

Universität Basel
Wirtschaftswissenschaftliches Zentrum
Abteilung Quantitative Methoden

Mathematischer Vorkurs
Dr. Thomas Zehrt

Gleichungen und Ungleichungen

Inhaltsverzeichnis

1	Gleichungen	2
1.1	Grundlegendes	2
1.2	Lineare Gleichungen	7
1.3	(Einfache) Gleichungen mit Brüchen	8
1.4	Gleichungen mit Beträgen	9
1.5	Quadratische Gleichungen	10
1.6	Gleichungen mit Quadratwurzeln	12
1.7	Aufgaben	14
1.8	Lösungen der Aufgaben	15
2	Ungleichungen	16
2.1	Grundlegendes	16
2.2	Einfaches Rezept zum Lösen von $f(x) < 0$	19
2.3	Aufgaben	20
2.4	Lösungen der Aufgaben	21

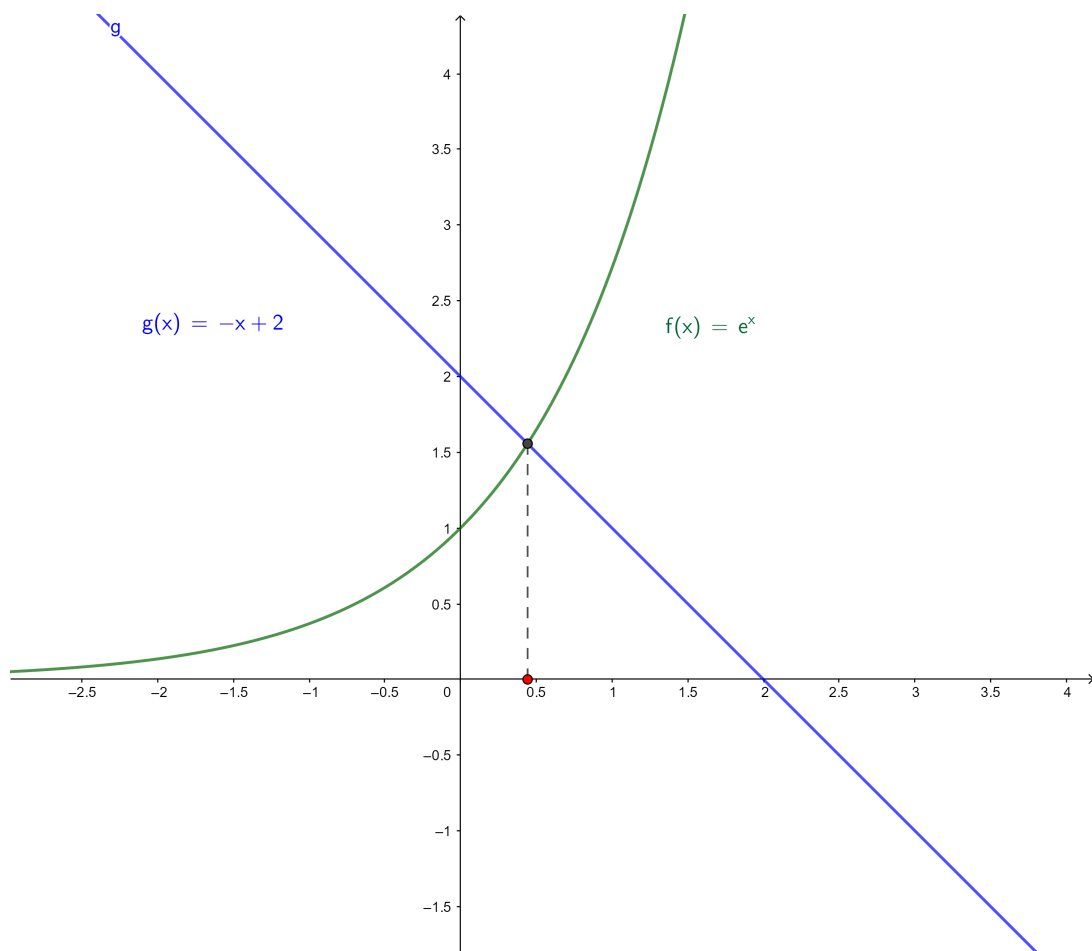
1 Gleichungen

1.1 Grundlegendes

Dadurch dass in der Schule jede gestellte Aufgabe (zumindest vom Lehrer) exakt gelöst werden kann, entsteht der Eindruck, dass jede Gleichung exakt lösbar ist. Dieser Eindruck ist **falsch**! Im Gegenteil! Schon solch einfache Gleichungen wie

$$e^x = 2 - x$$

können nicht exakt gelöst werden (d.h. nach x aufgelöst werden). Natürlich hat diese Gleichung genau eine Lösung, was man der Skizze entnehmen kann.



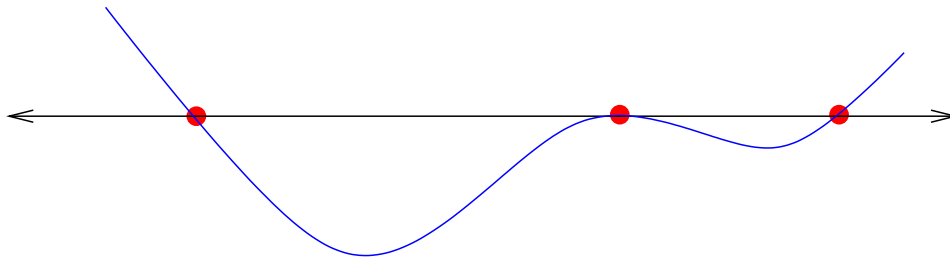
Definition 1.1 Sei $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ eine Funktion mit dem Definitionsbereich $D \subset \mathbb{R}$. Unter einer Gleichung mit einer Unbekannten versteht man eine Aussageform vom Typ

$$f(x) = 0.$$

Ein $x \in D$ mit $f(x) = 0$ heißt Nullstelle von f . Die Lösungsmenge der Gleichung ist

$$\mathbb{L} := \{x \in D : f(x) = 0\}.$$

Die Lösung einer Gleichung vom Typ $f(x) = 0$ entspricht der Suche nach allen Nullstellen der Funktion f , d.h. wir suchen alle Durchstoßpunkte des Graphen von f durch die x -Achse.



In der ökonomischen Praxis werden allerdings oft Aussageformen vom Typ $f(x) = g(x)$ mit Funktionen f und g betrachtet, d.h. wir suchen alle Schnittpunkte x der Graphen von f und g .

Allerdings sind diese Aussageformen stets äquivalent zu einem Nullstellenproblem, denn es gilt

$$f(x) = g(x) \iff h(x) := f(x) - g(x) = 0.$$

Die Suche nach einem Schnittpunkt der Graphen von f und g entspricht also der Suche nach Nullstellen der (neuen) Funktion h (und umgekehrt). Wir benötigen somit keine andere Lösungstheorie!

Beispiele:

- $f(x) = x + 5 = 0 \quad \mathbb{L} = \{-5\}$
- $f(x) = x^2 - 4 = 0 \quad \mathbb{L} = \{-2, 2\}$
- $f(x) = \sin(x^2) + \ln(x) + 13 = 0 \quad \mathbb{L} = \{?\}$
- Gegeben seien die beiden Funktionen

$$f(x) = x^2 - 2 \quad \text{und} \quad g(x) = x^3 - 3x.$$

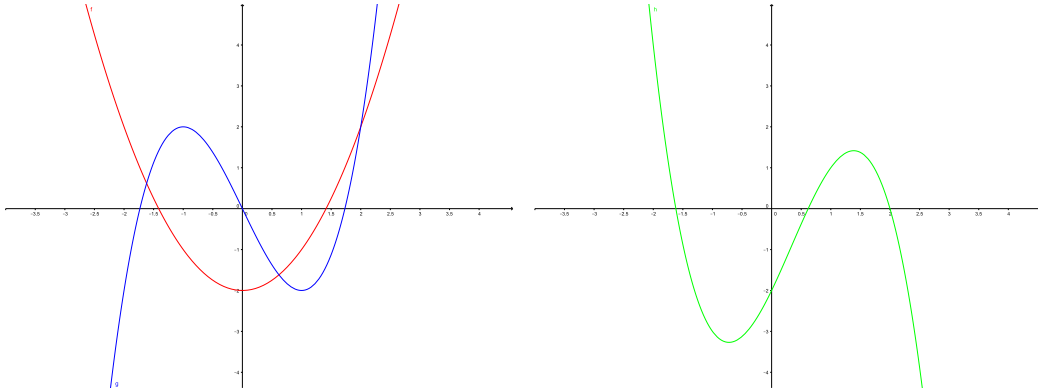
Wir suchen alle Lösungen der Gleichung $f(x) = g(x)$, d.h. wir suchen alle Werte x für die

$$x^2 - 2 = x^3 - 3x.$$

Nach den obigen Bemerkungen ist das gleichbedeutend mit der Suche aller Nullstellen der Funktion $h(x) = f(x) - g(x)$, d.h. wir suchen alle Werte x für die

$$h(x) = x^2 - 2 - x^3 + 3x = 0$$

gilt. Die Schnittpunkte von f (roter Graph) und g (blauer Graph) entsprechen also den Nullstellen von h (grüner Graph).



Die zentrale Aufgabenstellung ist es, die Lösungsmenge \mathbb{L} einer Gleichung $f(x) = 0$ zu bestimmen.

Satz 1 (Rechenregeln) Für alle $a, b, c \in \mathbb{R}$ gilt:

$a + c = b + c \iff a = b$	
$a \cdot c = b \cdot c \iff a = b$	<i>falls $c \neq 0$</i>
$a \cdot b = 0 \iff a = 0 \text{ oder } b = 0$	
$ a = b \iff a^2 = b^2$	

Allgemeines Vorgehen zur Bestimmung der Lösungsmenge einer Gleichung

Durch Äquivalenzumformungen \iff wird die Gleichung so umgeformt, dass die Lösungen direkt abgelesen werden können.

\iff	$f(x) = 0$
\iff	\dots
\iff	\dots
\iff	$x = \dots$

Dieses Vorgehen wird auch als Auflösen nach x oder Umstellen nach x bezeichnet.

Manchmal kann es auch nötig sein, Folgerungen der Art \implies vorzunehmen oder man erhält Aussagen, die über \iff miteinander verknüpft sind. Was bedeutet das?

- $f(x) = 0 \iff \dots \iff \dots \iff x = 3 \text{ oder } x = 4 \iff \mathbb{L} = \{3, 4\}$

Die Lösungsmenge beider Aussagen ist gleich, bzw. hat sich während der Umformung nicht geändert.

$$\mathbb{L} = \{3, 4\}$$

Beispiel:

$$x^2 - 7x + 12 = 0$$

$$\iff (x - 3)(x - 4) = 0$$

$$\iff x = 3 \text{ oder } x = 4$$

- $f(x) = 0 \iff \dots \implies \dots \iff x = 3 \text{ oder } x = 4$

Hier ist zu lesen: Falls für ein x die Gleichung $f(x) = 0$ gilt, so ist dieses x gleich 3 oder 4. Die Lösungen der Ausgangsgleichung können also nur 3 oder 4 sein. Sie müssen es aber **nicht**! Nimmt man also Umformungen des Typs \implies vor, muss man stets die Probe machen.

$$\mathbb{L} \subset \{3, 4\}$$

Beispiel:

$$x - 3 = 0$$

$$\implies (x - 3)(x - 4) = 0$$

$$\iff x = 3 \text{ oder } x = 4$$

!! Vorsicht Fehler !!

Umformungen des Typs \implies kommen insbesondere beim Quadrieren von Gleichungen vor. Dabei ist stets zu beachten, dass folgendes gilt:

- $a = b \implies a^2 = b^2$
- $a = b \not\Leftarrow a^2 = b^2$
- $|a| = |b| \iff a^2 = b^2$

Es gilt für 2 und -2 sicher $(-2)^2 = 2^2 = 4$.

!! Vorsicht Fehler !!

- $f(x) = 0 \iff \dots \Leftarrow \dots \iff x = 4$

Hier ist zu lesen: Falls x gleich 4 ist, so gilt auch $f(x) = 0$, d.h. 4 ist auf jeden Fall Lösung der Ausgangsgleichung. Es ist aber **nicht** gesagt, dass es keine weiteren Lösungen gibt!

$$\mathbb{L} \supset \{4\}$$

Beispiel:

$$(4x)^2 = 256$$

$$\Leftarrow 4x = 16$$

$$\iff x = 4$$

Merke: Wenn möglich sollte man nur Äquivalenzumformungen vornehmen. Im letzten Beispiel rechnet man natürlich genauer:

$$(4x)^2 = 256$$

$$\iff 16x^2 = 256$$

$$\iff x^2 = 16$$

$$\iff x = 4 \text{ oder } -4$$

1.2 Lineare Gleichungen

Lineare Gleichungen sind Gleichungen, in denen die Unbekannte x nur in der 1. Potenz (d.h. $x^1 = x$) vorkommt.

Allgemeine Gestalt: $ax + b = 0$ mit $a \neq 0$

Lösung: $\mathbb{L} = \left\{ -\frac{b}{a} \right\}$

Beweis:

$$\begin{aligned} ax + b &= 0 && | -b \\ \Leftrightarrow ax &= -b && | \cdot \frac{1}{a} \\ \Leftrightarrow x &= -\frac{b}{a} \end{aligned}$$

□

Beispiel

$$\begin{aligned} 12x + \frac{4}{3} &= 0 && | -\frac{4}{3} \\ \Leftrightarrow 12x &= -\frac{4}{3} && | \cdot \frac{1}{12} \\ \Leftrightarrow x &= -\frac{1}{9} \end{aligned}$$

1.3 (Einfache) Gleichungen mit Brüchen

Das Rezept im Umgang mit Gleichungen, in denen Brüche vorkommen, ist stets, diese Gleichungen mit den Nennern dieser Brüche zu multiplizieren. Dadurch lassen sich alle Brüche beseitigen. Wir wollen das an einer einfachen Klasse von Gleichungen diesen Types erläutern.

$$\text{Allgemeine Gestalt: } \frac{ax + b}{cx + d} = e \quad \text{mit } a - ce \neq 0$$

$$\text{Lösung: } \mathbb{L} = \left\{ \frac{ed - b}{a - ce} \right\}$$

Beweis:

$$\begin{aligned} \frac{ax + b}{cx + d} &= e && | \cdot (cx + d) \neq 0 \quad \text{d.h. } x \neq -\frac{d}{c} \\ \Leftrightarrow ax + b &= e(cx + d) \\ \Leftrightarrow ax + b &= cex + ed && | - cex \\ \Leftrightarrow ax - cex + b &= ed && | - b \\ \Leftrightarrow ax - cex &= ed - b \\ \Leftrightarrow (a - ce)x &= ed - b && | \cdot \frac{1}{(a - ce)} \\ \Leftrightarrow x &= \frac{ed - b}{a - ce} \end{aligned}$$

□

Beispiel

$$\begin{aligned} \frac{12x + 6}{4x - 3} &= 2 && | \cdot (4x - 3) \\ \Leftrightarrow 12x + 6 &= 2(4x - 3) && | - 8x - 6 \\ \Leftrightarrow 4x &= -12 \\ \Leftrightarrow x &= -3 \end{aligned}$$

1.4 Gleichungen mit Beträgen

Bisher hatten wir für jede Gleichung genau eine Lösung gefunden. Das ändert sich bei Gleichungen mit Beträgen, denn schon die sehr einfache Gleichung

$$|x| = 2$$

hat die beiden Lösungen $x = 2$ und $x = -2$!

Satz 2 (Grundregel für Gleichungen mit Beträgen) *Sei f eine Funktion und $c > 0$ eine Konstante. Dann gilt*

$$|f(x)| = c \iff f(x) = c \text{ oder } f(x) = -c.$$

Wir können also eine Gleichung mit Betrag auf zwei Gleichungen ohne Betrag zurückführen. Letztere beiden Gleichungen können wir (hoffentlich) mit bereits besprochenen Methoden lösen und beide Lösungsmengen zusammenfassen.

Beispiel

$$\left| \frac{12x + 6}{4x - 3} \right| = 2$$

Sicher gilt $|2| = 2$ **und** $|-2| = 2$, d.h. die Funktion zwischen den Betragsstrichen darf die beiden Werte 2 **oder** -2 annehmen.

Also ist die obige Gleichung äquivalent zu den **beiden** Gleichungen (ohne Betrag):

$$\frac{12x + 6}{4x - 3} = 2 \quad \text{oder} \quad \frac{12x + 6}{4x - 3} = -2.$$

Die erste Gleichung besitzt die Lösung $x = -3$ (siehe letztes Kapitel) und die zweite Gleichung wird durch $x = 0$ gelöst (überprüfen Sie das). Die Lösungsmenge der Gleichung ist somit $\mathbb{L} = \{-3, 0\}$.

1.5 Quadratische Gleichungen

Allgemeine Gestalt: $x^2 + px + q = 0$

$$\text{Lösungen: } \mathbb{L} = \begin{cases} \emptyset & \text{für } \frac{p^2}{4} - q < 0 \\ \left\{ -\frac{p}{2} \right\} & \text{für } \frac{p^2}{4} - q = 0 \\ \left\{ -\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}, -\frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \right\} & \text{für } \frac{p^2}{4} - q > 0 \end{cases}$$

Beweis:

$$\begin{aligned} x^2 + px + q &= 0 \\ \iff x^2 + 2 \cdot \frac{p}{2}x + q &= 0 \\ \iff x^2 + 2 \cdot \frac{p}{2}x + \underbrace{\frac{p^2}{4} - \frac{p^2}{4}}_{=0} + q &= 0 \\ \iff \left(x^2 + 2 \cdot \frac{p}{2}x + \frac{p^2}{4} \right) - \frac{p^2}{4} + q &= 0 \\ \iff \left(x + \frac{p}{2} \right)^2 &= \frac{p^2}{4} - q \\ \iff \left| x + \frac{p}{2} \right| &= \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \\ \iff x &= -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \end{aligned}$$

Die Diskriminante der quadratischen Gleichung ist $D := \frac{p^2}{4} - q$. Falls

- $D < 0$, so gibt es keine (reellen) Lösungen, denn wir können keine Wurzeln aus negativen Zahlen ziehen.
- $D = 0$, so gibt es genau eine Lösung $x = -\frac{p}{2}$.
- $D > 0$, so gibt es zwei Lösungen.

□

Beispiel

$$\begin{aligned}
x^2 + 10x + 9 &= 0 \\
\iff x^2 + 2 \cdot 5 \cdot x + 9 &= 0 \\
\iff x^2 + 2 \cdot 5 \cdot x + 25 - 25 + 9 &= 0 \\
\iff (x^2 + 2 \cdot 5 \cdot x + 25) - 25 + 9 &= 0 \\
\iff (x + 5)^2 &= 16 \\
\iff |x + 5| &= \sqrt{16} \\
\iff x &= -5 \pm 4
\end{aligned}$$

Satz 3 (Der Satz von Vieta) *Die Gleichung*

$$x^2 + px + q = (x - a)(x - b)$$

ist genau dann erfüllt, wenn $p = -(a + b)$ und $q = a \cdot b$.

Beweis:

$$\begin{aligned}
x^2 + px + q &= (x - a)(x - b) \\
\iff x^2 + px + q &= x^2 - ax - bx + a \cdot b \\
\iff x^2 + px + q &= x^2 - (a + b)x + a \cdot b \\
\iff p = -(a + b) \text{ und} & \\
q = a \cdot b &
\end{aligned}$$

□

1.6 Gleichungen mit Quadratwurzeln

Kommt die Unbekannte x unter einer Wurzel vor, ist man meistens gezwungen, die Gleichung zu quadrieren. Dabei muss auf folgendes geachtet werden:

- Auf (mindestens) einer Seite der Gleichung darf nur ein Wurzelzeichen stehen.
- Quadrieren ist keine Äquivalenzumformung.
- Die gefundenen „Lösungen“, müssen auch hier überprüft werden, ob sie die Ursprungsungleichung erfüllen.

!! Vorsicht Fehler !!

Im Allgemeinen gilt $\sqrt{a+b} \neq \sqrt{a} + \sqrt{b}$, also z.B. $5 = \sqrt{25} = \sqrt{9+16} \neq \sqrt{9} + \sqrt{16} = 3 + 4 = 7$.

!! Vorsicht Fehler !!

Vorgehen am Beispiel:

Es sollen alle Lösungen der Gleichung $\sqrt{x+18} - 2\sqrt{x+27} = -6$ bestimmt werden. Wir nehmen dazu die folgenden Umformungen vor:

$$\begin{aligned}
 \sqrt{x+18} - 2\sqrt{x+27} &= -6 && | + 2\sqrt{x+27} \\
 \Leftrightarrow \sqrt{x+18} &= 2\sqrt{x+27} - 6 && | \cdot^2 \\
 \Rightarrow x+18 &= 4(x+27) - 24\sqrt{x+27} + 36 \\
 \Leftrightarrow x+18 &= 4x+144 - 24\sqrt{x+27} && | - 144 - 4x \\
 \Leftrightarrow -3x - 126 &= -24\sqrt{x+27} && | : (-3) \\
 \Leftrightarrow x+42 &= 8\sqrt{x+27} && | \cdot^2 \\
 \Rightarrow x^2 + 84x + 1764 &= 64x + 1728 && | - 1728 - 64x \\
 \Leftrightarrow x^2 + 20x + 36 &= 0 \\
 \Leftrightarrow x &= -10 \pm 8 \\
 \Leftrightarrow x &= -2 \text{ oder } -18
 \end{aligned}$$

Wir haben also zwei mögliche Lösungen -2 und -18 der Ausgangsgleichung erhalten, die wir noch durch eine Probe bestätigen müssen. Zunächst ist die Ausgangsgleichung für beide Werte definiert.

Probe:

- $x = -2$

$$\begin{aligned}\sqrt{-2+18} - 2\sqrt{-2+27} &= \sqrt{16} - 2\sqrt{25} \\ &= 4 - 10 \\ &= -6\end{aligned}$$

- $x = -18$

$$\begin{aligned}\sqrt{-18+18} - 2\sqrt{-18+27} &= \sqrt{0} - 2\sqrt{9} \\ &= 0 - 6 \\ &= -6\end{aligned}$$

Beide Werte sind somit Lösungen der Ausgangsgleichung.

1.7 Aufgaben

1. Bestimmen Sie, falls nötig durch quadratische Ergänzung, die Lösungen der folgenden Gleichungen.

$$a) \quad (x + 3)(x + 4) = 0$$

$$b) \quad x^2 - 4x + 3 = 0$$

$$c) \quad -x^2 - 6x - 5 = 0$$

$$d) \quad x^2 + 10x + 50 = 0$$

2. Bestimmen Sie alle Lösungen der folgenden Bruchgleichungen.

$$a) \quad \frac{2x - 1}{2x + 5} = \frac{1}{3}$$

$$b) \quad \frac{1}{x + 4} = \frac{3}{x - 3}$$

$$c) \quad \frac{4x + 3}{x - 6} = \frac{4x - 5}{x + 2}$$

$$d) \quad \frac{x - 6}{1 - x} + \frac{5}{(1 - x)(x - 6)} = \frac{x - 7}{x - 6}$$

3. Bestimmen Sie die Lösungen der folgenden Wurzelgleichungen.

$$a) \quad \sqrt{12x - 3} = 3$$

$$b) \quad \sqrt{3x - 21} = x - 7$$

$$c) \quad \sqrt{9x - 5} = 4 - \sqrt{3 + x}$$

$$d) \quad \sqrt{1 + \sqrt{x}} = \sqrt{x - 1}$$

4. Lösen Sie die Gleichung $|3x + 2| = 9$.

1.8 Lösungen der Aufgaben

1. a) $x = -3$ oder $x = -4$,
b) $x = 3$ oder $x = 1$,
c) $x = -5$ oder $x = -1$,
d) keine Lösung
2. a) $x = 2$,
b) $x = -15/2$,
c) $x = 3/5$,
d) $x = 4$
3. a) $x = 1$,
b) $x = 7$ oder $x = 10$,
c) $x = 1$,
d) $x = 4$ (Probe nicht vergessen, $x = 1$ ist keine Lösung)
4. $x = 7/3$ oder $x = -11/3$

2 Ungleichungen

2.1 Grundlegendes

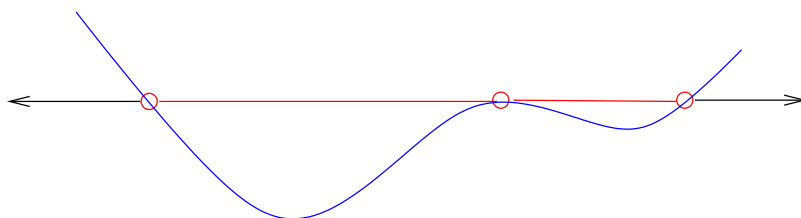
Definition 2.1 Sei $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ eine Funktion mit dem Definitionsbereich $D \subset \mathbb{R}$. Unter einer Ungleichung mit einer Unbekannten versteht man eine Aussageform vom Typ

$$f(x) < 0 \quad \text{oder ;} \quad f(x) > 0.$$

Die Lösungsmenge \mathbb{L} einer Ungleichung ist dann die Menge aller x , für die $f(x) < 0$ gilt:

$$\mathbb{L} = \{ x \in \mathbb{R} : f(x) < 0 \}.$$

Geometrisch gesehen, ist die Lösungsmenge der Ungleichung $f(x) < 0$ die Menge aller x -Werte des Definitionsbereiches D , für die der Graph von f **unter** der x -Achse liegt! In der Skizze sind das genau die rot gekennzeichneten Stücke der x -Achse.



Beispiele:

$$f(x) = x + 5 < 0 \quad \mathbb{L} = \{x \in \mathbb{R} : x < -5\}$$

$$f(x) = x^2 - 4 < 0 \quad \mathbb{L} = \{x \in \mathbb{R} : -2 < x < 2\}$$

$$f(x) = \sin(x^2) + \ln(x) + 13 = 0 \quad \mathbb{L} = \{?\}$$

Da jede Ungleichung mit $<$ durch Vertauschen der Seiten (oder Multiplikation mit -1) in eine Ungleichung mit $>$ überführt werden kann, werden wir die Regeln nur für einen Typ formulieren.

Satz 4 (Rechenregeln) Für alle $a, b, c \in \mathbb{R}$ gilt:

$$\begin{aligned} a + c < b + c & \iff a < b \\ a \cdot c < b \cdot c & \iff \begin{cases} a < b & \text{für } c > 0 \\ a > b & \text{für } c < 0 \end{cases} \\ a \cdot b > 0 & \iff (a > 0 \text{ und } b > 0) \text{ oder } (a < 0 \text{ und } b < 0) \\ a \cdot b < 0 & \iff (a > 0 \text{ und } b < 0) \text{ oder } (a < 0 \text{ und } b > 0) \\ |a| < c \text{ falls } c > 0 & \iff -c < a < c \end{aligned}$$

Wir werden beim Lösen von Ungleichungen zunächst wie beim Lösen von Gleichungen vorgehen. Unseren speziellen Augenmerk werden wir dann darauf richten, wo Ungleichungen einer Sonderbehandlung bedürfen.

Gegenüberstellung der Rechenregeln von Gleichungen und Ungleichungen

1.

$a + c = b + c \iff a = b$	$a + c < b + c \iff a < b$
----------------------------	----------------------------

Hier besteht kein Unterschied zwischen Gleichungen und Ungleichungen. Wir können stets auf beiden Seiten beliebige Ausdrücke addieren und subtrahieren.

2. Für $c \neq 0$ gilt

$a \cdot c = b \cdot c \iff a = b$	$a \cdot c < b \cdot c \iff \begin{cases} a < b & \text{für } c > 0 \\ a > b & \text{für } c < 0 \end{cases}$
------------------------------------	---

Der Regel für Gleichungen entsprechen zwei Regeln bei Ungleichungen und hier ist meist eine Fallunterscheidung nötig.

!!!!!! Vorsicht Fehler !!!!!

Wird eine Ungleichung mit einer negativen Zahl multipliziert (oder durch eine negative Zahl dividiert), so **kehrt** sich die Relation um!

Beispiel: Es gilt $2 < 3$ (mittlerer Ausdruck) und durch Multiplikation mit -1 folgt

$$-2 < -3 \not\iff 2 < 3 \iff -2 > -3$$

!!!!!! Vorsicht Fehler !!!!!

3. Die dritte und vierte Regel für Ungleichungen lässt sich wie folgt ausdrücken: Ein Produkt aus zwei Faktoren ist genau dann positiv, wenn beide Faktoren gleiches Vorzeichen haben. Es ist genau dann negativ, falls beide Faktoren verschiedene Vorzeichen haben.

Die entsprechende Regel bei Gleichungen besagt, dass das Produkt aus zwei Faktoren genau dann Null ist, wenn (mindestens) einer der Faktoren Null ist.

2.2 Einfaches Rezept zum Lösen von $f(x) < 0$

Alternativ zu den Verfahren zum Lösen von Ungleichungen, wie sie in der Schule vermittelt werden, möchte ich hier einen anderen Lösungsweg anbieten.

1. Bestimmen Sie alle Punkte \mathbb{L}_{Loch} in denen f nicht definiert ist.
2. Lösen Sie die zugehörige Gleichung $f(x) = 0$. Sie erhalten die Lösungsmenge \mathbb{L}_{Gleich} .
3. Die nach der Grösse geordneten Punkte der Menge $\mathbb{L} = \mathbb{L}_{Loch} \cup \mathbb{L}_{Gleich}$ zerlegen die x -Achse in Teilintervalle. Falls man davon ausgehen kann, dass die Funktion f zwischen den Punkten aus \mathbb{L} stetig ist, genügt es, in jedem durch die Menge \mathbb{L} gebildeten Intervall einen Testpunkt x^* auszuwählen. Gilt dann
 - $f(x^*) > 0$ so gehört das entsprechende Intervall **nicht** zur Lösungsmenge der Ungleichung; bzw.
 - $f(x^*) < 0$ so gehört das entsprechende Intervall zur Lösungsmenge der Ungleichung und die Lösungsmenge der Ungleichung ist die Vereinigung aller dieser Teilintervalle.

2.3 Aufgaben

1. Lösen Sie die folgenden linearen Ungleichungen und geben Sie die Lösungsmenge an.

$$a) \quad 4x + 3 < 2(x - 6)$$

$$b) \quad -7x > \frac{3(x - 1)}{2}$$

2. Lösen Sie die folgenden quadratischen Ungleichungen.

$$a) \quad x^2 - 7x + 12 > 0$$

$$b) \quad 4x^2 - 8x + 3 > 0$$

$$c) \quad -x^2 - 4x + 5 > 0$$

$$d) \quad x^2 + 6x + 9 > 0$$

3. Bestimmen Sie die Lösungen der folgenden Bruchungleichungen.

$$a) \quad \frac{x + 2}{x - 3} < 2$$

$$b) \quad \frac{2x - 4}{x - 6} \geq 0$$

$$c) \quad \frac{x}{x + 3} - \frac{1}{x + 6} \geq 1$$

4. Lösen Sie die folgenden Betragsungleichungen zunächst graphisch. Versuchen Sie dann, die Lösungen rechnerisch zu bestimmen.

$$a) \quad |3x - 5| < 11$$

$$b) \quad |x + 2| < 2x - 3$$

5. (**Barwerte**) Bestimmen Sie alle $p \geq 0$, so dass

$$a) \quad \frac{72}{(1 + p)^2} + \frac{12}{1 + p} - 60 > 0$$

$$b) \quad \frac{150}{(1 + p)^{10}} - \frac{25}{(1 + p)^5} - 50 > 0$$

2.4 Lösungen der Aufgaben

1. a) $x \in (-\infty, -15/2)$, b) $x \in (-\infty, 3/17)$
2. a) $x \in (-\infty, 3) \cup (4, \infty)$, b) $x \in (-\infty, 1/2) \cup (3/2, \infty)$, c) $x \in (-5, 1)$,
d) $x \in \mathbb{R} - \{-3\}$
3. a) $x \in (-\infty, 3) \cup (8, \infty)$, b) $x \in (-\infty, 2] \cup (6, \infty)$, c) $x \in (-\infty, -6) \cup$
 $[-21/4, -3)$
4. a) $x \in (-2, 16/3)$, b) $x \in (5, \infty)$
5. a) $p \in [0, 0.2)$, b) $p \in [0, \sqrt[5]{1.5} - 1) = [0, 0.08447)$