

4 Logik

4.1 Aussagenlogik

Kalkül zum **logischen Schließen**. Grundlagen: Aristoteles 384 - 322 v. Chr.

Aussagen: Sätze, die prinzipiell als wahr oder falsch angesehen werden können.
 z. B.: „Es regnet.“, „Die Straße ist nass.“
 aber „Dieser Satz ist falsch.“ ist in sich widersprüchlich, ist keine Aussage.

Junktoren verknüpfen Aussagen: „Es regnet nicht, **oder** die Straße ist nass.“

Aussagenlogische Formeln als Sätze einer formale Sprache:
 z. B. $\text{regen} \rightarrow \text{straßeNass} \leftrightarrow \neg \text{regen} \vee \text{straßeNass}$

Belegung der Aussagen mit	f	w	f	w
Wahrheitswerten:				
Interpretation der Formel	w		w	
liefert Wahrheitswert:			w	w
		w		

Formales Schließen im Gegensatz zur empirischen Beurteilung, z. B. ob „die Straße nass ist.“

Aus „Wenn es regnet, ist die Straße nass.“ **und** „Es regnet.“ **folgt** „Die Straße ist nass.“

Aussagen in der **Spezifikation**, in der **Modellierung** von Aufgaben

Vorschau auf Begriffe

- **Aussagenlogische Formeln** definiert durch **Signatur der booleschen Algebra**
- **Belegung von Variablen** mit Wahrheitswerten
- **Interpretation** aussagenlogischer Formeln
- **Gesetze der booleschen Algebra** zur Umformung von Formeln
- **erfüllbare** und **allgemeingültige** Formeln
- **logischer Schluss:** Folgerung aus einigen Annahmen

Beispiel: Aussagenlogik in der Spezifikation

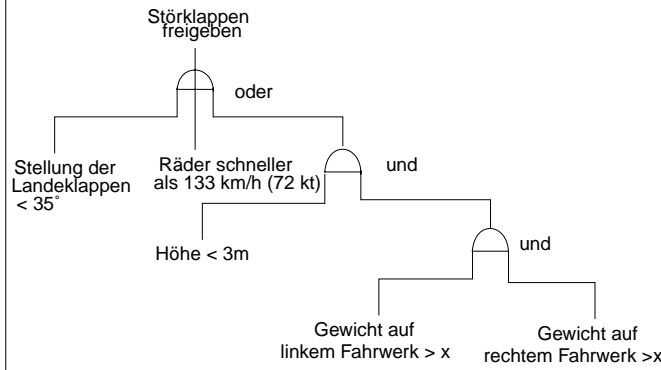
Unfall durch fehlerhafte Spezifikation:

Airbus A320, Warschau (1993). Der zuständige Rechner blockiert bei der Landung die Aktivierung von Schubumkehr und Störklappen, wodurch das Flugzeug über das Landebahnende hinauschießt. Es herrschen starker Wind von schräg hinten und Aquaplaning auf der Landebahn.

Beabsichtigte Spezifikation der Störklappenfreigabe:

- Die Störklappen dürfen benutzt werden
- im Reise- und Sinkflug (Bremswirkung)
 - nach der Landung (Vernichtung des Auftriebes und Bremswirkung)
- Sie dürfen nicht benutzt werden
- im Endanflug (gefährlicher Auftriebsverlust)

Tatsächliche Spezifikation der Störklappenfreigabe:



Aussagenlogische Formeln

Aussagenlogische Formeln sind korrekte Terme mit Variablen zur Signatur der booleschen Algebra:

false:	-> Bool	falsch, f
true:	-> Bool	wahr, w
\wedge :	Bool x Bool -> Bool	Konjunktion
\vee :	Bool x Bool -> Bool	Disjunktion
\neg :	Bool -> Bool	Negation

Erweiterung:

\rightarrow :	Bool x Bool -> Bool	Implikation $p \rightarrow q$ für $\neg p \vee q$
\leftrightarrow :	Bool x Bool -> Bool	Äquivalenz $p \leftrightarrow q$ für $(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$

Operatoren (**Junktoren**) in **fallender Präzedenz**: $\neg \wedge \vee \rightarrow \leftrightarrow$

Variable, sowie false und true (Konstante) sind **atomare Aussagen**, die übrigen Formeln sind **zusammengesetzt**.

Für **Variable** schreiben wir meist kleine Buchstaben p, q, ... für **allgemeine Formeln** große Buchstaben F, G, H, ...

Die Definition der **Struktur** der Formeln heißt **Syntax der Aussagenlogik**.

Interpretation aussagenlogischer Formeln

Eine **passende Belegung** ordnet allen Variablen, die in einer Menge von Formeln F vorkommen, jeweils einen Wahrheitswert w oder f (für wahr oder falsch) zu. Die Belegung kann als Substitution angegeben werden, z.B. $\sigma = [p / w, q / f]$.

Eine **Interpretation** \mathfrak{I}_σ einer aussagenlogischen Formel F bildet F auf einen Wahrheitswert ab:

- Für **Variable** ist die Interpretation \mathfrak{I}_σ durch die **Belegung** σ definiert.
- Für **zusammengesetzte Formeln** wird sie durch folgende **Wahrheitstafeln** erweitert:

$\mathfrak{I}(\text{false})=f$	$\mathfrak{I}(F)$	$\mathfrak{I}(\neg F)$	$\mathfrak{I}(F)$	$\mathfrak{I}(G)$	$\mathfrak{I}(F \wedge G)$	$\mathfrak{I}(F \vee G)$	$\mathfrak{I}(F \rightarrow G)$	$\mathfrak{I}(F \leftrightarrow G)$
$\mathfrak{I}(\text{true})=w$	w	f	w	w	w	w	w	w
	f	w	w	f	f	w	f	f
			f	w	f	w	w	f
			f	f	f	f	w	w

Eine Interpretation \mathfrak{I}_σ mit einer Belegung σ für eine Formel F bestimmt einen **Wahrheitswert der Formel F**: $\mathfrak{I}_\sigma(F)$

Wenn $\mathfrak{I}_\sigma(F) = w$ gilt, heißt \mathfrak{I}_σ auch ein **Modell der Formel F**.

Vorsicht beim Formalisieren umgangssprachlicher Aussagen

Vorsicht bei **Implikationen**: mit Belegungen prüfen, was gemeint ist:

- Wenn** es regnet, benutze ich den Schirm. regnet \rightarrow schirm
- Ich benutze den Schirm, **wenn** es regnet. regnet \rightarrow schirm
- Ich benutze den Schirm, **nur wenn** es regnet. schirm \rightarrow regnet

„Oder“ kann fast immer in das **nicht-ausschließende** \vee übersetzt werden:

- Hast Du einen Euro oder zwei Fünziger? euro \vee zwei50er
- Morgen fahre ich mit dem Zug oder mit dem Auto nach Berlin. zug \vee auto
- x ist kleiner y oder x ist gleich y . $x < y \vee x = y$
- Der Händler gibt Rabatt oder ein kostenloses Autoradio. \neg (rabatt \leftrightarrow radio)

Aussagen sind häufig **kontext-abhängig**:

- Weil ich die GP-Klausur nicht bestanden habe, nehme ich am zweiten Termin teil. \neg gp-k1 \wedge gp-k2
- Weil ich die Modellierungsklausur bestanden habe, nehme ich am zweiten Termin nicht teil. mod-k1 \wedge \neg mod-k2

Klammern sind meist nur aus dem Kontext erkennbar:

- Sie wolltten nicht verlieren oder unentschieden spielen. \neg (verlieren \vee unentschieden)

Erfüllbarkeit von Formeln

Eine Formel F heißt **erfüllbar**, wenn es eine Interpretation \mathfrak{I}_σ mit einer Belegung σ gibt, so dass gilt $\mathfrak{I}_\sigma(F) = w$, sonst ist sie **widerspruchsvoll (unerfüllbar)**, d.h. für alle Interpretationen \mathfrak{I}_σ mit einer Belegung σ gilt $\mathfrak{I}_\sigma(F) = f$.

z. B. $p \wedge q$ ist erfüllbar; $p \wedge \neg p$ ist widerspruchsvoll.

Eine Formel F heißt **allgemeingültig** oder **Tautologie**, wenn für alle ihre Interpretationen $\mathfrak{I}_\sigma(F) = w$ gilt.

z. B. $p \vee \neg p$.

Eine Formel F ist genau dann allgemeingültig, wenn $\neg F$ widerspruchsvoll ist.

allgemeingültig	erfüllbar aber nicht allgemeingültig	widerspruchsvoll
F		$\neg F$

Gesetze der booleschen Algebra

Zwei Formeln F, G sind **logisch äquivalent**, $F \equiv G$, wenn sie **für alle Interpretationen** \mathfrak{I} dasselbe Ergebnis haben: $\mathfrak{I}(F) = \mathfrak{I}(G)$

Für alle aussagenlogischen Formeln X, Y, Z gelten folgende **logische Äquivalenzen**:

$(X \wedge Y) \wedge Z \equiv X \wedge (Y \wedge Z)$	$(X \vee Y) \vee Z \equiv X \vee (Y \vee Z)$	Assoziativität
$X \wedge Y \equiv Y \wedge X$	$X \vee Y \equiv Y \vee X$	Kommutativität
$X \wedge X \equiv X$	$X \vee X \equiv X$	Idempotenz
$X \vee (Y \wedge Z) \equiv (X \vee Y) \wedge (X \vee Z)$	$X \wedge (Y \vee Z) \equiv (X \wedge Y) \vee (X \wedge Z)$	Distributivität
$X \vee (X \wedge Y) \equiv X$	$X \wedge (X \vee Y) \equiv X$	Absorption
$X \wedge \text{false} \equiv \text{false}$	$X \vee \text{false} \equiv X$	Neutrale Elemente
$X \wedge \text{true} \equiv X$	$X \vee \text{true} \equiv \text{true}$	
$X \wedge \neg X \equiv \text{false}$	$X \vee \neg X \equiv \text{true}$	Komplement
$\neg \neg X \equiv X$		Involution
$\neg (X \wedge Y) \equiv \neg X \vee \neg Y$	$\neg (X \vee Y) \equiv \neg X \wedge \neg Y$	De Morgan

Umformen mit Gesetzen der booleschen Algebra

Beispiel:

$(A \vee \neg(B \wedge A)) \wedge (C \vee (D \vee C)) \equiv$	De Morgan
$(A \vee (\neg B \vee \neg A)) \wedge (C \vee (D \vee C)) \equiv$	Kommutativität
$(A \vee (\neg A \vee \neg B)) \wedge (C \vee (D \vee C)) \equiv$	Assoziativität
$((A \vee \neg A) \vee \neg B) \wedge (C \vee (D \vee C)) \equiv$	Komplement
$(\text{true} \vee \neg B) \wedge (C \vee (D \vee C)) \equiv$	Kommutativität
$(\neg B \vee \text{true}) \wedge (C \vee (D \vee C)) \equiv$	Neutrale Elemente
$\text{true} \wedge (C \vee (D \vee C)) \equiv$	Kommutativität
$(C \vee (D \vee C)) \wedge \text{true} \equiv$	Neutrale Elemente
$(C \vee (D \vee C)) \equiv$	Kommutativität
$(C \vee (C \vee D)) \equiv$	Assoziativität
$((C \vee C) \vee D) \equiv$	Idempotenz
$C \vee D$	

Logischer Schluss

Sei A eine Menge von Formeln und F eine Formel.

Wenn für **alle Interpretationen** \mathfrak{I} , die alle Formeln in A erfüllen, auch $\mathfrak{I}(F)$ gilt, dann sagen wir

„F folgt semantisch aus A“ $A \models F$

$A \models F$ heißt auch **logischer Schluss**,

A **Annahme** oder Antezedent, F **Folgerung** oder Konsequenz.

Die **Korrektheit eines logischen Schlusses** $A \models F$ mit $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ kann man prüfen:

- durch Prüfen aller Interpretationen, die alle Formeln in A erfüllen
- durch Widerspruchsbeweis: $A_1 \wedge \dots \wedge A_n \wedge \neg F$ muss **widerspruchsvoll** sein.

Beweise werden aus logischen Schlüssen aufgebaut.

Beispiel:

U: Wenn alle Menschen gleich sind, gibt es keine Privilegien.

V: Es gibt Privilegien.

W: Nicht alle Menschen sind gleich.

nachweisen: $\{U, V\} \models W$ ist ein **korrekter logischer Schluss**.