# Vorkurs

# -- 7. Abbildungen –

9.10.2018

# Abbildungen

Eine Abbildungen oder Funktion $f: A \rightarrow B$ ist eine Relation, bei der es für jedes $a \in A$ genau ein $b \in B$ gibt, das mit a in Relation steht.
Wir schreiben dann $b = f(a)$ oder $a \longmapsto b$

Wir können z.B. aus der Kuh/Mäh-Relation eine Abbildung machen durch Entfernen von Paaren:

| $x$ | *Kuh* | *Schaf* | *Ziege* | *Fisch* |
|---|---|---|---|---|
| $f(x)$ | "*Muh*" | "*Mäh*" | "*Mäh*" | " " |

# Definitionsbereich, Bild

Für eine Funktion $f: A \rightarrow B$ heißt A der Definitionsbereich und B der Wertevorrat.
Beide gehören daher untrennbar zur Funktion!

Daher sind $f(x)=x$ mit $A= [0,1], B=IR$ oder
$A=[0,1]= B$ oder
$A=IR=B$
drei verschiedene Abbildungen $f_1, f_2, f_3$ !!!

Der Wertevorrat muss nicht ausgeschöpft werden (vgl. $f_1$).
Daher definieren wir einen weiteren Begriff:
Für $A' \subseteq A$ nennen wir

$$f(A') := \{f(x), x \in A'\}$$

die Bildmenge (das Bild) von A‘ (unter f)

Für A‘ = A ist daher $f(A) \subseteq B$ genau die Elemente, die als Bild von f auftreten.

# Urbild

Zu einem b ∈ B ist $f^{-1}(b) := \{a \in A : f(a) = b\}$

die Urbildmenge (das Urbild) von b.

Vorsicht: b ist Element, aber $f^{-1}(b) \subseteq A$ ist eine Menge mit ev. mehreren oder keinen Elementen!

Verallgemeinerung auf B‘ $\subseteq$ B, Menge von Elementen:

$$f^{-1}(B') := \bigcup_{b \in B'} f^{-1}(b)$$

(Vereinigung aller einelementig definierten Urbilder)

# Injektiv

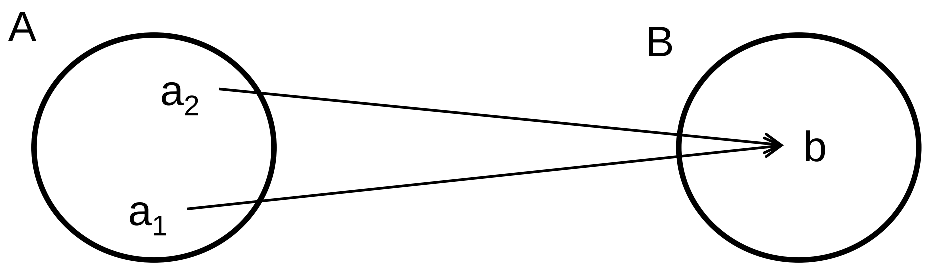
Jetzt kommen mathematisch anspruchsvolle Begriffe, die aber eigentlich nicht so kompliziert sind, wie sie klingen!

Eine Abbildung f: A → B heißt injektiv, wenn gilt:

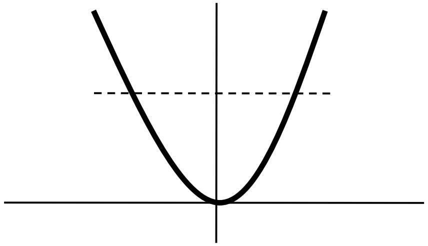
$$\forall b \in B : \left| f^{-1}(b) \right| \leq 1.$$

d.h. jedes b aus dem Wertevorrat hat höchstens ein Urbild.

Verboten:




f(x) = $x^2$, **IR**→IR



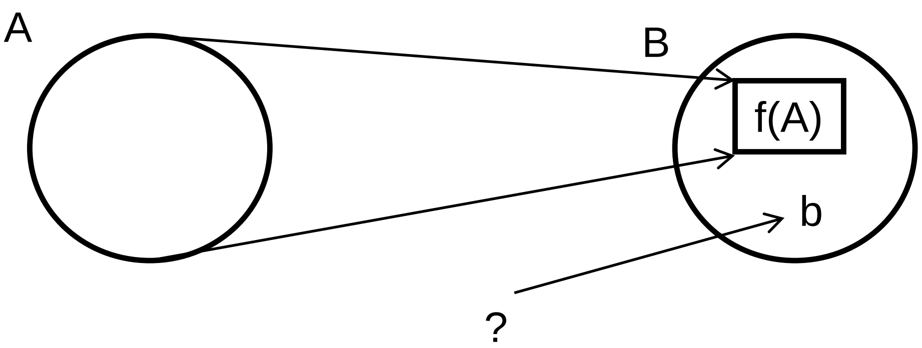
# Surjektiv

Eine Abbildung f: A → B heißt surjektiv, wenn gilt:

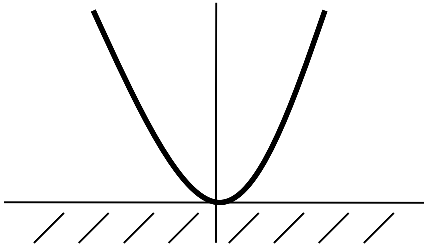
$$\forall b \in B : \left| f^{-1}(b) \right| \geq 1.$$

d.h. jedes b aus dem Wertevorrat hat mindestens ein Urbild.

Verboten:




f(x) = $x^2$, IR→**IR**



# Bijektiv

Eine Abbildung f: A → B heißt bijektiv, wenn gilt:

$$\forall b \in B : \left| f^{-1}(b) \right| = 1.$$

d.h. jedes b aus dem Wertevorrat hat genau ein Urbild.

Also bijektiv ←→ injektiv und surjektiv ←→ eineindeutig

# Beispiele

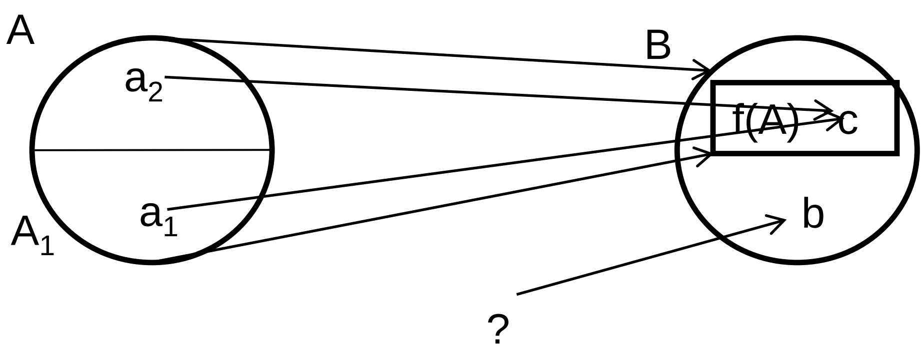
Die Funktion f: $IN_0 \rightarrow IN_0$ , $f(n) = n+1$, ist nicht surjektiv.
Wir können sie aber surjektiv machen durch Beschränkung des Wertevorrats auf den eigentlichen Bildbereich:
Die Funktion g: $IN_0 \rightarrow IN=\{1,2,\ldots\}$ , $g(n) = n+1$, ist surjektiv

Das funktioniert immer: Ist f nicht surjektiv, beschränke den Wertevorrat auf den eigentlichen Bildbereich $\rightarrow$ surjektiv

Die Funktion f: $IN_0 \rightarrow IN_0$ , $f(n) = |n-1|$, ist nicht injektiv.
Wir können sie aber injektiv machen durch Beschränkung des Definitionsbereichs:
Die Funktion g: $IN=\{1,2,\ldots\} \rightarrow IN_0$ , $g(n) = |n-1|$, ist injektiv

Das funktioniert immer: Ist f nicht injektiv, beschränke den Definitionsbereich, um Mehrfachwerte zu vermeiden $\rightarrow$ injektiv

Aus jeder Abbildung lässt sich durch Beschränkung des Wertevorrats und des Definitionsbereichs eine bijektive Abbildung gewinnen.



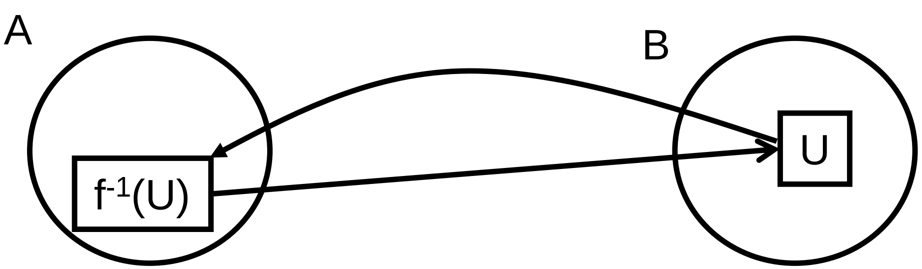

f: A → B nicht surjektiv und nicht injektiv, aber

g: $A_1$ → f(A) surjektiv und injektiv, also bijektiv!

# Sätze

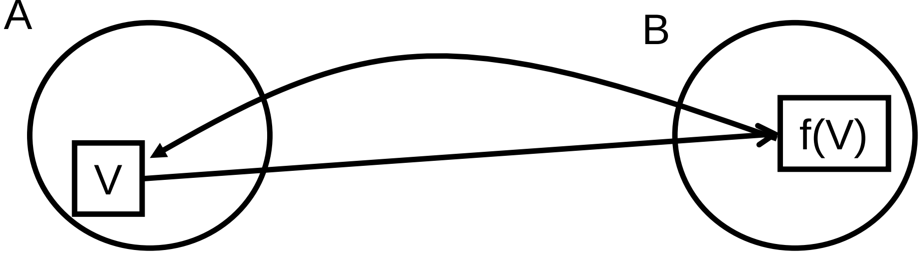
$\forall U \subseteq B: f\left(f^{-1}(U)\right) \subseteq U$ Das Bild vom Urbild von U ist in U.

$f^{-1}(U)$, das Urbild von U, sind alle Punkte, die nach U abgebildet werden. Daher gilt $f(f^{-1}(U)) \subseteq U$




$\forall V \subseteq A: f^{-1}\left(f(V)\right) \supseteq V$ Das Urbild vom Bild von V enthält V.

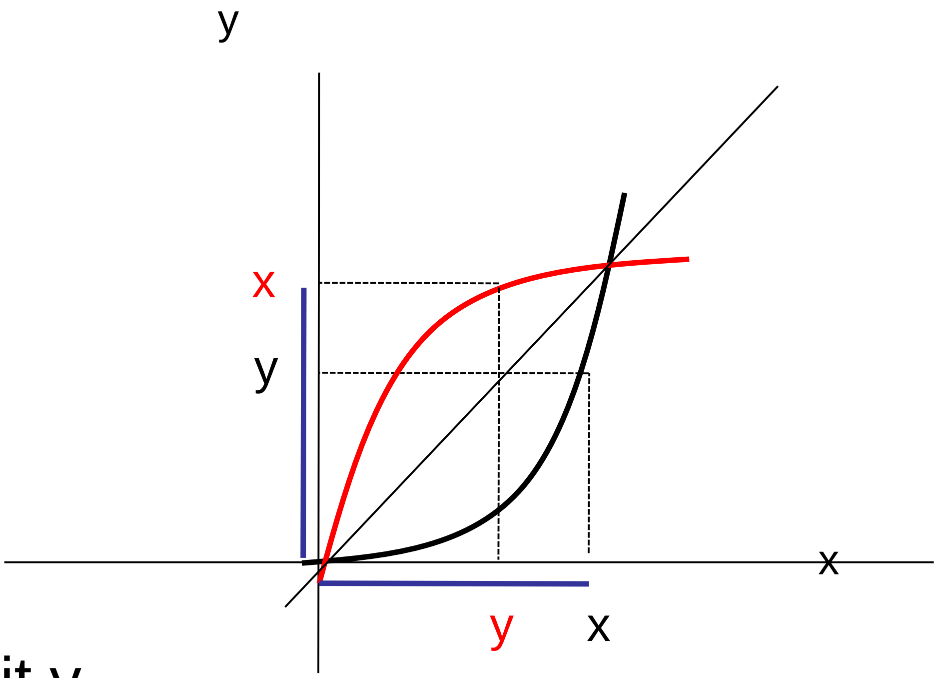
Das Urbild von f(V) enthält laut Definition alle Punkte, die nach f(V) abgebildet werden, also insbesondere V selbst.



Ist eine Abbildung bijektiv, so existiert eine Umkehrabbildung:

$y=f(x)$, $f^{-1}(y)=x$: $f^{-1}(f(x))=x$ und $f(f^{-1}(y))=y$

$$(x,y)\rightarrow(y,x)$$




Vertausche x mit y.

$y=f(x)=x^2$ , $x\geq 0$ $\rightarrow$ $x=f^{-1}(y)=y^{1/2}$ : Umbenennung $f^{-1}(x)=x^{1/2}$

# Abzählbarkeit

Eine Menge ist abzählbar genau dann, wenn eine Bijektion existiert zwischen M und IN.
Die Bijektion ist quasi eine Nummerierung von M.

Satz: Q, die Menge der rationalen Zahlen, ist abzählbar:

Tableau der positiven Brüche

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1/1 | 2/1 | 3/1 | 4/1 | 5/1 | . |
| 1/2 | 2/2 | 3/2 | 4/2 | . | |
| 1/3 | 2/3 | 3/3 | . | | |
| 1/4 | 2/4 | . | | | |
| 1/5 | . | | | | |
| . | | | | | |

Nummerierung

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 6 | 7 | 15 | . |
| 3 | 5 | 8 | 14 | . | |
| 4 | 9 | 13 | . | | |
| 10 | 12 | . | | | |
| 11 | . | | | | |
| . | | | | | |

# Satz: IR ist nicht abzählbar

Sei $z_i$ eine Aufzählung aller reellen Zahlen in [0,1].

$$z_1 = 0.z_{11}z_{12}z_{13}\ldots$$
$$z_2 = 0.z_{21}z_{22}z_{23}\ldots$$
$$z_3 = 0.z_{31}z_{32}z_{33}\ldots$$
$$z_4 = 0.z_{41}z_{42}z_{43}\ldots$$
$$\vdots$$

Wir definieren eine neue reelle Zahl $x=0.x_1x_2x_3\ldots$ indem wir jedes $x_i \neq z_{ii}$ wählen.
Dann kann x nicht in obiger Aufzählung stehen! Widerspruch!

IR ist überabzählbar!

# Mächtigkeit von [0,1] und [0,1]x[0,1]

Sind und gleichmächtig?

Satz: Es gibt keine Bijektion von M → P(M)

Beweis: Annahme,es gibt Bijektion f, a → f(a) $\subseteq M$

Sei C die Menge der Elemente x aus M, die selbst nicht in f(x) liegen.

Wegen f Bijektion gibt es ein c mit f (c) = C

$c \in C = f(c) \rightarrow c \notin C$

$c \notin C = f(c) \rightarrow c \in C$

Widerspruch, Annahme falsch!

# Hierarchie der Mächtigkeiten

Endliche Menge M: |M| = n

Abzählbar unendliche Menge: IN

Überabzählbare unendliche Menge, z.B. IR

Frage: Gibt es eine Menge zwischen IN und IR mit echt unterschiedlicher Mächtigkeit? Kontinuumshypothese.

Konstruktion mächtigerer Mengen durch Potenzmenge.

Es gilt: IR ist äquivalent zu P(IN): Beweis für Intervall [0,1].

Beweis: Jede reelle Zahl entspricht einer Abbildung IN→ {0,1}.
$r=0.x_1x_2x_3\ldots$ binär ←→ Abb.: 1 → $x_1$, 2 → $x_2$, 3 → $x_3$ , …
Die Menge all dieser Abbildungen ist die Potenzmenge von IN.
Denn an jeder Stelle kann 0 oder 1 stehen..