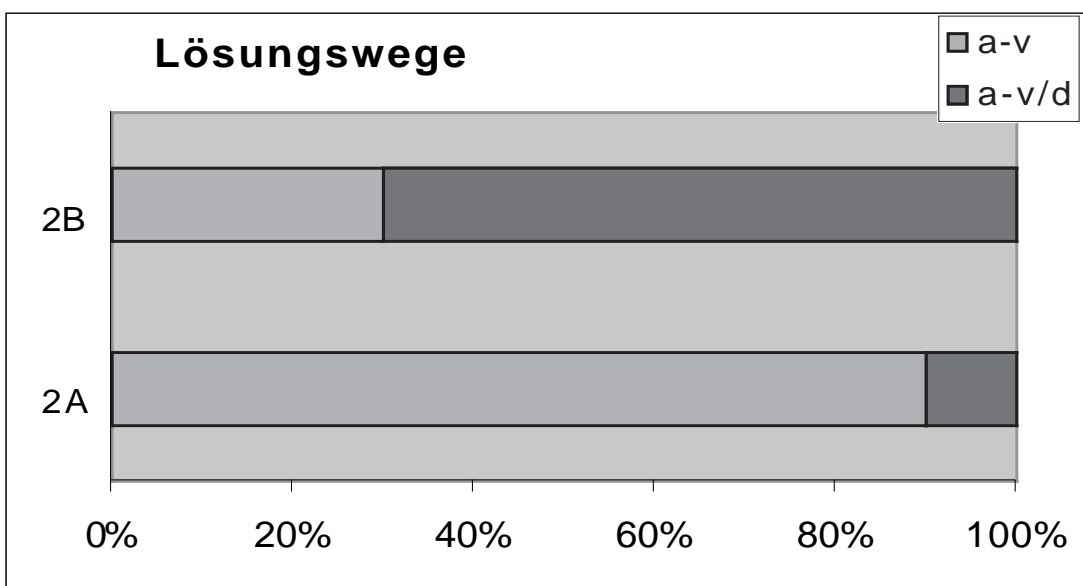
(a) *Bearbeitung der Farmaufgabe*

In beiden Gruppen (2A und 2B) wurde die intendierte Lösung von allen Probanden ohne Unterstützung durch Abbildungen oder den Versuchsleiter generiert. Die Lösungszeiten waren bei kariertem Arbeitspapier (2A) wesentlich kürzer als bei unliniertem Papier (2B) (durchschnittlich 168 Sekunden vs. 648 Sekunden), und die Varianz war in Gruppe 2A geringer als in 2B (129 968 msec.² vs. 143 587 msec.²). Der entsprechende U-Test fiel signifikant aus: $U = 15, p = .008$ ($t_{12} = -3.29, p = .004$).

Der gleiche Trend ist bei der Anzahl der Lösungsskizzen pro Person beobachtbar: In der Gruppe 2A wurden im Mittel zwei Skizzen angefertigt, in 2B lag der Median bei vier Skizzen. Auch dieser Unterschied war überzufällig ($U = 22; p = .028$).

Mit kariertem Arbeitspapier (2A) lösten alle Probanden die Farmaufgabe innerhalb von zehn Minuten, mit unliniertem Papier (2B) hingegen 60% der Probanden. Dieser Wert lag deutlich über den 21% der Kontrollgruppe aus Experiment 1.

Die von den Probanden verwendeten Lösungswege passen zu den Befunden der Lösungszeiten und -skizzen: Alle Probanden generierten die Lösung auf dem analytisch-quadratischen Lösungsweg. Darüber hinaus sind nur noch Lösungsversuche über den analytisch-dreieckigen Weg zu beobachten. In der Gruppe 2A (kariertes Papier) verwendeten neun von zehn Probanden ausschließlich den analytisch-quadratischen Ansatz. Der zehnte Proband fertigte zuvor zwei Skizzen an, die dem analytisch-dreieckigen Ansatz zuzuordnen sind. Bei unliniertem Arbeitspapier (2B) verwendeten drei der zehn Probanden ausschließlich den analytisch-quadratischen Ansatz. Die anderen sieben Probanden suchten zusätzlich mit dem analytisch-dreieckigen Ansatz nach einer Lösung.



Diagr. 2.5: In Experiment 2 beobachtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe (a-v: analytisch-viereckige Zerlegung; a-v/d: sowohl analytisch-viereckige als auch analytisch-dreieckige Zerlegung).

Ob der Unterschied zu den in Experiment 1 verwendeten Ansätzen auf der veränderten Formulierung der Farmaufgabe, der Einzeltestung oder dem Einfluss der Basis-Figuren in Experiment 1 beruht, lässt sich nicht entscheiden.

(b) Beurteilung der Figuren

Ziel der Untersuchung war es, die Dimensionen der Basis-Figuren zu bestimmen, welche für das Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteil relevant sind. Als Kandidaten kamen Innenwinkel, rep4-Struktur, Vorhandensein einer Innenecke bei Teil- bzw. Gesamtfigur sowie die Anzahl der Teile in Frage. Außerdem könnten die Versionen K, T, G, KG, TG und KT mindestens das Ähnlichkeitsurteil beeinflussen. Bevor der Einfluss der einzelnen Größen geprüft wird, soll geklärt werden, wie konkordant die Urteile der einzelnen Probanden waren, welchen Einfluss die sechs Versionen hatten und inwieweit sich die Urteile zu den elf Bildern unterscheiden.

(b1) Einfluss der Experimentalgruppen 2A und 2B

Bei der Bearbeitung der Farmaufgabe gab es bedeutende Unterschiede in Lösungszeiten, Lösungswegen und der Anzahl der Lösungsskizzen zwischen beiden Versuchsgruppen. Außerdem wurde die Beurteilung der Figuren unter deutlich unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt. Erstaunlicherweise sind bei den Urteilen über die Basis-Figuren keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen festzustellen:

Die Konkordanzanalyse zu den Ähnlichkeitsurteilen (Kendall, 1962) über alle 20 Probanden führte zu dem Ergebnis, dass die Urteile übereinstimmen ($\chi_r^2 = 163.40$, Fg = 10; $p < .00000001$) und von daher zusammengefasst werden können. Einen detaillierteren Einblick in die Übereinstimmung der Ähnlichkeitsurteile der einzelnen Probanden bietet die Analyse der sechs Versionen (s. u.).

Für die Nutzbarkeitsurteile ergab die Konkordanzanalyse in den Gruppen Koeffizienten von $W_{2A} = .453$ bzw. $W_{2B} = .437$. Der χ_r^2 liegt mit 45.345 bzw. 43.709 (Fg = 10) zwischen den Schwellenwerten für $\alpha = .000\ 005$ und $\alpha = .000\ 001$. Es besteht also innerhalb beider Gruppen eine absolute Übereinstimmung zwischen den Urteilen der Probanden. Zu dem gleichen Ergebnis kommt die Konkordanzanalyse über alle zwanzig Probanden: $W = .398$, $\chi_r^2 = 79.57$, $\alpha < .0000001$. Es ergibt sich daher folgende gemeinsame Rangreihe für alle 20 Probanden:

Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.5	10.5
Figur	3	2	1	4	6	5	8	9	7	10	11

Tab. 2.6: Gemeinsame Rangreihe aller Probanden über die Nutzbarkeit der Basis-Figuren, beginnend mit der nützlichsten Figur.

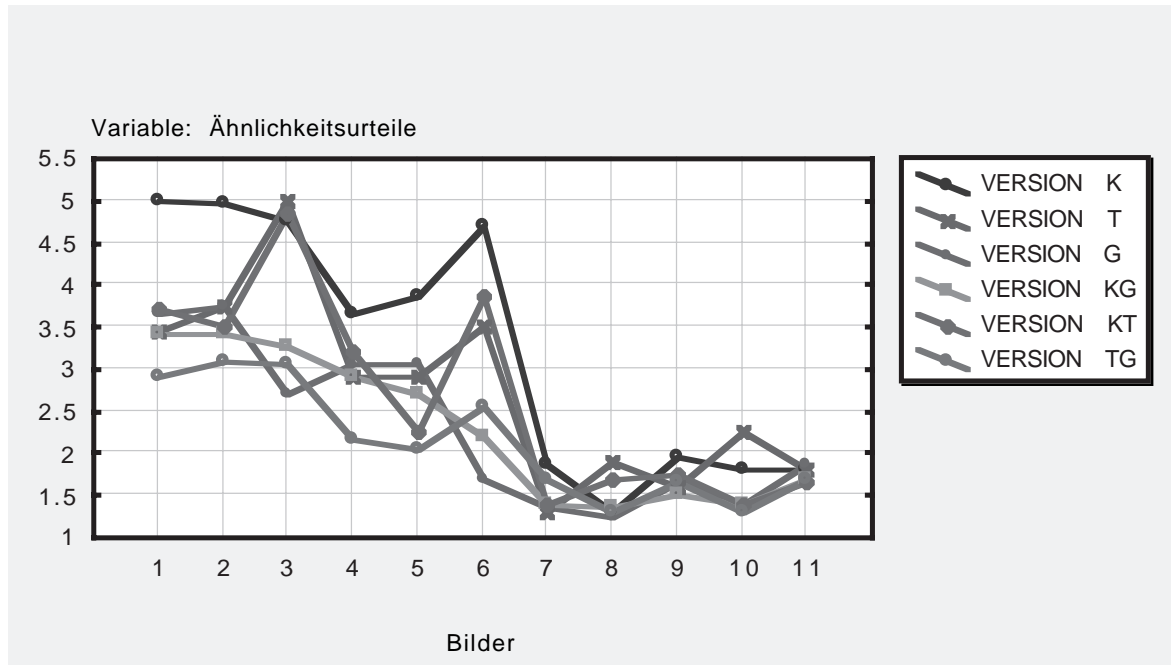
(b2) Ähnlichkeitsurteile

Versionen der Basis-Figuren

Die sechs Versionen der Basis-Figuren waren eingeführt worden, um stabile Ähnlichkeitsurteile zu erzeugen und detaillierte Hinweise auf für das Ähnlichkeitsurteil relevante Dimensionen zu erhalten.

Der Unterschied zwischen den Versionen war sowohl über die elf Bilder signifikant ($F_{5;50} = 7.63$; $p = .00002$) als auch über die zwanzig Probanden ($F_{5;90} = 24.22$; $p < .00000001$). Auch die Interaktion zwischen Bildern und Versionen war überzufällig ($F_{50;55} = 5.85$; $p < .00000001$).

Insgesamt waren die Mittelwerte folgendermaßen verteilt:



Diagr. 2.6: Mittelwerte der Ähnlichkeitsurteile pro Bild und Version.

Verglichen mit den von Version zu Version variierenden Ähnlichkeitsurteilen der Figuren 1 bis 6 ($F_{5;30} = 58.45$; $p < .00000001$) sind die Werte der Figuren 7 bis 11 relativ homogen und niedrig ($F_{5;25} = 2.24$; $p = .08$).

Beim Vergleich der Mediane pro Version für die Bilder 1 bis 6 fällt auf, dass die Mediane der Version K jeweils vier bzw. fünf betragen, aber mit keiner anderen Version übereinstimmen. Die Version T stimmt mit KT und TG überein, die Version G mit KG. Zwischen den Versionen KT, KG und TG bestehen wenig Überschneidungen.

Offenbar ist jeweils die Form der Gesamt- bzw. Teilfigur für das Ähnlichkeitsurteil ausschlaggebend, wobei Quadrat und Achteck (Figuren 1, 2 und 6) der Form ungefähr gleich ähnlich sind, gefolgt von dem Rechteck mit der Proportion der Seitenlängen 2:3 (Figuren 4 und 5). Die Werte der Version K sind einheitlich hoch, da sie bei den Figuren 1 bis 3 und 6 mit den quadratischen Komponenten der Formfigur identisch sind. Die rechteckigen Komponenten der Figuren 4 und 5 sind nur wenig geringer, bewirken jedoch, dass die Werte der Version KT der Figur 5 geringer sind als in Version T und verstärken somit den Formeffekt der Teilfigur. Die Werte der Version TG fallen, wie in der Voruntersuchung beobachtet, weniger homogen aus und lassen sich nicht allein durch die Kombination der Formeffekte von Teil- und Gesamtfigur erklären. Offenbar spielt hier die Anordnung

der Teile in der Gesamtfigur als dritter Faktor eine Rolle.

Auch die Interaktion zwischen den Urteilen zu den Figuren und ihren Versionen ($F_{50;55} = 5.85$; $p < .00000001$ für alle Figuren) lässt sich über die drei Variablen Form und Anordnung der Gesamt- und Teilfiguren erklären.

Stabilisierung der Ähnlichkeitsurteile

Zusätzlich zur globalen Konkordanzanalyse der abgegebenen Urteile können die identischen Versionen K, T und G einzelner Figuren als Indiz für die Stabilität der Urteile herangezogen werden: Die Version K der Figuren 1, 2, 3 und 6 stimmt mit der Version K der Farmfigur überein und sollte deshalb einheitlich mit 5 („sehr ähnlich“) bewertet werden. Außerdem sind die Figuren 4 und 5 in der Version K identisch und sollte deshalb als der Farmfigur gleich ähnlich bewertet werden. Das Gleiche gilt für die Version K der Figuren 7, 9, 10 und 11, die Version T der Figuren 2 und 6 sowie die Version G der Figuren 1 und 2 bzw. 4 und 5. Die Teile der Figur 3 sind mit denen der Farmfigur identisch und sollte deshalb einheitlich mit 5 bewertet werden.

Die Häufigkeitsverteilungen in den Ähnlichkeitskategorien 1 bis 5 sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Zu jeder Figur wurden in jeder Version insgesamt zwanzig Urteile (von 20 Probanden je ein Urteil) abgegeben.

Figur	Version	5	4	3	2	1
1	K	20	0	0	0	0
2	K	19	1	0	0	0
3	K	18	1	0	0	1
6	K	17	2	0	0	0
4	K	4	11	0	4	1
5	K	5	10	2	3	0
3	T	20	0	0	0	0
2	T	3	12	3	1	1
6	T	2	13	1	1	3
1	G	2	13	2	2	1
2	G	4	10	4	1	1
4	G	1	5	8	6	0
5	G	0	7	9	2	2
7	K	1	1	3	4	11
9	K	0	2	4	5	9
10	K	0	1	4	5	10
11	K	0	1	3	7	9

Tab. 2.7: Häufigkeitsverteilung der abgegebenen Ähnlichkeitsurteile pro Figur und Version (Die Mediane sind fettgedruckt.).

Bei vergleichbaren zu beurteilenden Objekten wurden relativ einheitliche Ähnlichkeitsurteile abgegeben. Zwischen den Probanden waren die Urteile sehr konkordant.

Außerdem spricht die unterschiedliche Informativität der Versionen, die zumindest bei den Figuren 1 bis 6 zutage trat, für die Unterteilung der Figuren in verschiedene Abbildungen.

Ähnlichkeit der elf Basis-Figuren zur Farmfigur

Wie schon erwähnt, unterscheiden sich die elf Figuren signifikant bezüglich ihres Ähnlichkeitsurteils ($F_{10;11} = 79.48; p < .00000001$). Dabei übt der **Innenwinkel** zusätzlich zur Version einen massiven Einfluss aus ($F_{1;9} = 65.58; p = .00002$). Auch die Interaktion zwischen Innenwinkel und Version ist überzufällig ($F_{5;45} = 5.16; p = .0008$). D.h., rechtwinklige Figuren werden als der Farmfigur ähnlich empfunden, spitzwinklige hingegen nicht. Und die Urteile zu den Versionen einer rechtwinkligen Figur unterscheiden sich stärker voneinander als die Versionen einer nicht rechtwinkligen Figur. Für das Ähnlichkeitsurteil war irrelevant, ob die Figur **rep4-Struktur** aufweist oder nicht. Sowohl der Haupteffekt ($F_{1;9} = .544$) als auch die Interaktion mit den Versionen ($F_{5;45} = 1.78; p = .14$) waren nicht signifikant. Das Gleiche gilt für **das Vorhandensein einer Innenecke bei den Teilfiguren** ($F_{1;9} = .01; F_{5;45} = 1.72; p = .15$). Das **Vorhandensein einer Innenecke bei den Gesamtfiguren** führt nur in Interaktion mit den Versionen zu einem statistisch signifikanten Effekt ($F_{1;9} = .35; F_{5;45} = 2.87, p = .02$), ist jedoch nicht einheitlich interpretierbar. Auch die **Anzahl der Teile** war für das Ähnlichkeitsurteil nicht relevant ($F_{1;9} = 1.08, p = .33; F_{5;45} = .48$). Damit wurden selbst die „Kontrollitems“ nicht anders beurteilt als die ähnlich konstruierten Figuren ($F_{1;9} = .32; F_{5;45} = .72$). Insgesamt scheinen von den verwendeten Konstruktionskriterien nur der Innenwinkel der Figuren sowie die einzelnen Versionen Einfluss auf das Ähnlichkeitsurteil auszuüben. Die arithmetischen Mittel pro Figur (über alle Versionen und Probanden) sind folgendermaßen verteilt:

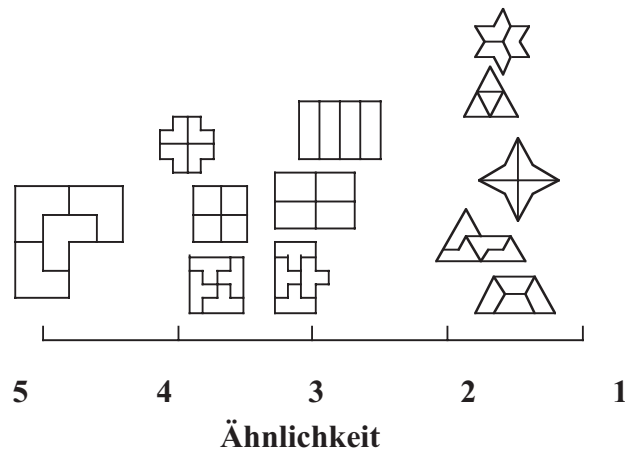


Abb. 2.17: Mittelwerte der Ähnlichkeitsurteile pro Figur (Hohe Werte bedeuten große Ähnlichkeit zur Farmfigur).

	90°		60° u.a.	
	Figur	Ähnlichkeit	Figur	Ähnlichkeit
rep4	1	3.68	7	1.50
	4	2.98	9	1.68
nicht rep4	2	3.71	8	1.47
	3	3.93	11	1.75
	5	2.80	10	1.59
	6	3.08		

Tab. 2.8: Arithmetische Mittel der Ähnlichkeitsurteile pro Figur.

(b3) Nutzbarkeitsurteile

Im Verlauf des Experimentes gaben die Probanden zwei Nutzbarkeitsurteile ab, wobei die erste Wahl ausschließlich die nutzbarste Figur betraf, und bei der zweiten Wahl alle Figuren in eine Rangfolge gebracht wurden. Bei der ersten Wahl war es möglich, mehrere Favoriten zu nennen, bei der zweiten Wahl hingegen nicht.

Betrachtet man nur die erste Figur in der Rangreihe, ergeben sich folgende Übereinstimmungen mit der ersten Wahl:

Zehn von zwanzig Probanden wählten als nützlichste Figur die gleiche Abbildung, bei weiteren sechs Probanden belegte die in der ersten Wahl favorisierte Figur einen Rang zwischen zwei und vier, während bei vier Probanden die ehemals brauchbarste Figur hintere Plätze belegt (Rang sechs bis zehn). D.h., die nützlichste Figur wurde von 80% der Probanden auch bei der zweiten Wahl als sehr nützlich eingestuft.

Mit 20 von 43 Nennungen ist Figur 3 die am häufigsten favorisierte Figur, welche mit sieben von zehn Wiederholungen auf Platz 1 der Rangreihe auch die am häufigsten beibehaltene Figur ist. Figur 2 ist mit insgesamt neun Nennungen die am zweithäufigsten vertretene Figur auf Platz 1, gefolgt von Figur 1 mit sechs Nennungen und Figur 5 mit vier Nennungen.

Insgesamt belegen zu 95% rechtwinklige Figuren den ersten Platz, Figur 9 und 11 belegten je einmal Platz 1, Figur 9 im ersten Durchgang und Figur 11 im zweiten Durchgang.

Exp.	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Pb.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.W.	3	1	9	1,5	4,5	3	2	3	2,3	2	3	2	3	3	2	1	2	2	5	1
2.W.	3	1	3	2	1	3	4	3	3	3	3	2	3	3	11	3	3	3	5	3

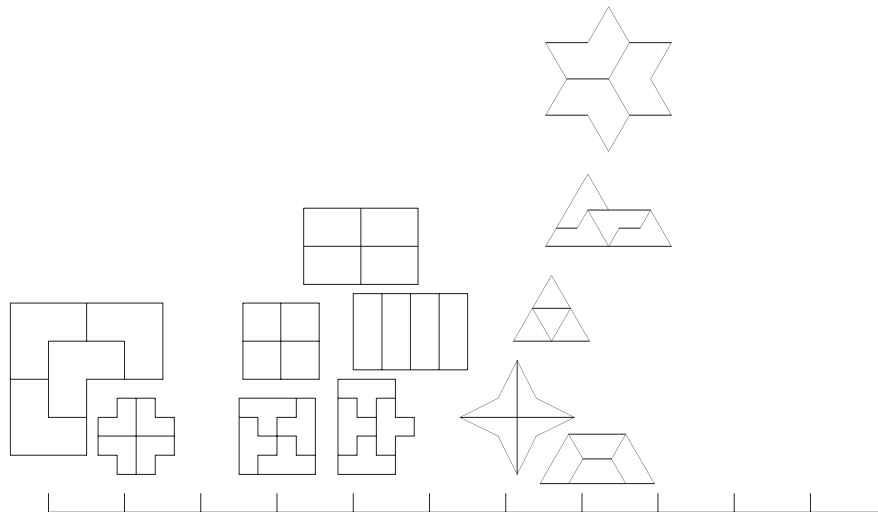
Tab. 2.9: Nutzbarste Figur pro Proband in der ersten bzw. zweiten Wahl (Mehrfachwahlen sind im Text durch Schrägstrich und in der Tabelle durch Kommata gekennzeichnet.).

Unterschiede zwischen den favorisierten Figuren der ersten und zweiten Wahl pro Proband können mehrere Ursachen haben: Die Figuren wurden ausschließlich in Version TG präsentiert und waren von daher relativ komplex. Zwischen den beiden Wahlen haben sich die Probanden intensiv mit den Figuren auseinandergesetzt und dabei vermutlich ihre Repräsentation der Figuren elaboriert. Und schließlich wurden beide Urteile unterschiedlich erhoben: Die erste (isolierte) Wahl einer einzelnen Figur stellt die erste Idee des Probanden dar, während das zweite Urteil das Ergebnis des Sortierprozesses ist, bei dem die Strategie nicht vorgegeben war. D.h., dem Probanden war z.B. überlassen, ob er mit der nützlichsten oder der am wenigsten brauchbaren Figur beginnt.

Insgesamt waren die Urteile aller Probanden bei der zweiten Wahl sehr einheitlich, so dass eine gemeinsame Rangreihe gebildet werden kann (s.o.). Auch innerhalb eines Probanden scheint die Wahl konsistent zu sein, so weit man das von den Figuren auf dem ersten Rangplatz ableiten kann.

Figur	3	2	1	4	6	5	8	9	7	10	11
Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.5	10.5

Tab. 2.10: Gemeinsame Nutzbarkeitsrangreihe der elf Basis-Figuren für die 20 Probanden in Exp. 2.



Nutzbarkeit 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Abb. 2.18: Durchschnittliche Ränge der Basis-Figuren in der Nutzbarkeitsbeurteilung der 20 Probanden in Experiment 2.

Wie bei den Ähnlichkeitsurteilen unterscheiden sich die Nutzbarkeitsurteile für rechtwinklige deutlich von denen für nicht rechtwinklige Figuren (durchschnittlich Rang 4 vs. 8, $H_{(1, N=220)} = 67.98$, $p < .00001$). Innerhalb der rechtwinkligen Figuren unterscheiden sich die Rangsummen (43 bis 115) deutlich, sind jedoch über die Probanden sehr konsistent ($\chi_r^2 = 30.34$, Fg = 5; $p = .00005$). Die Rangsummen der nicht rechtwinkligen Figuren variieren weniger stark (143 bis 167) und sind zwischen den Probanden nicht konsistent ($\chi_r^2 = 30.34$, Fg = 4; $p > .40$).

Die weiteren Konstruktionskriterien für die Basis-Figuren waren rep4-Struktur, Vorhandensein einer Innenecke bei den Teilfiguren bzw. Gesamtfiguren und die Anzahl der Teile.

Die durchschnittlichen Nutzbarkeitsurteile für **rep4-Figuren** unterschieden sich mit Rang 7 von denen für Figuren, deren Teile nicht mit der Gesamtfigur formgleich sind, mit durchschnittlich Rang 5 ($H_{(1, N=220)} = 7.95$, $p = .005$). Allerdings beruht dieser Effekt auf einem verdeckten Innenwinkel-effekt: Von den fünf verwendeten rep4-Figuren sind nur zwei rechtwinklig, während in der anderen Gruppe vier von sechs Figuren rechtwinklig sind. Der Effekt der rep4-Figur ist weder innerhalb der rechtwinkligen Figuren statistisch bedeutsam ($H_{(1, N=120)} = .48$) noch in der Gruppe der nicht rechtwinkligen Figuren ($H_{(1, N=100)} = .11$).

Bei den Figuren mit Teilen, die eine Innenecke aufweisen, vs. Figuren, die Teile ohne Innenecke haben, ist das Verhältnis zwischen rechtwinkligen und nicht rechtwinkligen Figuren ausgeglichen (3+3 winklige Teile sowie 3+2 Teile ohne Innenecke). Zwischen beiden Gruppen gibt es keinen

Unterschied in den Nutzbarkeitsurteilen ($H_{(1, N=220)} = .36, p = .55$). Die Mediane betragen in beiden Gruppen sechs. Auch die Gesamtfiguren mit vs. ohne Innenecke (Median sieben bzw. sechs) unterscheiden sich nicht bezüglich der Urteile ($H_{(1, N=220)} = 1.23, p = .27$). Schließlich liefert der Mediantest für die Kontrollitems 5 und 10 keinen Unterschied zu den restlichen Figuren ($\chi^2 = .41, df = 1$).

Damit erweist sich lediglich die Unterscheidung in rechtwinklige vs. nicht rechtwinklige Figuren als für das Nutzbarkeitsurteil relevant.

(b4) Zusammenhang zwischen Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteil

Die Korrelation zwischen den Ähnlichkeitsurteilen und den Nutzbarkeitsurteilen betrug insgesamt $-.59$ ($p < .0001$). Da der Farm sehr ähnliche Figuren niedrige Werte erhalten und für die Farmaufgabe nützliche Figuren einen niedrigen Rang, bedeutet dieser Befund, dass der Farm ähnliche Figuren auch als nützlich für die Bearbeitung der Farmaufgabe gehalten werden. Dieser Zusammenhang zeigt sich auch bei den einzelnen Probanden: Die Korrelation zwischen beiden Urteilen ist bei 19 von 20 Probanden negativ, allerdings nur bei elf Probanden statistisch signifikant:

Experiment	Proband	Korrelation Ähnl./Nutzb.	p
2A	1	-.917	.000
2A	2	-.865	.001
2A	3	-.928	.000
2A	4	-.256	.45
2A	5	-.313	.35
2A	6	-.911	.000
2A	7	-.620	.04
2A	8	-.585	.059
2A	9	-.902	.000
2A	10	-.0620	.86
2B	1	-.858	.001
2B	2	-.933	.000
2B	3	-.361	.28
2B	4	-.898	.000
2B	5	.177	.60
2B	6	-.673	.023
2B	7	-.241	.48
2B	8	-.513	.107
2B	9	-.418	.20
2B	10	-.908	.000
2A+B	alle	-.585	.000

Tab. 2.11: Korrelation zwischen Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteilen in Exp. 2.

2.2.4. DISKUSSION

...zum Zusammenhang zwischen Ähnlichkeit und Nutzbarkeit

Wie erwartet, besteht ein starker positiver Zusammenhang zwischen dem Ähnlichkeitsurteil über eine Basis-Figur relativ zum Target und dem Urteil über die Nutzbarkeit der entsprechenden Analogie. Diese Korrelation kann als Indiz für das Zusammenwirken von Struktur und Semantik bei visuellen Analogien gewertet werden, muss jedoch durch Befunde zum realen visuellen Transfer bestätigt werden. Außerdem sind ausschließlich die Aspekte, welche für das Urteil über die Ähnlichkeit einer Basis-Figur zur Target-Figur relevant sind, für das Urteil über die Nutzbarkeit dieser Basis für Bearbeitung der Target-Aufgabe maßgebend. Der Innenwinkel der Basis-Figur erweist sich als einziges wirksames Attribut. Damit konnten beide Hypothesen zu Experiment 2 bestätigt werden.

Auffällig ist, dass beide Urteile stark durch Aspekte der visuellen Oberfläche beeinflusst werden, jedoch nicht durch strukturnahe Attribute, wie die rep4-Struktur. Wenn diese Tendenz auch für visuelle Analogien gilt, erklärt das, weshalb das Trapez als nicht rechtwinklige Basis zur Farmaufgabe so wenig nutzbar war. Dass nur die Probanden mit vollständig illustrierter Struktur so erfolgreich waren wie die Kontrollgruppe, deutet darauf hin, dass Semantikeinflüsse bei hinreichend kohärenter Struktur kompensiert werden können, jedoch nicht bei fragmentarischer relationaler Struktur. Auch die Befunde zu Hinweisreizen beim Problemlösen mithilfe von Analogien (z.B. Gick & Holyoak, 1980, 1983) lassen sich in dieser Weise interpretieren: Bei einem Hinweis, dass die semantisch ferne Basis für das Target nutzbar sei, finden die vorher erfolglosen Probanden vergleichbar häufig die Lösung wie die Probanden mit semantisch naher analoger Basis.

Bei der Unterteilung der Figuren in sechs Versionen zeigten sich neben dem Innenwinkel drei weitere für das Ähnlichkeitsurteil relevante Eigenschaften: Die Form von Teil- und Gesamtfigur sowie die Anordnung der Teile in der Gesamtfigur. Die vierte relevante Größe war die Version K, welche als Repräsentation des Innenwinkels interpretiert werden kann und auf übergeordneter Ebene wirksam ist: Bei übereinstimmendem Innenwinkel bei Basis und Target kommen die drei Größen T, G und TG zum Einsatz. Stimmt der Innenwinkel nicht überein, so haben auch die anderen Faktoren keinen Einfluss auf die beurteilte Ähnlichkeit.

...zum verwendeten Material

In Experiment 2 der Pilotstudie wurde eine revidierte Version der Farmaufgabe verwendet. Da die Lösungshäufigkeiten innerhalb von zehn Minuten deutlich von denen der Kontrollgruppe in Experiment 1 abwichen, scheint die Bearbeitung der Farmaufgabe sehr sensibel gegenüber Veränderungen der Aufgabenstellung, d.h. der Instruktion und der verwendeten Arbeitsblätter und des experimentellen Settings zu sein. Insbesondere die Veränderung von Wortlaut der Instruktion und der verwendeten Abbildung der Farmfigur haben sich bewährt, da alle Probanden die Aufgabe auf dem analytischen Lösungsweg bearbeiteten und zu einer Lösung kamen. Damit können als

abhängige Variablen die Lösungszeit und die Anzahl der Lösungsskizzen verwendet werden. Außerdem sollte die Bearbeitung der Farmaufgabe hinreichend homogen sein, um Effekte verwendeter Basis-Figuren nachweisen zu können.

Auch die Einführung kariierter bzw. unlinierter Arbeitsblätter hat sich bewährt, weil das verwendete Material darüber entscheidet, ob und wie lange der analytisch-dreieckige Lösungsweg verfolgt wird. Die Strategien der Probanden bei kariertem Papier sind sehr einheitlich, die Lösungszeiten sind kurz und weisen wenig Varianz auf. Das hat den Vorteil, dass man Motivationseinflüsse ausschließen kann und Unterschiede bei der Bearbeitung eindeutig auf die verwendeten Basis-Figuren zurückführen kann. Der Nachteil kariierter Arbeitsblätter ist, dass schwache Effekte der Basis-Figuren eventuell nicht nachgewiesen werden können. Diese Effekte sollten bei unliniertem Papier deutlicher zutage treten. Allerdings sind bei Bearbeitungszeiten von durchschnittlich 10,8 Minuten Motivationseinflüsse nicht auszuschließen. Für beide Varianten lassen sich die Werte aus Experiment 2 als Kontrollgruppe benutzen, solange Instruktion, Aufgabenstellung und experimentelles Setting konstant gehalten werden.

Auch in Experiment 2 der Pilotstudie kannte kein Proband die Farmaufgabe vor dem Experiment. Es traten keine Verständnisprobleme auf, und alle Skizzen lassen sich der Aufgabenanalyse aus Experiment 1 zuordnen. Damit haben sich Target und Aufgabenanalyse bewährt.

Für die Ähnlichkeitsbeurteilung hat sich die Einführung der sechs Versionen teilweise bewährt: Die Urteile waren zwischen und innerhalb der Probanden konsistent, aber vier der sechs Versionen hätten ausgereicht, um alle relevanten Informationen abzubilden. Da die Version K eng mit dem Innenwinkel der Gesamtfigur zusammenhängt und die Versionen KT und KG keine zusätzliche Information liefern, kann auf diese Versionen bei der Konstruktion von Basis-Figuren im Weiteren verzichtet werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die visuelle Oberfläche großen Einfluss

(a) bei Präsentation des Targets und

(b) auf das Urteil über Ähnlichkeit und Nutzbarkeit ausübt.

Im zweiten Teil ist zu klären, wie stark dieser Einfluss auf visuelles analoges Denken ist.

HAUPTUNTERSUCHUNG: ÄHNLICHKEITSABHÄNGIGER ANALOGER TRANSFER

Experimente 3 bis 6

Bei der Beurteilung verschiedener Basis-Figuren auf Ähnlichkeit zur Target-Figur und auf Nutzbarkeit bei Bewältigung der Target-Aufgabe hatte sich der Innenwinkel der Figuren als einflussreich erwiesen, während die für die Aufgabenstruktur relevanten Eigenschaften, z.B. die rep4-Struktur, nicht stärker gewichtet wurden als Eigenschaften der visuellen Oberfläche, z.B. die Anzahl der Teile. Auch das Vorhandensein einer Innenecke war für die Beurteilung nebensächlich. Damit konnte die Anzahl zu kontrollierender Attribute deutlich gesenkt werden.

Die unterschiedliche Relevanz der einzelnen Merkmale könnte mehrere Ursachen haben: Als einfachste Erklärung bietet sich an, die Urteile als Abbild des Prozesses analogen Denkens zu verstehen, was im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Experiment 1 der Pilotstudie plausibel erscheint. Allerdings gibt es dabei einige Bedenken: Die Probanden haben sich bei der Ähnlichkeitsbewertung möglicherweise auf einige der Merkmale beschränkt, um die Komplexität zu senken. Bei der Nutzbarkeitsbeurteilung kommen weitere Hindernisse hinzu: Die Aufgabenstruktur des Targets wurde nur ansatzweise verstanden. Es stellt sich die Frage, welche Figuren aufeinander abgebildet werden sollen (Ausgangsfigur, Zwischenstufen oder Lösung). Und es ist zu entscheiden, auf welchem Abstraktionsniveau die Basis-Figuren wirksam werden sollen: Für die Abbildung muss die Ausgangsfigur des Targets (G) in geeigneter Weise mit der Basis-Figur (TG) in Verbindung gebracht werden, um aus der Lösung der Basis-Figur eine Lösung für die Target-Aufgabe zu (re-)konstruieren. Welche Figur diesem Prozess am ehesten gerecht wird, ist schwer zu entscheiden, wenn man mit der Target-Aufgabe wenig vertraut ist.

Außerdem kann die Basis-Figur auf verschiedenen Abstraktionsniveaus wirksam werden, und es bleibt unklar, an welche Ebene (allgemeine Vorbereitung, literaler oder abstrakter Transfer) die Probanden bei der Bildung der Rangreihe gedacht haben.

Inhaltlich ist nicht geklärt, ob alle drei Formen des Transfers unter dem Analogie-Begriff fassbar sind. Da jedoch in allen Fällen relationale Gefüge von Basis auf das Target übertragen werden, bestehen laut Thagard (1998, mündlich) wenig Bedenken, von analogem Schließen zu reden, solange ein Effekt der Basis-Figuren in Lösungszeiten oder -häufigkeiten nachzuweisen ist. Außerdem lassen die bisher verwendeten Paradigmen in Experimenten zum analogen Denken keine Unterscheidung zwischen den Formen des Transfers zu. Hinweise lassen sich bestenfalls aus den Verbalprotokollen der Probanden und den Lösungsskizzen entnehmen.

Insgesamt scheint es angebracht, die Korrelation zwischen Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteilen mit empirischen Belegen zum analogen Schließen zu untermauern.

Hypothesen

Wenn die Korrelation zwischen Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteil auch für den realen analogen Transfer gilt, sollten die semantischen Aspekte der Basis-Figur, welche das Ähnlichkeitsurteil bestimmen, auch die Bearbeitung der Target-Aufgabe beeinflussen. Deshalb sollte der Innenwinkel der Basis-Figur eine für den Transfer relevante Dimension sein, das Vorhandensein einer Innenecke hingegen nicht. Für die Farmaufgabe als Target lassen sich die eingangs formulierten Arbeitshypothesen (S. 46-48) folgendermaßen spezifizieren:

Hypothese 1: *Je ähnlicher, desto hilfreicher.*

1.‘ Wenn zwei Basis-Figuren die zugrunde liegende Aufgabenstruktur vergleichbar illustrieren, sollte die der Target-Figur ähnlichere Figur die Lösung der Farmaufgabe in stärkerem Maße erleichtern als die weniger ähnliche Figur, gemessen an der Lösungszeit und der Anzahl angefertigter Lösungsskizzen, vorausgesetzt beide Basis-Figuren sind strukturell äquivalent.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei ähnlicher Basis < bei unähnlicher Basis

Hypothese 2: *Nicht alle Aspekte der visuellen Oberfläche...*

2.1.‘ Der Innenwinkel als Aspekt der visuellen Oberfläche, der sich als für das Ähnlichkeitsurteil relevant erwiesen hat, sollte auch beim analogen Transfer wirksam sein.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei rechtwinkliger Basis < bei nicht rechtwinkliger Basis

2.2.‘ Die Dimension „mit vs. ohne Innenecke“ als Aspekt der visuellen Oberfläche, der sich als für das Ähnlichkeitsurteil nicht relevant erwiesen hat, sollte auch nicht beim analogen Transfer wirksam sein.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei Basis mit Innenecke = bei Basis ohne Innenecke

Hypothese 3: *Formen des Transfers*

3.‘ Ähnlichkeitseffekte sind bei der Darbietung einer, zweier oder mehrerer Basis-Figuren zu erwarten.

3.1.‘ Eine Basis-Figur

Nach Bearbeitung einer Basis-Figur sollte die Lösung der Target-Aufgabe leichter fallen, wenn die Basis-Figur rechtwinklig war, und schwerer fallen, wenn die Basis nicht rechtwinklig war, gemessen an den Lösungszeiten und der Anzahl produzierter Lösungsskizzen und unter den oben genannten Bedingungen.

3.2.‘ Zwei Basis-Figuren

Nach Bearbeitung zweier Basis-Figuren sollte die Bearbeitung der Farmaufgabe leichter fallen, wenn beide Figuren rechtwinklig waren, und schwerer fallen, wenn beide Figuren nicht rechtwinklig waren, gemessen an den Lösungszeiten und der Anzahl produzierter Lösungsskizzen und unter

den oben genannten Bedingungen.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei rechtwinkligen Basen < bei nicht rechtwinkligen Basen

Über die Präsentation eines Paares aus einer rechtwinkligen und einer nicht rechtwinkligen Figur kann laut Hypothese 4 gegenwärtig noch keine Aussage gemacht werden. Das gleiche gilt für die Präsentation gemischter Basis-Serien mit mehr als zwei Figuren.

3.3. ' 18 Basis-Figuren (multiple Analogien)

Die Bearbeitung der Farmaufgabe sollte, gemessen an den Lösungszeiten und der Anzahl produzierter Lösungsskizzen, leichter fallen, wenn zuvor eine Serie rechtwinkliger Basis-Figuren bearbeitet wurde, als wenn die zuvor bearbeitete Serie nicht rechtwinklige Figuren enthielt.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei rechtwinkligen Basis-Serien < bei nicht rechtwinkligen Basis-Serien

Das sollte sowohl bei impliziten als auch bei explizitem Transfer gelten, ist jedoch bei implizitem Transfer eher zu erwarten.

Überblick über die Experimente

Die Experimente 3 bis 6 wurden in Ablauf und verwendetem Material weitgehend konstant gehalten. Alle Experimente wurden in Einzelsitzungen am Computer durchgeführt und dauerten ca. 40 bis 60 Minuten. Die verwendeten Basis-Figuren waren ausschließlich rep4-Figuren, so dass nur Unterschiede auf der visuellen Oberfläche zwischen den Figuren bestehen sollten. Größe, Farbe, Konturen und Position auf dem Bildschirm waren ausgeglichen bzw. konstant gehalten.

Zu Beginn wurden jeweils eine bis maximal 18 Basis-Figuren mit unterschiedlichen Aufgaben dargeboten: In *Experiment 3* wurden alle erkennbaren Eigenschaften der dargebotenen Figur aufgeschrieben, in *Experiment 4* wurden die beiden verwendeten Figuren miteinander verglichen, und in den *Experimenten 5 und 6* wurde mündlich das den 18 Figuren zugrunde liegende Prinzip (rep4) generiert.

Nach Darbietung der Figur(en) sollte in allen Experimenten die Farmaufgabe gelöst werden. Dazu wurde in den Experimenten 3 und 4 kariertes Arbeitspapier angeboten und in den Experimenten 5 und 6 unliniertes Papier, weil bei einem bis zwei dargebotenen Figuren ein stärkerer Semantikeinfluss zu erwarten ist als bei 18 Figuren. Damit sind beide Experimentpaare nur indirekt miteinander vergleichbar.

Die Farminstruktion war in allen Experimenten identisch. Die Farmaufgabe war jeweils ohne Zeitdruck zu lösen. In den Experimenten 3 bis 5 wurde kein Hinweis auf den Zusammenhang zwischen den gezeigten Basis-Figuren und der Teilungsaufgabe gegeben. Die Bearbeitung der Figuren und die Teilungsaufgabe(n) wurden als separate Teile deklariert, folgten aber direkt aufeinander.

In Experiment 6 wurde von der ersten Instruktion an ein expliziter Zusammenhang zwischen beiden

Teilen hergestellt. In den Experimenten 4, 5 und 6 wurden weitere Teilaufgaben verwendet, in Experiment 3 wurde aus organisatorischen Gründen darauf verzichtet.

Basis-Figuren

Da in den Experimenten 3 bis 6 die gleichen Basis-Figuren verwendet wurden, sollen an dieser Stelle Konstruktionsprinzipien und Figuren vorgestellt werden.

Alle 18 verwendeten Figuren waren rep4-Figuren und wurden in der Version TG als dreidimensionale Körper dargestellt. Die Teile waren nur in einigen Fällen analog zur Farmfigur in der Gesamtfigur angeordnet. Damit lag der Fokus auf der Form der Teilfiguren, während kein Hinweis auf den Lösungsweg und die Anordnung der Teile gegeben wurde.

Die Flächen der rep4-Figuren waren einfarbig gestaltet. Dafür wurden auf dem Farbkreis Farbtöne im Abstand von je 20° mit jeweils gleicher Sättigung ausgewählt und abwechselnd den rechtwinkligen bzw. nicht rechtwinkligen Figuren zugeordnet. Die Figuren wurden so ausgewählt, dass möglichst jeder rechtwinkligen Figur eine nicht rechtwinklige Figur entsprach. D.h., beide Figuren teilten möglichst viele strukturelle und semantische Attribute, wie Anordnung der Teile in der Gesamtfigur, Proportionen und Vorhandensein von Innenecken.

Zur Veranschaulichung der rep4-Struktur war eine der Teilfiguren aus der Gesamtfigur herausgelöst und neben dieser abgebildet. Die restliche Figur bestand aus zwei Schichten, wobei die untere Schicht der Gesamtfigur entsprach und die obere aus drei „aufgelegten“ Teilfiguren bestand. Die Helligkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Schichten waren für alle vier Figuren einheitlich gewählt. Auch die Tiefe der Figur, d.h. die Höhe der Schichten, war gleich.

Die separate Teilfigur war so positioniert, dass sie durch eine einfache Verschiebung in die Gesamtfigur integrierbar wäre. Außerdem wurde sie nach Möglichkeit so „abgelegt“, dass sie die gleiche räumliche Orientierung hatte wie die Gesamtfigur. Die Position des Teils neben der Gesamtfigur war über alle Figuren ausgeglichen. Die winkelförmigen Figuren wurden gegebenenfalls rotiert, damit sie nicht die gleiche Orientierung aufwiesen wie die Farmfigur.

Weil der 3D-Effekt zwar für das Erkennen der rep4-Struktur förderlich ist, jedoch für die Bearbeitung der Farmaufgabe hinderlich ist, sollten die Probanden in den Experimenten 3 und 4 die Basis-Figur(en) *nach* Bearbeitung der entsprechenden Aufgabe zweidimensional skizzieren. In den Experimenten 5 und 6 waren alle Figuren abschließend auf einer Tafel gemeinsam in 2D-Darstellung abgebildet.

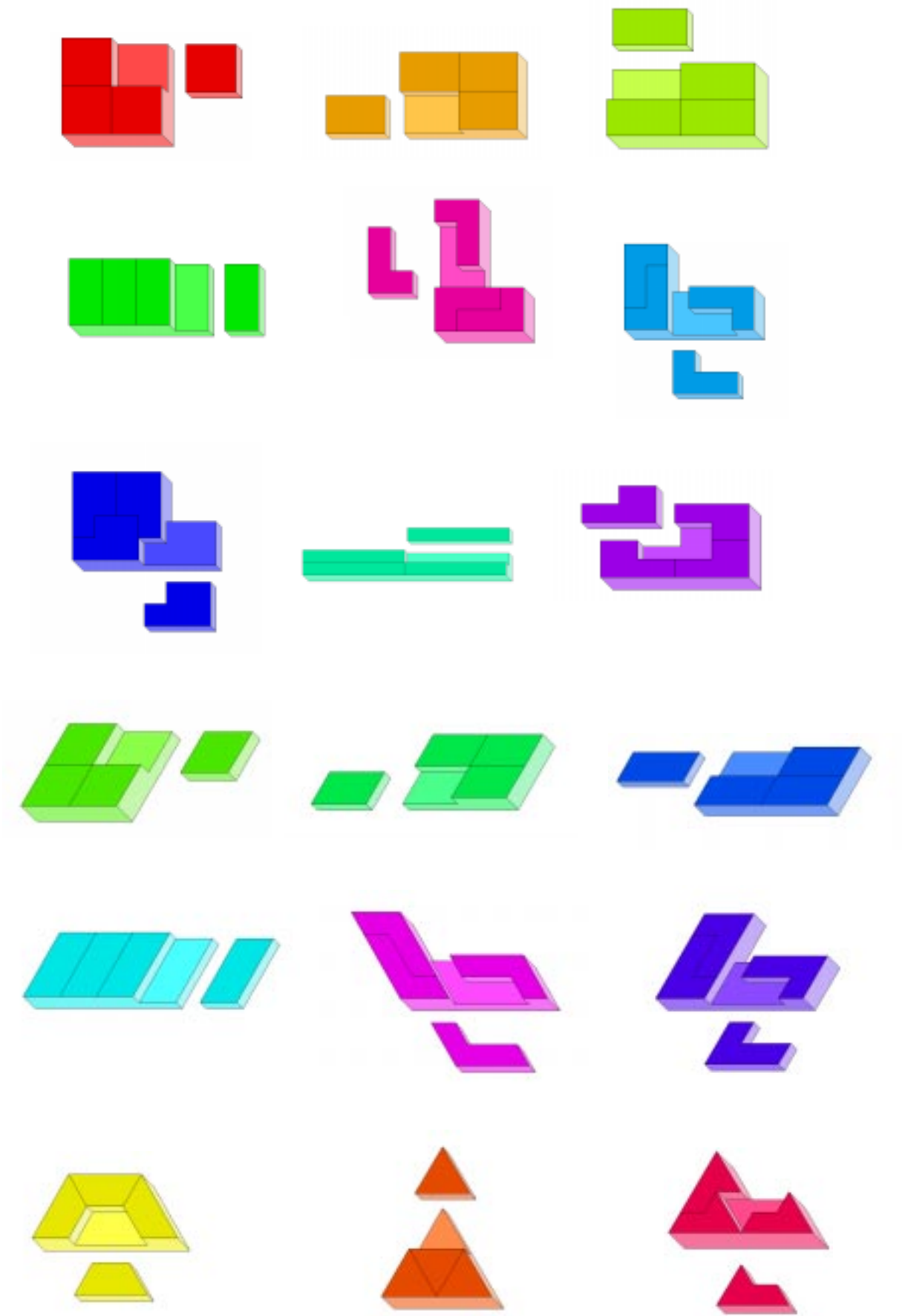


Abb. 3.1: In den Experimenten 3 bis 6 verwendete Basis-Figuren (Nr. 1-18).

3. EXPERIMENT 3: EINE ABBILDUNG

Jeder Proband bearbeitete die Farmaufgabe als Target, nachdem er eine von vier Basis-Figuren bearbeitet hatte. Abhängige Variablen waren die Lösungszeit für die Farmaufgabe und die Anzahl der angefertigten Lösungsskizzen. Als unabhängige Variable wurden 2x2 Basis-Abbildungen zwischen den Probanden variiert. Als Basis-Abbildungen dienten zwei rechtwinklige und zwei nicht rechtwinklige rep4-Figuren in der Version TG. Außerdem wiesen zwei der Figuren eine Innenecke auf, um einen weiteren semantischen Aspekt zu testen, welcher für das Ähnlichkeitsurteil irrelevant war.

3.1. HYPOTHESEN

Hypothese 1: *Je ähnlicher, desto hilfreicher.*

1.‘ Wenn zwei Basis-Figuren die zugrunde liegende Aufgabenstruktur vergleichbar illustrieren, sollte die der Target-Figur ähnlichere Figur die Lösung der Farmaufgabe in stärkerem Maße erleichtern als die weniger ähnliche Figur, gemessen an der Lösungszeit und der Anzahl angefertigter Lösungsskizzen, unter der Voraussetzung struktureller Äquivalenz und Messbarkeit des Effekts mittels Lösungszeit und Anzahl der Lösungsskizzen.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei ähnlicher Basis < bei unähnlicher Basis

Hypothese 2: *Nicht alle Aspekte der visuellen Oberfläche...*

2.1.‘ Der Innenwinkel als Aspekt der visuellen Oberfläche, der sich als für das Ähnlichkeitsurteil relevant erwiesen hat, sollte auch beim analogen Transfer wirksam sein.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei rechtwinkliger Basis < bei nicht rechtwinkliger Basis

2.2.‘ Die Dimension „mit vs. ohne Innenecke“ als Aspekt der visuellen Oberfläche, der sich als für das Ähnlichkeitsurteil nicht relevant erwiesen hat, sollte auch nicht beim analogen Transfer wirksam sein.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei Basis mit Innenecke = bei Basis ohne Innenecke

3.2. METHODE

3.2.1. Versuchspersonen

Die Experimente 3 und 4 wurden zeitlich parallel im Zeitraum Oktober/November 1998 in den Räumlichkeiten des Weinberg-Gymnasiums Kleinmachnow durchgeführt. An Experiment 3 nahmen

24 Schüler der 10. bis 13. Klasse, davon 17 SchülerInnen der 12. Klasse, einzeln am Versuch teil. 13 Probanden waren weiblichen und 11 Probanden männlichen Geschlechts. Die Probanden waren zwischen 15 und 18 Jahre alt, das Durchschnittsalter betrug 17 Jahre. Alle Probanden waren deutsche Muttersprachler und kannten weder Abbildungen noch Farmfigur vor dem Experiment. Die Untersuchung dauerte ca. 40 Minuten.

3.2.2. Material

Als *Target-Aufgabe* wurde Dreistadts Farmaufgabe in der Variante aus Experiment 2 der Pilotstudie mit kariertem Lösungspapier verwendet, um zusätzliche Einflüsse auszuschließen.

Als *Basis-Figuren* dienten folgende Figuren:

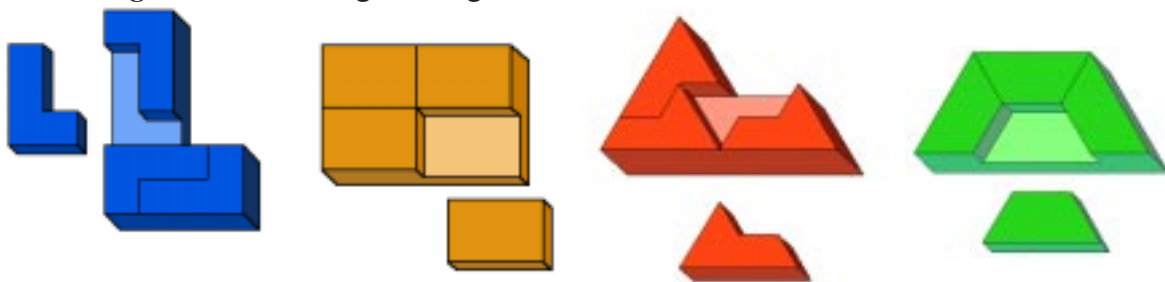


Abb. 3.2: In den Experimenten 3 und 4 verwendete Basis-Figuren (L, Rechteck, Kirche und Trapez).

Die L-förmige Figur und das Rechteck sehen der Farm aufgrund des rechten Winkels ähnlicher als die beiden anderen Figuren. Außerdem teilt die L-Figur mit der Farm das Vorhandensein einer Innenecke. Allerdings stimmen die Anordnung der Teile in der Gesamtfigur und die Orientierung nicht überein. Auch die kirchenförmige Figur teilt mit der Farmfigur die vorhandene Innenecke. Die Anordnung der Teile ist nicht identisch, aber angenähert. Rechteck und Trapez haben keine Innenecke und teilen nicht die verschachtelte Anordnung der Teile mit der Farm. Daher gelten folgende Ähnlichkeitsbeziehungen zur Farmfigur:

$$\mathbf{L = Rechteck > Kirche = Trapez}$$

Die Lösungszeiten für die Farmaufgabe sollten sich entsprechend den zuvor betrachteten Basis-Figuren verteilen:

$$\mathbf{L = Rechteck < Kirche = Trapez}$$

Die *Instruktionen*, außer der Anleitung zur Bearbeitung der Basis-Figur sowie der *demographische Fragebogen*, waren an Experiment 2 angelehnt und sind dem Anhang (S. X-XIII) zu entnehmen. Die Bearbeitung der Basis-Figur erfolgte in zwei Teilaufgaben. Zunächst schrieb der Proband alle Eigenschaften der Basis-Figur auf ein Arbeitsblatt, die ihm einfielen. Dafür standen fünf Minuten zur Verfügung. Danach sollte er sich die Figur eine Minute lang für einen Gedächtnistest am Ende des Experimentes einprägen und anschließend zweidimensional auf ein Arbeitsblatt skizzieren.

Die Instruktionen, die Basis-Figur und die Farmaufgabe wurden auf dem Bildschirm präsentiert. Zur Bearbeitung der Aufgaben wurden nacheinander verschiedene *Arbeitsblätter* gereicht: Zur Bearbeitung der Basis-Aufgabe wurden zwei Blätter verwendet. Zur Beschreibung der Figur wur-

de ein liniertes DinA4-Blatt mit der Überschrift „Eigenschaften der Figur(en):“ gereicht. Das Blatt für die Skizze war unliniert und trug die Überschrift „Skizze der Figur:“. Das Arbeitsblatt für die Farmaufgabe wurde aus Experiment 2A übernommen, war kariert und enthielt zwölf Umriss der Farmfigur à zwölf Kästchen. Der demographische Fragebogen bestand aus zwei unlinierten Blättern, auf dem ersten waren Fragen zur Person abgedruckt (Alter, Geschlecht, Beschäftigung, Datum, Vp-Nummer, Version). Auf dem zweiten Blatt wurden die Bekanntheit von Basis-Figur und Farmaufgabe sowie die Hilfestellung durch die Basis-Figur bei Bearbeitung der Farmaufgabe abgefragt. Die Lösungsstrategien wurden im abschließenden Gespräch mündlich anhand der Lösungsskizzen erhoben.

3.2.3. Geräte

Das Experiment 3 wurde am Computer (PowerBook 190cs, PsyScope 1.1) durchgeführt. Die Instruktionen erschienen per Tastendruck auf dem Bildschirm. Die Messung der Lösungszeit für die Farmaufgabe und das Versuchsprotokoll wurden mittels PsyScope 1.1 festgehalten.

3.2.4. Durchführung

Nach Begrüßung des Probanden führten die Instruktionen durch das Experiment, welche per Tastendruck auf die rot markierte Leertaste auf dem Bildschirm erschienen, beginnend mit „1. Teil“. Der Versuchsleiter stand während der Instruktionen für Fragen zur Verfügung, reichte die jeweils benötigten Arbeitsblätter zu, und entfernte diese nach Beendigung der entsprechenden Aufgabe.

Nach der allgemeinen Einleitung und ersten Instruktion zur Beschreibung erschien die Basis-Figur für genau fünf Minuten auf dem Bildschirm. Nach Ablauf der Bearbeitungszeit erschien die Memory-Instruktion und auf Tastendruck die Basis-Figur erneut für genau eine Minute. Die Bearbeitungszeit beider Aufgaben konnte nicht durch den Probanden verkürzt werden. Nach Abgabe der Skizze erfolgte die Instruktion zur Farmaufgabe mit der Überschrift „2. Teil“. Die Lösungszeit wurde vom Drücken der Leertaste, um die Aufgabe auf den Bildschirm zu bekommen, bis zum nächsten Drücken der Leertaste, um die Aufgabe zu beenden, gemessen. Mit Erscheinen der Farmaufgabe auf dem Bildschirm wurden dem Probanden Arbeitsblätter und Stifte vorgelegt.

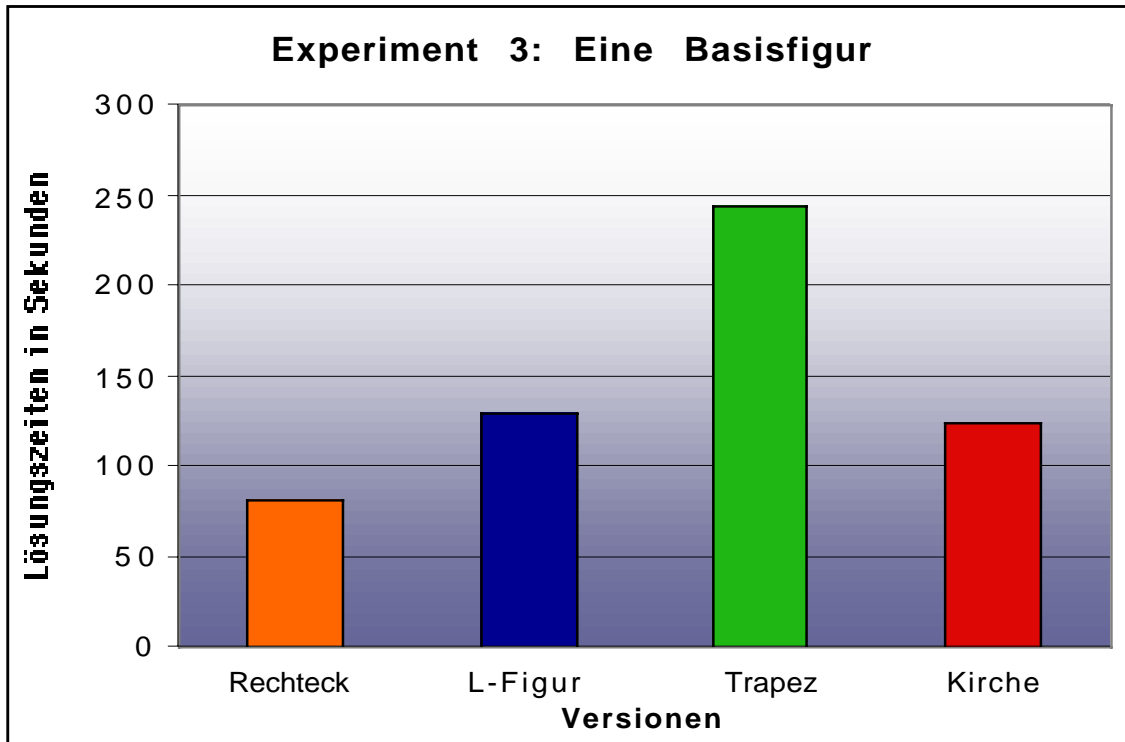
Nach Lösung der Farmaufgabe sollte der Proband noch einmal die am Anfang beschriebene Figur zweidimensional skizzieren. Die entsprechende Instruktion war mit „3. Teil“ überschrieben. Für die Skizze wurde das gleiche Arbeitsblatt verwendet wie bei der ersten Zeichenaufgabe.

Nach Abgabe der Skizze wurde der demographische Fragebogen vorgelegt und die Lösungsstrategie bei der Farmaufgabe erfragt. Abschließend bestand die Möglichkeit zu einem Gespräch über das Ziel der Untersuchung.

3.3. ERGEBNISSE

(a) Bearbeitung der Farmaufgabe

Je sechs Probanden bearbeiteten eine der vier Basis-Figuren und lösten anschließend die Farmaufgabe. In diesen vier Gruppen unterschieden sich die *Lösungszeiten* für die Farmaufgabe signifikant voneinander ($F_{3;20} = 3.38, p = .039$). Die Mittelwerte sind folgendermaßen verteilt:



Erwartungskonform gab es einen Unterschied der Lösungszeiten zwischen den Gruppen mit 90°-Figuren (101 Sekunden) und den Gruppen mit 60°-Figur (183 Sekunden) ($F_{1;20} = 4.68, p = .04$), während zwischen Figuren mit vs. ohne Innenecke (122 vs. 162 Sekunden) kein überzufälliger Unterschied bestand ($F_{1;20} = 1.09, p = .31$). Allerdings war die Interaktion zwischen beiden Faktoren signifikant ($F_{1;20} = 4.37, p = .049$). Betrachtet man die Mittelwerte der einzelnen Versionen, so zeigt sich, dass der Mittelwert der Probanden, die zuvor das Trapez gesehen hatten, deutlich von den anderen Gruppen unterscheidet: Der Unterschied zu Rechteck und Kirche war im Newman-Keuls-Test signifikant ($p = .033$ bzw. $p = .039$), der zur L-Figur marginal signifikant ($p = .08$). Die Trapez-Gruppe unterschied sich mit 243 Sekunden Lösungszeit außerdem als einzige marginal von der Kontrollgruppe aus Experiment 2A mit durchschnittlich 168 Sekunden Lösungszeit ($p = .07$).

Bei der *Anzahl der Lösungsskizzen* ergibt sich ein ähnlicher Effekt. Die Mediane zeigten mit 1, 2, 3 und 3 Skizzen (Rechteck, L-Figur, Trapez, Kirche) die gleiche Verteilung wie bei den Lösungszeiten. Der Effekt der vier Versionen war mit $H_{(3, N=24)} = 8.14 (p = .04)$ signifikant. Auch hier unterschieden sich die Probanden mit rechtwinkliger Figur (Median 2) von denen mit nicht rechtwinkliger Basis-Figur (Median 3) ($H_{(1, N=24)} = 6.99, p = .008$), während das Vorhandensein einer Innenecke keinen Effekt hatte (Mediane 2, $H_{(1, N=24)} = .04$). Der Unterschied der vier Versionen

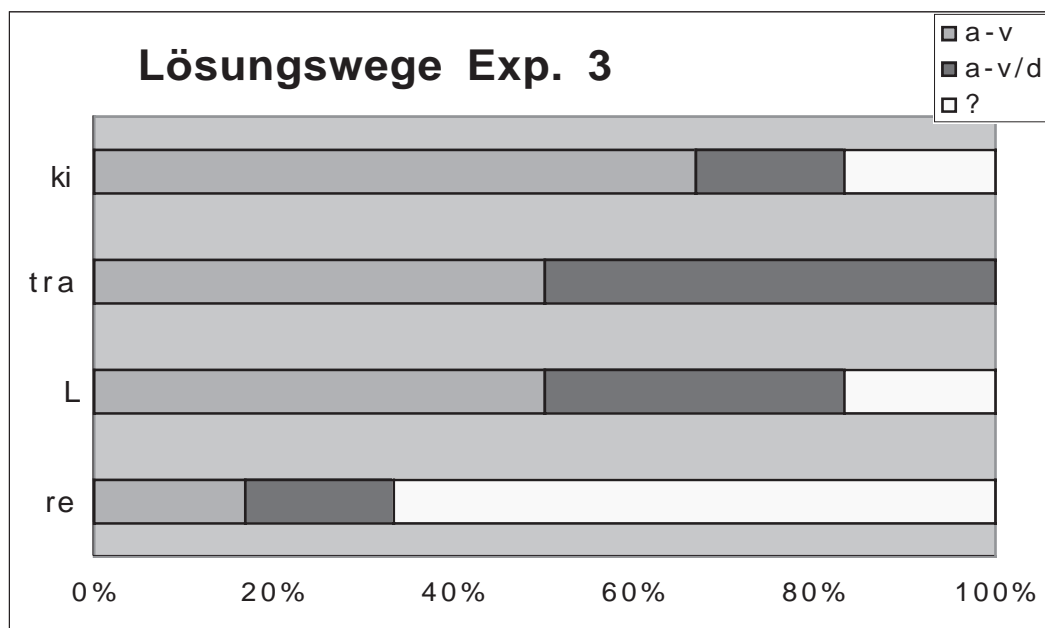
zur Kontrollgruppe (Median 2.5) war marginal signifikant ($H_{(4, N=34)} = 8.47, p = .076$).

Bei der Auswertung der *verwendeten Lösungswege* traten zwei Probleme auf. Zum einen ist die Puzzle-Strategie aufgrund des karierten Lösungspapiers nicht von der analytisch-viereckigen Strategie unterscheidbar. Zum anderen haben sechs der 24 Probanden nur eine Skizze angefertigt, nämlich die Lösung. Davon bearbeiteten vier Probanden zuvor das Rechteck und je ein Proband Kirche und L-Figur. Deutlich unterscheidbar sind damit nur die analytischen Lösungswege (sowie die Varianten der Neuorientierung). Möglicherweise sind einige als analytisch-viereckig deklarierte Skizzen der Puzzle-Strategie zuzurechnen.

Alle Skizzen außer der Lösung sind dem analytisch-dreieckigen oder analytisch-viereckigen Weg zuzuordnen. Es gibt keine Hinweise auf arithmetische Zerlegung oder Neuorientierung.

Der Anteil an Probanden, der die Farmfigur sowohl analytisch-dreieckig als auch analytisch-viereckig zerlegt hat, ist mit 29% höher als bei der Kontrollgruppe in Experiment 2A mit 10%. Der Anteil analytisch-dreieckiger Zerlegungen ist bei Kirche und Rechteck relativ klein (je 1/6) und bei Trapez und L-Figur relativ hoch (1/2 bzw. 1/3). Ob das mit den Basis-Figuren in einem kausalen Zusammenhang steht, ist aufgrund der kleinen Anzahl von Probanden nicht festzustellen. Außerdem ist der Anteil an Probanden, welche die Aufgabe mit nur einer Skizze gelöst haben, mit 4 von 6 in der Rechteck-Gruppe besonders hoch.

In der Nachbefragung gaben zwei Probanden an, die Figur aus dem ersten Teil hätte bei der Zerlegung der Farmfigur geholfen, weil Form bzw. Anordnung übereinstimmten. Fünf Probanden waren unentschlossen und gaben z.B. an, die Figur habe vielleicht unbewusst geholfen bzw. nicht direkt geholfen. Die anderen 17 Probanden gaben an, die Figur habe ihnen nichts genützt.



Diagr. 5.2: In Experiment 3 beobachtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.

(b) Bearbeitung der Basis-Figur

Die *Anzahl der genannten Eigenschaften* pro Figur unterschied sich nicht ($H_{(3, N=24)} = 4.56, p = .21$). Der Median für das Rechteck betrug acht Eigenschaften, für die L-Figur zehn Eigenschaften, für das Trapez sieben und die Kirche acht Eigenschaften. Je drei Probanden beschrieben bei Rechteck und Kirche u.a. die rep4-Struktur, bei L-Figur und Trapez waren es je 4 Probanden ($\chi^2 = .29, df = 3$). Alle vier Figuren illustrierten damit die zugrunde liegende Lösungsstruktur vergleichbar.

3.4. DISKUSSION

Bei Darbietung einer analogen Basis-Figur ohne Hinweis auf die Nutzbarkeit hat sich der Innenwinkel erwartungsgemäß als transferrelevant herausgestellt. Damit ist die Bearbeitung der Farmaufgabe nicht nur gegenüber inhaltlichen und formalen Veränderungen der Aufgabenstellung sensibel, sondern auch gegenüber Eigenschaften der visuellen Oberfläche einer zuvor dargebotenen Basis-Figur, wobei diese Attribute nicht im direkten Zusammenhang mit der Lösungsstruktur standen.

Konkret bedeutet das, dass der Innenwinkel nicht nur das Ähnlichkeitsurteil bestimmt, sondern auch den realen Transfer. Gleichzeitig wurde die Korrelation zwischen Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteil bestätigt. Das Vorhandensein einer Innenecke bei der Basis-Figur allein war nicht wirksam, auch dies ist als Bestätigung zu Experiment 2 zu werten. Allerdings gab es bei den nicht rechtwinkligen Figuren einen Unterschied, so dass die spitzwinklige Figur mit Innenecke die Bearbeitung der Farmaufgabe in stärkerem Maß erleichtert hat als die spitzwinklige Figur ohne Innenecke. In Experiment 2 war das Ähnlichkeitsurteil innerhalb der rechtwinkligen Figuren differenzierter und innerhalb der nicht rechtwinkligen Figuren gleichbleibend niedrig. In Experiment 3 hingegen waren die Kirche (spitzwinklig mit Innenecke) und die beiden rechtwinkligen Figuren vergleichbar hilfreich, während das Trapez (spitzwinklig ohne Innenecke) für die Bewältigung der Farmaufgabe unbrauchbar war. Wie in Experiment 1 war das Trapez nicht nutzbar, obwohl alle relevanten Relationen illustriert und durch 3D-Darstellung hervorgehoben waren. Hier lässt sich die gegenüber der Kontrollgruppe verlangsamte Lösungszeit nicht einmal mit dem Enkodieraufwand erklären, da die Figuren *vor* der Target-Aufgabe bearbeitet wurden. Auch die Anzahl genannter Eigenschaften und der Anteil der rep4-Nennungen war beim Trapez nicht geringer als bei den anderen Figuren. Daher muss die Differenz im Transferprozess selbst begründet sein. Offenbar konnten die Probanden die Kirche aufgrund der Innenecke mit der Farm in Beziehung setzen, obwohl sie nicht rechtwinklig war. Diese Abbildungsfunktion scheiterte beim Trapez, da hier weder Innenwinkel noch Innenecke die Instantiierung der Struktur unterstützten. Dass der Prozess bereits bei der Selektion scheiterte, ist unplausibel, da die meisten Probanden angaben, die Figuren nicht strategisch genutzt zu haben.

Insgesamt ist der Nutzen der Bilder für die Bearbeitung der Farmaufgabe noch immer relativ gering, da kein Unterschied in den Lösungszeiten zur Kontrollgruppe beobachtbar war. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Lösungszeiten bei kariertem Lösungspapier schon in der Kontrollgruppe extrem kurz waren, so dass von vornherein relativ schwache Effekte zu erwarten waren, die jedoch

direkt auf den Nutzen der Figuren zurückführbar sind.

4. EXPERIMENT 4: ZWEI ABBILDUNGEN

Bei Darbietung einer Basis-Figur könnte man Effekte der visuellen Oberfläche darauf zurückführen, dass die Probanden nicht oder nur schwer zwischen relevanten und irrelevanten Attributen sowie zwischen strukturellen und semantischen Aspekten diskriminieren konnten. Ab der Darbietung von zwei Figuren mit einer auf Struktur fokussierenden Instruktion sollten die Probanden in der Lage sein, eine angemessene Repräsentation der Abbildung aufzubauen. Entsprechend sollten sich nur noch „echte“ Ähnlichkeitseffekte auf den Transfer nachweisen lassen.

In Experiment 4 bearbeiteten die Probanden zwei der vier Basis-Figuren aus Experiment 3, bevor sie die Farmaufgabe mit kariertem Arbeitspapier lösten. Um strukturelle Aspekte beider Figuren zu forcieren, sollten die Probanden Gemeinsamkeiten und Unterschiede generieren. Wie in Experiment 3 wurde kein Hinweis zur Nutzbarkeit der Figuren gegeben, aber Basis und Target folgten direkt aufeinander.

Wenn der in Experiment 3 beobachtete Ähnlichkeitseffekt auch bei Darbietung zweier Figuren wirksam ist, sollte das Bildpaar aus rechtwinkligen Figuren (Rechteck und L-Figur) für die Bearbeitung der Farmaufgabe nützlicher sein als das Paar nicht rechtwinkliger Figuren (Trapez und Kirche). Außerdem wurden einigen Probanden gemischte Bildpaare aus einer rechtwinkligen und einer nicht rechtwinkligen Figur vorgelegt.

Die sechs Bildpaare (re-L; ki-tra; re-tra; re-ki; L-tra; L-ki) wurden zwischen den Probanden variiert (acht Probanden pro Bildpaar). Bei zusätzlicher Berücksichtigung der Links-rechts-Orientierung (z.B. re-L vs. L-re) ergeben sich insgesamt zwölf Bildpaare, welche von jeweils vier Probanden bearbeitet wurden.

Als abhängige Variablen wurden Lösungszeit, Anzahl der Skizzen und verwendete Strategien erhoben.

4.1. HYPOTHESEN

Hypothese 1: *Je ähnlicher, desto hilfreicher.*

3.1. ' Nach Bearbeitung zweier Basis-Figuren sollte die Bearbeitung der Farmaufgabe leichter fallen, wenn beide Figuren rechtwinklig waren, und schwerer fallen, wenn beide Figuren nicht rechtwinklig waren, gemessen an den Lösungszeiten und der Anzahl produzierter Lösungsskizzen.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

(Rechteck und L-Figur) < (Trapez und Kirche)

Über die Präsentation eines Paares aus einer rechtwinkligen und einer nicht rechtwinkligen Figur kann laut Hypothese 4 gegenwärtig noch keine Aussage gemacht werden.

Hypothese 2: Nicht alle Aspekte der visuellen Oberfläche...

3.2.' Die Dimension „mit vs. ohne Innenecke“ sollte beim analogen Transfer nicht wirksam sein. Deshalb sollte die Bearbeitung der Farmaufgabe nach den Bildpaaren (Rechteck - Trapez) und (L-Figur - Kirche) vergleichbar sein.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

$$\text{(Rechteck - Trapez)} = \text{(L - Kirche)}$$

4.2. METHODE

4.2.1. Versuchspersonen

Experiment 4 wurde zeitgleich mit Experiment 3 am Weinberg-Gymnasium Kleinmachnow durchgeführt und im Anschluss mit Studenten der Universität Hamburg zu Ende geführt. Insgesamt bearbeiteten 48 Probanden (26 Frauen und 22 Männer) die Aufgaben. Davon besuchten 22 Probanden das Gymnasium in den Klassen 9, 11, 12 und 13, und 26 Probanden studierten an der Universität Hamburg Psychologie (11), Chemie (6), Pädagogik (4), Wirtschaftswissenschaften (3) und sonstiges (1). Das Durchschnittsalter betrug 23 Jahre (bei den Schülern 18 Jahre und bei den Studenten 27 Jahre). Der jüngste Proband war 14 Jahre alt und der älteste 35 Jahre. Alle Probanden gaben Deutsch als Muttersprache an und kannten weder die Farmaufgabe noch die Abbildungen vor dem Experiment. Die Probanden wurden einzeln ca. 50 Minuten lang getestet.

4.2.2. Material

Das Experiment 4 stimmte in Material und Ablauf weitgehend mit Experiment 3 überein.

Als **Target** wurde Dreistadts (1969) Farmaufgabe mit karierten Arbeitsblättern aus Experiment 2A übernommen.

Als **Basis** dienten zwei der vier rep4-Figuren aus Experiment 3, welche paarweise nebeneinander dargeboten wurden.

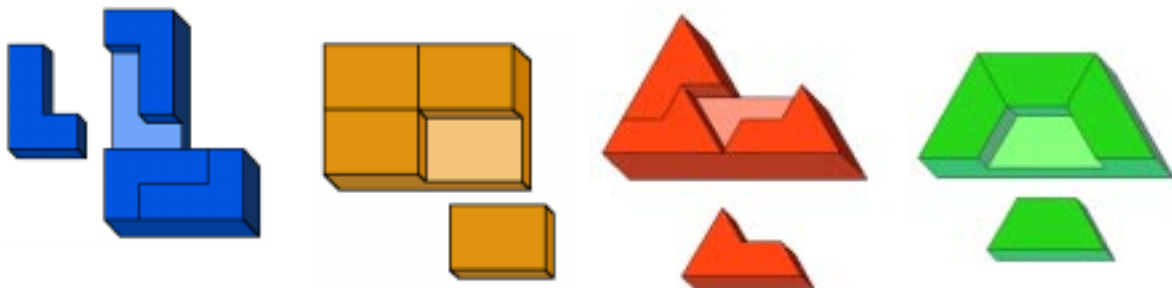


Abb. 4.1: In Experiment 4 verwendete Basis-Figuren (L, Rechteck, Kirche und Trapez).

Zusätzlich zur Farmaufgabe wurden zwei weitere Teilungsaufgaben eingeführt, um Transfer zwischen den Aufgaben beobachten zu können. Dafür wurden jeweils die beiden rep4-Figuren

ausgewählt, welche der Proband zuvor *nicht* als Basis-Figuren bearbeitet hatte. Die Umrisse beider Figuren wurden an die Farmaufgabe in Größe, Kontur und Schraffur angeglichen, und der Text der Farmaufgabe wurde übernommen. Die Arbeitsblätter wurden ebenfalls an die Farmaufgabe angeglichen. Es wurden DinA4-Blätter mit je 12 Umrissen der Gesamtfigur vorgegeben. Transfer zwischen den Aufgaben sollte sich in reduzierten Lösungszeiten und einem hohen Anteil von rep4-Lösungen niederschlagen.

Die **Instruktionen** entsprachen, abgesehen von der Basis-Bearbeitung, denen aus Experiment 3. Die Probanden verglichen fünf Minuten lang die Basis-Figuren und schrieben Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf zwei Arbeitsblätter. Die Bearbeitungsreihenfolge wurde nicht vorgegeben, und die Bearbeitungszeit konnte nicht verkürzt werden. Anschließend prägten sich die Probanden die Figuren eine Minute lang ein und skizzierten sie zum Abschluss der Basis-Bearbeitung und am Ende des Experimentes.

Für den Figurenvergleich wurden zwei linierte **Arbeitsblätter** mit den Überschriften „Gemeinsamkeiten beider Bilder“ (links vor dem Probanden) bzw. „Unterschiede zwischen beiden Bildern“ (rechts vor dem Probanden) vorgelegt. Für die Skizzen wurde ein unliniertes Arbeitsblatt zur Verfügung gestellt, auf dem links oben „Skizze der ersten Figur:“ und in der Mitte links „Skizze der zweiten Figur:“ stand. Für die Teilungsaufgaben wurden karierte (Farm, L-Figur) bzw. unlinierte Arbeitsblätter (Rechteck, Trapez, Kirche) verwendet. Der *demographische Fragebogen* bestand aus den zwei in Experiment 3 verwendeten DinA4-Blättern.

4.2.3. Geräte

Das Experiment 4 wurde am Computer (PowerBook 190cs, PsyScope 1.1) durchgeführt. Alle Instruktionen erschienen per Tastendruck auf dem Bildschirm. Die Messung der Lösungszeit für die Teilungsaufgaben und der Versuchsablauf wurden mit PsyScope 1.1 protokolliert.

4.2.4. Durchführung

Der Ablauf war an den aus Experiment 3 angelehnt. Unterschiede bestanden nur in der Bearbeitung der Basis-Figuren und in der Darbietung zweier weiterer Teilungsaufgaben.

Insgesamt sieben Instruktionen (siehe Anhang, S. XIII-XVII) leiteten den Probanden per Tastendruck auf die rot markierte Leertaste durch das Experiment: Nach Begrüßung und allgemeinen Hinweisen forderte die Instruktion mit der Überschrift „1. Teil“ zum Vergleich der nachfolgenden zwei Abbildungen auf. Dabei sollte der Proband „...alle Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufschreiben, die Dir [ihm] einfallen.“ Die Figuren erschienen nebeneinander auf dem Bildschirm. Vor dem Probanden lagen die entsprechenden Arbeitsblätter. Nach fünf Minuten erschien Instruktion 3 mit der Aufforderung zum Einprägen der Figuren auf dem Display. Per Tastendruck erschienen die Figuren für eine Minute auf dem Bildschirm, danach sollten sie zweidimensional auf dem entsprechenden Arbeitsblatt skizziert werden. Nach Abgabe der Skizzen erschien per Tastendruck die fünfte Instruktion mit der Überschrift „2. Teil“ auf dem Bildschirm und kündigte drei Teilungsaufgaben inklusive Lösungsblättern an.

Danach wurde die Farmaufgabe bearbeitet. Dafür wurden Arbeitsblätter mit den Umrissen der Farmfigur vorgelegt. Anschließend wurden die beiden nicht präsentierten rep4-Figuren als Teilaufgaben vorgegeben. Als Lösung dieser Aufgaben wurden alle Ansätze akzeptiert, welche die Form- und Größenbedingung erfüllen, d.h. nicht nur die rep4-Lösungen. Alle Teilaufgaben wurden ohne zeitliche Begrenzung bearbeitet.

Nach Lösung der letzten Teilaufgabe wurden die Probanden gebeten, die am Anfang verglichenen Figuren noch einmal zu skizzieren. Die entsprechende Instruktion war mit „3. Teil“ überschrieben. Für die Skizzen wurde das gleiche Arbeitsblatt verwendet wie bei der ersten Zeichenaufgabe.

Nach Abgabe der Skizzen erschien auf dem Bildschirm die letzte Instruktion zum demographischen Fragebogen und zur Verabschiedung des Probanden. Der Fragebogen war mit dem aus Experiment 3 identisch. Abschließend wurde mündlich die Lösungsstrategie für die Farmaufgabe (1. Teilaufgabe) abgefragt und auf Wunsch über das Ziel der Untersuchung aufgeklärt.

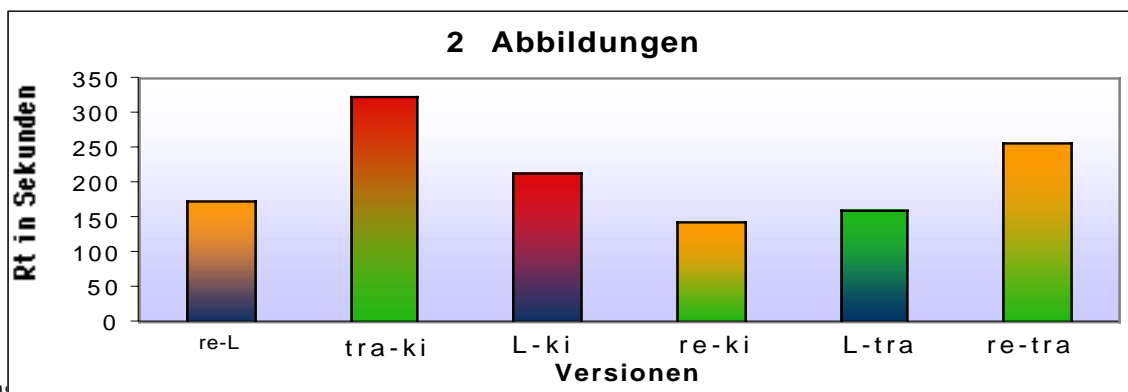
4.3. ERGEBNISSE

(a) *Bearbeitung der Farmaufgabe*

(a1) *Lösungszeiten*

Es gab keinen überzufälligen Unterschied zwischen den sechs Versuchsgruppen ($F_{5,42} = 1.23, p = .31$). Auch der Unterschied zwischen rechtwinkligen und nicht rechtwinkligen Figurenpaaren war nur marginal signifikant ($F_{1,14} = 3.02, p = .10$). Die Mittelwerte zeigten jedoch die erwartete Tendenz: Die durchschnittliche Lösungszeit nach Bearbeitung rechtwinkliger Figuren betrug 171 Sekunden, nach Bearbeitung nicht rechtwinkliger Figuren 325 Sekunden und nach gemischten Paaren 193 Sekunden.

Keine der sechs Versionen wich überzufällig in den Lösungszeiten der Farmaufgabe von der Kontrollgruppe aus Experiment 2A ab ($F_{6,51} = 1.21, p = .32$). Die durchschnittliche Lösungszeit in der Kontrollgruppe betrug 168 Sekunden, bei den Probanden mit einer Basis-Figur 142 Sekunden und bei den Probanden mit zwei Basis-Figuren 195 Sekunden. Auch hier gab es keine signifikanten Abweichungen zwischen den Gruppen ($F_{2,75} = 1.02, p = .37$).



Die

Die Frage nach der Wirksamkeit der einzelnen Figuren ist schwierig zu beantworten, da das Design

nicht vollständig war. Summiert man alle Lösungszeiten auf, die zu einem Figurenpaar gehören, dem die fragliche Figur angehört, wird jeder Wert zwei Zellen zugeordnet. Dann beträgt die mittlere Lösungszeit aller Versionen, die das Rechteck enthalten, 191 Sekunden, für die L-Figur sind es 181 Sekunden, für das Trapez 248 Sekunden und für die Kirche 227 Sekunden ($F_{3,92} = .72$). Damit haben die einzelnen Figuren eines Bildpaares keinen Einfluss auf die Lösungszeit des Targets. Auch die Position der Figur innerhalb des Paares (links vs. rechts) hatte keinerlei Einfluss auf die Lösungszeiten ($F_{1,88} = 0.00$).

(a1.1) Gemischte Serien

Für die Lösungszeiten nach gemischten Bildpaaren könnte man u.a. Ähnlichkeit und Kontrast zwischen beiden Basis-Figuren bzw. zwischen den Basis-Figuren und der Target-Figur heranziehen. Der größte *Kontrast* besteht laut Ähnlichkeitsurteilen in Experiment 2 zwischen rechtwinkligen und nicht rechtwinkligen Paaren. Das Vorhandensein einer Innenecke war für die Ähnlichkeitsurteile irrelevant, jedoch für die Lösungszeiten in Interaktion mit dem Innenwinkel relevant. Nimmt man diese Dimension als untergeordneten Faktor hinzu, lassen sich die Versionen folgendermaßen klassifizieren: Der geringste Kontrast besteht zwischen den Figuren der Paare re-L bzw. tra-ki. Ein größerer Kontrast besteht zwischen Paaren aus rechtwinkligen und nicht rechtwinkligen Figuren (re-tra, re-ki, L-tra, L-ki). Bei Hinzunahme der Innenecke ergibt sich: L-tra = re-ki > re-tra = L-ki > re-L = tra-ki.

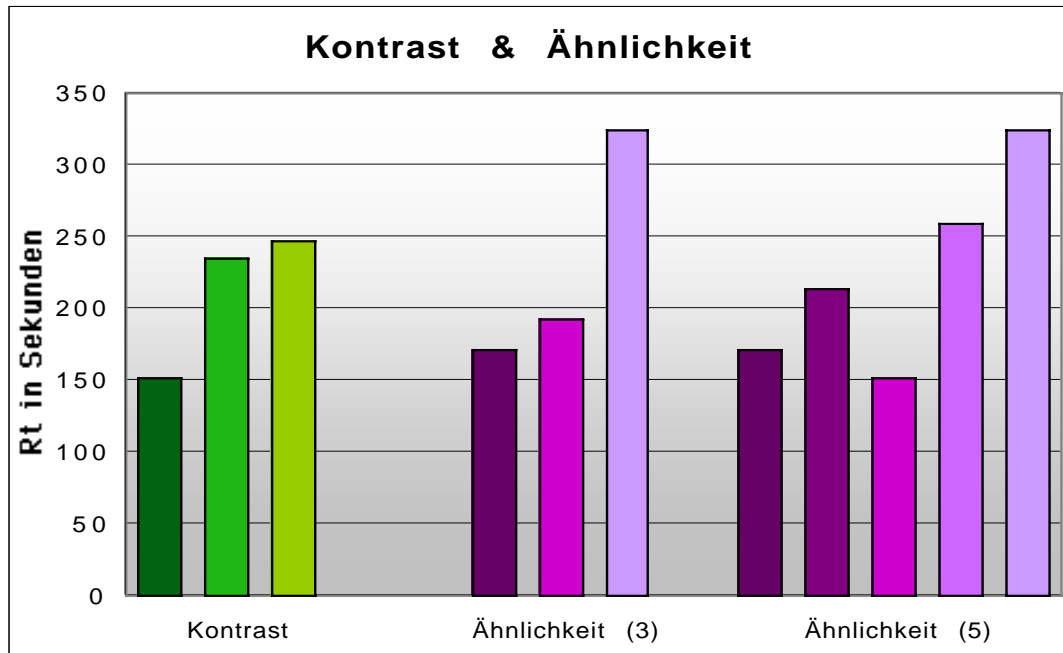
Die größte *Ähnlichkeit* besteht zwischen dem rechtwinkligen Bildpaar und der Farm, die geringste zwischen dem nicht rechtwinkligen Paar und der Farmfigur. Bei Hinzunahme der Innenecke als untergeordneten Faktor ordnen sich die Ähnlichkeitsgrade der Bildpaare zur Farmfigur folgendermaßen: re-L > L-ki > re-ki = L-tra > re-tra > tra-ki.

Der Effekt des Kontrastes zwischen beiden Basis-Figuren wurde nicht signifikant ($F_{2,45} = 1.41$, $p = .25$), aber die Mittelwerte waren tendenziell erwartungskonform verteilt: die mittlere Lösungszeit nach einem kontrastreichen Paar betrug 151 Sekunden, bei mittlerem Kontrast 236 Sekunden und bei minimalem Kontrast 325 Sekunden.

Der Ähnlichkeitseffekt war weder bei Berücksichtigung des Innenwinkels ($F_{2,45} = 2.04$, $p = .14$) noch bei Einbeziehung von Innenwinkel und Innenecke signifikant ($F_{4,43} = 1.57$, $p = .20$). Die Mittelwerte zeigten bei drei Ähnlichkeitsstufen die erwartete Tendenz, jedoch nicht bei fünf Stufen. Da beide Ansätze tendenziell bestätigt wurden, lässt sich nicht entscheiden, wie gemischte Bildserien Einfluss auf den Transfer nehmen. Auch die Betrachtung einzelner Bildpaare erleichtert die Entscheidung nicht: Die Version re-L sollte bei Beachtung des Kontrasts zu den am wenigsten nutzbaren Paaren gehören, gemessen an der Ähnlichkeit zum Target jedoch zu den nützlichsten Paaren. Der Mittelwert der Version re-L nimmt mit 171 Sekunden den dritten Rangplatz ein.

Es bedarf daher weiterer theoretischer und empirischer Fundierung, um die Wirkung gemischter Basis-Paare und -Serien angemessen beschreiben zu können.

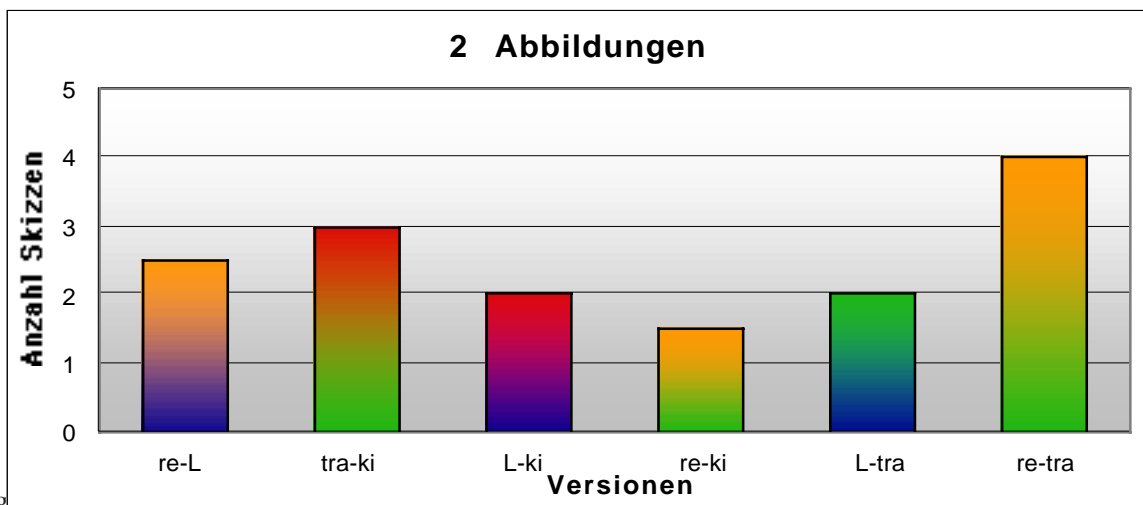
Diagr. 4.2: Lösungszeiten nach Bearbeitung zweier Basis-Figuren (sortiert nach Kontrast und Ähnlichkeit).



(a2) Anzahl der Lösungsskizzen

Bei der Anzahl der Lösungsskizzen für die Farmaufgabe ergibt sich das gleiche Bild wie für die Lösungszeiten. Der Unterschied zwischen den sechs Versionen ist nicht signifikant ($H_{(5, N=48)} = 6.53, p = .26$). Auch zwischen der Anzahl der Skizzen nach Darbietung zweier Figuren (2,5) und der Anzahl der Skizzen in der Kontrollgruppe (2) bestand kein Unterschied ($H_{(1, N=58)} = .42, p = .52$). Die Versionen re-L (rechtwinklige Figuren: 2,5) und tra-ki (nicht rechtwinklige Figuren: 3) stimmten in der Anzahl der Skizzen überein ($H_{(1, N=16)} = 1.52, p = .22$).

Während die Berücksichtigung der Kontraststufen zu einem marginal signifikanten Effekt führte ($H_{(2, N=48)} = 5.13, p = .08$), gab es keinen Effekt der drei bzw. fünf Ähnlichkeitsstufen ($H_{(2, N=48)} = 3.51, p = .17$; $H_{(4, N=48)} = 6.30, p = .18$). Auch die einzelnen Figuren hatten keinen Effekt auf die Anzahl der Lösungsskizzen ($H_{(3, N=96)} = .95$).



Diag

(a3) Verwendete Lösungswege

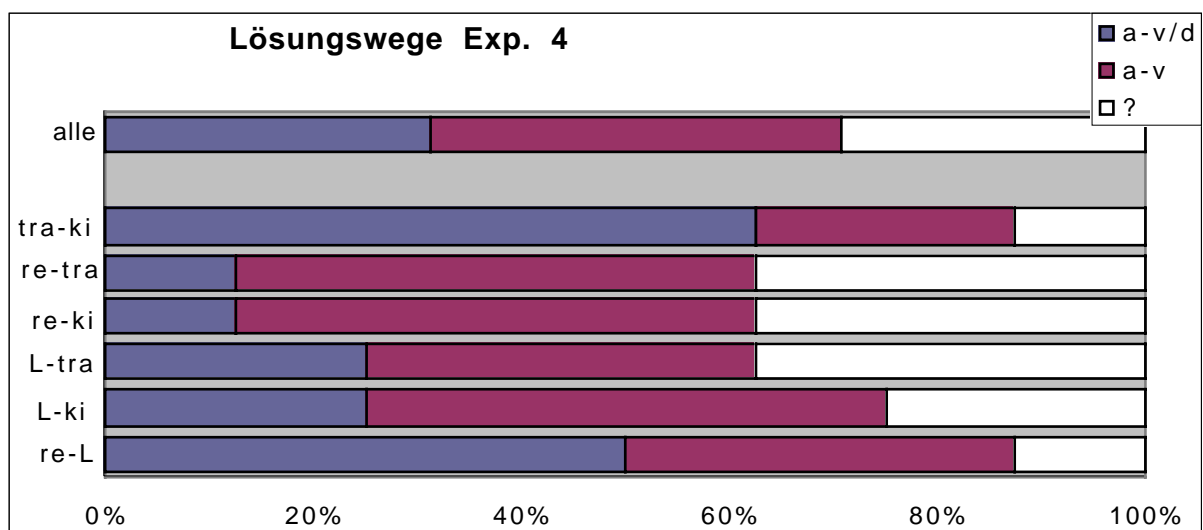
Die für Experiment 3 formulierten Vorbehalte gelten auch für Experiment 4. Alle Skizzen sind dem analytischen Lösungsweg zuzuordnen oder nicht interpretierbar, weil die erste Skizze die Lösung darstellt. 14 von 48 Probanden lösten die Aufgabe auf Anhieb. Insgesamt fünfmal war eine arithmetische Zerlegung in Verbindung mit einer Zerlegung in Quadrate beobachtbar. Diese Skizzen sind gleichmäßig über die Versionen verteilt. Wie bereits in Experiment 3 beobachtet, treten Skizzen, die der analytisch-dreieckigen Zerlegung zuzuordnen sind, nur gepaart mit Skizzen auf, welche der analytisch-viereckigen Zerlegung entsprechen. 40% der Probanden lösten die Aufgabe ausschließlich analytisch-viereckig.

Insgesamt stimmen die verwendeten Lösungswege mit Experiment 3 überein. In beiden Fällen ist der Anteil rein analytisch-viereckiger Lösungen zugunsten der analytisch-dreieckigen und -viereckigen Ansätze reduziert. In beiden Fällen ist die Rate spontaner Lösungen deutlich höher als in der Kontrollgruppe.

	a-v	a-v/d	spontan
2A	90%	10%	-
3	46%	29%	25%
4	40%	31%	29%

Tab. 4.1: Verwendete Lösungswege in den Experimenten 2A, 3 und 4.

Innerhalb der Versionen bei zwei Basis-Figuren ist der Anteil rein analytisch-viereckiger und spontaner Lösungen in den Versionen re-tra und re-ki sehr hoch, bei den Versionen L-tra und L-ki hoch und in den Versionen re-L und tra-ki verhältnismäßig gering.



In der Nachbefragung gaben 59% der Probanden an, die Basis-Figuren hätten nicht bei der Lösung der Target-Aufgabe geholfen. In Experiment 3 waren es noch 71%. 41% der Probanden (8% in Exp. 3) gaben an, die Figuren hätten geholfen. Dabei gaben 19% der Probanden eine unspezifische Begründung, z.B. dass die visuelle Vorstellung angeregt worden wäre. 8% bezogen sich auf die

Form der L-Figur, 14% deuteten in der Begründung das rep4-Prinzip an. Ein Proband gab an, die Figuren hätten ihm unbewusst geholfen. Damit war die Quote der Probanden, welche bei der Lösung der Target-Aufgabe analoges Schließen vermuten lassen, wesentlich höher als in Experiment 3. Dafür spricht u.a. die hohe Anzahl spontaner Lösungen.

(b) Bearbeitung der zweiten und dritten Teilaufgabe

Für jede der vier Basis-Figuren existiert eine Alternativlösung, welche nicht das rep4-Prinzip realisiert.

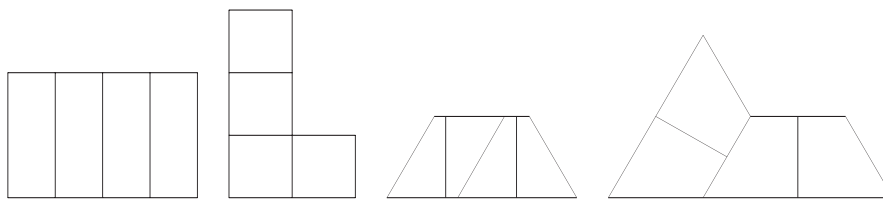


Abb. 4.2: Alternativlösungen zum rep4-Prinzip für die Teilaufgaben der Basis-Figuren.

Bei der **Rechteckaufgabe** dominiert mit 21 von 23 Lösungen die rep4-Variante. Ein Proband skizzierte eine Lösung, welche weder der Größenkonstanz noch der Formkonstanz gerecht wird, und ein Proband skizzierte die Lösung aus Abb. 4.2. Bei der **L-Aufgabe** fanden alle Probanden eine Lösung, welche der Aufgabenstellung gerecht wird, davon waren zwei Lösungen rep4-Realisierungen. 19 Probanden skizzierten die in Abb. 3.19 dargestellte Alternative, ein weiterer Proband zeichnete vier Rechtecke mit dem Seitenverhältnis 1:4 ein.

Bei der **Aufgabe mit der Kirche als Target-Figur** wurde keine rep4-Lösung skizziert, dafür fanden 19 der 22 Probanden die oben dargestellte Alternativlösung. Zwei Lösungen entsprachen nicht der Aufgabenstellung, ein Proband gab die Bearbeitung auf.

Bei der **Trapezaufgabe** gaben elf der 20 Probanden an, keine Lösung finden zu können. Fünf Lösungen entsprachen nicht den Anforderungen, und bei einer Lösung wurde ein „Landtausch“ vorgenommen. Insgesamt drei der zwanzig Probanden fanden eine Lösung, davon folgte eine dem rep4-Prinzip.

Damit ist das Rechteck die einzige Figur, welche von der Mehrzahl der Probanden mittels rep4-Prinzip gelöst wird. Bei L-Figur und Kirche gibt es hinreichend saliente Alternativlösungen, so dass auch dort die meisten Probanden zu einer Lösung kommen. Das Trapez fällt deutlich aus dem Rahmen, da 85% der Probanden nicht zu einer angemessenen Lösung kamen.

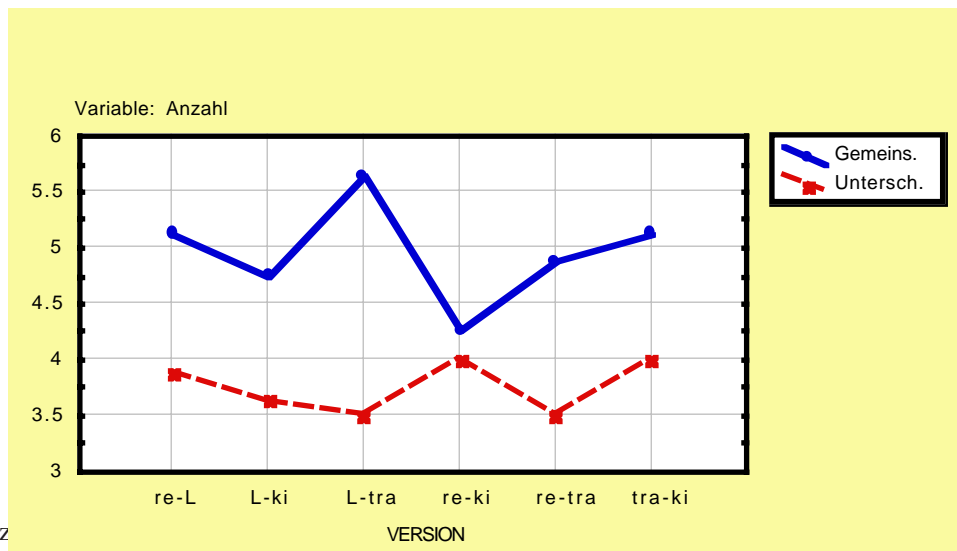
Figur	rep4-Lösungen	Alternativen	falsch	aufgegeben	N
Rechteck	21	2	1	-	24
L-Figur	2	20	-	-	22
Trapez	1	2	6	11	20
Kirche	-	19	2	1	22
	24	43	9	12	88

Tab. 4.2: Lösungen der 4 Teilaufgaben zu den Basis-Figuren (Die Anzahl der Lösungen summiert sich nicht zu 2x48=96 auf, da einige Arbeitsblätter fehlen.).

Nimmt man den Anteil an rep4-Lösungen als Indikator für die Typizität der Figur für die rep4-Struktur, so ist das Rechteck mit Abstand der typischste Vertreter. Da jedoch nicht bedeutend mehr oder weniger Probanden als in den anderen Bedingungen die rep4-Struktur als Eigenschaft der Basis-Figur notiert hatten (vgl. c), scheint sich dieser Effekt nicht auf die Abbildungen auszuwirken.

(c) *Bearbeitung der Basis-Figuren*

Die Probanden in Experiment 4 gaben durchschnittlich 5 Gemeinsamkeiten beider Basis-Figuren an und 4 Unterschiede zwischen beiden Figuren. Zwischen den Versionen gib es keine Unterschiede der Anzahl genannter Gemeinsamkeiten ($H_{(5, N=48)} = 2.34, p = .80$) bzw. Unterschiede ($H_{(5, N=48)} = 1.11, p = .95$). Bei den genannten Gemeinsamkeiten wurde von 21 der 48 Probanden u.a. die rep4-Struktur genannt. Auch hier gab es keine Unterschiede zwischen den Versionen ($\chi^2 = 2.14, p < .83$). Damit illustrieren alle Bildpaare die zugrunde liegende Lösungsstruktur gleichermaßen.



Diagr. 4.5: Anz

4.4. DISKUSSION

Bei Darbietung zweier Basis-Figuren wächst der Verarbeitungsaufwand, verglichen mit einer präsentierten Figur, an. Gleichzeitig steigt die Wahrscheinlichkeit, relevante Details der Abbildungen zu erkennen und strukturelle Aspekte von Aspekten der visuellen Oberfläche trennen zu können. Der Einfluss der visuellen Oberfläche sollte sich zunächst darin äußern, dass dem Target ähnliche Basis-Figuren, d.h. rechtwinklige rep4-Figuren, die Bearbeitung der Target-Aufgabe, verglichen mit weniger ähnlichen Figuren, in stärkerem Maße erleichtern. Das wiederum sollte sich in verkürzten Lösungszeiten und einer reduzierten Anzahl von Lösungsskizzen bei der Farmaufgabe ausdrücken. Sowohl bei den Lösungszeiten als auch der Anzahl der Lösungsskizzen wurde der erwartete Unterschied nur marginal signifikant. Außerdem gab es keinen Unterschied zwischen den sechs Figurenpaaren, keinen Unterschied zur Kontrollgruppe und zu den Probanden mit nur einer Basis-Figur.

Damit ist der Ähnlichkeitseinfluss – zumindest mit kariertem Arbeitspapier – minimal. Da jedoch

alle beobachteten Tendenzen in die erwartete Richtung gehen, kann der Einfluss nicht völlig negiert werden.

Ab Experiment 5 wird deshalb unliniertes Arbeitspapier verwendet, weil bei multiplen Analogien ein noch geringerer Einfluss der visuellen Oberfläche einzelner Figuren zu erwarten ist als bei zwei Basis-Figuren.

Außerdem gab es keinen Effekt der einzelnen Figuren eines Bildpaares, was dafür spricht, dass eine gemeinsame Repräsentation beider Basis-Figuren aufgebaut wurde. Bei den gemischten Paaren aus einer rechtwinkligen rep4-Figur und einer nicht rechtwinkligen rep4-Figur gab es ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Kontrast- bzw. Ähnlichkeitsgraden. Bei den Lösungszeiten wurden beide Ansätze tendenziell unterstützt, bei den Lösungsskizzen nur die Unterteilung nach Kontrast und auch diese nur tendenziell.

Die Lösungswege stimmen weitgehend mit denen in Experiment 3 überein. Neu ist, dass der Anteil spontaner Lösungen mit nur einer Lösungsskizze relativ hoch ist, und dass vereinzelt rechnerische Zerlegungen erkennbar sind. Ansonsten sind bei der Bearbeitung der Farmaufgabe nur Skizzen beobachtbar, welche sich den analytischen Lösungswegen zuordnen lassen.

Bei den zusätzlichen Teilungsaufgaben fällt auf, dass das Trapez als Basis-Figur aus Experiment 1 wesentlich schwerer in vier gleiche Teile zu zerlegen ist als die anderen drei Figuren. Von diesen Figuren weist das Rechteck mit Abstand den höchsten Anteil an rep4-Lösungen auf, was sich jedoch nicht bei der Beschreibung der Figur als Basis auswirkt.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen: Die visuelle Oberfläche ist in Form von Ähnlichkeitseinflüssen noch erkennbar und homogen wirksam, jedoch ist dieser Einfluss zu schwach, um zu signifikanten Ergebnissen zu führen.

5. EXPERIMENT 5: 18 ABBILDUNGEN OHNE HINWEIS

Bei der Darbietung einer Basis-Figur hatten sich deutliche Effekte der visuellen Oberfläche gezeigt, bei Präsentation zweier Basis-Figuren waren diese Einflüsse sehr gering, aber konsistent. Nun fragt sich, ob und wie semantische Aspekte bei einer großen Anzahl von dargebotenen Basis-Figuren wirksam werden. In Experiment 5 wurden maximal 18 Figuren betrachtet, bis der Proband das zugrunde liegende rep4-Prinzip erkannte. Direkt im Anschluss wurde die Farmaufgabe ohne Hinweise auf den Zusammenhang zwischen Basis-Figuren und Target-Aufgabe gelöst. Da der Einfluss der visuellen Oberfläche bei zwei Basis-Figuren relativ schwach war, wurde in den Experimenten 5 und 6 unliniertes Arbeitspapier verwendet. Damit waren diese Lösungszeiten etc. mit der Kontrollgruppe aus Experiment 2B vergleichbar. Nach Bearbeitung der Farmaufgabe wurden zwei weitere Teilungsaufgaben bearbeitet, um den Transfer zwischen den bearbeiteten Aufgaben zu erfassen. Die zweite Teilungsaufgabe hatte ein gleichschenkliges Dreieck mit einem Basiswinkel von 120° –und damit eine nicht rechtwinklige rep4-Figur– als Gesamtfigur. Diese Aufgabe ist laut Voruntersuchung ohne Vorwissen extrem schwer zu lösen. Die dritte Teilungsaufgabe verwendete ein Quadrat und damit eine rechtwinklige rep4-Figur als zu unterteilende Gesamtfigur, welche jedoch in **fünf** deckungsgleiche Teile zerlegt werden sollte. In der Voruntersuchung lösten alle Probanden diese Aufgabe in weniger als einer Minute. Damit sollte auch potenziell auftretender Negativtransfer nachweisbar sein.

Experiment 6 stimmte in Ablauf und Material vollständig mit Experiment 5 überein. Allerdings wurde mehrfach auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target hingewiesen. Damit sollte sichergestellt werden, dass expliziter Transfer stattfindet.

Als abhängige Variablen wurden Lösungszeit, Anzahl der Lösungsskizzen und verwendete Strategien für die Teilungsaufgaben erhoben. Als unabhängige Variable wurden drei Serien von Basis-Figuren variiert: rechtwinklige rep4-Figuren (Nr. 1-9 aus Abb. 3.1 auf S. 96), nicht rechtwinklige Figuren (Nr. 10-18 aus Abb. 3.1 auf S. 96) sowie ein gemischtes Set aus allen Figuren (Nr. 1-18 aus Abb. 3.1 auf S. 96).

5.1. HYPOTHESEN

Hypothese 1: *Je ähnlicher, desto hilfreicher.*

(a) Farmaufgabe

Die Bearbeitung der Farmaufgabe sollte leichter fallen, wenn zuvor eine Serie rechtwinkliger Basis-Figuren bearbeitet wurde, als wenn zuvor eine Serie nicht rechtwinkliger Figuren bearbeitet wurde. Dieser Effekt sollte sich in einer reduzierten Lösungszeit bzw. einer reduzierten Anzahl produzierter Lösungsskizzen ausdrücken.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei rechtwinkligen Basis-Serien < bei nicht rechtwinkligen Basis-Serien

(b) Zweite Target-Aufgabe

Für die zweite Teilungsaufgabe hingegen sollte die Serie nicht rechtwinkliger Figuren nützlicher sein, allerdings könnte der Transfer durch die Farm als rechtwinklige rep4-Figur blockiert sein.

Lösungszeit 2. Aufgabe:

nicht rechtwinklige Basis \leq rechtwinklige Basis

(c) Dritte Target-Aufgabe

Der Negativtransfer bei der letzten Teilungsaufgabe sollte bei rechtwinkligen Basis-Figuren am stärksten sein, wird aber vermutlich wie die zweite Aufgabe durch die vorhergehenden Aufgaben beeinflusst und daher verzerrt.

Lösungszeit 3. Aufgabe:

nicht rechtwinklige Basis \leq rechtwinklige Basis

Für gemischte Serien lassen sich laut Hypothese 4 keine spezifischen Annahmen formulieren.

5.2. METHODE

5.2.1. Versuchspersonen

Das Experiment 5 wurde im Zeitraum Mai bis Juli 1999 am Fachbereich Psychologie der Universität Hamburg durchgeführt. Es nahmen insgesamt 33 Studenten, 26 Frauen und sieben Männer einzeln für ca. 50 Minuten am Experiment teil.

Die Probanden waren zwischen 21 und 36 Jahre alt, das Durchschnittsalter betrug 24 Jahre. 24 Personen studierten Psychologie, drei Personen Linguistik, drei Pädagogik, sowie je eine Person Ethnologie, Rechtswissenschaften und Soziologie. Am häufigsten vertreten waren die Erst- und Zweitsemestler mit zehn bzw. elf Vertretern, gefolgt von drei Studenten im dritten Semester, zwei im vierten bzw. sechsten Semester. Je eine Person studierte im siebten, neunten bzw. zehnten Semester; zwei Probanden warteten zu diesem Zeitpunkt noch auf einen Studienplatz.

Alle Probanden waren deutsche Muttersprachler, ein Proband gab Spanisch als zweite Muttersprache an. Kein Proband kannte die Farmaufgabe vor dem Experiment.

5.2.2. Material

Als *Target* dienten die Farmaufgabe sowie zwei Teilungsaufgaben mit einem gleichschenkligen Dreieck (Basiswinkel 120°) und einem Quadrat mit unlinierten Arbeitsblättern. Die beiden neuen Aufgaben waren in Formulierung, Skizze und Arbeitspapier der Farmaufgabe angeglichen. Das Quadrat sollte laut Aufgabenstellung in **fünf** gleiche Teile zerlegt werden. Das Zahlwort war in dieser Aufgabe fettgedruckt.

Für die Lösungen aller drei Aufgaben gibt es eine literale Analogie unter den Basis-Figuren: In den Serien V (rechtwinklige Figuren) und VD (gemischte Serie) ist eine winkelförmige Figur dargestellt, deren Teile die gleiche Anordnung aufweisen wie die der Farmfigur (Nr. 9 aus Abb. 3.1 auf S. 96). Allerdings war diese Figur aus rechteckigen Komponenten zusammengesetzt und so abgebildet, dass die Innenecke oben links war. In den Serien D (nicht rechtwinklige Figuren) und VD wurde

ein gleichseitiges Dreieck in rep4-Unterteilung dargestellt (Nr. 17 aus Abb. 3.1 auf S. 96). In den Serien V und VD ist ein Rechteck mit dem Seitenverhältnis 1:2 mit rep4-Unterteilung dargestellt, bei dem die Teile nebeneinander angeordnet sind wie bei der 5-Teile-Lösung des Quadrats (Nr. 4 aus Abb. 3.1 auf S. 96). Da die beiden neuen Aufgaben nicht direkt auf die Präsentation der Basis-Figuren folgten, und insgesamt 18 Figuren ohne Hinweis dargeboten wurden, war die Wahrscheinlichkeit relativ gering, dass sich die Probanden an die beiden literal analogen Figuren erinnerten.

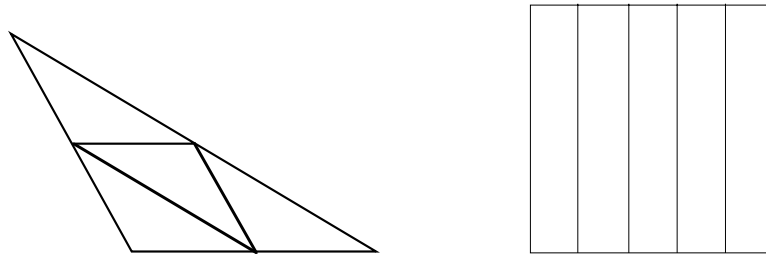


Abb. 5.1: Lösungen der zweiten und dritten Teilungsaufgabe in den Experimenten 5 und 6.

Als *Basis* dienten die in Abb. 3.1 vorgestellten 18 rep4-Figuren. Neun Figuren davon sind rechtwinklig, die anderen neun sind nicht rechtwinklig. Für die Serie rechtwinkliger bzw. nicht rechtwinkliger rep4-Figuren wurden die entsprechenden neun Figuren in zwei Durchgängen nacheinander in Zufallsreihenfolge präsentiert. Für die gemischte Serie wurden alle 18 Figuren je einmal in Zufallsreihenfolge dargeboten. Abschließend wurde eine Tafel mit den neun Figuren präsentiert; bzw. bei der gemischten Serie wurde eine Auswahl getroffen, welche fünf rechtwinklige und vier nicht rechtwinklige Figuren enthielt. Diese Tafel wurde zunächst nur mit den Figuren präsentiert, um eine letzte Möglichkeit zu geben, das rep4-Prinzip in der Übersicht zu generieren. Danach wurde die gleiche Tafel etwas verkleinert mit dem verbalisierten rep4-Prinzip präsentiert.

„Es gibt Figuren, die so in 4 form- und größengleiche (d.h. deckungsgleiche) Stücke unterteilbar sind, dass die Teile die gleiche Form haben wie die Gesamtfigur.“

Die *Instruktionen* waren an die vorangegangenen Experimente angelehnt, als letztes Arbeitsblatt wurde der *demographische Fragebogen* vorgelegt, der neben den statistischen Angaben Fragen zur Farmaufgabe enthielt.

Die Formulierung des rep4-Prinzips wurde folgendermaßen instruiert:

„Im folgenden werden Dir nacheinander verschiedene Figuren auf dem Bildschirm präsentiert. Allen Figuren liegt ein gemeinsames Prinzip zugrunde.

Deine Aufgabe besteht darin, nach möglichst wenigen Durchgängen dieses Prinzip herauszufinden.“

Ideen dazu, welches Prinzip den Figuren zugrunde liegt, sollten der Versuchsleiterin mündlich mitgeteilt werden. Diese meldete jeweils zurück, ob die genannte Eigenschaft zum Prinzip gehört

oder nicht. Wurde das Prinzip spezifisch für eine Figur formuliert, z.B. „Ich sehe ein Quadrat, das aus vier gleichen Quadraten besteht, von denen eines herausgenommen ist,“ so forderte die Versuchsleiterin zur Verallgemeinerung des Satzes für alle betrachteten Figuren auf. Wenn aus den Formulierungen nicht eindeutig hervorging, dass das Prinzip erfasst wurde, wurde ebenfalls um Neuformulierung gebeten.

5.2.3. Geräte

Das Experiment wurde computergestützt (PowerPC 7220, Farbmonitor 15 Zoll) durchgeführt. Die Versuchsteuerung sowie die Erstellung des Versuchsprotokolls inklusive Lösungszeitmessung wurden mit PsyScope 1.1 realisiert. Die Instruktionen erschienen per Tastendruck auf die rot markierte Leertaste auf dem Bildschirm. Die Formulierung des rep4-Prinzips wurde mit einem Diktiergerät (Grundig GW-R 50) festgehalten.

5.2.4. Durchführung

Der Ablauf war mit dem aus den vorangegangenen Experimenten vergleichbar. Die Instruktionen erschienen bis auf Instruktion 2 auf dem Bildschirm. Der Beginn der einzelnen Aufgaben wurde durch den Probanden selbst bestimmt, so dass die Aufgabe des Versuchsleiters sich darauf beschränkte, Fragen zu beantworten, genannte Ideen zum Basis-Prinzip rückzumelden und Arbeitsblätter zu reichen. Die zweite Instruktion zur Bearbeitung der Basis-Figuren war umfangreicher als in den bisherigen Experimenten und lag zu Beginn des Versuchs auf einem DinA4-Blatt auf der Tastatur. Ebenfalls abweichend vom bisherigen Vorgehen formulierten die Probanden das den Bildern zugrunde liegende Prinzip mündlich und teilten es dem Versuchsleiter mit, der verbal darauf reagierte und die Präsentation der Basis-Figuren nach vollständig generiertem Prinzip abbrach.

Zunächst wurde der Proband begrüßt und zum Computer begleitet. Auf dem Bildschirm war die allgemeine Einleitung zu sehen, welche unter anderem zwei Teile des Experimentes ankündigte. Die Instruktion zu den Basis-Figuren trug die Überschrift „1. Teil“. Per Tastendruck erschienen nacheinander die 18 Basis-Figuren auf dem Bildschirm, und der Proband formulierte das jeweils vermutete Prinzip. Kriterien für das vollständige rep4-Prinzip waren,

1. dass die Gesamtfigur aus vier Teilen besteht,
2. dass diese Teile untereinander gleich sind, d.h. gleich groß sind und die gleiche Form haben, und
3. dass die Teile die gleiche Form haben wie die Gesamtfigur.

Nach Darbietung der einzelnen Figuren wurde eine Übersicht mit neun Basis-Figuren in 2D-Darstellung präsentiert. Wenn das Prinzip nach weniger als achtzehn Figuren entdeckt wurde, wurden die folgenden Einzelfiguren übersprungen und wieder bei der Übersicht eingesetzt. Für den Fall, dass der Proband auch anhand dieser Tafel das Prinzip nicht generiert hätte, wäre das Experiment anschließend abgebrochen worden. Das kam allerdings weder in Experiment 5 noch in Experiment

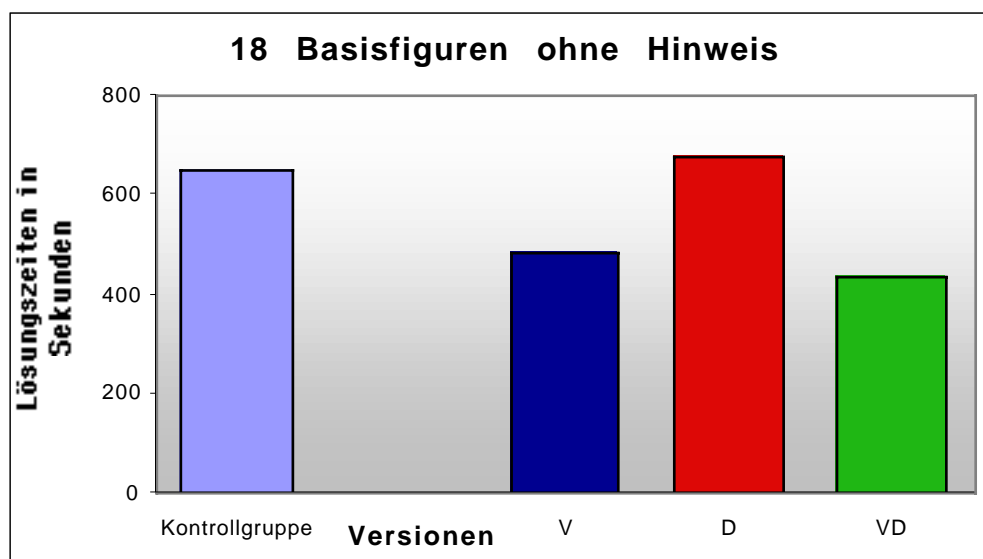
6 vor. Abschließend wurde die Übersicht noch einmal wiederholt, diesmal mit verbal formuliertem rep4-Prinzip, das vom Versuchsleiter außerdem vorgelesen wurde.

Anschließend erschien unter der Überschrift „2. Teil“ die Instruktion zu den drei Teilaufgaben auf dem Monitor. Diese Instruktion war an die bisherigen Versionen angelehnt. Auf Tastendruck erschien die Farmaufgabe auf dem Bildschirm. Gleichzeitig wurden Arbeitsblätter und Stifte zur Bearbeitung gereicht. Nach Lösung der Farmaufgabe erschien per Tastendruck die Dreiecksaufgabe auf dem Bildschirm. Gleichzeitig wurden die Lösungsblätter der Farmaufgabe entfernt und Arbeitsblätter mit den Umrissen des Dreiecks zugereicht. Anschließend wurde die Quadrataufgabe bearbeitet. Nach Abgabe der Lösungsblätter wurde auf dem Bildschirm zur Bearbeitung des demographischen Fragebogens aufgefordert. Nach dem Ausfüllen des Fragebogens wurde ein Nachgespräch geführt, in dem eventuell zusätzliche Fragen zum Fragebogen gestellt wurden und über das Ziel der Untersuchung aufgeklärt wurde.

5.3. ERGEBNISSE

(a) *Bearbeitung der Farmaufgabe*

Die *Lösungszeiten* in den drei Versuchsgruppen V, D und VD unterschieden sich weder signifikant voneinander ($F_{2,30} = 1.91, p = .17$) noch von der Kontrollgruppe aus Experiment 2B ($F_{2,30} = 1.32, p = .28$). Auch die Versionen V und D isoliert unterschieden sich nicht voneinander ($F_{2,30} = 1.71, p = .20$).

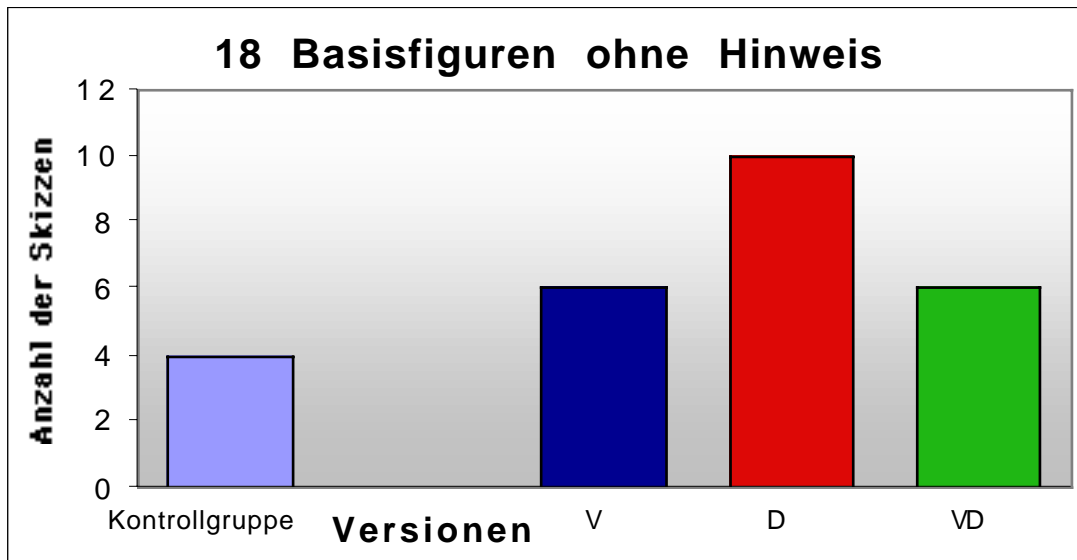


Diagr. 5.1: Lösungszeiten für die Farmaufgabe nach Bearbeitung von 18 Basis-Figuren ohne Hinweis.

Die *Anzahl der Lösungsskizzen* wich in den Gruppen voneinander ab ($H_{(3, N=43)} = 7.82, p = .049$). Dabei zeichneten die Probanden der Gruppe V durchschnittlich sechs Skizzen, in der Gruppe D zehn Skizzen, in der Gruppe VD sechs Skizzen, und in der Kontrollgruppe lag der Median bei vier Skizzen.

Der Unterschied zwischen den Versionen V und D war nicht signifikant ($H_{(1, N=22)} = 1.36, p = .24$).

In beiden Fällen zeigen die Mittelwerte eine vergleichbare, aber sehr schwache Tendenz: Die Mittelwerte der Gruppen V und VD sind kleiner als der Mittelwert der Gruppe D. Die Kontrollgruppe ist bezüglich der Lösungszeiten (648 Sekunden) mit der Gruppe D (678 Sekunden) auf dem gleichen Niveau. Bezüglich der Anzahl der Skizzen ist die Kontrollgruppe mit vier Skizzen sogar sparsamer als die Gruppen V und VD mit je sechs Skizzen.



Diagr. 5.2: Anzahl der Lösungsskizzen für die Farmaufgabe nach Bearbeitung von 18 Basis-Figuren ohne Hinweis.

Die *verwendeten Lösungswege* zeigten zum ersten Mal einen deutlichen Effekt der Basis-Figuren. Als Sonderform der Puzzle-Strategie berichteten neun der 33 Probanden, das vorher gelernte Prinzip auf die Farmaufgabe angewendet zu haben und nach Teilen gesucht zu haben, welche die gleiche Form haben wie die Gesamtfigur. Bei drei Probanden war folgende Lösungsskizze (Abb. 5.2) erstmalig zu beobachten. Die Teilfiguren sind bereits winkelförmig, haben jedoch nicht die gleichen Proportionen wie die Gesamtfigur. In der linken Skizze stimmt die Breite der Streifen überein, jedoch nicht der Flächeninhalt. Rechts weisen die Teile annähernd den gleichen Flächeninhalt auf, haben aber nicht die gleiche Breite.

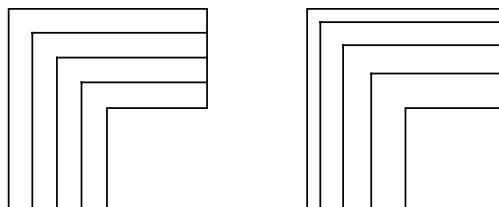


Abb. 5.2: Lösungsskizze zur Farmaufgabe (Puzzle-Strategie).

Bei 17 der 33 Probanden zeigten Verbalprotokoll oder/und Lösungsskizzen, dass sie die Aufgabe mithilfe des zuvor gelernten Prinzips gelöst haben. Damit ist die an den Lösungsskizzen ersichtliche Transferrate extrem hoch, verglichen mit Experiment 3 und 4.

Auch in den weiteren verwendeten Lösungsansätzen sind deutliche Veränderungen sichtbar. In der

Versuchsgruppe V verwendeten alle elf Probanden sowohl die Zerlegung in Dreiecke als auch die Zerlegung in Quadrate. Bei drei Probanden waren zusätzlich arithmetische Zerlegungen erkennbar, acht Probanden wendeten das rep4-Prinzip bzw. die Puzzle-Strategie an. Sieben Probanden gaben an, die Basis-Abbildungen hätten bei Bearbeitung der Farmaufgabe geholfen. Die Begründungen bezogen sich in vier Fällen auf das Prinzip, in zwei Fällen auf literale Eigenschaften und in einem Fall auf eine allgemeine Vorbereitung auf Teilungsaufgaben.

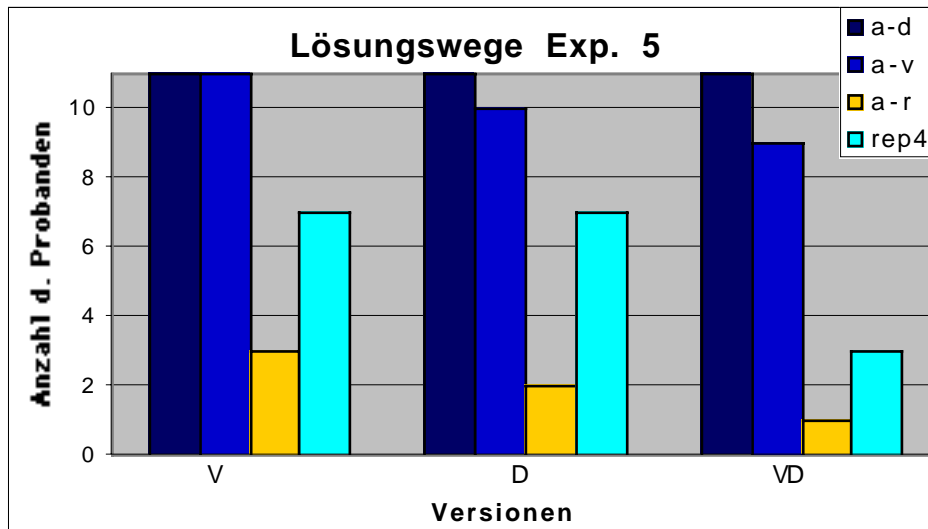
In der Versuchsgruppe D verwendeten zehn Probanden sowohl die Zerlegung in Dreiecke als auch die Zerlegung in Quadrate. Davon zeigten zwei Probanden zusätzlich arithmetische Überlegungen. Der elfte Proband zerlegte die Gesamtfigur in Dreiecke und wendete das rep4-Prinzip an. Insgesamt sieben Probanden wendeten das Prinzip an oder verwendeten die Puzzle-Strategie. In dieser Gruppe fand zum ersten Mal ein Proband mittels dreieckiger Zerlegung die Lösung mit sechs Dreiecken pro Teilfigur. Nur drei Probanden gaben an, die Basis-Figuren hätten bei der Bearbeitung geholfen. Zwei begründeten die Hilfe mit dem gelernten Prinzip, ein Proband deutete allgemeine, unspezifische Unterstützung an.

In der Gruppe VD verwendeten neun von elf Probanden sowohl die Zerlegung in Dreiecke als auch in Quadrate, ein Proband davon stellte Flächeninhaltsberechnungen an. Die beiden restlichen Probanden verwendeten die Zerlegung in Dreiecke sowie das rep4-Prinzip. Insgesamt drei Probanden glaubten, die Figuren vom Anfang hätten bei der Bearbeitung geholfen und begründeten dieses mit dem gelernten Prinzip.

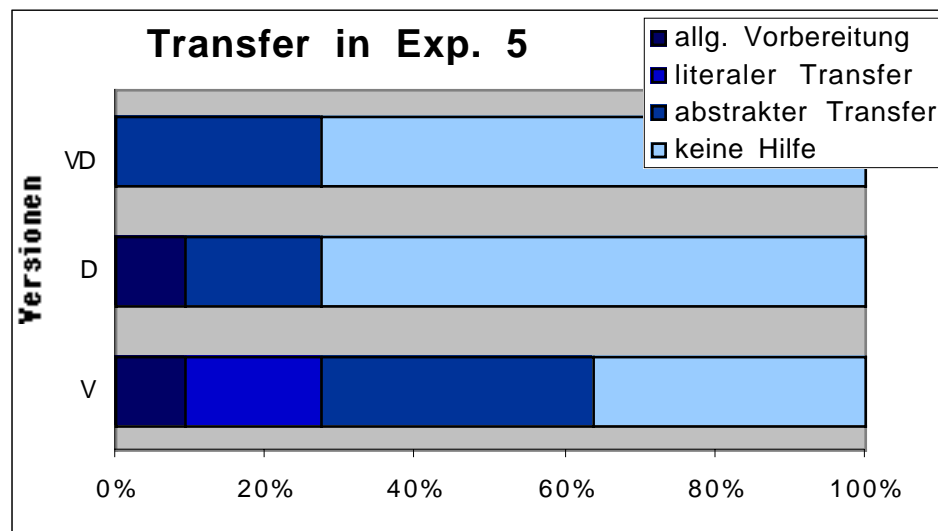
Die Präsenz der analytisch-dreieckigen Zerlegung ist mit 100% in Experiment 5 noch größer als in der Kontrollgruppe mit 70%. Neu ist der hohe Anteil beobachtbarer rep4-Anwendungen, welcher sich häufig auch in weniger akkurat gezeichneten Lösungen niederschlägt.

Mit 61% ist der Anteil der Probanden, die angaben, die Basis-Figuren hätten nicht geholfen, mit dem aus Experiment 4 (59%) vergleichbar und niedriger als in Experiment 3 mit 71%. Unter den Probanden, denen die Basis-Figuren bei Bearbeitung der Farmaufgabe halfen, waren die Verweise auf das rep4-Prinzip mit 27% höher als in Experiment 4 (14%), gleichzeitig war der Anteil unspezifischer Begründungen geringer (6% vs. 19%).

Damit ist der Anteil expliziten Transfers bei 18 Basis-Figuren ohne Hinweis genauso hoch wie bei zwei Figuren, allerdings ist der Anteil des Transfers höher. In den Versuchsgruppen D und VD stimmen die Berichte über die Nutzbarkeit der Basis-Figuren überein. Die Transferrate ist mit 27% deutlich geringer als in der Gruppe V mit 63%. Das steht im Widerspruch zu den Lösungszeiten und der Anzahl der Lösungsskizzen, wo die Gruppe V und VD tendenziell niedrigere Mittelwerte aufwies als die Gruppe D.



Diagr. 5.3: In Experiment 5 beobachtete/berichtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.

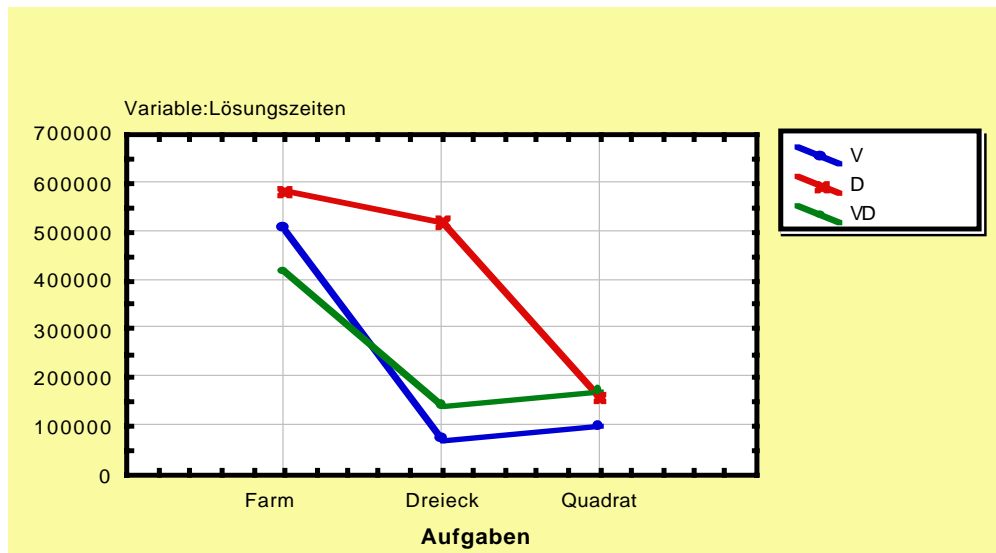


Diagr. 5.4: Angaben zur Nutzbarkeit der Basis-Figuren bei Bearbeitung der Farmaufgabe in Exp. 5.

(b) Bearbeitung der anderen Teilaufgaben

Sowohl bei der Unterteilung des Dreiecks als auch des Quadrates wurden keine zulässigen Lösungen außer den oben beschriebenen generiert. Allerdings war der Anteil der Probanden, die eine falsche oder gar keine Lösung abgaben, relativ hoch.

In der Gruppe V lösten fünf Probanden beide Aufgaben, in der Gruppe D waren es sieben Probanden und in der Gruppe VD acht Probanden. Basierend auf diesen zwanzig Probanden ergibt sich ein marginal signifikanter Effekt der drei Versionen V, D und VD über die drei Aufgaben ($F_{2;17} = 2.80$, $p = .089$) bei den **Lösungszeiten**. Der Unterschied zwischen den drei Aufgaben war signifikant ($F_{2;34} = 6.80$, $p = .003$). Hier fließt neben Transfereffekten die unterschiedliche Schwierigkeit der Aufgaben ein. Die Interaktion zwischen Versionen und Aufgaben war nicht überzufällig ($F_{4;34} = 1.05$, $p = .40$).



Diagr. 5.5: Lösungszeiten in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in Experiment 5.

Im Newman-Keuls-Test ergaben sich keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versionen bei den einzelnen Aufgaben. Der Versionseffekt basiert auf den deutlich verzögerten Lösungszeiten der Version D gegenüber den Versionen V und VD. Das bedeutet, dass die Gruppe D die optimalen Basis-Figuren nicht nutzen konnten, und dass ihr Transfer zwischen den Aufgaben minimal war, während die Probanden der Gruppen V und VD deutlich von der Farmaufgabe profitierten, was sich unter anderem im Effekt der Aufgaben äußert. Der Negativtransfer bei der Quadrataufgabe war in allen Gruppen vergleichbar. Nur drei von 33 Probanden konnten diese Aufgabe nicht lösen. Zum Vergleich: Elf von 33 Probanden lösten die Dreiecksaufgabe nicht korrekt, sieben davon lieferten eine Lösung ab, welche an eine Skizze des analytisch-dreieckigen Lösungsweges bei der Farmaufgabe erinnert:

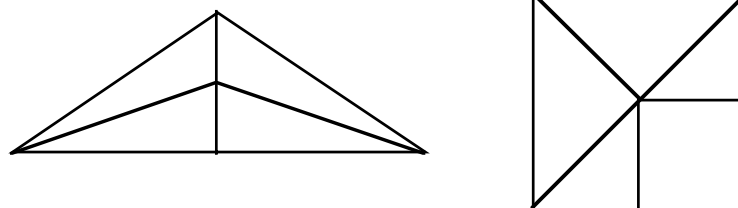


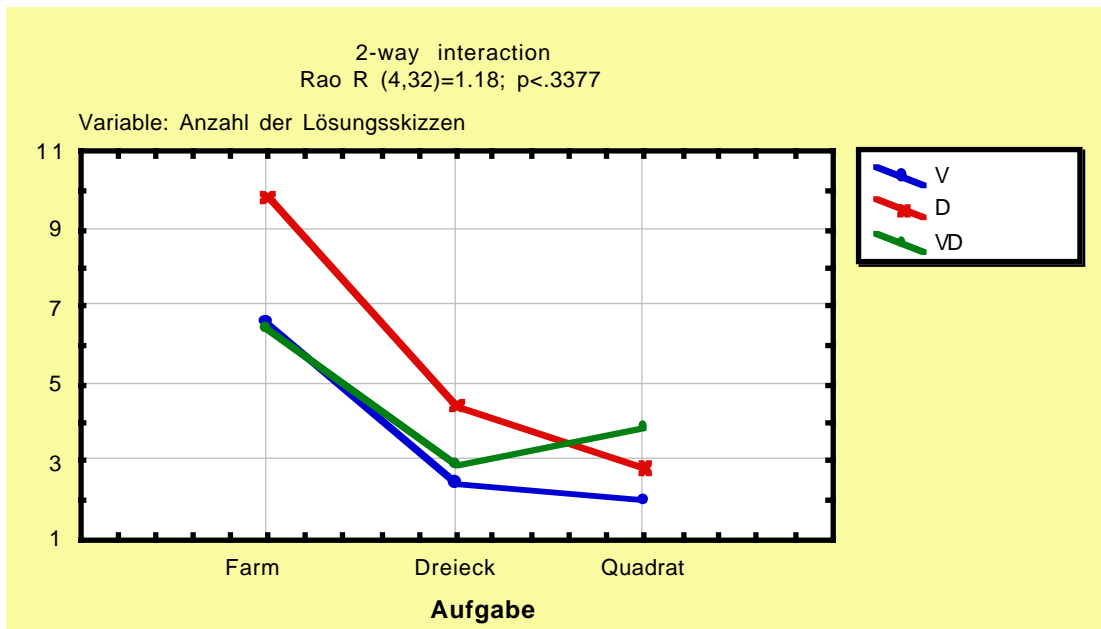
Abb. 5.3: Häufig abgegebene, aber unzulässige Lösung der Dreiecksaufgabe in Exp. 5 sowie entsprechende Skizze zur Farmaufgabe.

Ein Proband erklärte diese Lösung folgendermaßen: Die Mittelsenkrechte halbiert das Dreieck und schafft zwei gleiche, dreieckige Teile. Der Mittelpunkt dieser Strecke halbiert die Strecke und schafft damit zwei gleich lange Teilstrecken. Verbindet man diesen Punkt mit den beiden Basisecken des Ausgangsdreiecks, werden die beiden Teildreiecke halbiert. Jedes Dreieck hat dann zwei gleiche Seiten: die halbe Mittelsenkrechte sowie die Verbindung zu den Ecken. Folglich ergeben sich vier Viertel des Ausgangsdreiecks. Diese Lösung ist nicht korrekt, da die Dreiecke an der Basis rechtwinklig sind, die beiden anderen Dreiecke hingegen nicht. Damit entstehen bei dieser Lösung nicht formgleiche Dreiecke.

Auch bei der **Anzahl der Lösungsskizzen** ergibt sich ein vergleichbarer Befund: der Effekt der Aufgaben ist signifikant ($F_{2; 34} = 15.75, p = .00001$). Der Effekt der Versionen ist noch schwächer als bei den Lösungszeiten ($F_{2; 17} = 2.11, p = .15$). Die Interaktion ist nicht signifikant ($F_{4; 34} = 1.13, p = .36$).

Die Anzahl der Skizzen ist für die Farmaufgabe zwischen den Versionen (V, VD) und (D) unterschiedlich. Die Versionen bei Dreiecks- und Quadrataufgabe unterschieden sich im Newman-Keuls-Test nicht voneinander.

Die Rangvarianzanalyse erbrachte einen signifikanten Unterschied zwischen der Anzahl der Skizzen pro Aufgabe ($H_{(2, N=60)} = 23.13, p < .0000$). Die Mediane (der Rohwerte) betragen 6,5 Skizzen bei der Farmaufgabe, drei Skizzen bei der Dreiecksaufgabe sowie bei der Quadrataufgabe. Der Effekt der Versionen war nicht überzufällig ($H_{(2, N=60)} = 2.06, p = .36$), in der Version V wurden drei Skizzen angefertigt, in Version D vier Skizzen und in Version VD 3,5 Skizzen.



Diagr. 5.6: Anzahl der Lösungsskizzen in den Versionen V, D und VD für die Teilaufgaben in Exp. 5.

(c) Bearbeitung der Basis-Figuren

Im ersten Teil bearbeiteten die Probanden die Basis-Figuren mit dem Ziel, das zugrunde liegende Prinzip zu finden. Da die Zeit pro Figur durch den Probanden selbst bestimmt wurde, stehen zwei abhängige Variablen zur Einschätzung der Qualität der Bildserien zur Verfügung: die Anzahl betrachteter Abbildungen, bis das rep4-Prinzip verbalisiert wurde und die entsprechende Zeitdauer für die Betrachtung aller inspizierten Figuren.

In der Versuchsgruppe V benötigten die Probanden durchschnittlich sechs Bilder und 236 Sekunden, bis sie das Prinzip vollständig beschrieben hatten. In der Gruppe D lag der Median bei vier Figuren, welche durchschnittlich 143 Sekunden lang betrachtet wurden. In der Gruppe VD wurden durchschnittlich fünf Abbildungen 202 Sekunden lang angeschaut. 25 Probanden generierten das Prinzip mit maximal neun von 18 Figuren. Zwei Probanden erkannten das Prinzip bei der ersten

Figur, drei Probanden benötigten alle 18 Figuren dazu. Zwischen den Gruppen besteht kein Unterschied in den Betrachtungszeiten ($F_{2;29} = 1.11, p = .34$).

Auch die Anzahl benötigter Bilder unterschied sich nicht zwischen den Gruppen ($H_{(2, N=33)} = .85$). Damit waren die drei Bildserien gleich gut geeignet, das rep4-Prinzip zu illustrieren.

5.4. DISKUSSION

Wie bereits in Experiment 4 war der Einfluss der visuellen Oberfläche auf die Bearbeitung der Farmaufgabe minimal. Die Lösungszeiten unterschieden sich nicht zwischen den Versuchsgruppen. Die Anzahl der Lösungsskizzen war in den Gruppen unterschiedlich, allerdings zeichneten die Probanden der Kontrollgruppe tendenziell weniger Lösungsskizzen als die Probanden der Versuchsgruppen. Andererseits benötigten die Probanden mit den nicht rechtwinkligen Basis-Figuren die meisten Lösungsskizzen, um die Aufgabe zu bewältigen. Ein deutlicher Effekt der Versuchsgruppen war bei der zweiten Teilaufgabe zu erkennen: Die Gruppen V und VD profitierten offensichtlich von der Farmaufgabe, da sie die Dreiecksaufgabe sehr schnell und mit wenigen Skizzen bearbeiteten. Dabei hatte nur die Gruppe VD zu Beginn literal verwertbare Basis-Figuren betrachtet. Die Gruppe D war trotz passender Basis-Figuren relativ langsam, produzierte jedoch wenige Skizzen.

Bei den Strategien während der Bearbeitung der Farmaufgabe fallen zwei Trends auf: der gegenüber der Kontrollgruppe erhöhte Anteil analytisch-dreieckiger Zerlegung und die explizite Anwendung des zuvor gelernten rep4-Prinzips. In den Gruppen V und D verwendeten es 64% der Probanden, in Version VD hingegen nur 27%. Es scheint so, als ob alle Probanden zunächst die in 32 Fällen erfolglose Strategie der Zerlegung in Dreiecke angewendet haben und sich einige Probanden nach Scheitern dieser Methode auf das zuvor Gelernte zurückzogen. Interessant ist, dass diese Gruppe innerhalb der Versuchsbedingung „gemischte Bildserie“ VD wesentlich geringer war, obwohl das Prinzip in allen drei Gruppen gleich schnell und gut generiert wurde. Außerdem erwähnte kein Proband bei der abschließenden Formulierung des rep4-Prinzips explizit den Innenwinkel.

Der Effekt der visuellen Oberfläche und speziell des Innenwinkels der Basis-Figuren scheint sich daher eher qualitativ als quantitativ niederschlagen und ist am deutlichsten an der gemischten Serie VD ablesbar. Von den Reaktionszeiten her ist diese Gruppe ähnlich erfolgreich wie die literal optimal „versorgte“ Gruppe V und die Gruppe mit den weniger optimalen Figuren ist benachteiligt. Was jedoch die spontane Anwendung des abstrakten Prinzips angeht, ist die Gruppe VD den Gruppen V und D tendenziell unterlegen.

Da nur 17 der 33 Probanden das rep4-Prinzip angewendet haben, und kein Proband ausschließlich das Prinzip oder zumindest die Puzzle-Strategie angewendet hat, wird Experiment 6 prüfen, wie sich die visuelle Oberfläche bei explizitem Transfer, d.h. bei deutlichem Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target, auswirkt.

6. EXPERIMENT 6: 18 ABBILDUNGEN MIT HINWEIS

In den Experimenten 3 bis 5 war kein Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis-Figuren und Target-Aufgabe gegeben worden und mindestens schwache Effekte der visuellen Oberfläche aufgedeckt worden, in dem Sinne, dass nicht rechtwinklige Basis-Figuren für die Bearbeitung einer Teilungsaufgabe mit einer rechtwinkligen Gesamtfigur weniger hilfreich waren als rechtwinklige Basis-Figuren. Ab zwei Figuren war dieser Effekt sehr schwach. Bei achtzehn Basis-Figuren war der Effekt hauptsächlich im Transfer zwischen zu bearbeitenden Aufgaben zu erkennen. Die Gruppe mit rechtwinkligen und nicht rechtwinkligen Figuren VD nahm in Experiment 4 und 5 eine Sonderrolle ein.

Experiment 6 soll nun klären, wie sich die Rolle der visuellen Oberfläche bei explizitem Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target gestaltet. Laut Ross sollten diese Details aufgrund konservativer Abstraktion im Konzept erhalten bleiben und von daher trotz Hinweis transferrelevant sein. In verschiedenen Experimenten (z.B. Gick & Holyoak, 1980, 1983) verschwanden Semantikeffekte nach einem unspezifischen Hinweis, so dass in allen Gruppen gleich gute Performanz gezeigt wurde. Zu diesen Befunden äußert sich Ross leider nicht, vermutlich würde er aber zwischen Abruf und Anwendung differenzieren. Der Hinweis würde dann Abrufhindernisse aus dem Weg räumen, jedoch nicht die Art und Weise, wie die Objekte mit den entsprechenden Variablen verknüpft sind. Wenn die Probanden anhand des Innenwinkels unterschiedliche Teilungsstrategien wählen, z.B. für Flächeninhaltsberechnungen, sollte der Innenwinkel in Anlehnung an Ross trotz Hinweis wirksam sein.

Experiment 6 war in Hypothesen, Ablauf und verwendetem Material mit Experiment 5 identisch. Die einzige Neuerung war der mehrmalige Hinweis auf die Wirksamkeit der Basis-Figuren.

6.1. HYPOTHESEN

Die Bearbeitung der Farmaufgabe sollte, gemessen an den Lösungszeiten und der Anzahl produzierter Lösungsskizzen, leichter fallen, wenn zuvor eine Serie rechtwinkliger Basis-Figuren bearbeitet wurde, als wenn die zuvor bearbeitete Serie nicht rechtwinklige Figuren enthielt.

Lösungszeit/Anzahl der Skizzen für die Farmaufgabe:

bei rechtwinkligen Basis-Serien < bei nicht rechtwinkligen Basis-Serien

Für gemischte Serien lassen sich laut Hypothese 4 keine spezifischen Annahmen formulieren.

6.2. METHODE

6.2.1. Versuchspersonen

Das Experiment 6 wurde im Zeitraum Juli bis Dezember 1999 am Fachbereich Psychologie der Universität Hamburg durchgeführt. Es nahmen insgesamt 33 Studenten einzeln für ca. 30 bis 60 Minuten am Experiment teil.

Davon waren 26 Probanden weiblichen und sieben Probanden männlichen Geschlechts. Sie waren zwischen 19 und 45 Jahre alt, der Mittelwert lag bei 28 Jahren. 26 Probanden studierten Psychologie, zwei Philosophie, zwei Volkskunde und je ein Proband klassische Archäologie, BWL oder Germanistik. 14 Probanden studierten im ersten Semester, sechs im zweiten, vier im dritten Semester. Ein Student war im vierten und je zwei im fünften, sechsten, achten und elften Semester. Bis auf zwei Probanden gaben alle Teilnehmer Deutsch als Muttersprache an. Die russische und polnische Muttersprachlerinnen sprachen fließend deutsch und verstanden die Instruktionen ohne Probleme. Die Farmaufgabe war vor dem Versuch keinem der Probanden bekannt.

6.2.2. Material

Als **Target** wurden die Farmaufgabe, die Dreiecks- und Quadrataufgabe mit unliniertem Arbeitspapier verwendet. Als **Basis** dienten die Bildserien V, D und VD aus Experiment 5. Außerdem wurden **Instruktionen** sowie **demographischer Fragebogen** aus Experiment 5 übernommen und der Fragestellung bezüglich des expliziten Transfers angepasst:

Im Aushang zum Anwerben von Versuchspersonen wurde der Inhalt des Experimentes mit „...ein visuelles Prinzip erkennen und anschließend anwenden“ beschrieben. Außerdem wurde die allgemeine Einleitung angepasst. In Experiment 5 wurde angekündigt: „Das Experiment besteht aus mehreren Aufgaben, die Du nacheinander auf dem Bildschirm dargeboten bekommst.“ In Experiment 6 lautete es stattdessen: „Im ersten Teil sollst Du ein Prinzip erkennen, das durch 18 Bilder illustriert wird. Im zweiten Teil sollst Du dieses Prinzip anwenden.“ Die Instruktion zur Bearbeitung der Basis-Figuren war in beiden Experimenten identisch. Die Überleitung zu den Target-Aufgaben wurde geändert. In Experiment 5 begann die Instruktion mit „Vielen Dank für die Bearbeitung!/ Jetzt zu den nächsten Aufgaben:/ **Teil 2**/ Als nächstes bekommst Du 3 Teilungsaufgaben.“ Stattdessen begann diese Instruktion in Experiment 6 mit: „Vielen Dank für die Bearbeitung!/ Jetzt zu den nächsten Aufgaben:/ Als nächstes bekommst Du 3 Anwendungsbeispiele zum eben illustrierten Prinzip.“

Die restlichen Anweisungen sowie die Formulierung der Teilungsaufgaben waren in beiden Experimenten identisch. Für die Teilungsaufgabe mit dem Quadrat als Gesamtfigur war die Einleitung in Experiment 6 problematisch. Wenn die Probanden als Prinzip memorierten, dass Gesamtfigur und Teilfiguren die gleiche Form haben, war diese Aufgabe nicht lösbar. Andererseits wurde relativ schnell ersichtlich, dass die Bedingung der Formgleichheit von Teil- und Gesamtfigur nicht zur Lösung führte, und dass die Aufgabenstellung lediglich forderte, dass die Teile *untereinander* formgleich sind.

6.2.3. Geräte

Experiment 6 wurde am Computer (Power Macintosh 8200/120, 15 Zoll-Farbmonitor) durchgeführt. Versuchssteuerung und Versuchsprotokoll wurden durch PsyScope 1.1. kontrolliert. Die Verbalprotokolle zu den Basis-Figuren wurden mit einem Diktiergerät (Grundig GW-R 50) festgehalten.

6.2.4. Durchführung

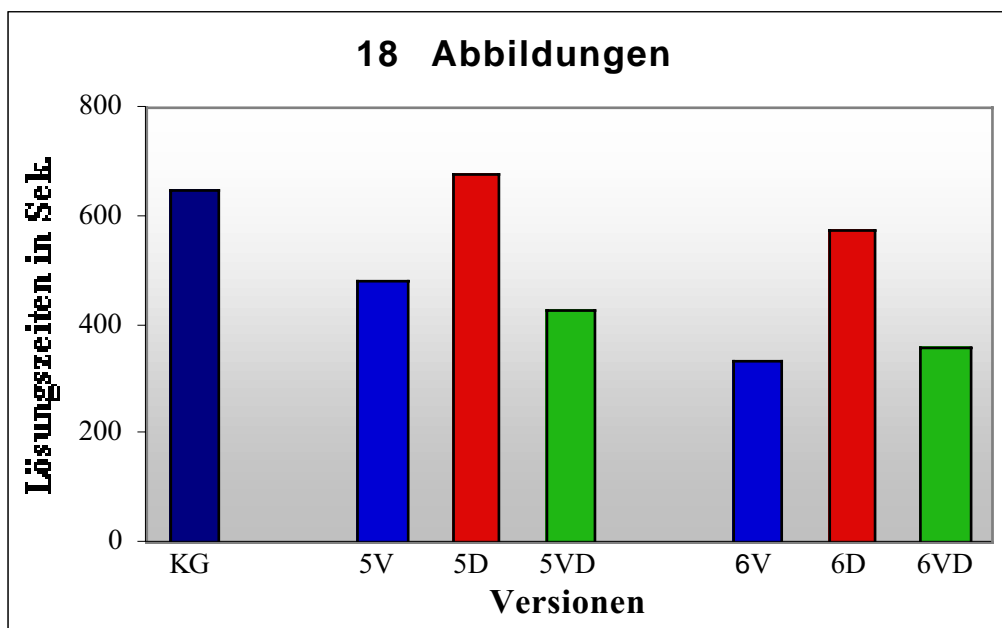
Der Ablauf war mit dem in Experiment 5 identisch.

6.3. ERGEBNISSE

(a) Bearbeitung der Farmaufgabe

Die durchschnittliche *Lösungszeit* für die Farmaufgabe betrug in Gruppe V 336 Sekunden, in Gruppe D 572 Sekunden und in Gruppe VD 360 Sekunden. Damit zeigen die Mittelwerte die gleiche Tendenz wie in Experiment 5 ohne Hinweis und sind jeweils tendenziell etwas kleiner als die entsprechende Version des Experiments 5. Innerhalb von Experiment 6 ist weder der Unterschied zwischen V und D ($F_{1,30} = 2.45, p = .13$) noch zwischen V, D und VD signifikant ($F_{2,30} = 1.48, p = .24$). Für beide Experimente zusammen (5 und 6) ergibt sich ein Effekt der Versionen ($F_{2,60} = 3.26, p = .045$), aber kein Effekt des Hinweisreizes ($F_{1,60} = 1.74, p = .19$). Es gab auch keine Interaktion zwischen beiden Faktoren ($F_{1,30} = .08$), was darauf hindeutet, dass der Hinweisreiz –zumindest auf die Lösungszeit der Farmaufgabe– einen minimalen Einfluss hatte und keinen Ausgleich zwischen zuvor erfolgreichen und weniger erfolgreichen Gruppen bewirkt hat. Da jedoch auch der Unterschied zwischen den Versionen jeweils in Experiment 5 bzw. 6 nicht signifikant wurde, ist dieses Ergebnis mit Vorsicht zu interpretieren.

Im Newman-Keuls-Test unterschieden sich die Lösungszeiten in den Bedingungen V und D signifikant voneinander ($p = .037$) sowie in D und VD marginal signifikant voneinander ($p = .067$). In den Versionen V und VD waren die Lösungszeiten für die Farmaufgabe gleich ($p = .89$). Unter Berücksichtigung der Kontrollgruppe gibt es keinen Unterschied zwischen den Experimenten ($F_{2,73} = 1.78, p = .18$). Die Mittelwerte betragen 648 Sekunden in der Kontrollgruppe, 531 Sekunden ohne und 423 Sekunden mit Hinweis.



Diagr. 6.1: Lösungszeiten für die Farmaufgabe nach Bearbeitung von 18 Basis-Figuren (Kontrollgruppe, ohne bzw. mit Hinweis).

Die Probanden zeichneten in der Version V durchschnittlich vier Skizzen, in der Version D fünf und in VD vier Skizzen (zum Vergleich die Mediane aus Experiment 5: sechs, zehn und sechs Skizzen), während die Probanden der Kontrollgruppe vier Skizzen benötigten, um die Lösung zu finden. Damit zeichnet sich für die *Anzahl der Lösungsskizzen* in den Experimente 5 und 6 die gleiche Tendenz ab wie für die Lösungszeiten: Die Werte sind mit Hinweis etwas geringer als ohne Hinweis, dieser Effekt ist marginal signifikant ($H_{(1, N=66)} = 3.23, p = .07$). Bezieht man die Kontrollgruppe mit ein, so ist dieser Effekt sogar signifikant ($H_{(2, N=76)} = 6.26, p = .04$). Der Unterschied zwischen der mittleren Anzahl der Lösungsskizzen in den Gruppen V und D des Experiments 6 ist nicht signifikant ($H_{(1, N=22)} = 1.05, p = .31$). Das gleiche gilt für die drei Versionen V, D und VD ($H_{(2, N=33)} = 1.54, p = .46$), welche sich außerdem nicht von der Kontrollgruppe unterschieden ($H_{(3, N=43)} = 1.70, p = .64$). Im Gegensatz zu den Lösungszeiten ist der Unterschied zwischen den Versionen für beide Experimente 5 und 6 zusammen nicht überzufällig ($H_{(2, N=66)} = 3.20, p = .20$).

16 der 33 Probanden fanden die Lösung der Farmaufgabe auf nur einem *Lösungsweg*, davon wendeten 15 Probanden ausschließlich das zuvor gelernte rep4-Prinzip an. Sieben Probanden verwendeten zwei Ansätze, sieben Probanden drei und drei Probanden vier Lösungswege, wobei die analytischen Zerlegungen als jeweils separate Strategie gewertet wurden.

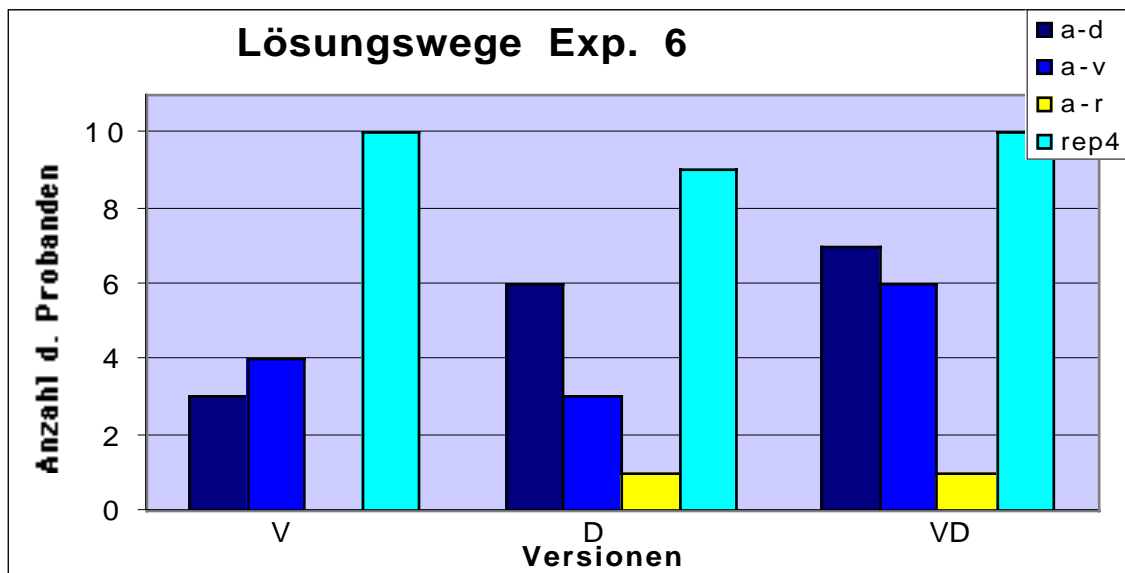
Insgesamt 29 Probanden wendeten in Protokollen und/oder Skizzen erkennbar das rep4-Prinzip als Sonderform der Puzzle-Strategie an. Dabei war das unlinierte Arbeitspapier von Vorteil, da viele Lösungen dieser Strategie in weniger exakten Skizzen illustriert werden als bei der analytischen Zerlegung. Offenbar spielten dabei die Komponenten der Gesamtfigur eine untergeordnete Rolle. Außerdem ist bei acht Probanden im Rahmen der rep4-Anwendung ein Repräsentationswechsel zwischen Teil- und Gesamtfigur bzw. ein Strategiewechsel zwischen deduktiver Zerlegung der Gesamtfigur in Teile und dem induktiven Zusammensetzen der Gesamtfigur aus Teilen zu beobachten. Das bedeutet, dass die abgebildeten Umrisse der Farmfigur entweder als Gesamtfigur oder als Teilfigur interpretiert und als externer Arbeitsspeicher genutzt wurden. Dass die Interpretation als Teilfigur nicht irrtümlich gewählt wurde, zeigt sich darin, dass die abschließende Lösung der Farmaufgabe in den Umriss als Gesamtfigur eingezeichnet wurde. Ein Proband zeigte diesen Repräsentationswechsel ausschließlich bei der Farmaufgabe, drei Probanden zeigten ihn auch bei der Dreiecksaufgabe und vier Probanden zeigten ihn ausschließlich bei der Dreiecksaufgabe, was sich auf ein vertieftes Verständnis des rep4-Prinzips und Transfer zwischen den Aufgaben zurückführen lässt.

16 Probanden zerlegten die Farmfigur in Dreiecke, 13 Probanden zerlegten sie in Quadrate. Davon nutzten elf Probanden beide Formen der Zerlegung. Insgesamt zwei Probanden berechneten zusätzlich zur Zerlegung in Quadrate und Dreiecke den Flächeninhalt der Figur(en).

Am auffälligsten ist der hohe Anteil von Probanden, welche das rep4-Prinzip als Sonderform der Puzzle-Strategie anwendeten, der in allen drei Gruppen vergleichbar ist: in Version V und VD je zehn und in Version D neun von elf Probanden. Dagegen sind die analytischen Zerlegungen relativ selten vertreten: In Version V sind sie bei vier Probanden zu beobachten, in Version D bei 6 Probanden

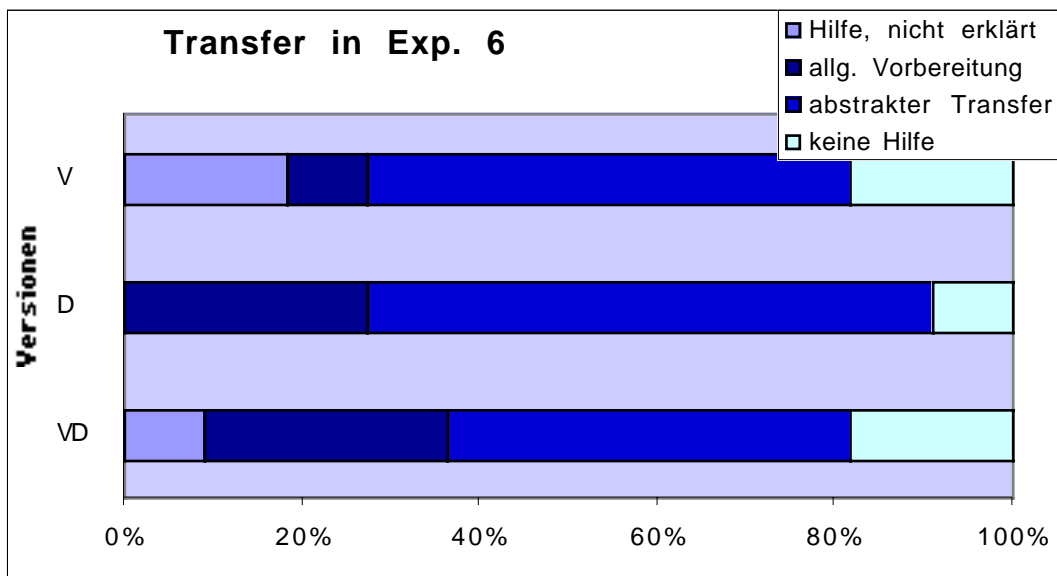
und in Version VD bei acht Probanden. In beiden Tendenzen unterscheiden sich die Probanden mit explizitem Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target (Experiment 6) deutlich von den Probanden ohne Hinweis (Experiment 5).

Während in Experiment 5 noch 20 von 33 Probanden behaupteten, die Basis-Figuren aus dem ersten Teilen hätten nicht bei der Bearbeitung der Farmaufgabe geholfen, gaben in Experiment 6 nur noch fünf Probanden an, die Aufgabe ohne Unterstützung durch die Figuren gelöst zu haben. Das deckt sich in etwa mit der Auswertung der Lösungsskizzen und Protokolle, wo bei 29 der 33 Probanden das rep4-Prinzip erkennbar war. Eine Person, bei der das rep4-Prinzip erkennbar war, die aber behauptete, die Bilder hätten nicht geholfen, hatte offenbar die Repräsentation des gelernten Prinzips von den Repräsentationen der illustrierenden Figuren getrennt. Insgesamt scheint der Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target wirksam gewesen zu sein.



Diagr. 6.2: In Experiment 6 beobachtete/berichtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.

Unter den Probanden, welche die Figuren als hilfreich eingestuft hatten, beschrieben 64,3 % abstrakten Transfer des rep4-Prinzips (zum Vergleich: 27 % in Experiment 5). 25 % der Probanden beschrieben eine allgemeine Vorbereitung auf Teilungsaufgaben durch die Figuren (in Experiment 5 waren das 15,4 %). 10,7 % der Probanden gaben keine Begründung ab, kein Proband beschrieb literalen Transfer (in Experiment 5 null bzw. 15,4 Prozent). Damit stimmen die Angaben zur Hilfe durch die Basis-Figuren nur in Bezug auf abstrakten Transfer überein. Insgesamt war die Transferrate in Experiment 6 wesentlich höher als in Experiment 5 und der literale Transfer wurde teilweise zugunsten allgemeiner Vorbereitung aufgegeben.



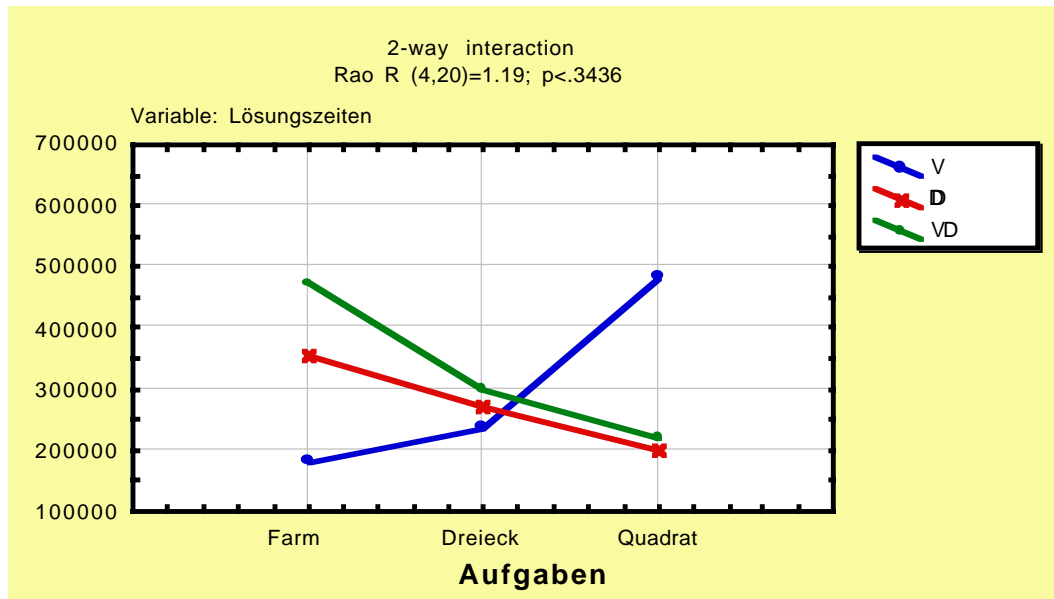
Diagr. 6.3: Angaben zur Nutzbarkeit der Basis-Figuren bei Bearbeitung der Farmaufgabe in Experiment 6.

(b) Bearbeitung der anderen Teilaufgaben

Wie bereits in Experiment 5 war der Anteil falscher oder fehlender Lösungen bei der Dreiecks- und Quadrataufgabe hoch: Insgesamt elf von 33 Probanden lösten die Dreiecksaufgabe nicht korrekt (fünf Probanden in Gruppe V sowie je drei Probanden in D und VD) und 14 von 33 Probanden fanden die Lösung zur Quadrataufgabe nicht (sechs Probanden in V sowie je vier Probanden in D und VD). Insgesamt sechs Probanden (drei in V und drei in VD) lösten beide Aufgaben nicht.

Es bleiben also nur vierzehn der 33 Probanden, die alle drei Teilaufgaben korrekt gelöst haben: drei in V, vier in D sowie sieben Personen in VD (in Experiment 5 erfüllten dieses Kriterium insgesamt zwanzig Probanden).

Innerhalb der Probanden aus Experiment 6 gibt es weder einen Effekt der Versionen ($F_{2,11} = .16$) noch einen Unterschied zwischen den Aufgaben bezüglich der *Lösungszeiten* ($F_{2,22} = .21$). Auch die Interaktion zwischen beiden Faktoren war nicht signifikant ($F_{4,22} = 1.21, p = .34$). Auffällig ist, dass die Lösungszeiten für die Quadrataufgabe in Version V tendenziell erhöht sind, während die Versionen D und VD nicht einmal in der Tendenz einen Negativtransfer zeigen. Das passt zu der Anzahl von falschen Lösungen für diese Aufgabe, welche mit sechs Personen in V höher ist als in D bzw. VD mit vier Probanden.



Diagr 6.4: Lösungszeiten in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in Experiment 6.

Die mittleren Lösungszeiten für die drei Teilaufgaben in den Experimenten 5 und 6 liegen für die Farmaufgabe bei 336 Sekunden mit Hinweis und bei 506 Sekunden ohne Hinweis. Die Lösungszeiten für die Dreiecksaufgabe sind annähernd gleich: 246 Sekunden ohne und 267 Sekunden mit Hinweis. Die Lösungszeiten für die Quadrataufgabe sind nach Hinweis länger (300 Sekunden) als ohne Hinweis (143 Sekunden). Ohne Berücksichtigung der Versionen ergeben sich weder ein Effekt des Hinweises auf die Lösungszeiten ($F_{1,33} = .02$) noch eine Interaktion zwischen Aufgabe und Hinweis ($F_{2,66} = 1.53$, $p = .22$). Auch von den entsprechenden post hoc-Vergleichen wurde weder der Unterschied für die Farmaufgabe noch für die Quadrataufgabe signifikant. Damit wird weder der positive Transfer durch den Hinweis in den Lösungszeiten beschleunigt noch der negative Transfer verlangsamt, obwohl die Mittelwerte tendenziell in diese Richtung zeigten. Allerdings ist die Anzahl der Probanden in der Gesamtstichprobe mit 35 relativ gering. Der Unterschied zwischen den Aufgaben ist hingegen signifikant ($F_{2,66} = 5.71$, $p = .005$), wobei Dreiecks- und Quadrataufgabe mit 262 bzw. 208 Sekunden schneller gelöst werden als die Farmaufgabe mit 439 Sekunden.

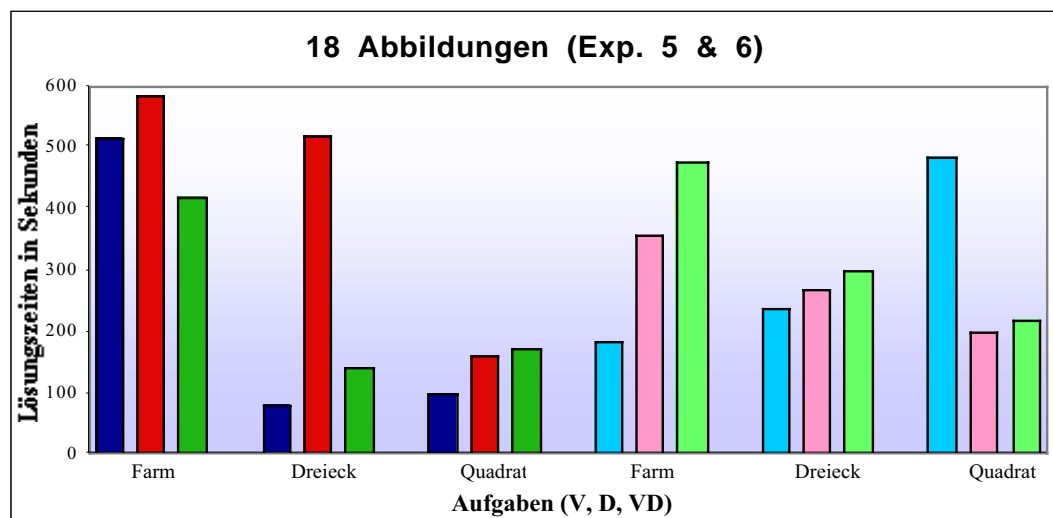
Ähnliche Befunde erhält man unter Berücksichtigung der Versionen in beiden Experimenten für alle drei Aufgaben: Es gibt keinen Effekt des Hinweisreizes ($F_{1,29} = .002$), keinen Effekt der Versionen ($F_{2,29} = .68$), aber noch immer einen Unterschied zwischen den Aufgaben ($F_{2,58} = 4.17$, $p = .02$). Keine der Interaktionen ist signifikant.

Da die Anzahl der Probanden pro Zelle sehr unterschiedlich war, wurde der Effekt des Hinweisreizes auf die einzelnen Versionen separat betrachtet, um möglichst wenige Werte zu verlieren. Für die Version V ergibt sich weder ein Effekt des Hinweises noch der Aufgaben, aber eine Interaktion von $F_{2,14} = 5.84$ ($p = .014$), welche in der folgenden Graphik anhand der blauen Balken nachvollziehbar ist. Ohne Hinweis gibt es einen deutlichen positiven Transfer von der Farmaufgabe zur Dreiecksaufgabe und keine Veränderung vom Dreieck zum Quadrat. Mit Hinweis gibt es einen minimalen Unterschied zwischen Farm und Dreieck, aber einen massiven Negativtransfer zum Quadrat hin. Für die Version D (in der Graphik rot gekennzeichnet) und die Version VD (in der

Graphik grün) ist der Verlauf mit bzw. ohne Hinweis in der Tendenz gleich und maximal in der numerischen Differenz unterschiedlich. In beiden Fällen sinkt die Bearbeitungszeit tendenziell von Aufgabe zu Aufgabe.

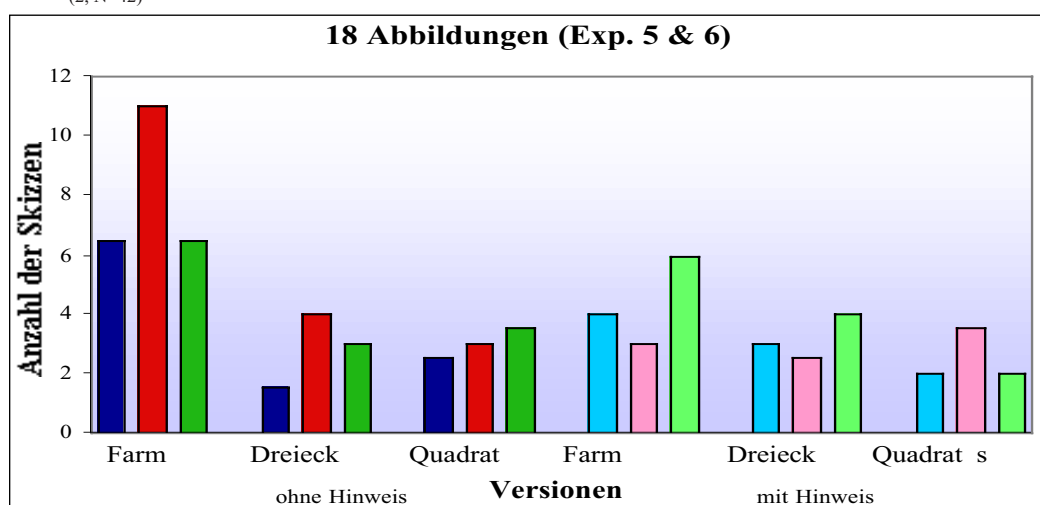
Für die Version D wurde kein Effekt signifikant, selbst der Unterschied zwischen den Aufgaben nicht. Für VD war der Unterschied zwischen den Aufgaben in Übereinstimmung mit der Gesamtvarianzanalyse überzufällig ($F_{2,26} = 7.37, p = .003$).

Damit ergibt sich in keiner Analyse ein eindeutiger Beleg für die Wirksamkeit des Hinweisreizes für die drei Teilaufgaben in den Bedingungen V, D und VD, aber hin und wieder ein Unterschied zwischen den drei Aufgaben, was für einen Transfer zwischen den Aufgaben spricht.



Diagr. 6.5: Lösungszeiten in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in den Exp. 5 und 6.

Die **Anzahl der Lösungsskizzen** ist innerhalb Experiment 6 einheitlich gering. Die Mediane liegen zwischen zwei und sechs Skizzen pro Aufgabe, während die Mediane sich in Experiment 5 noch zwischen zwei und elf Skizzen bewegte. Entsprechend ist innerhalb von Experiment 6 weder der Einfluss der unterschiedlichen Bildfolgen ($H_{(2, N=42)} = .37$) noch der Unterschied zwischen den drei Aufgaben ($H_{(2, N=42)} = 1.76, p = .42$) statistisch bedeutsam.



Diagr. 6.6: Anzahl der Lösungsskizzen in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in den Experimenten 5 und 6.

Es lassen sich außerdem kein Effekt des Hinweisreizes ($H_{(1, N=105)} = .28$) bzw. der Versionen über beide Experimente ($H_{(2, N=105)} = 1.20, p = .55$) nachweisen. Allerdings wird der Unterschied zwischen den Aufgaben über beide Experimente signifikant ($H_{(2, N=105)} = 20.68, p < .00001$). Da dieser Effekt innerhalb von Experiment 6 nicht überzufällig wurde, lässt er sich wohl auf die große Ersparnis in Version D des Experiments 5, gepaart mit einer minimalen Ersparnis in den restlichen Versionen, zurückführen.

Um potentiell vorhandene Interaktionen zwischen den Faktoren Hinweisreiz, Versionen und Aufgaben aufzudecken, wurde auf der Anzahl der Lösungsskizzen pro Aufgabe die Varianzanalyse für die Lösungszeiten wiederholt. Auch dabei ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für die Aufgaben, aber kein Effekt für Hinweis und Version. Als einzige Interaktion wurde die Kombination zwischen Hinweis und Aufgabe überzufällig ($F_{2, 58} = 4.22, p = .019$). Sowohl bei den arithmetischen Mitteln als auch den Medianen ist erkennbar, dass die Anzahl der Lösungsskizzen in allen Versionen in Experiment 5 stärker von Aufgabe zu Aufgabe fällt als in Experiment 6. In Experiment 5 liegt die Ersparnis für die Dreiecksaufgaben zwischen 3.5 und sieben Skizzen (in arithmetischen Mitteln 3.5 bis 5.5), in Experiment 6 hingegen schwankt die Differenz zwischen Farm und Dreieck zwischen 0.5 und zwei Skizzen (1.3 Skizzen Ersparnis bis 2.5 Skizzen zusätzlich). Dreiecks- und Quadrataufgabe sind in beiden Experimenten vergleichbar: Eine Skizze weniger bis eine Skizze zusätzlich sind ohne Hinweis zu beobachten. Mit Hinweis werden schwankt die Differenz zwischen zwei Skizzen Ersparnis und einer zusätzlichen Skizze. Das bedeutet, dass der Hinweis hinreichend wirksam war, dass bereits bei der Farmaufgabe relativ wenige Skizzen produziert wurden, entsprechend geringer ist die Ersparnis von Aufgabe zu Aufgabe durch Transfer zwischen den Aufgaben.

(c) Bearbeitung der Basis-Figuren

Da abgesehen von dem Hinweis auf die Beziehung zwischen Basis-Figuren und Target-Aufgaben das verwendete Material mit Experiment 5 übereinstimmte, sollten auch in Experiment 6 alle drei Serien gleich gut geeignet sein, das rep4-Prinzip zu illustrieren. Die Güte der Figuren als Veranschaulichung des rep4-Prinzips wurde wie in Experiment 5 anhand der Anzahl betrachteter Figuren und der dazu benötigten Gesamtzeit gemessen.

Die Probanden in Experiment 6 betrachteten zwischen einer und achtzehn Figuren, bis sie das zugrunde liegende rep4-Prinzip vollständig formulierten. Insgesamt drei Probanden benötigten nur eine Figur und vier Probanden betrachteten alle achtzehn Figuren. Der Median lag wie in Experiment 5 bei fünf Abbildungen. 23 Probanden brauchten maximal neun Figuren dazu.

In allen Versionen sind sowohl Vertreter mit nur einer Abbildung als auch 18 Figuren vertreten. Die Mediane liegen bei vier Figuren in V und D bzw. neun Figuren in VD. Der entsprechende H-Test ist nicht signifikant ($H_{(2, N=33)} = .86$). Es gab außerdem keinen Unterschied zwischen den in den Experiment 5 und 6 benötigten Abbildungen ($H_{(1, N=66)} = .06$) sowie zwischen den Versionen für alle Probanden beider Experimente ($H_{(2, N=66)} = .68$).

Die Mittelwerte der für die Basis-Figuren benötigte Zeit liegen bei 165 Sekunden in Version V, 171 Sekunden in Version D und 203 Sekunden in Version VD (zum Vergleich die Werte aus Experiment 5: 236 Sekunden, 143 Sekunden sowie 202 Sekunden). Das Minimum lag bei 25 Sekunden bei einer Person in Version V und das Maximum bei 485 Sekunden bei einem Probanden in Version VD. Für die benötigte Zeit, um das Prinzip zu erkennen, ergab sich weder einen Effekt des Hinweisreizes ($F_{1,59} = .19$) noch der Versionen ($F_{2,59} = .89$). Auch die Interaktion war nicht überzufällig ($F_{2,59} = .88$).

Damit waren alle Bildfolgen gleichermaßen geeignet, das rep4-Prinzip zu illustrieren.

6.4. DISKUSSION

Der Einfluss des Innenwinkels der Basis-Figuren auf die Bewältigung der Farmaufgabe als Target ließ sich nach Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target weder bei den Lösungszeiten noch bei der Anzahl der Lösungsskizzen nachweisen. Aber es gab für beide Variablen die Tendenz, dass rechtwinklige Figuren effektiver für die Bearbeitung der Farmaufgabe sind als nicht rechtwinklige Figuren. Die gemischte Bildserie war so effektiv wie die Serie rechtwinkliger Figuren.

Bezieht man Experiment 5 mit ein, so ergibt sich für die Lösungszeiten der Gesamtstichprobe ein Effekt des Innenwinkels. Die Mittelwerte sind wie in Experiment 6 verteilt: $V = VD < D$. Für die Anzahl der Lösungsskizzen lässt sich dieser Effekt nicht nachweisen. Für beide Variablen lässt sich kein Effekt des Hinweises auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target erkennen. Auch eine Interaktion zwischen Hinweis und Version ist nicht zu beobachten.

Dass der Hinweis dennoch wirksam war, zeigt sich an den verwendeten Strategien und an der bezeugten Hilfestellung durch die Figuren: Der Anteil analytischer Zerlegungen ging im Vergleich zu Experiment 5 zurück, gleichzeitig wendeten fast alle Probanden das zuvor gelernte rep4-Prinzip an. Gleichzeitig verdoppelte sich der Anteil der Probanden, die angaben, die Basis-Figuren hätte ihnen bei der Bearbeitung der Farmaufgabe geholfen. Innerhalb dieser Gruppe lag der abstrakte Transfer mit ca. 2/3 der Stimmen wie in Experiment 5 an erster Stelle. In beiden Experimenten steht der Anteil von Begründungen in Richtung allgemeiner Vorbereitung an zweiter Stelle. In Experiment 6 gab kein Proband an, literal Figuren aufeinander abgebildet zu haben, während das in Experiment 5 bei 15% der Probanden, welche die Basis-Figuren benutzt hatten, der Fall war.

Der Hinweis scheint damit den expliziten Transfer zu fördern. Innerhalb des expliziten Transfers wird jedoch das Verhältnis der Transferebenen nicht bzw. minimal verändert. Gleichzeitig ist eine Verschiebung der Lösungsstrategien von der analytischen Zerlegung hin zu Anwendung des abstrakten geometrischen Prinzips zu beobachten, der sich allerdings nicht in verkürzten Lösungszeiten oder in einer reduzierten Anzahl von Lösungsskizzen ausdrückt. Die Veränderung durch den Hinweis scheint daher eher qualitativer als quantitativer Natur zu sein.

Bei der zweiten und dritten Teilaufgabe wurden leider sehr viele falsche Lösungen produziert, so dass nur 14 Probanden aus Experiment 6 und 21 Probanden aus Experiment 5 in die Auswertung eingingen, die alle drei Aufgaben korrekt bearbeitet hatten.

Innerhalb des Experiments 6 gab es weder Unterschiede zwischen den Versionen noch zwischen den drei Aufgaben in Bezug auf Lösungszeiten und die Anzahl der Lösungsskizzen. Auch bei Einbeziehung der Probanden aus Experiment 5 ergibt sich lediglich ein Unterschied in der Lösungszeit zwischen den Aufgaben und bei der Anzahl der Skizzen außerdem eine Interaktion zwischen Hinweis und Aufgaben. Effekte der Versionen sind –falls überhaupt vorhanden– zu schwach, um nachgewiesen zu werden. Auch der Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target ist zu schwach, um quantitativ messbar zu sein.

GESAMTDISKUSSION

III. GESAMTDISKUSSION

Aus den Daten der vier vorliegenden Experimente ergibt sich anhand dreier Quellen, nämlich den Lösungszeiten, den produzierten Lösungsskizzen, d.h. deren Anzahl und Inhalt, sowie den nachträglichen Lautes-Denken-Protokollen, ein konsistentes und homogenes Bild analogen Schließens. Der Effekt der visuellen Oberfläche als Teil semantischer Aspekte war bei allen Formen analogen Schließens, d.h. nach einer, zwei oder achtzehn Basisfiguren mit bzw. ohne Hinweis, sowohl in den Lösungszeiten als auch in der Anzahl der Skizzen mindestens tendenziell beobachtbar: Bei einfachen Analogien war der Einfluss am deutlichsten, bei zwei Basisfiguren nur noch marginal signifikant nachweisbar, bei achtzehn Figuren war er erst über 66 Probanden signifikant. Damit sind mindestens einige Aspekte der visuellen Oberfläche *zusätzlich zur relationalen Lösungsstruktur* wirksam, und zwar die Aspekte, welche sich auch für die Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteile als relevante Dimensionen erwiesen hatten.

Aber der Effekt der visuellen Oberfläche war relativ schwach, und auch der Nutzen der Figuren insgesamt war im Vergleich zur Kontrollgruppe eher gering. Im Vergleich dazu war das Aufgabenmaterial zur Target-Aufgabe in Experiment 2 der Pilotstudie sehr wirksam. Der Einsatz von karierten bzw. unlinierten Arbeitsblättern bewirkte sowohl deutlich unterschiedliche Lösungszeiten und Anzahlen produzierter Lösungsskizzen als auch verschiedene gewählte Lösungsstrategien. Im Gegensatz dazu äußerte sich der Gewinn durch die Basisfiguren nicht in reduzierten Lösungszeiten oder veränderten Lösungsstrategien, sondern darin, wie beharrlich die einzelnen Lösungsansätze verfolgt wurden. Das könnte daran liegen, dass die präsentierten Figuren nur einen von drei benötigten Hinweisen auf die Lösung gaben: Sie illustrierten zwar die Form der gesuchten Teilfiguren, aber weder die Anordnung der Teile innerhalb der Gesamtfigur noch die prozeduralen Aspekte des Lösungsweges. Vermutlich wäre der Effekt der visuellen Oberfläche bei wirksameren Figuren höher. Insgesamt ist erstaunlich, dass der Oberflächeneffekt *trotz geringem globalem Nutzen* bei allen Formen des Transfers beobachtbar war. Das bedeutet, dass Einflüsse der visuellen Oberfläche bei der Aufgabenkonstruktion unbedingt berücksichtigt werden sollten. Außerdem ist die visuelle Oberfläche über die Selektionsphase hinaus wirksam, da der Effekt auch nach explizitem Hinweis nicht verschwand und es keine Unterschiede im Bemerkten der Analogie zwischen den Gruppen gab. Nach wie vor bleibt allerdings unklar, *wie* die visuelle Oberfläche analoges Schließen beeinflusst. Das vorliegende Datenmuster gibt einige Anhaltspunkte:

Der deutlichste Strategiewechsel für die Target-Aufgabe ist zwischen achtzehn Basisfiguren ohne Hinweis und achtzehn Figuren mit Hinweis zu verzeichnen. Während das rep4-Prinzip nach einer Basisfigur laut Protokoll von keinem der 24 Probanden genutzt wurde, um die Farmfigur zu unterteilen, machten nach zwei Basisfiguren erstmalig Probanden davon Gebrauch. Nach 18 Figuren ohne Hinweis wendeten es bereits 17 von 33 Probanden neben anderen Strategien an. Nach 18 Basisfiguren und einem expliziten Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Basis und Target

setzten 15 von 33 Probanden ausschließlich das rep4-Prinzip ein, weitere 14 Probanden verwendeten es neben anderen Strategien – und das, obwohl nur einer von drei lösungsnotwendigen Aspekten illustriert wurde. Das bedeutet, dass die Figuren in den meisten Fällen *nicht* zu einem Target-Lösungsweg führten, der zur Basis analog ist.

Erstaunlich ist, dass selbst die Probanden der letzten Gruppe selten „Struktur-Mapping“ im Sinne Gentners beschrieben. Nach Holyoak und Thagard (1995) könnte das daran liegen, dass analoges Denken einen impliziten Prozess auf expliziten Repräsentationen beinhaltet. Das erklärt jedoch nicht, warum einige Probanden den analogen Lösungsweg wählten und die anderen nicht. Auch die Differenzierung zwischen implizitem und explizitem Transfer ist dafür wenig hilfreich.

Formen des Transfers

Die Definition von explizitem und implizitem Transfer in Anlehnung an die Arbeiten der Holyoak-Gruppe unterscheidet nur zwischen der Target-Bearbeitung *mit* explizitem Hinweis vs. *ohne* expliziten Hinweis, jedoch nicht zwischen expliziter und impliziter Nutzung der Basis durch den Problemlöser. Fasst man Holyoaks Varianten unter die Begriffe des *expliziten vs. impliziten Hinweisreizes*, kann man den expliziten vs. impliziten Transfer unabhängig von der Intervention des Versuchsleiters für das Verhalten der Probanden verwenden. Die sequentielle Darbietung von Basis und Target entspräche dann einem impliziten Hinweis, die sequentielle Darbietung plus verbaler Kommentar wäre ein expliziter Hinweis.

Die Probanden beschrieben in der Nachbefragung zu den vorliegenden Experimenten Formen des Transfers, die nicht allein auf die Hinweise des Versuchsleiters zurückzuführen sind. Sie berichteten zum Beispiel, dass sie die Basisfiguren gar nicht beachtet hätten, zeigten aber im Vergleich zu anderen Versuchsgruppen veränderte Problemlösestrategien (impliziter Transfer). Andere Probanden gaben an, sie hätten nicht direkt an die Basis-Figuren gedacht, als sie die Target-Aufgabe bearbeiteten, aber sie könnten sich vorstellen, dass die Figuren sie „unbewusst“ beeinflusst hätten.

Die nächste Stufe in Richtung expliziten Transfer ergibt sich aus Antworten von Probanden, welche die Basis-Figur ebenfalls nicht direkt auf die Target-Aufgabe angewendet hatten, aber angaben, durch die Basis auf den Aufgabentyp eingestimmt worden zu sein und Anregungen für die Bearbeitung bekommen zu haben. Diese allgemeine Vorbereitung zeigte sich häufig auch zu Beginn der Basis-Bearbeitung. Oft wurde als erster Satz festgestellt, dass es sich um geometrische Figuren handelt. Manchmal wurde diese Äußerung durch einen Seufzer begleitet: „In Mathe war ich schon immer schlecht!“

Andere Probanden ließen deutlich erkennen, dass sie das Target mit Hilfe der Basis bearbeitet hatten. Allerdings lösten sie die Target-Aufgabe nur im Ausnahmefall analog zur Basis. Weitaus öfter setzte die Basis im Verlauf der Target-Bearbeitung Impulse und lieferte Ideen zur Umsetzung. Diese Beiträge konnten entweder auf Attribute der visuellen Oberfläche referieren oder strukturelle Merkmale beinhalten. Dabei setzten die Probanden entweder einzelne Basis-Teilformen in die Target-Figur ein oder sie wendeten das Basis-rep4-Prinzip auf die Target-Figur an und entwickelten dabei

eine spezifische Form, die mit keiner Basisfigur exakt übereinstimmt.

Damit ergaben sich drei Formen des Transfers:

1. Allgemeine Vorbereitung auf die Aufgabendomäne (implizit)
2. Expliziter Oberflächentransfer
3. Expliziter struktureller Transfer

Dabei fallen nur die Varianten 2 und 3 unter die klassische Definition analogen Schließens. Wann welche Form des Transfers zum Einsatz kommt, folgt anscheinend verschiedenen Gesetzmäßigkeiten, welche sich aus Überlegungen zum „Struktur-Mapping“ ergeben.

Struktur-Mapping

Ausgangssituation des Targets und Ziel der Basis

1. Korrespondenz zwischen beiden Lösungen, der potentiellen Target-Lösung und der vorliegenden Basislösung
2. Rekonstruktion der Basis in Anlehnung an die Ziele des Targets
3. Korrespondenz der Ausgangssituationen
4. Inkrementelles Mapping

Erster Schritt: Korrespondierende Problemlösungen

Wenn ein Proband auf eine Basis zurückgreift, um ein Target zu bewältigen, muss er zunächst gewährleisten, dass die gegebene Lösung des Basis-Problems mit der gesuchten, d.h. unbekannt, Lösung des Target-Problems korrespondiert. Das bedeutet, dass er neben der Repräsentation der Target-Ausgangssituation mindestens strukturelle Erwartungen oder Kriterien für die Target-Lösung haben muss, welche er vorläufig mit der Basis-Lösung in Korrespondenz bringen kann.

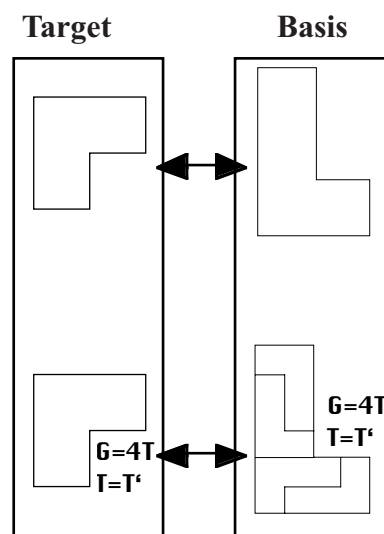


Abb. III.1: Ausgangssituation für die strukturelle Zuordnung zwischen zwei Problemrepräsentationen (Korrespondenz zwischen den Ausgangssituationen und den Lösungen in Basis und Target)

Zweiter Schritt: (Re-)Konstruktion der Basis

Aus dieser Verbindung zwischen Basis- und Target-Lösung sollte der Problemlöser als zweites eine Basis-Ausgangssituation (re-)konstruieren, welche mit der des Targets korrespondiert. Dieser Schritt wurde in Ross' Ablaufmodell ausführlich beschrieben. Im Kontext des Problemlösens muss zusätzlich beachtet werden, dass der rekonstruierte Basis-Anfang nicht immer dem originalen Basis-Anfang entspricht, z.B. wenn nur Teilziele der Basis verwertbar sind. Außerdem wäre es wünschenswert, wenn der Problemlöser, falls er die Basis per Versuch und Irrtum gelöst hatte, bei der Target-Bearbeitung nicht sämtliche Sackgassen wiederholt. Damit kann sich die (re-)konstruierte Basis-Repräsentation deutlich von der ehemaligen Target-Repräsentation unterscheiden.

Dritter Schritt: Korrespondenz der Anfangssituationen und inkrementelles Mapping

Wenn die Ausgangssituationen für Basis und Target vorliegen, kann die Abbildung der Entitäten beider Teilrepräsentationen aufeinander erfolgen. Bei dem vorliegenden Aufgabenmaterial war dieser Schritt relativ leicht zu bewältigen: Die Gesamtfigur der Basis entspricht der Gesamtfigur des Targets. Für beide Figuren existiert das Ziel, vier untereinander deckungsgleiche Teile zu finden, die sich ohne Rest in die jeweilige Gesamtfigur einfügen lassen. Im Idealfall könnte der Problemlöser dann den Lösungsweg der Basis schrittweise simulieren und aufbauend auf den bestehenden Korrespondenzen die einzelnen Lösungsschritte auf das Target übertragen. Gleichzeitig entsteht ein ständig aktualisiertes, zunehmend komplexes und stabiles Netz aus Zuordnungen zwischen den Entitäten der Basis und des Targets. Die Korrespondenzen werden entweder von der Basis in das Target projiziert oder vom Target in die Basis. Gelingt es, das Target analog zur Basis zu lösen, endet der Prozess analogen Schließens mit der Target-Lösung.

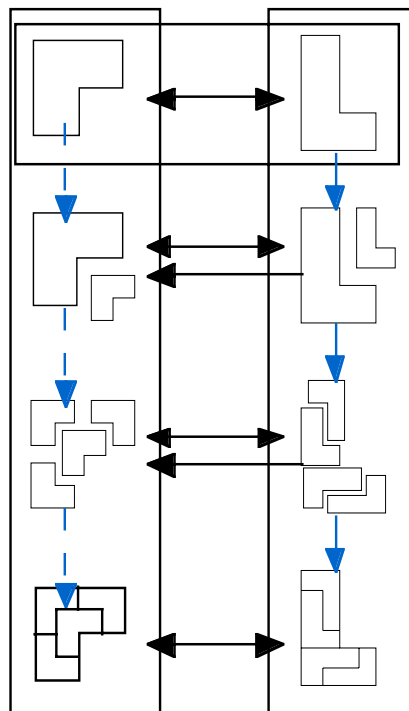


Abb.III.2: Strukturorientiertes analoges Schließen mit prozesshaften Repräsentationen

Abschließend könnte ein gemeinsames Konzept für diesen Aufgabentyp über Reflektion und Abstraktion generiert werden.

Der Prozess struktureller Zuordnungen wird mit steigender Anzahl der involvierten Teilschritte und der beteiligten Entitäten immer aufwendiger und erfordert eine flexible, strukturelle Basisrepräsentation des Problemlösers, welche vom Ziel aus rekonstruierbar, an das Target adaptierbar und simulierbar ist. Außerdem muss der Problemlöser mindestens strukturelle Vermutungen oder Kriterien für das Target-Ziel haben, damit er überhaupt eine passende Basis heranziehen kann. Häufig dürften diese Voraussetzungen für strukturelle Zuordnungen nicht erfüllt sein, insbesondere wenn man an die oberflächenorientierten Repräsentationen von Kindern und Novizen denkt. Das bedeutet, dass für den Großteil analoger Schlüsse noch andere „Spielregeln“ gelten müssen. Ein Tutor, ein unspezifischer Hinweis oder inhaltliche Relationen können notfalls strukturelle Lücken in den beteiligten Repräsentationen füllen und zeigen, „wo der erste Nagel einzuschlagen ist“. Ansonsten kommen vermutlich Transferstrategien zum Einsatz, die sich am Kontinuum Inhalt-Struktur anlehnen.

Kontinuum Inhalt-Struktur

Zunächst empfiehlt es sich, die Dichotomie zwischen Struktur und Inhalt zugunsten eines Kontinuums aufzugeben. Dafür gibt es verschiedene Gründe, zum Beispiel, dass bei vielen Aufgaben nur schwer zwischen Struktur und Inhalt differenziert werden kann, und das gilt sowohl für die Aufgabenkonstruktoren als auch für viele Probanden. Außerdem interagieren Struktur und Inhalt häufig: Strukturelle Zuordnungen werden selbst von Novizen mit verhältnismäßig wenigen Fehlern und in kurzer Zeit aufgebaut, wenn die Objekte in beiden Repräsentationen einander semantisch nahe sind (z.B. Gentner & Toupin, 1986). Der Inhalt kann laut Ross (z.B. 1989) dazu verwendet werden, um die zugrunde liegende Struktur zu interpretieren und zu implementieren, um Verständnis- oder Erinnerungslücken bezüglich der Struktur innerhalb der Repräsentation auszugleichen. Und schließlich ist es offenbar Konsens, dass Novizen und Kinder im Laufe des Expertise-Erwerbs bzw. der Individualentwicklung ihre oberflächenorientierten Repräsentationen „aufgeben“ und strukturelle Repräsentationen der Domäne erwerben. Dieser Prozess dauert in beiden Fällen sehr lange und führt nur allmählich zu einem Mehr an Struktur. Dabei könnten Objektkorrespondenzen den „sanften“ Übergang mitgestalten.

Das Kontinuum Inhalt-Struktur ist mit Sicherheit nicht eindimensional: Literale Vergleiche haben sowohl viele inhaltliche Parallelen als auch strukturelle Korrespondenzen zwischen beiden Repräsentationen, wie z.B. bei dem Vergleich verschiedener Betriebssysteme von PCs. Andere Vergleiche, z.B. Gentners explanatorische Analogie zwischen dem Sonnensystem und dem Atommodell nach Bohr, haben strukturelle, aber keine inhaltlichen Übereinstimmungen zwischen den beteiligten Repräsentationen. Durch dieses „entweder-oder“ ist orthogonale Kreuzung von Inhalt und Struktur überhaupt möglich. Schließlich gilt das Kontinuum sowohl innerhalb einer Repräsentation als auch für den Vergleich von zwei oder mehr Repräsentationen.

Vorwissen

Das Kontinuum Inhalt-Struktur deutete schon an, dass Probanden mit sehr unterschiedlichem Vorwissen an die zu bewältigenden Aufgaben herangehen. Das betrifft zum einen die relationale Struktur zwischen den Entitäten innerhalb der Problemrepräsentationen und zum anderen die prozeduralen Aspekte des Lösungswegs. Die Probanden der vorliegenden Studie verfügten über gut strukturiertes Wissen in Bezug auf das Target, so dass *alle* Probanden die Target-Aufgabe auch ohne analoge Basis mit vertretbarem zeitlichen Aufwand lösen konnten. Die Probanden vergleichbarer Studien verfügten über wesentlich weniger Target-Wissen, so dass ohne Basis nur wenige Probanden eine Target-Lösung fanden, und mit Basis weniger als 100%. Aber sie verfügten über relativ umfangreiches Wissen über die Basis – außer bei den visuellen Basisabbildungen bei Gick und Holyoak (1983) sowie Chen (1995). Das Basiswissen der Probanden in der aktuellen Untersuchung war hingegen relativ gering. Während die Probanden in den klassischen Untersuchungen auf Gedeih und Verderb auf die Analogie zwischen Basis und Target angewiesen waren, bestand für die Probanden der aktuellen Studie die Möglichkeit, die Target-Aufgabe *ohne* Analogie zu lösen. Gleichzeitig waren die Chancen gering, dass sie eine strukturelle Zuordnung zwischen Basis und Target aufbauen können.

Mögliches Wissen über das Target hing im vorliegenden Fall mit dem üblichen Lösungsweg zusammen, der zunächst eine Definition der gesuchten Teile und danach das Einsetzen dieser Teile in die Gesamtfigur umfasste. Mögliches Basis-Wissen referierte auf einen alternativen Lösungsweg, der mit durch die rep4-Beziehung definierten Teilen begann, und die Anordnung der Teile zur Gesamtfigur beinhaltete. Wie viel von beiden Wissensquellen der Problemlöser an den Prozess analogen Denkens heranträgt, fällt unter die *Expertise des Problemlösers* bezüglich der Aufgabendomäne und determiniert die Grundlage für den Prozess analogen Schließens.

Merkmale der Aufgabendomäne(n)

Außerdem kommen weitere Merkmale der *Aufgabendomäne(n)* hinzu. Ein Merkmal ist, ob in dieser Domäne eine Korrelation zwischen Inhalt und Aufgabenstruktur besteht. Das wäre der Fall, wenn es für Teilungsaufgaben mit rechtwinkligen Gesamtfiguren andere Lösungsstrategien gäbe als für Teilungsaufgaben mit nicht rechtwinkligen Gesamtfiguren. Innerhalb der Domäne geometrischer Aufgaben erscheint das plausibel, z.B. weil für Dreiecke und Vierecke unterschiedliche Strategien zum Beweis von Kongruenz oder zur Berechnung des Flächeninhalts existieren.

Solange eine empirische Korrelation zwischen Struktur und Inhalt des Aufgabenbereiches besteht, können strukturelle Lücken im Wissen der Novizen durch Objektkorrespondenzen aufgefangen werden. Besteht in der Domäne hingegen keine empirische Korrelation, ist der Prognosewert des Inhalts sehr gering. Dann gelten alle Aussagen der Gentner-Gruppe über die orthogonale Kreuzung von Oberfläche und Struktur. Bei vorhandener Korrelation von Struktur und Inhalt sind mehrere Folgen beider Transferformen denkbar:

1. Oberflächengeleiteter und struktureller Transfer haben für das Target die gleichen Folgen. Der Proband könnte die Farm entweder analog zur winkligen Basis in kleine Winkel unterteilen

(Oberflächentransfer) oder in verkleinerte Kopien der Farmfigur (struktureller Transfer). In diesem Fall könnte man die Wirksamkeit beider Faktoren nicht voneinander trennen. Bei vielen Untersuchungen könnte der Effekt des strukturellen Transfers überschätzt worden sein, weil Objektkorrespondenzen nicht sicher auszuschließen sind, solange nicht mit extrem künstlichen Settings gearbeitet wird. Diese Effekte lassen sich erst aufdecken, wenn man einerseits die Art der Repräsentationen des Problemlösers berücksichtigt, und man andererseits nicht nur die Basisfiguren variiert, sondern auch die Target-Aufgaben. Bei einer Target-Aufgabe mit einem Dreieck als Gesamtfigur wäre die strukturelle Lesart der winkelförmigen Basis deutlich von der inhaltsorientierten Lesart zu trennen.

2. Inhalt und Struktur führen zu unterschiedlichen Lösungswegen für die Basis. Bei Oberflächentransfer werden spezifische Attribute der Basis auf das Target übertragen, während bei strukturellem Transfer relationale Zusammenhänge übernommen werden. Der Oberflächentransfer wird deshalb eher zu Variationen des sonst üblichen analytischen Lösungsweges führen, während struktureller Transfer zu einem eher holistischen Lösungsweg führt, bei dem aus den Teilen die Gesamtfigur konstruiert wird, statt die Teile in die Gesamtfigur einzusetzen.

3. Neben reinem inhaltlichen Transfer und strukturellem Transfer existieren sehr wahrscheinlich weitere Formen und Mischformen, die unter anderem den strukturellen Transfer zwischen inhaltlich ähnlichen Entitäten bzw. ähnlichen Objekten erleichtern.

Auf welche Form des Transfers der Problemlöser zurückgreift, ergibt sich aus der Strukturiertheit seiner Repräsentationen in der Aufgabendomäne, d.h. seinem Expertise-Grad, und den Merkmalen der Domäne, z.B. dem Vorhandensein einer empirischen Korrelation.

Problemlöseprozess

Als dritter Faktor müssen neben den Subprozessen analogen Denkens auch die Subprozesse oder Teilziele des Problemlöseprozesses beachtet werden. Explanative Analogien weisen wenig oder keine prozeduralen Aspekte auf. Dort genügt es, die einzelnen Entitäten in Korrespondenz zu bringen. Wenn sich diese Entitäten jedoch im Laufe des Problemlöseprozesses verändern, ist nicht mehr trivial, welcher Zustand einer Entität mit welchem Zustand einer anderen Entität in der korrespondierenden Repräsentation vergleichbar ist. Zum Beispiel könnte man die Konstruktion einer Maschine mit Kuchenbacken vergleichen. In beiden Fällen existieren in der Ausgangssituation eine Menge von „Zutaten“, welche modifiziert und verbunden werden, aus ihnen ergeben sich Teilsysteme bzw. Teig, welcher durch weitere Bearbeitungsschritte in das fertige Produkt umgewandelt werden. Dabei kann es vorkommen, dass Entitäten in einigen, aber nicht allen Teilschritten korrespondieren.

Bei Berücksichtigung des Problemlöseprozesses wird die Wirksamkeit von Struktur und Inhalt noch einmal spezifiziert. Für jeden Teilschritt muss neu geklärt werden, in welchem Umfang und in welche Richtung Struktur und Inhalt intervenieren, welche Schritte unter welchen Bedingungen gemacht werden und wovon ihre Schwierigkeit abhängt. Als Konsequenz sollte *vor* der Formulierung

von Hypothesen zur Wirksamkeit von Inhalt und Struktur eine dezidierte Aufgabenanalyse unter Berücksichtigung des zu erwartenden Vorwissens der Probanden durchgeführt werden.

Vorwissen, Aufgabendomäne und Problemlöseprozess anhand der Farmaufgabe

Vor Bearbeitung der Farmaufgabe verfügten die Probanden über kein aufgabenspezifisches Wissen, aber über eine analytische Teilungsstrategie, welche üblicherweise Figuren sukzessive in die gewünschte Anzahl von Teilen zerlegt. Diese Strategie hat zwei Teilziele, nämlich die Definition von Teilen und die Anordnung dieser Teile in der Gesamtfigur. Für beide Ziele gibt es einen Lösungsweg ohne strukturellen Transfer und einen strukturell zur Basis analogen Lösungsweg: Ohne strukturellen Transfer, aber mit Oberflächentransfer und allgemeiner Vorbereitung wird die Gesamtfigur in Komponenten zerlegt, aus denen die Teile konstruiert werden, die abschließend in die Gesamtfigur eingefügt werden. Diese Komponenten können entweder Quadrate oder Dreiecke sein, und die Teile weisen entweder eine Innenecke auf (z.B. ein Winkel) oder nicht (z.B. ein Rechteck). Bei strukturellem Transfer entfällt die analytische Zerlegung, die Form der Teile ist durch die Form der Gesamtfigur vorgegeben. Diese Teile werden anschließend so zusammengefügt, dass sich die Gesamtfigur ergibt. In Mischformen könnten zum Beispiel die Komponenten benutzt werden, um die Teile in der Gesamtfigur zu platzieren, statt die Gesamtfigur aus den Teilen zu konstruieren.

	Analytischer Lösungsweg	Strukturell zur Basis analoger Lösungsweg
A Definition der Teile	A1 Zerlegung in Komponenten A2 Konstruktion der Teile	A1' Ableitung der Teile aus der Gesamtfigur ---
B Anordnung der Teile	B1 Einsetzen der Teile in die Gesamtfigur	B1' Zusammensetzen der Teile zur Gesamtfigur

Tab. III.1.: Lösungswege für die Farmaufgabe

Das Wissen der Probanden über die Basisfigur(en) beinhaltete das rep4-Prinzip bei einer Basisfigur selten, bei zwei Figuren gelegentlich und bei 18 Figuren immer. Aber selbst bei 18 Figuren und einem expliziten Hinweis war dieses Wissen wenig elaboriert und kaum geeignet, um es direkt auf die Target-Aufgabe anzuwenden, weil die prozeduralen Aspekte des Lösungsweges nicht präsent waren. Nach der Bearbeitung der Farmaufgabe ist davon auszugehen, dass die Probanden ihr Basiswissen vertieft und mit prozeduralen Aspekten angereichert hatten, so dass ab der Dreiecksaufgabe in den Experimenten 5 und 6 Struktur-Mapping möglich war.

Die Wirksamkeit der rep4-Struktur äußerte sich darin, dass entweder A oder A' bzw. B oder B' aus den Lösungsskizzen ablesbar waren. Die Oberflächenattribute sind potentiell bei allen Teilschritten wirksam. Bei strukturellem Transfer fällt es den Probanden wahrscheinlich leichter, das Prinzip an den den Basisfiguren ähnlichen Target-Figuren zu implementieren als bei sehr unterschiedlichen Figuren. Bei oberflächennahem Transfer sollte der Innenwinkel A1 beeinflussen und die Dimension

„mit vs. ohne Innenecke“ die Form der konstruierten Teile in A2. Die Anordnung der Teile in den Basisfiguren könnten Anregungen für die Anordnung der Teile in der Target-Gesamtfigur liefern, d.h. B1, was bei der L-Figur zum Negativtransfer führen könnte.

Konkret bedeutet das folgendes:

Allgemeine Vorbereitung und Oberflächentransfer

Wenn die Probanden keine strukturellen Korrespondenzen zwischen Target und Basis errichten konnten, lösten sie die Target-Aufgabe zunächst so, wie sie diese ohne Basis bearbeitet hätten. Die Basisfigur(en) lieferte(n) bei den einzelnen Teilzielen jeweils Impulse für die konkrete Realisierung dieser Schritte und veränderten die Wahrscheinlichkeiten für einzelne Schritte auf dem Lösungsweg.

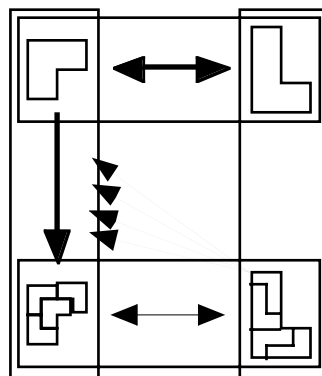


Abb. III.3: Oberflächentransfer

Bei rechtwinkligen Basisfiguren (Rechteck und L-Figur) wird die Zerlegung in Quadrate gefördert, bei nicht rechtwinkligen Basisfiguren (Trapez und Kirche) dominiert die Zerlegung in Dreiecke. Dieser Schritt wird auch wesentlich durch das verwendete Aufgabenmaterial geprägt: Bei kariertem Papier wurde die Gesamtfigur in Experiment 2 der Pilotstudie zu 90% in Quadrate zerlegt, bei unliniertem Papier mit Umrissen der Target-Figur wurde diese zu 100% zuerst in Dreiecke zerlegt. Der Innenwinkel der Basisfiguren ist entsprechend *zusätzlich* zum Aufgabenmaterial wirksam. Bei der Konstruktion der Teilfiguren (A2) fördern L-Figur und Kirche winkelförmige Teile. Rechteck und Trapez fördern Teilfiguren ohne Innenecke. Bei diesem Schritt hatte das Aufgabenmaterial in Experiment 2 keinen Einfluss.

Bei der Anordnung der Teile (B1) liefern Rechteck und Trapez keinen Hinweis, die Kirche liefert einen unspezifischen Hinweis auf die in sich verschachtelte Anordnung der Teile, und die L-Figur liefert den irreführenden Vorschlag, dass jeweils zwei Teile einen Balken ergeben und zwei Balken zusammen die Gesamtfigur.

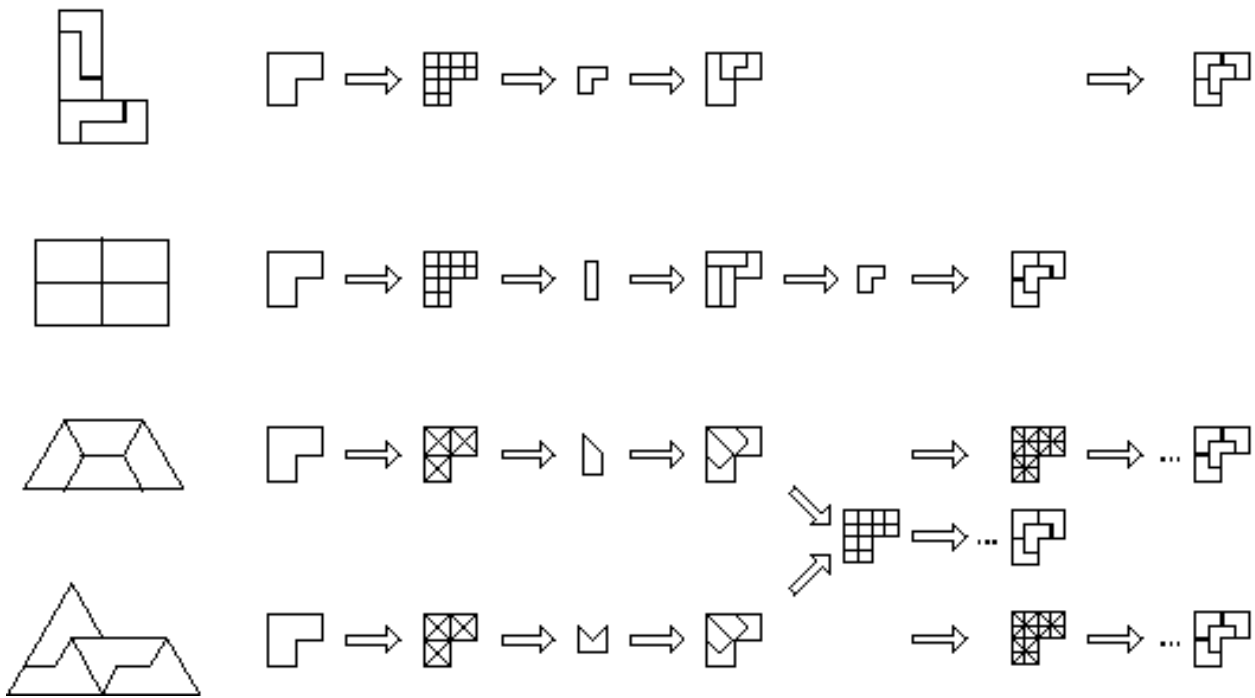


Abb. III.4: Varianten des analytischen Lösungsweges in Abhängigkeit von der zuvor bearbeiteten Basisfigur

Der Unterschied zwischen allgemeiner Vorbereitung und Oberflächentransfer ist, dass entweder allgemeine oder spezifische Hinweise gegeben werden, und dass nur beim Oberflächentransfer Korrespondenzen zwischen Entitäten der Basis und des Targets aufgebaut werden.

Der Nutzen der Basisfiguren bei oberflächennahem Transfer für den analytischen Lösungsweg lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

	<u>L-Figur</u>	<u>Rechteck</u>	<u>Kirche</u>	<u>Trapez</u>	
A1	+	+	-	-	per Innenwinkel
A2	+	-	+	-	aufgrund der spez. Form
B1	—	0	0	0	aufgrund der spez. Anordnung

Tab.III.2: Spezifischer Nutzen der Basisfiguren bei oberflächennahem Transfer

Das beschriebene Muster entspricht den Lösungszeiten aus Experiment 2. In den Experimenten mit multiplen Analogien waren die Effekte der einzelnen Figuren weniger deutlich, aber noch in den Lösungsskizzen erkennbar. Nach rechtwinkligen Figuren wurde z.B. eher in Quadrate zerlegt, nach nicht rechtwinkligen Figuren eher in Dreiecke. Unterteilten die Probanden, welche zuvor rechtwinklige Basisfiguren bearbeitet hatten, die Farmfigur dennoch in Dreiecke, verließen sie diese Sackgasse tendenziell schneller als die Probanden mit nicht rechtwinkligen Basisfiguren.

Struktureller Transfer

Die Anwendung des rep4-Prinzips, und damit struktureller Transfer, war in den Lösungsskizzen erstmalig nach 18 Basisfiguren erkennbar. Ohne Hinweis wendeten 52% der Probanden das Prinzip an, mit Hinweis sogar 88%. In der Nachbefragung gaben bereits Probanden mit zwei Basisfiguren

an, diese hätten aufgrund des rep4-Prinzips geholfen. Der Anteil der Probanden, welche auf das rep4-Prinzips referierten, stieg von 14% bei zwei Basisfiguren auf 27% bei 18 Figuren ohne Hinweis und 64% bei 18 Figuren mit Hinweis. Der Repräsentationswechsel zwischen Teil- und Gesamtfigur, der mit B2' verbunden ist, war erstmalig bei 18 Figuren mit Hinweis zu beobachten, und zwar bei 28% der Probanden, deren Lösungsskizzen das rep4-Prinzip erkennen ließen.

Das bedeutet, dass die Probanden relativ spät hinreichend elaborierte Repräsentationen von Basis und Target aufgebaut hatten, um rein strukturellen Transfer leisten zu können. Die Probanden, die das rep4-Prinzip angewendet hatten, nutzten es zwar für das erste Teilziel, d.h. die Definition der Teile (A1'), aber selten für die Anordnung der Teile, d.h. das zweite Teilziel der Target-Aufgabe (B1').

Die Probanden, welche strukturellen Transfer erkennen ließen, waren offenbar in der Lage, mehr Korrespondenzen zwischen Basis und Target zu errichten als die Probanden mit Oberflächentransfer. Sie bildeten die Gesamtfiguren und Teilfiguren beider Repräsentationen aufeinander ab und leiteten aus der Teile-Ganzes-Relation (rep4) die Form der Target-Teile ab. Entsprechend unterschieden sich die Lösungsskizzen dieser Probanden deutlich von Probanden, welche die Aufgabe auf dem analytischen Lösungsweg bearbeitet hatten. Es waren z.B. keine Komponenten erkennbar. Damit waren auch die Lösungsskizzen weniger akkurat skizziert.

Auch die Probanden mit strukturellem Transfer waren mitunter nicht in der Lage, den Basislösungsweg zu rekonstruieren und für das Target nutzbar zu machen. Deshalb lehnten sie sich nach gefundenen Teilformen wieder an den analytischen Lösungsweg an und suchten nach einer Anordnung der Teile in der Target-Gesamtfigur. Oder sie wechselten zwischen induktiven und deduktiven Strategien hin und her (B1') und waren damit nicht mehr auf einen geeigneten Maßstab angewiesen.

Ab der zweiten Teilungsaufgabe verfügten die Probanden in den Experimenten 5 und 6 über einen Lösungsweg, der sich bereits einmal bewährt hatte. Von daher wurde der Aufbau struktureller Korrespondenzen zwischen Basis und Target bzw. zwischen dem alten und neuen Target wahrscheinlicher. Leider sind die Bearbeitungsstrategien bei der Dreiecks- und der Quadrataufgabe weniger deutlich abzulesen als bei der Farmaufgabe. Der Repräsentationswechsel (B1') als Indiz für strukturellen Transfer war bei einem Proband ausschließlich bei der Farm zu beobachten; drei Probanden zeigten den Wechsel bei der Farm- und bei der Dreiecksaufgabe; vier Probanden wendeten ihn erst bei der Dreiecksaufgabe an.

Damit ergab sich bei strukturellem Transfer ein neuer, zur Basisfigur und/oder den vorangegangenen Aufgaben analoger Lösungsweg; bei Oberflächentransfer und allgemeiner Vorbereitung waren hingegen nur Veränderung der Präferenzen innerhalb des gleichen Lösungsweges zu beobachten. Dieses Muster konnte aber nur deshalb in Erscheinung treten, weil die Probanden gut mit dem Target, aber wenig mit der Basis vertraut waren. Außerdem war es unerlässlich, die Aufgabenanalyse in die Interpretation der Daten miteinzubeziehen.

Für die Theorien zum analogen Transfer bedeutet dieser Ansatz, dass der Prozess analogen Schließens in den Kontext des Vorwissens, des Problemlöseprozesses und der Aufgabendomäne eingebettet ist. Diese Erweiterung könnte einen weiteren Brückenschlag zu anderen kognitiven Prozessen stiften, den Stellenwert analogen Denkens gleichzeitig relativieren, da nicht immer strukturelle Korrespondenzen im Spiel sind, und erhöhen, da sich analoges Denken als sehr allgemeine, fehlerstabile und nützliche Heuristik zum Lernen und Problemlösen erweisen könnte.

Auf jeden Fall sollte das bisherige Paradigma der Lösungshäufigkeiten ohne Beachtung der ablaufenden Prozesse zugunsten feinerer Meßmethoden aufgegeben werden. Lösungshäufigkeiten und -zeiten sind nur dann aussagekräftig, wenn bekannt ist, *was* in dieser Zeit geschieht, bzw. was den erfolgreichen Problemlöser von einem erfolglosen Problemlöser unterscheidet. Gleichzeitig empfiehlt es sich, mit der klassischen Trennung zwischen Inhalt und Struktur flexibler umzugehen. Dabei könnte die Sonderrolle des Inhaltes aufgegeben werden. Stattdessen könnte den semantischen Entitäten eine vermittelnde und integrierende Funktion beim Lernen zukommen. Schließlich ist nicht nur wichtig, wie vernetzt und abstrakt strukturelle Korrespondenzen zwischen zwei Repräsentationen sind, sondern auch, welcher Art diese Korrespondenzen und Strukturen sind.

LITERATUR

VI. Literatur

- Adelson, B. (1981). Problem solving and the development of abstract categories in programming languages. *Memory & Cognition*, 9, 422-433.
- Adelson, B. (1984). When novices surpass experts: The difficulty of a task may increase with expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 483-495.
- Anderson, J.R., Farrell, R., & Sauers, R. (1984). Learning to program in LISP. *Cognitive Science*, 8, 87-129.
- Anderson, J.R., & Thompson, R. (1989). Use of analogy in a production system architecture. In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity & analogical reasoning*, pp. 267-297. New York: Cambridge University Press.
- Barsalou, L.W. (1989). Intra-concept similarity and its implications for inter-concept similarity. In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 76-121. New York: Cambridge University Press.
- Bassok, M. (1990). Transfer of domain-specific problem-solving procedures. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 522-533.
- Bassok, M. (1993). *On putting baskets into apples: Effects of the world knowledge on problem solving*. Paper presented at the meeting of the Psychonomic Society, Washington, DC.
- Bassok, M., Chase, V.M., & Martin, S.A. (1998). Adding apples to oranges: Alignment of semantic and formal knowledge. *Cognitive Psychology*, 35, 99-134.
- Bassok, M., & Holyoak, K.J. (1985). *Transfer between isomorphic topics in algebra and physics*. Paper presented at the Annual meeting of the Psychonomic Society, Boston.
- Bassok, M., & Holyoak, K.J. (1989). Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 153-166.
- Bassok, M., & Holyoak, K.J. (1993). Pragmatic knowledge and conceptual structure: Determinants of transfer between quantitative domains. In: D.K. Detterman & R.J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction*, pp. 68-98. Norwood, NJ: Ablex.
- Bassok, M., & Olseth, K.L. (1995). Object-based representations: Transfer between cases of continuous and discrete models of change. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 1522-1538.
- Bassok, M., Wu, L.L., & Olseth, L.L. (1995). Judging a book by its cover: Interpretative effects of content on problem solving transfer. *Memory & Cognition*, 23, 354-367.
- Beck, D.E.F. (1978). Metaphor as a mediator between semantic and analogic modes of thought. *Current Anthropology*, 19, 83-97.
- Beveridge, M., & Parkins, E. (1987). Visual representation in analogical problem solving. *Memory & Cognition*, 15, 230-237.

- Blanchette, I., & Dunbar, K. (2000). How analogies are generated: The roles of structural and superficial similarity. *Memory & Cognition*, 28, 108-124.
- Blessing, S.B., & Ross, B.H. (1996). Content effects in problem categorization and problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 792-810.
- Boronat, C., & Gentner, D. (1996). *Metaphors are (sometimes) processed as generative domain mappings*. Unpublished Manuscript.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. 4. Aufl.. Berlin: Springer.
- Bortz, J., Lienert, G., A., & Boehnke, K. (1990). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Heidelberg: Springer.
- Blessing, S.B., & Ross, B.H. (1996). Content effects in problem categorization and problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 792-810.
- Braine, M.D.S. (1978). On the relation between the natural logic of reasoning and standard logic. *Psychological Review*, 85, 1-21.
- Bransford, J.D., Franks, J.J., Vye, N.J., & Sherwood, R.D. (1989). New approaches to instruction: Because wisdom can't be told. In: S. Vosiadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 470-497. New York: Cambridge University Press.
- Brown, A. (1989). Analogical learning and transfer: What develops? In: S. Vosiadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 369-412. New York: Cambridge University Press.
- Brown, A.L., & Kane, M.J. (1988). Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning from example. *Cognitive Psychology*, 20, 493-523.
- Brown, A.L., Kane, M.J., & Echols, C.H. (1986). Young children's mental models determine analogical transfer across problems with a common goal structure. *Cognitive Development*, 1, 103-121.
- Buekenhout, F. (1995). *Handbook of incidence geometry. Buildings and foundations*. Amsterdam: Elsevier.
- Burstein, M. (1986). Concept formation by incremental analogical reasoning and debugging. In: R.S. Michalski, J.G. Carbonell, and T.M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach, Vol. 2*, S. 351-369. Los Altos, Calif.: Morgan Kaufman.
- Bussmann, H., & Wenzelburger, E. (1977). *Anschauliche Differentialrechnung*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Carbonell, J.G. (1983). Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience. In: R.S. Michalski, J.G. Carbonell, and T.M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach*, pp. 137-161. Palo Alto, Calif.: Tioga Publishing Co.
- Carbonell (1986). Derivational analogy: A theory of recursive problem solving and expertise acquisition. In: R.S. Michalski, J.G. Carbonell, and T.M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach, Vol. 2*, pp. 371-392. Los Altos, Calif.: Morgan Kaufman.

- Chafe, W.L. (1976). Creativity in verbalization as evidence for analogical knowledge. In: R.C. Schank & B.L. Nash-Webber (Eds.), *Theoretical issues in natural language processing*, pp. 158-159. Cambridge, MA: Bolt, Beranek, and Newman.
- Charney, D.H., & Reder, L.M. (1986). Designing interactive tutorials for computer users. *Human-Computer Interaction*, 2, 297-317.
- Chen, Z. (1995). Analogical transfer: From schematic pictures to problem solving. *Memory & Cognition*, 23, 255-269.
- Cheng, P.W., & Holyoak, K.J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Cheng, P.W., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E., & Oliver, L.M. (1986). Pragmatic versus syntactic approaches to training deductive reasoning. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reiman, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Clark, H.H., & Chase, W.G. (1972). On the process of comparing sentences against pictures. *Cognitive Psychology*, 3, 472-517.
- Clauß, G., & Ebner, H. (1985). *Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner*. Band 1: Grundlagen. 5. Aufl.. Thun und Frankfurt/M.: Harri Deutsch.
- Clement, C.A., & Gentner, D. (1991). Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. *Cognitive Science*, 15, 89-132.
- Collins, A., & Burstein, M. (1989). A framework for a theory of mapping. In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity, analogy, and thought*. pp. 546-566. New York: Cambridge University Press.
- Crisafi, M.A., & Brown, A.L. (1986). Analogical transfer in very young children: Combining two separately learned solutions to reach a goal. *Child Development*, 57, 953-968.
- Dreistadt, R. (1969). The use of analogies and incubation in obtaining insights in creative problem solving. *Journal of Psychology*, 71, 159-175.
- Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs* 58, no. 270.
- Falkenhainer, B., Forbus, K.D., & Gentner, D. (1986). The structure-mapping engine. *Proceedings of the Fifth National Conference on Artificial Intelligence*, 272-277. Philadelphia, PA. Los Altos, CA: Kaufmann.
- Falkenhainer, B., Forbus, K.D., & Gentner, D. (1989). The structure-mapping engine: An algorithm and examples. *Artificial Intelligence*, 41, 1-63.

- Finke, R.A. (1989). *Principles of mental imagery*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fong, G.T., Krantz, D.H., & Nisbett, R.E. (1986). The effects of statistical training on thinking about everyday problems. *Cognitive Psychology, 18*, 253-292.
- Fong, G.T., & Nisbett, R.E. (1991). Immediate and delayed transfer of training effects in statistical reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General, 120*, 34-45.
- Forbus, K.D., & Gentner, D. (1983). Learning physical domains: Towards a theoretical framework. *Proceedings of the 1983 International Machine Learning Workshop*, Monticello, IL.
- Forbus, K.D., Gentner, D., & Law, K. (1995). MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval. *Cognitive Science, 19*, 141-205.
- Gardner, M. (1971). *Logik unterm Galgen. Ein Mathematisches in 20 Problemen*. Braunschweig: Friedrich Vieweg + Sohn.
- Gardner, M. (1985). *Mathematischer Karneval*. Frankfurt/M.: Ullstein.
- Gati, I., & Tversky, A. (1984). Weighting common and distinctive features in perceptual and conceptual judgements. *Cognitive Psychology, 16*, 341-370.
- Gati, I., & Tversky, A. (1987). Recall of common and distinctive features of verbal and pictorial stimuli. *Memory & Cognition, 15*, 97-100.
- Gattis, M., & Holyoak, K.J. (1996). Mapping conceptual to spatial relations in visual reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 22*, 231-239.
- Gentner, D. (1980). *Metaphor as structure-mapping*. Paper presented at the Meeting of the American Psychological Association, Montreal.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science, 7*, 155-170.
- Gentner, D. (1988). Metaphor as structure mapping: The relational shift. *Child development, 59*, 47- 59.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 470-497. New York: Cambridge University Press.
- Gentner, D. (1992). Commentary on Halford's „Analogical reasoning and conceptual complexity in cognitive development.“ *Human Development, 35*, 218-221.
- Gentner, D., & Boronat, C.B. (1992). *Metaphors are (sometimes) processed as generative domain-mappings*. Unpublished manuscript.
- Gentner, D., & Clement, C.A. (1988). Evidence for relational selectivity in the interpretation of analogy and metaphor. In: G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation. Advances in research and theory, Vol. 22*, pp. 307-358. San Francisco: Academic Press.

- Gentner, D., & Holyoak, K.J. (1997). Reasoning and learning by analogy: Introduction. *American Psychologist*, 52, 32-34.
- Gentner, D., & Landers, R. (1985). Analogical reminding: A good match is hard to find. In: *Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. New York: IEEE.
- Gentner, D., & Markman, A.B. (1994). Structural alignment in comparison: No difference without similarity. *Psychological Science*, 5, 152-158.
- Gentner, D., & Markman, A.B. (1995). Similarity is like analogy. In: C. Cacciari (Ed.), *Similarity*, pp. 111-148. Brüssel, Belgium: BREPOLs.
- Gentner, D., & Markman, A.B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52, 45-56.
- Gentner, D., & Rattermann, M.J. (1991). Language and the career of similarity. In: S.A. Gelman & J.P. Byrnes (Eds.), *Perspectives on language and thought: Interrelations in development*, pp. 225-277. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gentner, D., Rattermann, M.J., & Forbus, K.D. (1993). The roles of similarity in transfer: Separating retrievability from inferential soundness. *Cognitive Psychology*, 25, 524-575.
- Gentner, D., & Schumacher, R.M. (1986). Use of structure-mapping theory for complex systems. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. New York: IEEE.
- Gentner, D., & Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similarity in the development of analogy. *Cognitive Science*, 10, 277-300.
- Gick, M. & Holyoak, K.J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gick, M. & Holyoak, K.J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Gick, M., & Paterson, K. (1992). Do contrasting examples facilitate schema acquisition and analogical transfer? *Canadian Journal of Psychology*, 46, 539-550.
- Goldstone, R.L., & Medin, D. (1994). The time course of comparison. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 29-50.
- Goodman, N. (1972). Seven strictures on similarity. In: *Problems and projects*, 437-447. Indianapolis: Bobbs-Merrill.
- Goswami, U. (1989). Relational complexity and the development of analogical reasoning. *Cognitive Development*, 4, 251-268.
- Goswami, U., & Brown, A. (1989). Melting chocolate and melting snowmen: Analogical reasoning and causal relations. *Cognition*, 35, 69-95.
- Grice, H.P. (1975). Logic in conversation. In: P. Cole & J.L. Morgan (Eds.), *Syntax and Semantics, Vol. 3 Speech acts*, pp. 41-58. New York: Seminar Press.

- Halford, G.S. (1987). A structure-mapping approach to cognitive development. *International Journal of Psychology*, 22, 609-642.
- Hall, R.P. (1989). Computational approaches to analogical reasoning: A comparative analysis. *Artificial Intelligence*, 39, 39-120.
- Hesse, M.B. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press.
- Hinsley, D.A., Hayes, J.R., & Simon, H.A. (1977). From words to equations: Meaning and representation in algebra problems. In: M.A. Just & P.A. Carpenter (Eds.), *Cognitive processes in comprehension*, pp. 27-38. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hofstadter, D. (1984). The copycat project: An experiment in nondeterminism and creative analogies. *AI Memo 755*. Cambridge, Mass.: MIT Artificial Intelligence Laboratory.
- Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E., & Thagard, P. (1986). *Induction: Process of inference, learning, and discovery*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Holyoak, K.J. (1984). Analogical thinking and human intelligence. In: R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence, Vol. 2*, pp. 199-230. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Holyoak, K.J. (1985). The pragmatics of analogical transfer. In: G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation, Vol. 19*, pp. 59-87. New York: Academic Press.
- Holyoak, K.J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, 15, 332-340.
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint-satisfaction. *Cognitive Science*, 13, 295-355.
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1997). The analogical mind. *American Psychologist*, 52, 35-44.
- Hummel, J.E., & Holyoak, K.J. (1997). Distributed representations of structure: A theory of analogical access and mapping. *Psychological Review*, 104, 427-466.
- Johnson, M.K., Bransford, J.D., Nyberg, S.E., & Cleary, J.J. (1972). Comprehension factors in interpreting memory for abstract and concrete sentences. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 11, 451-454.
- Kadison, L. (1996). *Projective geometry and modern algebra*. Boston: Birkhäuser.
- Kay, D.S., & Black, J.B. (1985). The evolution of knowledge representations with increasing expertise in using systems. *Proceedings of the Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 140-149.
- Keane, M.T. (1988). *Analogical problem solving*. Chichester, Eng.: Ellis Horwood.

- Keane, M.T. (1996). On adaption in analogy: Tests of pragmatic importance and adaptability in analogical problem solving. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 1062-1085.
- Keane, M.T. (1997). What makes analogy difficult? The effect of order and causal structure on analogical mapping. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 946-967.
- Kedar-Cabelli, S. (1985). Purpose-directed analogy. *Proceedings of the Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 150-159. Irvine, CA.
- Kendall, M.G. (1962). *Rank correlation methods*. London: Griffin.
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Klotzek, B. (1971): *Geometrie*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaft.
- Kolstad, V., & Bailargeon, R. (1991). *Appearance- and knowledge-based responses to containers in infants*. Unpublished manuscript.
- Kosslyn, S. (1975). Information representation in visual images. *Cognitive Psychology*, 7, 341-370.
- Kosslyn, S., & Pomerantz, J.R. (1977). Imagery, propositions, and the form of internal representations. *Cognitive Psychology*, 9, 52-76.
- Kotovsky, L., & Gentner, D. (1990). *Pack light: You will go farther*. Paper presented at the Midwestern Artificial Intelligence and Cognitive Science Society Conference. Carbondale, IL.
- Lassaline, M.E. (1996). Structural alignment in induction and similarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 754-770.
- Lebowitz, M. (1983). Generalization from natural language text. *Cognitive Science*, 7, 1-40.
- LeFevre, J.A., & Dixon, P. (1986). Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*, 3, 1-30.
- Lewis, C.S. (1989). *Ein Schiff aus Narnia*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co.KG.
- Lewis, M.W., & Anderson, J.R. (1985). Discrimination of operator schemata in problem solving: Learning from examples. *Cognitive Psychology*, 17, 26-75.
- Markman, A.B. (1996). *Constraints on analogical inference*. Unpublished Manuscript.
- Markman, A.B., & Gentner, D. (1993a). Splitting the differences: A structural alignment view of similarity. *Journal of Memory and Language*, 32, 517-535.
- Markman, A.B., & Gentner, D. (1993b). Structural alignment during similarity comparisons. *Cognitive Psychology*, 25, 431-467.

- Markman, A.B., & Gentner, D. (1996). Communalities and differences in similarity comparisons. *Memory & Cognition*, 24, 235-249.
- Markman, A.B., & Wisniewsky, E.J. (1997). Similar and different: The differentiation of basic level categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 23, pp. 968-989.
- Marr, D., & Poggio, T. (1976). Cooperative computation of stereo disparity. *Science*, 194, 283-287.
- Mayer, R.E. (1981). Frequency norms and structural analysis of algebra story problems into families, categories, and templates. *Instructional Science*, 10, 135-175.
- Mayer, R.E. (1982). Memory for algebra story problems. *Journal of Educational Psychology*, 74, 199-216.
- Mayer, R.E., & Gallini, J.K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.
- Medin, D.L. (1989). Concepts and structure. *American Psychologist*, 44, 1469-1481.
- Medin, D.L., Goldstone, R.L., & Gentner, D. (1993). Respects for similarity. *Psychological Review*, 100, 254-278.
- Medin, D.L., & Ross, B.H. (1989). The specific character of abstract thought: Categorization, problem solving, and induction. In: R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, Vol. 5, pp. 189-223. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Miller, G.A., & Johnson-Laird, P.N. (1976). *Language and Perception*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Müller-Fonfara, R., & Scholl, W. (1992). *Mathematik 4. Wahrscheinlichkeitsrechnung, Kombinatorik, Statistik, numerische Verfahren, Differentialgleichungen*. Gütersloh: Bertelsmann.
- Norman, D.A., & Rumelhart, D.E. (1975). *Explorations in cognition*. San Francisco: Freeman.
- Norman, D.A., Rumelhart, D.E., & the LNR Group (1975). *Explorations in Cognition*. San Francisco: Freeman.
- Novick, L.R. (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14, 510-520.
- Novick, L.R. & Holyoak, K.J. (1991). Mathematical problem solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 389-415.
- Palmer, S.E. (1976). The nature of perceptual representation: An examination of the analog/propositional controversy. In: R.C. Schank & B.L. Nash-Webber (Eds.), *Theoretical issues in natural language processing*, pp. 165-172. Cambridge, MA: Bolt, Beranek, and Newman.
- Pezdek, K., & Royer, J.M. (1974). The role of comprehension in learning concret and abstract sentences. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 13, 551-558.

- Pirolli, P.L., & Anderson, J.R. (1985). The role of learning from examples in the acquisition of recursive programming skill. *Canadian Journal of Psychology*, *39*, 240-272.
- Ratcliff, R., & McKoon, G. (1989). Similarity information versus relational information: Differences in time course of retrieval. *Cognitive Psychology*, *21*, 139-155.
- Rattermann, M.J. & Gentner, D. (1987). Analogy and similarity: Determinants of accessibility and inferential soundness. *Proceedings of the Ninth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reed, S.J. (1984). Analogical reasoning in social judgment: The importance of causal theories. *Journal of Personality and Social Psychology*, *46*, 14-25.
- Reed, S.K. (1987). A structure-mapping model for word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 124-139.
- Reed, S.K., Dempster, A., & Ettinger, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *11*, 106-125.
- Reed, S.K., Ernst, G.W., & Banerji, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive Psychology*, *6*, 436-450.
- Reeves, L.M., & Weisberg, R.W. (1994). The role of content and abstract information in analogical transfer. *Psychological Bulletin*, *115*, 381-400.
- Riesbeck, C.K. (1981). Failure-driven reminding for incremental learning. *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vancouver, BC.
- Rips, L. (1989). Similarity, typicality, and categorization. In: S. Vosiadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 21-59. New York: Cambridge University Press.
- Ross, B.H. (1984). Reminders and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive Psychology*, *16*, 317-416.
- Ross, B.H. (1987). This is like that: The use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 629-639.
- Ross, B.H. (1989a). Distinguishing types of superficial similarities: Different effects on the access and use of earlier examples. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 456-468.
- Ross, B.H. (1989b). Reminders in learning and instruction. In: S. Vosiadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 438-469. New York: Cambridge University Press.
- Ross, B.H. (1997). Effects of principle explanation and superficial similarity on analogical mapping in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *23*, 427-440.
- Ross, B.H. (2000). The effects of category use on learning categories. *Memory & Cognition*, *28*, 51-63.

- Ross, B.H., & Bradshaw, G.L. (1994). Encoding effects of reminders. *Memory & Cognition*, 22, 591-605.
- Ross, B.H., & Kennedy, P.T. (1990). Generalizing from the use of earlier examples in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 42-55.
- Ross, B.H., & Kilbane, M.C. (1997). Effects of principle explanation and superficial similarity on analogical mapping in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 427-440.
- Ross, B.H., & Sofka, M.D. (1986). *Reminders: Noticing, remembering, and using specific knowledge of earlier problems*. Unpublished manuscript, University of Illinois, Department of Psychology, Urbana-Champaign.
- Rumelhart, D.E., & Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R.C. Anderson, R.J. Spiro, & W.E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge*, pp. 99-135. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schank, R.C. (1980a). Failure-driven memory. *Cognition and Brain Theory*, 4, 41-60.
- Schank, R.C. (1980b). Language and memory. *Cognitive Science*, 4, 243-284.
- Schank, R.C. (1982). *Dynamic memory*. New York: Cambridge University Press.
- Schank, R.C., & Abelson, R.P. (1977). *Scripts, Goals, and Understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schiano, D., Cooper, L.A., & Glaser, R. (1984). *Aptitude-related differences in strategies for the representation and solution of standardized figural analogy problems*. Unpublished manuscript. National Institute of Education Milestone Report, Learning, Research, and Development Center, Pittsburgh, PA.
- Schoenfeld, A.H., & Herrmann, D.J. (1982). Problem perception and knowledge structure in expert and novice mathematical problem solvers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8, 484-494.
- Schumacher, R.M. & Gentner, D. (1988). Transfer of training as analogical mapping. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18, 592-600.
- Seifert, C.M., McKoon, G., Abelson, R., & Ratcliff, R. (1986). Memory connections between thematically similar episodes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12, 220-231.
- Shepard, R.N. (1967). Recognition memory for words, sentences, and pictures. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 156-163.
- Silver, E.A. (1979). Student perceptions of relatedness among mathematical verbal problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 10, 195-210.
- Silver, E.A. (1981). Recall of mathematical information: Solving related problems. *Journal of Research in Mathematical Education*, 12, 54-64.
- Simon, H.A., & Hayes, J.R. (1976). The understanding process: Problem isomorphs. *Cognitive Psychology*, 8, 165-190.

- Smith, L. (1989). From global similarity to kinds of similarity: The construction of dimensions in development. In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 146-178. New York: Cambridge University Press.
- Spellman, B.A., & Holyoak, K.J. (1996). Pragmatics in analogical mapping. *Cognitive Psychology*, 31, 307-346.
- Standing L. (1973). Learning 10,000 pictures. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 25, 207-222.
- Sternberg, R.J. (1977). Component processes in analogical reasoning. *Psychological Review*, 84, 353-378.
- Sternberg, R.J. (1996). *Cognitive Psychology*. Fort Worth u.a.: Harcourt Brace College Publishers.
- Sweller, J., & Cooper, G.A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2, 59-89.
- Thagard, P. (1988a). *Computational philosophy of science*. Cambridge, MA: MIT-Press.
- Thagard, P. (1988b). Dimensions of analogy. In: D.H. Helman (Ed.), *Analogical reasoning: Perspectives of artificial intelligence, cognitive science, and philosophy*, pp. 105-124. Dordrecht, NL: Kluwer.
- Tourangeau, R., & Sternberg, R.J. (1982). Understanding and appreciating metaphors. *Cognition*, 11, 203-244.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, 84, 327-352.
- van Briel, W., Neverling, R., & Riemer, W. (1985). *Leistungskurs Analysis*. Bayerischer Schulbuch-Verlag: München.
- VanderStoep, S.W., & Seifert, C.M. (1993). Learning „how“ versus learning „when“: Improving transfer of problem-solving principles. *Journal of Learning Sciences*, 3, 93-111.
- von Woringen, F. (?). *Märchen*. Leipzig: Gustav Fock.
- Vosniadou, S. (1989). In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 470-497. New York: Cambridge University Press.
- Vosniadou, S., & Ortony, A. (1989). In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*, pp. 470-497. New York: Cambridge University Press.
- Winston, P.H. (1980). Learning and reasoning by analogy. *Communications of the ACM*, 23, 689-703.

ANHANG

7. ANHANG

MATERIAL ZU EXPERIMENT 1: ERPROBUNG DES VERSUCHSMATERIALS

1. Mündliche Instruktion

Im folgenden sollst Du 3 verschiedene Aufgaben lösen, für jede hast Du 10 Minuten Zeit.

Es handelt sich um mathematische Aufgaben, aber es sind keine speziellen Kenntnisse oder Rechenkünste erforderlich.

Es kommt mir nicht nur auf die richtige Lösung, sondern auch auf den Lösungsweg an. Bringe deshalb alle Ideen und Versuche zu Papier (in Stichpunkten oder als Skizze), auch wenn sie nicht zur richtigen Lösung führen. Denke sozusagen mit dem Stift!

Fange für einen neuen Versuch einen neuen Stichpunkt oder eine neue Skizze an, statt alte zu verbessern.

Links auf jedem Lösungsblatt ist eine Spalte mit Kästchen. Nach jeweils 40 Sekunden ertönt ein Signal. Bitte markiere dann jeweils das Kästchen in der Höhe, wo Du gerade mit der Bearbeitung bist. Wie das funktioniert, zeige ich gleich anhand eines Beispiels.

Bearbeite die Aufgaben bitte in der vorgegebenen Reihenfolge und kehre nicht zu früheren Aufgaben zurück. Selbst dann nicht, wenn Dir später die Lösung einfallen sollte.

Rechts oben auf jedem Blatt ist ein Rahmen, in dem sich manchmal eine Abbildung befindet, welche Dir bei der Lösung der Aufgabe weiterhelfen könnte.

Die Lösung einer Aufgabe muß nicht perfekt konstruiert sein, sollte aber als solche erkennbar sein. Wenn Du meinst, daß Du die richtige Lösung gefunden hast, überprüfe bitte, ob sie alle Aspekte der Aufgabenstellung erfüllt. Suche so viele Lösungen als möglich!

Wenn das Signal zum Ende einer Aufgabe gegeben wird, drehe die Arbeitsblätter um und warte bis zur nächsten Anweisung.

Beginne bitte nicht mit einer neuen Aufgabe, bevor ich Dich dazu auffordere.

Die Aufgaben sind relativ schwer und es ist es nicht ganz leicht, auf die richtige Idee zu kommen. Laß Dich dadurch nicht entmutigen. Es kommt in erster Linie darauf an, wie Du die Lösung suchst, und nicht, wie schnell Du sie findest. Suche es deshalb auch dann weiter nach einen Lösungsweg, wenn Dir im Moment nichts mehr zu der Aufgabe einfällt.

Wenn bis hierher alles klar ist, kommt jetzt eine Beispielaufgabe zum besseren Verständnis.

Viel Spaß mit den Aufgaben!

2. Beispielaufgabe

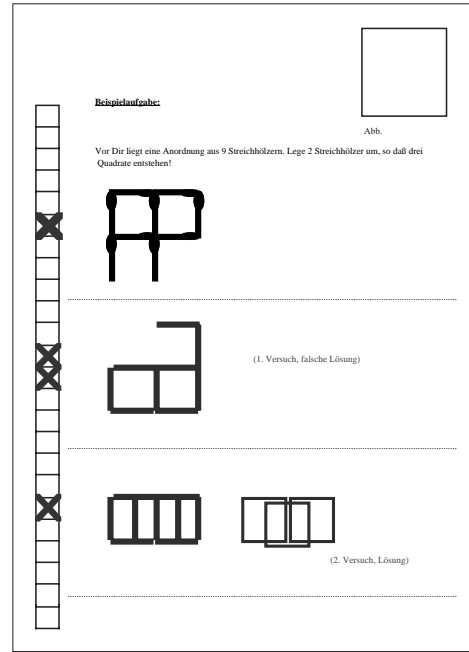
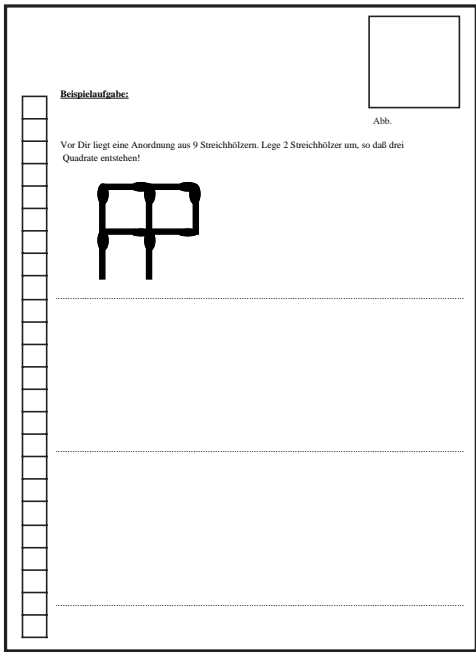
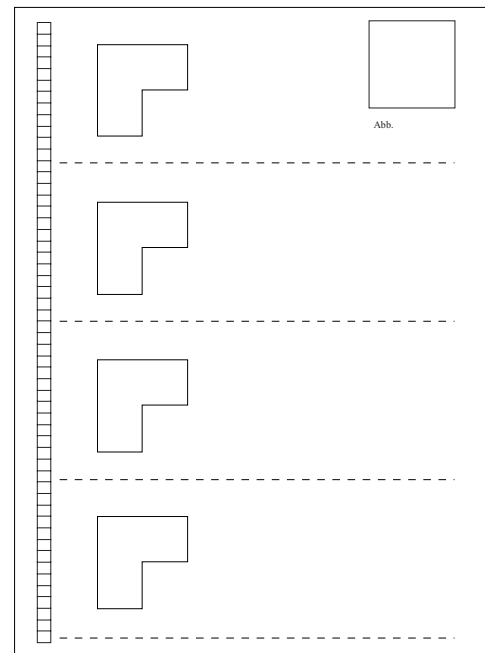
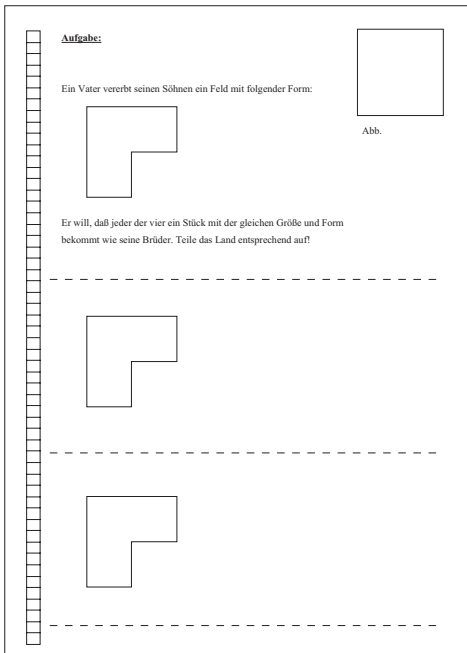


Abb. A1: Verwendete Beispielaufgabe (Overheadfolie) und vervollständigte Beispielaufgabe aus Experiment 1.

3. Arbeitsheft



Aufgabe:

Teile die Fläche der folgenden Figur in vier form- und größengleiche Stücke auf!

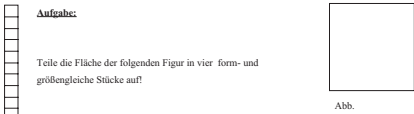


Abb.

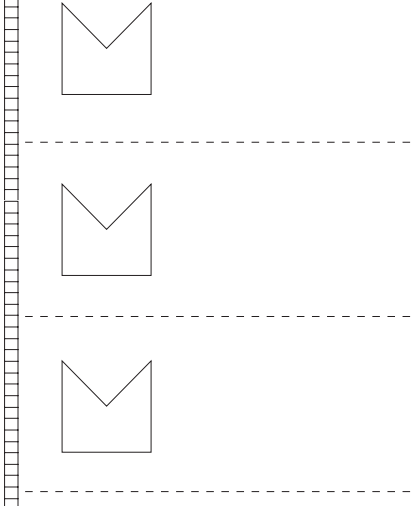
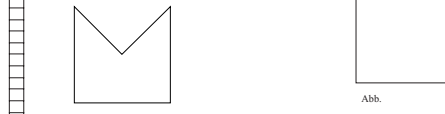
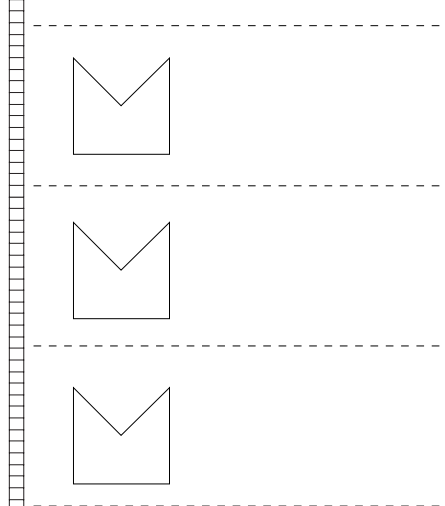



Abb.



Aufgabe:

Ein Gärtner bekommt folgenden Auftrag:
„Pflanze 12 Blüme in 6 gerade Reihen zu je 4 Blümen!“
Wie kann er das Problem lösen?

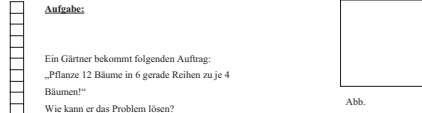


Abb.

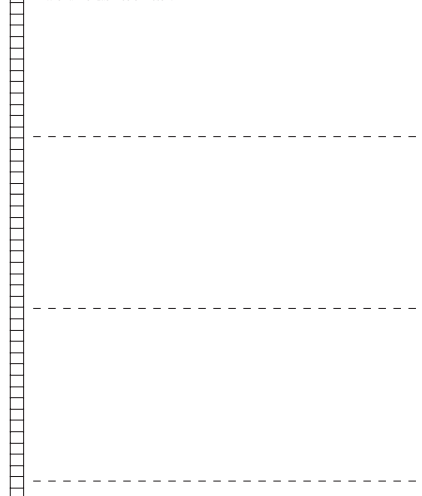




Abb.

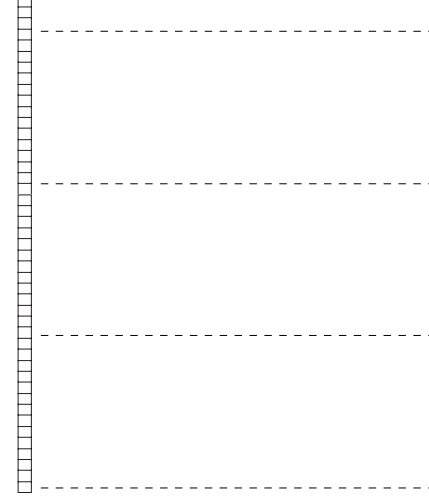


Abb. A2: Verwendete Arbeitsblätter aus Experiment 1.

3.1. In die Rahmen eingesetzte Basisfiguren

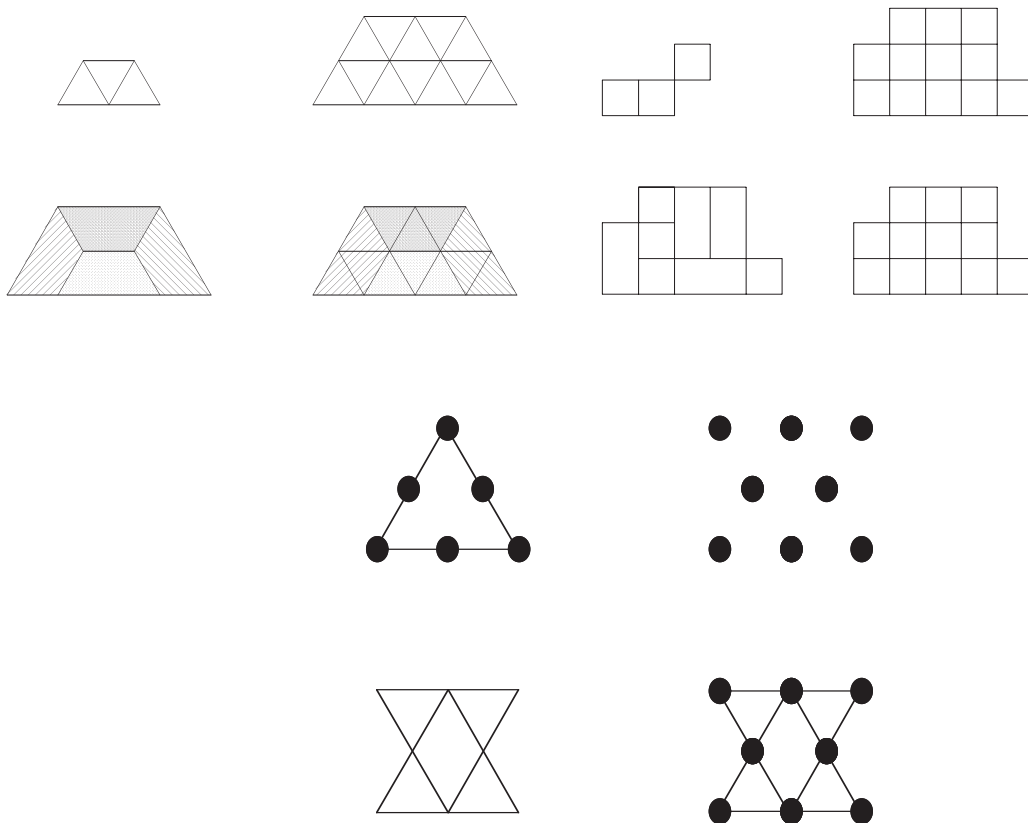


Abb. A3: Basisfiguren zur Farmaufgabe, „Bischofsmütze“ und Baumpflanzaufgabe in den Versionen KT, KG, TG und KTG.

4. Demographischer Fragebogen

Vielen Dank für die Mitarbeit!

Zum Abschluß bitte ich Dich noch um folgende Angaben:

Alter:

Geschlecht:

Muttersprache: deutsch

Hast Du schon vor dem Experiment einige der Aufgaben gekannt? Wenn ja, welche?

Haben Dir die Bilder rechts oben bei der Bearbeitung der Aufgaben geholfen? Wenn ja, in welcher Form?

MATERIAL ZU EXPERIMENT 2: ...ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ÄHNLICHKEIT UND NUTZBARKEIT

1. Erste Instruktion

Herzlichen Dank, daß Du Dich bereit erklärt hast, an diesem Experiment teilzunehmen!

Der Versuch besteht aus 2 Teilen: Zunächst sollst Du eine Geometrieaufgabe lösen.

Keine Panik: Dafür braucht man keine speziellen Mathematikkenntnisse!

Die Aufgabe bekommst Du nach dieser Instruktion auf den Bildschirm, indem Du die rote WEITER-Taste drückst. Zum Bearbeiten der Aufgabe bekommst Du Papier, in das die betreffende Figur schon eingezeichnet ist.

Wenn Du die Lösung gefunden und überprüft hast, drücke noch einmal die rote WEITER-Taste.

Danach bekommst Du die Anleitung für den zweiten Teil des Experimentes.

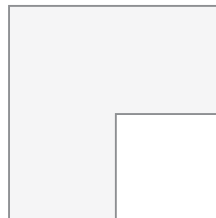
Jetzt besteht die Möglichkeit, Fragen zu stellen.

Viel Spaß bei der ersten Aufgabe! Wenn soweit alles klar ist, drücke bitte jetzt die rote WEITER-Taste.

2. Farmaufgabe

Aufgabe 1

Ein Vater vererbt seinen Söhnen ein Feld mit folgender Form:



Er will, daß jeder der vier ein Stück Land mit der gleichen Größe und Form bekommt wie seine Brüder.
Teile das Land entsprechend auf!

Abb. A4: Farmaufgabe.

3. Arbeitsblätter zur Farmaufgabe

Exp. 2A (kariertes Papier), Exp. 2B (unliniertes Papier)

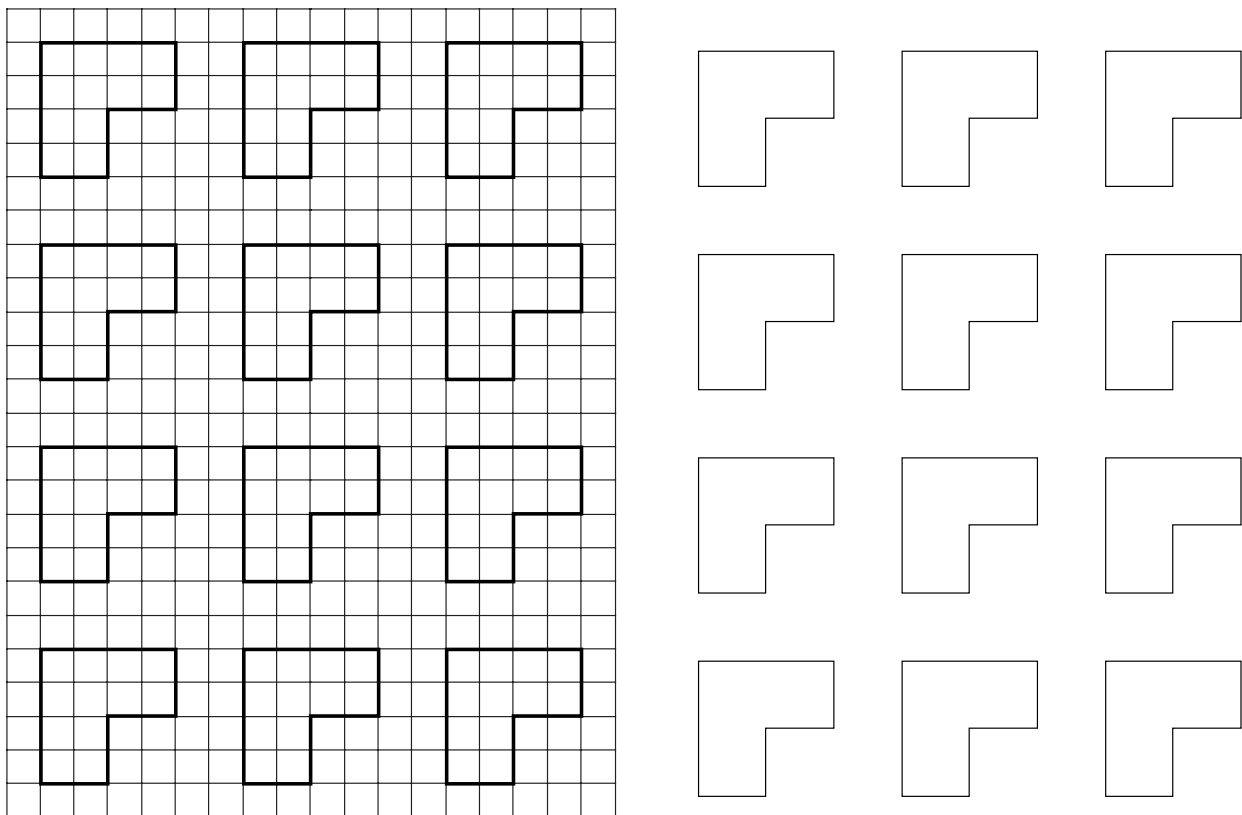


Abb. A5: Arbeitsblätter zur Farmaufgabe (Exp. 2A: kariert; Exp. 2B: unliniert).

4. Zweite Instruktion

Vielen Dank für die Bearbeitung der ersten Aufgabe!

Nun zum zweiten Teil: Im Folgenden geht es darum, einige Bilder mit der Figur aus der ersten Aufgabe zu vergleichen. Dazu sollst Du drei Aufgaben bearbeiten.

Die erste lautet:

Stelle Dir vor, Du bist ein(e) MathelehrerIn und willst Deinen Schülern die Farmaufgabe stellen. Um ihnen die Lösung etwas zu erleichtern, gibst Du ihnen eines der folgenden 11 Bilder. Wähle das Bild aus, von dem Du glaubst, daß es das hilfreichste ist, um die Farmaufgabe zu lösen!

Unter jedem Bild steht die dazugehörige Nummer. Drücke die Taste mit der Nummer des hilfreichsten Bildes!

Um die 11 Bilder auf den Bildschirm zu bekommen, drücke jetzt bitte die rote Leertaste.

5. Tafel mit den elf Basisfiguren

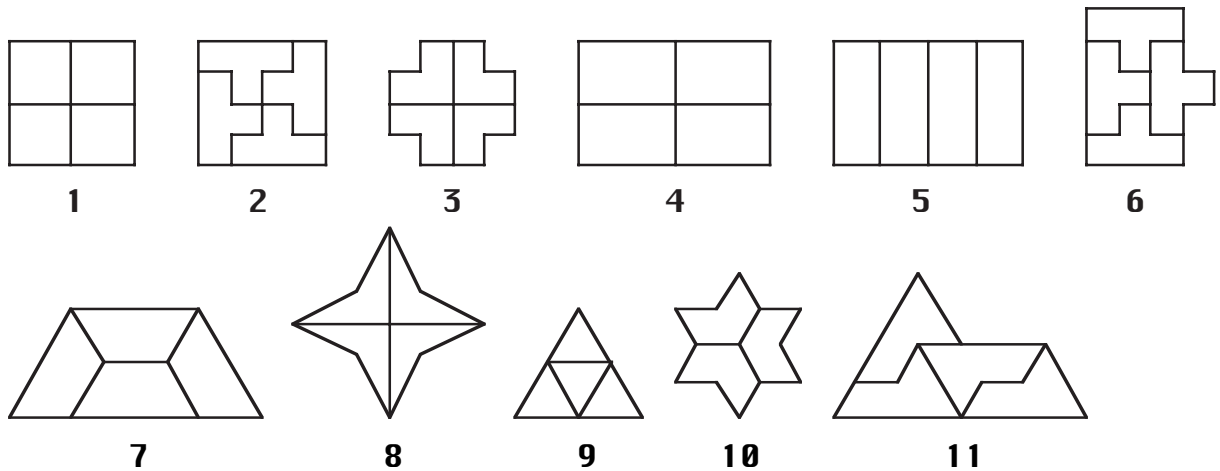


Abb. A6: Tafel mit elf potentiellen Basisfiguren zur Farmaufgabe aus Experiment 2.

6. Dritte Instruktion

Die zweite Bildaufgabe besteht darin, die 11 Bilder, die Du eben gesehen hast, mit der Farmfigur zu vergleichen.

Um die Aufgabe etwas zu vereinfachen, sollst Du jeweils einen Aspekt der Figuren vergleichen. Links erscheint jeweils ein Teil der Farmfigur und rechts ein entsprechender Teil von einem der anderen Bilder. Du sollst jeweils entscheiden, wie ähnlich sich beide Bilder sehen, und eine der folgenden Tasten drücken:

- 1 bedeutet, daß sich die Bilder überhaupt nicht ähnlich sehen.
- 2 bedeutet, daß sie sich eher unähnlich sehen.
- 3 bedeutet, daß sie sich weder ähnlich noch unähnlich sehen.
- 4 bedeutet, daß sie sich ein wenig ähneln.
- 5 bedeutet, daß beide Bilder identisch sind.

Die Abstände zwischen zwei Skalenpunkten sollen etwa gleich groß sein. Und die Beschreibungen sollen als Orientierung dienen.

Diese Skala bekommst Du auch noch einmal als Erinnerungstütze auf Papier. Wenn Du die entsprechende Taste gedrückt hast, erscheint jeweils das nächste Figurenpaar.

Nach dem letzten Figurenpaar bekommst Du die Anleitung für die letzte Aufgabe.

Wenn Du keine weiteren Fragen hast, drücke jetzt bitte die rote Leertaste. Viel Spaß bei der Bearbeitung!

7. Ähnlichkeitsskala

Ähnlichkeitsskala:

1 — 2 — 3 — 4 — 5

- 1 sieht der roten Figur **überhaupt nicht** ähnlich.
- 2 sieht der roten Figur **eher nicht** ähnlich/ ist eher unterschiedlich.
- 3 **weder** ähnlich **noch** verschieden.
- 4 sieht der roten Figur **ähnlich**.
- 5 sieht der roten Figur **sehr ähnlich**/ ist (fast) identisch.

Abb. A7: Ähnlichkeitsskala aus Experiment 2.

8. Basisfiguren in den Versionen

	G,	T,	K, KG,	TG und KT
Farmfigur				
Figur 1				
Figur 2				
Figur 3				
Figur 4				
Figur 5				
Figur 6				
Figur 7				
Figur 8				
Figur 9				
Figur 10				
Figur 11				

Abb. A8: Elf potentielle Basisfiguren zur Farmaufgabe in Experiment 2 (Versionen G, T, K; KG, TG, KT).

9. Vierte Instruktion

Als letztes sollst Du noch einmal kurz die Nützlichkeit der 11 Figuren für die Farmaufgabe bewerten. Stelle Dir noch einmal vor, Du seist der Mathelehrer/die Mathelehrerin mit der Schulklasse.

Wähle jetzt, nachdem Du die Figuren ausführlich bewertet hast, noch einmal die Figur aus, die den Schülern am meisten bei der Bearbeitung der Farmaufgabe helfen könnte, und wähle danach die zweitbeste Figur und so weiter, bis Du alle Figuren durchnummeriert hast.

Die Figuren bekommst Du als Papierkärtchen. Drücke nacheinander die Tasten mit der Nummer der Figur Deiner Wahl.

Wenn Du keine weiteren Fragen hast, drücke jetzt bitte die rote WEITER-Taste!

10. Demographischer Fragebogen

Demographischer Fragebogen

Geschlecht: männlich
 weiblich

Alter: Jahre

Muttersprache: deutsch andere:

Beschäftigung: SchülerIn Klasse:
 Schultyp:
 StudentIn Semester:
 Fach:
 Auszubildende(r)
 Lehrjahr:
 Fach:

MATERIAL ZU EXPERIMENT 3: EINE ABBILDUNG

1. Erste Instruktion

Einleitung

Herzlichen Dank, daß Du Dich bereit erklärt hast, an diesem Experiment teilzunehmen!

Das Experiment besteht aus mehreren Aufgaben, die Du nacheinander auf dem Bildschirm dargeboten bekommst.

Außerdem bekommst Du jeweils einige Arbeitsblätter, um die Aufgaben zu bearbeiten.

Die Aufgabenstellung für die erste Aufgabe bekommst Du mit der roten WEITER-Taste auf den Bildschirm.

2. Zweite Instruktion

1. Teil

Zuerst bekommst Du eine geometrische Figur auf den Bildschirm. Deine Aufgabe besteht darin, alle Eigenschaften der Figur aufschreiben, die Dir einfallen. Dafür hast Du 5 Minuten Zeit.

Die Antworten schreibe bitte auf das Arbeitsblatt, das vor Dir liegt.

Es ist egal, in welcher Reihenfolge Du Deine Ideen zu Papier bringst. Es reichen Stichpunkte.

Falls Du dazu noch Fragen hast, beantworte ich sie gern, ansonsten drücke jetzt die rote WEITER-Taste und beginne dann mit der Aufgabe.

3. Basisfiguren

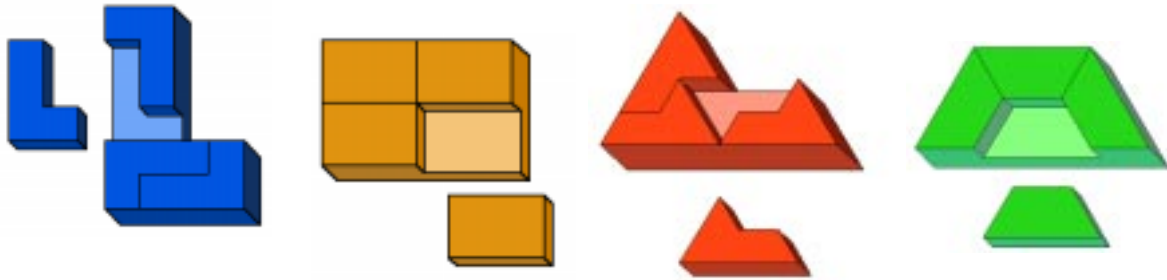


Abb. A9: Basisfiguren zur Farmaufgabe in den Experimenten 3 und 4.

4. Arbeitsblatt

Eigenschaften der Figur(en)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Dritte Instruktion

Vielen Dank für die Bearbeitung!

Jetzt zur zweiten Aufgabe:

Am Ende des Experiments wird noch einmal geprüft werden, wie gut Du Dich an das Bild erinnern kannst, das Du eben beschrieben hast.

Deshalb hast Du jetzt noch einmal eine Minute Zeit, Dir die Figur gründlich anzusehen.

Um das Bild wieder auf den Bildschirm zu bekommen, drücke bitte die rote WEITER-Taste.

6. Vierte Instruktion

Zeichne bitte jetzt die Figur auf das nächste Arbeitsblatt! Es kommt dabei nicht auf Schönheit und die genauen Maße an. Es reicht eine Skizze der Figur.

Bitte zeichne von der Figur die Draufsicht, d.h. male nur die 2-dimensionale Ansicht und nicht den dreidimensionalen Körper!

Drücke, wenn Du die Figur gezeichnet hast, die rote WEITER-Taste.

7. Arbeitsblatt

Skizze der Figur:

8. Fünfte Instruktion

2. Teil

Zur Bearbeitung der nächsten Aufgabe bekommst Du so viele Arbeitsblätter, wie Du benötigst. Die Lösung ist leichter zu finden, wenn Du Deine Ideen auf dem Papier ausprobierst und sie nicht allein „im Kopf“ suchst.

Wenn Du meinst, daß Du die richtige Lösung aufgezeichnet hast, drücke die rote WEITER-Taste. Die Aufgabe bekommst Du jetzt ebenfalls mit der roten WEITER-Taste auf den Bildschirm.

9. Farmaufgabe

entspricht der Farmaufgabe aus Experiment 2.

10. Arbeitsblätter

entsprechen den karierten Arbeitsblättern aus Experiment 2A.

11. Sechste Instruktion

3. Teil

Erinnere Dich bitte jetzt an das Bild, das Du am Anfang beschrieben hattest.

Versuche jetzt noch einmal, die Figur so genau wie möglich zu skizzieren.

Benutze dazu das nächste Arbeitsblatt! Es kommt auch hier nicht auf Schönheit oder die exakte Größe an. Es genügt, wenn Du frei hand malst.

Zeichne noch einmal nur die Draufsicht, d.h. die 2-dimensionale Figur.

Drücke, wenn Du mit der Skizze fertig bist, die rote WEITER-Taste, um zur letzten Aufgabe zu kommen.

12. Arbeitsblatt

ist identisch mit dem Arbeitsblatt aus 7.

13. Siebente Instruktion

Als letztes bitte ich Dich um einige statistische Angaben, die auf den letzten beiden Arbeitsblättern abgedruckt sind.

Vielen Dank für die Mitarbeit!

14. Demographischer Fragebogen

Statistische Angaben:

Alter: Jahre
Geschlecht: o männlich o weiblich
Muttersprache: o deutsch o andere:
Beschäftigung: o StudentIn o Fach:
 o SchülerIn o Klasse:
 o sonstiges:

...noch ein paar Fragen zum Experiment:

Kannst Du das Bild vom Anfang (genau dieses Bild) bereits vor dem Experiment? Wenn ja, woher?

Kannst Du das Farmproblem bereits vor dem Experiment? Wenn ja, woher?

Hat Dir das Bild vom Anfang bei der Lösung des Farmproblems geholfen? Wenn ja, wie?

Hast Du Verbesserungsvorschläge oder Anmerkungen zum Experiment?

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

MATERIAL ZU EXPERIMENT 4: ZWEI ABBILDUNGEN

1. Erste Instruktion

Einleitung

Herzlichen Dank, daß Du Dich bereit erklärt hast, an diesem Experiment teilzunehmen!

Das Experiment besteht aus mehreren Aufgaben, die Du nacheinander auf dem Bildschirm dargeboten bekommst. Außerdem bekommst Du jeweils einige Arbeitsblätter, um die Aufgaben zu bearbeiten.

Die Aufgabenstellung für die erste Aufgabe bekommst Du mit der roten WEITER-Taste auf den Bildschirm.

2. Zweite Instruktion

1. Teil

Zuerst bekommst Du 2 geometrische Figuren. Du sollst möglichst schnell alle Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufschreiben, die Dir einfallen. Dafür hast Du 5 Minuten Zeit.

Die Antworten schreibe bitte auf die beiden Arbeitsblätter, die vor Dir liegen.

Es ist egal, ob Du zuerst die Gemeinsamkeiten oder zuerst die Unterschiede aufschreibst, oder ob Du beides gleichzeitig bearbeitest.

Falls Du dazu noch Fragen hast, beantworte ich sie gern, ansonsten drücke jetzt die rote WEITER-Taste und beginne dann mit der Aufgabe.

3. Basisfiguren

sind identisch mit den Basisfiguren aus Experiment 3.

4. Arbeitsblätter

Gemeinsamkeiten der Figuren:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Unterschiede zwischen den Figuren:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Dritte Instruktion

ist identisch mit der dritten Instruktion aus Experiment 3.

6. Vierte Instruktion

Zeichne bitte jetzt beide Figuren auf das nächste Arbeitsblatt!

Es kommt dabei nicht auf Schönheit und die genauen Maße an. Es reicht, wenn Du die Bilder frei hand malst.

Bitte zeichne von beiden Figuren die Draufsicht, d.h. skizziere nur die zweidimensionalen Figuren und nicht die dreidimensionalen Körper!

Drücke, wenn Du beide Figuren gezeichnet hast, die rote WEITER-Taste, um die nächste Aufgabe zu bekommen.

7. Arbeitsblatt

Skizze der ersten Figur(en) (links):

Skizze der zweiten Figur(en) (rechts):

8. Fünfte Instruktion

2. Teil

Als nächstes bekommst Du 3 Teilungsaufgaben.

Dabei sollst Du jeweils eine vorgegebene Figur in 4 form- und größengleiche Stücke unterteilen.

Zur Bearbeitung bekommst Du jeweils so viele Arbeitsblätter, wie Du benötigst.

Die Lösungen sind leichter zu finden, wenn Du Deine Ideen auf dem Papier ausprobierst und sie nicht allein „im Kopf“ suchst. Wenn Du meinst, daß Du die richtige Lösung zu einer Aufgabe aufgezeichnet hast, drücke die rote WEITER-Taste. Danach bekommst Du jeweils die nächste Aufgabe.

Zur ersten Aufgabe kommst Du mit der roten WEITER-Taste!

9. Farmaufgabe

ist identisch mit der Farmaufgabe aus Experiment 2.

10. Arbeitsblätter zur Farmaufgabe

sind identisch mit den Arbeitsblättern zur Farmaufgabe in Experiment 2A (kariertes Papier).

11. Zweite und dritte Teilungsaufgabe

jeweils nicht als Basisfiguren präsentierte Gesamtfiguren:

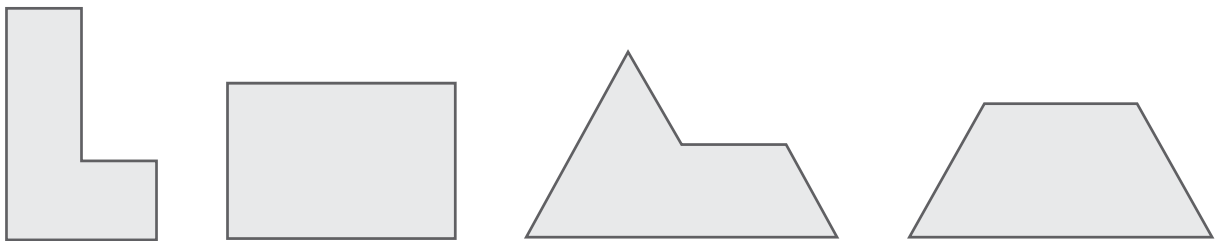


Abb. A10: Gesamtfiguren zur zweiten und dritten Teilungsaufgabe in Experiment 4.

2. Teilungsaufgabe

Ein Vater vererbt seinen Söhnen ein Feld mit folgender Form:

(entsprechende Gesamtfigur eingesetzt)

Er will, daß jeder der vier ein Stück Land mit der gleichen Größe und Form bekommt wie seine Brüder.

Teile das Land entsprechend auf!

Zur nächsten Aufgabe mit der roten WEITER-Taste.

3. Teilungsaufgabe

Ein Vater vererbt seinen Söhnen ein Feld mit folgender Form:

(entsprechende Figur eingesetzt)

Er will, daß jeder der vier ein Stück Land mit der gleichen Größe und Form bekommt wie seine Brüder.

Teile das Land entsprechend auf!

Zur nächsten Aufgabe mit der roten WEITER-Taste.

12. Arbeitsblätter

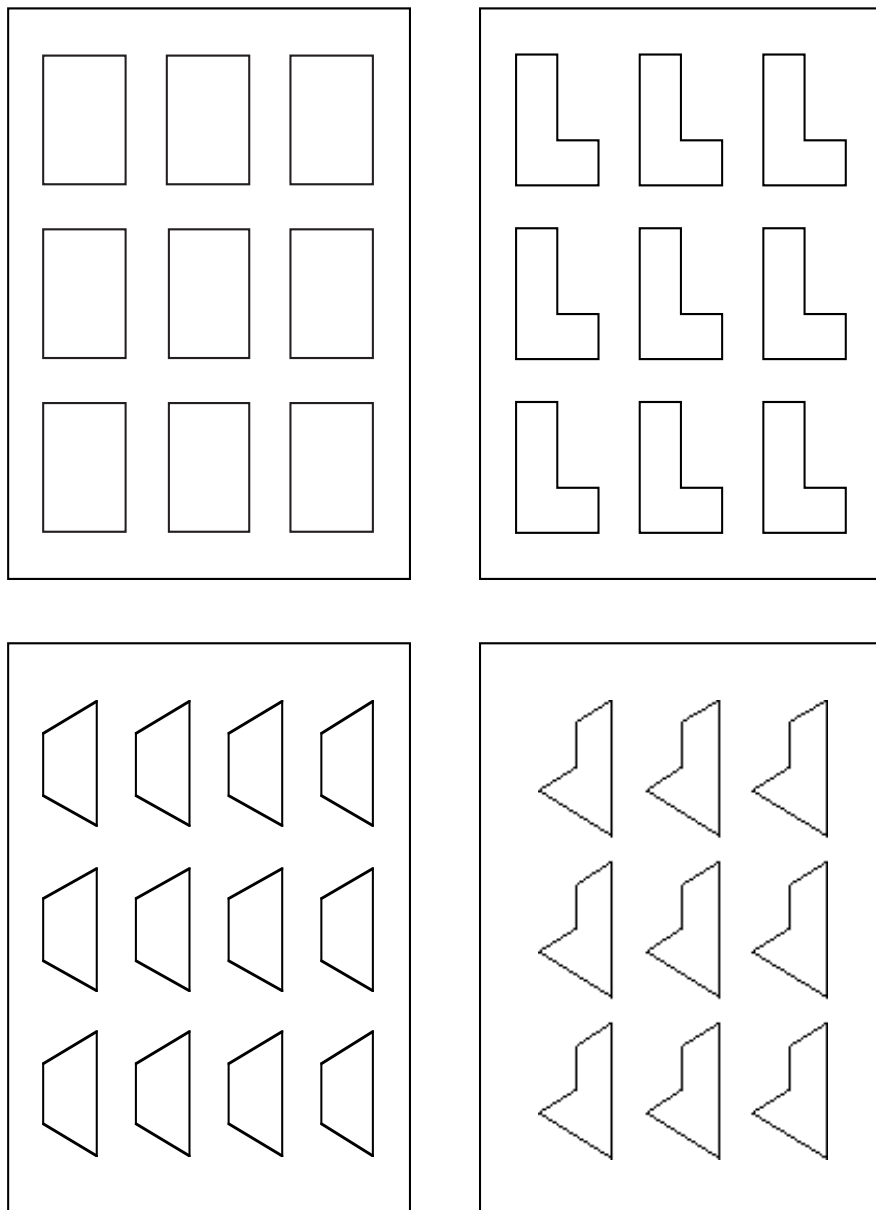


Abb. A11: Arbeitsblätter zur zweiten und dritten Teilungsaufgabe (Rechteck, L-Figur; Trapez, Rechteck).

13. Sechste Instruktion

3. Teil

Erinnere Dich bitte jetzt an die beiden Bilder, die Du am Anfang beschrieben hattest.

Versuche jetzt noch einmal, sie so genau wie möglich zu zeichnen. Benutze dazu das nächste Arbeitsblatt! Es kommt auch hier nicht auf Schönheit oder die exakte Größe an. Es genügt, wenn Du die Bilder frei hand malst. Zeichne noch einmal nur die Draufsicht beider Körper, d.h. die 2-dimensionalen Figuren.

Drücke, wenn Du mit den Skizzen fertig bist, die rote WEITER-Taste, um zur letzten Aufgabe zu kommen.

14. Arbeitsblatt

ist identisch mit Arbeitsblatt unter 7.

15. Siebente Instruktion

Als letztes bitte ich Dich um einige statistische Angaben, die auf den letzten beiden Arbeitsblättern abgedruckt sind.

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

16. Demographischer Fragebogen

Statistische Angaben:

Alter: Jahre
Geschlecht: o männlich o weiblich
Beschäftigung: o StudentIn o Fach:
 o SchülerIn o Klasse:
 o sonstiges:
Muttersprache: o deutsch o andere:

...noch ein paar Fragen zum Experiment:

Kanntest Du die Bilder vom Anfang (genau diese Bilder) bereits vor dem Experiment? Wenn ja, woher?

Kanntest Du das Farmproblem bereits vor dem Experiment? Wenn ja, woher?

Haben Dir die Bilder vom Anfang bei der Lösung des Farmproblems geholfen? Wenn ja, wie?

Hast Du Verbesserungsvorschläge oder Anmerkungen zum Experiment?

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

MATERIAL ZU EXPERIMENT 5: 18 ABBILDUNGEN OHNE HINWEIS

1. Erste Instruktion (auf dem Monitor)

Herzlichen Dank, daß Du Dich bereit erklärt hast, an diesem Experiment teilzunehmen!

Das Experiment besteht aus mehreren Aufgaben, die Du nacheinander auf dem Bildschirm dargeboten bekommst. Wenn nötig, bekommst Du einige Arbeitsblätter, um die Aufgaben zu bearbeiten.

Wenn Du noch Fragen hast, stelle sie bitte jetzt.

Ansonsten bekommst Du jetzt die Anleitung für die erste Aufgabe vom Versuchsleiter.

2. Zweite Instruktion (auf Papier)

Teil 1

Im folgenden werden Dir nacheinander verschiedene Figuren auf dem Bildschirm präsentiert. Allen Figuren liegt ein gemeinsames Prinzip zugrunde.

Deine Aufgabe besteht darin, dieses Prinzip nach möglichst wenigen Durchgängen herauszufinden.

Du bekommst das jeweils nächste Bild mit der rot markierten WEITER-Taste auf den Bildschirm.

Formuliere bitte nach jeder Abbildung das Prinzip, das Du hinter diesen Figuren vermutest und teile es dem Versuchsleiter mündlich mit.

Neben der Information, um die es hier geht, enthalten die Figuren natürlich noch andere Gemeinsamkeiten. Stimmt Deine Aussage mit dem gesuchten Prinzip überein, wird die Aufgabe abgebrochen und nach einer kurzen Pause folgt die nächste Aufgabe. Stimmt Deine Aussage nicht mit dem gesuchten Prinzip überein, so erscheint mit WEITER die nächste Figur.

Mache bitte innerhalb der Aufgabe keine Pausen.

Du darfst jede Figur so lange betrachten, wie Du möchtest, solltest diese Zeit jedoch so kurz wie möglich wählen.

Wenn Du noch Fragen hast, hast Du jetzt Gelegenheit, sie zu stellen. (Bei der Bearbeitung können leider keine Fragen beantwortet werden.) Ansonsten bekommst Du mit WEITER die erste Figur auf den Bildschirm. Viel Spaß bei der Bearbeitung!

3. Basisfiguren

3.1. Rechtwinklige Basisfiguren

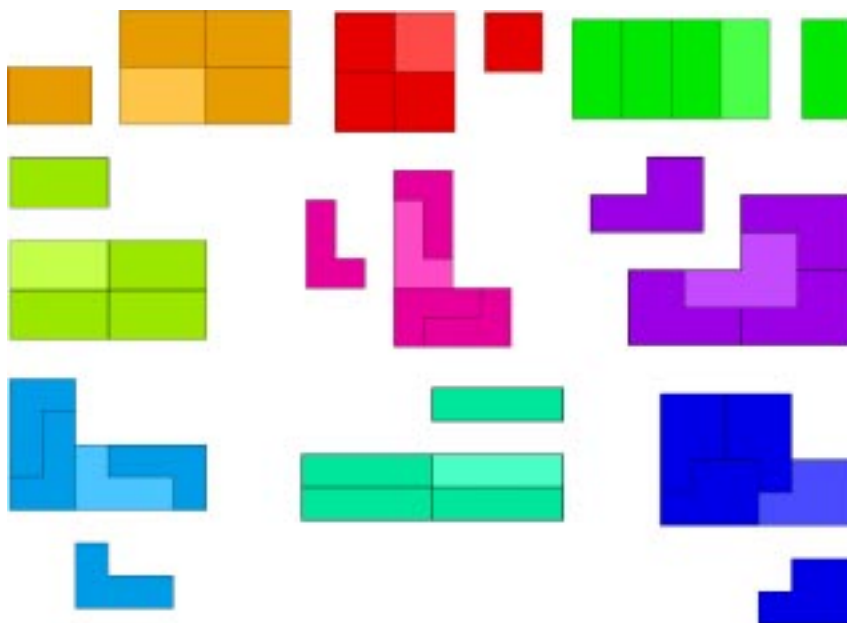


Abb. A12: Rechtwinklige Basisfiguren zu rep4-Teilungsaufgaben.

3.2. Nicht-rechtwinklige Basisfiguren

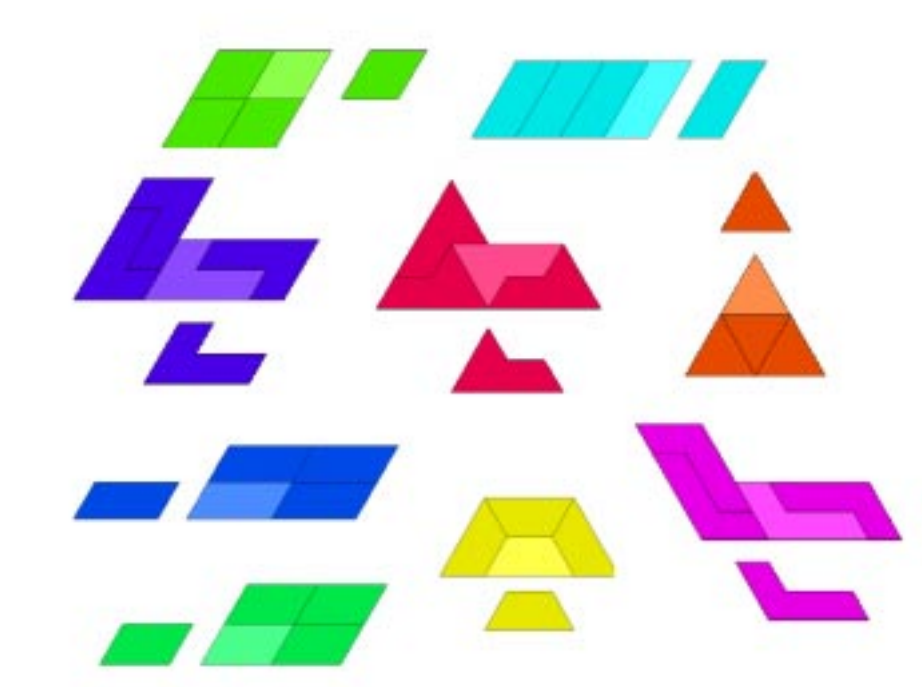


Abb. A13: Nicht-rechtwinklige Basisfiguren zu rep4-Teilungsaufgaben.

4. rep4-Prinzip am Beispiel der gemischten Serie

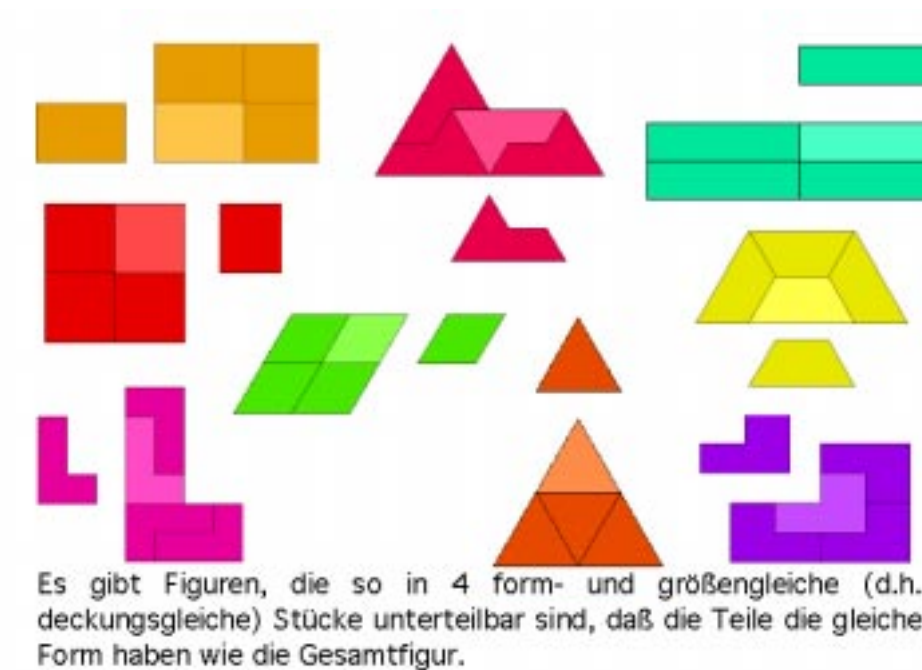


Abb. A14: Verbalisiertes rep4-Prinzip am Beispiel der gemischten Serie (rechtwinklige und nicht rechtwinklige Basisfiguren).

5. Dritte Instruktion (auf dem Monitor)

Vielen Dank für die Bearbeitung!

Jetzt zu den nächsten Aufgaben:

Teil 2

Als nächstes bekommst Du 3 Teilungsaufgaben. Zur Bearbeitung bekommst Du so viele Arbeitsblätter, wie Du benötigst.

Die Lösung ist leichter zu finden, wenn Du Deine Ideen auf dem Papier ausprobierst und sie nicht allein „im Kopf“ suchst.

Wenn Du meinst, daß Du die richtige Lösung aufgezeichnet hast, drücke die rote WEITER-Taste. Danach bekommst Du jeweils die nächste Aufgabe.

Wenn Du keine weiteren Fragen hast, kommst Du mit WEITER zur ersten Aufgabe!

6. Farmaufgabe

ist identisch mit der Farmaufgabe aus Experiment 2.

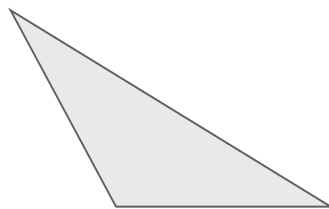
7. Arbeitsblätter zur Farmaufgabe

sind identisch mit den Arbeitsblättern zur Farmaufgabe aus Experiment 2B (unliniertes Papier).

8. Zweite Teilungsaufgabe (Dreieck)

Aufgabe 2

Ein Vater vererbt seinen Söhnen ein Feld mit folgender Form:



Er will, daß jeder der vier ein Stück Land mit der gleichen Größe und Form bekommt wie seine Brüder.

Teile das Land entsprechend auf!

Abb. A15: Dreieck-Aufgabe in den Experimenten 5 und 6.

9. Dritte Teilungsaufgabe (Quadrat)

Aufgabe 3

Ein Vater vererbt seinen Söhnen ein Feld mit folgender Form:



Er will, daß jeder der **fünf** ein Stück Land mit der gleichen Größe und Form bekommt wie seine Brüder.
Teile das Land entsprechend auf!

Abb. A16: Quadrat-Aufgabe in den Experimenten 5 und 6.

10. Arbeitsblätter zur Dreieck-Aufgabe und Quadrat-Aufgabe

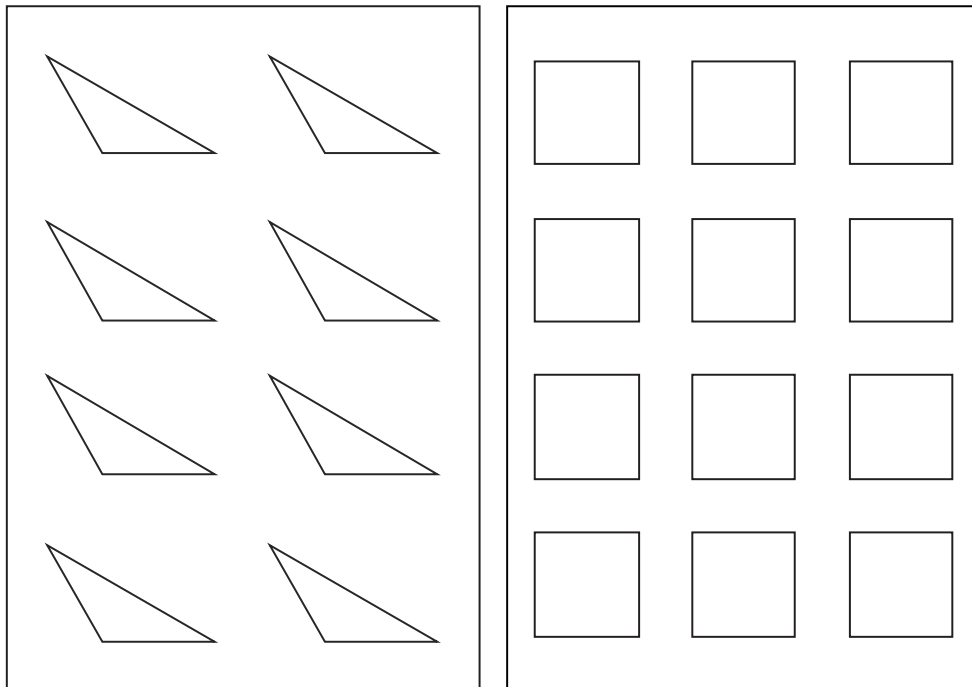


Abb. A17: Arbeitsblätter zu Dreieck- und Quadrataufgabe.

11. Vierte Instruktion

Vielen Dank für die Bearbeitung!

Zum Abschluß bitte ich Dich um einige statistische Angaben, die auf die letzten 3 Arbeitsblätter gedruckt sind.

Vielen Dank für Deine Mitarbeit und einen guten Tag!!!

12. Demographischer Fragebogen

Demographischer Fragebogen

- o Alter:** Jahre
- o Geschlecht:** **o männlich** **o weiblich**
- o Muttersprache:** **o deutsch** **o andere:**
- o Beschäftigung:** **o StudentIn:** Fach:
Semester:
- o SchülerIn:** Klasse:
Schultyp:
- o sonstiges:**

Vp-Nr.:

Datum:

Version:

1. Kannst Du das Farmproblem (1. Teilaufgabe) bereits vor dem Experiment?
2. Falls nicht, haben Dir die Figuren aus dem ersten Teil bei der Lösung des Farmproblems geholfen?
3. Wenn ja, wie?
4. Wie hast Du diese Aufgabe gelöst?
5. Hast Du Verbesserungsvorschläge, Anmerkungen, Beschwerden?

MATERIAL ZU EXPERIMENT 6: 18 ABBILDUNGEN MIT HINWEIS

1. Erste Instruktion (auf dem Monitor)

ist identisch mit Instruktion 1 aus Experiment 5.

2. Zweite Instruktion (auf Papier)

ist identisch mit Instruktion 2 aus Experiment 5.

3. Basisfiguren

sind identisch mit Basisfiguren aus Experiment 5.

4. rep4-Prinzip am Beispiel der gemischten Serie

ist identisch mit rep4-Tafeln aus Experiment 5.

5. Dritte Instruktion (auf dem Monitor)

Vielen Dank für die Bearbeitung!

Jetzt zu den nächsten Aufgaben:

Als nächstes bekommst Du 2 Anwendungsbeispiele zum eben illustrierten Prinzip.

Zur Bearbeitung dieser Aufgaben bekommst Du so viele Arbeitsblätter, wie Du benötigst.

Die Lösung ist leichter zu finden, wenn Du Deine Ideen auf dem Papier ausprobierst und sie nicht allein „im Kopf“ suchst.

Wenn Du meinst, daß Du die richtige Lösung aufgezeichnet hast, drücke die rote WEITER-Taste. Danach bekommst Du jeweils die nächste Aufgabe.

Wenn Du keine weiteren Fragen hast, kommst Du mit WEITER zur ersten Aufgabe!

6. Farmaufgabe

ist identisch mit der Farmaufgabe aus Experiment 2.

7. Arbeitsblätter zur Farmaufgabe

sind identisch mit den Arbeitsblättern zur Farmaufgabe aus Experiment 2B (unliniertes Papier).

8. Zweite Teilungsaufgabe (Dreieck)

ist identisch mit der Dreieck-Aufgabe aus Experiment 5.

9. Arbeitsblätter zur Dreieck-Aufgabe

sind identisch mit den Arbeitsblättern zur Dreieck-Aufgabe aus Experiment 5.

10. Dritte Teilungsaufgabe (Quadrat)

ist identisch mit der Quadrat-Aufgabe aus Experiment 5.

11. Arbeitsblätter zur Quadrat-Aufgabe

sind identisch mit den Arbeitsblättern zur Quadrat-Aufgabe aus Experiment 5.

12. Vierte Instruktion

ist identisch mit Instruktion 4 aus Experiment 5.

13. Demographischer Fragebogen

ist identisch mit dem demographischen Fragebogen aus Experiment 5.

Abbildungen, Diagramme und Tabellen

	Seite
Abb. 2.1:	Farmaufgabe. 53
Abb. 2.2:	„Bischofsmütze“. 53
Abb. 2.3:	Baumpflanzaufgabe. 53
Abb. 2.4:	Lösungen der Farmaufgabe und der „Bischofsmütze“. 54
Abb. 2.5:	Eine Lösung der Baumpflanzaufgabe. 55
Abb. 2.6:	Im Experiment 1 verwendete Beispielaufgabe. 56
Abb. 2.7:	Potentielle Basisfiguren (in Version TG) für die Farmaufgabe. 57
Abb. 2.8a:	Basisfigur zur Farmaufgabe in den Versionen KT, KG; TG, KTG. 59
Abb. 2.8b:	Basisfigur zur „Bischofsmütze“ in den Versionen KT, KG; TG, KTG. 59
Abb. 2.8c:	Basisfigur zur Baumpflanzaufgabe in den Versionen KT, KG; TG, KTG. 59
Abb. 2.9:	Alternativlösungen zur Farmaufgabe unter Vernachlässigung der Geschlossenheitsforderung. 66
Abb. 2.10:	„Ver-/Ankauf von Land“ und Verschiebung von Flächen als alternative Lösungsstrategien zur Farmaufgabe. 67
Abb. 2.11:	Lösung der Aufgabe „Bischofsmütze“. 68
Abb. 2.12:	Geeignete Darstellungsform für Bearbeitung der Baumpflanzaufgabe. 70
Abb. 2.13:	Anordnung von 12 Bäumen in gerade Reihen zu je vier Bäumen. 71
Abb. 2.13a:	Lösungen der Baumpflanzaufgabe inklusive der Dreistadt-Lösung. 71
Abb. 2.14:	In Experiment 2 verwendete Figuren. 77
Abb. 2.15a:	Versuchsanordnung in Experiment 2B zur Ähnlichkeitsbeurteilung der Gesamtfiguren (G) für Figur 3. 79
Abb. 2.15b:	Versuchsanordnung in Experiment 2B zur Ähnlichkeitsbeurteilung der Teilfiguren (T) für Figur 3. 79
Abb. 2.15c:	Versuchsanordnung in Experiment 2B zur Ähnlichkeitsbeurteilung der Teilfiguren (K) für Figur 3. 80
Abb. 2.16:	In Experiment 2 verwendete Ähnlichkeitsskala. 81
Abb. 2.17:	Mittelwerte der Ähnlichkeitsurteile pro Figur. 86
Abb. 2.18:	Durchschnittliche Ränge der Basisfiguren in der Nutzbarkeitsbeurteilung der 20 Probanden in Experiment 2. 88
Abb. 3.1:	In den Experimenten 3 bis 6 verwendete Basisfiguren (Nr. 1-18). 96
Abb. 3.2:	In den Experiment 3 und 4 verwendete Basisfiguren (L, Rechteck, Kirche und Trapez). 98
Abb. 4.1:	In Experiment 4 verwendete Basisfiguren (L, Rechteck, Kirche, Trapez). 104
Abb. 4.2:	Alternativlösungen zum rep4-Prinzip für die Teilungsaufgaben der Basisfiguren. 110
Abb. 5.1:	Lösungen der zweiten und dritten Teilungsaufgabe in den Exp. 5 und 6. 115

Abb. 5.2:	Lösungsskizze zur Farmaufgabe (Puzzle-Strategie).	118
Abb. 5.3:	Häufig abgegebene, aber unzulässige Lösung der Dreiecksaufgabe in Exp. 5 sowie entsprechende Skizze zur Farmaufgabe.	121
Abb. III.1:	Ausgangssituation für die strukturelle Zuordnung zwischen 2 Problem-situationen	137
Abb. III.2:	Lösung der 2. und 3. Teilungsaufgabe in den Exp. 5 und 6.	138
Abb. III.3:	Oberflächentransfer	143
Abb. III.4:	Varianten des analytischen Lösungsweges in Abhängigkeit von der zuvor bearbeiteten Basisfigur	144
Abb. A1:	Verwendete Beispielaufgabe (Overheadfolie) und vervollständigte Beispielaufgabe aus Experiment 1.	II
Abb. A2:	Verwendete Arbeitsblätter aus Experiment 1.	II-III
Abb. A3:	Basisfiguren zur Farmaufgabe, „Bischofsmütze“ und Baumpflanzaufgabe in den Versionen KT, KG, TG und KTG.	IV
Abb. A4:	Farmaufgabe.	V
Abb. A5:	Arbeitsblätter zur Farmaufgabe (Exp. 2A: kariert; Exp. 2B: unliniert).	VI
Abb. A6:	Tafel mit elf potentiellen Basisfiguren zur Farmaufgabe aus Experiment 2.	VII
Abb. A7:	Ähnlichkeitsskala aus Experiment 2.	VIII
Abb. A8:	Elf potentielle Basisfiguren zur Farmaufgabe in Experiment 2 (Versionen G, T, K; KG, TG, KT).	IX
Abb. A9:	Basisfiguren zur Farmaufgabe in den Experimenten 3 und 4.	XI
Abb. A10:	Gesamtfiguren zur zweiten und dritten Teilungsaufgabe in Experiment 4.	XV
Abb. A11:	Arbeitsblätter zur zweiten und dritten Teilungsaufgabe (Rechteck, L-Figur; Trapez, Rechteck).	XVI
Abb. A12:	Rechtwinklige Basisfiguren zu rep4-Teilungsaufgaben.	XVIII
Abb. A13:	Nicht-rechtwinklige Basisfiguren zu rep4-Teilungsaufgaben.	XIX
Abb. A14:	Verbalisiertes rep4-Prinzip am Beispiel der gemischten Serie (rechtwinklige und nicht rechtwinklige Basisfiguren).	XIX
Abb. A15:	Dreieck-Aufgabe in den Experimenten 5 und 6.	XX
Abb. A16:	Quadrat-Aufgabe in den Experimenten 5 und 6.	XXI
Abb. A17:	Arbeitsblätter zu Dreieck- und Quadrataufgabe.	XXI
Diagr. 2.1:	Prozentuale Lösungshäufigkeiten in den Versionen der Farmaufgabe.	61
Diagr. 2.2:	Prozentuale Lösungshäufigkeiten in den Versionen der Baumpflanzaufgabe.	62
Diagr. 2.3:	Prozentuale Anteile der in Experiment 1 beobachteten Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe. (a-r; a-d; P)	72
Diagr. 2.4:	Prozentuale Anteile der in Experiment 1 beobachteten Lösungswege bei Bearbeitung der „Bischofsmütze“.	73
Diagr. 2.5:	In Exp.2 beobachtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.	82

Diagr. 2.6:	Mittelwerte der Ähnlichkeitsurteile pro Bild und Version.	84
Diagr. 3.1:	Lösungszeiten für die Farmaufgabe nach Bearbeitung einer Basisfigur.	100
Diagr. 3.2:	In Exp. 3 beobachtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.	101
Diagr. 4.1:	Lösungszeiten für die Farmaufgabe in den sechs Versionen in Exp. 4.	106
Diagr. 4.2:	Lösungszeiten nach Bearbeitung zweier Basisfiguren.	108
Diagr. 4.3:	Anzahl der Lösungsskizzen für die Farmaufgabe nach Bearbeitung zweier Basisfiguren.	108
Diagr. 4.4:	In Exp. 4 beobachtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.	109
Diagr. 4.5:	Anzahl in Experiment 4 genannter Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Basispaares.	111
Diagr. 5.1:	Lösungszeiten für die Farmaufgabe nach Bearbeitung von 18 Basisfiguren ohne Hinweis.	117
Diagr. 5.2:	Anzahl der Lösungsskizzen für die Farmaufgabe nach Bearbeitung von 18 Basisfiguren ohne Hinweis.	118
Diagr. 5.3:	In Experiment 5 beobachtete/berichtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.	120
Diagr. 5.4:	Angaben zur Nutzbarkeit der Basisfiguren bei Bearbeitung der Farmaufgabe in Experiment 5.	120
Diagr. 5.5:	Lösungszeiten in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in Experiment 5.	121
Diagr. 5.6:	Anzahl der Lösungsskizzen in den Versionen V, D und VD für die Teilaufgaben in Experiment 5.	122
Diagr. 6.1:	Lösungszeiten für die Farmaufgabe nach Bearbeitung von 18 Basisfiguren (Kontrollgruppe, ohne bzw. mit Hinweis).	126
Diagr. 6.2:	In Experiment 6 beobachtete/berichtete Lösungswege bei Bearbeitung der Farmaufgabe.	128
Diagr. 6.3:	Angaben zur Nutzbarkeit der Basisfiguren bei Bearbeitung der Farmaufgabe in Experiment 6.	129
Diagr. 6.4:	Lösungszeiten in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in Experiment 6.	130
Diagr. 6.5:	Lösungszeiten in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in den Experimenten 5 und 6.	131
Diagr. 6.6:	Anzahl der Lösungsskizzen in den Versionen V, D und VD für die 3 Teilaufgaben in den Experimenten 5 und 6.	131
Tab. 2.1:	Prozentuale Lösungshäufigkeiten bei Dreistadt (1969).	60
Tab. 2.2:	Prozentuale Lösungshäufigkeiten in Experiment 1.	61
Tab. 2.3:	Verteilung der Lösungshäufigkeiten in Experiment 1 (Farmaufgabe).	62

Tab. 2.4:	Verteilung der Lösungshäufigkeiten in Exp. 1 (Baumpflanzaufgabe).	63
Tab. 2.5:	Eigenschaften der in Experiment 2 verwendeten Basisfiguren.	78
Tab. 2.6:	Gemeinsame Rangreihe aller Probanden über die Nutzbarkeit der Basisfiguren, beginnend mit der nützlichsten Figur.	83
Tab. 2.7:	Häufigkeitsverteilung der abgegebenen Ähnlichkeitsurteile pro Figur und Version.	85
Tab. 2.8:	Arithmetische Mittel der Ähnlichkeitsurteile pro Figur.	86
Tab. 2.9:	Nutzbarste Figur pro Proband in der ersten bzw. zweiten Wahl.	87
Tab. 2.10:	Gemeinsame Nutzbarkeitsrangreihe der elf Basisfiguren für die 20 Probanden in Exp. 2.	88
Tab. 2.11:	Korrelation zwischen Ähnlichkeits- und Nutzbarkeitsurteilen in Exp. 2.	89
Tab. 4.1:	Verwendete Lösungswege in den Experimenten 2A, 3 und 4.	109
Tab. 4.2:	Lösungen der 4 Teilaufgaben zu den Basisfiguren .	110
Tab. III.1:	Lösungswege für die Farmaufgabe.	142
Tab. III.2:	Spezifischer Nutzen der Basisfiguren bei oberflächennahem Transfer.	144

LEBENS LAUF

Angela Brunstein

* 16.7.1973 in Neuruppin (Brandenburg)

TU Chemnitz

Institut für Psychologie

Allg. und Arbeitspsychologie

D-09107 Chemnitz

Tel.: +49-371-531-6411

email: Angela.Brunstein@phil.tu-chemnitz.de

- April 1993 – April 1997 Studium Diplom-Psychologie an der Universität Hamburg, FB Psychologie, mit Nebenfach Neurologie
- November 1994 – Januar 1996 Studentische Hilfskraft im DFG-Projekt “Textverstehen” (Kelter & Habel) an der Universität Hamburg, FB Informatik
- Mai 1997 – September 2000 Promotion in Psychologie mit den Nebenfächern Informatik und Neurologie im Rahmen des Graduiertenkollegs Kognitionswissenschaft der Universität Hamburg
Thema: Einfluß der visuellen Oberfläche bei bildhaften Analogien
- April 1997 – Juli 2000 Lehre am FB Psychologie der Universität Hamburg
Begleit- und Vertiefungsseminare in Allgemeiner Psychologie; Korrekturassistenz in Psychologischer Methodenlehre, inklusive Vordiplom
- seit Oktober 2000 wiss. Mitarbeiter in den DFG-Projekten “Benutzerorientierte Präsentation von Informationen im Internet” (Krems) sowie “Beeinflussung von Häufigkeitsschätzungen” (Sedlmeier & Wetzler)
- Chemnitz, den 01.11.2001