

Analysis 1

Contents

Logik	2
Proofs	2
Beweis Methode	2
Mengenlehre	3
De Morgan's Laws	5
Quantoren	5
Funktionen	5
Zahlen und Vektoren	6
Reellen Zahlen	6
Cardinality (Mächtigkeit)	6
Complex Numbers	7
k'th Roots	8

- *Analysis 1 ITET, F Ziltener* - https://metaphor.ethz.ch/x/2024/hs/401-0231-10L/Ziltener_Notizen_Analysis_1_ITET_RW.pdf
- *Analysis für Informatik, M Struwe* - <https://people.math.ethz.ch/~struwe/Skripten/InfAnalysis-bbm-8-11-2010.pdf>

Logik

Aussage - Eine Aussage, die entweder wahr oder falsch ist

Luegner Paradox - Das ist keine Aussage: "Dieser Satz ist falsch"

Menge (Set) - eine ungeordnete Zusammenfassung verschiedener Objekte zu einem Ganzen

\wedge - and

\vee - or

\vee (XOR) - either ... or ...

Materiale Aequivalenz (\Leftrightarrow)

Logische Aequivalenz (\equiv) $A \Leftrightarrow B \equiv (A \Rightarrow B) \wedge (B \Rightarrow A)$ - Sie haben die gleichen

Wahrheitstabellen

$A \Leftrightarrow B$ - A genau dann wenn B

$A \Rightarrow B$ - Wenn A, dann B

$\neg B \Rightarrow \neg A$ - Kontraposition

$A \Rightarrow B \equiv \neg B \Rightarrow \neg A$

Zum Beispiel:

Es hat geregnet \Rightarrow die Strasse ist nass

Kontraposition: Die Strasse ist nicht nass \Rightarrow Es hat nicht geregnet

Das ist genauso wahr aufgrund der Physik.

Wahr: $0 < 0 \Rightarrow 1 + 1 = 2$

Falsch: $0 < 0 \Leftrightarrow 1 + 1 = 2$

Distributive:

$$P \wedge (Q \vee R) \equiv (P \wedge Q) \vee (P \wedge R)$$

$$P \vee (Q \wedge R) \equiv (P \vee Q) \wedge (P \vee R)$$

Proofs

Beweis - eine Herleitung einer Aussage aus den Axiomen

Satz - eine Bewiesene Aussage

Lemma (oder Hilfssatz) - ein Satz, der dazu dient, einen anderen Satz zu beweisen

q.e.d. (■) - end of proof

Beweiss formalisieren - Express a proof formally in terms of symbols and Lemmas, can be checked by a computer.

Divide et impera - divide and conquer *Zermelo + Fraenkel Axioms* - Foundational axioms of all proofs

Beweis Methode

Modus ponens - Wird (meistens mehrmals) verwendet, um etwas zu beweisen:

A := Es hat geregnet (Premise)

Wenn es geregnet hat, dann ist die Strasse nass (Regel: $A \Rightarrow B$)

B := Die Strasse ist nass (Konklusion)

Kontraposition - Prove the Kontraposition, which subsequently proves the original statement (they are logically equivalent)

Beweisen, dass $\sqrt{2} < \sqrt{3}$:

$$A := \sqrt{2} \geq \sqrt{3} \equiv \neg \sqrt{2} < \sqrt{3}$$

Monotonie des Quadrierens:

$$x, y \geq 0$$

$$\text{Wenn } x \leq y, \text{ dann ist } x^2 \leq y^2$$

Laut der Monotonie des Quadrierens, $B := 2 \geq 3$ ist wahr

$$A \Rightarrow B \equiv \neg B \Rightarrow \neg A \equiv 2 < 3 \Rightarrow \sqrt{2} < \sqrt{3} \blacksquare$$

Widerspruch beweisen

Um A zu beweisen, nehmen wir an, dass A falsch ist.

Widerspruch finden - das beweist die Aussage A

Zum Beispiel:

Beweis des Satzes $\sqrt{2} < \sqrt{3}$

Nehmen wir an, dass $\sqrt{2} \geq \sqrt{3}$ wahr ist

Lemma (Monotonie des Quadrierens): $\sqrt{2} \geq \sqrt{3} \Rightarrow 2 \geq 3$

Widerspruch: $2 \geq 3$ ist falsch, deshalb ist $\sqrt{2} \geq \sqrt{3}$ auch falsch.

$$\neg(\sqrt{2} \geq \sqrt{3}) \equiv \sqrt{2} < \sqrt{3} \blacksquare$$

It is more rigorous to prove / rewrite something through Contraposition, because we start with a false statement in contradiction.

Vollständige Induktion

$n \in N_0$, $P(n)$ ist eine Aussage

$P(0)$ ist wahr

Wenn $\forall k \in N_0$ gilt $P(k) \Rightarrow P(k+1)$

Dann ist $\forall n \in N_0$, $P(n) \equiv$ wahr

Zum Beispiel:

$$\text{Satz: } \forall n \in N_0, P(n) := \sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$P(0) = \frac{0(1)}{2} = 0$$

$$\text{Sei } P(k) = \frac{k(k+1)}{2}$$

$$\text{Zu zeigen } P(k+1) = \frac{(k+1)((k+1)+1)}{2}$$

$$\begin{aligned} P(k+1) &= P(k) + k + 1 = \frac{k(k+1)}{2} + k + 1 \\ &= 2k^2 + 3k + 1 = \frac{k^2 + \frac{3}{2}k + \frac{1}{2}}{2} \\ &= \frac{(k+1)(k+2)}{2} = \frac{(k+1)((k+1)+1)}{2} \end{aligned}$$

Vollständige Induktion gibt, dass $\forall n \in N_0$, $P(n)$ wahr ist. \blacksquare

Mengenlehre

Eine ungeordnete Zusammenfassung von Elementen.

\emptyset - Leere Menge, hat keine Elemente

$\{\emptyset\}$ hat genau ein Element

Aussageform $\{x \mid P(x)\}$ or $\{x; P(x)\}$ - die Menge aller x , fuer die $P(x)$ gilt

Example: $\{x \mid x \in \mathbb{N}_0, x \text{ ist gerade}\}$

Russelsche Antonomie - $\{x \mid x \in X, x \notin x\}$ ist ein Paradox

Loesung: Es muss immer so definiert werden $\{x \in X \mid P(x)\}$, wo X eine Menge ist.

$A \cap B = \{x \mid x \in A \wedge x \in B\}$ - Intersection

$A \cup B = \{x \mid x \in A \vee x \in B\}$ - Union

$A \setminus B = \{x \in A \mid x \notin B\}$ - Without

$A \subseteq B$ - Jedes Element von A liegt in B (between two sets, unlike $x \in A$ which describes a single element x being inside the set A)

$A \subset B$ - Jedes Element von A liegt in B und A enthaelt weniger Elemente als B

$A \subseteq X, A^c = X \setminus A$, wo X die Grundmenge ist, die jeder Element die wir betrachten enthaelt.

Distributive:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

$(1, 2, 3)$ - *Tuple* - Ordered set

Kartesische Product / Potenz - $X \times Y = \{(x, y) \mid x \in X, y \in Y\}$

Example:

$$X := \{0, 1\}, Y := \{\alpha, \beta\}$$

$$X \times Y := \{(0, \alpha), (0, \beta), (1, \alpha), (1, \beta)\}$$

$$|X \times Y| = |X| \times |Y|$$

\mathbb{R}^n := n-dimensionalen Koordinatenraum

$$\mathbb{R}^2 = X \times Y$$

$$\mathbb{R}^3 = X \times Y \times Z$$

Interval Notation

$$[a, b] - a \leq x \leq b$$

$$(a, b) - a < x < b$$

Open bounds cannot be the maximum / minimum of a set, as they are not contained in the set (and $0.\dot{9} \equiv 1$ etc.).

Let $A \subseteq \mathbb{R}$

Supremum

$$\sup A = \begin{cases} \text{Smallest upper bound} & \text{if } A \text{ has an upper bound} \\ \infty & \text{if } A \text{ doesn't have an upper bound} \\ -\infty & \text{if } A = \emptyset \end{cases}$$

Infimum - Largest lower bound

$$\inf A = \begin{cases} \text{Largest lower bound} & \text{if } A \text{ has a lower bound} \\ -\infty & \text{if } A \text{ doesn't have a lower bound} \\ \infty & \text{if } A = \emptyset \end{cases}$$

Infinity cannot be a Supre/Infimum, because $\infty \notin \mathbb{R}$

De Morgan's Laws

Also apply to boolean logic, where $A, B := 1, 0$

$$(A \cap B)^c = A^c \cup B^c$$

$$(A \cup B)^c = A^c \cap B^c$$

Quantoren

They cannot simply be swapped! See the largest natural number problem in script.

\exists - Existenzquantor - Es gibt

\forall - Allquantor - Fuer alle

$\exists!$ - Es gibt genau ein element

$$\neg(\forall x \in X \mid P(x)) = \exists x \in X \mid \neg P(x)$$

$$\neg(\exists x \in X \mid P(x)) = \forall x \in X \mid \neg P(x)$$

Goethe Prinzip - When a variable is renamed correctly, a statement is still logically equivalent

Funktionen

Eine Funktion ist ein Tripel $f = (X, Y, G)$, wobei X und Y Mengen sind und $G \subseteq X \times Y$, sodass $\forall x \in X \exists y \in Y$, sodass $(x, y) \in G$

Domain - Set of possible inputs for a function

Codomain (Range) - Set of possible outputs of a function

Example:

Both are Quadratic funktions but are not equal:

$$X := Y := \mathbb{R}, G = \{(x, x^2) \mid x \in \mathbb{R}^2\}$$

$$X := \mathbb{R}, Y :=]0, \infty[, G = \{(x, x^2) \mid x \in \mathbb{R}^2\}$$

$$X \rightarrow X, \text{id}(x) := x - \text{Identitaets Funktion}$$

Bild und Urbild - Muss nicht bijektiv sein

$$\text{im}(X) := f(X) - \text{Bild von } f$$

$$f : X \rightarrow Y, f^{-1}(Y) := \{x \in X \mid f(x) \in Y\} - \text{Urbild von } y \text{ unter } f$$

Surjektiv - $\forall y \in Y \exists x \in X : f(x) = y$ - Es gibt fuer jeder Ausgang einige dazugehoerige Eingange

Injektiv - $\forall x, x' \in X : x \neq x' \Rightarrow f(x) \neq f(x')$ - Es gibt genau eine Ausgang fuer jeder Eingang in dem Definitionsbereich

Bijektiv - Es ist Surjektiv und Injektiv, weshalb es eine Inverse hat

Umkehrfunktion

Sei $f : X \rightarrow Y$ eine Bijektive funktion, $f^{<-1>} := Y \rightarrow X$ - *Umkehr Funktion*

The inverse can ONLY be defined when the function is Bijektiv, unlike the Urbild. When $X = Y = \mathbb{R}$ it is the reflection of the original function over the line $y = x$. It is sometimes notated as f^{-1} when the context is clear.

Do not forget to consider the given domain / range when considering if a function is bijektiv!

Zum Beispiel:

$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) := x^2$$

$$\text{im}(f) = f(\mathbb{R}) = [0, \infty]$$

$$f^{-1}([-\infty, 4]) = [-2, 2]$$

The inverse can be only be defined if f is Bijektiv:

$$f : [0, \infty] \rightarrow [0, \infty], f(x) := x^2$$
$$f^{<-1>} = \sqrt{x}$$

$g \circ f := g(f(x))$ - Only possible if the $\text{codom}(f) = \text{dom}(g)$

Zahlen und Vektoren

$$\mathbb{N}_0 := \{0, 1, 2, \dots\}$$

$$\mathbb{N} := \{1, 2, 3, \dots\}$$

$$\mathbb{Z} := \{\dots, -1, 0, 1, \dots\}$$

$$\mathbb{Q} := \left\{ \frac{m}{n} \mid m \in \mathbb{Z} \wedge n \in \mathbb{N} \right\}$$

$$\mathbb{N}_0 \subseteq \mathbb{Z} \subseteq \mathbb{Q}$$

There are infinite gaps in the number line of rational numbers. These can be filled with $\mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}$ - Irrational numbers, for example $\sqrt{2}, \pi, e$. For example: $\nexists s \in \mathbb{Q} \mid s^2 = 2$.

Reellen Zahlen

Dedekind Cut

A Dedekind cut is a way of representing the real numbers using the rational numbers by cutting the number line into two sections around a “gap” represented by an irrational number. Let $x \subset \mathbb{Q}$ (x contains less elements than \mathbb{Q}), the following properties describe the cut:

$$x \neq \emptyset$$
$$\forall r \in x \forall s \in \mathbb{Q} : s > r \Rightarrow s \in x$$
$$\forall r \in x \exists s_0 \in x : s_0 < r$$

This definition can of course include $\mathbb{Q} \cup (\mathbb{R} \setminus \mathbb{Q})$ and therefore the entire \mathbb{R} set.

The elementary number operations (addition, subtraction, multiplication, inequalities etc.) can be defined in terms of Dedekind cuts, precisely defining our understanding of arithmetic. \mathbb{R} (und deshalb auch \mathbb{Q}) ist eine sogenannte “total geordneter Körper”.

Dedekind Completeness - Every nonempty subset of \mathbb{R} with an upper / lower limit has a smallest / largest upper / lower limit.

This proves that the irrational numbers are not complete: $\{r \in \mathbb{Q} \mid r^2 < 2\}$ has no smallest upper limit.

b-adischer Bruch

This is the formal name of the place value system which is defined for all bases ≥ 2 . The values of the digits before the radix point are nb , and $\frac{1}{nb}$ after the radix.

Youngsche Ungleichung

$$x, y, c \in \mathbb{R}$$
$$c > 0$$
$$2|xy| \leq cx^2 + \frac{y^2}{c}$$

Cardinality (Mächtigkeit)

Two sets have the same cardinality if they have the same size and therefore a bijective mapping between them exists (see Cantor’s Diagonalmethod).

$$|\mathbb{N}_0| = |\mathbb{Z}| = |\mathbb{Q}| \neq |\mathbb{R}|$$

Complex Numbers

The Real numbers contain no solution for $x^2 = -1$, which is why the imaginary number $i = \sqrt{-1}$ was introduced, first considered by Cardano. They can be used to solve real world problems throughout electrical engineering, particularly for oscillations because powers of i^n have a repetitive nature.

Complex addition is identical to real addition $+\mathbb{R}^2$.

Complex multiplication is defined as:

$$\begin{aligned} \cdot_{\mathbb{C}} : \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2 &\rightarrow \mathbb{R}^2, \begin{pmatrix} r \\ m \end{pmatrix} \cdot_{\mathbb{C}} \begin{pmatrix} r' \\ m' \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} rr' - mm' \\ rm' + r'm \end{pmatrix} \\ (r + mi)(r' + m'i) &= rr' + rm'i + mr'i + mm'i^2 \\ &= rr' - mm' + (rm' + r'm)i \end{aligned}$$

Therefore the complex body is defined as a tuple with the operations:

$$\begin{aligned} \mathbb{C} &:= (\mathbb{R}^2, +_{\mathbb{R}^2}, \cdot_{\mathbb{C}}) \\ i \in \mathbb{C}, i &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

It is not a complete body as it doesn't contain any definitions for inequalities, like \mathbb{R} .

The following injective, non surjective function maps real numbers to complex numbers:

$$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C} : x \in \mathbb{R}, \begin{pmatrix} x \\ 0 \end{pmatrix} \in \mathbb{C}$$

There exists a root for -1 in the complex body:

$$\begin{aligned} i^2 &= \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot_{\mathbb{C}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \sqrt{-1} &= \pm i \end{aligned}$$

The complex conjugate is defined as follows:

$$\begin{aligned} z &:= a + bi \\ \Re(z) &= a \\ \Im(z) &= b \\ \bar{z} &= a - bi \end{aligned}$$

The euclidian norm is defined as:

$$|z| = \sqrt{|z_1|^2 + |z_2|^2 + \dots + |z_n|^2}$$

General identities:

$$\begin{aligned} z\bar{z} &= |z|^2 \\ \overline{z + z'} &= \bar{z} + \bar{z'} \\ \overline{zz'} &= \bar{z} \cdot \bar{z'} \end{aligned}$$

The function cis is defined to handle complex numbers in polar form:

$$\text{cis}(\theta) = \cos(\theta) + i \sin(\theta)$$

$$\text{cis}(\theta)\text{cis}(\varphi) = \text{cis}(\theta + \varphi)$$

$$\text{cis}\left(k\frac{\pi}{2}\right) = i^k \forall k \in \mathbb{Z}$$

$$z = |z| \text{cis}(\varphi) = |z|e^{i\varphi}$$

$$zz' = |z||z'| \text{cis}(\varphi + \varphi')$$

$$z^k = |z|^k \text{cis}(k\varphi)$$

$$\bar{z} = |z|\text{cis}(-\varphi)$$

k'th Roots

For a complex number z , the k 'th roots w are straightforward to determine:

$$w^k = z$$

$$\zeta_k(j) = w_j = |z|^{\frac{1}{k}} \text{cis}\left(\frac{\varphi + 2j\pi}{k}\right), j := 0, 1, \dots, k-1$$

TODO: Don't understand exactly what these are, roots? Every non-constant polynomial contains at least 1 complex root.