

# Diskrete Mathematik

Patrick Bucher & Lukas Arnold

6. Juni 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Foundations</b>	<b>2</b>	4.10 Poissonverteilung . . . . .	4
1.1 Operationen . . . . .	2	4.11 W'keitsverteilung einer Zufallsvariablen .	4
1.2 Prioritäten der Operationen . . . . .	2	4.12 Erwartungswert einer Zufallsvariable . . .	4
1.3 Tautologie & Kontraktion . . . . .	2	4.13 Varianz einer Zufallsvariable . . . . .	4
1.4 Logische Äquivalenzgesetze . . . . .	2	4.14 Standardabweichung einer Zufallsvariable	5
1.5 Äquivalenzgesetze . . . . .	2	<b>5 Advanced Counting Techniques</b>	<b>5</b>
1.6 Quantifikatoren . . . . .	3	5.1 Rekursionsbeziehungen . . . . .	5
1.7 Negation von Quantifikatoren . . . . .	3	5.2 Erzeugende Funktion . . . . .	5
1.8 Beweise . . . . .	3	5.3 Ein- / Ausschlussprinzip . . . . .	5
<b>2 Basic Structures</b>	<b>3</b>	5.4 Anzahl Derangements . . . . .	5
2.1 Mengen . . . . .	3	<b>6 Zahlentheorie</b>	<b>5</b>
2.2 Spezielle Menegen . . . . .	3	6.1 Division mit Rest . . . . .	5
2.3 Mengenoperationen . . . . .	3	6.2 Kongruenz modulo $n$ . . . . .	5
2.4 Rechenregeln für Mengen . . . . .	3	6.3 Euklidische Algorithmus . . . . .	5
2.5 Definition von Funktionen . . . . .	3	6.4 Diophantischer Gleichung . . . . .	5
2.6 Arten von Funktionen . . . . .	3	6.5 erweiterter Euklidischer Algorithmus . . .	5
2.7 Zusammengesetzte Funktion . . . . .	3	6.6 Chinesischer Restsatz . . . . .	5
2.8 Umkehrfunktion . . . . .	3	6.7 Eulersche $\phi$ -Funktion . . . . .	5
2.9 <i>ceiling</i> und <i>floor</i> -Funktion . . . . .	3	6.8 Primzahl . . . . .	5
2.10 Folgen . . . . .	3	6.9 kleiner Satz von Fermat . . . . .	5
2.11 Reihen . . . . .	3	6.10 Primzahltest von Wilson . . . . .	5
2.12 Summenformeln . . . . .	3	6.11 Restklassen . . . . .	5
<b>3 Fundamentals</b>	<b>3</b>	6.12 Rechenregeln für modularen Rechnen . .	5
3.1 Wachstum von Funktionen . . . . .	3	6.13 Potenzieren modulo $n$ . . . . .	5
3.2 Exponentialfunktionen . . . . .	4	6.14 Square and Multiply Algorithm . . . . .	5
3.3 Logarithmusfunktionen . . . . .	4	6.15 Nullteiler . . . . .	5
3.4 Komplexität von Algorithmen . . . . .	4	6.16 Inverse Elemente . . . . .	6
3.5 Zahlen und Division . . . . .	4	6.17 Primitive Elemente / Erzeugende . . . . .	6
3.6 Primzahl . . . . .	4	6.18 Einwegfunktionen . . . . .	6
3.7 Mersenne Primes . . . . .	4	6.19 Modulare Quadratwurzeln . . . . .	6
3.8 Primzahlsatz . . . . .	4	6.20 diskrete Logarithmus . . . . .	6
3.9 ggT und kgV . . . . .	4	<b>7 Graphentheorie 1</b>	<b>6</b>
3.10 Kongruenz . . . . .	4	7.1 (Ecken)grade . . . . .	6
<b>4 Diskrete Wahrscheinlichkeitsrechnung</b>	<b>4</b>	7.2 Wichtige Graphen . . . . .	6
4.1 Wahrscheinlichkeit nach Laplace . . . .	4	7.3 Baum . . . . .	6
4.2 Komplement der Wahrscheinlichkeit . .	4	7.4 Page-Rank-Algorithmus . . . . .	6
4.3 Additionsregel . . . . .	4	7.5 Matrizen . . . . .	6
4.4 Bedingte Wahrscheinlichkeit . . . . .	4	7.6 Wege und Kreise . . . . .	6
4.5 Unabhängige Ereignisse . . . . .	4	<b>8 Graphentheorie 2</b>	<b>6</b>
4.6 Satz der totalen Wahrscheinlichkeit . . .	4	8.1 Satz von Euler . . . . .	6
4.7 Satz von Bayes . . . . .	4	8.2 Satz von Kuratovsky . . . . .	6
4.8 Binomialverteilung . . . . .	4	8.3 Färbungen . . . . .	6
4.9 Hypergeometrische Verteilung . . . . .	4	8.4 Dekompositionsgleichung . . . . .	7
		8.5 Gerüste . . . . .	7

## 9 Graphentheorie 3

## 7

## 1 Foundations

## 1.1 Operationen

Negation	$\neg p$	<i>Verneinung</i>
Konjunktion	$p \wedge q$	<i>Und-Verknüpfung</i>
Disjunktion	$p \vee q$	<i>Oder-Verknüpfung</i>
EXOR	$p \oplus q$	<i>Exklusiv-Oder</i>
Implikation	$p \rightarrow q$	<i>falls p dann q</i>
Bikonditional	$p \leftrightarrow q$	<i>p genau dann wenn q</i>

## 1.2 Prioritäten der Operationen

$\neg$	$\wedge$	$\vee$	$\oplus$	$\rightarrow$	$\leftrightarrow$
1	2	3	4	5	6

## 1.3 Tautologie &amp; Kontraktion

Tautologie	$p \vee \neg p$	<i>immer wahre Aussage</i>
Kontraktion	$p \wedge \neg p$	<i>immer falsche Aussage</i>

## 1.4 Logische Äquivalenzgesetze

Identität	$p \wedge \mathbf{T} \equiv p$	$p \vee \mathbf{F} \equiv p$
Dominanz	$p \vee \mathbf{T} \equiv \mathbf{T}$	$p \wedge \mathbf{F} \equiv \mathbf{F}$
Negation	$p \vee \neg p \equiv \mathbf{T}$	$p \wedge \neg p \equiv \mathbf{F}$
Assoziativ 1	$(p \vee q) \vee r \equiv p \vee (q \vee r)$	
Assoziativ 2	$(p \wedge q) \wedge r \equiv p \wedge (q \wedge r)$	
Distributiv 1	$p \vee (q \wedge r) \equiv (p \vee q) \wedge (p \vee r)$	
Distributiv 2	$p \wedge (q \vee r) \equiv (p \wedge q) \vee (p \wedge r)$	
De Morgan's 1	$\neg(p \wedge q) \equiv \neg p \vee \neg q$	
De Morgan's 2	$\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$	

## 1.5 Äquivalenzgesetze

$$\begin{aligned}
 p \rightarrow q &\equiv \neg p \vee q \\
 p \rightarrow q &\equiv \neg q \rightarrow \neg p \\
 p \vee q &\equiv \neg p \rightarrow q \\
 p \wedge q &\equiv \neg(p \rightarrow \neg q) \\
 \neg(p \rightarrow q) &\equiv p \wedge \neg q
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p \leftrightarrow q &\equiv (p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p) \\
 p \leftrightarrow q &\equiv \neg p \leftrightarrow \neg q \\
 p \leftrightarrow q &\equiv (p \wedge q) \vee (\neg p \wedge \neg q) \\
 \neg(p \leftrightarrow q) &\equiv p \leftrightarrow \neg q
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p \rightarrow (q \wedge r) &\equiv (p \rightarrow q) \wedge (p \rightarrow r) \\
 (p \vee q) \rightarrow r &\equiv (p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r) \\
 p \rightarrow (q \vee r) &\equiv (p \rightarrow q) \vee (p \rightarrow r) \\
 (p \wedge q) \rightarrow r &\equiv (p \rightarrow r) \vee (q \rightarrow r)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p \oplus q &\equiv (p \vee q) \wedge (\neg p \vee \neg q) \\
 \neg(p \oplus q) &\equiv (p \wedge q) \vee (\neg p \wedge \neg q) \\
 \neg(p \oplus q) &\equiv p \leftrightarrow q
 \end{aligned}$$

## 1.6 Quantifikatoren

For All	$\forall$	für alle $x$ aus $P$ wahr
Exists	$\exists$	für mindestens ein $x$ aus $P$ wahr
Not Exists	$\neg\exists$	für alle $x$ aus $P$ falsch
Not For All	$\neg\forall$	für mindestens ein $x$ aus $P$ falsch

## 1.7 Negation von Quantifikatoren

$\neg\exists x P(x)$	$\equiv$	$\forall x \neg P(x)$
$\neg\forall x P(x)$	$\equiv$	$\exists x \neg P(x)$

## 1.8 Beweise

direkter Beweis	$p \rightarrow q$
indirekter Beweis	$\neg q \rightarrow \neg p$
Widerspruch	$\neg p \rightarrow q$
Vorgehen Widerspruch	$(\neg p \rightarrow \mathbf{f}) \Rightarrow (p \rightarrow \mathbf{w})$

## 2 Basic Structures

### 2.1 Mengen

$\mathbb{N} = \{1, 2, \dots\}$   
 $\mathbb{N}_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$   
 $\mathbb{Z} = \{\dots, -1, 0, 1, 2, \dots\}$   
 $\mathbb{Z}^+ = \{1, 2, \dots\}$   
 $\mathbb{Q} = \{p/q | p \in \mathbb{Z} \wedge q \in \mathbb{N}\}$   
 $\mathbb{R}$ : die Menge der reellen Zahlen  
 $\mathbb{C}$ : die Menge der komplexen Zahlen

### 2.2 Spezielle Mengen

Teilmenge:	$A \subset B \equiv \forall x (x \in A \rightarrow x \in B)$
Leere Menge:	$\emptyset \subset A$ gilt für jede Menge $A$
Kardinalität:	$ S $ beschreibt Anzahl Elemente von $A$
Potenzmenge:	$P(S) = 2^S = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}\}$
Kreuzprodukt:	$A \times B = \{(a, b)   a \in A \wedge b \in B\}$

### 2.3 Mengenoperationen

Komplement:	$A^c = \overline{A} = \{m \in M : m \notin A\}$
Durchschnitt:	$A \cap B = \{m \in M   m \in A \wedge m \in B\}$
Vereinigung:	$A \cup B = \{m \in M   m \in A \vee m \in B\}$
Differenz:	$B - A = \{m \in M   m \in B \wedge m \notin A\}$

### 2.4 Rechenregeln für Mengen

Kommutativgesetz	$A \cup B = B \cup A$
Kommutativgesetz	$A \cap B = B \cap A$
Assoziativgesetz	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C$
Assoziativgesetz	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$
Distributivgesetz	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
Distributivgesetz	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
De Morgan's Gesetz	$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$
De Morgan's Gesetz	$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$

## 2.5 Definition von Funktionen

$$f: X \rightarrow Y \quad x \mapsto f(x) \quad f: x \mapsto f(x)$$

$$f(x) := \begin{cases} 5 & \text{für } x < 0 \\ x^2 + 5 & \text{für } x \in [0, 2] \\ 0.5x + 8 & \text{für } x > 2 \end{cases}$$

## 2.6 Arten von Funktionen

injektiv	auf jedes Element in $Y$ zeigt höchstens ein Pfeil
surjektiv	auf jedes Element in $Y$ zeigt mindestens ein Pfeil
bijektiv	auf jedes Element in $Y$ zeigt genau ein Pfeil

## 2.7 Zusammengesetzte Funktion

$$g: X \rightarrow U \quad x \mapsto g(x)$$

$$f: U \rightarrow Y \quad u \mapsto f(u)$$

$$F = f \circ g: X \rightarrow Y \quad x \mapsto f(g(x))$$

## 2.8 Umkehrfunktion

$$y = f(x) \quad x = f^{-1}(y)$$

$$(f^{-1} \circ f)(x) = f^{-1}(f(x)) = x$$

$$(f^{-1} \circ f)(y) = f^{-1}(f(y)) = y$$

## 2.9 ceiling und floor-Funktion

$$\lceil \cdot \rceil: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{Z}, x \mapsto \lceil x \rceil = \min\{n \in \mathbb{Z} | x \leq n\}$$

$$\lfloor \cdot \rfloor: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{Z}, x \mapsto \lfloor x \rfloor = \max\{n \in \mathbb{Z} | n \leq x\}$$

## 2.10 Folgen

harmonisch	$a_k = 1/k$
geometrisch	$a_k = a_0 * q^k$
arithmetisch	$a_k = a_0 + (k * d)$

## 2.11 Reihen

harmonisch	$\sum_{k=1}^n 1/k$
geometrisch	$a_0 * \sum_{k=0}^{n-1} q^k = a_0 \frac{q^n - 1}{q - 1}$
arithmetisch	$\sum_{k=0}^{n-1} (a_0 + kd) = n \frac{a_0 + a_{n-1}}{2}$

## 2.12 Summenformeln

$$\sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$\sum_{k=1}^n k^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

$$\sum_{k=1}^n k^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$$

$$\sum_{k=0}^n x^k, |x| < 1 = \frac{1}{1-x}$$

$$\sum_{k=1}^n kx^{k-1}, |x| < 1 = \frac{1}{(1-x)^2}$$

## 3 Fundamentals

### 3.1 Wachstum von Funktionen

$f =$  "sehr komplizierte Funktion"  
 $g =$  "einfachere Funktion"  
 $|f(x)| \leq C|g(x)|, \forall x > k$   
 $f(x) = \mathcal{O}(g(x))$

### 3.2 Exponentialfunktionen

$$\begin{aligned}a^r * a^s &= a^{r+s} \\ \frac{a^r}{a^s} &= a^{r-s} \\ (a^r)^s &= (a^s)^r = a^{r*s}\end{aligned}$$

### 3.3 Logarithmusfunktionen

$$\begin{aligned}\log_a(u * v) &= \log_a(u) + \log_a(v) \\ \log_a\left(\frac{u}{v}\right) &= \log_a(u) - \log_a(v) \\ \log_a(u^v) &= v * \log_a(u)\end{aligned}$$

### 3.4 Komplexität von Algorithmen

konstant	$O(1)$
logarithmisch	$O(\log n)$
linear	$O(n)$
$n \log n$	$O(n * \log n)$
polynomial	$O(n^b)$
exponentiell	$O(b^n), b > 1$
faktorielle	$O(n!)$

### 3.5 Zahlen und Division

$$\begin{aligned}a|b \wedge a|c &\rightarrow a|(b+c) \\ a|b &\rightarrow \forall c(a|bc) \\ a|b \wedge b|c &\rightarrow a|c\end{aligned}$$

### 3.6 Primzahl

$$\exists a(a|n \wedge 1 < a < n)$$

### 3.7 Mersenne Primes

$$M_n = 2^p - 1, p \in \text{"Primzahlen"}$$

### 3.8 Primzahlsatz

$$\pi(x) \approx \frac{x}{\ln(x)}$$

### 3.9 ggT und kgV

$$\begin{aligned}a &= dq + r, \text{ wobei } (0 \leq r < d) \\ q &= a \text{ div } d \text{ und } r = a \bmod d \\ ab &= ggT(a, b) * kgV(a, b)\end{aligned}$$

### 3.10 Kongruenz

$$a \equiv b \bmod m, m|(a-b)$$

## 4 Diskrete Wahrscheinlichkeitsrechnung

### 4.1 Wahrscheinlichkeit nach Laplace

$$p(A) = \frac{|A|}{|S|} = \frac{\text{Anzahl guenstige}}{\text{Anzahl moegliche}}$$

### 4.2 Komplement der Wahrscheinlichkeit

$$p(\bar{A}) = 1 - p(A)$$

### 4.3 Additionsregel

$$p(A_1 \cup A_2) = p(A_1) + p(A_2) - p(A_1 \cap A_2)$$

### 4.4 Bedingte Wahrscheinlichkeit

$$p(A|B) = \frac{p(A \cap B)}{p(B)}$$

### 4.5 Unabhängige Ereignisse

$$p(A|B) = \frac{p(A \cap B)}{p(B)} = \frac{p(A)p(B)}{p(B)} = p(A)$$

### 4.6 Satz der totalen Wahrscheinlichkeit

$$\begin{aligned}p(A) &= \sum_{i=1}^k p(A \cap B_i) = \sum_{i=1}^k p(A|B_i) \cdot p(B_i) \\ p(A|C) &= \frac{1}{p(C)} \sum_{i=1}^k p(A \cap (B_i \cap C)) \\ p(A|C) &= \sum_{i=1}^k p(A|B_i) \cdot p(B_i|C)\end{aligned}$$

Spezialfall für 2 Mengen:

$$p(A) = p(A|B) \cdot p(B) + p(A|\bar{B}) \cdot p(\bar{B})$$

### 4.7 Satz von Bayes

$$p(B_j|A) = \frac{p(A|B_j) \cdot p(B_j)}{p(A)} = \frac{p(A|B_j) \cdot p(B_j)}{\sum_{i=1}^k p(A|B_i) \cdot p(B_i)}$$

Spezialfall für 2 Mengen:

$$p(B|A) = \frac{p(A|B) \cdot p(B)}{p(A|B) \cdot p(B) + p(A|\bar{B}) \cdot p(\bar{B})}$$

### 4.8 Binomialverteilung

$$\begin{aligned}B(k|n, p) &= B_{n,p}(k) = C(n, k) p^k (1-p)^{n-k} \\ B(k|n, p) &= \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}\end{aligned}$$

Bedingung:

$$p = M/N \text{ und } n \leq M/10 \leq (N-M)/10$$

### 4.9 Hypergeometrische Verteilung

$$p(k) = \frac{\binom{M}{k} \binom{N-M}{n-k}}{\binom{N}{n}}$$

### 4.10 Poissonverteilung

$$f(k) = \frac{u^k}{k!} e^{-u}$$

Bedingung:

$$u = np \text{ und } p \leq 0.1, n \geq 100$$

### 4.11 W'keitsverteilung einer Zufallsvariablen

$$\{(r, p(X=r)) | \forall r \in X(S)\}$$

### 4.12 Erwartungswert einer Zufallsvariable

$$E(C) = \sum_{s \in S} X(s) \cdot p(s) = \sum_{r \in X(S)} r \cdot p(X=r)$$

### 4.13 Varianz einer Zufallsvariable

$$\begin{aligned}V(X) &= \sum_{s \in S} (X(s) - E(X))^2 \cdot p(s) \\ V(X) &= \sum_{r \in X(S)} (r - E(X))^2 \cdot p(X=r)\end{aligned}$$

#### 4.14 Standardabweichung einer Zufallsvariable

$$\sigma(X) = \sqrt{V(X)}$$

### 5 Advanced Counting Techniques

#### 5.1 Rekursionsbeziehungen

$$a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_2, a_1), \forall n \geq n_0, n_0 \in \mathbb{N}^+$$

#### 5.2 Erzeugende Funktion

$$G(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k$$

#### 5.3 Ein- / Ausschlussprinzip

$$|A \cup B| = |A| + |B| - |A \cap B|$$

#### 5.4 Anzahl Derangements

$$D_n = n! \left[ 1 - \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} - \frac{1}{3!} + \dots + \frac{(-1)^n}{n!} \right]$$

### 6 Zahlentheorie

#### 6.1 Division mit Rest

$$A = q * n + r \text{ wobei } 0 \leq r < |n|$$

#### 6.2 Kongruenz modulo n

$$\begin{aligned} a \equiv b \pmod{n} &\iff n \mid (a - b) \\ &\iff \exists q : a - b = q * n \\ &\iff \exists q : a = b + q * n \end{aligned}$$

#### 6.3 Euklidischer Algorithmus

$$\begin{array}{rclcl} 963 & = & 4 & * & 218 & + & 91 \\ 218 & = & 2 & * & 91 & + & 36 \\ 91 & = & 2 & * & 36 & + & 19 \\ 36 & = & 1 & * & 19 & + & 17 \\ 19 & = & 1 & * & 17 & + & 2 \\ 17 & = & 8 & * & 2 & + & 1 \\ 8 & = & 2 & * & 1 & + & 0 \end{array}$$

#### 6.4 Diophantische Gleichung

$$n_1 * x + n_2 * y = n$$

#### 6.5 erweiterter Euklidischer Algorithmus

$$\begin{array}{rclcl} 67 & - & 1 & 0 \\ 24 & 2 * & 0 & 1 \\ 19 * & 1 & 1 * & -2 * & 19 = 67 \% 24 \\ 5 & 4 & -1 & 3 & 2 = 67 \text{ div } 24 \\ 4 & 1 & 4 & -11 & 1 = 1 - 2 * 0 \\ 1 & & -5 & 14 & -2 = 0 - 2 * 1 \end{array}$$

#### 6.6 Chinesischer Restsatz

$$\begin{aligned} M_i &= \frac{m}{m_i} \\ M_i * y_i &\equiv 1 \pmod{m_i} \\ x &= \sum_{i=1}^k r_i * M_i * y_i \end{aligned}$$

#### 6.7 Eulersche $\phi$ -Funktion

$$\begin{aligned} \mathbb{Z}_n &:= \{0, 1, 2, \dots, n-1\} \\ \mathbb{Z}_n^* &:= \{x \in \mathbb{Z}_n \mid \gcd(x, n) = 1\} \\ |\mathbb{Z}_n^*| &:= \text{Anzahl Elemente in } \mathbb{Z}_n^* \end{aligned}$$

$$\phi : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}, n \mapsto |\mathbb{Z}_n^*| =: \phi(n)$$

$$\begin{aligned} \phi(p) &= p - 1 \\ \phi(p * q) &= (p - 1) * (q - 1) \\ \phi(m) &= (p_1 - 1) * p_1^{r_1-1} * (p_2 - 1) * p_2^{r_2-1} * \dots \end{aligned}$$

#### 6.8 Primzahl

$$n = p_1^{e_1} * p_2^{e_2} * p_3^{e_3} * \dots * p_n^{e_n}$$

#### 6.9 kleiner Satz von Fermat

$$m^p \pmod{p} = m \pmod{p}$$

#### 6.10 Primzahltest von Wilson

falls  $(n-1)! + 1$  durch  $n$  teilbar ist

#### 6.11 Restklassen

$$[r] = \{x \in \mathbb{Z} \mid x \equiv r \pmod{n}\}$$

#### 6.12 Rechenregeln für modularen Rechnen

$$\begin{aligned} a \oplus_n b &= b \oplus_n a = a + b \pmod{n} = R_n(a + b) \\ a \odot_n b &= b \odot_n a = a * b \pmod{n} = R_n(a * b) \\ a \odot_n (b \oplus_n c) &= (a \odot_n b) \oplus_n (a \odot_n c) \end{aligned}$$

#### 6.13 Potenzieren modulo n

$$x^m = x^{2*k+l} = x^{2*k} * x^l = (x^k)^2 * x^l$$

#### 6.14 Square and Multiply Algorithm

1. Exponent binär schreiben
2. Q bedeutet quadrieren und M multiplizieren
3. Ersetze 1 durch QM und 0 durch Q
4. das erste (links) QM streichen
5. Reihenfolge von Quadrieren und Multiplizieren
6. Exponent einsetzen
7. entsprechend Quadrieren und Multiplizieren
8. immer wieder modular reduzieren

#### 6.15 Nullteiler

$$\begin{aligned} a \in \mathbb{Z}_n, a \neq 0, b \in \mathbb{Z}_n, b \neq 0 \\ \text{falls } a \odot_n b = 0, \text{ dann ist } a \text{ Nullteiler von } \mathbb{Z}_n \end{aligned}$$

## 6.16 Inverse Elemente

$$\mathbb{Z}_n^* = \{a \in \mathbb{Z}_n \mid \text{ggT}(a, n) = 1\}$$

$$a^{-1} = R_p(a^{p-2}) = a^{p-2} \pmod{p}, (p = \text{Primzahl})$$

## 6.17 Primitive Elemente / Erzeugende

falls jedes Element  $a \in \mathbb{Z}_p^*$  eine Potent von  $z$  ist

## 6.18 Einwegfunktionen

Quadrieren modulo $n$	$x \mapsto x^2 \pmod{n}$
Potenzieren modulo $n$	$x \mapsto x^e \pmod{n}$
Exponentialfunktion modulo $p$	$x \mapsto b^x \pmod{p}$

## 6.19 Modulare Quadratwurzeln

$$\sqrt{a} \pmod{n} = \{x \in \mathbb{Z}_n^* \mid x^2 = a \pmod{n}\}$$

$\Rightarrow$  Für ein  $a$  kann es mehrere Quadratwurzeln geben

## 6.20 diskrete Logarithmus

$$\exp_b(k) = b^k \pmod{p}$$

## 7 Graphentheorie 1

### 7.1 (Ecken)grade

Eckengrad:  $\sum_{v \in V} \deg(v) = 2 \cdot |E|$

Maximalgrad:  $\Delta(G) = \max_{v \in V(G)} \deg(v)$

Maximalgrad:  $\delta(G) = \min_{v \in V(G)} \deg(v)$

### 7.2 Wichtige Graphen

Vollständiger Graph  $K_n$  mit  $n$  Knoten: genau eine Kante zwischen je zwei Knoten ( $m$  Kanten).

$$m = \binom{n}{2} = \frac{(n-1)n}{2}$$

### 7.3 Baum

Baum mit  $n$  Knoten:  $n - 1$  Kanten.

Baum mit  $i$  inneren Knoten:  $n = m \cdot i + 1$  Knoten

$m$ -facher Baum der Höhe  $h$ : höchstens  $m^h$  Blätter.

### 7.4 Page-Rank-Algorithmus

Gewicht der Seite  $PR_i$  in einem Netz mit  $N$  Seiten, Dämpfungsfaktor  $d$  ( $[0; 1]$ ),  $C_j$  von Seite  $j$  abgehende Links:

$$PR_i = \frac{1-d}{n} + d \cdot \sum_j \frac{PR_j}{C_j}$$

### 7.5 Matrizen

$n$  Ecken,  $m$  Kanten

- Adjazenzmatrix  $A(G)$ :  $n \times n$ -Matrix (Knoten/Knoten) mit Anzahl Kanten zwischen den Ecken.
- Inzidenzmatrix  $B(G)$ :  $n \times m$ -Matrix (Knoten/Kanten) mit 1 (Knoten liegt auf Kante) oder 0 (Knoten *nicht* auf Kante)

- Gradmatrix  $D(G)$ :  $n \times n$ -Diagonal-Matrix (Knoten/Knoten), Grade der Knoten auf der Diagonalen

## 7.6 Wege und Kreise

Anzahl Wege der Länge  $l$  von Knoten  $i$  zu  $j$ : Eintrag  $(i, j)$  von  $A(G)^l$  (Adjazenzmatrix hoch  $l$ )

- Weg: Folge von Kanten  $e_1 = a, b, e_2 = b, c, \dots$
- Kreis: Weg mit übereinstimmendem Anfangs- und Endpunkt (Länge  $> 0$ )
- einfacher Kreis: jede Kante kommt höchstens einmal vor
- Eulerweg: Weg, der jede Kante einmal durchläuft
- Eulerkreis: Kreis, der jede Kante einmal durchläuft
- Hamiltonweg: Weg, der jeden Knoten einmal durchläuft
- Hamiltonkreis: Kreis, der jeden Knoten einmal durchläuft
- Satz von Dirac: ein Graph mit  $n \geq 3$  Knoten mit  $\text{Grad} \geq n/2$  hat einen Hamiltonkreis.
- Satz von Ore: ein Graph mit  $n \geq 3$  mit  $\deg(v) + \deg(u) \geq n$  für jedes Paar  $u, v$  von nicht benachbarten Ecken hat einen Hamiltonkreis.

## 8 Graphentheorie 2

### 8.1 Satz von Euler

Für ein zusammenhängender, planarer Graph  $G$  mit  $|V|$  Knoten,  $|E|$  Kanten und  $|R|$  Regionen gilt:

$$2 = |V| - |E| + |R|$$

### 8.2 Satz von Kuratovsky

Ein Graph ist genau dann nicht planar, wenn er einen Untergraphen vom Typ  $K_{3,3}$  oder  $K_5$  enthält.

### 8.3 Färbungen

Anzahl mögliche Färbungen des Graphen  $G$  mit  $x$  Farben:  $P(G, x)$

- Graph  $G$  mit  $n$  Knoten und leerer Kantenmenge:  $P(G, x) = x^n$
- Vollständiger Graph  $G$  mit  $n$  Knoten:  $P(K_n, x) = x \cdot (x-1) \cdot (x-2) \cdots (x-n+1)$
- Baum mit  $n$  Knoten:  $P(T_n, x) = x \cdot (x-1)^{n-1}$

## 8.4 Dekompositionsgleichung

Graph  $G = (V, E)$  mit Kante  $e = a, b$

- $G - e$ : Graph  $G$  unter Weglassung der Kante  $e$
- $G_e$ : Graph  $G$  mit zusammengezogener Kante  $e$  unter Weglassung aller parallelen Kanten
- Anzahl Färbungen von  $G$  mit  $x$  Farben:  $P(G, x) = P(G - e, x) - P(G_e, x)$
- Ziel: Rückführung des Graphen  $G$  auf Bäume ( $T$ ) und vollständige Graphen ( $K$ ) mit errechenbarer Anzahl von Färbungen

Chromatische Zahl eines Graphen:  $\chi(G) = \min\{x \in \mathbb{N} : P(G, x) > 0\}$  (das kleinste  $x$ , wofür das chromatische Polynom  $P$  eine positive Zahl liefert)

## 8.5 Gerüste

- Gerüst oder Spannbaum eines Graphen  $G = (V, E)$ : zusammenhängender, kreisfreier Unterbaum, der alle Knoten aus  $V$  enthält.
- Baum: 1 Gerüst
- Kreis mit  $n$  Kanten: je ein Gerüst durch Entfernung einer Kante ( $n$  Gerüste)
- $G - e$ : Graph  $G$  unter Weglassung der Kante  $e$
- $G/e$ : Graph  $G$  unter Zusammenziehung der Kante  $e$  und Weglassen aller Schlingen
- Anzahl der Gerüste des Graphen  $G$ :  $t(G) = t(G - e) + t(G/e)$
- Ziel: Rückführung des Graphen  $G$  auf Kreise und Bäume mit bekannter/errechenbarer Anzahl Gerüste

## 9 Graphentheorie 3

TODO: Päd