Teil 5

Kognitive Aktivierung

Ralph Schumacher, Lorenz Stäheli

Teil 5: Welche Aufträge eignen sich für die Vertiefung des Wissens?

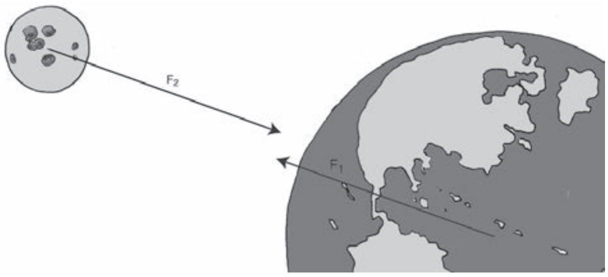
Im fünften Teil unserer Serie geht es um die Frage, welche Aufträge geeignet sind, damit die Schülerinnen und Schüler im Anschluss an den Unterricht das Gelernte vertiefen können und ihre Aufmerksamkeit auf zentrale Inhalte, aber auch auf gängige Fehlvorstellungen lenken, um diese zukünftig zu vermeiden. Im Folgenden werden drei Arten von Aufträgen vorgestellt, die sich besonders bewährt haben.

Aufträge zum Erstellen von Selbsterklärungen

Wie lässt sich im Unterricht oder im Anschluss daran das Gelernte vertiefen? Eine Lernform, die sich in den letzten zwei Jahrzehnten in zahlreichen experimentellen Vergleichsstudien als besonders lernwirksam erwiesen hat, besteht darin, die Lernenden durch Erklärungsaufträge gezielt dazu anzuleiten, zentrale Lerninhalte noch einmal zu durchdenken (zur Übersicht siehe Berthold & Renkl, 2010). Auf diese Weise müssen sich die Lernenden aktiv mit den Unterrichtsinhalten beschäftigen und ihr bestehendes Wissen entsprechend umstrukturieren. Die Schülerinnen und Schüler erhalten dabei den Auftrag, sich zu überlegen, wie sie beispielsweise ein Konzept, ein Naturgesetz oder einen Lösungsweg erklären würden. Solche Erklärungen werden in der Lehr- und Lernforschung als „Selbsterklärungen“(self-explanations) bezeichnet.

Da Schülerinnen und Schüler anspruchsvolle Selbsterklärungen nur selten spontan konstruieren, müssen sie durch geeignete Selbsterklärungs-Aufträge regelmäßig dazu aufgefordert werden. Diese Aufträge können sowohl im Unterricht als auch zur Vertiefung bei den Hausaufgaben eingesetzt werden. Wichtig ist, dass die Aufträge anspruchsvoll sind und die Lernenden geistig herausfordern. Wenn Schülerinnen und Schüler Selbsterklärungs-Aufträge bearbeiten, wird dadurch erstens ihr Verständnis des Lernstoffs vertieft. Zweitens erwerben sie, wenn sie regelmäßig mit solchen Aufträgen konfrontiert werden, langfristig die Kompetenz, sich selber solche Erklärungen abzuverlangen. Sobald diese Routine etabliert ist, verfügen sie damit nicht nur über Mittel zur Vertiefung ihres Wissens, sondern auch über einen Prüfstein für ihr Verständnis und erliegen seltener Illusionen über das eigene Verstehen.

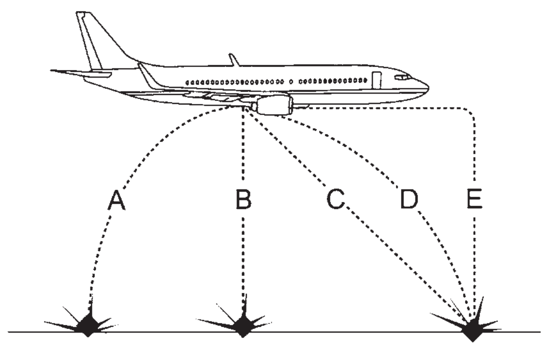
Ein Beispiel für einen Selbsterklärungs-Auftrag im Fach Physik ist die folgende Aufgabe, die sich mit dem Unterschied zwischen Wechselwirkungskräften und Kräftegleichgewichten befasst. Da die Schülerinnen und Schüler beides häufig miteinander verwechseln, ist es sinnvoll, die Unterschiede von ihnen deutlich herausarbeiten zu lassen. Dabei kann es hilfreich sein, sie mit Fehlvorstellungen zu konfrontieren, zu denen sie selber tendieren. In dem folgenden Auftrag geht es darum, dass sie erkennen, dass es sich in dem vorliegenden Fall nicht um ein Kräftegleichgewicht, sondern um Wechselwirkungskräfte handelt:



Hugo vertritt die Meinung, dass sich Erde und Mond in einem Kräftegleichgewicht befinden, weil sich beide mit gleicher Kraft gegenseitig anziehen. Trifft das zu oder nicht? Falls es nicht zutrifft, wie würden Sie Hugo erklären, warum seine Meinung falsch ist?

Abb. 1: Selbsterklärungs-Auftrag zum Unterschied zwischen Wechselwirkungskräften und Kräftegleichgewichten

Selbsterklärungs-Aufträge können auch so formuliert sein, dass die Schülerinnen und Schüler grundlegende Zusammenhänge noch einmal erklären und sich dabei beispielsweise überlegen, wie sie ihre Erklärung an den Kenntnisstand einer anderen Person anpassen:



Ein Mitschüler von Ihnen hat in der vorangegangenen Lektion gefehlt und ist überrascht, dass die Flugbahn eines aus einem vorwärts fliegenden Flugzeug fallenden Objektes mit der Option D korrekt beschrieben wird. Wie können Sie ihm dieses Phänomen physikalisch erklären?

Abb. 2: Selbsterklärungs-Auftrag zum physikalischen Konzept der Trägheit

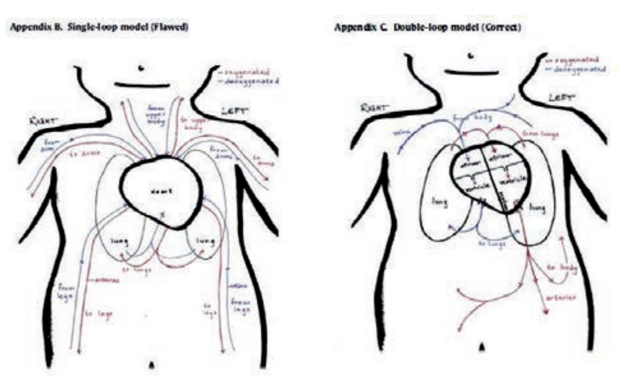
Beim Erstellen von Selbsterklärungs-Aufträgen sollte Folgendes beachtet werden:

- Die Aufträge sollten anspruchsvolle und zentrale Konzepte, Lösungswege oder Zusammenhänge betreffen.
- Es ist hilfreich, typische Alltags- bzw. Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler auf der Grundlage von Unterrichtserfahrungen zusammenzustellen und in Selbsterklärungs-Aufträgen zu thematisieren, damit sie darauf aufmerksam gemacht werden, dass diese Vorstellungen unzutreffend sind.
- Ebenso können sie von Selbsterklärungs-Aufträgen profitieren, indem sie aufgefordert werden, zentrale Konzepte, Lösungswege oder Zusammenhänge in eigenen Worten zu erklären und sich dabei zu überlegen, wie sie ihre Erklärungen für Adressaten mit verschiedenen Wissensständen formulieren müssen.

Holistischer Vergleich von Modellen

Obwohl das Bearbeiten von Selbsterklärungs-Aufträgen die Umstrukturierung des Begriffswissens bereits effizient unterstützt, gibt es eine weitere Lernform, die unter bestimmten Voraussetzungen noch lernwirksamer sein kann. Geht es nämlich um das Verständnis komplexer Modelle, dann hat es sich bewährt, den Lernenden im Anschluss an den Unterricht noch einmal das korrekte Modell sowie ein teilweise inkorrektes Laienmodell zu präsentieren und die Lernenden anzuleiten, alle wichtigen Unterschiede zwischen diesen beiden Modellen herauszuarbeiten. Auf diese Weise konnte beispielsweise das Verständnis des menschlichen Blutkreislaufes noch lernwirksamer gefördert werden als mit Selbsterklärungs-Aufträgen (Gadgil et al., 2012). Das Besondere eines solchen Modellvergleichs liegt darin, dass damit gezielt Fehlvorstellungen angesprochen sowie die Vorteile des korrekten Modells hervorgehoben werden können.

In der dargestellten Studie haben alle Personen zunächst dieselben Informationen über den menschlichen Blutkreislauf erhalten. Die Aktivitäten der Versuchs- und Vergleichsgruppe unterschieden sich nur darin, wie dieses Wissen anschließend vertieft wurde. Die Versuchsgruppe erhielt den Auftrag herauszuarbeiten, worin sich das Expertenmodell des menschlichen Blutkreislaufs (rechte Abbildung) vom Laienmodell unterscheidet.



Laienmodell Expertenmodell

Abb. 3: Materialien zum holistischen Modellvergleich

Der Vergleichsgruppe wurde das Expertenmodell ohne das Laienmodell präsentiert. Die Personen in dieser Gruppe haben Selbsterklärungs-Aufträge erhalten, mit denen sie alle wichtigen Aspekte des Expertenmodells noch einmal durchdacht haben. Obwohl Selbsterklärungs-Aufträge ein sehr lernwirksames Mittel zur Vertiefung des Wissens sind, wurden in dieser Studie die Ergebnisse der Vergleichsgruppe in anschließenden Nachtests von den Ergebnissen der Versuchsgruppe noch deutlich übertroffen. Dies spricht dafür, dass solche Modellvergleiche für das Verständnis komplexer Modelle noch lernwirksamer sein können als Selbsterklärungs-Aufträge. Beim Erstellen solcher Modellvergleiche sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Die Modelle sollten hinreichend anspruchsvoll und komplex sein, damit sich der Einsatz von Modellvergleichen lohnt.
- Bei der Gestaltung der Laienmodelle ist es wichtig, typische Alltags- bzw. Fehlvorstellungen sowie Wissenslücken der Schülerinnen und Schüler auf der Grundlage von Unterrichtserfahrungen zusammenzustellen und in die Laienmodelle einzubeziehen. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die Lernenden durch die Kontrastierung von Laien- und Expertenmodell das Expertenmodell besser verstehen.

Metakognitive Fragen

Erfolgreiches Lernen erfordert die regelmäßige Kontrolle des Lernstands und der Lernfortschritte. Um gezielt neues Wissen aufbauen zu können, ist es daher entscheidend, dass der Lernende weiß, was er bereits gut verstanden hat, und in welchen Bereichen er an seinem Verständnis noch arbeiten muss. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler lernen, sich selber regelmäßig Fragen zu ihrem eigenen Verständnis zu stellen, wie zum Beispiel die Frage: „Habe ich wirklich verstanden, worin der Unterschied zwischen einer Exponentialfunktion und einer Potenzfunktion besteht? Könnte ich den Unterschied anderen Personen klar und eindeutig erklären?“ Um ihnen diese Kompetenz zu vermitteln, müssen ihnen regelmäßig Aufträge zur Reflexion ihres Lernstands so genannte „metakognitive Fragen“ vorgegeben werden. Die Lernwirksamkeit metakognitiver Fragen wird durch viele voneinander unabhängige experimentelle Vergleichsstudien belegt (Mevarech & Fridkin). Auch für die erfolgreiche Umsetzung metakognitiver Trainings im Schulalltag über längere Zeiträume gibt es empirische Belege (Zepeda et al., 2015).

Metakognitive Fragen können sowohl im Unterricht als auch zur Nachbereitung als Hausaufgaben bearbeitet werden und müssen sorgfältig auf die jeweiligen Unterrichtsinhalte abgestimmt sein. Metakognitive Fragen dürfen zudem nicht zu leicht sein und müssen zentrale Konzepte und Probleme betreffen, bei denen tatsächlich Verständnisschwierigkeiten auftreten können. Der Einsatz metakognitiver Fragen hat zwei Effekte: Erstens führt er dazu, dass die Schülerinnen und Schüler den Lernstoff noch einmal durchdenken und besser verstehen. Zweitens hat er den Effekt, dass sie die Kompetenz erwerben, sich selber metakognitive Fragen zu stellen und damit selbständig ihren Lernstand und ihre Lernfortschritte zu kontrollieren. Mit metakognitiven Fragen kann sowohl das Verständnis von Konzepten als auch das Verständnis von Lösungsstrategien überprüft und vertieft werden. Um diese Fragen lernwirksam gestalten zu können, ist natürlich die Kenntnis der Schülervorstellungen entscheidend.

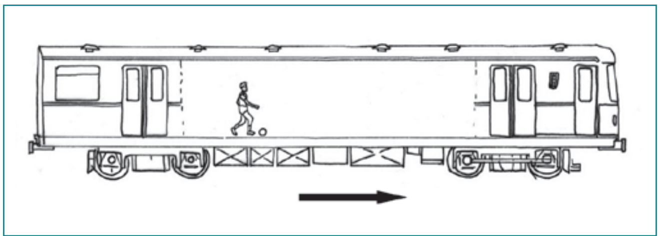


Abb. 4: Beispiel für eine metakognitive Frage im Rahmen der Mechanik: Die Abbildung zeigt einen Jungen, der in einem fahrenden Zug Fußball spielt. Solange der Zug weder seine Geschwindigkeit noch seine Richtung ändert, merkt der Junge nichts von der Bewegung des Zuges. Hast Du die Äquivalenz von Ruhe und gleichförmig geradliniger Bewegung so gut verstanden, dass Du jemanden, der glaubt, beide Zustände wären grundsätzlich verschieden, von der physikalisch korrekten Sichtweise überzeugen könntest? Falls Du das noch nicht kannst, welche Information fehlt Dir noch?

Beim Erstellen von metakognitiven Fragen sollte Folgendes beachtet werden:

› Die Aufträge sollten anspruchsvolle und zentrale Konzepte, Lösungswege oder Zusammenhänge betreffen.

› Es ist entscheidend, typische Alltags- bzw. Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler auf der Grundlage von Unterrichtserfahrungen zusammenzustellen und in metakognitiven Fragen zu thematisieren.

› Um die Lernenden mit metakognitiven Fragen zur Reflexion ihres Kenntnisstandes anzuleiten, können sie zum Beispiel aufgefordert werden darzustellen, was sie bereits besonders gut verstanden haben. Ebenso können sie angeleitet werden zu beschreiben, was sie noch nicht verstanden haben.

› Damit sich die Schülerinnen und Schüler überlegen, was sie unternehmen sollten, um ihre Verständnisdefizite oder Wissenslücken zu beseitigen, sollten sie auch gefragt werden, welche Aktion als nächster Schritt am sinnvollsten wäre (z. B. die Mitschüler fragen, mehr üben, einen Text lesen, die Lehrperson fragen, etc.).

Aufträge zur Vertiefung des Wissens: Beispiel Statistik

Nach der Einführung der Lerninhalte folgen jeweils zur Vertiefung des Erlernten neben Anwendungsaufgaben auch Aufträge zur Selbsterklärung. Bei der Bearbeitung dieser Aufträge schauen die Schülerinnen und Schüler ganz selbstverständlich nochmals die erwähnten Beispiele und Lerninhalte durch und formulieren diese in eigenen Worten. Man kann sich leicht vorzustellen, dass diese Form der Vertiefung besonders lernwirksam ist.

Die folgenden drei Aufträge sollen die Schülerinnen und Schüler gezielt dazu anregen, zentrale Lerninhalte noch einmal zu durchdenken und in eigenen Worten zu beschreiben.

Selbsterklärungsaufträge

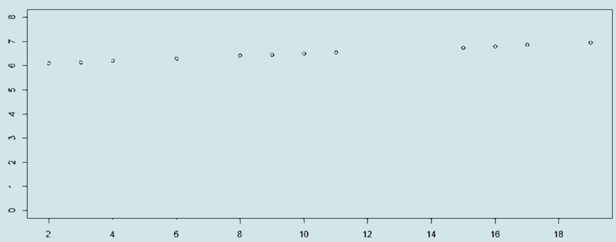
1. Beim Betrachten der Prüfungsleistungen
   Erster Schüler: 5, 3, 3, 3, 1
   Zweiter Schüler: 1, 5, 3, 5, 1
   Dritter Schüler: 2, 4, 2, 4, 3
   wundert sich Marion: „Wieso ist die Standardabweichung beim dritten Schüler kleiner als beim ersten Schüler? Beim ersten Schüler schwanken die Werte doch viel weniger als beim dritten Schüler."
   Erklären Sie Marion anschaulich, wieso die Standardabweichung beim dritten Schüler kleiner ist als beim ersten Schüler.

2. Beschreiben Sie in eigenen Worten, welche Schritte zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten durchgeführt werden müssen.

3. Kathrin findet im Internet folgende Definition von Histogrammen: „Ein Histogramm ist ein Balkendiagramm, das die Zahl von auftretenden Daten in einem bestimmten Bereich oder Intervall zeigt." Was ist bei dieser Definition falsch und was ungenau? Schreiben Sie eine korrigierte Version dieser Definition.

Der Korrelationskoeffizient wird von manchen Lernenden mit der Steigung der Regressionsgeraden verwechselt. Mit dem folgenden Auftrag werden die Lernenden dazu angeregt, sich mit dieser Fehlvorstellung auseinanderzusetzen:

4. Hugo soll beim folgenden Diagramm entscheiden, wie gross der Korrelationskoeffizient ist.



Nachdem er sich das Diagramm kurz angeschaut hat, meint er: „Hier ist der Korrelationskoeffizient nahe bei Null, denn alle Punkte liegen ja fast waagrecht nebeneinander."
Hat Hugo Recht?
Begründen Sie Ihre Antwort.

Der holistische Vergleich bietet sich in der Mathematik gerade dann an, wenn ein Verfahren aus mehreren Schritten besteht, wie beispielsweise beim Lösen eines linearen Gleichungssystems. In der Statistik wird beim Hypothesentest häufig ein fester Ablauf vorgegeben, der grob in drei Schritte eingeteilt werden kann: Zuerst wird die Null- und Alternativhypothese auf Grundlage einer Fragestellung aufgestellt, dann das Signifikanzniveau und das Wahrscheinlichkeitsmodell festgelegt und zum Schluss auf Grundlage des Testergebnisses ein Entscheid gefällt. Dabei treten vielfältige Schwierigkeiten auf, welche durch das Gegenüberstellen eines Experten- und eines Laienmodells thematisiert werden können. Im folgenden Beispiel werden unter anderem die Schwierigkeiten beim Formulieren der Null- und der Alternativhypothese und die Interpretation des Testergebnisses aufgegriffen.

Holistischer Vergleich am Beispiel eines Binomialtests
Bei einem Onlineversandhandel hat Herr Pascal eine Wetterstation erworben. Der Onlineversandhandel bietet ein vierzehn-Tage-Rückgaberecht an. In einer Versuchsreihe möchte Herr Pascal untersuchen lassen, ob die Wetterstation das Wetter richtig vorhersagen kann. Dazu sollen Sie einen Hypothesentest durchführen, mit dem überprüft wird, ob die Wetterstation Regen für den nächsten Tag korrekt vorhersagt. Falls nicht, so möchte Herr Pascal von seinem Rückgaberecht Gebrauch machen.

Aufträge:
Sie werden gleich zwei verschiedene Lösungswege lesen, eine Expertenlösung und eine Laienlösung. Bitte kommentieren Sie die Lösungswege vor dem Hintergrund der folgenden Fragen:
1. Was lässt sich über die Strukturierung der Lösungswege sagen?
2. Wie gut ist jeder der beiden Wege kommentiert? Wie leicht kann man den Argumenten folgen?
3. Was lässt sich über die Formulierung der Nullhypothese sagen?
4. Wie beurteilen Sie die Schlussfolgerungen?
5. Ist ein Lösungsweg fehlerhaft oder unvollständig?

Beim Laienmodell lassen sich auch andere Fehler einbauen und so die Schülerinnen und Schüler gezielt auf Schwierigkeiten bei der Durchführung eines Hypothesentests aufmerksam machen.

Zum Schluss folgen noch Beispiele von metakognitiven Fragen, welche die Reflexion über das eigene Lernen und Verstehen anregen sollen:

Metakognitive Fragen
1. Könnten Sie jemandem erklären, wieso bei der Standardabweichung quadriert und radiziert wird?
2. Können Sie Gründe nennen, weshalb man die Standardabweichung berechnet und was man mit der Standardabweichung über die Daten aussagen kann?
3. Wissen Sie, bei welchen Daten der Korrelationskoeffizient berechnet werden kann? Können Sie Beispiele nennen?
4. Die Messergebnisse eines Schülerversuchs in Physik lassen sich häufig in einem Streudiagramm darstellen. Als Sie zusammen mit einem Mitschüler ein solches Streudiagramm erstellt haben, möchte er einfach die Punkte miteinander verbinden. Können Sie erklären, wieso er nicht die Punkte verbinden, sondern eine passende Gerade durch die Punktewolke zeichnen soll? Kennen Sie Situationen, in denen eine Gerade nicht geeignet ist?

Beim Beantworten dieser Fragen sollten sich die Schülerinnen und Schüler immer auch überlegen, was ihnen leicht fällt und an welchen Stellen sie Schwierigkeiten haben bzw. welche Informationen ihnen fehlen, um die Fragen zu beantworten.

Serie: Kognitive Aktivierung

Teil 1: Vorwissen erfassen und bewerten
Teil 2: Kognitiv aktivierende Unterrichtseinstiege
Teil 3: Kontrastierungen
Teil 4: Geistige Werkzeuge
Teil 5: Selbsterklärungen

Literatur

- Berthold, K. & Renkl. A. (2010). How to foster active processing of explanations in instructional communication. Educational Psychology Review, 22, 25-40
- Gadgil, S., Nokes-Malach, T. J. & Chi, M. T. H. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving coneptual change. Learning and Instruction, 22, 47-61.
- Mevarech, Z. & Fridkin, S. (2006). The effects of IMPROVE on mathematical knowledge, mathematical reasoning and meta-cognition. Metacognition and Learning, 1, 85, 85-97.
- Zepeda, C. D., Richea, J. E., Ronevich, P. & Nokes-Malach, T. J. (2015). Direct Instruction of Metacognition Benefits Adolescent Science Learning, Transfer, and Motivation: An In Vivo Study. Journal of Education Psychology, 107, 954-970.

Expertenlösung:

1. Fragestellung und Hypothese:
„Kann die Wetterstation Regen für den kommenden Tag richtig vorhersagen?"
Die Null- und Alternativhypothese lauten:
H_0: Die Vorhersage der Wetterstation ist zufällig, also mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0.5$ richtig.
H_A: Die Vorhersage der Wetterstation ist mit einer Wahrscheinlichkeit von $p > 0.5$ richtig.

2. Wahl des Signifikanzniveaus:
Da man das Ergebnis des Tests in zwei Wochen haben muss, wird an dreizehn Tagen die Vorhersage überprüft. Der Stichprobenumfang ist somit $n = 13$. Das Signifikanzniveau wird auf $\alpha = 5\ \%$ festgelegt.

3. Wahl einer sinnvollen theoretischen Verteilung zur Beschreibung des Ergebnisses im Wahrscheinlichkeitsmodell:
Die Anzahl richtiger Vorhersagen unter der Annahme der Nullhypothese wird durch eine Binomialverteilung modelliert, da die einzelnen Vorhersagen als unabhängig und gleich wahrscheinlich angenommen werden. Als Wahrscheinlichkeit unter der Nullhypothese ergibt dies für k richtige Vorhersagen mit $p = 0.5$ und $n = 13$:

$$P(X = k) = \binom{13}{k} \cdot 0.5^k \cdot (1 - 0.5)^{13-k} = \binom{13}{k} \cdot 0.5^{13}$$

4. Durchführung der Stichprobe:
Die Vorhersagen der Wetterstation sind in der folgenden Tabelle dargestellt, wobei „r" für richtig und „f" für falsch steht:

1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
r	f	r	r	r	r	f

8. Tag	9. Tag	10. Tag	11. Tag	12. Tag	13. Tag	
r	r	r	r	r	r	

5. Entscheid beim Signifikanzniveau von ?
Die Wetterstation sagte 11 Mal den Regen richtig vorher. Die Wahrscheinlichkeit, die Nullhypothese zu verwerfen, obwohl sie richtig ist, liegt bei

$$P(X \geq 11) = \binom{13}{11} \cdot 0.5^{13} + \binom{13}{12} \cdot 0.5^{13} + \binom{13}{13} \cdot 0.5^{13} = 0.0112$$

6. Schlussfolgerung
Das Testergebnis weicht mit 11 richtigen Vorhersagen an 13 Tagen signifikant von der Annahme ab, dass die Regenvorhersage der Wetterstation zufällig ist. Ich würde Herrn Pascal empfehlen, die Wetterstation zu behalten, da der Fehler 1. Art bei lediglich 1.12 % liegt.

Laienlösung

„Kann die Wetterstation das Wetter richtig vorhersagen?"
Die Null- und Alternativhypothese lautet:
H_0: Die Vorhersage der Wetterstation ist mit einer Wahrscheinlichkeit von $p > 0.5$ richtig.
H_A: Die Vorhersage der Wetterstation ist mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0.5$ richtig.

Es wird während dreizehn Tagen die Wettervorhersage mit dem Wetter des darauffolgenden Tages verglichen.

Die Vorhersage der Wetterstation entspricht der Binomialverteilung entsprechend der Formel:

$$P(X = k) = \binom{13}{k} \cdot 0.5^k \cdot (1 - 0.5)^{13-k}$$

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
r	f	r	r	r	r	f

8. Tag	9. Tag	10. Tag	11. Tag	12. Tag	13. Tag	
r	r	r	r	r	r	

Die Wetterstation hat den Regen 11 Mal richtig vorhergesagt. Die Wahrscheinlichkeit dafür liegt bei

$$P(X \geq 11) = \binom{13}{11} \cdot 0.5^{13} \cdot (1 - 0.5)^2 + \binom{13}{12} \cdot 0.5^{13} \cdot (1 - 0.5)^1 + \binom{13}{11} \cdot 0.5^{13} \cdot (1 - 0.5)^0 = 0.0112$$

Das Signifikanzniveau kann auf $\alpha = 2\ \%$ festgelegt werden.

Der Wert von 0.0112 besagt, dass die Nullhypothese nur zu einer Wahrscheinlichkeit von *1.12 %* richtig ist. Daher sagt die Wetterstation das Wetter zu *98.88 %* richtig voraus.