

Experiment

I. Allgemeiner Teil

Experimente („Versuche“) haben eine große Bedeutung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Mit ihrer Hilfe werden beispielsweise Einstiege in neue Unterrichtsthemen unterstützt, komplexe Gegebenheiten veranschaulicht oder einfach die Stoffvermittlung aufgelockert.

Experimente spielen aber auch in der Wissenschaft eine große Rolle.¹ Mittels Experimenten wird gewissermaßen **„die Natur befragt“**, um Antworten auf ein „Warum?“, „Wodurch?“, „Wie?“ zu erhalten, **neue Sachverhalte** zu erforschen (Daten zu erheben) und angenommene **Kausalzusammenhänge**² hinsichtlich ihres Wahrheitsgehaltes zu überprüfen.

Experimente bestehen einerseits in **systematischen Beobachtungen** und andererseits in **aktivem, planmäßigem Verändern** bestimmter Variablen³ unter Ausschaltung bzw. zumindest Kontrolle eventueller Störfaktoren.

In Bezug auf die Einflussnahme werden **verschiedene Variablen** unterschieden und zwar:

- **Unabhängige, verursachende Variablen (UV):** Sie werden im Experiment von den ForscherInnen **manipuliert** und sind Gegenstand der Untersuchung.
- **Abhängige Variablen (AV):** Sie werden im Experiment **beobachtet/untersucht** und sind von den unabhängigen Variablen abhängig.
- **Störvariablen (SV):** Sie werden im Experiment **kontrolliert** und haben, wie die unabhängige Variable, ebenfalls Einfluss auf die abhängige Variable. Sie stören deshalb, machen Schlussfolgerungen von der unabhängigen zur abhängigen Variablen missverständlich. Beispiele für mögliche Störfaktoren: Alter, Geschlecht von untersuchten Personen, Vorwissen zum Thema, Tageszeit, Geräuschpegel ...

Haben ForscherInnen also z.B. eine bestimmte (Arbeits)hypothese entwickelt, so können sie diese unter Umständen mit einem entsprechenden Experiment überprüfen, in welchem sie die verursachende Variable (UV) gezielt ändern und die Auswirkung(en) dieses Vorganges in Hinblick auf die abhängigen Variablen (AV) untersuchen.

Um brauchbare Ergebnisse zu erhalten, darf in ein und demselben Experiment **maximal eine unabhängige Variable** auftreten. Abhängige Variable darf es mehrere geben, da die Veränderung der unabhängigen Variablen unter Umständen verschiedene Auswirkungen haben kann.

Beispiel 1: Wie beeinflusst die Temperatur das Lösungsverhalten von Kohlenstoffdioxid in Wasser?

Unabhängige Variable (wird verändert): Temperatur

Abhängige Variable (wird beobachtet/gemessen): Lösungsverhalten von Kohlenstoffdioxid

Störvariable: Luftdruck, pH-Wert der Lösung ...

¹ Vgl. Reich, Kersten (Hg.): Methodenpool. 14.1.2012. URL: <http://methodenpool.uni-koeln.de>. Zur Methode Experiment vgl. URL: http://methodenpool.uni-koeln.de/experiment/frameset_experiment.html (dl 15.11.2011, 11:19 Uhr)

² Kausalzusammenhänge: Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung; aufgrund bestimmter (angenommener) Ursachen ergeben sich bestimmte Effekte; wenn-dann-Aussagen (Konditionalaussagen); weil-deshalb-Aussagen (Kausalaussagen)

³ Variable: eine veränderliche Größe

Beispiel 2: Wie beeinflusst Alkoholgenuss das Reaktionsvermögen?

Unabhängige Variable (wird verändert): konsumierte Alkoholmenge

Abhängige Variable (wird beobachtet/gemessen): Reaktionsvermögen

Störvariable: Alter, Geschlecht, Tagesverfassung, Motivation der Testpersonen, (Raum)temperatur, Kaffeegenuss, Einnahme von Medikamenten ...

Je nach Forschungsumgebung werden **Laborexperimente** (in speziellen, von ForscherInnen erstellten, künstlichen Umgebungen mit hoher Kontrollmöglichkeit) und **Feldexperimente** (in natürlichen Umgebungen mit relativ geringen Kontrollmöglichkeiten) unterschieden.

Je nach Art der Zuordnung von Versuchspersonen/Testmaterialien zu Versuchsbedingungen liegen **randomisierte Experimente** oder **Quasi-Experimente** vor. Im ersten Fall erfolgt die Zuweisung in Test- und Kontrollgruppen durch Zufall, im zweiten Fall hingegen planmäßig.

Beispielsweise ist es in klinischen Studien zur Überprüfung der Wirksamkeit/Verträglichkeit bestimmter Medikamenteninhaltsstoffe üblich, Patienten auf zwei oder mehrere Gruppen aufzuteilen und die Gruppen miteinander zu vergleichen, um personenbezogene Störvariable möglichst auszuschalten. Eine Gruppe erhält das Medikament, die andere Gruppe bekommt ein Placebo⁴. In einer randomisierten Studie würde nun die Zuweisung der Patienten in eine der beiden Gruppen nach einem Zufallsprinzip erfolgen, in einem Quasi-Experiment hingegen nach bestimmten Kriterien (einem gewissen Alter, bestimmten Geschlecht, ...).

Experimente werden – wie andere Forschungsmethoden auch – danach beurteilt, wie **valide**⁵, **reliabel** (zuverlässig), **objektiv** und **überprüfbar** sie sind.

- Ein Experiment gilt als valide (gültig, tauglich), wenn es in einem hohen Grad auch das misst, was gemessen werden soll.
- Von **interner Validität** wird gesprochen, wenn die gemessene Veränderung der abhängigen Variablen ausschließlich auf Veränderung der unabhängigen Variablen beruht und Störfaktoren möglichst konstant gehalten bzw. ausgeschlossen werden konnten.

Laborexperimente haben im Allgemeinen eine höhere interne Validität als Feldexperimente, denn unter den künstlich geschaffenen Bedingungen lassen sich ungewollte Einflüsse besser kontrollieren. Werden beispielsweise Auswirkungen von Alkoholgenuss auf das Reaktionsvermögen untersucht, so können unter Laborbedingungen Ablenkungen verschiedenster Art ausgeschaltet werden. Der Messung des Reaktionsvermögens steht wenig entgegen. In diesem Fall ist die interne Validität hoch. Doch erhebt sich die Frage, inwieweit sich Ergebnisse solcher Art verallgemeinern lassen?

- Eine hohe externe Validität ist gegeben, wenn sich der beobachtete, kausale Zusammenhang verallgemeinern lässt.

Feldexperimente haben im Allgemeinen eine höhere externe Validität als Laborexperimente, da sie in natürlichen Umgebungen stattfinden und sich die ermittelten Ursache-Wirkungs-Beziehungen besser verallgemeinern lassen. Werden die Untersuchungen zu den Auswirkungen von Alkoholgenuss auf das Reaktionsvermögen somit in natürlichen Umgebungen vorgenommen, etwa im Stammlokal der Untersuchten, so sind die Ergebnisse realitätsnäher, lassen sich über die Stichprobe hinaus besser verallgemeinern/übertragen, haben eine hohe externe Validität. Aber wurde auch wirklich nur das gemessen, was gemessen werden soll?

⁴ Placebo (von lat. – „ich werde gefallen“): Medikament ohne pharmakologischen Wirkstoff (Scheinarzneimittel)

⁵ Vgl. Reuß, Torsten: Die interne und externe Validität von Laborexperimenten. Seminararbeit 2003 eingereicht bei Prof. Dr. Klaus Peter Kaas, Lehrstuhl für Marketing I, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main, <http://www.torstenreuss.bplaced.net/Laborexperimente.pdf> (dl 08.11.2011)

- Ein Experiment gilt als **reliabel** (zuverlässig), wenn es unter gleichen Bedingungen zu gleichen Resultaten führt.
- Es ist **objektiv**, wenn unter gleichen Bedingungen auch unabhängig von den jeweiligen ExperimentatorInnen gleiche Resultate erhalten werden.

Experimente können, auch abhängig davon, ob es sich um **natur-** oder **geisteswissenschaftliche Experimente** handelt, sehr unterschiedlich sein. In allen Fällen werden sie aber von den folgenden Faktoren bestimmt:

- den **ForscherInnen**,
- den **Versuchspersonen** bzw. den **Versuchsobjekten**,
- den **Untersuchungsanordnungen** und
- der **Durchführung**.

II. Ablaufphasen

Experimente verlaufen im Allgemeinen in drei Phasen: der **Planungs-**, **Durchführungs-** und **Auswertungsphase**.

- Die **Planungsphase** ist für den weiteren Verlauf des Experiments bestimmend und daher sehr wichtig. Sie besteht im Klären der folgenden Fragen und Erstellen eines detaillierten **Versuchsplans**:
 - **Welches Ziel** soll mit dem Experiment verfolgt werden? **Was genau** soll mithilfe des Experiments im jeweiligen wissenschaftlichen Gebiet geklärt werden?

Beispiel aus dem naturwissenschaftlichen Bereich:

Fragestellung: *Welches Lösungsverhalten zeigt Kohlenstoffdioxid in Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur bzw. präziser formuliert: Löst sich Kohlenstoffdioxid bei 30° Celsius Wassertemperatur schlechter in Wasser als bei 15° Celsius?*

Arbeitshypothese (Vermutung nach Aktivierung von Vorwissen): *Kohlenstoffdioxid löst sich mit steigender Temperatur zunehmend schlechter in Wasser.*

- **Wie** und **womit** soll die **Hypothese** überprüft werden? Was genau soll gemessen, **welche Daten** sollen erfasst werden? Mit welcher **Versuchsanordnung** sollen die abhängigen Variablen erfasst werden? Welche **Geräte** und **Materialien** werden gebraucht?

Ein möglicher, einfacher Ansatz zur Bestimmung der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid ist unter folgendem Link nachzulesen: <http://netexperimente.de/chemie/61.html>

- Soll **nur eine** oder sollen nacheinander **mehrere unabhängige Variablen** verändert werden? In welchen und wie vielen Stufen sollen sie variiert werden?
- Welche **Störvariablen**⁶ treten auf (ev. Umwelteinflüsse ...), wie können sie ausgeschaltet, minimiert, konstant gehalten, parallelisiert bzw. randomisiert⁷ werden?
- Welche **Fehler** könnten auftreten?
- Welcher **Zeitraumen** steht zur Verfügung?
- Bei **Gruppenarbeit**: Wie ist die **Aufgabenverteilung** zu gestalten?

⁶ Vgl. Stangl, Werner: Das Experiment. Strategien zur Kontrolle von Störvariablen. [Werner Stangl]s-Arbeitsblätter, URL: <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/FORSCHUNGSMETHODEN/Experiment.shtml> (dl 14.11.2011, 18:47)

⁷ Auswahl von Testpersonen/Testproben nach einem Zufallsprinzip

- Bei **soziologischen/psychologischen Experimenten** ist zudem zu klären:
Welche **Personengruppe(n)** soll(en) untersucht werden (die Gesamtheit der Zielgruppe oder nur Stichproben)? Welche Personen sollen der Experimentalgruppe zugeordnet werden und welche der Kontrollgruppe⁸? Durch welches Verfahren soll die Zuteilung der Personen erfolgen (per Zufall oder planmäßig)?
- In der **Durchführungsphase** gilt es den Versuchsplan umzusetzen. Dazu müssen bei naturwissenschaftlichen Experimenten Chemikalien und Laborgeräte bereitgestellt, Apparaturen standfest aufgebaut und die Experimente unter Beachtung aller Sicherheitsvorkehrungen ausgeführt werden.

Alle Schritte sind penibel zu protokollieren. Schließlich sollten die Experimente anhand der Aufzeichnungen zu einem anderen Zeitpunkt/von einer anderen Person wiederholt werden können bzw. können die Unterlagen bei einer eventuellen Fehlersuche hilfreich sein.

Naturwissenschaftliche Protokolle beinhalten üblicherweise die folgenden Punkte:

- Überschrift/Titel des Experiments
- Aufgaben- bzw. Fragestellung, Einleitung
- Chemikalien/Laborgeräte
- Durchführung
- Ergebnisse
- Diskussion der Ergebnisse
- Verwendete Literatur

Die Vorlage eines **Laborprotokolls** ist unter: <http://www.ahs-vwa.at/>, Kategorie: Materialien abzurufen.

- In der **Auswertungsphase** sind die erhaltenen Daten gemäß dem Versuchsplan – und unter Umständen statistisch – zu erfassen, zu interpretieren, zu bewerten sowie zu diskutieren. Letzteres auch etwa in der Art: Sind Fehler aufgetreten? Wenn ja, in welcher Größenordnung? Wie zuverlässig sind die Messergebnisse? Ist das Experiment unter Umständen zu wiederholen?

Mit dem Experiment können angenommene Kausalzusammenhänge bestätigt oder gar widerlegt und Gesetzmäßigkeiten erkannt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse können als Grundlage für neue Modelle und schließlich Theorien dienen.

⁸ Eine Kontrollgruppe ist eine Personengruppe, die als Vergleich dient, die der Experimentalgruppe in allem entspricht, bei der die unabhängige Variable aber nicht variiert wird; Personenkreis, der beispielsweise in einer Studie zur Zulassung eines Medikamentes, nur ein Placebo verabreicht bekommt.

III. Mögliche Fehlerquellen

Mögliche Fehlerquellen/Probleme:

Bei wissenschaftlichen Messungen/Experimenten werden grundsätzlich drei Arten von Fehlern⁹ unterschieden:

- **Grobe Fehler** aufgrund schlechter/falscher Planung, Schlamperei (Verwechslung von Proben), Unwissen, unvollständigen Aufzeichnungen etc. Sie liefern mehr oder weniger falsche Ergebnisse.
- **Systematische Fehler** aufgrund von z.B. falsch geeichten Messinstrumenten, Waagen etc., schlecht geschulten ExperimentatorInnen. Sie liefern entweder konstant zu hohe oder zu niedrige Werte. Das bedeutet, die Resultate werden in eine Richtung verschoben.
- **Zufällige (statistische) Fehler** aufgrund von Schwankungen äußerer Bedingungen wie z.B. Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, ungenauem Ablesen von Skalen, Toleranzen beim Pipetieren (Ablesen/Einstellen eines Meniskus¹⁰) etc. Sie liefern bei mehrmaliger Wiederholung etwas unterschiedliche Ergebnisse (Messwerte streuen um einen Mittelwert) und können durch wiederholte Messungen verringert werden.

Bei Experimenten unter **Beteiligung von Personen** (soziologische/psychologische Experimente, medizinische Studien¹¹ und dergleichen) sind für aussagekräftige Resultate eine ganze Reihe möglicher Fehlerquellen zu beachten und zu berücksichtigen. Einige sind in der Folge aufgelistet:

- Mangelnde bzw. Übermotivation von Versuchspersonen
- Versuchsleiter sieht/beobachtet nur, was er sehen will (Rosenthaleffekt)¹²
- Einfluss persönlicher Eigenschaften, Einstellungen und Meinungen von Versuchspersonen auf das Verhalten anderer (Attributsfehler)
- Zwischenzeitliches Geschehen, das zur Änderung persönlicher Eigenschaften, Einstellungen etc. von Versuchspersonen während des Experiments (z.B. Maturation, d.i. Reifung/Entwicklung der Versuchspersonen) führt
- Einflüsse der Vorher-Messung auf die Nachher-Messung (Vorher-Messung ändert möglicherweise die Einstellung der Versuchspersonen, macht sie erfahrener (Messeffekte))
- Verwendung unterschiedlicher Messinstrumente, unterschiedliche Testauswertung durch verschiedene Personen (Instrumenteneffekte)
- Einseitige Selektion (Interessenten/Nichtinteressenten)
- Gehäuft Aussteiger (Versuchspersonen, die das Experiment vorzeitig abbrechen) aus nur einer Versuchsgruppe, z.B. der Experimentalgruppe
- Wirkung der Zuteilung zu Experimental- oder Kontrollgruppe (Freude bei der einen bzw. Enttäuschung bei den anderen Versuchspersonen)

⁹ Vgl. Braun, Markus: Kurzanleitung zur Auswertung, Fehlerrechnung und Ergebnisdarstellung im Praktikum Physikalisch-Chemische Experimente. Institut für Physikalische und Theoretische Chemie Goethe-Universität Frankfurt. März 2011.

URL: http://www.ptc.uni-frankfurt.de/Unterpages/Kurzanleitung_Protokoll.pdf (dl 14.11.2011, 19:09)

Vgl. Kunze, Udo R.; Schwedt, Georg: Grundlagen der quantitativen Analyse. Fehlerbetrachtung. (6. Auflage) Weinheim: Wiley-VCH-Verlag, 2009, S. 5ff

¹⁰ Oberflächenwölbung einer Flüssigkeit; bei wässrigen Lösungen in Glaspipetten konkav (nach unten gewölbt); ist exakt an der Unterseite der Wölbung abzulesen.

¹¹ Ludwig-Mayerhofer, Wolfgang Ludwig: Experiment. Fehlerquellen von Untersuchungen und ihre „Behebung“ in Experimenten. 4. Juni 2003. URL: http://www.lrz.de/~wlm/ilm_e5.htm (dl 15.11.2011, 12:51 Uhr)

¹² Versuchsleiter(erwartungs)effekt: entdeckt von den beiden US-amerikanischen Psychologen Robert Rosenthal und Leonore Jacobson bei Untersuchungen von Lehrer-Schüler-Interaktionen; besagt, dass sich positive Erwartungen/Haltungen/Einstellungen von LehrerInnen bestimmten SchülerInnen gegenüber schließlich bestätigen/erfüllen. Ähnliches gilt für Beziehungen zwischen VersuchsleiterInnen und ProbandInnen („selbsterfüllende Prophezeiung“).