

# Mathe 2

np

26.03.2025

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Lineare Algebra</b>	<b>2</b>
1.1 Vektoren .....	2
1.2 Matrizen .....	4
1.3 Determinante .....	6
1.4 Lineartransformation .....	7
1.5 Lineare Gleichungssysteme .....	7
1.6 Eigenwert Problem .....	8
1.7 Lineare Differentialgleichung .....	9
1.7.1 Lin. DG erster Ordnung .....	9
<b>2 Differentialrechnung in zwei oder mehr Variablen</b>	<b>9</b>
2.1 Partielle Ableitung .....	9
2.2 Taylorformel .....	10
2.3 Maxima und Minima .....	11
<b>3 Multivariate Integralrechnung</b>	<b>11</b>
3.1 Doppel- und Dreifach Integrale .....	11
3.2 Vektorfelder .....	13
3.3 Kurvenintegrale .....	13
3.4 Oberflächenintegrale .....	14
<b>4 Altfragen von 12.10.2023</b>	<b>15</b>
<b>5 Altfragen 12.01.2024</b>	<b>16</b>

# 1 Lineare Algebra

## 1.1 Vektoren

### Def. 1.1: Vektoroperationen

Vektoraddition:

$$\vec{x} + \vec{y} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 + y_1 \\ \vdots \\ x_n + y_n \end{pmatrix}$$

Skalarmultiplikation:

$$r \cdot \vec{x} = \begin{pmatrix} r \cdot x_1 \\ \vdots \\ r \cdot x_n \end{pmatrix}$$

Skalarprodukt (inneres Produkt):

$$\vec{x} \cdot \vec{y} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = x_1 \cdot y_1 + \dots + x_n \cdot y_n$$

Vektorprodukt (Kreuzprodukt) im  $\mathbb{R}^3$ :

$$\vec{x} \times \vec{y} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \cdot y_3 - x_3 \cdot y_2 \\ x_3 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_3 \\ x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1 \end{pmatrix}$$

### Def. 1.2: Vektorraum

Reeller Vektorraum ist jene Menge  $V$ , deren Elemente Vektoren heißen. Es gilt:

$$u, v \in V \longrightarrow u + v = \vec{x} \quad (\text{Summe aus Vektoren})$$

$$a \in V \longrightarrow a \cdot v \quad (\text{Skalares Produkt})$$

Dabei sind folgende Grundeigenschaften erfüllt: Kommutativ, Assoziativ...

### Def. 1.3: Lineare Abhängigkeit

Es seien  $v_1, \dots, v_k \in V$  und  $a_1, \dots, a_k \in R$ .  $v_i$  sind linear abhängig, wenn:

$$a_1 v_1 + \dots + a_k v_k = 0 \quad (\text{Linearkombination})$$

Sprich wenn es eine Summe aus Vektoren gibt die den Nullvektor bilden. Allerdings sind Vektoren linear unabhängig wenn nur folgende Linearkombination den Nullvektor ergibt:

$$0v_1 + \dots + 0v_k = \vec{0} \quad (\text{linear unabhängig})$$

**Def. 1.4: Lineare Hülle und erzeugendensystem**

Die lineare Hülle ist jener Raum der durch Linearkombination aus Vektoren aufgespannt wird. Es seien  $M$  eine Teilmenge von  $V$  und die lineare Hülle von  $M$  ein Unterraum. Wenn gilt

$$\text{LH}(M) = V$$

dann ist  $M$  ein Erzeugendensystem.

**Def. 1.5: Dimension**

Die Dimension ist die maximale Anzahl ( $n$ ) an linear unabhängigen Vektoren. Somit können  $n$  Vektoren linear unabhängig sein und  $n+1$  Vektoren sind zwangsweise linear abhängig.

**Def. 1.6: Basis**

Jedes System von  $n$  linear unabhängigen Vektoren bildet eine Basis von  $V$ . Es seien  $v_1, \dots, v_n \in \mathbb{R}$  und  $b_1, \dots, b_n \in B$

$$\vec{v} = v_1 \cdot b_1 + \dots + v_n \cdot b_n \quad (\text{linear Kombination aus Basisvektoren})$$

**Kriterium für Basen:**

Die Vektoren  $\vec{v}_1, \dots, \vec{v}_n \in \mathbb{R}^n$  sind Basen, wenn gilt:

$$\det(\vec{v}_1, \dots, \vec{v}_n) \neq 0$$

Sprich wenn das aufgespannte Volumen der Vektoren nicht 0 ist.

**Def. 1.7: Euklidischer Vektorraum**

Wenn Vektoren nicht nur addiert und mit einem Skalar multipliziert werden können, sondern es das "innere Produkt" gibt, dann liegt ein euklidischer VR vor.

- (i) Positiv Definit  $\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$
- (ii) Kommutivität  $\vec{u} \cdot \vec{v} = \vec{v} \cdot \vec{u}$
- (iii) Distributivität  $\vec{u} \cdot (\vec{v} + \vec{w}) = \vec{u} \cdot \vec{v} + \vec{u} \cdot \vec{w}$
- (iv)  $\vec{a} \cdot \vec{u} \cdot \vec{v} = \vec{a} \cdot \vec{u} \cdot \vec{v}$

**Def. 1.8: Euklidische Norm/Länge**

$$\|\vec{v}\| = \sqrt{\vec{v} \cdot \vec{v}} \geq 0 \quad \rightarrow \quad \vec{v} \cdot \vec{v} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = v_1^2 + v_2^2$$

$$\|\vec{v}\|^2 = v_1^2 + v_2^2$$

$$\|\vec{v}\| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$$

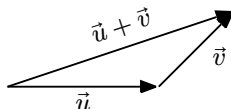
**Def. 1.9: Wichtige Ungleichungen**

Cauchy - Schwarz'sche Ungleichung:

$$|\vec{u} \cdot \vec{v}| \leq \|\vec{u}\| \cdot \|\vec{v}\|$$

Dreiecksungleichung:

$$\|\vec{u} + \vec{v}\| \leq \|\vec{u}\| + \|\vec{v}\|$$

**Def. 1.10: Orthogonal, Winkel**

Es seien zwei Vektoren  $u, v \in V$ , dann sind diese orthogonal, wenn:

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$$

Wenn nicht 0 dann ist der Winkel zwischen den Vektoren gegeben durch:

$$\cos \varphi = \frac{u \cdot v}{\|u\| \cdot \|v\|}$$

**Def. 1.11: Orthonormalbasis**

Es sei  $\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_n$  Basis von  $V$  und es ist  $\vec{b}_1, \dots, \vec{b}_n$  ONB von  $V$  gesucht. Dabei soll die lineare Hülle der Basis und der ONB gleich sein.

Gram - Schmidt Verfahren:

$$(i) \quad \vec{b}_1 = \frac{1}{\|\vec{x}_1\|} \cdot \vec{x}_1 \quad \rightarrow \quad \|\vec{b}_1\| = 1$$

$$(ii) \quad \vec{b}_2' = \vec{x}_2 - (\vec{x}_2 \cdot \vec{b}_1) \cdot \vec{b}_1 \quad \rightarrow \quad \vec{b}_2 = \frac{\vec{b}_2'}{\|\vec{b}_2'\|}$$

$$(iii) \quad \vec{b}_3' = \vec{x}_3 - (\vec{x}_3 \cdot \vec{b}_1) \cdot \vec{b}_1 - \vec{x}_3 \cdot (\vec{x}_3 \cdot \vec{b}_2) \cdot \vec{b}_2$$

$$\vec{b}_3 = \frac{\vec{b}_3'}{\|\vec{b}_3'\|}$$

**1.2 Matrizen****Def. 1.12: Basis**

Rechteckschema mit reellen Zahlen, mit m Zeilen und n Spalten.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Ist  $m=n$  dann liegt eine quadratische Matrix vor.

**Def. 1.13: Operationen mit Matrizen**

Addition (elementeweise):

$$A + B = \begin{pmatrix} a_{11} + b_{11} & \cdots & a_{1n} + b_{1n} \\ a_{21} + b_{21} & \cdots & a_{2n} + b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} + b_{m1} & \cdots & a_{mn} + b_{mn} \end{pmatrix}$$

Multiplikation (mit Skalar):

$$a \cdot A = \begin{pmatrix} a \cdot a_{11} & \cdots & a \cdot a_{1n} \\ a \cdot a_{21} & \cdots & a \cdot a_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a \cdot a_{m1} & \cdots & a \cdot a_{mn} \end{pmatrix}$$

Matrixmultiplikation (Zeile mal Spalte):

$$A_{m_A, n_A} \cdot B_{m_B, n_B} = C_{m_A, n_B} \rightarrow n_A = m_B \\ A \cdot B \neq B \cdot A$$

**Def. 1.14: Potenzen von Matrizen**

$$A^0 = I, \quad A^1 = A, \quad A^2 = A \cdot A$$

$$A^3 = A^2 \cdot A = A \cdot A^2$$

$$A^k \cdot A^l = A^{k+l}$$

$$(AB)^k = A^k B^k$$

**Def. 1.15: Transponierte Matrix**

$$(i) \quad (A^T)^T = A$$

$$(ii) \quad (A + B)^T = A^T + B^T$$

$$(iii) \quad (AB)^T = B^T \cdot A^T$$

Bei einer symmetrischen Matrix gilt:  $A^T = A$

### 1.3 Determinante

**Def. 1.16: Determinante**

Es sei  $A$  eine  $n \times n$  Matrix. Daher ist  $\det(A) \rightarrow \mathbb{R}$ . Die Determinante entspricht dem Volumen, des durch die Spaltenvektoren aufgespannten Raumes. (2D = Parallelogram, 3D = Parallelepipiped).

$$\mathbb{R}^2 \rightarrow \det(A) = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}$$

$$\begin{aligned} \mathbb{R}^3 \rightarrow \det(A) &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \\ &= a_{11} \cdot \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - a_{12} \cdot \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} + a_{13} \cdot \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix} \\ &= a_{11} \cdot a_{22} \cdot a_{33} + a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{31} + a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32} \\ &\quad - a_{11} \cdot a_{23} \cdot a_{32} - a_{12} \cdot a_{21} \cdot a_{33} - a_{13} \cdot a_{22} \cdot a_{31} \end{aligned}$$

**Def. 1.17: Eigenschaften von Determinanten**

Folgende Eigenschaften gelten für Determinanten:

1. Vertauscht man 2 Spalten oder Zeilen so gilt:  $|A| \rightarrow -|A|$
2. Multipliziert man eine Zeile oder Spalte, dann:  $|A| \rightarrow a \cdot |A|$
3. addiert man ein Vielfaches einer Zeile/Spalte zu einer anderen Zeile/Spalte, dann:  $|A| = |A|$
4.  $|A| = |A^T|$
5.  $|AB| = |A| \cdot |B|$

**Def. 1.18: Funktionaldeterminante**

Die Funktionaldeterminante gibt die lokale Flächenvergrößerung bei folgender Abbildung:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} f(x, y) \\ g(x, y) \end{pmatrix} : D \rightarrow \mathbb{R}^2$$

Dabei ist die Funktionaldeterminante wie folgt definiert:

$$\frac{\partial(f, g)}{\partial(x, y)}$$

**Def. 1.19: Inverse Matrix**

Eine  $n \times n$  Matrix  $A$  ist singulär, falls  $|A| = 0$ . Sonst heißt sie regulär oder nicht singulär.  $A$  sei nun regulär, dann gilt:

$$A^{-1} : A \cdot A^{-1} = A^{-1} \cdot A = I$$

$$A^{-1} = \frac{1}{\|A\|} \cdot (A_{ij}^T)$$

Weiters gilt für die Inverse Matrix:

$$(i) \quad |A^{-1}| = \frac{1}{|A|}$$

$$(ii) \quad (AB)^{-1} = B^{-1} \cdot A^{-1}$$

$$(iii) \quad (A^T)^{-1} = (A^{-1})^T$$

**1.4 Lineartransformation****Def. 1.20: Lineartransformation**

Eine Abbildung  $A : U \rightarrow V$  ( $U, V$  sind Vektorräume) heißt linear, wenn gilt:

$$(i) \text{ Additivität: } A(\vec{u} + \vec{v}) = A(\vec{u}) + A(\vec{v})$$

$$(ii) \text{ Homogenität: } A(\lambda \cdot \vec{u}) = \lambda \cdot A(\vec{u})$$

**1.5 Lineare Gleichungssysteme****Def. 1.21: Lineare Gleichungssysteme**

Gleichungen der Form  $A\vec{x} = \vec{a}$  sind lineare Gleichungssysteme.  $A$  ist eine  $m \times n$  Matrix und  $\vec{a}$  ist der Störvektor. Es wird  $\vec{x}$  gesucht, welcher der *Least Squares* Approximation entspricht.

**Def. 1.22: Rang einer Matrix**

Der Rang ist die maximale Anzahl an linear unabhängigen Spaltenvektoren in einem System. Der Rang ändert sich nicht, wenn:

1. 2 Zeilen oder Spalten vertauscht werden.
2. Zeilen oder Spalten multipliziert werden.
3. Vielfache von Zeilen oder Spalten zu anderen addiert werden.
4. Zeilen und Spalten vertauscht sind ( $\text{rg}(A) = \text{rg}(A^T)$ ).

**Rangkriterium:**

- Ein lineares Gleichungssystem ist genau dann lösbar, wenn  $\text{rg}(A) = \text{rg}(A | \vec{a})$
- Ist das lin. Gleichungssystem lösbar, dann erfüllen die Lösungen d. GLS eine Ebene der Dimension  $n - \text{Rang}(A)$

**Ausgleichsrechnung:**

Wenn ein GLS überbestimmt ist gibt es keine Lösung. Nun sei:

$$A \cdot \vec{x} \neq \vec{a} \iff A \cdot \vec{x} - \vec{a} \neq 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}^n$$

$$\|A \cdot \vec{x} - \vec{a}\| > 0 \quad (\text{Fehlerquadrat})$$

$$\longrightarrow A^T \cdot A \cdot \vec{x}^* = A^T \cdot \vec{a} \quad (\vec{x}^* \text{ minimierter Fehler})$$

## 1.6 Eigenwert Problem

### Def. 1.23: Orthogonale Matrix

Eine Matrix heißt orthogonal, wenn  $A \cdot A^T = I$ . Sie sind also nicht singulär ( $A^{-1} = A^T$ ). Die Zeilen und Spaltenvektoren bilden eine orthonormal Basis. Sind A, B orthogonal, dann auch I, AB,  $A^{-1}$ ,  $A^T$ . Geometrisch ist eine orthogonale Matrix eine Drehung oder Spiegelung.

### Def. 1.24: Eigenwertproblem

A sei eine  $n \times n$  Matrix. Gesucht ist  $A \cdot x = \lambda \cdot x$ .  $\lambda \in \mathbb{R}^n$  ist hier der Eigenwerte und dazugehörige Vektoren sind Eigenvektoren (ein Vektor der auf sich selbst abbildet).

$$A \cdot \vec{x} = \lambda \cdot I \cdot \vec{x}$$

$$A \cdot \vec{x} - \lambda I \vec{x} = \vec{0}$$

$$(A - \lambda I) \cdot \vec{x} = 0$$

Eigenwerte sind jene  $\lambda$  für die gilt (charakteristisches Polynom):

$$\det(A - \lambda I) = 0$$

### Def. 1.25: Transformation auf Diagonalgestalt

A sei eine  $n \times n$  Matrix. A ist genau dann äquivalent zu einer Diagonalmatrix, wenn sie n linear unabhängige EV besitzt.

$$A \cdot \vec{x}_1 = \lambda_1 \cdot \vec{x}_1$$

$$\vdots$$

$$A \cdot \vec{x}_n = \lambda_n \cdot \vec{x}_n$$

$\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_n$  sind dabei lin. unabhängige EV. Es sei nun  $S = (\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_n)$ , somit gilt:

$$S^{-1}AS = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}$$

Bei symmetrischen Matrizen hat man immer Diagonalisierbarkeit und die Eigenwerte sind immer reel.

### Def. 1.26: Hauptachsentransformation

Man betrachte Quadriken der Form

$$q(\vec{x}) = \vec{x}^T \cdot A \cdot \vec{x} = a \quad (A = A^T)$$

$$A = S^{-1}DS \rightarrow D = S^{-1}AS$$

$$q(\vec{x}') = \vec{x}'^T \cdot D \cdot \vec{x}'$$



## 1.7 Lineare Differentialgleichung

### 1.7.1 Lin. DG erster Ordnung

#### Def. 1.27: Homogener Fall

$$\begin{aligned}y'(x) &= f(x)y(x) \\ \vec{y}'(t) &= A \cdot \vec{y}(t) \\ \rightarrow y(x) &= c \cdot e^{\int f(x) dx} \\ \rightarrow y(x) &= e^{At} \cdot \vec{c}\end{aligned}$$

#### Def. 1.28: Inhomogener fall

$$\begin{aligned}y'(x) &= f(x) \cdot y(x) + g(x) \\ \rightarrow y &= y_h + y_p \\ \rightarrow y_h &= c \cdot e^{\int f(x) dx} \\ \rightarrow y_p &= y_h \cdot \int \frac{g(x)}{y_h} dx\end{aligned}$$

## 2 Differentialrechnung in zwei oder mehr Variablen

### 2.1 Partielle Ableitung

#### Def. 2.1: Partielle Ableitung

Eine Funktion ist partiell differenzierbar, falls die Ableitung an der Stelle nach einer Variablen differenzierbar ist. Sie heißt total oder absolut differenzierbar, falls beide partiellen Ableitungen vorhanden sind.

Kettenregel:

$$\begin{aligned}g(t) &= f(x(t), y(t)) \\ \Rightarrow g'(t) &= \frac{d}{dt} f(x(t), y(t)) \\ &= f_x(x(t), y(t)) \cdot x'(t) + f_y(x(t), y(t)) \cdot y'(t) \\ g'(t) &= f_x(x, y) \cdot x' + f_y(x, y) \cdot y'\end{aligned}$$

Schwarzscher Vertauschbarkeitssatz:

$$f_{xy} = f_{yx}$$

**Def. 2.2: Richtungsableitung**

Gerade durch Punkt  $A = (a, b)$  mit  $A + te \quad t \in \mathbb{R}, e = (\cos(\varphi), \sin(\varphi))^T$

$$\frac{d}{dt} f(A + te) \big|_{t=0} = f_x(a, b) \cdot \cos \varphi + f_y(a, b) \cdot \sin \varphi = \frac{\partial f}{\partial e}$$

$$\text{grad } f(a, b) = \begin{pmatrix} f_x(a, b) \\ f_y(a, b) \end{pmatrix}$$

$$\frac{\partial f}{\partial e} A = \text{grad } f(A) \cdot e$$

## 2.2 Taylorformel

**Def. 2.3: Taylorformel**

Man schränkt eine Funktion  $f : D \rightarrow \mathbb{R}$  auf eine Strecke  $[A, C] \subset D$  ein ( $A = (a, b)^T, C = (c, d)^T$ ).  
Man erhält eine Funktion mit der Gestalt:

$$g(t) = f(A + t \cdot (C - A)), \quad t \in [0, 1]$$

$$\Rightarrow g'(t) = f_x(a + t(C - A)) \cdot (C - A) + f_y(a + t(C - A)) \cdot (d - b)$$

**Def. 2.4: Lokale Gestalt eines Flächenstücks**

Tangentialebene an  $A \in D$  an der Stelle  $(A, f(A))$ :

$$z = f(A) + f_x(A) \cdot (x - a) + f_y(A) \cdot (y - b)$$

$$\text{Normalvektor: } N = \begin{pmatrix} f_x(A) \\ f_y(A) \\ -1 \end{pmatrix}$$

**Def. 2.5: Schmiegeparaboloid der Fläche**

Wenn  $f : D \rightarrow \mathbb{R}$  stetige partielle Ableitungen 2. Ordnung hat, dann gibt es Schmiegeparaboloide.

...

- $q$  ist positiv oder negativ definit  $[f_{xx}(A) \cdot f_{yy}(A) - f_{xy}(A)^2 > 0] \rightarrow$  elliptisch
- $q$  ist indefinit  $[f_{xx}(A) \cdot f_{yy}(A) - f_{xy}(A)^2 < 0] \rightarrow$  hyperbolisch
- $q$  ist positiv oder negativ semidefinit  $[f_{xx}(A) \cdot f_{yy}(A) - f_{xy}(A)^2 = 0] \rightarrow$  parabolisch

## 2.3 Maxima und Minima

### Def. 2.6: Innere Extremstellen

Es sei  $f : D \rightarrow \mathbb{R}$  differenzierbar und  $a$  sei Stelle eines lokalen Extremum, wenn gilt:

$$f_x(a) = 0 \quad \text{und} \quad f_y(a) = 0$$

$$\text{grad } f(a) = 0$$

Leibnizsches Kriterium:

- $f_{xx}(a) \cdot f_{yy}(a) - f_{xy}(a)^2 > 0$  und  $f_{xx}(a) > 0 \rightarrow$  lokales Minimum
- $f_{xx}(a) \cdot f_{yy}(a) - f_{xy}(a)^2 > 0$  und  $f_{xx}(a) < 0 \rightarrow$  lokales Maximum
- $f_{xx}(a) \cdot f_{yy}(a) - f_{xy}(a)^2 < 0 \rightarrow$  keine Extremstelle (Sattelpunkt)
- $f_{xx}(a) \cdot f_{yy}(a) - f_{xy}(a)^2 = 0 \rightarrow$  alle Fälle möglich

### Def. 2.7: Extrema unter Nebenbedingungen

...

## 3 Multivariate Integralrechnung

### 3.1 Doppel- und Dreifach Integrale

#### Def. 3.1: Integrationsbereiche

Endlich viele Kurvenstücke der Form:

$$y = f(x) \quad x \in I$$

$$x = g(y) \quad y \in J$$

Grundeigenschaften ( $f, g$  sind integrierbar,  $a \in \mathbb{R}$ ):

1.  $a \cdot f$  ist integrierbar und

$$\iint_D a f \, dx \, dy = a \cdot \iint_D f \, dx \, dy$$

2.  $f + g$  ist integrierbar und

$$\iint_D (f + g) \, dx \, dy = \iint_D f \, dx \, dy + \iint_D g \, dx \, dy$$

3.  $|f|$  ist integrierbar und

$$\left| \iint_D f \, dx \, dy \right| \leq \iint_D |f| \, dx \, dy$$

4. Cauchy Schwarzsche Ungleichung

$$\langle f, g \rangle = \iint_D f g \, dx \, dy \leq \left( \iint_D f^2 \, dx \, dy \right)^{1/2} \cdot \left( \iint_D g^2 \, dx \, dy \right)^{1/2}$$

$$|\langle x, y \rangle|^2 \leq \langle x, x \rangle \cdot \langle y, y \rangle$$

5. Dreiecksungleichung

$$\sqrt{\iint_D (f + g)^2 \, dx \, dy} \leq \sqrt{\iint_D f^2 \, dx \, dy} + \sqrt{\iint_D g^2 \, dx \, dy}$$

**Def. 3.2: Methoden zur Berechnung****Rückführung auf Einfachintegrale:** (Variable im inneren Integral)

$$D = \{(x, y) : a \leq x \leq b, \quad \gamma(x) \leq y \leq \delta(x)\}$$

$$\iint_D f(x, y) \, dx \, dy = \int_a^b \left( \int_{\gamma(x)}^{\delta(x)} f(x, y) \, dy \right) dx$$

Wenn  $f(x, y) = g(x)h(y)$ , dann:

$$\iint_{\substack{a \leq x \leq b \\ c \leq y \leq d}} g(x)h(y) \, dx \, dy = \int_a^b g(x) \, dx \cdot \int_c^d h(y) \, dy$$

**Transformation von Doppelintegralen**

...

**Differentiation von Parametern**

...

**Def. 3.3: Inhalt von Flächenstücken/Oberflächen**Es sei eine Funktion  $f : D \rightarrow \mathbb{R}$  und  $F = \left\{ (x, y, z) : (x, y) \in D, \quad z = f(x, y) \right\}$  die Fläche in expliziter Darstellung.

$$I(F) = |F| \quad (\text{Flächeninhalt})$$

$$I(F) = \iint_D \sqrt{1 + f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2} \, dx \, dy$$

F in Parameterform  $F = \left\{ X(u, v) : (u, v) \in D \right\}$  mit  $X = \begin{pmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{pmatrix}$ .

$$I(F) = \iint_D \| X_u(u, v) \times X_v(u, v) \| \, du \, dv$$

Dabei sind:

$$X_u(u, v) \times X_v(u, v) \rightarrow \text{Flächennormalvektor}$$

$$X_u = \begin{pmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{pmatrix}$$

### 3.2 Vektorfelder

**Def. 3.4: Potentialfelder**

Potentialfelder oder auch Gradientenfelder (konservative Vektorfelder)  $V : G(x\mathbb{R}) \rightarrow \mathbb{R}^2$  oder  $\mathbb{R}^3$ , wenn es dazu ein Skalarfeld  $P : G(x\mathbb{R}) \rightarrow \mathbb{R}$  gibt mit:

$$v = \text{grad } P = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix}$$

Dabei stellt  $P(X) = P(x, y, z) = c$ ,  $c \in \mathbb{R}$  die Potentialfläche dar. Jeder Vektor  $v(a) = \text{grad } P(a)$  ist senkrecht auf die Potentialfläche.

**Kriterium für Potentialfelder:** ( $v : G \rightarrow \mathbb{R}^2$  oder  $\mathbb{R}^3$ )

1.  $G$  ist einfach zusammenhängend (keine Löcher)
2.  $v$  hat stetige partielle Ableitungen
3. Integrabilitäts Bedingung:  $v_x - u_y = 0$  im  $\mathbb{R}^2$ , bzw.  $w_y - v_z = u_z - w_x = v_x - u_y = 0$  im  $\mathbb{R}^3$

$$v(X) = \begin{pmatrix} u(x) \\ v(x) \\ w(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_x(x) \\ P_y(x) \\ P_z(x) \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} w_y - v_z &= P_{zy} - P_{yz} = 0 \\ \longrightarrow u_z - w_x &= P_{xz} - P_{zx} = 0 \\ v_x - u_y &= P_{yx} - P_{xy} = 0 \end{aligned}$$

### 3.3 Kurvenintegrale

**Def. 3.5: Kurvenintegrale**
**Existenzsatz:**

Es sei ein Vektorfeld  $v : G \rightarrow \mathbb{R}^{2/3}$ .

$$\int_C v dx = \int_a^b v(x(t)) \cdot \dot{x}(t) dt$$

**Satz: Kurvenintegrale auf Potentialfeldern**

$$\int_c v dx = P(x(b)) - P(x(a))$$

Kurvenintegrale sind wegunabhängig. Bei geschlossenen Kurven ist  $\oint v = 0$

**Satz: Bestimmung von Potentialen**

Weiß man, dass ein stetiges Vektorfeld  $v$  ein Potentialfeld ist, dann erhält man ein Potential  $P$  auf folgende Weise:

$$P(X) = \int_a^x v dy \quad \text{für } x \in G$$

**Def. 3.6: Exakte Differentialgleichung**

$f(x, y) + g(x, y) \cdot y' = 0$  heißt exakt, wenn  $\exists F : G \rightarrow \mathbb{R}$  und  $F_x = f$ ,  $F_y = g$ . Sprich  $F$  ist eine Stammfunktion von  $f$  und  $g$ . Lösung: es gilt  $F(x, y(x)) = \text{const}$

$$g(a, b) \neq 0 \rightarrow y(a) = b$$

$$\Rightarrow F(x, y) = F(a, b)$$

**3.4 Oberflächenintegrale**

## 4 Altfragen von 12.10.2023

### ? Frage 1

Definieren Sie einen Vektorraum (Rechenregeln).

### ? Frage 2

Flächen- und Oberflächenintegrale einer Kugel in Polarkoordinaten

### ? Frage 3

Vektoren im  $\mathbb{R}^2$  und herleiten der Parallelogrammformel.

### ? Frage 4

Differentialgleichung

### ? Frage 5

Kreuzerlfragen zu Statistik

## 5 Altfragen 12.01.2024

### ? Frage 1

Es sei die Matrix  $A = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$ . Finden sie alle Eigenwerte und die dazugehörigen Eigenvektoren.

$$\lambda_1 = -1; \quad \lambda_2 = 2; \quad \lambda_3 = -2$$

$$EV(-2) = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$EV(2) = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$EV(-1) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

### ? Frage 2

Es sei  $y'' + 9y = \cos 3x$  gegeben. Finden Sie die allgemeine Lösung. Weiters finden sie die Lösung mit den Anfangswerten  $y(0) = 0$ ;  $y'(0) = 3$

Allgemeine Lösung:

$$y(x) = C_2 \cos(3x) + \left(C_1 + \frac{x}{6}\right) \sin(3x)$$

Mit den Anfangswerten:  $y(0) = 0$   $y'(0) = 3$ :

$$y(x) = \left(\frac{x}{6} + 1\right) \sin(3x)$$

### ? Frage 3

Es sind folgende Integrale (Gauß'sches Fehlerintegral) gegeben:

$$I(a) = \iint_{\substack{-a \leq x \leq a \\ -a \leq y \leq a}} e^{-(x^2+y^2)} dx dy, \quad J(a) = \int_{-a}^a e^{-x^2} dx, \quad K(a) = \iint_{x^2+y^2 \leq a^2} e^{-(x^2+y^2)} dx dy$$

Zeigen Sie, dass:  $J(a)^2 = I(a)$ ;  $K(a) \leq I(a) \leq K(\sqrt{2}a)$ ;  $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \lim_{a \rightarrow \infty} J(a)$

Es gilt der Satz:

$$\iint_{\substack{a \leq x \leq b \\ c \leq y \leq d}} g(x)h(y) dx dy = \int_a^b g(x) dx \int_c^d h(y) dy$$

Deshalb wird aus ...



**? Frage 4** $Z = f(x, y) \dots???$