

Analoges Schließen bei Mensch und Maschine

Es gibt nichts Neues unter der Sonne

Ute Schmid

Fakultät WIAI Otto-Friedrich Universität Bamberg



29. Juni 2005

- 1 Allgegenwärtigkeit von Analogien
- 2 Grundlegende Konzepte
 - Charakterisierung von Analogien
 - Arten von Analogien
 - Teilprozesse beim Analogen Schließen
 - Analogie-Systeme
- 3 Analogie als Forschungsgebiet im Bereich Kognitive Systeme

Analogie als kognitives Grundprinzip

Analoges Schließen ist eine grundlegende höhere kognitive Fertigkeit:

Übertrag von Erfahrung aus einem Bereich („Quelle“) auf einen anderen Bereich („Ziel“).

Analogy pervades all our thinking, our everyday speech and our trivial conclusions as well as artistic ways of expression and the highest scientific achievements.

Polya, *How to Solve It*, 1945

Analogien in der Bibel

Wie eine Lilie unter Dornen, so ist meine Freundin unter allen andren Mädchen!

Wie ein Apfelbaum unter den Bäumen des Waldes, so ist mein Liebster unter allen andren Männern!

Das Hohe Lied Salomonis (2, 2–3)

Analogien in der Literatur

Das Alter verhält sich zum Leben, wie der Abend zum Tag; der Dichter nennt also den Abend ‚Alter des Tages‘, oder, wie Empedokles, das Alter ‚Abend des Lebens‘ oder ‚Sonnenuntergang des Lebens‘.

Aristoteles, Poetik, Kap. 21

Analogien in der Literatur

*Wünsche wie die Wolken sind,
Schiffen durch die stillen Räume,
Wer erkennt im lauen Wind,
Ob's Gedanken oder Träume?*

Eichendorff, Die Nachtblume

Analogien in der Literatur

Du bist mein Mond und ich bin deine Erde;

...

Rückert, Du bist mein Mond

Analogien in der Literatur

*Such' er den redlichen Gewinn!
Sei er kein schellenlauter Tor!
Es trägt Verstand und rechter Sinn
Mit wenig Kunst sich selber vor;
Und wenn's euch Ernst ist, was zu sagen,
Ist's nötig Worten nachzujagen?
Ja, Eure Reden, die so blinkend sind,
In denen ihr der Menschheit Schnitzel kräuselt,
Sind unerquicklich wie der Nebelwind,
Der herbstlich durch die dürren Blätter säuselt!*

Goethe, Faust I, Nacht

Analogien in Geschichte und Politik

Ende des Irak Kriegs – Ende des Zweiten Weltkriegs

Kapitalisten sind wie die Heuschrecken

Die Methode, nach der Analogie zu schließen, ist, wie überall, so auch in der Geschichte ein mächtiges Hilfsmittel; aber sie muß durch einen erheblichen Zweck gerechtfertigt, und mit ebensoviel Vorsicht als Beurteilung in Ausübung gebracht werden.

*Was heisst und zu welchem Ende studiert man Universalgeschichte?
Akademische Antrittsrede von Friedrich Schiller
am 26.5.1789 in Jena*

Analogien im Alltag

"I wish you'd solve the case, Miss Marple, like you did the time Miss Wetherby's gill of picked shrimps disappeared. And all because it reminded you of something quite different about a sack of coals." "You're laughing, my dear," said Miss Marple, "but after all, that is a very sound way of arriving at the truth. It's really what people call intuition and make such a fuss about. Intuition is like reading a word without having to spell it out. A child can't do that because it has had so little experience. But a grown-up person knows the word because they've seen it often before. You catch my meaning, Vicar?" "Yes," I said slowly, "I think I do. You mean that if a thing reminds you of something else – well, it's probably the same kind of thing."

Agatha Christie, *The Murder at the Vicarage*, 1930

Soziale Stereotype

Why do psychologists prefer lawyers to rats for their experiments?

- There are now more layers than rats;
- The psychologists found they were getting attached to the rats;
- And there are some things rats won't do.

(Paul Thagard, *Emotional Analogies and Analogical Inference*, 1998)

Analogien im Unterricht

In einem psychophysiologischen Experiment soll die subjektive Lautheit von 5 verschiedenen Tönen auf einer Ratingskala eingestuft werden. Da man davon ausgehen muss, dass die Lautheit eines Tones von der Lautheit der zuvor gehörten Töne abhängt, werden den Probanden alle möglichen Abfolgen dargeboten. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Proband als erste Abfolge 5 Töne mit aufsteigender objektiver Lautheit (vom leisesten zum lautesten Ton) erhält?

Analogien im Unterricht

In einem psychophysiologischen Experiment soll die subjektive Lautheit von 5 verschiedenen Tönen auf einer Ratingskala eingestuft werden. Da man davon ausgehen muss, dass die Lautheit eines Tones von der Lautheit der zuvor gehörten Töne abhängt, werden den Probanden alle möglichen Abfolgen dargeboten. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Proband als erste Abfolge 5 Töne mit aufsteigender objektiver Lautheit (vom leisesten zum lautesten Ton) erhält?

In einer Urne befinden sich 6 Kugeln mit unterschiedlichem Gewicht. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß die 6 Kugeln nacheinander in der Reihenfolge ihres Gewichtes (von der leichtesten bis zur schwersten Kugel) entnommen werden?

- mögliche Abfolgen von 6 Kugeln: $6!$ (Permutation)
- korrekte Abfolgen: 1
- Wahrscheinlichkeit: $1/6! = 1/720 = 0,0014$

Analogien im Unterricht

In einem psychophysiologischen Experiment soll die subjektive Lautheit von 5 verschiedenen Tönen auf einer Ratingskala eingestuft werden. Da man davon ausgehen muss, dass die Lautheit eines Tones von der Lautheit der zuvor gehörten Töne abhängt, werden den Probanden alle möglichen Abfolgen dargeboten. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Proband als erste Abfolge 5 Töne mit aufsteigender objektiver Lautheit (vom leisesten zum lautesten Ton) erhält?

In einer Urne befinden sich 6 Kugeln mit unterschiedlichem Gewicht. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß die 6 Kugeln nacheinander in der Reihenfolge ihres Gewichtes (von der leichtesten bis zur schwersten Kugel) entnommen werden?

- 6 Kugeln \leftrightarrow 5 Töne: $5!$ (Permutation)
- korrekte Abfolgen Gewicht \leftrightarrow Tonhöhe: 1
- Wahrscheinlichkeit: $1/5! = 1/120 = 0,0083$

Analogien im Unterricht: Beweise

Beweise: das Produkt zweier gerader Zahlen ist eine gerade Zahl

Analogien im Unterricht: Beweise

Beweise: das Produkt zweier gerader Zahlen ist eine gerade Zahl

Das Produkt zweier ungerader Zahlen ist eine ungerade Zahl.

Beweise:

- Ungerade Zahl: $even + 1 = 2N + 1$

- Produkt:

$$(2N+1) \cdot (2M+1) = 4NM + 2N + 2M + 1 = 2(2NM + N + M) + 1$$

Analogien im Unterricht: Beweise

Beweise: das Produkt zweier gerader Zahlen ist eine gerade Zahl

Das Produkt zweier ungerader Zahlen ist eine ungerade Zahl.

Beweise:

- Ungerade Zahl: $even + 1 = 2N + 1$

- Produkt:

$$(2N+1) \cdot (2M+1) = 4NM + 2N + 2M + 1 = 2(2NM + N + M) + 1$$

Analogie

- Gerade Zahl: $2N$

- Produkt: $2N \cdot 2M = 4NM = 2(2NM)$

Analogien in der Wissenschaft

Die Struktur des Atoms ist wie die Struktur des Sonnensystems.

Rutherford, 1911

Analogien als Quelle wissenschaftlicher (und künstlerischer)
Kreativität

Analogien in der Softwareentwicklung

Wiederverwendung versus Neuentwicklung von Programmcode

„Systematische Unterstützung von Reuse kann Entwicklungskosten um Faktor 4 verringern“

Defense Information Systems Agency, 1995

Analogie und Ähnlichkeit

	Attributes mapped to target	Relations mapped to target	Example
Mere Appearance	Many	Few	A sunflower is like the sun
Literal Similarity	Many	Many	The K5 solar system is like our solar system
Analogy	Few	Many	The atom is like our solar system
Abstraction	Few	Many	The atom is a central force system
Metaphor	x	x	<i>She is the sun of my live Sonnenkönig</i>

(Gentner, 1983, 1997)

Arten von Analogien

Proportional-Analogien

- „A verhält sich zu B wie C zu ?D“
- *Lilie zu Dornen wie Freundin zu Mädchen*
- einfachste Form von Analogie: Übertrag *einer* Relation
- *Ausgezeichnetes Exemplar einer Menge*

Arten von Analogien

Proportional-Analogien

- „A verhält sich zu B wie C zu ?D“
- *Lilie zu Dornen wie Freundin zu Mädchen*
- einfachste Form von Analogie: Übertrag *einer* Relation
- *Ausgezeichnetes Exemplar einer Menge*

Prädiktive/Erklärende Analogien

- Übertrag bekannter Prinzipien auf einen neuen Gegenstandsbereich
- Rutherford-Analogie
- „Miss Marple“ Analogien

Arten von Analogien

Prädiktive/Erklärende Analogien

- Übertrag bekannter Prinzipien auf einen neuen Gegenstandsbereich
- Rutherford-Analogie
- „Miss Marple“ Analogien

Analoges Problemlösen

- *within domain*, Nutzung von Beispielen
- Übertragung einer Lösung auf ein neues Problem
- Mathematische Probleme (Wahrscheinlichkeitsrechnung)
- Programmierprobleme
- Beziehung zum fallbasierten Schließen

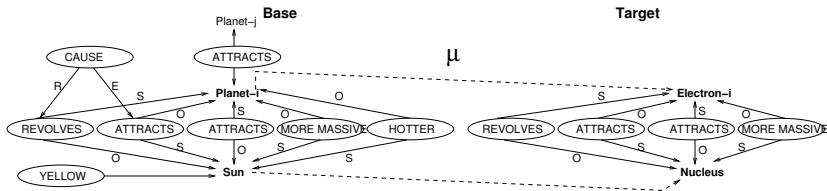
Teilprozesse beim Analogen Schließen

Teilprozesse im Überblick

- Repräsentation
- Abruf
- Strukturübertrag (*Mapping*)
- Inferenz/Transfer
- Lernen

(in allen kognitiven Theorien: Gentner, Holyoak, Keane, ...)

Beispiel – Repräsentation



Repräsentation

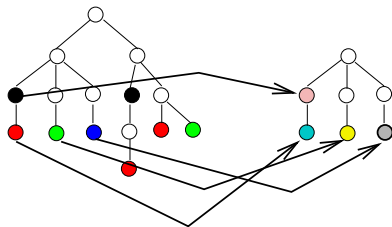
- als Struktur (Graph, Term, semantisches Netz, Schemahierarchie, ...)
- Problem: Art der Repräsentation bedingt Mapping-Erfolg
- z.B. *auf(a,b)* vs. *unter(b,a)*
- z.B. $x > y$ vs. $x - y > 0$

Abruf

- Flaschenhals des Analogie-Prozesses
- Durch Oberflächenmerkmale gesteuert (Merkmalsähnlichkeit, nicht Strukturähnlichkeit)
- Novizen scheitern meist bei der Identifikation einer geeigneten Quelle (Experimente von Novick, 1988)
- Lösung im Unterricht: wann immer möglich, Vorgabe der Quelle
- Lösung für Analogie-System: bereits Abruf basierend auf Strukturähnlichkeit

Strukturübertrag

- Herzstück des analogen Schließens
- Strukturerehaltende Abbildung
- Erster Ordnung (Relationen/Funktionen bleiben erhalten) oder höherer Ordnung
- In wohlstrukturierten, formalen Bereichen: Homomorphismus



Homomorphismus

- Strukturerhaltende Abbildung $f : S \rightarrow T$
- so dass $f(o_S(s_1, \dots, s_n)) = o_T(f(s_1), \dots, f(s_n))$

$$\begin{array}{ccc}
 S_1 \times \dots \times S_n & \xrightarrow{o_S} & S \\
 \downarrow f & = & \downarrow f \\
 T_1 \times \dots \times T_n & \xrightarrow{o_T} & T
 \end{array}$$

Homomorphismus

- Strukturerhaltende Abbildung $f : S \rightarrow T$
- so dass $f(o_S(s_1, \dots, s_n)) = o_T(f(s_1), \dots, f(s_n))$

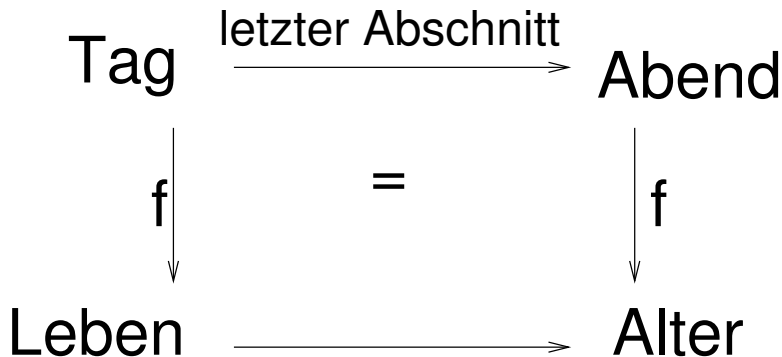
$$\begin{array}{ccc}
 S_1 \times \dots \times S_2 & \xrightarrow{o_S} & S \\
 \downarrow f & = & \downarrow f \\
 T_1 \times \dots \times T_2 & \xrightarrow{o_T} & T
 \end{array}$$

Homomorphismus

- Strukturerhaltende Abbildung $f : S \rightarrow T$
- so dass $f(o_S(s_1, \dots, s_n)) = o_T(f(s_1), \dots, f(s_n))$

$$\begin{array}{ccc}
 S_1 \times \dots \times S_2 & \xrightarrow{o_S} & S \\
 \downarrow f & = & \downarrow f \\
 T_1 \times \dots \times T_2 & \xrightarrow{o_T} & T
 \end{array}$$

Beispiel 1: Proportional-Analogie



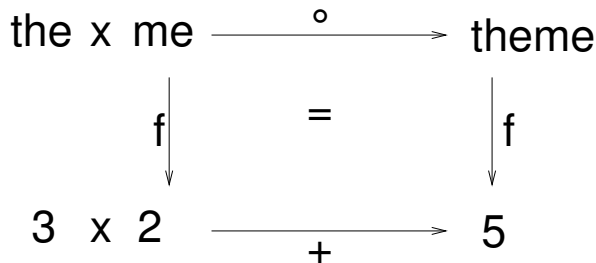
Beispiel 2: Proportional-Analogie

Veranschaulichung der Beziehung zwischen Konkatenation von Strings und Länge von Strings

$$\begin{array}{ccc}
 W_1 \times W_2 & \xrightarrow{\circ} & W \\
 \downarrow f & = & \downarrow f \\
 N_1 \times N_2 & \xrightarrow{+} & N
 \end{array}$$

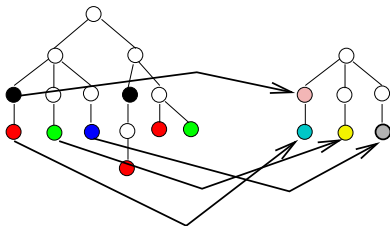
Beispiel 2: Proportional-Analogie

Veranschaulichung der Beziehung zwischen Konkatination von Strings und Länge von Strings



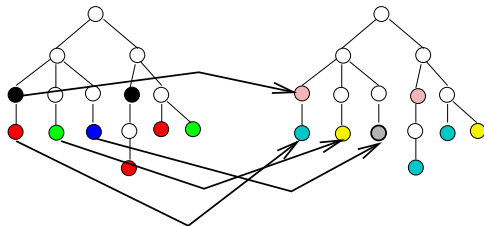
Transfer

- Übertrag von Information auf das Ziel auf Basis des Mappings
- „Inferenz“ zuvor unbekannter Charakteristika
- Transfer/Adaptation einer Lösung
- Auch bei erfolgreichem („korrekte“) Mapping kann der Transfer fehlschlagen (Novick & Holyoak, 1991)

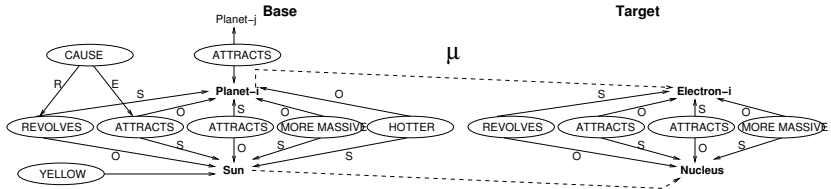


Transfer

- Übertrag von Information auf das Ziel auf Basis des Mappings
- „Inferenz“ zuvor unbekannter Charakteristika
- Transfer/Adaptation einer Lösung
- Auch bei erfolgreichem („korrekte“) Mapping kann der Transfer fehlschlagen (Novick & Holyoak, 1991)



Beispiel – Transfer



Lernen

- Erwerb allgemeinerer Schemata oder Regeln durch Abstraktion (Sonnensystem, Atom \leftrightarrow Zentralkraftsystem)
- Analogie als Anfängerstrategie: Erwerb allgemeinerer Konzepte macht analoges Schließen überflüssig

Analogie-Systeme I

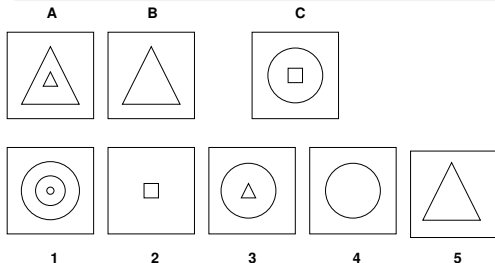
Kognitionspsychologische Systeme

- Forbus, Falkenhainer & Gentner (1989): SME (Structure Mapping Engine)
naive Physik
- Hummel & Holyoak (1997): LISA
Problemlösen (between domain)
- Anderson & Thompson (1989): Erweiterung der kognitiven Architektur ACT
Programmieren/Beweisen (within domain)

Analogie-Systeme II

KI Systeme

- Evans (1968): Geometrische Analogien (Intelligenztestaufgaben)
- Veloso & Carbonell (1993): Planerzeugung (Prodigy)
- O'Hara (1992): Geometrische Analogien (PAN)
- Hofstadter (1995): Copycat (Letter Strings)



Analogie-Systeme II

KI Systeme

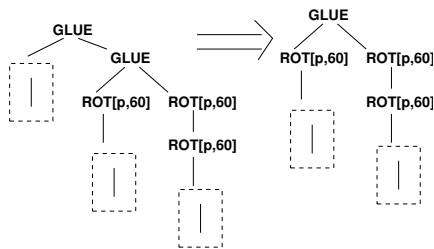
- Evans (1968): Geometrische Analogien (Intelligenztestaufgaben)
- Veloso & Carbonell (1993): Planerzeugung (Prodigy)
- O'Hara (1992): Geometrische Analogien (PAN)
- Hofstadter (1995): Copycat (Letter Strings)



Analogie-Systeme II

KI Systeme

- Evans (1968): Geometrische Analogien (Intelligenztestaufgaben)
- Veloso & Carbonell (1993): Planerzeugung (Prodigy)
- O'Hara (1992): Geometrische Analogien (PAN)
- Hofstadter (1995): Copycat (Letter Strings)



Analogie-Systeme II

KI Systeme

- Evans (1968): Geometrische Analogien (Intelligenztestaufgaben)
- Veloso & Carbonell (1993): Planerzeugung (Prodigy)
- O'Hara (1992): Geometrische Analogien (PAN)
- Hofstadter (1995): Copycat (Letter Strings)

abc : abd :: kji : ??

Direktes Mapping vs. Anti-Unifikation

Probleme

- Unflexible Repräsentation (separate Re-Repräsentationsprozesse bei PAN und Copycat)
- Mapping von Graphen $\hat{=}$ Subgraph-Isomorphie-Problem (NP-hart) (Heuristiken in SME und LISA)
- Transfer nur „Übertrag mit Ersetzung“, keine echte Adaptation (Vertauschungen, Löschungen)
- Lernen wird nicht, oder als separater Mechanismus modelliert

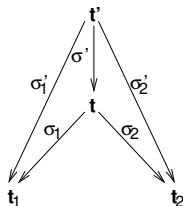
Direktes Mapping vs. Anti-Unifikation

Lösungsvorschlag

- Anti-Unifikation (Reynolds, 1970): Mapping via einer gemeinsamen Abstraktion
- Mapping wird direkt von der gemeinsamen Struktur gesteuert
- Erlaubt Einbeziehen von Gleichungstheorien zur Re-Repräsentation (Schmid, Gust, Kühnberger, Burghardt, 2003)
- Für first- und second order möglich (Hasker, 1995)

AU Beispiel

- $t_1 = \text{attracts}(\text{sun}, \text{planet-}i)$
- $t_2 = \text{attracts}(\text{nucleus}, \text{electron-}i)$
- can be generalized to
 $t = \text{attracts}(\text{central-body}, \text{orbiter})$
where 'central-body' and 'orbiter' are variables
- Calculating the abstraction results in the mapping
 $\varphi = \{(\text{sun}, \text{nucleus}) \mapsto \text{central-body},$
 $(\text{planet-}i, \text{electron-}i) \mapsto \text{orbiter}\}$
- Thereby, the necessary substitutions of variables by constants are also known:
 $\sigma_1 = \{ \text{central-body} \mapsto \text{sun}, \text{orbiter} \mapsto \text{planet-}i \}$ and
 $\sigma_2 = \{ \text{central-body} \mapsto \text{nucleus}, \text{orbiter} \mapsto \text{electron-}i \}$
- Now the mapping of *sun* onto *nucleus* can be performed by applying first φ and then σ_2 .

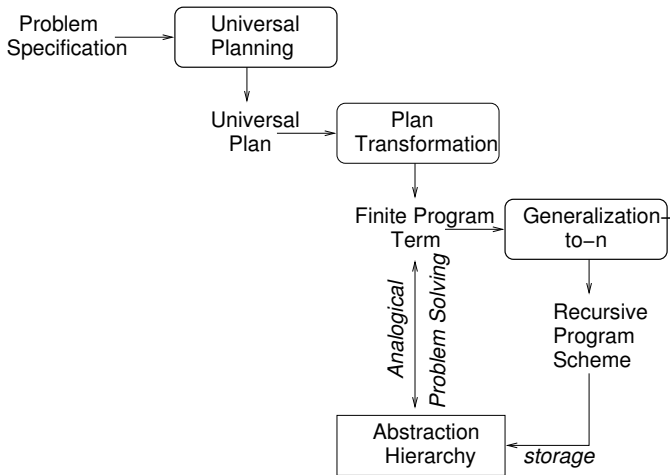


Anwendungspotential in der KI

Analogie als *weak method* für KI-Systeme

- Planungssysteme: Suche nach einem Plan i.A. exponentieller Aufwand
Alternative: Anpassung bereits vorhandener Pläne
- Programmsynthese: Generierung eines Programms aus I/O-Beispielen i.A. nicht vollautomatisch möglich
Alternative: Anpassung bereits vorhandener Programme

Das System IPAL



Schlussbemerkungen

- Analogie als Beispiel für ein Forschungsgebiet im Bereich Kognitive Systeme
- Aufklärung von Bedingungen von Prozessen beim menschlichen analogen Schließen
- Nutzung des Ansatzes als Methode zur Realisierung intelligenter Systeme

Vorlesung :
Mensa ::
Antrittsvorlesung :
?

Vorlesung :

Mensa ::

Antrittsvorlesung :

Verköstigung im Innenhof