

# Trigonometrische Funktionen

W. Kippels

26. Dezember 2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Trigonometrie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Verschiebungen</b>	<b>3</b>
3.1	Vertikale Verschiebung . . . . .	3
3.2	Horizontale Verschiebung . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Dehnung und Stauchung</b>	<b>5</b>
4.1	Vertikale Dehnung und Stauchung . . . . .	5
4.2	Horizontale Dehnung und Stauchung . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Gemischte Dehnungen, Stauchungen und Verschiebungen</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Übungsaufgaben</b>	<b>11</b>
6.1	Aufgabe 1 . . . . .	11
6.2	Aufgabe 2 . . . . .	11
6.3	Aufgabe 3 . . . . .	12
<b>7</b>	<b>Musterlösungen der Übungsaufgaben</b>	<b>13</b>
7.1	Aufgabe 1 . . . . .	13
7.2	Aufgabe 2 . . . . .	15
7.3	Aufgabe 3 . . . . .	18

# 1 Vorwort

Diese und ähnliche Anleitungen zu erstellen erfordert sehr viel Zeit und Mühe. Trotzdem stelle ich alles kostenfrei der Allgemeinheit zur Verfügung. Wenn Sie diese Datei hilfreich finden, dann bitte ich Sie um Erfüllung des nachfolgend beschriebenen „Generationenvertrages“:

*Wenn Sie später einmal Ihre Ausbildungsphase beendet haben und im Beruf stehen (oder auch noch danach), geben Sie bitte Ihr Wissen in geeigneter Form an die nachfolgende Generation weiter.*

Wenn Sie mir eine Freude machen wollen, dann schreiben Sie mir bitte eine kleine Email an die folgende Adresse: [mail@dk4ek.de](mailto:mail@dk4ek.de)

Vielen Dank!

## 2 Grundlagen der Trigonometrie

An dieser Stelle möchte ich auf die Grundlagen verweisen, die hier zu finden sind:

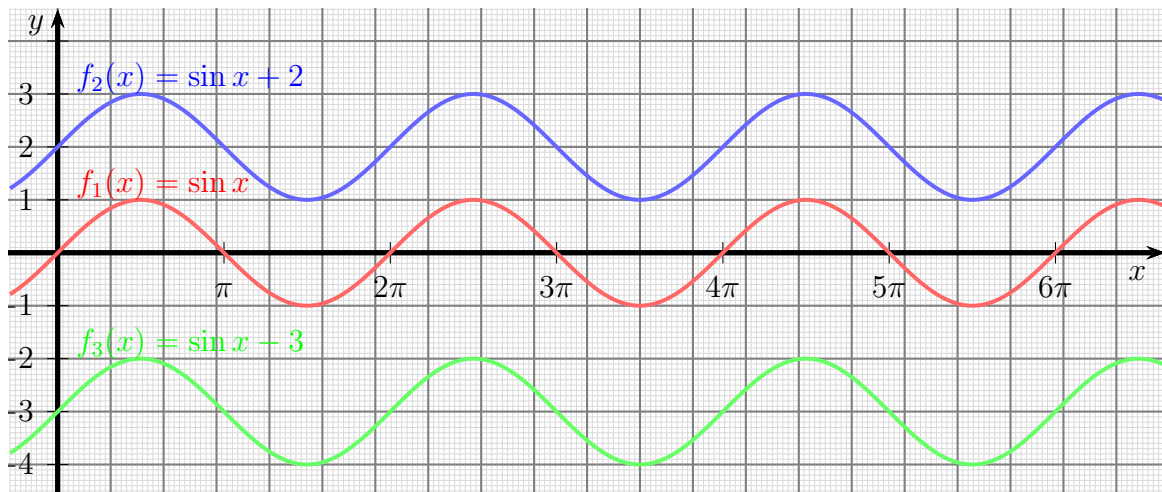
<http://www.dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/trigo.pdf>

## 3 Verschiebungen

### 3.1 Vertikale Verschiebung

Will mal eine beliebige Funktion wie beispielsweise  $f(x) = \sin x$  nach **oben** oder nach **unten** verschieben, dann muss man lediglich einen Verschiebungsparameter **addieren** bzw. **subtrahieren**. Als Beispiel sind hier diese drei Funktionen dargestellt:

$$\begin{aligned}f_1(x) &= \sin x \\f_2(x) &= \sin x + 2 \\f_3(x) &= \sin x - 3\end{aligned}$$



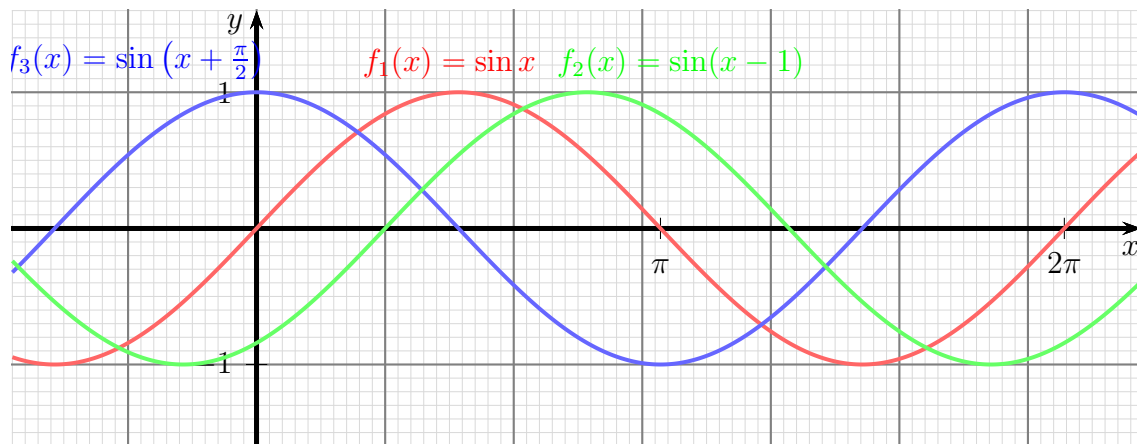
Die Funktion  $f_2(x) = \sin x + 2$  ist gegenüber  $f_1(x) = \sin x$  um 2 Einheiten nach oben verschoben,  $f_3(x) = \sin x - 3$  um 3 Einheiten nach unten. Allgemein bewirkt eine Funktion dieser Form:

$$f(x) = g(x) + d$$

eine Verschiebung um die Konstante  $d$  nach oben gegenüber der Funktion  $g(x)$ . Hierbei **kann**  $g(x)$  eine Trigonometrische Funktion sein, muss es aber nicht. Die Formel ist für **alle** Funktionen gültig.

## 3.2 Horizontale Verschiebung

Eine horizontale Verschiebung erhält man, wenn man anstelle von  $x$  einen Term  $(x - c)$  einsetzt. Sehen wir uns dazu auch Beispiele an:



Man kann erkennen, dass die Funktion  $f_2(x) = \sin(x - 1)$  gegenüber  $f_1(x) = \sin x$  um **eine Einheit nach rechts** verschoben ist. Die Funktion  $f_3(x) = \sin(x + \frac{\pi}{2})$  ist um  $\frac{\pi}{2}$  **Einheiten nach links** verschoben.

Fassen wir zusammen: Will man eine Funktion  $g(x)$  um  $c$  **Einheiten nach rechts** verschieben, dann erhält man diese Funktion:

$$f(x) = g(x - c)$$

Man beachte das Minuszeichen vor dem  $c$ ! Ein Pluszeichen würde eine **Linksverschiebung** bewirken.

Interessant ist hierbei, dass diese Formel für **jede beliebige** Funktion gilt, also nicht nur für Trigonometrische Funktionen!

Für die Winkelfunktionen gibt es jedoch ein paar Besonderheiten. Wegen der Periodizität der Sinus- und der Kosinusfunktion mit der Periode  $2\pi$  können diese Funktionen um ein beliebiges Vielfaches von  $2\pi$  nach rechts oder links verschoben werden, ohne dass sich der Funktionsgraph ändert. Dann trifft ein Wellenberg wieder genau auf den nächsten (oder den vorangehenden) Wellenberg. Dies gilt wohlgermerkt nur für die Sinus- und die Kosinusfunktion! Bei der Tangensfunktion beträgt die Periodenlänge nur  $\pi$ . Entsprechend könnte die Tangensfunktion um jedes ganzzahlige Vielfache von  $\pi$  verschoben werden, ohne einen anderen Funktionsgraphen zu erhalten.

Aus den gleichen Gründen kann beispielsweise bei der Sinus- und der Kosinusfunktion eine Verschiebung um den Betrag  $\frac{\pi}{2}$  nach rechts auch aufgefasst und dargestellt werden als eine Verschiebung um den Betrag  $\frac{3\pi}{2}$  nach links. Beispiel:

$$\cos\left(x - \frac{\pi}{2}\right) = \cos\left(x + \frac{3\pi}{2}\right)$$

Verschiebt man die Funktion  $g(x) = \sin x$  um einen Rechten Winkel nach links (also um  $\frac{\pi}{2}$ ), erhält man bekanntlich die Funktion  $f(x) = \cos x$ :

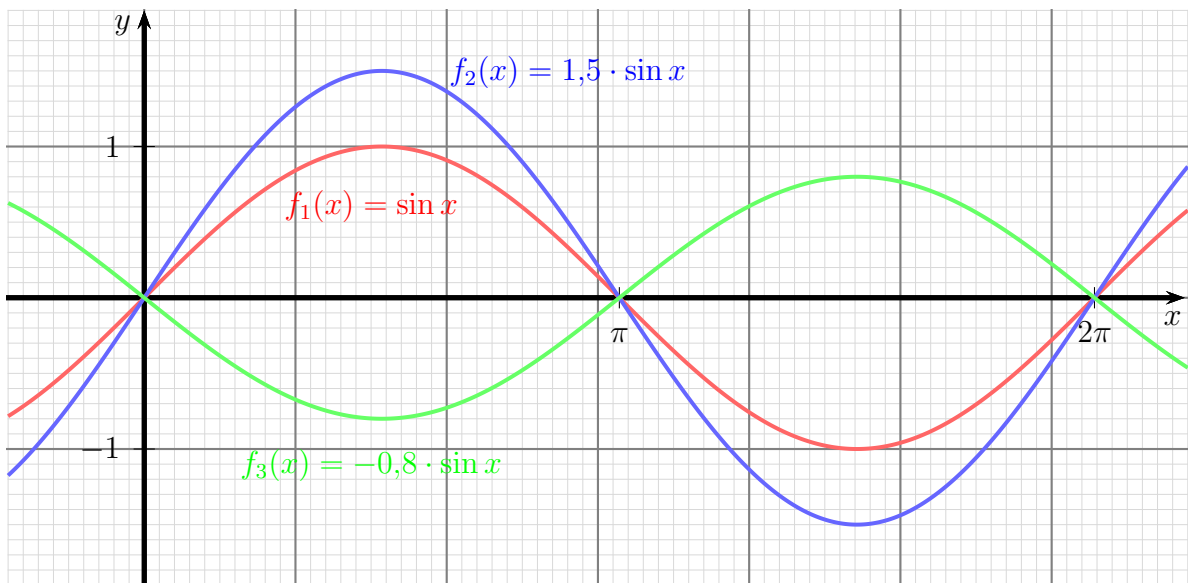
$$\cos x = \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right)$$

Die Funktion  $f_3(x) = \sin(x + \frac{\pi}{2})$  aus dem obigen graphisch dargestellten Beispiel könnte also auch als  $f_3(x) = \cos x$  beschrieben werden. **Es gibt keine eindeutige Beschreibung!**

## 4 Dehnung und Stauchung

### 4.1 Vertikale Dehnung und Stauchung

Multipliziert man eine gegebene Funktion als ganzes mit einem Faktor  $a$ , dann erhält man eine vertikale Dehnung. Wir sehen uns das wieder an Beispielen an.



Multipliziert man die Funktion  $f_1(x) = \sin x$  mit dem Faktor  $1,5$ , dann erhält man die Funktion  $f_2(x) = 1,5 \cdot \sin x$ . In der Grafik ist erkennbar, dass der Funktionsgraph vertikal um den Faktor  $1,5$  gedehnt wurde. Die Funktion  $f_3(x) = -0,8 \cdot \sin x$  entstand aus  $f_1$  durch Multiplikation mit  $-0,8$ . Dadurch, dass der Faktor negativ ist, wird der Funktionsgraph gleichzeitig an der Abszisse ( $x$ -Achse) gespiegelt, weil der Betrag  $< 1$  ist, wird

der Graph gestaucht.

Allgemein gilt für eine vertikale Dehnung der Funktion  $g(x)$  zu  $f(x)$  diese Formel:

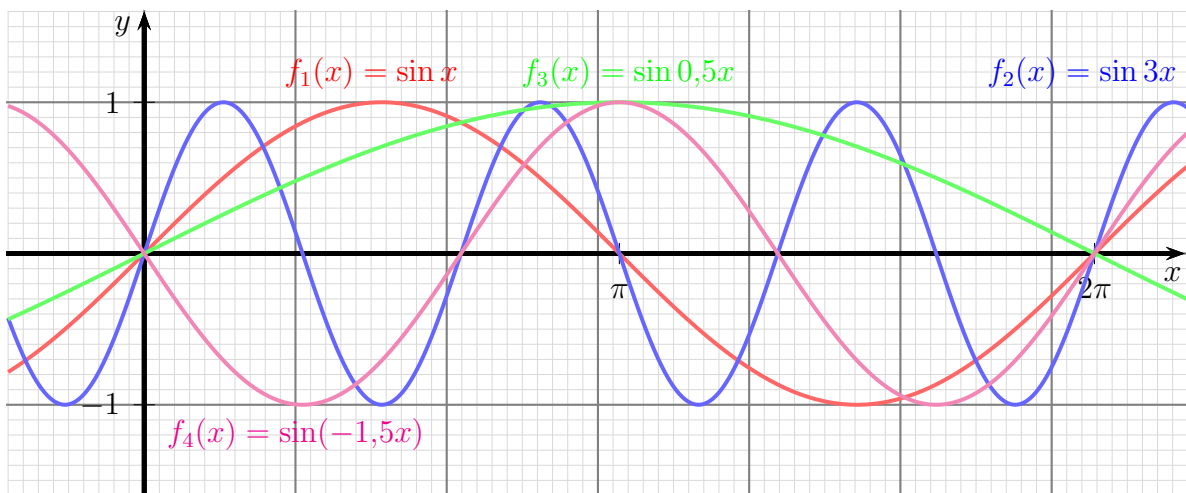
$$f(x) = a \cdot g(x)$$

Auch diese Formel gilt allgemein für **jede** Funktion, also nicht nur für Trigonometrische Funktionen.

Speziell für die Sinus- und die Kosinusfunktion nennt man den Parameter  $a$  die **Amplitude** der Funktion. Mit  $a = 1$  (bzw. ohne  $a$ ) pendeln diese Funktionen zwischen den Werten  $\pm 1$ , mit einem anderen  $a$  zwischen den Werten  $\pm a$ . Ein negativer Wert für  $a$  bewirkt zusätzlich eine Spiegelung des Funktionsgraphen an der  $x$ -Achse.

## 4.2 Horizontale Dehnung und Stauchung

Multipliziert man in einer gegebenen Funktion den  $x$ -Wert mit einer Konstanten, dann erhält man eine horizontale Dehnung oder Stauchung. Wieder sehen wir uns das zunächst an Beispielen an.



Gehen wir zunächst von der Funktion  $f_1(x) = \sin x$  aus. Im Vergleich dazu ist die Funktion  $f_2(x) = \sin 3x$  dreifach **gestaucht**, von  $f_2$  passen drei Halbwellen in den Bereich, wo von  $f_1$  nur eine Halbwellen liegt. Im Gegensatz dazu ist die Funktion  $f_3(x) = \sin 0,5x$  gegenüber  $f_1$  gedehnt. Im Bereich einer Halbwellen von  $f_3$  liegen zwei Halbwellen von  $f_1$ . Von  $f_4(x) = \sin(-1,5x)$  passen eineinhalb Halbwellen auf eine Halbwellen von  $f_1$ . Gleichzeitig ist der Funktionsgraph an der Ordinate ( $y$ -Achse) gespiegelt.

Allgemein gilt für eine horizontale Stauchung der Funktion  $g(x)$  zu  $f(x)$  diese Formel:

$$f(x) = g(b \cdot x)$$

Auch diese Formel gilt allgemein für **jede** Funktion, also nicht nur für Trigonometrische Funktionen.

Je größer der Parameter  $b$  ist, desto stärker ist der Funktionsgraph gestaucht. Im Bereich  $0 < b < 1$  erfolgt eine Dehnung. Wenn  $b < 0$  ist, erfolgt gleichzeitig eine Spiegelung an der Ordinate ( $y$ -Achse).

## 5 Gemischte Dehnungen, Stauchungen und Verschiebungen

Natürlich können auch alle Varianten miteinander gemischt werden. Das führt zu dieser allgemeingültigen Formel:

$$f(x) = a \cdot g(b \cdot (x + c)) + d$$

Hierbei bedeutet:

- a:** Vertikaler Dehnungsfaktor, auch **Amplitude** genannt
- b:** Horizontaler Stauchungsfaktor
- c:** Links-Verschiebung
- d:** Verschiebung nach oben

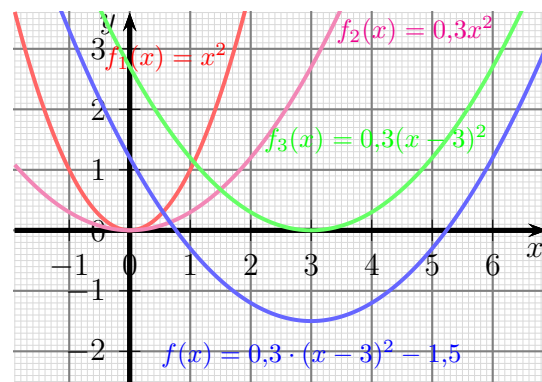
Es folgen ein paar Beispiele mit unterschiedlichen Funktionstypen.

**Beispiel 1:** Gegeben ist die Funktion mit der Funktionsgleichung:

$$f(x) = 0,3 \cdot (x - 3)^2 - 1,5$$

Stellen wir uns vor, dass sie schrittweise aus der Normalparabel  $f_1(x) = x^2$  (im Bild **rot**) entwickelt wurde. Da kommt zunächst der Faktor  $a = 0,3$  ins Spiel. Setzen wir den ein, erhalten wir:

$$f_2(x) = 0,3x^2$$

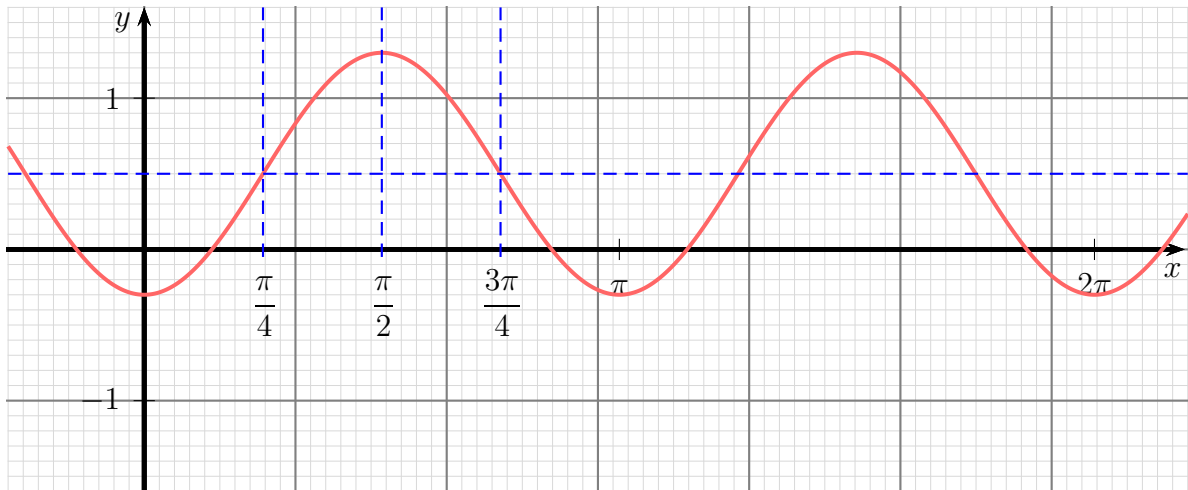


Diese Funktion ist **violett** dargestellt. Der Faktor  $a = 0,3$  hat bewirkt, dass die Parabel **vertikal gestaucht** wurde. Als nächstes wird nun der Parameter  $c = -3$  eingefügt. Wir erhalten für den nächsten Zwischenschritt:

$$f_3(x) = 0,3(x - 3)^2$$

Diese Kurve ist in **grüner Farbe** dargestellt. Gegenüber  $f_2$  haben wir eine Linksverschiebung von  $c = -3$ , was eine Rechtsverschiebung um 3 Einheiten bedeutet. Bis zur gegebenen Funktion  $f(x) = 0,3(x - 3)^2 - 1,5$  fehlt jetzt nur noch der Parameter  $d = -1,5$ . Der Parameter  $d$  bedeutet die Verschiebung **nach oben**; weil  $d$  negativ ist, muss entsprechend die Kurve um 1,5 Einheiten nach **unten** verschoben werden. Wir erhalten den **blau** dargestellte Funktionsgraphen.

**Beispiel 2:** Für die nachfolgend dargestellte Funktion wird die Funktionsgleichung gesucht.



Als Grundfunktion kommt hier die Funktion  $f_1(x) = \sin x$  in Frage<sup>1</sup>. Ausgehend von dieser Funktion wäre die Kurve um 0,5 Einheiten nach oben verschoben. Die gestrichelte **blaue** Hilfslinie markiert die Mittellinie der Sinuskurve. Hiermit steht schon mal der Parameter  $d = 0,5$  fest.

Als nächstes lesen wir an der Kurve die Amplitude ab. Von der Mittellinie aus gesehen bewegt sich die Kurve um 0,8 Einheiten nach oben und nach unten. Damit kennen wir den Parameter  $a = 0,8$ .

Aus der Kurve kann man eine Periodenlänge von  $\pi$  ablesen. Das ist genau die Hälfte der Periodenlänge der Standard-Sinusfunktion. Hiermit erhalten wir den Parameter  $b = 2$ .

Gegenüber der Standard-Sinusfunktion ist die Kurve um  $\frac{\pi}{4}$  nach rechts verschoben. Damit bekommen wir den Parameter  $c = -\frac{\pi}{4}$ .

Wir können die Ergebnisse zusammenfassen und erhalten die gesuchte Funktion:

$$f(x) = 0,8 \cdot \sin\left(2 \cdot \left(x - \frac{\pi}{4}\right)\right) + 0,5$$

<sup>1</sup>Ebenfalls möglich wäre auch  $f_1(x) = \cos x$ , damit erhielte man natürlich eine andere Funktionsgleichung für die Ergebnisfunktion, die später noch dargestellt wird.

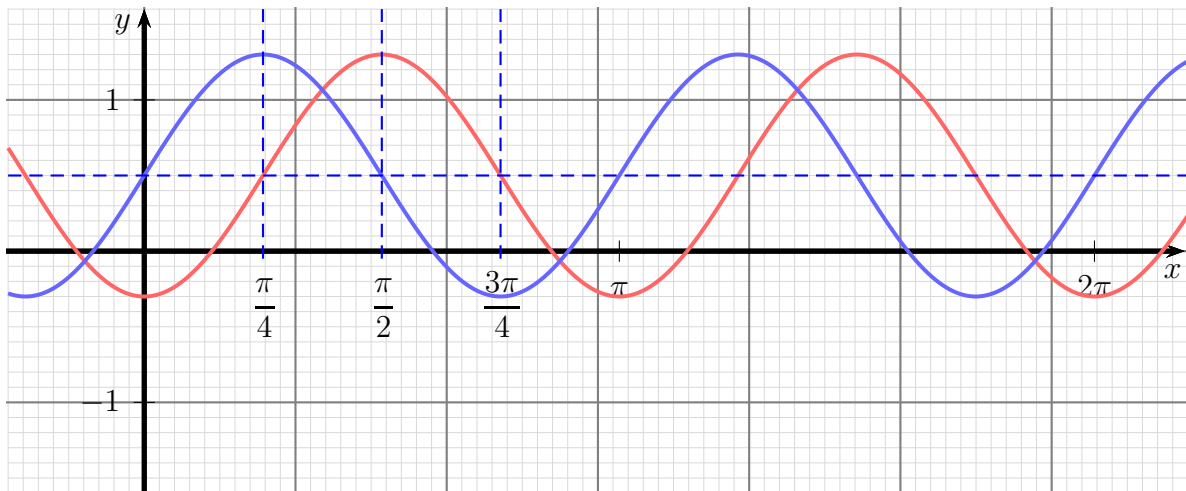


Multipliziert man die innere Klammer aus, dann erhält man diese Form für die Funktionsgleichung:

$$f(x) = 0,8 \cdot \sin\left(2 \cdot x - \frac{\pi}{2}\right) + 0,5$$

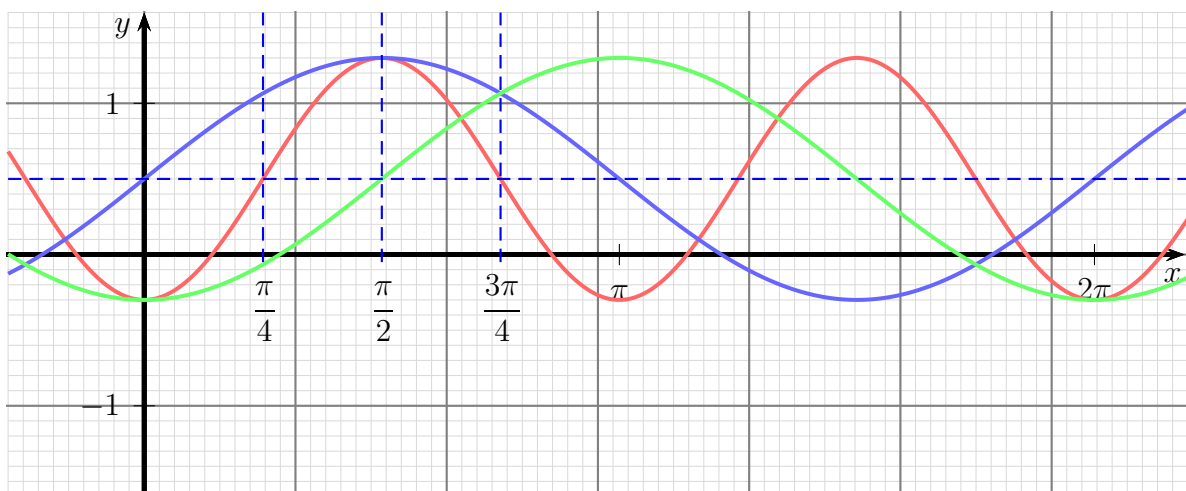
Das mag auf den ersten Blick etwas verwirrend erscheinen, denn es sieht so aus, als hätten wir einmal  $c = -\frac{\pi}{4}$  und einmal  $c = -\frac{\pi}{2}$  als horizontalen Verschiebewert. Wie passt das zusammen?

Es kommt auf die Feinheiten an. Im ersten Fall wird davon ausgegangen, dass eine Funktion  $g(x) = 0,8 \cdot \sin(2 \cdot x) + 0,5$  um einen bestimmten Wert horizontal verschoben werden muss. Diese Funktion ist nachfolgend in **blau** mit eingetragen:



Tatsächlich muss diese Kurve um  $\frac{\pi}{4}$  nach rechts verschoben werden.

Im zweiten Fall geht man von der Funktion  $g(x) = 0,8 \cdot \sin x + 0,5$  aus, die **zunächst verschoben** und **anschließend erst gestaucht** wird. Das sähe dann so aus:



In **blau** ist diese gegebene Funktion  $g(x)$  eingezeichnet. Diese wird zur **grünen** Funktion, indem sie um den Wert von  $\frac{\pi}{2}$  nach rechts verschoben wird. Diese **grüne** Funktion wird

zum Schluss um den Faktor 2 gestaucht, wodurch man die rote Funktion  $f(x)$  erhält.

Man muss also sehr genau aufpassen, in welcher Reihenfolge vorgegangen wird, damit man die richtige Funktionsgleichung erhält.

**Alternative Lösungen:** Wie vorhin erwähnt, kann auch die Funktion  $f_1(x) = \cos x$  als Ausgangsfunktion gewählt werden. Analog zu den Überlegungen vom ersten Lösungsansatz kommt man auch hier zu den Parametern  $d = 0,5$  und  $a = 0,8$ , weshalb das hier nicht noch einmal dargestellt werden soll. Auch der Parameter  $b = 2$  wird nach dem gleichen Muster ermittelt. Bleibt noch die Frage nach der horizontalen Verschiebung.

Die „normale“ Kosinuskurve startet an der  $y$ -Achse mit einem **Maximum**, die vorgegebene Funktion  $f(x)$  hat hier ein **Minimum**. Man kann dies als Verschiebung der Kurve nach rechts oder links interpretieren, man kann aber eine vertikale Spiegelung als Ursache unterstellen. Aber der Reihe nach:

Soll eine Ausgangsfunktion  $f_1(x) = \cos x$  horizontal so verschoben werden, dass auf der  $y$ -Achse ein **Minimum** zu liegen kommt, dann muss sie genau um eine Halbwelle nach rechts oder nach links verschoben werden. Man erhält dann  $f_2(x) = \cos(x - \pi)$  oder  $f_2(x) = \cos(x + \pi)$ . Man beachte, dass hier die Halbwelle die Länge  $\pi$  hat, da die horizontale Stauchung noch nicht in die Funktion eingearbeitet ist. Geht man dagegen von der bereits gestauchten Funktion  $f_3(x) = \cos 2x$  aus, dann hat eine Halbwelle die Länge  $\frac{\pi}{2}$ . Setzt man für diese Funktion die Verschiebformel an, dann erhält man  $f_4(x) = \cos\left(2\left(x - \frac{\pi}{2}\right)\right)$  bzw.  $f_4(x) = \cos\left(2\left(x + \frac{\pi}{2}\right)\right)$ . Durch Ausmultiplizieren der Klammer kann man beide Formen jedoch in die mit  $f_2(x)$  bezeichneten Formeln umformen.

Kommen wir nun zu der oben angesprochenen Möglichkeit einer vertikalen Spiegelung. Gehen wir wieder von der Ausgangsfunktion  $f_1(x) = \cos x$  aus. Spiegelt man diese Funktion an der  $x$ -Achse, dann erhält man  $f_2(x) = -\cos x$ . Diese Funktion würde mit einem Tiefpunkt an der  $y$ -Achse beginnen, genau so, wie die gesuchte Funktion  $f(x)$ . Eine horizontale Verschiebung zusätzlich ist hier nicht erforderlich.

Nimmt man nun die bereits besprochenen Parameter  $a$  und  $d$  mit dazu, dann erhält man für  $f(x)$  diese Lösungsmöglichkeiten:

$$f(x) = 0,8 \cdot \cos(2x - \pi) + 0,5$$

$$f(x) = 0,8 \cdot \cos(2x + \pi) + 0,5$$

$$f(x) = -0,8 \cdot \cos(2x) + 0,5$$

Alle diese Lösungen sind richtig. Sie stellen die gleiche Funktion dar, ebenso wie die schon zum Anfang dargestellte Form:

$$f(x) = 0,8 \cdot \sin\left(2 \cdot x - \frac{\pi}{2}\right) + 0,5$$

## 6 Übungsaufgaben

### 6.1 Aufgabe 1

Im Zielbereich eines Mountainbike-Rennens soll als Publikumsattraktion ein sogenannter „Pumptrack“ aufgebaut werden. Hierunter versteht man eine wellenartige Fahrbahnstruktur, wie nebenstehend dargestellt. Der Rennfahrer muss dabei drei Wellen hinauf und wieder hinunter fahren. In der Einheit **Meter** ist für den Fahrbahnverlauf diese Funktion vorgesehen:

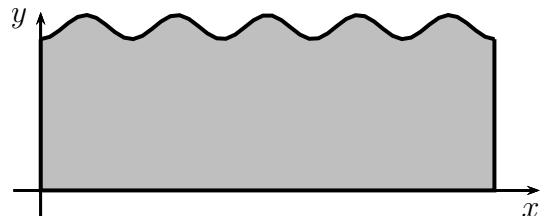


$$f(x) = 0,4 \cdot \sin\left(2x - \frac{\pi}{2}\right) + k$$

1. Bestimmen Sie den Parameter  $k$  so, dass die Rennfahrer ohne Stufe am Koordinatenursprung in die Rampe hineinfahren können. (Die  $x$ -Achse stellt die Fahrbahnhöhe außerhalb der Rampe dar.)
2. Welche Gesamthöhe hat jede der zu durchfahrenden Wellen?
3. Welche Gesamtlänge hat die Rampenkonstruktion?

### 6.2 Aufgabe 2

An einer Lampe mit dem Elektrogewinde E27 soll das Gewinde mit einer Lehre überprüft werden. Diese soll aus einem flachen rechteckigen Stück Messing gefertigt werden. Auf einer Längsseite soll die Kontur des Gewindeprofils eingefräst werden. Die Breite des Rohlings beträgt 10 mm, die Länge soll so bemessen werden, dass genau 5 Gewindegänge abgebildet werden, wie in der nebenstehenden Skizze dargestellt ist.



Das Gewindeprofil hat die Form einer Sinuskurve. Der Außendurchmesser eines Gewindes nach E27 beträgt 27 mm, der Kerndurchmesser 24,5 mm und die Gewindesteigung (Abstand zweier benachbarten Gewindegänge) 3,62 mm.

1. Welche Länge hat die Gewindelehre?
2. Geben Sie eine geeignete Funktionsgleichung an, nach der die Gewindekontur in die Lehre gefräst werden kann!

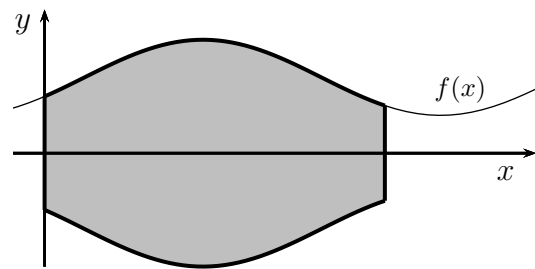
### 6.3 Aufgabe 3

Es soll ein Drehteil angefertigt werden. Die obere Kontur des Drehteils wird durch nachfolgende Funktion (in der Einheit Millimeter) dargestellt:

$$f(x) = 50 \cdot \sin\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) + 100$$

Die Länge des Drehteils beträgt 450 mm. Die Funktion ist demnach gültig für:

$$0 \leq x \leq 450 \text{ mm}$$



Gesucht sind folgende Werte:

1. Der größte Durchmesser des Drehteils
2. Der kleinste Durchmesser des Drehteils

# 7 Musterlösungen der Übungsaufgaben

## 7.1 Aufgabe 1

Im Zielbereich eines Mountainbike-Rennens soll als Publikumsattraktion ein sogenannter „Pumptrack“ aufgebaut werden. Hierunter versteht man eine wellenartige Fahrbahnstruktur, wie nebenstehend dargestellt. Der Rennfahrer muss dabei drei Wellen hinauf und wieder hinunter fahren. In der Einheit **Meter** ist für den Fahrbahnverlauf diese Funktion vorgesehen:



$$f(x) = 0,4 \cdot \sin\left(2x - \frac{\pi}{2}\right) + k$$

1. Bestimmen Sie den Parameter  $k$  so, dass die Rennfahrer ohne Stufe am Koordinatenursprung in die Rampe hineinfahren können. (Die  $x$ -Achse stellt die Fahrbahnhöhe außerhalb der Rampe dar.)
2. Welche Gesamthöhe hat jede der zu durchfahrenden Wellen?
3. Welche Gesamtlänge hat die Rampenkonstruktion?

### Lösung:

**Teil 1:** Den tiefsten Punkt mit  $y = 0$  erreicht man, wenn der Sinuswert  $-1$  ist. (Alternativ könnten natürlich auch mit Hilfe der ersten Ableitung die Tiefpunkte bestimmt werden.)

$$\begin{aligned} 0 &= 0,4 \cdot (-1) + k \\ 0 &= -0,4 + k && | + 0,4 \\ 0,4 &= k \end{aligned}$$

Damit lautet die Funktionsgleichung:  $f(x) = 0,4 \cdot \sin\left(2x - \frac{\pi}{2}\right) + 0,4$

**Teil 2:** Den höchsten  $y$ -Wert erreicht man, wenn der Sinuswert  $+1$  beträgt. (Alternativ könnten natürlich auch mit Hilfe der ersten Ableitung die Hochpunkte bestimmt werden.)

$$h = 0,4 \cdot 1 + 0,4 = 0,8$$

Die Höhe beträgt:  $h = 80 \text{ cm}$

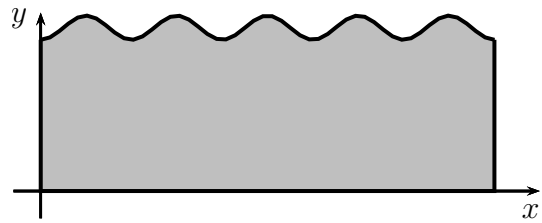
**Teil 3:** Die Gesamtlänge der Rampe beträgt drei Perioden der Sinusfunktion. Dazu muss das Argument der Sinusfunktion (der Term, der hinter **sin** in den großen Klammern steht) drei mal einen Winkel von  $2\pi$  durchlaufen. Mit  $x_L$  als Gesamtlänge der Rampe bilde ich die Differenz der Argumente zwischen dem rechten Rand ( $x = x_L$ ) und dem linken Rand ( $x = 0$ ) der Rampe. Für drei Perioden muss die Differenz also  $3 \cdot 2\pi$  betragen.

$$\begin{aligned} \left(2x_L - \frac{\pi}{2}\right) - \left(2 \cdot 0 - \frac{\pi}{2}\right) &= 3 \cdot 2\pi \\ 2x_L - \frac{\pi}{2} - 2 \cdot 0 + \frac{\pi}{2} &= 6\pi \\ 2x_L &= 6\pi \quad | : 2 \\ x_L &= 3\pi \\ x_L &\approx 9,42 \end{aligned}$$

Die Rampenlänge beträgt:  $x_L = 3\pi \text{ m} \approx 9,42 \text{ m}$

## 7.2 Aufgabe 2

An einer Lampe mit dem Elektrogewinde E27 soll das Gewinde mit einer Lehre überprüft werden. Diese soll aus einem flachen rechteckigen Stück Messing gefertigt werden. Auf einer Längsseite soll die Kontur des Gewindeprofils eingefräst werden. Die Breite des Rohlings beträgt 10 mm, die Länge soll so bemessen werden, dass genau 5 Gewindegänge abgebildet werden, wie in der nebenstehenden Skizze dargestellt ist.



Das Gewindeprofil hat die Form einer Sinuskurve. Der Außendurchmesser eines Gewindes nach E27 beträgt 27 mm, der Kerndurchmesser 24,5 mm und die Gewindesteigung (Abstand zweier benachbarten Gewindegänge) 3,62 mm.

1. Welche Länge hat die Gewindelehre?
2. Geben Sie eine geeignete Funktionsgleichung an, nach der die Gewindekontur in die Lehre gefräst werden kann!

### Lösung:

**zu 1:** Die Länge der Lehre beträgt 5 Gewindegänge, also:

$$l = 5 \cdot 3,62 \text{ mm} = 18,1 \text{ mm}$$

**zu 2:** Die Grundformel für eine sinusförmige Funktion lautet:

$$f(x) = a \cdot \sin(c \cdot x + d) + b$$

Hierbei ist:

**a:** Amplitude oder vertikaler Dehnungsfaktor

**b:** Verschiebung nach oben

**c:** Horizontaler Stauchungsfaktor

**d:** Phasenverschiebungswinkel

**zu a:** Die Differenz zwischen Außendurchmesser und Kerndurchmesser eines E27-Elektrogewindes beträgt:

$$D = 27 \text{ mm} - 24,5 \text{ mm} = 2,5 \text{ mm}$$

Diese Differenz verteilt sich auf beide Seiten des Gewindes. Für **eine** Gewindeseite beträgt demnach die gesamte Höhe des Gewindeprofils die Hälfte davon:

$$h = \frac{1}{2} \cdot D = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \text{ mm} = 1,25 \text{ mm}$$

Die Amplitude  $a$  ist davon noch einmal die Hälfte, denn diese wird von der Mittellinie aus gemessen.

$$a = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \text{ mm} = 0,625 \text{ mm}$$

**zu b:** Die Gewindelehre hat eine Gesamtbreite von  $B = 10 \text{ mm}$ . Die Mittellinie der Sinusfunktion liegt laut Skizze um die Amplitude  $a$  darunter. Damit erhalten wir:

$$b = B - a = 10 \text{ mm} - 0,625 \text{ mm} = 9,375 \text{ mm}$$

**zu c:** Der Stauchungsfaktor  $c$  soll bestimmt werden. Eine volle Periode mit  $2\pi$  wird nach der Gewindesteigung von  $3,62 \text{ mm}$  erreicht.

$$\begin{aligned} c \cdot 3,62 \text{ mm} &= 2\pi && | : 3,62 \text{ mm} \\ c &= \frac{2\pi}{3,62 \text{ mm}} \\ c &= \frac{\pi}{1,81 \text{ mm}} \end{aligned}$$

**zu d:** Die Funktion beginnt bei  $x = 0$  mit einem Tiefpunkt. Für die Sinusfunktion gehört dazu der Winkel  $d = -\frac{\pi}{2}$ .

Mit diesen Werten kann nun die gesuchte Funktion angegeben werden:

$$f(x) = 0,625 \text{ mm} \cdot \sin \left( \frac{\pi}{1,81 \text{ mm}} \cdot x - \frac{\pi}{2} \right) + 9,375 \text{ mm}$$

Anmerkung: Man kann anstelle der Verschiebung  $d = -\frac{\pi}{2}$  auch eine Verschiebung von  $d = \frac{3\pi}{2}$  wählen. Man kann auch anstelle der Sinusfunktion die Kosinusfunktion verwenden. Dann beträgt der Verschiebewert  $d = \pi$  oder  $d = -\pi$ . Alternativ kann man auch  $d = 0$  wählen, wenn man die Amplitude  $a$  negativ macht. Diese Funktionsgleichungen wären also auch alle richtig:



$$f(x) = 0,625 \text{ mm} \cdot \sin \left( \frac{\pi}{1,81 \text{ mm}} \cdot x + \frac{3\pi}{2} \right) + 9,375 \text{ mm}$$

$$f(x) = 0,625 \text{ mm} \cdot \cos \left( \frac{\pi}{1,81 \text{ mm}} \cdot x + \pi \right) + 9,375 \text{ mm}$$

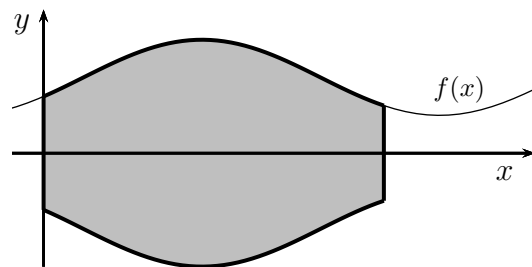
$$f(x) = 0,625 \text{ mm} \cdot \cos \left( \frac{\pi}{1,81 \text{ mm}} \cdot x - \pi \right) + 9,375 \text{ mm}$$

$$f(x) = -0,625 \text{ mm} \cdot \cos \left( \frac{\pi}{1,81 \text{ mm}} \cdot x \right) + 9,375 \text{ mm}$$

### 7.3 Aufgabe 3

Es soll ein Drehteil angefertigt werden. Die obere Kontur des Drehteils wird durch nachfolgende Funktion (in der Einheit Millimeter) dargestellt:

$$f(x) = 50 \cdot \sin\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) + 100$$



Die Länge des Drehteils beträgt 450 mm. Die Funktion ist demnach gültig für:

$$0 \leq x \leq 450 \text{ mm}$$

Gesucht sind folgende Werte:

1. Der größte Durchmesser des Drehteils
2. Der kleinste Durchmesser des Drehteils

**Lösung:** Zunächst werden die erforderlichen Ableitungen bestimmt.<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} f(x) &= 50 \cdot \sin\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) + 100 \\ f'(x) &= 50 \cdot 0,01 \cdot \cos\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) \\ &= 0,5 \cdot \cos\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) \\ f''(x) &= 0,5 \cdot 0,01 \cdot \left(-\sin\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right)\right) \\ &= -0,005 \cdot \sin\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) \\ f'''(x) &= -0,005 \cdot 0,01 \cdot \cos\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) \\ &= -0,00005 \cdot \cos\left(0,01x - \frac{\pi}{6}\right) \end{aligned}$$

<sup>2</sup>Hierfür ist jeweils die Kettenregel notwendig, siehe z. B. hier:

<http://www.dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/ablreg.pdf>

Notwendige Bedingung für ein Extremum ist das Nullwerden der ersten Ableitung.

$$\begin{aligned}
 f'(x_E) &= 0 \\
 0,5 \cdot \cos\left(0,01x_E - \frac{\pi}{6}\right) &= 0 & | \cdot 2 \\
 \cos\left(0,01x_E - \frac{\pi}{6}\right) &= 0 & | \arccos \dots \\
 0,01x_E - \frac{\pi}{6} &= \arccos 0
 \end{aligned}$$

Die Kosinusfunktion hat Nullstellen bei  $z = k \cdot \pi - \frac{\pi}{2}$  mit  $k \in \mathbb{Z}$ .

$$\begin{aligned}
 k \cdot \pi - \frac{\pi}{2} &= 0,01x_E - \frac{\pi}{6} & | + \frac{\pi}{6} \\
 k \cdot \pi - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6} &= 0,01x_E \\
 k \cdot \pi - \frac{\pi}{3} &= 0,01x_E & | \cdot 100 \\
 100k \cdot \pi - \frac{100\pi}{3} &= x_E \\
 x_E &= 100k \cdot \pi - \frac{100\pi}{3}
 \end{aligned}$$

Wir erhalten für:

$$\begin{aligned}
 k = 0 &\Rightarrow x_{E0} = 0 \cdot 100\pi - \frac{100\pi}{3} = -\frac{100\pi}{3} \approx -104,72 \\
 k = 1 &\Rightarrow x_{E1} = 1 \cdot 100\pi - \frac{100\pi}{3} = \frac{200\pi}{3} \approx 209,44 \\
 k = 2 &\Rightarrow x_{E2} = 2 \cdot 100\pi - \frac{100\pi}{3} = \frac{500\pi}{3} \approx 523,60
 \end{aligned}$$

Nur  $x_{E1}$  liegt im zulässigen Bereich  $0 \leq x \leq 450$ . Für  $k \leq 0$  liegen die Nullstellen der Ableitung unterhalb, und für  $k \geq 2$  liegen sie oberhalb.

Mit Hilfe der zweiten Ableitung kann nun geprüft werden, ob bei  $x_{E1} = \frac{200\pi}{3}$  ein Minimum oder ein Maximum vorliegt.

$$f''(x_{E1}) = -0,005 \cdot \sin\left(0,01 \cdot \frac{200\pi}{3} - \frac{\pi}{6}\right) = -0,005 \cdot \sin \frac{\pi}{2} = -0,005 < 0$$

Die zweite Ableitung ist **negativ**, bei  $x_{E1} = \frac{200\pi}{3}$  liegt also ein **Maximum** vor. Der zugehörige Funktionswert wird bestimmt:

$$y_{E1} = f(x_{E1}) = 50 \cdot \sin\left(0,01 \cdot \frac{200\pi}{3} - \frac{\pi}{6}\right) + 100 = 50 \cdot \sin \frac{\pi}{2} + 100 = 150$$

Da der  $x$ -Wert den **Radius** des Werkstückes darstellt, ist der Durchmesser davon das Doppelte.

Der größte Durchmesser beträgt:  $D_{max} = 300 \text{ mm}$

Da im zulässigen Bereich kein Relatives Minimum gefunden wurde, muss es ein „Randextremum“ geben. Daher werden nun die Funktionswerte an den Grenzen des Definitionsbereiches bestimmt.

$$\begin{aligned} f(0) &= 50 \cdot \sin\left(0,01 \cdot 0 - \frac{\pi}{6}\right) + 100 = 75 \\ f(450) &= 50 \cdot \sin\left(0,01 \cdot 450 - \frac{\pi}{6}\right) + 100 \approx 62,94 \end{aligned}$$

Der Wert am rechten Rand ist der kleinere.

Da der  $x$ -Wert den **Radius** des Werkstückes darstellt, ist der Durchmesser davon das Doppelte.

Der kleinste Durchmesser beträgt:  $D_{min} = 125,88 \text{ mm}$