

# Diskrete Mathematik

Patrick Bucher

26. Februar 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Logik und Beweise</b>	<b>1</b>
1.1 Logische Operationen . . . . .	1
1.1.1 Negation . . . . .	1
1.1.2 Konjunktion . . . . .	1
1.1.3 Disjunktion . . . . .	1
1.1.4 Exklusives Oder (EXOR) . .	2
1.1.5 Implikation . . . . .	2
1.1.6 Bikonditional . . . . .	2
1.2 Priorität logischer Operationen . .	2
1.3 Präpositionale Äquivalenzen . . . .	2
1.3.1 Tautologie . . . . .	2
1.3.2 Kontradiktion (Widerspruch)	2
1.4 Logische Äquivalenz . . . . .	2
1.5 Logische Äquivalenzgesetze . . . .	2
1.5.1 Identität . . . . .	2
1.5.2 Dominanz . . . . .	2
1.5.3 Idempotenz . . . . .	2
1.5.4 Doppelnegation . . . . .	2
1.5.5 Negation . . . . .	2
1.5.6 Kommutativität . . . . .	2
1.5.7 Absorption . . . . .	3
1.5.8 Assoziativ 1 und 2 . . . . .	3
1.5.9 Distributiv 1 und 2 . . . . .	3
1.5.10 De Morgan 1 und 2 . . . . .	3
1.5.11 Weitere Equivalenzgesetze .	3
1.6 Prädikate und Quantoren . . . . .	3
1.6.1 Der Allquantor . . . . .	3
1.7 Der Existenzquantor . . . . .	3
1.8 Freie und gebundene Variablen . .	3
1.9 Negation . . . . .	3
1.10 Verschachtelte Quantoren . . . . .	3
1.11 Beweise . . . . .	4
1.11.1 Direkter Beweis . . . . .	4
1.11.2 Indirekter Beweis . . . . .	4
1.11.3 Beweis durch Kontradiktion	4

## 1 Logik und Beweise

Proposition: eine Aussage oder ein Satz ist:

- wahr (w: wahr, t: true, 1)

- falsch (f: falsch/false, 0)

Fragen und Gleichungen mit einer Unbekannten sind keine Aussagen. Aussagen werden meist mit  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $s$  bezeichnet. Beispiele für Propositionen

- $p$  = „Es regnet draussen.“

- $q$  = „Der Platz draussen ist nass.“

### 1.1 Logische Operationen

#### 1.1.1 Negation

$\neg p$ : „Es ist nicht der Fall, dass  $p$  gilt.“ Wahrheitstabelle:

$p$	$\neg p$
$w$	$f$
$f$	$w$

#### 1.1.2 Konjunktion

$p \wedge q$ : „Es gelten  $p$  und  $q$ .“ Wahrheitstabelle:

$p$	$q$	$p \wedge q$
$w$	$w$	$w$
$w$	$f$	$f$
$f$	$w$	$f$
$f$	$f$	$f$

#### 1.1.3 Disjunktion

$p \vee q$ : „Es gilt  $p$  oder  $q$  oder es gelten beide.“ Wahrheitstabelle:

$p$	$q$	$p \vee q$
$w$	$w$	$w$
$w$	$f$	$w$
$f$	$w$	$w$
$f$	$f$	$f$

### 1.1.4 Exklusives Oder (EXOR)

$p \oplus q$ : „Es gilt  $p$  oder  $q$  aber nicht  $p$  und  $q$ .“ Wahrheitstabelle:

$p$	$q$	$p \oplus q$
$w$	$w$	$f$
$w$	$f$	$w$
$f$	$w$	$w$
$f$	$f$	$f$

### 1.1.5 Implikation

$p \rightarrow q$ : „Wenn  $p$  gilt, dann gilt  $q$ .“ Wahrheitstabelle:

$p$	$q$	$p \rightarrow q$
$w$	$w$	$w$
$w$	$f$	$f$
$f$	$w$	$w$
$f$	$f$	$w$

Aus einem Falschen kann etwas Beliebiges gefolgert werden! Beispiel: Ein Politiker sagt: „Wenn ich gewählt werde, senke ich die Steuern.“

- $p$ : Politiker wird gewählt
- $q$ : Politiker senkt die Steuern.

$p \rightarrow q$

1. Der Politiker wird gewählt und senkt die Steuern: die Aussage trifft zu.
2. Der Politiker wird gewählt, senkt aber die Steuern nicht: die Aussage trifft nicht zu.
3. Der Politiker wird nicht gewählt; es ist egal, was er in diesem Fall tun will: die Aussage trifft zu.

### 1.1.6 Bikonditional

$p \leftrightarrow q$ : „Es gilt  $p$  genau dann, wenn  $q$  gilt.“ Wahrheitstabelle:

$p$	$q$	$p \leftrightarrow q$
$w$	$w$	$w$
$w$	$f$	$f$
$f$	$w$	$f$
$f$	$f$	$w$

Eine bikonditionale Präposition ist dann wahr, wenn  $p$  und  $q$  den gleichen Wahrheitswert haben, also das Gegenteil von EXOR:

$$p \leftrightarrow q \equiv \neg(p \oplus q)$$

## 1.2 Priorität logischer Operationen

1.  $\neg$  (Negation)
2.  $\wedge$  (Konjunktion),  $\vee$  (Disjunktion)
3.  $\rightarrow$  (Implikation),  $\leftrightarrow$  (Bikonditional)

## 1.3 Präpositionale Äquivalenzen

### 1.3.1 Tautologie

Die Aussage ist immer wahr. Beispiel:  $p \vee \neg p$

### 1.3.2 Kontradiktion (Widerspruch)

Die Aussage ist immer falsch. Beispiel:  $p \wedge \neg p$

## 1.4 Logische Äquivalenz

Zwei Aussagen ( $p$  und  $q$ ) sind logisch äquivalent, wenn  $p \leftrightarrow q$  eine Tautologie ist. Schreibweisen:  $p \equiv q$ ,  $p \sim q$ ,  $p \Leftrightarrow q$

## 1.5 Logische Äquivalenzgesetze

$T$ : True (wahr),  $F$ : False (falsch)

### 1.5.1 Identität

$$p \wedge T \equiv p$$
$$p \vee F \equiv p$$

### 1.5.2 Dominanz

$$p \vee T \equiv T$$
$$p \wedge F \equiv F$$

### 1.5.3 Idempotenz

$$p \vee p \equiv p$$
$$p \wedge p \equiv p$$

### 1.5.4 Doppelnegation

$$\neg(\neg p) \equiv p$$

### 1.5.5 Negation

$$p \vee \neg p \equiv T$$
$$p \wedge \neg p \equiv F$$

### 1.5.6 Kommutativität

$$p \vee q \equiv q \vee p$$
$$p \wedge q \equiv q \wedge p$$

### 1.5.7 Absorption

$$p \vee (p \wedge q) \equiv p$$
$$p \wedge (p \vee q) \equiv p$$

### 1.5.8 Assoziativ 1 und 2

$$(p \vee q) \vee r \equiv p \vee (q \vee r)$$
$$(p \wedge q) \wedge r \equiv p \wedge (q \wedge r)$$

### 1.5.9 Distributiv 1 und 2

$$p \vee (q \wedge r) \equiv (p \vee q) \wedge (p \vee r)$$
$$p \wedge (q \vee r) \equiv (p \wedge q) \vee (p \wedge r)$$

### 1.5.10 De Morgan 1 und 2

$$\neg(p \wedge q) \equiv \neg p \vee \neg q$$
$$\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$$

### 1.5.11 Weitere Equivalenzgesetze

$$p \rightarrow q \equiv \neg p \vee q$$
$$p \rightarrow q \equiv \neg q \rightarrow \neg p$$
$$p \vee q \equiv \neg p \rightarrow q$$
$$p \wedge q \equiv \neg(p \rightarrow \neg q)$$
$$\neg(p \rightarrow q) \equiv p \wedge \neg q$$

$$p \leftrightarrow q \equiv (p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$$
$$p \leftrightarrow q \equiv \neg p \leftrightarrow \neg q$$
$$p \leftrightarrow q \equiv (p \wedge q) \vee (\neg p \wedge \neg q)$$
$$\neg(p \leftrightarrow q) \equiv p \leftrightarrow \neg q$$

$$(p \rightarrow q) \wedge (p \rightarrow r) \equiv p \rightarrow (q \wedge r)$$
$$(p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r) \equiv (p \vee q) \rightarrow r$$
$$(p \rightarrow q) \vee (p \rightarrow r) \equiv p \rightarrow (q \vee r)$$
$$(p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r) \equiv (p \wedge q) \rightarrow r$$

$$p \oplus q \equiv (p \vee q) \wedge (\neg p \vee \neg q)$$
$$\neg(p \oplus q) \equiv (p \wedge q) \vee (\neg p \wedge \neg q)$$
$$\neg(p \oplus q) \equiv p \leftrightarrow q$$

### 1.6 Prädikate und Quantoren

Prädikat: eine Folge von Wörtern, die Variablen enthalten, und für jede (erlaubte) Belegung dieser Variablen zu einer Aussage werden. Die Aussage hat nur dann einen eindeutigen Wahrheitswert, wenn für die Variable ein eindeutiger Wahrheitswert eingesetzt wird. Beispiel:

$$P(x) = „x > 3“$$
$$P(4) = „4 > 3“ \text{ (wahr)}$$

$$P(2) = „2 > 3“ \text{ (falsch)}$$

Aussage  $P(x)$ : Wert der propositionalen Funktion  $P$  für  $x$ .

### 1.6.1 Der Allquantor

Ist  $P(x)$  wahr für *alle*  $x$  aus einer bestimmten Universalmenge, schreibt man:

$$\forall x P(x)$$

„Für alle  $x$  aus der Universalmenge gilt  $P(x)$ .“

### 1.7 Der Existenzquantor

Ist  $P(x)$  wahr für *mindestens ein*  $x$  aus einer bestimmten Universalmenge, schreibt man:

$$\exists x P(x)$$

„Es existiert ein  $x$  in der Universalmenge, für das  $P(x)$  gilt.“

### 1.8 Freie und gebundene Variablen

Wird ein Quantor auf eine Variable angewandt, so ist diese Variable *gebunden*. Wird ein Quantor nicht auf eine Variable angewandt, so ist diese Variable *frei*. Beispiel:

Bei  $\forall x Q(x, y)$  ist die Variable  $x$  gebunden, die Variable  $y$  frei.

### 1.9 Negation

Für die Negierung der Quantoren gelten folgende Regeln:

- $\neg \forall P(x)$  bedeutet:  $P(x)$  gilt nicht für alle  $x$ .
  - Das Äquivalent  $\exists x \neg P(x)$  bedeutet: Es existiert mindestens ein  $x$ , für das  $P(x)$  nicht gilt.
- $\neg \exists P(x)$  bedeutet: Es gibt kein  $x$ , für das  $P(x)$  gilt.
  - Das Äquivalent  $\forall x \neg P(x)$  bedeutet: Für alle  $x$  gilt  $P(x)$  nicht.

### 1.10 Verschachtelte Quantoren

Werden mehrere unterschiedliche Quantoren verwendet, ist deren Reihenfolge zu beachten. Beispiel:

$\forall x \exists y (x * y = 1)$ : Für jedes  $x$  der Universalmenge existiert ein  $y$ , das mit  $x$  multipliziert 1 ergibt.

Negation des Ausdrucks (ohne Negationszeichen):

$$\neg \forall x \exists y (x * y = 1)$$

$$\exists x \neg \exists y (x * y = 1)$$

$$\exists x \forall y \neg (x * y = 1)$$

$$\exists x \forall y \neg (x * y \neq 1)$$

## 1.11 Beweise

- Satz/Theorem: Aussage, von der man zeigen kann, dass sie wahr ist
- Beweis: Abfolge (Sequenz) von Aussagen zum Zeigen, dass ein Satz/Theorem wahr ist
- Axiom/Postulat: grundlegende Annahmen, die in Aussagen verwendet werden können, ohne sie weiter begründen zu müssen
- logisches Schliessen: Folgerungen nach bestimmten Regeln machen, die einen Beweis ergeben
- Lemma: einfacher Satz, der in Beweisen von komplizierteren Sätzen verwendet wird
- Korollar: einfache Folgerung eines Satzes

### 1.11.1 Direkter Beweis

Die Implikation  $p \rightarrow q$  kann bewiesen werden, indem man zeigt, dass aus der Richtigkeit von  $p$  die von  $q$  folgt. Beispiel:

Behauptung: Das Quadrat einer geraden natürlichen Zahl  $n$  ist gerade.

Beweis: Ist  $n$  eine gerade natürliche Zahl, existiert genau eine natürliche Zahl  $k$ , sodass gilt:  $n = 2k$ . Daraus folgt:

$$n^2 = (2k)^2 = 4k^2 = 2 * 2k^2$$

Und  $n^2$  ist das Doppelte einer natürlichen Zahl, also gerade. q.e.d.

### 1.11.2 Indirekter Beweis

Beim indirekten Beweis (dem Beweis durch Kontraposition) der Aussage  $p \rightarrow q$  verwendet man deren logisch äquivalente Aussage  $\neg q \rightarrow \neg p$ . Beispiel:

Behauptung: Ist das Quadrat einer natürlichen Zahl ( $n^2$ ) gerade, ist auch  $n$  gerade.

Beweis:  $n^2$  gerade  $\rightarrow$   $n$  gerade  $\equiv$   $n$  nicht gerade  $\rightarrow$   $n^2$  nicht gerade Ist  $n$  eine ungerade natürliche Zahl, existiert genau eine ungerade natürliche Zahl  $k$ , sodass gilt:  $2 * (2k^2 + 2k) + 1$ . Daraus folgt:

$$n^2 = (2k + 1)^2 = 4k^2 + 4k + 1 = 2(2k^2 + 2k) + 1$$

$2(2k^2 + 2k)$  ist gerade und wird durch die Addition von 1 gerade, also ist  $n^2$  ist ungerade. q.e.d.

### 1.11.3 Beweis durch Kontradiktion

Beim Beweis durch Kontradiktion (Widerspruch) wird für die Aussage  $\neg p \rightarrow q$  eine widersprüchliche Aussage  $q$  gefunden, sodass  $\neg p \rightarrow F$  gilt,  $\neg p$  falsch und somit  $p$  wahr ist.

Behauptung: Schwere Objekte fallen schneller als leichte Objekte.

Beweis: Wenn man ein schweres und ein leichtes Objekt zusammenklebt, dann müsste dieses Objekt:

- einerseits eine Fallgeschwindigkeit haben, die zwischen der Fallgeschwindigkeit der Ausgangsobjekte liegt (das leichte Objekt bremst den Fall des schweren Objekts ab)
- andererseits aufgrund des höheren Gesamtgewichts eine höhere Fallgeschwindigkeit als das schwerere Objekt haben

Beide (logischen) Überlegungen widersprechen sich, die Annahme muss falsch sein.