

11.3 (a) Gib Polardarstellungen der komplexen Zahlen  $1 + i$  und  $\sqrt{3} - i$  an.

$$1 + i = \sqrt{2} \cdot \left( \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + i \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \right) \Leftarrow \arctan\left(\frac{1}{1}\right) = \frac{\pi}{4}$$

$$\sqrt{3} - i = 2 \left( \cos\left(-\frac{\pi}{6}\right) + i \sin\left(-\frac{\pi}{6}\right) \right) \Leftarrow -\arctan\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) = -\frac{\pi}{6}$$

(b) Sei  $\varphi \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$  und  $x = \tan \varphi$ . Zeige  $\frac{1+ix}{1-ix} = \exp(2i\varphi)$ .

$$x = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow \frac{1+ix}{1-ix} \\ &= \frac{1 + i \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}}{1 - i \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}} \\ &= \frac{\cos \varphi + i \sin \varphi}{\cos \varphi - i \sin \varphi} \\ &= \frac{(\cos \varphi + i \sin \varphi)(\cos \varphi + i \sin \varphi)}{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} \\ &= \frac{e^{i\varphi} \cdot e^{i\varphi}}{1} = e^{2i\varphi} \\ &= \exp(2i\varphi) \end{aligned}$$

11.4 Berechne die Ableitungen der folgenden Funktionen (auf dem jeweils sinnvollen Definitionsbereich):

$$f_1(x) = \sin(\cos x)$$

Produktregel:

$$\frac{d}{dx} \sin(\cos x) = -\cos(\cos x) \cdot \sin x$$

$$f_2(x) = \frac{1 - \sin x}{2 + \sin x}$$

Quotientenregel:

$$\frac{d}{dx} \frac{1 - \sin x}{2 + \sin x} = \frac{-\cos(x) \cdot (2 + \sin(x)) - \cos(x) \cdot (1 - \sin(x))}{(2 + \sin(x))^2} = \frac{-3 \cos(x)}{(2 + \sin(x))^2}$$

$$f_3(x) = x \cdot |x|$$

$$\frac{d}{dx}|x| = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

Produktregel:

$$\frac{d}{dx}x \cdot |x| = |x| + x \cdot \frac{d}{dx}|x| = |x| + |x| = 2|x|$$

$$f_4(x) = x^{x^x}$$

Produktregel, Kettenregel:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dx}x^{x^x} \\ &= \frac{d}{dx}e^{x^x \cdot \ln(x)} \\ &= e^{x^x \cdot \ln(x)} \cdot \frac{d}{dx}(x^x \cdot \ln(x)) \\ &= e^{x^x \cdot \ln(x)} \cdot \left( x^x \cdot \frac{1}{x} + \left( \frac{d}{dx}e^{x \ln(x)} \right) \cdot \ln(x) \right) \\ &= e^{x^x \cdot \ln(x)} \cdot \left( x^x \cdot \frac{1}{x} + e^{x \ln(x)} \cdot \left( \frac{d}{dx}x \ln(x) \right) \cdot \ln(x) \right) \\ &= e^{x^x \cdot \ln(x)} \cdot \left( x^x \cdot \frac{1}{x} + e^{x \ln(x)} \cdot \left( \ln(x) + x \cdot \frac{1}{x} \right) \cdot \ln(x) \right) \\ &= e^{x^x \cdot \ln(x)} \cdot \left( x^x \cdot \frac{1}{x} + e^{x \ln(x)} \cdot (\ln(x) + 1) \cdot \ln(x) \right) \\ &= x^{x^x} \cdot (x^{x-1} + x^x \cdot (\ln^2(x) + \ln(x))) \\ &= x^{x^x} \cdot (x^{x-1} + x^{x-1}x \cdot (\ln^2(x) + \ln(x))) \\ &= x^{x^x} \cdot x^{x-1}(1 + x \cdot (\ln^2(x) + \ln(x))) \\ &= x^{x^x+x-1}(1 + x \ln^2(x) + x \ln(x)) \end{aligned}$$

- 11.5 (a) Die Funktion  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  sein in  $a \in \mathbb{R}$  differenzierbar. Zeige, dass dann der Grenzwert  $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h)-f(a-h)}{2h}$  existiert, und berechne ihn.

$$\begin{aligned} & \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h) - f(a-h)}{2h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left( \frac{f(a+h) - f(a)}{h} + \frac{f(a) - f(a-h)}{h} \right) \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left( \frac{d}{dx} f(a) + \frac{d}{dx} f(a) \right) \\ &= \frac{d}{dx} f(a) \end{aligned}$$

- (b) Folgt aus der Existenz des Grenzwertes in (a) die Differenzierbarkeit von  $f$  in  $a$ ?

Nein. Die Existenz eines Grenzwertes lässt keinen Schluss über die Differenzierbarkeit in diesem Punkt zu. Beispiel:

$$\lim_{x \rightarrow 0+} |x| = \lim_{x \rightarrow 0-} |x| = 0$$

aber

$$\lim_{x \rightarrow 0+} \frac{d}{dx} |x| = 1 \neq -1 = \lim_{x \rightarrow 0-} \frac{d}{dx} |x|$$

11.6 Sei  $I \subseteq \mathbb{R}$  ein Intervall und  $n \in \mathbb{N}$ . Seien  $g, h : I \rightarrow \mathbb{R}$  Funktionen, die  $n$ -mal differenzierbar in  $x \in I$  sind. Dann kann man durch vollständige Induktion die *Leibniz-Regel* zeigen.

$$(g \cdot h)^{(n)}(x) = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} g^{(k)}(x) \cdot h^{(n-k)}(x)$$

(a) Berechne  $f^{(1000)}(x)$  für  $f(x) = x^2 \cdot e^x$

$$g(x) = x^2, h(x) = e^x, n = 1000$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow f^{(1000)}(x) &= \sum_{k=0}^{1000} \binom{1000}{k} g^{(k)}(x) \cdot h^{(1000-k)}(x) \\ &= \sum_{k=0}^2 \binom{1000}{k} g^{(k)}(x) \cdot h^{(1000-k)}(x) \\ &= (1 \cdot x^2 \cdot h^{(1000)}(x)) + (1000 \cdot 2x \cdot h^{(999)}(x)) + (499500 \cdot 2 \cdot h^{(998)}(x)) \end{aligned}$$

(b) Berechne  $f^{(100)}(x)$  für  $f(x) = x^3 \cdot \cos(x)$

$$g(x) = x^3, h(x) = \cos(x), n = 100$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow f^{(100)}(x) &= \sum_{k=0}^{100} \binom{100}{k} g^{(k)}(x) \cdot h^{(100-k)}(x) \\ &= \sum_{k=0}^3 \binom{100}{k} g^{(k)}(x) \cdot h^{(100-k)}(x) \\ &= (1 \cdot x^3 \cdot \cos(x)) + (100 \cdot 3x^2 \cdot \sin(x)) - (4950 \cdot 6x \cdot \cos(x)) - (161700 \cdot 6 \cdot \sin(x)) \\ &= x^3 \cos(x) - 29700x \cos(x) + 300x^2 \sin(x) - 970200 \sin(x) \\ &= \cos(x)(x^3 - 29700x) + \sin(x)(300x^2 - 970200) \end{aligned}$$