

6 Wahrscheinlichkeitslernen¹

Michael H. Birnbaum

Kurzbeschreibung

Das Einschätzen oder Lernen von Wahrscheinlichkeiten ist wesentlicher Bestandteil zahlreicher Untersuchungen zur Art und Weise, wie Menschen mit Wahrscheinlichkeiten umgehen. Dabei geht es in der Regel darum, vorherzusagen, zu schätzen oder zu wählen, welches von zwei oder mehreren Ereignissen eintritt. In einer typischen Untersuchung zum Einschätzen oder Lernen von Wahrscheinlichkeiten wird ein Proband gefragt, ob die nächste zufällig aus einem Stapel gemischter Karten gezogene Karte rot oder schwarz ist. Das klassische Ergebnis bei Untersuchungen dieser Art wird als Wahrscheinlichkeitsangleichung (*probability matching*) bezeichnet. Damit ist die Tendenz von Probanden gemeint, die prozentuale Verteilung der Antworten an die Wahrscheinlichkeit anzugleichen, mit der die jeweilige Antwort verstärkt wurde bzw. sich als korrekt erwiesen hat. Der vorliegende Beitrag stellt ein Experiment zum Wahrscheinlichkeitslernen vor und vergleicht die Daten aus einer Web-Version mit den Daten, die bei einer browserbasierten Laborversion des gleichen Experimentes gewonnen wurden. Damit wird gezeigt, wie psychologische Online-Forschung eine Einschätzung darüber erlaubt, ob und inwieweit Laborergebnisse sich in Web-Experimenten replizieren lassen. Ferner verdeutlicht dieser Beitrag, dass in Web-Experimenten auch bedingungsanalytische Zusammenhänge unter Einbezug demographischer Variablen wie Alter oder Ausbildung untersucht werden können, die üblicherweise in psychologischen Laboruntersuchungen nicht variiert werden.

Stichwörter: Wahrscheinlichkeitslernen, Wahlhandlung, Häufigkeiten, Entscheidung

6.1 Einleitung

Das Lernen von Wahrscheinlichkeiten ist ein universelles Problem, da die meisten Phänomene, mit denen wir es in unserer Umgebung zu tun haben, von probabilistischer, nicht von deterministischer Natur sind. Um unser Handeln solchen Umständen anzupassen, müssen wir Repräsentationen von Wahrscheinlichkeiten erwerben. Auf dieser Grundlage kann eine Entscheidung darüber erfolgen, ob wir in Aussicht eines Ergebnisses (dessen Eintreten eine bestimmte Wahrscheinlichkeit hat) eine bestimmte Handlung ausführen wollen, die wiederum mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu dem gewünschten Ergebnis führt.

¹ Die Arbeit wurde von der National Science Foundation, Grants SBR 94-10572 und SES 99-86436, unterstützt. Übersetzt wurde der Text von Dietmar Janetzko

Untersuchungen zum Wahrscheinlichkeitslernen können anhand der jeweiligen Verstärkung für korrektes Verhalten unterschieden werden. In einigen Lernaufgaben wird korrektes Verhalten in jedem einzelnen Fall verstärkt. Beispielsweise lässt sich das Wahrscheinlichkeitslernen von Ratten in einem Y-förmigen Laufstall untersuchen: die Ratte wird mit Nahrung belohnt, sobald sie sich an der Weggabelung des Laufgeheges für den linken Weg entscheidet. Andere Verstärkungspläne weisen ein probabilistisches Rauschen auf, insofern die Entscheidung, an der Gabelung links abzubiegen, per Zufall nur in beispielsweise 70% aller Fälle verstärkt wird. Entsprechend würden dann 30% aller Fälle verstärkt, in denen rechts abgebogen wird, wobei die einzelne verstärkte Handlung ebenfalls per Zufall bestimmt wird.

Probabilistische Verstärkungen sind selbstverständlich nicht nur in Untersuchungen mit Laborratten anzutreffen, sondern sie bilden einen festen Bestandteil unserer Alltagskultur: Kann die Fußballmannschaft das nächste Spiel für sich entscheiden? Fällt die Roulettekugel auf eine gerade oder eine ungerade Zahl? Ist die nächste gezogene Karte rot oder schwarz? Zeigt der nächste Wurf des Würfels eine sechs? Wenn Aussichten auf Geldgewinne bestehen, sind viele Menschen bereit, Vorhersagen dieser Art zu machen bzw. zu wetten.

In Studien mit probabilistischer Verstärkung wird den Versuchsteilnehmern üblicherweise die Frage vorgelegt, welches von mehreren vorgegebenen Ereignissen eintreten wird. Eines der interessantesten Ergebnisse aus der wissenschaftlichen Bearbeitung dieses Forschungsgebiets ist, dass Menschen dabei keineswegs einer optimalen Strategie folgen. Stattdessen scheinen sie in einem Prozess des Wahrscheinlichkeitslernens die Wahrscheinlichkeit für die Auswahlmöglichkeiten (*choice probabilities*) den Wahrscheinlichkeiten des vorherzusagenden Ereignisses anzugleichen. Diese Vorgehensweise, die auch als Wahrscheinlichkeitsangleichung (*probability matching*) bezeichnet wird, ist bereits 1950 von William K. Estes in einem klassischen Aufsatz beschrieben und über ein mathematisches Modell genauer untersucht worden. Estes konnte zeigen, dass diese suboptimale Strategie (Wahrscheinlichkeitsangleichung) sich als Konsequenz aus einem Lernmechanismus ergibt. Die von ihm beschriebenen Effekte des Wahrscheinlichkeitslernens konnten immer wieder repliziert werden (z.B. Bower, 1994). Die Gründe für die Wahrscheinlichkeitsangleichung und ihre Modellierung sind seit Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Varianten des dabei benutzten klassischen Paradigmas des Wahrscheinlichkeitslernens bilden ein großes aktives Forschungsfeld. In diesem Rahmen wird Lernen, Entscheidungsverhalten, die kognitive Verarbeitung von Wahrscheinlichkeiten und Häufigkeiten, der Irrtum des Spielers (*gambler's fallacy*) und auch der Glaube an außersinnliche Wahrnehmung (*extrasensory perception*, ESP) untersucht (Bower & Heit, 1992; Estes, 1976).

Nachfolgende Entwicklungen in der Lerntheorie haben sich immer wieder an der Arbeit von Estes (1950) orientiert. Rescorla und Wagner (1972) nahmen die von Estes beschriebenen Lernkurven zum Anlass, ein eigenes Lernmodell vorzustellen. Estes selbst entwickelte ein kognitives Modell des Wahrscheinlichkeitslernens (Estes, 1976). Adaptive und suboptimale Verhaltensweisen sind später auch von anderen Forschergruppen untersucht worden („*heuristics*“ and „*biases*“).

Wir wollen uns nun einem einfachen Beispiel des Wahrscheinlichkeitslernens zuwenden und daran aufzeigen, wie eine optimale Vorgehensweise aussieht. Dem

stellen v
chung
Nehmen
Karte, c
„nicht H
Karo, Pi
daran ha
darin, in
Vorhers.
immerhi
nur in de

Was i
sie sowc
tualen H
Wahrsch
führt da
„Herz“ i
„Herz“ c

Wie i
gie? Die
die eine
einer W:
kann dar
vorherge
seitig au
+ .5625
banden i
hen habe
„nicht H

6.2 F

Ziel dies
gebnisse
gezeigt v
zu übert
tigt werd

Die g
Ergebnis
lernens ü
Ergebnis
menten n
Weise at
veaus zu

nd der jeweiligen Ver-
einigen Lernaufgaben
eispielsweise lässt sich
igen Laufstall untersu-
der Weggabelung des
kungspläne weisen ein
an der Gabelung links
verstärkt wird. Entspre-
abgebogen wird, wobei
t wird.

ht nur in Untersuchun-
sten Bestandteil unser
l für sich entscheiden?
ahl? Ist die nächste ge-
s Würfels eine sechs?
schen bereit, Vorhersa-

rsuchsteilnehmern übli-
gegebenen Ereignissen
wissenschaftlichen Be-
keineswegs einer opti-
prozess des Wahrschein-
lichkeiten (*choice pro-*
Ereignisses anzuglei-
chungsangleichung (*proba-*
iam K. Estes in einem
Modell genauer unter-
Strategie (Wahrschein-
mechanismus ergibt. Die
ns konnten immer wie-
r die Wahrscheinlich-
Gegenstand zahlreicher
Paradigmas des Wahr-
eld. In diesem Rahmen
itung von Wahrschein-
's fallacy) und auch der
option, ESP) untersucht

ch immer wieder an der
(1972) nahmen die von
ernmodell vorzustellen.
inlichkeitslernen (Estes,
äter auch von anderen
s").
hrscheinlichkeitslernens
ensweise aussieht. Dem

stellen wir den typischen Befund gegenüber, den man bei der empirischen Untersu-
chung des Wahrscheinlichkeitslernens erhält (Wahrscheinlichkeitsangleichung).
Nehmen wir einmal an, eine Person schließt eine Wette darüber ab, ob die nächste
Karte, die man aus einem gemischten Stapel von Spielkarten zieht, „Herz“ oder
„nicht Herz“ sein wird. Ein übliches Kartenspiel setzt sich zu jeweils 25% aus Herz,
Karo, Pik und Kreuz zusammen. Wir setzen voraus, dass die Probanden ein Interesse
daran haben, möglichst oft die Wette zu gewinnen. Dann besteht die beste Strategie
darin, immer vorherzusagen, dass die nächste gezogene Karte „nicht Herz“ sei. Diese
Vorhersage sollte in der Tat durchweg bei jedem Durchgang gemacht werden. In
immerhin 75% aller Fälle wird eine solche Strategie zu einem richtigen Ergebnis und
nur in den verbleibenden 25% zu einem Fehler führen.

Was man dagegen bei den Probanden beobachten kann, ist dreierlei: Erstens sagen
sie sowohl „Herz“ als auch „nicht Herz“ voraus. Zweitens gleichen sich die prozen-
tualen Häufigkeiten bei den Vorhersagen für jede der beiden Möglichkeiten an die
Wahrscheinlichkeiten für die Verstärkung der beiden Antwortmöglichkeiten an. Das
führt dazu, dass die Probanden bei wechselnden Antworten in 25% aller Fälle auf
„Herz“ und in 75% aller Fälle auf „nicht Herz“ tippen. Drittens ist die Vorhersage für
„Herz“ oder „nicht Herz“ unabhängig von der zuvor ausgewählten Karte.

Wie erfolgreich ist diese auf Wahrscheinlichkeitsangleichung beruhende Strategie?
Die Probanden entscheiden sich in 25% (bzw. 75%) aller Fälle für eine Wahl,
die eine Gewinnchance von 25% (bzw. 75%) hat. Die bedeutet, dass sie „Herz“ mit
einer Wahrscheinlichkeit von $(.25)(.25) = .0625$ korrekt voraussagen. Entsprechend
kann dann „nicht Herz“ mit einer Wahrscheinlichkeit von $(.75)(.75) = .5625$ korrekt
vorhergesagt werden. Beide Möglichkeiten zur Vorhersage schließen sich wechselsei-
tig aus. Daher beträgt die Wahrscheinlichkeit für eine korrekte Vorhersage $.0625$
 $+ .5625 = .625$. Die Wahrscheinlichkeitsangleichung führt somit dazu, dass die Pro-
banden in nur 62.5% aller Fälle korrekte Vorhersagen machen. Wie wir oben gese-
hen haben, wäre es dagegen in 75% aller Fälle erfolgreich gewesen, wenn durchweg
„nicht Herz“ vorhergesagt worden wäre.

6.2 Fragestellung und Hypothesen

Ziel dieses Beitrages ist es, eine Anleitung für die Replikation der klassischen Er-
gebnisse des Wahrscheinlichkeitslernens zu geben. Ferner sollen Möglichkeiten auf-
gezeigt werden, die dabei eingesetzten Methoden auf vergleichbare Fragestellungen
zu übertragen, zu deren Bearbeitung eine große Anzahl von Versuchspersonen benö-
tigt werden.

Die geprüften Nullhypothesen besagen, dass die vorliegende Implementierung
Ergebnisse erbringt, die mit den klassischen Ergebnissen des Wahrscheinlichkeits-
lernens übereinstimmen. Ferner soll die Annahme überprüft werden, dass sich solche
Ergebnisse sowohl in der Web-Version wie auch in der Labor-Version des Experi-
mentes nachweisen lassen. Schließlich wird erwartet, dass die Ergebnisse in gleicher
Weise auf Männer und Frauen sowie auf Probanden unterschiedlichen Bildungsni-
veaus zutreffen.

6.3 Methode

Wahrscheinlichkeitslernen lässt sich anhand tierexperimenteller Untersuchungen (etwa von Ratten) oder aber über die Untersuchung von Menschen analysieren. Bei Untersuchungen mit Ratten ist zu beachten, dass Ratten Pflege benötigen und nur für einige Versuchsdurchgänge pro Tag eingesetzt werden können. Anderenfalls kann eine vergleichbare Motivation der Ratten nicht garantiert werden, denn die Tiere werden für eine Untersuchung nahrungsdepriviert. Bei Untersuchungen des Wahrscheinlichkeitslernens mit Menschen ist es schwierig, eine hinreichend große Anzahl an Probanden zu gewinnen. Dieses Problem verschärft sich natürlich, je mehr Bedingungen untersucht werden sollen. Aus diesem Grund bietet es sich an, das Wahrscheinlichkeitslernen über ein Web-Experiment zu untersuchen.

Der beste Weg, das Experiment nachzuvollziehen, besteht darin, es von einem Browser aus aufzurufen und die gestellte Aufgabe (Vorhersage des nächsten Ereignisses) zu bearbeiten. In jeder einzelnen Aufgabenbearbeitung wählt das Versuchssteuerungsprogramm per Zufall eine zwischen 0 und 1 liegende Wahrscheinlichkeit aus, mit der das Ereignis R2 in den 100 Durchgängen erscheint. Dies bedeutet, dass die relative Auftretenshäufigkeit von R2 per Zufall bestimmt wird.

6.3.1 Versuchsteilnehmer

An der Labor-Version des Experimentes nahmen 71 Studenten teil. Alle Probanden bearbeiteten die gestellten Aufgaben zum Wahrscheinlichkeitslernen zweimal. Dabei kam die gleiche browserbasierte Versuchssteuerung zum Einsatz, die auch die via WWW gewonnenen Probanden verwendeten. Die Labor-Version wurde mit einer zweiten Stichprobe von 72 Studenten repliziert.

An der Web-Version des Experimentes nahmen 856 Versuchspersonen teil, die über Links auf verschiedenen Web-Sites zur Online-Forschung oder auch über Einträge in Suchmaschinen zur Teilnahme an dem Experiment gewonnen werden konnten. Das Experiment war auf unterschiedlichen Web-Sites angekündigt.

6.3.2 Versuchsmaterial

Das Experiment ist als HTML/JavaScript-Anwendung verwirklicht, die sich in zwei Teile gliedert. Das eigentliche Experiment zum Wahrscheinlichkeitslernen folgt dem oben skizzierten Muster: gegeben ist ein „Kartenstapel“, aus dem in 100 Durchgängen „gezogen“ wird. Natürlich kann das Programm nur simulieren, dass Karten gezogen, zurückgelegt und die Karten insgesamt gemischt werden. Aufgabe des Probanden ist es, bei einer Menge vorgegebener Kategorien wie „schwarz“ oder „rot“ die nächste gezogene Karte vorherzusagen. Die eingesetzte Versuchssteuerung macht von einer Maske Gebrauch, die den Probanden in insgesamt 100 Durchgängen auffordert, die jeweils nächste „Karte“ (R1 oder R2) vorherzusagen. Der Proband trifft seine Entscheidung bezüglich der Vorhersage per Mausklick. In Form einer ausdrücklichen Rückmeldung (Richtig! bzw. Falsch!) erfährt er sein jeweiliges Ergebnis

sowie die /
der Proban
einen Frage
an dem Exp

6.3.3 Ver

Zur Bearbe
sonen im L
wiesen. Der
Auftreten d
Probanden,
mitgeteilt, d
Serie eine a
die Proband
bestimmen.

In der W
Mehrzahl d
der Labor-V
an die eiger
schlecht, Al



Abbildung 6.1

teller Untersuchungen
ischen analysieren. Bei
e benötigen und nur für
ien. Anderenfalls kann
werden, denn die Tiere
rsuchungen des Wahr-
reichend große Anzahl
türlich, je mehr Bedin-
es sich an, das Wahr-
n.
ht darin, es von einem
ge des nächsten Ereign-
ig wählt das Versuchs-
nde Wahrscheinlichkeit
int. Dies bedeutet, dass
wird.

en teil. Alle Probanden
lernen zweimal. Dabei
insatz, die auch die via
ersion wurde mit einer

ispersonen teil, die über
er auch über Einträge in
en werden konnten. Das
t.

irklicht, die sich in zwei
ichkeitslernen folgt dem
s dem in 100 Durchgän-
ulieren, dass Karten ge-
rden. Aufgabe des Pro-
ie „schwarz“ oder „rot“
versuchssteuerung macht
t 100 Durchgängen auf-
agen. Der Proband trifft
ick. In Form einer aus-
sein jeweiliges Ergebnis

sowie die Anzahl der bislang absolvierten Durchgänge. Nach 100 Durchgängen wird der Proband über den Prozentsatz korrekter Vorhersagen unterrichtet und füllt dann einen Fragebogen aus. Abschließend erhalten die Probanden die Möglichkeit, erneut an dem Experiment teilzunehmen.

6.3.3 Versuchsablauf

Zur Bearbeitung der Labor-Version des Experimentes fanden sich die Versuchspersonen im Labor ein und wurden vom Versuchsleiter (VL) in die Bearbeitung eingewiesen. Der VL erklärte ihnen, dass sie in jedem der insgesamt 100 Durchgänge das Auftreten der nächsten „Karte“ (R1 oder R2) erraten sollten. Der VL erläuterte den Probanden, wie das einfache Interface zu bedienen war. Ferner wurde den Probanden mitgeteilt, dass sie 2 Serien à 100 Durchgängen zu bearbeiten hätten, wobei in jeder Serie eine andere Verteilung von Karten vorliege. Nach dieser Einleitung bearbeiten die Probanden die Aufgaben. Dabei konnten sie das Tempo der Bearbeitung selbst bestimmen.

In der Web-Version nahmen einige Probanden mehrfach an dem Versuch teil. Die Mehrzahl der Probanden bearbeitete das Experiment jedoch nur einmal. Sowohl in der Labor-Version als auch in der Web-Version füllten die Probanden im Anschluss an die eigentliche Aufgabe einen Fragebogen aus. Hier waren Angaben zum Geschlecht, Alter und Bildungsstand zu machen.

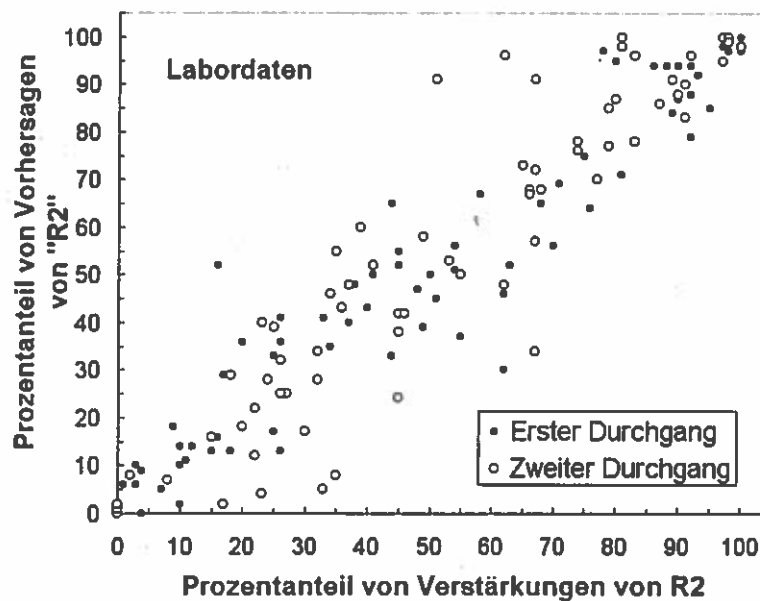


Abbildung 6.1

Wahrscheinlichkeitsangleichung in den Daten aus der Laborunter-
suchung

6.3.4 Versuchsplan

Dem Experiment im Labor lag ein gemischtes Design (Kombination abhängiger und unabhängiger Faktoren) zugrunde. Der zwischen den Gruppen variierende unabhängige Faktor war die zwischen 0, 1, 2 ... 100 % liegende Wahrscheinlichkeit, mit der R2 die korrekte Antwort ergab. Dieser Faktor lag in 101 Ausprägungen vor. Der abhängige Faktor war die Messwiederholung. Dagegen war die Grundlage des Web-Experiments ein *between-subjects*-Design. Als abhängige Variable wurde in unabhängigen Analysen die Anzahl korrekter Antworten wie auch die Anzahl der Vorhersagen von R2 herangezogen. Die anderen Variablen, die bei der Analyse berücksichtigt wurden, bezogen sich auf die Untersuchungsform (Web-Experiment, browserbasiertes Laborexperiment). Daneben wurden noch Angaben zu Geschlecht, Alter, Ausbildung und Nationalität in einem Fragebogen erfasst.

6.4 Auswertung

In Abb. 6.1 drückt sich die Wahrscheinlichkeitsangleichung darin aus, dass die Datenpunkte weitgehend auf der Diagonalen zwischen der Ordinate (Prozentanteil von Vorhersagen von R2) und der Abszisse (Prozentsatz von Verstärkungen von R2) liegen. Obgleich es eine beträchtliche Streuung in den Daten gibt, folgt ihre Verteilung weitgehend dem Muster, das nach der Wahrscheinlichkeitsangleichung zu erwarten ist.

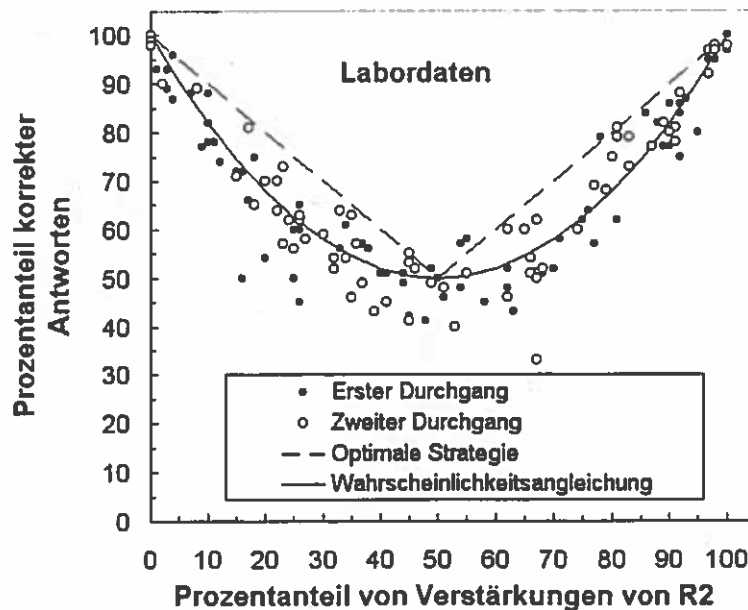


Abbildung 6.2

Wahrscheinlichkeitsangleichung und optimale Strategie bei den Labordaten

Abb. 6.2 tr
Prozentante
der Abbildu
scheinlichk
Linie repräs
gie zu erwa
tung der A
beträchtlich
optimalen S
ESP zu erw
Durchgänge

Die durcl
ist, wenn da
ist. Wie bei
gemäß der V
der Proband
passung an
beschreiben.

Der mittl
gang betrug
gang bei den

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

Prozentanteil korrekter Antworten

Abbildung 6.3

ation abhängiger und
 variierende unabhän-
 :heinhlichkeit, mit der
 igungen vor. Der ab-
 Grundlage des Web-
 able wurde in unabh-
 e Anzahl der Vorher-
 Analyse berücksich-
 periment, browserba-
 u Geschlecht, Alter,

rin aus, dass die Da-
 te (Prozentanteil von
 rstärkungen von R2)
 ibt, folgt ihre Vertei-
 itsangleichung zu er-



Abb. 6.2 trägt den Prozentanteil korrekter Antworten auf der Ordinate gegen den Prozentanteil der Verstärkungen von R2 auf der Abszisse ab. Die beiden Linien in der Abbildung geben die Vorhersagen wieder, die bei dem Experiment zum Wahrscheinlichkeitslernen Gegenstand empirischer Überprüfung sind: Die gestrichelte Linie repräsentiert die Verteilung der Daten, die bei Annahme der optimalen Strategie zu erwarten ist. Die Linie macht deutlich, dass auch bei der optimalen Bearbeitung der Aufgabe (alle Entscheidungen durchweg für die häufigere Variante) ein beträchtlicher Fehleranteil nicht zu vermeiden ist. Die konsequente Anwendung der optimalen Strategie markiert die obere Grenze der Leistung, die bei Ausschluss von ESP zu erwarten ist. Tatsächlich aber werden einige, möglicherweise fehleranfällige Durchgänge benötigt, um die optimale Strategie zu ermitteln.

Die durchgezogene Linie in Abb. 6.2 gibt an, welche Datenverteilung zu erwarten ist, wenn das Verhalten der Probanden von Wahrscheinlichkeitsangleichung geprägt ist. Wie bei den Überlegungen zur optimalen Strategie verbindet sich die Vorhersage gemäß der Wahrscheinlichkeitsangleichung mit der Annahme, dass die Vorhersagen der Probanden grundsätzlich fehlerbehaftet sind. Diese Kurve gibt eine bessere Anpassung an die Daten und lässt sich über den Graph einer quadratischen Funktion beschreiben.

Der mittlere Prozentanteil korrekter Antworten beim ersten Bearbeitungsdurchgang betrug 68.7%, während er für die zweite Bearbeitung 67.3% betrug. Der Rückgang bei den korrekten Antworten war allerdings nicht signifikant ($t = -.46, p > .05$).

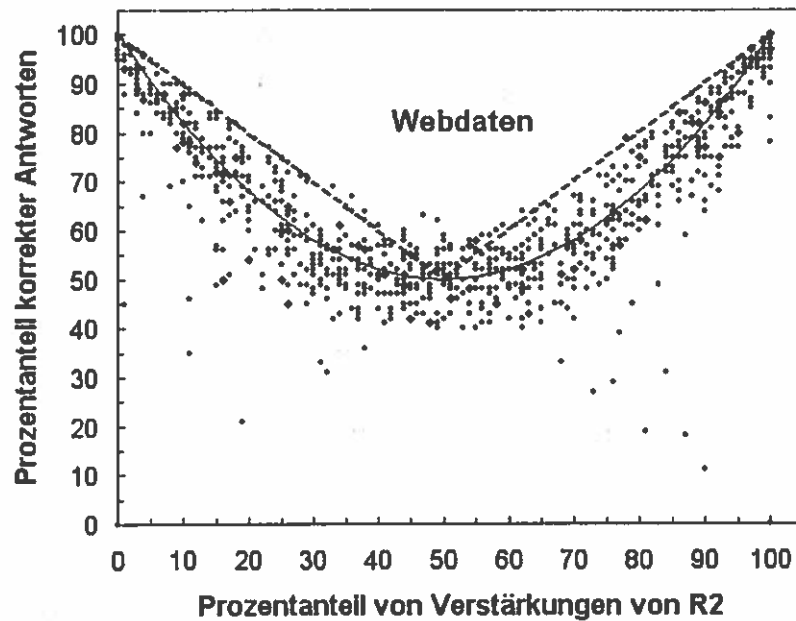


Abbildung 6.3

Wahrscheinlichkeitsangleichung und optimale Strategie bei den Daten aus dem WWW

Abb. 6.3 zeigt die Ergebnisse der Web-Version des Experimentes in der gleichen Darstellungsform wie in Abb. 6.2. Jeder Datenpunkt stellt das Ergebnis einer Person dar. Insgesamt gleicht das Datenmuster dem des browserbasierten Experimentes, das Abb. 6.1 wiedergibt. Einige wenige Werte weichen von dem in den Daten vorherrschenden Muster der Wahrscheinlichkeitsangleichung ab. Diese Ausreißer scheinen auszudrücken, dass der jeweilige Proband der *gambler's fallacy* zum Opfer gefallen zu sein scheint. Der Irrtum des Spielers (*gambler's fallacy*) ist durch die falsche Annahme gekennzeichnet, dass nach Auftreten eines als unwahrscheinlich eingestuften Ereignisses unweigerlich bald schon das als wahrscheinlicher eingestufte Ereignis folgt. Das Gesetz der großen Zahl besagt aber lediglich, dass die Verteilung in einer Stichprobe sich mit größerem Umfang der Verteilung in der Population angleicht.

6.5 Fragen und Diskussionsthemen

Das Web-Experiment konnte mit einer umfangreichen Stichprobe durchgeführt werden. Dass die Stichprobe auch heterogen war, ging aus den Daten hervor, die über den Fragebogen im Anschluss an das eigentliche Experiment erfasst wurden. Daher konnte der Einfluss des Geschlechts oder auch der angegebene (aber nicht überprüfbare!) Bildungsstand auf den Erfolg bei der Bearbeitung des Experiments untersucht werden. Unter den 538 teilnehmenden Frauen waren beispielsweise 40 Frauen, die nach eigenen Angaben einen Dokortitel hatten. Von den teilnehmenden 299 Männern gaben 30 an, einen solchen Abschluss zu haben.

Die breite Datenbasis im Web-Experiment erlaubt die Beantwortung der Frage, ob Probanden mit einem hohem Bildungsniveau erfolgreicher bei der Bearbeitung des Experiments waren als andere Probanden. Insgesamt war der Prozentsatz korrekter Antworten bei promovierten Probanden (70,3%) signifikant ($t(697) = 2,03, p < .05$) höher als der entsprechende Prozentanteil in der Gruppe der Probanden mit einer Ausbildungsdauer von 12-16 Jahren (65,9%). Betrachtet man die promovierten Probanden getrennt nach Geschlechtern, so betrug hier die durchschnittliche Anzahl korrekter Antworten bei den Frauen 70,7% und bei den Männern 69,9%. Diese Zahlen sind höher als die entsprechenden Zahlen bei den Probanden, die den Abschluss einer *graduate school* (66,2% respektive 67,1%) haben. Eine Fortsetzung dieses Musters ist auch auf der Ebene der Probanden mit dem Abschluss *bachelor* festzustellen. Bei den 110 Frauen mit Abschluss *bachelor* betrug die Anzahl korrekter Antworten im Durchschnitt 64,6% und bei den 74 Männern 66,8%.

Die Tendenz, dass ein höherer Bildungsabschluss mit Erfolg bei der Aufgabe zum Wahrscheinlichkeitslernen einhergeht, war insgesamt nur schwach ausgeprägt. Allerdings lassen sich mit umfangreichen und heterogenen Stichproben, die über Web-Experimente erreichbar sind, auch solche Phänomene untersuchen. In vergleichbaren Laborexperimenten sind solche schwachen Effekte ungleich schwerer nachzuweisen. Weitere Möglichkeiten der Datenanalyse ergeben sich für jede der demographischen Variablen, die wie der Bildungsstand in einem Zusammenhang mit einer der abhängigen Variablen stehen. Bei der Deskription der Daten können Grafiken, die wie die

Abbildung
be erstellt

6.6 Ex

Ein kürzlic
striert, wie
gen innerh
Untersuchu
dem Ziel d
griff ist au
der Verbinc
unterbroche
Gehirn erge
der linken c
den können.

Ausgang
gung, dass
Strategien z
Sie nehmen
der linken F
zialisiert un
bewältigen.
Patienten so
ten/Proband
sphäre und c
beiteten. Die
Hirnhälfte d
ser ab als die
fiel.

Die gesch
Versuchsste
zu beantwort
dieser Art so
Regeln zu er
diejenige Op
Könnten Hin
wählen, einer
hat Übung, d
lernen, auf di
auf den Lern
scheinlichkeit
ohne großen

ientes in der gleichen Ergebnis einer Person ten Experimentes, das in den Daten vorherrschende Ausreißer scheinen zu zum Opfer gefallen durch die falsche Anscheinlich eingestuftes Ereignis die Verteilung in einer pulation angleicht.

obe durchgeführt werden Daten hervor, die über erfasst wurden. Daher e (aber nicht überprüf- Experiments untersucht sweise 40 Frauen, die nehmenden 299 Män-

antwortung der Frage, ob ei der Bearbeitung des Prozensatz korrekter $t(697) = 2,03, p < .05$ r Probanden mit einer die promovierten Pro- rchschnittliche Anzahl ern 69,9%. Diese Zahlen, die den Abschluss Fortsetzung dieses Mu- bachelor festzustellen. hl korrekter Antworten

g bei der Aufgabe zum hwach ausgeprägt. Al- pproben, die über Web- chen. In vergleichbaren chwerer nachzuweisen. e der demographischen ig mit einer der abhän- n Grafiken, die wie die

Abbildungen 6.1 oder 6.2 aufgebaut sind oder für einzelne Teilgruppen der Stichprobe erstellt werden, gute Dienste leisten.

6.6 Extensionen

Ein kürzlich erschienener Aufsatz von Wolford, Miller und Gazzaniga (2000) illustriert, wie das Wahrscheinlichkeitslernen verwendet werden kann, um Untersuchungen innerhalb der Neurowissenschaften durchzuführen: Die Autoren setzen diesen Untersuchungsansatz bei Epilepsiepatienten ein, denen der Corpus Callosum mit dem Ziel durchtrennt worden war, gravierende Symptome abzumildern. Dieser Eingriff ist auch unter der Bezeichnung *split-brain* bekannt, da dadurch die Mehrzahl der Verbindungen zwischen der linken und der rechten Hirnhälfte bzw. Hemisphäre unterbrochen wird. Für die Untersuchung informationsverarbeitender Prozesse im Gehirn ergeben sich dadurch interessante Möglichkeiten, weil Informationen gezielt der linken oder aber der rechten Hirnhälfte zugespielt und ihre Effekte studiert werden können.

Ausgangspunkt für die Untersuchung von Wolford et al. (2000) war die Überlegung, dass Aufgaben zum Wahrscheinlichkeitslernen die Probanden herausfordern, Strategien zu entwickeln, wie die Aufgaben am erfolgreichsten zu bewältigen sind. Sie nehmen weiter an, dass in der Mehrzahl der Fälle die Aufgabe weitgehend von der linken Hirnhälfte bearbeitet wird. Die allerdings ist auf Sprachverarbeitung spezialisiert und kann die Aufgabe zum Wahrscheinlichkeitslernen nur unzulänglich bewältigen. In ihren Untersuchungen zum Wahrscheinlichkeitslernen mit *split-brain* Patienten sorgten sie durch geeignete Versuchsanordnungen dafür, dass die Patienten/Probanden einer Untersuchungsgruppe die Aufgabe mithilfe der rechten Hemisphäre und die Probanden der anderen Gruppe mithilfe der linken Hemisphäre bearbeiteten. Die Ergebnisse gaben ihrer Vermutung recht: Die Gruppe, in der die rechte Hirnhälfte die kognitiven Prozesse bei der gestellten Aufgabe dirigierte, schnitt besser ab als die Gruppe, bei der der linken Hirnhälfte die Bearbeitung der Aufgabe zufiel.

Die geschilderten Arbeiten werfen eine Reihe von Anschlussfragen auf und die Versuchssteuerung erlaubt es, zahlreiche von ihnen über eine eigene Untersuchung zu beantworten. Warum aber schneiden die meisten Probanden bei Untersuchungen dieser Art so schlecht ab? Liegt es daran, dass sie alles daransetzen, um komplexe Regeln zu ersinnen, die mehr Erfolg versprechen als die simple Regel, fortwährend diejenige Option zu wählen, die sich in der Mehrzahl der Fälle als korrekt erwies? Könnten Hinweise, die falsche Regel zu vermeiden oder die optimale Strategie zu wählen, einen Einfluss auf die Leistung der Probanden ausüben? Welchen Einfluss hat Übung, d.h. die mehrfache Bearbeitung der Aufgabe zum Wahrscheinlichkeitslernen, auf die Rate korrekter Antworten? Welchen moderierenden Einfluss hätte es auf den Lernerfolg, wenn in den einzelnen Lerndurchgängen die Auftretenswahrscheinlichkeit von R2 systematisch variiert wird? Die Versuchssteuerung lässt sich ohne großen Aufwand modifizieren, um solche Fragen zu klären.

Bei der Wahl des Versuchsplans ist zu beachten, dass Experimente mit einem *within-subjects* Design von Experimenten mit einem *between-subjects* Design abweichen können (Birnbaum, 1999). Mit Verfahren, wie sie Birnbaum (2000) beschreibt, können Besucher der Eingangsseite zufällig verschiedenen experimentellen Bedingungen zugewiesen werden. Ist der Effekt der Instruktion von Interesse, würden die Probanden in jeder der verschiedenen Bedingungen unterschiedlich instruiert werden. Unter einer Untersuchungsbedingung ließe sich den Probanden mitteilen, dass es eine Strategie gibt, die ihnen eine nahezu 100%ige Erfolgsquote bringt. Andere Untersuchungsbedingungen könnten dagegen das Bild einer völlig zufallsgesteuerten Auswahl richtiger Ergebnisse vermitteln, bei der es letztlich keine optimale Strategie gibt. In weiteren experimentelle Manipulationen bzw. unabhängige Variablen ließe sich mit Belohnungen (*Incentives*) arbeiten und deren Höhe variieren. Würde diese Manipulation Effekte nach sich ziehen, läge der Schluss nahe, dass das üblicherweise schlechte Abschneiden beim Wahrscheinlichkeitslernen eher motivationale als kognitiver Gründe hat.

Literatur

- Birnbaum, M. H. (1999). How to show that $9 > 221$: Collect judgments in a between-subjects design. *Psychological Methods*, 4, 243-249.
Der Aufsatz zeigt, wie man bei der Verwendung eines *between-subjects*-Design zu abstrusen Schlussfolgerungen gelangen kann.
- Birnbaum, M. H. (2001). *Introduction to Behavioral Research on the Internet*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
Das Buch stellt Techniken vor, die zur Durchführung einfacher psychologischer Experimente im WWW benötigt werden. Es wendet sich an Studierende und aber auch an Praktiker, die sich mit dem Handwerkzeug der Online-Forschung vertraut machen wollen. Über Programmbeispiele in HTML und JavaScript werden Aspekte der experimentellen Versuchssteuerung wie etwa die zufallsgesteuerte Zuweisung von Probanden zu Untersuchungsgruppen oder die Übergabe von Daten in Formularen erläutert. Anhand von Beispielen mit MS Excel und SPSS wird die Brücke von der Erfassung der Daten zu ihrer Aufbereitung geschlagen.
- Bower, G. (1994). A turning point in mathematical learning theory. *Psychological Review*, 101, 290-300.
Der Artikel zieht die Summe aus der jahrzehntelangen Forschungstradition zum Wahrscheinlichkeitslernen und seiner Modellierung, die weitgehend als Reaktion auf den klassischen Artikel von Estes (1950) einsetzte. Nicht ganz zu Unrecht wird dieser Arbeit besonderes Gewicht beigemessen, da sie in der Jubiläumsausgabe zum 100jährigen Bestehen der renommierten Zeitschrift *Psychological Review* erschienen ist. Zusammengestellt wurde hier eine exklusive Auswahl wichtiger Themen psychologischer Forschung, die im Verlauf der letzten 100 Jahre in *Psychological Review* erschienen sind. Der Artikel behandelt auch neuere Entwicklungen in der Lerntheorie, wie die letzten Arbeiten von Estes, bei denen die Modellierung von Verhaltensmodifikationen nach Erfahrungen mit Hilfe von konnektionistischen adaptiven Netzwerken im Vordergrund stehen.
- Bower, G. & Heit, E. (1992). Choosing between uncertain options: A reprise to the Estes scanning model. In A. Healy, S. Kosslyn & R. M. Shiffrin (Eds.), *From*

learn
baum.
Vergle
Analys
Modell
Estes, W.
57, 94-
Das Ph
einfach
sten Ar
Klassik
Estes, W.
view, 8
Der Art
schiedei
judgmer
Restle, F.
ing, M/
Ein Leh
matical
modelle
in Sprün
spirierter
piteln gu
Wolford, C
potheris
Wie das
schaften
Mitarbeit

iente mit einen *within-*
cts Design abweichen
 2000) beschreibt, kön-
 nimentellen Bedingun-
 resse, würden die Pro-
 lich instruiert werden.
 den mitteilen, dass es
 te bringt. Andere Un-
 illig zufallsgesteuerten
 eine optimale Strategie
 ängige Variablen ließe
 variieren. Würde diese
 dass das üblicherweise
 · motivationale als ko-

udgments in a between-
 n-subjects-Design zu ab-
 h on the Internet. Upper

r psychologischer Experi-
 de und aber auch an Prak-
 ; vertraut machen wollen.
 ppekte der experimentellen
 on Probanden zu Untersu-
 rläutert. Anhand von Bei-
 fassung der Daten zu ihrer

ig theory. *Psychological*

hngstradition zum Wahr-
 l als Reaktion auf den klas-
 echt wird dieser Arbeit be-
 be zum 100jährigen Beste-
 enen ist. Zusammengestellt
 logischer Forschung, die im
 ienen sind. Der Artikel be-
 e die letzten Arbeiten von
 onen nach Erfahrungen mit
 ergrund stehen.

options: A reprise to the
 M. Shiffrin (Eds.), *From*

learning theory to connectionist theory (pp. 21-43). Hillsdale, NJ: Lawrence Erl-
 baum.

Vergleich des Modells von Estes mit einem Vertreter einer anderen, sehr häufig zur
 Analyse und Beschreibung des Entscheidungsverhaltens angewendeten Modells, dem
 Modell erwarteten Nutzens (*expected utility*).

Estes, W. K. (1950). Toward a statistical theory of learning. *Psychological Review*,
 57, 94-107 (teilweise Abdruck *Psychological Review*, 101, 282-289).

Das Phänomen der Wahrscheinlichkeitsangleichung wird hier mit einem vergleichsweise
 einfachen mathematischen Modell nachkonstruiert. Rückblickend einer der einflussreich-
 sten Artikel in der 100jährigen Publikationsgeschichte von *Psychological Review*. Ein
 Klassiker.

Estes, W. K. (1976). The cognitive side of probability learning. *Psychological Re-
 view*, 83, 37-64.

Der Artikel stellt eine kognitive Sicht auf das Wahrscheinlichkeitslernen vor, die ver-
 schiedenen damit zusammenhängenden Phänomenen wie z.B. *relative frequency*
judgments oder *multiple cue probability* Rechnung trägt.

Restle, F. & Greeno, J. G. (1970). *Introduction to mathematical psychology*. Read-
 ing, MA: Addison-Wesley.

Ein Lehrbuch mit einigen nützlichen Kapiteln zur mathematischen Lerntheorien (*mathe-
 matical learning theory*). Behandelt werden Themen wie Testen von Evidenzen, Urnen-
 modelle des Lernens, Lernen als Ersetzung oder Akkumulation und die Frage, ob Lernen
 in Sprüngen oder graduell verläuft. Der Prozess der Aufstellung einer mathematisch in-
 spirierten Theorie und ihrer empirisch-experimentellen Überprüfung wird in diesen Ka-
 piteln gut erklärt.

Wolford, G., Miller, M. B. & Gazzaniga (2000). *The left hemisphere's role in hy-
 pothesis formation*. *Journal of Neuroscience*, 20, 1-4.

Wie das Paradigma des Wahrscheinlichkeitslernens auch im Bereich der Neurowissen-
 schaften dazu beiträgt, interessante Phänomene zu untersuchen, zeigen Wolford und seine
 Mitarbeiter.