

Die vollständige Induktion,
ein Beweisverfahren.

Wie funktioniert es und warum ist es so
wichtig?

Tom Roth

2. September 2025

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Mathematisches Beweisen | 1 |
| 1.1 | Direkter Beweis | 1 |
| 1.2 | Beweis durch Kontraposition (auch bekannt als indirekter Beweis) | 2 |
| 1.3 | Widerspruchsbeweis | 2 |
| 1.4 | Induktionsbeweis | 2 |
| 1.4.1 | Vollständige Induktion | 2 |
| 2 | Induktive Mengendefinition | 3 |
| 3 | Aufbau der vollständigen Induktion | 4 |
| 4 | Beispiele | 4 |
| 4.1 | Gaußsche Summenformel | 4 |
| 4.1.1 | Induktionsanfang (IA) | 5 |
| 4.1.2 | Induktionsschritt (IS) | 5 |
| 4.1.3 | Schlussfolgerung | 6 |
| 4.2 | Beispiel aus der analytischen Geometrie: Die maximale Anzahl an Schnittpunkten von n Geraden | 6 |
| 4.2.1 | Induktionsanfang (IA) | 7 |
| 4.2.2 | Induktionsschritt (IS) | 7 |
| 4.2.3 | Kettenschluss | 8 |
| 5 | Fazit | 8 |
| 6 | Quellen | 9 |
| 6.1 | Textquellen | 9 |
| 6.2 | Bildquellen | 9 |

1 Mathematisches Beweisen

Ein Beweis in der Mathematik ist eine logisch fehlerfreie Herleitung einer Aussage aus zuvor als wahr angesehener Aussagen. Diese zuvor als wahr angesehene Aussagen werden als *Axiome* bezeichnet. Aussagen in der Mathematik sind Sätze, die als wahr oder falsch angesehen werden können. Der Satz „Für alle ungeraden natürlichen Zahlen m und n ist die Summe $m + n$ eine gerade Zahl“ wäre ein gutes Beispiel für eine mathematische Aussage. Dabei werden zwei Aussagen mit einer Aussageverknüpfung, hier „und“, zu einer Konjunktion verknüpft, die ihren eigenen Wahrheitswert besitzt. Meist sollen Aussagen der Form $\forall x(P(x) \Rightarrow Q(x))$, also wenn . Hierbei sind die beiden Aussagen P und Q mit einer „wenn, dann“-Verknüpfung miteinander verknüpft. Diese Art von Konjunktionen nennt man *Implikationen*. Es soll also bewiesen werden, dass wenn P gilt, Q auch gilt.

Die dazugehörige Wahrheitstabelle sieht wie folgt aus:

| P | Q | $P \Rightarrow Q$ |
|-----|-----|-------------------|
| W | W | W |
| W | F | F |
| F | W | W |
| F | F | W |

Wie in der Tabelle zu sehen ist, ist diese Aussage nur falsch, wenn P wahr ist, und Q falsch. Diese Aussage kann allerdings auch umgeformt werden.

Das Kommutativgesetz darf nicht angewendet werden. $P \Rightarrow Q \not\equiv Q \Rightarrow P$.

Die Wahrheitswerte können allerdings mithilfe des „nicht“-Operators negiert werden. Da die Konjunktion nur falsch ist, wenn P wahr und Q falsch ist gilt auch: $P \Rightarrow Q \equiv \neg Q \Rightarrow \neg P$.

Einfache Aussagen können auch umgeformt werden.

So gilt auch $P \equiv \neg P \Rightarrow (Q \& \neg Q)$. Auf Grund der Vielfalt an Aussagen gibt es verschiedene Beweisverfahren, die zum Teil auf die selben Aussagen angewendet werden können, oder verschiedene Arten von Aussagen beweisen können. Die gängigsten werden im folgenden kurz erklärt.

1.1 Direkter Beweis

Der direkte Beweis wird bei Implikationen verwendet. Dabei nimmt man P als wahr an und leitet daraus Q her.

1.2 Beweis durch Kontraposition (auch bekannt als indirekter Beweis)

Bei der Kontraposition macht man sich die Umformung der Implikation zu nutze. Wie vorher gezeigt gilt $P \Rightarrow Q \equiv \neg Q \Rightarrow \neg P$. Man zeigt also, dass wenn Q falsch ist, P auch falsch ist.

1.3 Widerspruchsbeweis

Mit dem Widerspruchsbeweis beweist man einfache Aussagen. Wenn man zum Beispiel zeigen will, dass P gilt, kann man durch die oben gezeigte Umformung beim Widerspruchsbeweis auch zeigen, dass seine Negation einen Widerspruch erzeugt, also falsch ist. Denn $P \equiv \neg P \Rightarrow (Q \ \& \ \neg Q)$ gilt. $(Q \ \& \ \neg Q)$ ist immer falsch, denn Q kann nicht gleichzeitig richtig und falsch sein. Man könnte also auch schreiben $\neg P \Rightarrow \perp$. Beim Widerspruchsbeweis nimmt man also das Gegenteil der Aussage an und zeigt, dass dies zu einem Widerspruch führt.

1.4 Induktionsbeweis

Der Induktionsbeweis wird verwendet, um Aussagen für alle Elemente einer bestimmten Menge zu beweisen. Bei der Menge kann es sich um verschiedene Dinge handeln. Meist will man etwas für alle natürlichen Zahlen beweisen, es kann aber jede Menge sein, die sich *induktiv* definieren lässt. Wie die Induktive Mengendefinition funktioniert wird im nächsten Abschnitt erklärt.

1.4.1 Vollständige Induktion

Bei der vollständigen Induktion entspricht die Menge immer den natürlichen Zahlen. Man beweist also bei der vollständigen Induktion, dass eine Aussage für alle natürlichen Zahlen gilt.¹

¹Vgl. <https://www.logik.uni-jena.de/logikmedia/75/einfuehrung-in-das-mathematische-beweisen.pdf> (Stand 2.9.25)

2 Induktive Mengendefinition

Beim Festlegen einer *induktiven Menge* folgt man zwei Schritten.

1. Basismenge: Festlegung bestimmter Basisobjekte, die in der Menge M enthalten sein sollen.
2. Erzeugungsregel: Aufstellen von Regeln, mit denen sich die anderen Elemente aus den Basisobjekten ergeben² ³

Häufig will man etwas für alle *natürlichen Zahlen* beweisen. Diese haben die folgenden vier Eigenschaften:

1. „Die kleinste natürliche Zahl ist 1.“
2. Jede natürliche Zahl hat eine um 1 größere Zahl. Diese ist ihr Nachfolger.
3. Zwischen einer natürlichen Zahl und ihrem Nachfolger liegt keine weitere natürliche Zahl.
4. Es gibt keine größte natürliche Zahl. Es gibt also unendlich viele natürliche Zahlen.“⁴

Anhand der ersten beiden Eigenschaften kann man schon erkennen, dass die natürlichen Zahlen eine induktive Menge sind.

²Vgl. <https://www.logik.uni-jena.de/logikmedia/75/einfuehrung-in-das-mathematische-beweisen.pdf> (Stand 2.9.25)

³Vgl. <https://rg1-teaching.mpi-inf.mpg.de/old-ag2/teaching/dsl/v22-dsl.pdf> (Stand 3.9.25)

⁴Vgl. <https://studyflix.de/mathematik/zahlenmengen-3260/natuerliche-zahlen> (Stand 3.9.25)

3 Aufbau der vollständigen Induktion

Der vollständige Induktionsbeweis besteht aus zwei Schritten, dem *Induktionsanfang* und dem *Induktionsschritt*. Wenn man eine Aussage A für alle natürlichen Zahlen beweisen möchte sehen die beiden Schritte folgendermaßen aus:

1. "Induktionsanfang: Zeige, dass die Aussage für den Startwert gilt (meistens $n=1$)
2. Induktionsschritt: Dieser besteht aus:
 - Induktionsvoraussetzung oder Induktionsannahme: Ab jetzt gehst du davon aus, dass die Aussage für ein beliebiges $n \in \mathbb{N}$ gilt.
 - Induktionsbehauptung: Hier sagst du einfach, dass die Aussage dann auch für $n+1$ gelten muss.

Induktionsschluss: Jetzt zeigst du mit Hilfe der Induktionsvoraussetzung, dass die Aussage tatsächlich auch für $n+1$ gilt." ⁵

4 Beispiele

4.1 Gaußsche Summenformel

Der Mathematiker Carl Friedrich Gauß hat die Formel

$$1 + 2 + \cdots + n = \sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}, \quad \forall n \in \mathbb{N}, n \geq 1$$

zur Berechnung der Summe der ersten n Zahlen aufgestellt.⁶

Folgende Aussage soll nun bewiesen werden:

$$A(n) : 1 + 2 + \cdots + n = \frac{n(n+1)}{2}, \quad \forall n \in \mathbb{N}, n \geq 1$$

⁵<https://studyflix.de/mathematik/vollstandige-induktion-2406> (Stand 15.9.25)

⁶Vgl. <https://studyflix.de/mathematik/gaussche-summenformel-2408>, (Stand 3.9.25)

4.1.1 Induktionsanfang (IA)

Zeige, dass $A(1)$ gilt:

$$\begin{aligned} A(1) &= 1 \\ 1 &= \frac{1 * (1 + 1)}{2} \\ 1 &= 1 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Die Aussage A ist also für $n = 1$ wahr. \checkmark

4.1.2 Induktionsschritt (IS)

Im Induktionsschritt soll folgendes gezeigt werden:

$$A(n) = \frac{n(n+1)}{2} \Rightarrow A(n+1) = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$$

Dafür wird angenommen, dass $A(n)$ wahr ist (*Induktionsvoraussetzung*):

$$A(n) : 1 + 2 + \dots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

Danach wird gezeigt, dass, wenn $A(n)$ wahr ist, auch $A(n+1)$ wahr ist (*Induktionsschluss*).

$$\begin{aligned} A(n) &= \frac{n(n+1)}{2} && | + (n+1) \\ A(n) + (n+1) &= \frac{n(n+1)}{2} + (n+1) && | T \\ 1 + 2 + \dots + n + (n+1) &= \frac{n(n+1)}{2} + (n+1) && | T \\ A(n+1) &= \frac{n(n+1)}{2} + (n+1) && | \text{ mit 2 erweitern} \\ &= \frac{n(n+1)}{2} + \frac{2(n+1)}{2} && | \text{ zusammenfassen} \\ &= \frac{n(n+1) + 2(n+1)}{2} && | (n+1) \text{ ausklammern} \\ &= \frac{(n+1)(n+2)}{2} && | \text{Q.E.D.} \end{aligned}$$

Damit ist die Aussage A auch für $n + 1$ wahr. \checkmark

4.1.3 Schlussfolgerung

Aus Induktionsanfang und Induktionsschritt folgt, dass die Aussage A für alle natürlichen Zahlen $n \geq 1$ wahr ist.

4.2 Beispiel aus der analytischen Geometrie: Die maximale Anzahl an Schnittpunkten von n Geraden

Es sollen n zueinander nicht parallele so gezeichnet werden, dass sich möglichst viele Schnittpunkte S ergebe. Skizze:

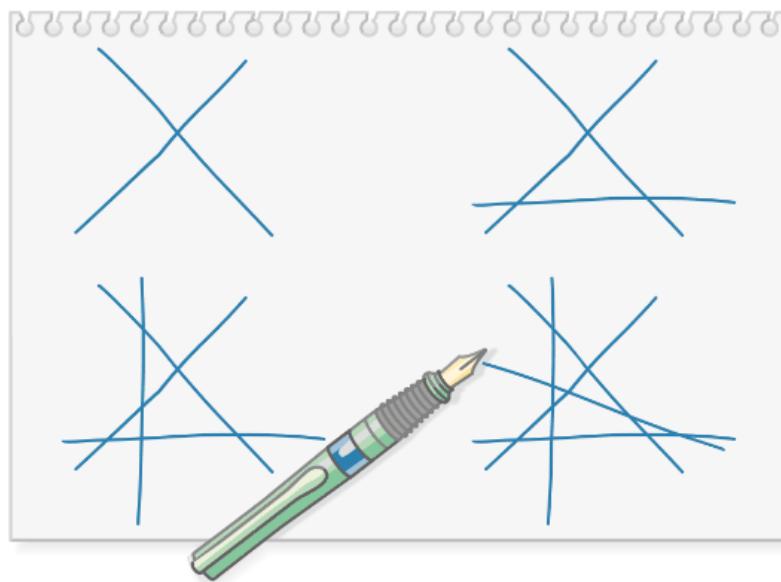


Abbildung 1: Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Abb. 1.

Für die ersten Paar Geraden ergibt sich folgende Tabelle für n und S :

| n | S |
|-----|-----|
| 1 | 0 |
| 2 | 1 |
| 3 | 3 |
| 4 | 6 |
| 5 | 10 |

Abbildung 2: Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Fig. 1.

Für den Zusammenhang zwischen Anzahl der nicht parallelen Geraden n und deren maximale Anzahl an Schnittpunkte S soll nun folgende Abhängigkeit bewiesen werden:

$$S(n) = \frac{1}{2} \cdot n \cdot (n - 1)$$

Diese Aussage soll nun bewiesen werden.

4.2.1 Induktionsanfang (IA)

Zuerst muss die Aussage für die erste natürliche Zahl gezeigt werden. Wenn man in der Tabelle nachschaut, sollten sich bei $n = 1$ 0 Schnittpunkte ergeben. $S(1)$ sollte also 0 ergeben.

$$\begin{aligned} S(1) &= 0 \\ 0 &= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (1 - 1) \\ 0 &= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0 \\ 0 &= 0 \quad | \text{ Q.E.D.} \end{aligned}$$

4.2.2 Induktionsschritt (IS)

Bei jeder nächsten Gerade, also der $n + 1$ -ten kommen maximal n Schnittpunkte dazu, da die $n+1$ -te Gerade maximal alle bisherigen einmal schneiden kann. Das wird auch bei folgendem Bild klar:

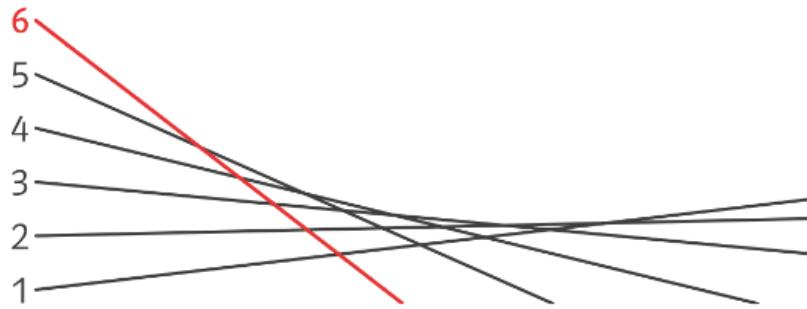


Abbildung 3: Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Abb. 3.

Man nimmt also an, dass $S(n)$ wahr ist (Induktionsannahme) und zeigt, dass dann auch $S(n + 1)$ wahr ist. Das folgende soll also gelten:

$$S(n + 1) = S(n) + n$$

Das wird durch Umformen gezeigt:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot (n + 1) \cdot ((n + 1) - 1) &= \frac{1}{2} \cdot n \cdot (n - 1) + n && | \text{ T} \\ \frac{1}{2} \cdot (n + 1) \cdot n &= \frac{1}{2} \cdot (n^2 - n) + n && | \text{ Ausklammern} \\ \frac{1}{2} \cdot (n^2 + n) &= \frac{1}{2} \cdot (n^2 - n + 2n) && | \text{ T} \\ \frac{1}{2} \cdot (n^2 + n) &= \frac{1}{2} \cdot (n^2 + n) && | \text{ Q.E.D.} \end{aligned}$$

4.2.3 Kettenschluss

Da die Aussage für die erste natürliche Zahl gilt(IA) und für alle Nachfolger(IS), gilt die Aussage für alle natürlichen Zahlen.⁷

5 Fazit

Die vollständige Induktion ist ein Beweiseverfahren, das sich eignet, um eine Aussage für alle natürliche Zahlen zu beweisen. Es ist sehr effizient, da man in nur drei Schritten unendlich viele Fälle beweist. So müsste man bei den beiden Beispielen ohne die vollständige Induktion die Aussagen für alle natürlichen Zahlen einzeln beweisen.⁸

⁷Vgl. Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Problem 1

⁸Vgl. <https://studyflix.de/mathematik/vollstaendige-induktion-2406> (Stand 18.11.25)

6 Quellen

6.1 Textquellen

1. <https://www.logik.uni-jena.de/logikmedia/75/einfuehrung-in-das-mathematische-beweisen.pdf> (Stand 2.9.25)
2. <https://rg1-teaching.mpi-inf.mpg.de/old-ag2/teaching/dsl/v22-dsl.pdf> (Stand 3.9.25)
3. <https://studyflix.de/mathematik/zahlenmengen-3260/natuerliche-zahlen> (Stand 3.9.25)
4. <https://studyflix.de/mathematik/vollstandige-induktion-2406> (Stand 15.9.25)
5. <https://studyflix.de/mathematik/gaussche-summenformel-2408> (Stand 3.9.25)
6. Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Problem 1

6.2 Bildquellen

1. Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Abb. 1.
2. Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Fig. 1.
3. Lambacher Schweizer Mathematik für Gymnasien, Kursstufe – Leistungsfach, 2016, S. 286, Abb. 3.