

**Aufgabe 5:** Berechnen Sie die Integrale:

a)  $\int_0^{\pi} \sin x \cos x \, dx$

b)  $\int_0^1 \frac{(1-x)^2}{1+x^2} \, dx$

c)  $\int_0^1 x^2 e^x \, dx$

LÖSUNG:

a)

$$\int_0^{\pi} \sin x \cos x \, dx = \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \sin 2x \, dx = \frac{1}{2} \left. \frac{-\cos 2x}{2} \right|_0^{\pi} = \frac{1}{2} \left( -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) = 0$$

b)

$$\int_0^1 \frac{(1-x)^2}{1+x^2} \, dx = \int_0^1 \left( 1 - \frac{2x}{1+x^2} \right) \, dx = \left( x - \ln(1+x^2) \right) \Big|_0^1 = 1 - \ln 2$$

c)

$$\int_0^1 x^2 e^x \, dx = x^2 e^x \Big|_0^1 - \int_0^1 2x e^x \, dx = e - (2x e^x) \Big|_0^1 + \int_0^1 2e^x \, dx = e - 2$$

**Aufgabe 6:** Berechnen Sie die Integrale:

a)  $\int \frac{2x}{x^2+5} \, dx,$

b)  $\int \frac{1}{4+9x^2} \, dx,$

c)  $\int_0^{\pi} \sin^2 x \, dx.$

**Tipp:** a), b) mit Substitutionsregel, c) mit partieller Integration. Verwenden Sie bei c), dass nach der partiellen Integration auf der rechten Seite wieder das zu berechnende Integral (jedoch mit negativem Vorzeichen) steht.

LÖSUNG:

a)

$$\int \frac{2x}{x^2 + 5} dx = \int \frac{dz}{z} = \log |z| = \log |x^2 + 5|$$

Substitution:

$$z := x^2 + 5 \geq 5 \Rightarrow dz = 2x dx$$

b)

$$\begin{aligned} \int \frac{1}{4 + 9x^2} dx &= \frac{1}{4} \int \frac{dx}{1 + \frac{9x^2}{4}} = \frac{1}{4} \int \frac{\frac{2}{3} dz}{1 + z^2} = \frac{1}{6} \int \frac{dz}{1 + z^2} = \\ &= \frac{1}{6} \arctan z = \frac{1}{6} \arctan \left( \frac{3x}{2} \right). \end{aligned}$$

Mit Hilfe der Substitution:  $z := \frac{3x}{2} \Rightarrow z^2 = \frac{9x^2}{4}$  und  $dz = \frac{3}{2} dx \Leftrightarrow dx = \frac{2}{3} dz$ .

c)

$$\begin{aligned} \int_0^{\pi} \sin^2 x dx &= \int_0^{\pi} \sin x \sin x dx \\ &= -\cos x \sin x \Big|_0^{\pi} + \int_0^{\pi} \cos^2 x dx \\ &= \int_0^{\pi} \cos^2 x dx \quad (-\cos x \sin x \Big|_0^{\pi} = 0, \text{ da } \sin 0 = \sin \pi = 0) \\ &= \int_0^{\pi} 1 dx - \int_0^{\pi} \sin^2 x dx \\ &= \pi - \int_0^{\pi} \sin^2 x dx. \\ \Rightarrow \int_0^{\pi} \sin^2 x dx &= \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

**Aufgabe 7:** Berechnen Sie mit der Methode zum Integrieren rationaler Funktionen, die in der Vorlesung beschrieben wurde, die Integrale

$$\text{a) } \int \frac{2x - 1}{x^2 + x - 6} dx, \quad \text{b) } \int \frac{2x - 1}{x^2 - 2x + 2} dx.$$

LÖSUNG:

a) Der Nenner des Integranden lässt sich schreiben als

$$x^2 + x - 6 = (x + 3)(x - 2).$$

Der Ansatz für die Partialbruchzerlegung sieht also wie folgt aus

$$\frac{2x-1}{(x+3)(x-2)} = \frac{A}{x-2} + \frac{B}{x+3}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow A &= \left( \frac{2x-1}{x+3} - \frac{(x-2)B}{x+3} \right) \Big|_{x=2} = \frac{2 \cdot 2 - 1}{2+3} = \frac{3}{5}, \\ B &= \left( \frac{2x-1}{x-2} - \frac{(x+3)A}{x-2} \right) \Big|_{x=-3} = \frac{2 \cdot (-3) - 1}{-3-2} = \frac{-7}{-5} = \frac{7}{5}; \end{aligned}$$

also:

$$\frac{3}{5} \cdot \frac{1}{x-2} + \frac{7}{5} \cdot \frac{1}{x+3} = \frac{3(x+3) + 7(x-2)}{5(x-2)(x+3)} = \frac{10x-5}{5(x^2+x-6)} = \frac{2x-1}{x^2+x-6}. \quad \checkmark$$

Damit folgt

$$\begin{aligned} \int \frac{2x-1}{x^2+x-6} dx &= \int \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{x-2} + \frac{7}{5} \cdot \frac{1}{x+3} dx \\ &= \frac{3}{5} \log|x-2| + \frac{7}{5} \log|x+3|. \end{aligned}$$

b) Der Nenner lässt sich schreiben als

$$x^2 - 2x + 2 = x^2 - 2x + 1 + 1 = (x-1)^2 + 1.$$

Da die Ableitung des Nenners wie folgt aussieht

$$(x^2 - 2x + 2)' = 2x - 2,$$

lässt sich das Integral am günstigsten wie folgt umschreiben:

$$\int \frac{2x-1}{x^2-2x+2} dx = \int \frac{2x-2}{(x-1)^2+1} dx + \int \frac{1}{(x-1)^2+1} dx.$$

Da sich

$$\int \frac{2(x-1)}{(x-1)^2+1} dx = \int \frac{dz}{z} = \log|z| = \log((x-1)^2+1)$$

mit der Substitution  $z = 1 + (x-1)^2$ ,  $dz = 2(x-1) dx$  ergibt, und

$$\int \frac{dx}{1+(x-1)^2} = \int \frac{dz}{1+z^2} = \arctan z = \arctan(x-1)$$

mit Hilfe der Substitution  $z = x-1$ ,  $dz = dx$  folgt, ergibt sich als Gesamtlösung

$$\int \frac{2x-1}{x^2-2x+2} dx = \log((x-1)^2+1) + \arctan(x-1).$$

**Aufgabe 8:** Zeigen Sie, dass die Reihe

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$$

konvergiert. Vergleichen sie dazu  $\sum_{n=2}^N \frac{1}{n^2}$  mit einem geeigneten Integral.

LÖSUNG: Zuerst betrachten wir die Funktion  $f : [1, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $f(x) = \frac{1}{x^2}$  und zeigen, dass sie streng monoton fallend ist.

Sei  $n \in [1, \infty)$  beliebig und  $\epsilon > 0$ , dann gilt

$$f(n) = \frac{1}{n^2} > \frac{1}{(n + \epsilon)^2} = f(n + \epsilon),$$

denn

$$n^2 < n^2 + 2n\epsilon + \epsilon^2 = (n + \epsilon)^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{n^2} > \frac{1}{(n + \epsilon)^2},$$

d.h. die Funktion  $f$  ist auf ihrem Definitionsgebiet streng monoton fallend.

Daraus folgt für  $n \geq 1$

$$\int_n^{n+1} f(x) dx > f(n+1)(n+1-n) = f(n+1).$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \int_1^N f(x) dx &= \sum_{m=1}^{N-1} \int_m^{m+1} f(x) dx \\ &> \sum_{m=1}^{N-1} f(m+1) \\ &= \sum_{n=2}^N f(n) \end{aligned}$$

Da

$$\int_1^N f(x) dx = \int_1^N \frac{1}{x^2} dx = -\frac{1}{x} \Big|_1^N = 1 - \frac{1}{N} < 1$$

folgt

$$\sum_{n=1}^N \frac{1}{n^2} = 1 + \sum_{n=2}^N \frac{1}{n^2} < 1 + 1 = 2 \text{ unabhängig von } N.$$

Die Reihe ist also beschränkt. Da die einzelnen Summanden alle positiv sind, ist die Reihe auch monoton wachsend, so dass sie für  $N \rightarrow \infty$  konvergiert.