

## Funktionen 3

- Definition

Wird jedem  $n \in \mathbb{N}$  eine Zahl  $a_n$  zugeordnet, so entsteht eine **unendliche Zahlenfolge**

$$a_1, a_2, a_3, \dots$$

Schreibweise:  $(a_n)_{n=1}^{\infty}$  oder kurz  $(a_n)$ .

Die Zahlen  $a_n$  heißen **Glieder** der Folge.

- Anmerkung:

(a) Die Indizierung darf statt mit 1 auch mit jeder anderen ganzen Zahl beginnen.

(b) Eine Folge kann als Funktion  $f$  mit

$$f : \mathbb{N} \longrightarrow \mathbb{R}, \quad f(n) = a_n$$

aufgefaßt werden.

(c) Die Vorschrift  $a_n = f(n)$  heißt **Bildungsgesetz** der Folge.

(d) Eine **endliche** Folge

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$$

wird entsprechend geschrieben:  $(a_n)_{n=1}^m$ .

- Beispiele, u.a.

- Folge der Primzahlen,
- arithmetische Folge,
- geometrische Folge,
- Fibonacci-Folge.

- Beispiele für konvergente Folgen (Begriff der Konvergenz anschaulich).

- Definition

Die Zahlenfolge  $(a_n)$  **konvergiert** gegen  $g$  (strebt gegen  $g$ ), wenn es zu jeder Zahl  $\epsilon > 0$  einen Index  $n_0(\epsilon)$  gibt, so daß

$$|a_n - g| < \epsilon \quad \text{für alle } n > n_0(\epsilon)$$

ist. Dabei heißt  $g$  der **Grenzwert** (Limes) der Folge  $(a_n)$ . Schreibweise:  $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = g$  oder  $a_n \rightarrow g$  ( $n \rightarrow \infty$ ).

Die Folge  $(a_n)$  heißt **divergent**, wenn sie nicht konvergent ist.

- Satz

Eine konvergente Folge besitzt *genau einen* Grenzwert.

- Beispiele konvergenter und divergenter Folgen.

- Beispiele: Der Grenzwertbegriff anhand dreier Funktionen,

- Normalparabel,
- Funktion mit Sprungstelle,
- $y(x) = 0$  für  $x \leq 0$  und  $y(x) = \sin(1/x)$  für  $x > 0$ .

- Definition

Die Funktion  $f$  sei definiert auf einer Umgebung  $(c, a) \cup (a, b)$  von  $a$ . Wir sagen, daß  $f$  im Punkt  $a$  den **Grenzwert**  $g$  hat, wenn  $\lim_{n \rightarrow \infty} f(x_n) = g$  für alle Folgen  $(x_n)$  mit  $x_n \rightarrow a$  ( $n \rightarrow \infty$ ) und  $x_n \in (c, a) \cup (a, b)$  gilt.

Schreibweise:  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = g$ .

- Beispiele (s.o.)

- Definition (Rechtsseitiger Grenzwert)

Die Funktion  $f$  mit  $(a, b) \subseteq D(f)$  hat in  $a$  den **rechtsseitigen Grenzwert**  $g$ , wenn  $\lim_{n \rightarrow \infty} f(x_n) = g$  für alle Folgen  $(x_n)$  mit  $x_n \rightarrow a$  ( $n \rightarrow \infty$ ) und  $x_n \in (a, b)$  gilt.

Schreibweise:  $\lim_{x \downarrow a} f(x) = g$  oder  $\lim_{x \rightarrow a+0} f(x) = g$ .

- Anmerkung: Linksseitiger Grenzwert analog.

- Anmerkung: Wenn sowohl der rechtsseitige als auch der linksseitige Grenzwert existiert, und beide Werte stimmen überein,

$$\lim_{x \rightarrow a+0} f(x) = g = \lim_{x \rightarrow a-0} f(x),$$

dann existiert der Grenzwert

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = g.$$

- Beispiele (s.o.)
- Beispiel: Diskussion der verschiedenen möglichen Fälle anhand der Skizze einer Funktion.
- Anmerkung (uneigentliche Grenzwerte):

- (a) Ist für alle Folgen  $(x_n)$  mit  $x_n \rightarrow a$  ( $n \rightarrow \infty$ ) die Folge  $(f(x_n))$  bestimmt divergent, schreibt man

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = \infty \quad \text{bzw.} \quad \lim_{x \rightarrow a} f(x) = -\infty.$$

Entsprechend bei rechts- bzw. linksseitiger Annäherung.

- (b) Ist  $f$  definiert auf  $(a, \infty)$  und gilt  $f(x_n) \rightarrow g$  ( $n \rightarrow \infty$ ) für jede bestimmt divergente Folge  $(x_n)$  (also  $x_n \rightarrow \infty$  ( $n \rightarrow \infty$ )), dann Schreibweise

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = g.$$

Entsprechend für  $x \rightarrow -\infty$ .

Diese Schreibweise wird auch im Falle  $g = \pm\infty$  verwendet.

- Beispiele
- Satz (Rechenregeln für Grenzwerte)

Es sei  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = g$  und  $\lim_{x \rightarrow a} \varphi(x) = \gamma$ . Dann gilt:

(a)  $\lim_{x \rightarrow a} k \cdot f(x) = k \cdot g$  ( $k$  konstant),

(b)  $\lim_{x \rightarrow a} [f(x) \pm \varphi(x)] = g \pm \gamma$ ,

(c)  $\lim_{x \rightarrow a} [f(x) \cdot \varphi(x)] = g \cdot \gamma$ ,

(d)  $\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{\varphi(x)} = \frac{g}{\gamma}$ , falls  $\gamma \neq 0$ ,

(e)  $\lim_{x \rightarrow a} \sqrt[n]{f(x)} = \sqrt[n]{g}$ ,

(f)  $\lim_{x \rightarrow a} [f(x)]^n = g^n$ .

Analog für  $x \rightarrow \infty$  und  $x \rightarrow -\infty$ .  
(ohne Bew.)

- Beispiele

- Definition (Stetigkeit)

Die Funktion  $f$  heißt **stetig an der Stelle**  $a \in D(f)$ , wenn

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = f(a)$$

gilt.  $f$  heißt **stetig**, wenn  $f$  in jedem Punkt von  $D(f)$  stetig ist.

- Anmerkung: Wir haben Stetigkeit in  $a$ , wenn
  1. die Funktion in  $a$  definiert ist,
  2. der Grenzwert in  $a$  existiert,
  3. der Grenzwert gleich dem Funktionswert ist.
- Skizze
- Anmerkung: Anschaulich ist eine Funktion stetig, wenn ihr Graph „in einem Zug“ („ohne abzusetzen“) gezeichnet werden kann.
- Anmerkung: Die Eigenschaft der Stetigkeit sorgt dafür, daß eine Funktionskurve sich nicht mehr beliebig ändern darf. Uneingeschränkte „Sprünge“ sind nicht mehr erlaubt. Aber auch bei stetigen Funktionen kann der Graph „Ecken“ enthalten, also Stellen, an denen keine Steigungswerte sinnvoll definiert werden können. Soll der Graph aber in jedem seiner Punkte — anschaulich gesprochen — eine „Steigung“ besitzen, will man also noch größere Regelmäßigkeit haben, ist eine stärkere Forderung nötig: die Differenzierbarkeit.