

Modellierung Menschlichen Konzepterwerbs durch inkrementelles Entscheidungsbaum-Lernen

Michael Räther, Eric Steinkamp
Praktikum für das Fach Kognitive Systeme
Professur Angewandte Informatik / Kognitive Systeme
Universität Bamberg
Feldkirchenstrasse 21
96051 Bamberg
michael.raether@urz.uni-bamberg.de
eric-steinkamp@web.de

Zusammenfassung

Das Erlernen von Kategorien ist in der Psychologie von großer Bedeutung. Es erlaubt den Menschen zu Lernen, Kommunizieren und zu Denken. In unserer Arbeit möchten wir die bekanntesten Modelle, den Prototypenansatz, die Exemplarsicht und den regelbasierten Ansatz, der Kategorisierungsforschung vorstellen. Weiterhin wollen wir anhand eines Online-Experiments beweisen, dass das menschliche Konzept-Lernen durch ein inkrementelles regelbasiertes Entscheidungsbaumverfahren dargestellt werden kann. Mit der Auswertung des Experiments und einer anschließenden Diskussion stellen wir unsere Ergebnisse vor.

1 Einleitung

Eine unserer einfachsten Kompetenzen ist die Kategorisierung. Zum Beispiel erlaubt sie es dem Menschen Objekte so einzuschätzen, dass man richtig auf sie reagiert. Wenn der Mensch einem Tier im Wald begegnet, dann kann er anhand der Kategorie einschätzen, ob es sich um ein gefährliches oder ein harmloses Tier handelt. Je nachdem ob der Mensch das Tier zum Beispiel als Eichhörnchen oder als Bär einschätzt, reagiert er anders. Ohne Kategorien würde jedes Objekt einzigartig erscheinen (Waldmann, 2002). Beim Kategorisieren werden Gruppen von Objekten aufgrund ihrer Gemeinsamkeiten zu Konzepten zusammengefasst. Die Zuweisung eines Objekts zu einem Konzept bezeichnet man als Kategorisierung. Es werden Kategorien dazu verwendet, um Gruppen von Objekten oder Ereignisse wie zum Beispiel Hunde, Autos, Bücher oder Katastrophen auf Grund ihrer Gemeinsamkeiten zu individuellen Merkmalskombinationen zusammenzufassen. Konzepte können sowohl konkrete Objekte beschreiben wie zum Beispiel ein Buch, als auch abstrakte Dinge, wie Phantasie oder den Begriff „Demokratie“. Darüber hinaus kann man beliebig viele weitere neue Konzepte bilden, indem man sie miteinander verbindet.

Kategorien bzw. Konzepte werden vielseitig genutzt. Sie spielen eine zentrale Rolle in der Wahrnehmung, der Handlungsplanung, dem Lernen, der Kommunikation und dem Denken. Sie werden dazu verwendet, neue Erfahrungen mit bereits bekanntem Wissen in Kontakt zu bringen und dienen somit als Grundlage des Verstehens.. Konzepte werden im Lauf eines Lebens erworben und modifiziert und sind nicht angeboren.

Die meisten Forschungsarbeiten im Bereich der Kategorisierungsforschung beschäftigt sich damit, wie Kategorien repräsentiert werden und wie neue Konzepte bereits vorhandenen Kategorien zugeordnet werden. Hierbei gibt es mehrere Theorien, wie das vonstatten gehen kann. Dabei existieren starke Übereinstimmungen zwischen psychologischen Theorien des

ähnlichkeitsbasierten Konzepterwerbs und Ansätzen der automatischen Konzeptbildung bzw. Klassifikation im Bereich Maschinelles Lernen. Beispielsweise lassen die unten dargestellten psychologischen Ansätze der exemplarbasierten Klassifikation und der Prototypenklassifikation mit k-nächster-Nachbar-Verfahren modellieren. Der regelbasierte Ansatz, der in unserer Arbeit zentral ist, lässt sich durch Entscheidungsbaumalgorithmen modellieren (Mitchell, 1997).

Im Folgenden werden wir die psychologischen Ansätze des Ähnlichkeitsbasierten Konzepterwerbs vorstellen, insbesondere den Prototypen-Ansatz, die Exemplarsicht und die Regelbasierte Sicht. Des Weiteren gehen wir auf den theoretischen Hintergrund unseres Experimentes ein und werden unser Experiment zum Klassifizierungslernen vorstellen. Dabei gehen wir genauer auf die Hypothese, das verwendete Material und die Konzeption ein. Des Weiteren wie der Verlauf des Experimentes war und das Ergebnis ausgefallen ist. Mit einer abschließenden Diskussion versuchen wir weitere Ansätze zu verfolgen.

2 Psychologische Ansätze des ähnlichkeitsbasierten Konzepterwerbs

Ziel unserer Arbeit ist es, herauszufinden, ob menschliches Konzepterwerben als Entscheidungsbaum-Lernen modelliert werden kann, welches eine spezielle Form des regelbasierten Konzepterwerbes ist. Im Folgenden möchten wir die psychologischen Theorien zum ähnlichkeitsbasierten Konzepterwerb darstellen. Dabei orientieren wir uns an dem Überblicksartikel von Waldmann (2002).

2.1 Der Prototypen-Ansatz

Beim Prototypenansatz (auch probalistische Sicht genannt) werden Kategorien als Bündel von Merkmalen präsentiert, die typisch oder charakteristisch für die Kategorie sind, aber nicht unbedingt notwendig sind. Ein Vogel kann fliegen, muss aber nicht, wie z.B. ein Pinguin. Beim Erwerb einer Kategorie werden die charakteristischen Merkmale der Exemplare registriert. Aus ihnen werden Prototypen gebildet, die die typischen Merkmale der Exemplare zusammenfassen. Neue Objekte werden durch Ähnlichkeitsvergleich mit den Prototypen der bereits vorhandenen Kategorien klassifiziert. Hierbei erklärt die Aufnahme von charakteristischen Merkmalen, warum manche Exemplare als typischer empfunden werden, als andere und warum Kategoriegrenzen unscharf sein können.

Eine Möglichkeit, wie man sich die mentale Repräsentation von Kategorien gemäß der Prototypen-Sicht vorstellen kann, besteht darin, dass beim Lernen die charakteristischen Merkmale einer Kategorie abstrahiert und zu einer Repräsentation des Prototypen der Kategorie zusammengeführt werden. Der Prototyp beinhaltet alle typischen Merkmale, wobei es sein kann, dass kein konkretes Exemplar alle Merkmale besitzt. Der Prototyp ist eine Verkörperung der zentralen Tendenz, einer Menge von sich ähnelnden Objekten.

Das Grundproblem für diese Art der Repräsentation von Kategorien ist, dass nur die zentrale Tendenz einer Kategorie gespeichert wird, allerdings nicht die Information über die Variabilität der Kategorieobjekte, oder die relative Größe der einzelnen Kategorien. Dazu werden Merkmalskorrelationen vernachlässigt, wie zum Beispiel, dass kleine Vögel eher singen, als Große.

2.2 Die Exemplarsicht

Einen grundlegend anderen Ansatz zur Prototypensicht wird mit der Theorie der Exemplar-Sicht verfolgt. Grundannahme ist, dass bei der Exemplar-Sicht nicht davon ausgegangen wird, dass beim Lernen eine abstrakte Repräsentation der Prototypen aufgebaut wird, sondern vielmehr die einzelnen Exemplare zusammen mit der Kategoriebezeichnung eingepreßt werden. Ein neues

Exemplar wird dadurch kategorisiert, dass es den Lernenden an diese früher gesehenen Exemplare mehr oder weniger erinnert und dass er annimmt, dass es vermutlich der gleichen Kategorie angehört wie diejenigen Exemplare, denen es insgesamt am ähnlichsten ist. Ähnlichkeitsvergleiche werden mit dem Exemplar, nicht mit abstrakten Prototypen gemacht. Dabei wird beim Kategorisieren eine Vielzahl von Exemplaren parallel im Gedächtnis verarbeitet. Vorteil ist, dass dabei mehr Informationen gespeichert werden, als bei der Prototypen-Sicht. Variabilität und Kontextsensitivität werden gewährleistet.

Eine spezielle Form der Exemplarsicht, ist das generalisierte Kontextmodell (GCM). Zusätzlich zur Exemplarsicht geht das GCM von einem multidimensionalen, psychologischen Raum aus, in dem die Exemplare lokalisiert werden, wobei dabei die Achsen die Merkmalsdimensionen der Kategorien sind. Je weiter zwei Exemplare in diesem Raum voneinander entfernt sind, desto unähnlicher sind sie. Der multidimensionale Raum wird durch selektive Aufmerksamkeit auf bestimmte Merkmalsdimensionen modifiziert, so dass bestimmte Merkmale wichtiger sind als andere.

Problem bei der Exemplarsicht ist, dass die Speicherkapazität des menschlichen Gehirns begrenzt ist, so dass sich die Frage stellt, ob wirklich jedes einzeln erlebte Objekt gespeichert werden kann.

2.3 Die regelbasierte Sicht

Die regelbasierte Sicht ist dadurch beschrieben, dass Konzepte durch definierende Merkmale ausgezeichnet werden, die notwendig sind und die hinreichende Bedingung stellen, dass ein Objekt zu einer Kategorie gehört. So ist ein Dreieck eine geometrische Form mit 3 Seiten, die drei Winkel umschließen, deren Summe 180 Grad beträgt. Gemäß dieser Sicht legen Konzepte auf der Basis solcher Definitionen fest, ob ein Objekt zu einem Konzept gehört oder nicht. Die Objekte einer Kategorie sind jeweils gleichgute Exemplare. Kategorielernen besteht darin, die definitorischen Merkmale der Kategorie zu finden.

2.4 Theoretischer Hintergrund des Experiments

Unser Bestreben ist es, herauszufinden, ob menschliches Konzeptlernen als inkrementelles Entscheidungsbaum-Lernen, nach einer speziellen Form des regelbasierten Ansatz, modelliert werden kann.

Entscheidungsbäume beginnen mit einem Wurzelknoten, an dessen Ende sich eine Verzweigung befindet, der in mehrere wiederum verzweigte Äste führt. Diese Verzweigungspunkte bezeichnet man als Knoten, wobei jeder Knoten ein Attribut darstellt. (Abb. 1) Jeder Endpunkt des Baums, auch Blatt genannt, ist durch einen eindeutigen Weg erreichbar (Entscheidungsbaum, 2005). Generiert wird ein solcher Baum üblicherweise über das top-down Prinzip, d.h. bei jedem Schritt wird das Attribut gesucht, mit welchem man die Daten am besten klassifizieren kann. Für die weitere Aufteilung der Daten benutzt man dieses Attribut, um die verbliebenen, noch nicht klassifizierten Daten in weiteren Schritten separat zu betrachten.

Ein Entscheidungsbaum ist dadurch regelbasiert, da jeder Pfad von der Wurzel zu einem Blatt einen eindeutigen Weg beschreibt. Somit stellt dieser Weg eine Regel dar. Um eine Klassifikation abzulesen zu können, geht man den Baum entlang abwärts. Bei jedem Knoten wird ein Attribut abgefragt, und eine Entscheidung getroffen. Dieses Verfahren wird solange fortgesetzt, bis man einen terminalen Knoten erreicht hat.

Als Grundlage für unsere Hypothese verwenden wir den inkrementellen CAL2-Algorithmus (Unger, 1981).

CAL2 baut einen zu Anfang leeren, mit "*" gekennzeichnet Entscheidungsbaum aus einer

Trainingsmenge auf. Solange sich noch Änderungen ergeben, werden folgende Prozesse durchgeführt:

- Wenn das neue Objekt als „*“ klassifiziert wird, wird die Klasse eingetragen.
- Solange das neue Objekt korrekt klassifiziert wird, ändert sich nichts.
- Wenn das neue Objekt falsch klassifiziert wird, nimmt man das nächste Merkmal in den Baum hinzu. Die entsprechende Ausprägung wird in die aktuelle Klasse eingetragen und für alle anderen Ausprägungen wird ein „*“ eingefügt. Das Verfahren terminiert, wenn die Trainingsmenge disjunkt war.

Der fertige Baum kann (eventuell durch Umstrukturierung) durch Eliminierung von Irrelevanzen und Redundanzen noch vereinfacht werden.

3 Ein Experiment zum Klassifizierungslernen

Das Online-Experiment (zur Realsierung siehe Merensky, 2005) wird gegliedert in eine Lernphase (LPH) und eine Anwendungsphase (APH). In der LPH gilt es 8 unterschiedliche Buchstabenmuster zu klassifizieren. Diese werden in 2 unterschiedlichen Reihenfolgen angeboten (between subjects). Durch diese verschiedenen Vorgaben bezüglich der Lernreihenfolge sollten unterschiedlich komplexe Entscheidungsbäume induziert werden. In *Lernreihe 1* sollte eine einzige Merkmalsausprägung zur Erlernung des Konzepts dienen, in *Lernreihe 2* eine Konjunktion aus drei Merkmalsausprägungen.

In der APH sollten drei neue Muster durch den in der LPH induzierten Entscheidungsbaum dem Konzept zugehörig oder nicht zugeordnet werden.

3.1 Hypothese

Die Ergebnisse sollten zeigen, dass der Mensch beim Konzeptlernen nach dem inkrementellen Entscheidungsbaum-Lernverfahren CAL2 vorgeht.

Die erlernten Regeln wurden von den Probanden in der Anwendungsphase (APH) angewandt. Die Zeiten der Testpersonen aus der APH wurden erfasst und in der statistischen Auswertung miteinander verglichen.

Wenn dem Konzepterwerb der Testpersonen tatsächlich das inkrementelle Entscheidungsbaumverfahren CAL2 zu Grunde liegt, dann benötigen Probanden mit komplexen Entscheidungsbäumen im statistischen Mittel mehr Zeit für eine Klassifizierung als Probanden mit weniger komplexen Entscheidungsbäumen.

Die operationale Hypothese lautet also:

$$H_1: t_{LR1} < t_{LR2}$$

3.2 Material und Konzeption

3.2.1 Material

Zugrunde gelegt werden Buchstabenmuster die sich nach vier Merkmalen unterscheiden (siehe Tabelle 1). In der Lernphase gilt es die Buchstabenmuster nach einem zugrundeliegenden Konzept zu klassifizieren. Für die Konzepterarbeitung werden acht bestimmte Buchstabenmuster ausgewählt (siehe Tabelle 3). Weiterhin werden vier Regeln festgelegt, die eine richtige Klassifizierung induzieren. Die verschiedenen Regeln unterscheiden sich nach Komplexität (siehe Tabelle 2).

Die acht Muster werden unterschiedlich nach der Tabelle 3 „Muster der Lernphase und Aufteilung in Lernreihen“ in zwei Lernreihen angeordnet. Lernreihe eins induziert das Erlernen der Regel „kurz“, Lernreihe zwei induziert das Erlernen der Regel „lang“. Hierbei wird den Probanden abwechselnd eine Lernreihe zugeteilt (Teilnehmer Nr. 1 wird Lernreihe 1 zugewiesen, Teilnehmer Nr. 2 wird Lernreihe zwei zugewiesen, usw.). Dies induziert eine Gleichverteilung der Verarbeitung der beiden Lernreihen. Da die unterschiedlichen Lernreihen das Erlernen von unterschiedlichen Regeln mit sich bringen, induziert eine Gleichverteilung der verarbeiteten Lernreihen somit wiederum eine Gleichverteilung der beiden Regeln „kurz“ und „lang“.

Jeweils zwei Muster jeder Lernreihe sind mit den festgelegten Regeln (siehe Tabelle 2) als Teil des Konzeptes zu klassifizieren. In der Lernreihe 1 sind dies die Muster an Position 2 und 4, in der Lernreihe 2 die Muster an Position 1 und 4 (siehe Tabelle 3). Alle anderen Muster sind durch die festgelegten Regeln (siehe Tabelle 2) als nicht dem Konzept zugehörig zu klassifizieren.

In der Anwendungsphase werden wie Tabelle 4 „Muster der Anwendungsphase und Aufteilung in Anwendungsreihen“ zeigt drei weitere Buchstabenmuster verwendet. Hierbei ist das Muster „gross / 2 / grün / A“ mit den festgelegten Regeln als dem Konzept zugehörig zu klassifizieren. Dieses Muster ist nicht Bestandteil der Menge an Mustern in der Lernphase und somit bezüglich der Klassifizierung den Probanden unbekannt. Die Muster der Anwendungsphase werden für die Bildung von drei Anwendungsreihen verwendet (siehe Tabelle 4). Den Probanden wird in der Anwendungsphase ähnlich der Durchwechselstrategie in der Lernphase abwechselnd eine andere Anwendungsreihe zugeteilt. Bei der Anwendungsreihe 1 befindet sich das dem Konzept zugehörig zu klassifizierende Muster an Position 1, bei Anwendungsreihe 2 an Position 2 und bei Anwendungsreihe 3 an Position 3 (siehe Tabelle 4).

Tabelle 1. Merkmale und Ausprägungen der Buchstabenkombinationen

<i>Merkmal</i>	<i>Ausprägung 1</i>	<i>Ausprägung 2</i>	<i>Ausprägung 3</i>
Grösse	klein	mittel	gross
Anzahl	1	2	3
Farbe	blau	grün	rot
Art	A	B	C

Tabelle 2. Klassifizierungsregeln

<i>Regelbezeichnung</i>	<i>Attribute</i>
Regel „kurz“	Anzahl = 2
Regel „mittel 1“	Anzahl = 2 AND Art = A
Regel „mittel 2“	Anzahl = 2 AND Grösse = gross
Regel „lang“	Anzahl = 2 AND Art = A AND Grösse = gross

Tabelle 3. Muster der Lernphase und Aufteilung in Lernreihen

<i>Lernreihe 1</i>				<i>Lernreihe 2</i>			
<i>Pos</i>	<i>Muster</i>	<i>Farbe</i>	<i>Konzept-zugehörigkeit</i>	<i>Pos</i>	<i>Muster</i>	<i>Farbe</i>	<i>Konzept-zugehörigkeit</i>
1		blau	nein	1		blau	ja
2		blau	ja	2		blau	nein
3		rot	nein	3		blau	nein
4		rot	ja	4		rot	ja
5		grün	nein	5		grün	nein
6		blau	nein	6		grün	nein
7		grün	nein	7		blau	nein
8		blau	nein	8		rot	nein

Tabelle 4. Muster der Anwendungsphase und Aufteilung in Anwendungsreihen

<i>Anwendungsreihe 1</i>			
<i>Pos</i>	<i>Muster</i>	<i>Farbe</i>	<i>Konzept-zugehörigkeit</i>
1	AA	grün	ja
2	BBB	rot	nein
3	c	blau	nein
<i>Anwendungsreihe 2</i>			
<i>Pos</i>	<i>Muster</i>	<i>Farbe</i>	<i>Konzept-zugehörigkeit</i>
1	BBB	rot	nein
2	AA	grün	ja
3	c	blau	nein
<i>Anwendungsreihe 3</i>			
<i>Pos</i>	<i>Muster</i>	<i>Farbe</i>	<i>Konzept-zugehörigkeit</i>
1	BBB	rot	nein
2	c	blau	nein
3	AA	grün	ja

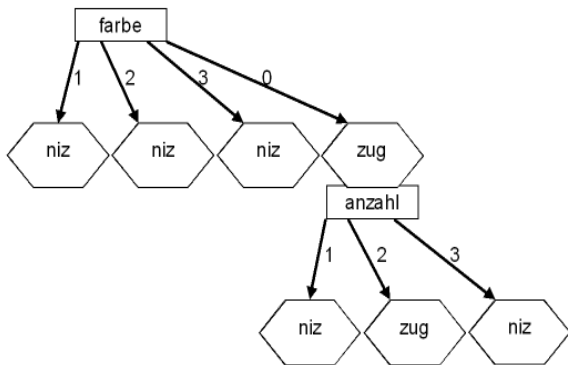
3.2.2 Konzeption der Lernreihen

Lernreihe 1 (LR1) wurde konzipiert um es der Testperson primär zu ermöglichen Regel „kurz“ zu erlernen. Da das Merkmal Farbe als visuell stärkstes Merkmal einzuschätzen ist wurde als erstes dem Konzept zugehörigen Muster „gross / 2 / blau / A“ gewählt (Das erste Muster der Lernreihe „klein / 3 / blau / C“ dient hierbei lediglich dem Einstieg ins Experiment). Das folgende Muster „mittel / 1 / rot / C“ entspricht nicht der Farbe blau. Bei richtiger Klassifizierung des zweiten Musters wird die Testperson zunächst auf das Merkmal Farbe („blau“) aufmerksam. Das dritte Merkmal wird von der Testperson aufgrund einer anderen Farbe als dem Konzept nicht zugehörig klassifiziert, diese Klassifizierung ist korrekt und der Proband ist in seiner Annahme die Farbe „blau“ sei ein entscheidendes Merkmal vorerst bestätigt. Beim vierten Muster jedoch („gross / 2 / rot / A“ trifft diese Annahme nicht mehr zu und der Proband muss seine Annahme bezüglich der Farbe „blau“ verwerfen. Er wird nun gleichzeitig auf die Anzahl der Buchstaben aufmerksam und erstellt die Regel „2 Buchstaben“. Diese Regel erweist sich für die nächsten Buchstabenmuster als korrekt. Der Proband kann die LPH somit erfolgreich abschliessen.

Bei Lernreihe 2 (LR2) sollte primär die lange Regel („zwei blaue A“ = Konjunktion aus drei Merkmalsausprägungen) induziert werden. Der Aufbau ähnelt stark dem aus Lernreihe 1, jedoch wird die Testperson länger auf das Merkmal Farbe fixiert. Das erste Muster dient auch hier nur als Einstieg („gross / 2 / blau / A“). Bei richtiger oder falscher Klassifizierung des zweiten Musters „gross / 1 / blau / a“ legt sich der Proband zunächst auf die Farbe fest und weiss nun, dass ein Muster der Farbe „blau“ als dem Konzept nicht zugehörig zu klassifizieren ist. Beim folgenden Muster („klein / 3 / blau / b“) wird die Vermutung der Testperson bestätigt. Das nächste Beispiel „gross / 2 / rot / A“ entspricht nicht der Farbe „blau“ und wird von der Testperson als dem Konzept zugehörig klassifiziert. Somit ist der Proband zunächst auf die Farbe „rot“ fixiert. Diese Annahme bestätigt sich bis zum achten angezeigten Muster. Nachdem die Testperson „mittel / 1 / rot / C“ aufgrund der Farbe „rot“ als dem Konzept zugehörig klassifiziert erfolgt eine negative Rückmeldung und der Proband muss seine Annahme verwerfen. Aufgrund der langen Fixierung auf das Merkmal Farbe (die Testperson war sieben Buchstabenmuster auf das Merkmal Farbe fixiert) entsteht der Eindruck, dass eine komplexere Regel nötig sei. Beim nächsten Muster „gross / 2 / blau / A“ (LR2 beginnt wieder von vorne) wird der Proband somit auf die Merkmale Grösse und Buchstabe aufmerksam. Für eine richtige Klassifizierung des folgenden Musters („gross / 1 / blau / A“) reicht die Fixierung auf diese 2 Merkmale jedoch nicht aus und der Proband wird die Konjunktion durch das Merkmal Anzahl erweitern. Mit dieser Annahme können alle folgenden Muster positiv klassifiziert werden und die LPH ist somit abgeschlossen.

Abbildung 1 verdeutlicht die unterschiedliche Komplexität der Entscheidungsbäume in den beiden Lernreihen. Entscheidend ist vor Allem, ob das Merkmal „Anzahl“ als zweites oder als viertes weiteres Merkmal (erstes betrachtetes Merkmal sei „Farbe“) in die Regelfindung einfließt.

Entscheidungsbaum LR1:



LEGENDE

<u>Farbe:</u>	0 = egal	<u>Grösse:</u>	0 = egal
	1 = blau		1 = klein
	2 = rot		2 = mittel
	3 = grün		3 = gross

<u>Anzahl:</u>	0 = egal	<u>Art:</u>	0 = egal
	1 = 1		1 = A
	2 = 2		2 = B
	3 = 3		3 = C

Klassifizierungskategorie:

zug = dem Konzept zugehörig
niz = dem Konzept nicht zugehörig

Entscheidungsbaum LR2:

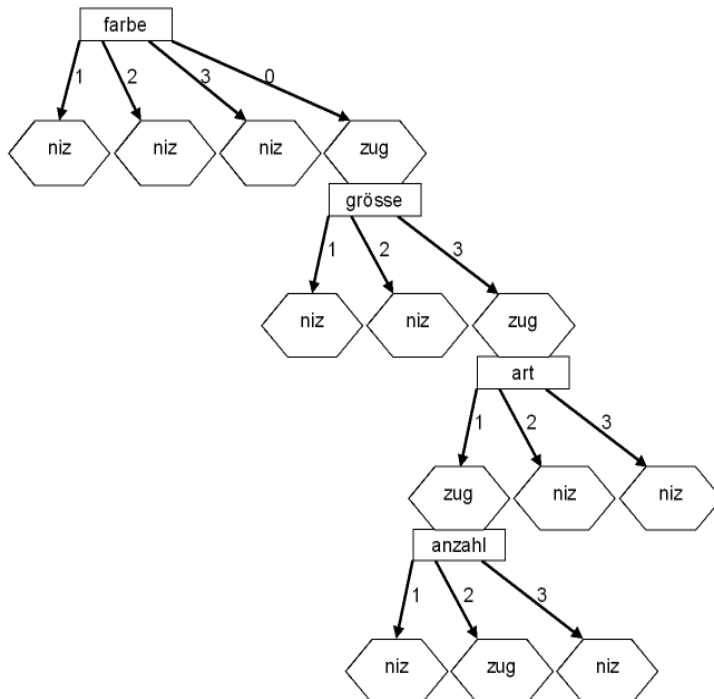


Abbildung 1. Entscheidungsbäume der Lernreihen

3.3 Stichprobe

Das Experiment wurde am 1. Juli 2005 gestartet mit einer Dauer von 30 Tagen. Es nahmen 138 Personen teil. Davon brachen 87 Probanden das Online-Experiment frühzeitig ab (Drop-Out-Rate bei ca. 63%¹) womit 51 Teilnehmer verwertbare Daten erbrachten.

Drei Probanden (zwei männlich, eine weibliche) mussten aufgrund von Fehlangaben (keine erlernte Regel ersichtlich) aus der Studie ausgeschlossen werden. Weitere drei Teilnehmer (drei männliche) wurden aufgrund von Fehlklassifizierung in der Anwendungsphase entfernt. Ein weiterer weiblicher Proband wurde wegen Inkonsistenz der Messzeiten (zurückzuführen auf technische Probleme) in der Datenverwertung nicht berücksichtigt.

Somit gingen die Daten von 44 Teilnehmern (20 männliche, 24 weibliche) in die Analyse ein. Der Altersdurchschnitt lag bei 23,64 Jahren (Standardabweichung 3,648). Die Bildungsstruktur gliederte sich in 38 Studenten, zwei Schülern und vier Akademikern.

3.4 Ablauf

Von der allgemeinen Startseite des Experiments gelangt die Testperson durch einen Link in die EPH des Experiments. Im Hintergrund wird die Person in der Datenbank erfasst. Hierfür wird dem Probanden eine eindeutige Listennummer und eine User-ID zugewiesen. Die User-ID dient hierbei der Verknüpfung von verschiedenen Tabellen in der Datenbank. Anhand der Listennummer wird der Testperson eine Lernreihe und eine Anwendungsreihe zugeteilt. Bei 2 existenten Lernreihen bekommt jeder Proband mit einer ungeraden Listennummer die Lernreihe 1, mit einer geraden Listennummer die Lernreihe 2 zugeteilt. Die 3 Anwendungsreihen werden anhand des Wertes der Formel $\text{mod}(\text{Listennummer}/3)$ zugeteilt. Bei $\text{mod} = 0,33$ wird der Testperson die Anwendungsreihe 1, bei $\text{mod} = 0,66$ die Anwendungsreihe 2 und bei $\text{mod} = 0$ die Anwendungsreihe 3 zugewiesen.

Der Status der Testperson ist in der Datenbank mit der Variable „user_state“ hinterlegt und zeigt an, wie weit die Zielperson im Experiment fortgeschritten ist (siehe Tabelle 5).

In der Einleitungsphase wird dem Probanden das Experiment beschrieben. Es werden Beispiele von Buchstabenmustern angezeigt (siehe Abbildung 2).

¹ Bei Online Experimenten ist eine Drop-Out-Rate von bis zu 80% im normalen Bereich; Quelle: mündliche Auskunft von Herrn Schmidt – Universität Bamberg

Tabelle 5. Stadien der Testperson

<i>Variable user_state</i>	<i>Beschreibung</i>
0	Startpunkt
1	Beginn Lernphase (Anzeige erstes Muster)
2	Beginn Lernphase (Anzeige erste Rückmeldung)
3	Beginn Lernphase (Angabe erste Regel)
4	Ende Lernphase
5	Beginn Anwendungsphase (Anzeige erstes Muster)
6	Verifizierung der Klassifizierung
7	Angabe Daten (Alter, Geschlecht, Bildungsstand)
8	Angabe E-Mail Adresse (freiwillig)
9	Experiment beendet

AAA

Farbe *GRÜN* - Größe *GROSS* - Anzahl 3 - Buchstabe *A*

B

Farbe *ROT* - Größe *KLEIN* - Anzahl 1 - Buchstabe *B*

CC

Farbe *BLAU* - Größe *MITTEL* - Anzahl 2 - Buchstabe *C*

Abbildung 2. Beispiele für Muster in der Einleitung

Das Experiment startet mit Betreten der LPH. Die Variable „user_state“ wird in der Datenbank auf den Wert 1 (siehe Tabelle 5) gesetzt. Der Testperson werden nacheinander verschiedene Muster (Buchstabenfolgen) am Bildschirm angezeigt.

Der Proband hat die Aufgabe, die angezeigten Muster dem Konzept zuzuordnen. Die dazu benötigten Schaltflächen sind die Buttons „Ja“, „Nein“ und „keine Ahnung“ (siehe Abbildung 3). Diese befinden sich direkt unter dem angezeigten Muster. Das Konzept ist dem Teilnehmern anfangs nicht bekannt (darauf wird in der Einleitungsphase des Experiments explizit hingewiesen). Nach der Klassifizierung soll der Proband eine Regel angeben, nach der er das Muster klassifiziert hat (siehe Abbildung 4). Es folgt eine Rückmeldung betreffend der Klassifizierung (siehe Tabelle 6). Diese bezieht sich nur auf die konzeptuelle Einteilung des Teilnehmers (nicht auch auf die angegebene Regel). Die Rückmeldung ermöglicht ein Erlernen des zugrundeliegenden Konzeptes und einer korrekten Regel (Prinzip: Lernen durch Lehrer). Die Klassifizierung und die angegebene Regel der Testperson werden für jedes angezeigte Muster in der Datenbank erfasst.

Nach hintereinander achtmalig richtiger Klassifizierung ist die LPH erfolgreich durchlaufen. Es folgt die APH. Die Variable „user_state“ wird auf den Wert 5 (siehe Tabelle 5) gesetzt. In der APH gilt es die gelernte Regel auf drei weitere Muster anzuwenden. Die Dauer zwischen Anzeige eines Musters und Klassifizierung wird für jeden Probanden erfasst (siehe Abbildung 5).

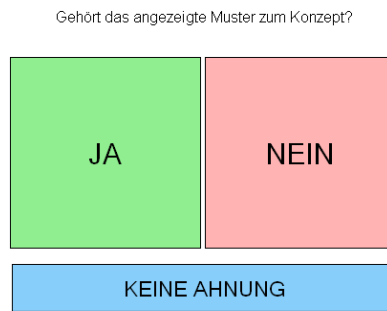


Abbildung 3. Buttons zur Klassifizierung

Tabelle 6. Rückmeldungen

<i>Mögliche Rückmeldung</i>
Ihre Klassifizierung war korrekt - das Beispiel gehörte nicht zum Konzept.
Ihre Klassifizierung war korrekt - das Beispiel gehörte zum Konzept.
Ihre Klassifizierung war falsch - das Beispiel gehörte nicht zum Konzept.
Ihre Klassifizierung war falsch - das Beispiel gehörte zum Konzept.
Ihre Klassifizierung war nicht eindeutig - das Beispiel gehörte nicht zum Konzept.
Ihre Klassifizierung war nicht eindeutig - das Beispiel gehörte zum Konzept.

Welche Merkmale klassifizieren Ihrer Meinung nach Beispiele, die zum Konzept gehören?

	1	2	3	irrelevant	keine Ahnung
Anzahl Buchstaben:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Buchstabentyp:	A	B	C	irrelevant	keine Ahnung
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Buchstabengröße:	klein	mittel	groß	irrelevant	keine Ahnung
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Buchstaben Farbe:	Rot	Grün	Blau	irrelevant	keine Ahnung
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

weiter

Abbildung 4. Schaltflächen für Angabe der Regel

Glückwunsch! Sie haben die Lernphase erfolgreich abgeschlossen.

Wenn sie auf "WEITER" klicken, beginnt die Anwendungsphase.
Sie erhalten weitere Muster gezeigt, die Sie möglichst schnell klassifizieren sollen. Nun erhalten Sie keine Rückmeldung mehr.

[WEITER](#)

Abbildung 5. Ende der Lernphase / Beginn der Anwendungsphase

Sie haben das Experiment erfolgreich absolviert.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme.

Für die statistische Erfassung benötigen wir noch einige Daten von Ihnen.

Wählen Sie bitte Ihr Alter:

10 ▼

Wählen Sie bitte Ihr Geschlecht:

maennlich ▼

Wählen Sie bitte Ihre Ausbildung:

Schüler ▼

[WEITER](#)

Abbildung 6. Ende des Experiments

Nach jeder Klassifizierung eines der drei Muster wird in der Mitte des Fensters ein „Weiter“-Button angezeigt um die Zeitnahme durch Zentrierung des Mauszeigers nicht zu beeinflussen. Das Experiment endet nach der Klassifizierung des dritten Musters (siehe Abbildung 6). Der Variable „user_state“ wird der Wert 7 (siehe Tabelle 5) zugewiesen.

Zum Abschluss soll der Proband Alter, Geschlecht und Bildungsstand angeben. Danach folgt die Möglichkeit zur Angabe einer E-Mail Adresse (eMail wurde nicht im Zusammenhang mit erbrachten Daten gespeichert um Anonymität zu gewährleisten). Variable „user_state“ wird auf den Wert 9 gesetzt. Dies bedeutet, dass die Testperson das Experiment vollständig durchlaufen hat (siehe Tabelle 5).

3.5 Ergebnisse

3.5.1 Deskriptive Statistik

Betreffend der LPH wurden 17 Testpersonen die Lernreihe 1 zugeteilt, 27 Personen erhielten Lernreihe 2. Diese Ungleichverteilung ist auf die Drop-Out-Rate zurückzuführen. Insgesamt waren im Mittel ca. 18 Buchstabenmuster nötig (dies entspricht etwas mehr als 2 Durchläufe), um die LPH erfolgreich abzuschliessen. Hierbei lag das Maximum bei 44 Versuchen, das Minimum lag bei 8 Versuchen. In Lernreihe 1 lag die durchschnittliche Anzahl bei 18,2 Versuchen, in Lernreihe 2 bei 17,6. Die Verteilung der Lernhäufigkeiten wird aus Tabelle 7 ersichtlich.

Die in der Konzeption getroffene Annahme, durch Lernreihe 1 die Regel „kurz“ zu induzieren wurde nicht erfüllt. Somit konnten die verwendeten Lernreihen bei der Analyse nicht als unabhängige Variable verwendet werden und es wurde Post-Hoc die Einteilung der tatsächlich erlernten Regeln als unabhängige Variable für die Analyse verwendet. Insgesamt lag keine Gleichverteilung der Regeln „kurz“ und „lang“ vor. Die Regeln „mittel 1“ und „mittel 2“ wurden daher bei der statistischen Auswertung mit der Regel „kurz“ zusammengefasst (Pooling) und den Ergebnissen der Regel „lang“ gegenübergestellt. Hierdurch entstand eine annähernde Gleichverteilung der beiden Seiten (Verhältnis: 15 „kurz / mittell1 / mittell2“ zu 29 „lang“).

Tabelle 7. Verteilung der Lernhäufigkeiten

<i>Vorkommen</i> <i>Regelbezeichnung</i>	<i>LR1</i>	<i>% LR1</i>	<i>% Σ</i>	<i>LR2</i>	<i>% LR2</i>	<i>% Σ</i>	<i>Σ</i>	<i>% Σ</i>
Regel „kurz“	5	29,4	62,5	3	11,1	37,5	8	18,2
Regel „mittel 1“	1	5,9	50	1	3,7	50	2	4,5
Regel „mittel 2“	1	5,9	20	4	14,8	80	5	11,4
Regel „lang“	10	58,8	34,5	19	70,4	65,5	29	65,9

3.5.2 Hypothesenprüfung

Um die Hypothese zu überprüfen wurden nun die Zeitmessungen der APH miteinander verglichen. Hierbei stellte die erlernte Regel die unabhängige, die gemessene Zeit die abhängige Variable dar. Bei 15 Probanden (Pooling aus Regel „kurz / mittel 1 / mittel 2“) wurde bei einer Standardabweichung von ca. 2,948 Sekunden ein Mittelwert von 2,562 Sekunden ermittelt. Die 29 Personen mit Regel „lang“ erzielten bei einer Standardabweichung von 0,925 Sekunden einen zeitlichen Mittelwert von ca. 1,722 Sekunden. Da aus den Mittelwerten bereits ersichtlich ist, dass die Hypothese nicht bestätigt werden kann, waren nur die Signifikanz der Zeiten von Interesse (siehe Abbildung 7).

Als statistische Methode wurde ein t-Test bei unabhängigen Stichproben (zweiseitig/ungerichtet) durchgeführt. Der Test ergab keinen signifikanten Unterschied in den Antwortzeiten ($t(df=42) = 1,418$, $p = .163$). Die Hypothese, dass komplexe Regeln mehr Zeit bei der Klassifizierung beanspruchen konnte somit nicht bestätigt werden.

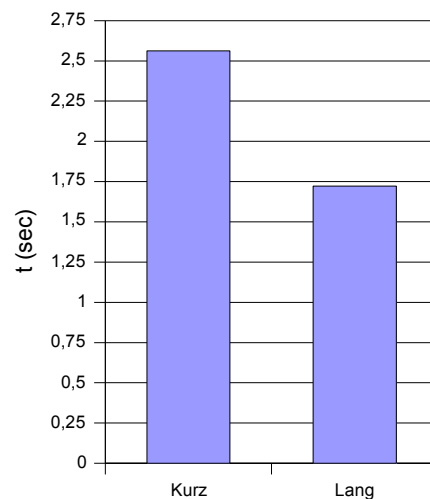


Abbildung 7. Zeitliche Mittelwerte der unterschiedlichen Regeln

4. Abschliessende Diskussion

Wie schon weiter oben festgestellt, konnte die Hypothese nicht bestätigt werden. Trotz dieses Ergebnisses gilt es jedoch festzuhalten, dass durchaus die Möglichkeit besteht Konzeptlernen anhand des Entscheidungsbaumprinzips nachzuweisen.

Die grundsätzliche Versuchsanordnung war hierfür geeignet. Für die Konzeption der Lernreihen wäre ein Vorversuch nötig gewesen um eine „echte“ Gleichverteilung der Regel „kurz“ und „lang“ zu gewährleisten, hierdurch wäre das Pooling nicht nötig gewesen. Dieser Vorversuch musste aufgrund von Zeitmangel leider entfallen.

Die Testpersonen des Experiments wurden per eMail benachrichtigt und somit auf das Experiment aufmerksam. Hierbei handelte es sich primär um Studenten der Psychologie. Es ist davon auszugehen, dass diese bereits mehrere Experimente dieser Art absolviert haben und somit eine Strategie zur Lösung solcher Aufgaben parat hatten. Dies würde auch die eindeutige Präferenz der Regel „lang“ erklären. Die Strategie hierbei ist es, sämtliche Merkmalsausprägungen des ersten dem Konzept zugehörigen Musters in eine Regel (Konjunktion aus 4 Merkmalsausprägungen) aufzunehmen und anhand folgender dem Konzept zugehörigen Muster jene Merkmalsausprägungen aus der Regel zu entfernen, welche nicht gleichzeitig auf alle dem Konzept zugehörige Muster zutreffen. Der Entscheidungsbaum wird hierbei von unten nach oben durchlaufen.

Ein weiterer Grund, warum das Experiment fehlgeschlagen sein könnte, ist, dass die lange Regel mit drei Merkmalen noch nicht komplex genug ist. Eine Versuchsanordnung, in der die kurze Regel aus drei Merkmalen und die lange Regel aus 8 oder 9 Merkmalen besteht, könnte zu dem erhofften Ergebnis führen, welches durch ein weiteres Experiment überprüft werden muss. Eventuell sollten auch andere Muster für das Experiment verwendet werden, welche die Komplexität bzw. die Einfachheit der Regeln unterstützen sollte.

Literatur

Artikel „Entscheidungsbaum“. In Wikipedia. Die freie Enzyklopädie. Stand: 19. Oktober 2005:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Entscheidungsbaum>

Mitchel, T. (1997), *Machine Learning*, Boston MA, McGraw Hill

Unger, S. & Wysotzki, F.: *Lernfähige Klassifizierungssysteme (Classification Systems Being Able to Learn)*, Akademie Verlag, Berlin 1981

Waldmann, M. R. (2002), *Kategorisierung und Wissenserwerb*. In J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Lehrbuch Allgemeine Psychologie* (S. 432-491). Heidelberg: Spektrum Verlag

Merensky, P. (2005), *Realisierung eines online-Experiments mit Zeiterfassung*, Fakultät Wirtschaftsinformatik/Angewandte Informatik Universität Bamberg