

## Grundwissen: Ganzrationale Funktionen und ihre Nullstellen

Eine Funktion heißt ganzrational (oder Polynomfunktion), wenn sie eine Summe von Potenzfunktionen mit natürlichen Exponenten ist, wenn ihr Funktionsterm also in der Form





$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (a_n \neq 0)$$

geschrieben werden kann. Die Zahl  $n \in \mathbb{N}$  heißt der Grad der ganzrationalen Funktion, die Zahlen  $a_n, a_{n-1}, \dots, a_2, a_1, a_0 \in \mathbb{R}$  heißen ihre Koeffizienten ( $a_n$ : Leitkoeffizient LK), ihr Funktionsterm ist ein Polynom.

speziell: Für  $n = 1$  ergibt sich eine lineare Funktion  $f(x) = a_1 x + a_0$ , für  $n = 2$  eine quadratische Funktion  $f(x) = a_2 x^2 + a_1 x + a_0$  (und für  $n = 3$  eine sog. kubische Funktion).

Symmetrie: Treten im Funktionsterm einer ganzrationalen Funktion nur gerade bzw. nur ungerade Potenzen auf, so ist ihr Graph symmetrisch zur y-Achse bzw. zum Ursprung, ansonsten hat er keine Symmetrie zum KS.

Verhalten für  $x \rightarrow \pm\infty$ : Dort ist nur der Summand mit der höchsten Potenz wichtig, d. h. der Graph sieht „ganz links“ und „ganz rechts“ genau so aus wie der Graph der Funktion  $g(x) = a_n x^n$ :

	n gerade	n ungerade
$a_n > 0$		
$a_n < 0$		

Beispiel: Der Graph der Funktion  $f(x) = -1,5 x^3 + \pi x^2 - \sqrt{2}$  verhält sich für  $x \rightarrow \pm\infty$  genauso wie der Graph der Funktion  $g(x) = -1,5 x^3$ , d. h. er kommt von links oben und geht nach rechts unten; es gilt also:

$$f(x) \rightarrow +\infty \text{ für } x \rightarrow -\infty \text{ und } f(x) \rightarrow -\infty \text{ für } x \rightarrow +\infty$$

Anmerkung: Ist der Funktionsterm in faktorisierte Form gegeben, so muss man ihn hier nicht komplett ausmultiplizieren; es genügt, wenn man den konstanten Faktor und die jeweils höchsten Potenzen von  $x$  multipliziert; Beispiel:  $f(x) = -2 x^2 (x + 1)^2 (x - 2)^3 = -2 x^2 \cdot (x^2 + \dots) \cdot (x^3 + \dots) = -2 x^7 + \dots$

### Linearfaktorzerlegung / Faktorisierung / Verhalten bei Nullstellen:

Hat eine ganzrationale Funktion  $f$  vom Grad  $n$  die Nullstelle  $x_1$ , so kann man sie schreiben als

$$f(x) = (x - x_1) \cdot g(x)$$

mit einer ganzrationalen Funktion  $g$  vom Grad  $n-1$ . Der Term  $(x - x_1)$  heißt ein Linearfaktor. Spaltet man so auch noch die zu den anderen Nullstellen gehörenden Linearfaktoren ab, so kann man  $f$  schließlich schreiben als ein Produkt von Linearfaktoren (von denen manche auch mehrfach vorkommen können) und evtl. einer ganzrationalen Funktion  $z$ , die keine weiteren Nullstellen hat:

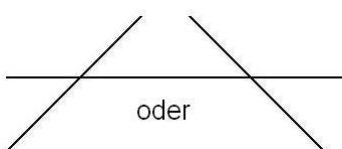
$$f(x) = (x - x_1)^{k_1} \cdot (x - x_2)^{k_2} \cdot K \cdot z(x)$$

Die (natürlichen) Zahlen  $k_1, k_2, \dots$  heißen die Vielfachheiten der Nullstellen  $x_1, x_2, \dots$

(Beispiel: Die Funktion  $f(x) = 2 x^6 - 2 x^2$  lässt sich auch schreiben als  $f(x) = x^2 (x + 1) (x - 1) (2 x^2 + 2)$  (vgl. zweite Seite oben). Also hat sie die Nullstellen 0, -1 und 1 mit den Vielfachheiten 2, 1 und 1; außerdem tritt hier noch die Funktion  $z(x) = 2 x^2 + 2$  als Faktor auf, die keine weiteren Nullstellen hat.)

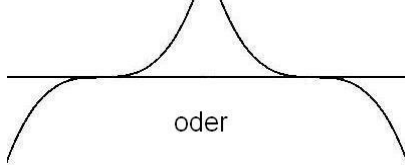
Hat eine Nullstelle ungerade Vielfachheit, so schneidet der Graph die x-Achse an dieser Stelle (für  $k \geq 3$  waagrecht), und die Funktionswerte wechseln ihr Vorzeichen (VZW); hat eine Nullstelle gerade Vielfachheit, so berührt der Graph die x-Achse an dieser Stelle (kein VZW):

$k = 1$ :



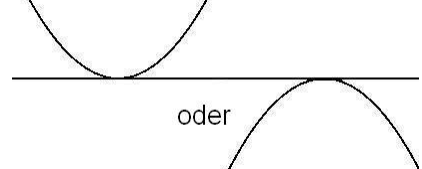
oder

$k = 3, 5, \dots$ :



oder

$k = 2, 4, \dots$ :



oder

(das alles muss man ab jetzt immer wissen!)

### y-Achsenabschnitt:

Wenn die Funktionsgleichung in der normalen Form gegeben ist, kann man den y-Achsenabschnitt direkt ablesen ( $a_0$ ); ist sie in faktorisierte Form gegeben, so berechnet man  $f(0)$ .

### Bestimmung von Nullstellen / Gleichungen lösen:

Eine Gleichung der Form „Polynom n-ten Grades = 0“ heißt (algebraische) Gleichung n-ten Grades. Allgemein gilt: Eine ganzrationale Funktion vom Grad  $n$  hat höchstens  $n$  Nullstellen (Vielfachheiten mitgezählt).

Verfahren:

- 1) möglichst hohe Potenzen von  $x$  und evtl. konstante Faktoren ausklammern; im Beispiel auf der ersten Seite unten:  $f(x) = 2x^6 - 2x^2 = 2x^2(x^4 - 1)$
- 2) binomische Formeln (rückwärts) anwenden; im Beispiel von eben:  $f(x) = \dots = 2x^2(x^4 - 1) = 2x^2(x^2 - 1)(x^2 + 1) = 2x^2(x + 1)(x - 1)(x^2 + 1)$  (das kann man dann wiederum schreiben als  $f(x) = x^2(x + 1)(x - 1)(2x^2 + 2)$ , womit man also die Form hat, die auf der Vorderseite angegeben ist)
- 3) Mitternachtsformel (oder einfachere Verfahren, z. B. ausklammern, Vieta, ...; siehe Blatt zu quadratischen Funktionen!) verwenden, um die Nullstellen quadratischer Funktionen / Faktoren zu erhalten
- 4) wenn nur  $a_n x^n$  und  $a_0$  auftreten:  $a_0, a_n$  auf die andere Seite bringen; wenn möglich, dann die  $n$ -te Wurzel ziehen (wenn  $n$  gerade ist: zwei Lösungen, plus / minus!); Beispiel.:  $f(x) = 2x^4 - 32 = 0 \rightarrow 2x^4 = 32 \rightarrow x^4 = 16 \rightarrow x_{1,2} = \pm 2$ ; diese Nullstelle(n) ist/sind dann immer einfach
- 5) bei biquadratischen Funktionen / Faktoren: Substitution verwenden, entstehende quadratische Gleichung lösen, Rücksubstitution nicht vergessen ( $\pm \sqrt{\quad}$  !)
- 6) wenn sonst nichts mehr hilft: eine Nullstelle durch Probieren / Wertetabelle herausfinden, dann Polynomdivision durchführen, dann mit einem der Verfahren weitermachen.

### gemeinsame Punkte von Graphen:

Man setzt beide Funktionsterme gleich, löst also die Gleichung  $f(x) = g(x)$ . Die Lösungen ( $x$ -Werte) setzt man dann in  $f$  oder  $g$  ein, um die  $y$ -Werte der gemeinsamen Punkte zu erhalten. Dabei gilt: Ist  $x$  eine einfache / dreifache / ... Lösung, so ergibt sich ein Schnittpunkt; ist  $x$  eine doppelte / vierfache / ... Lösung, so ergibt sich ein Berührungspunkt.

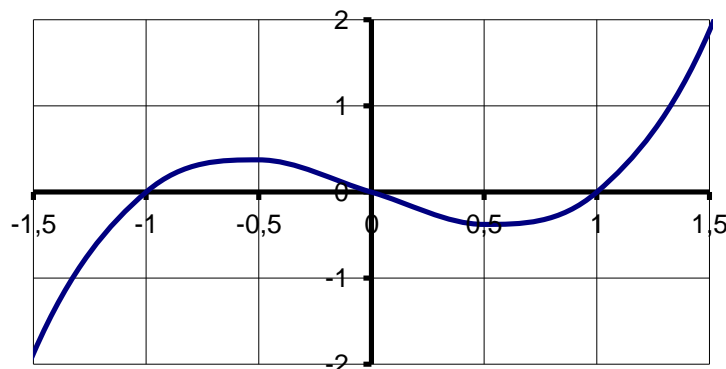
### Lösen von Ungleichungen: (wenn nötig: erst so umstellen, dass rechts 0 steht!)

1) zugehörige Gleichung lösen 2) zugehörigen Graph skizzieren 3) Lösungsmenge ablesen

Beispiel:  $x^3 - x > 0$

1) Gleichung lösen:  $x^3 - x = 0$  führt auf  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = -1$ ;  $x_3 = 1$ , alle einfach

2) Graph skizzieren:



3) am Graphen kann man ablesen:  $x^3 - x > 0$  für  $-1 < x < 0$  und für  $x > 1$ , also:  $L = ]-1; 0[ \cup ]1; \infty[$ .

### Stetigkeit:

Jede ganzrationale Funktion ist in ganz  $\mathbb{R}$  stetig, d. h., ihr Graph macht keine Sprünge. (Man kann den Graph durchzeichnen, ohne mit dem Bleistift absetzen zu müssen.)