

Aufgaben

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **Elemente der Mathematik**

Band (Jahr): **26 (1971)**

Heft 4

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Werden andererseits die Kanten z_1 (1) von T_1 mit z_1 von T_2 , und z_2 (1/2) von T_2 mit z_2 von T_3 usw. miteinander verbunden, so entsteht eine ebenfalls geschlossene Kette K_2 . Bringen wir die gleichschenkelig-rechtwinkligen Dreiecke der T_1 bis T_{24} zur Deckung, so teilt die Ebene durch die Kanten z_2 und die Halbierungspunkte h der Kanten z_1 die Kette K_2 in zwei kongruente geschlossene Teiltetraederketten K_3 und K_4 . Beide Ketten lassen sich zu einer einzigen 48-gliedrigen geschlossenen Kette K_5 verknüpfen. Bringen wir nun die gleichschenkelig-rechtwinkligen Dreiecke irgend zweier kongruenter 24-gliedriger Ketten K_3 zur Deckung, so lässt sich eine geschlossene Kette K_6 bilden, die zerlegungsgleich mit einem Rhombendodekaeder ist.

Stehen zur räumlich-kinematischen Manipulation im Kantenverbund gelenkige, geschlossene Teilpolyederketten in Modellen zur Verfügung, so lassen sich, während Anfangspolyeder in Endpolyeder übergeführt werden, endliche «Zwischenpolyederzustände» verfolgen und wahrscheinliche oder unerwartete, oft ästhetisch besonders interessante Bewegungen beobachten und Konfigurationen feststellen, die selbstverständlich alle mit dem Anfangspolyeder zerlegungsgleich sind. Einen Ausschnitt aus der Vielfalt der Konfigurationen der Kette K_1 zeigen die Fotoreproduktionen der Doppelseite.

Konzept und Imagination des Manipulierenden sind es überlassen, die Ketten beliebig zu transformieren. Die Polyederketten könnten nicht nur zum Studium der Zerlegungsgleichheit Hilfsmodelle darstellen, sondern auch Einblicke interpretativer Art in den nahezu unbegrenzten Reichtum der Natur- oder Kunstformen gewähren. Besonders erwähnenswert sei dazu, dass die interessantesten Teilpolyederlagerungen als Ketten in Zerlegungspolyedern doppel-spiralartigen Anordnungen unterliegen.

Peer Clahsen, Zürich

Aufgaben

Aufgabe 626. Es seien ABC ein Dreieck mit den Seitenlängen $a \geq b \geq c$ (die Seite der Länge a liege dem Eckpunkt A gegenüber usw.) und A', B', C' bzw. A'', B'', C'' die Schnittpunkte der Winkelhalbierenden durch A, B, C mit den Gegenseiten bzw. mit der Umkreislinie von ABC . Man beweise: 1) $A'A'' \geq B'B'' \geq C'C''$; Gleichheit genau dann, wenn die entsprechenden Seitenlängen gleich sind. 2) $BB'' \leq AA''$, $BB'' \leq CC''$; Gleichheit genau dann, wenn die entsprechenden Seitenlängen gleich sind. 3) Beide Beziehungen $AA'' < CC''$, $CC'' < AA''$ kommen vor.

P. Erdős, Budapest

Lösung: Es bezeichnen α, β, γ die Masse der Innenwinkel des Dreiecks ABC bei A, B, C und R den Umkreisradius von ABC .

1. Durch Betrachtung der Dreiecke ACC'' und $AC'C''$ ergeben sich die Beziehungen

$$AC'' = 2R \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \quad \text{und} \quad C'C'' = AC'' \cdot \frac{\sin \gamma/2}{\sin (\alpha + \gamma/2)},$$

also unter Berücksichtigung von $\alpha + \beta + \gamma = \pi$ weiter

$$C'C'' = 2R \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{\sin \gamma/2}{\sin(\beta + \gamma/2)}.$$

Wählt man den Punkt D auf der Geraden durch A und C so, dass C zwischen A und D liegt und $CD = a$ gilt, so liest man aus Dreieck ABD ab:

$$\frac{\sin \gamma/2}{\sin(\beta + \gamma/2)} = \frac{c}{a + b}.$$

Also hat man insgesamt

$$C'C'' = 2R \cdot \frac{c}{a + b} \cdot \sin \frac{\gamma}{2},$$

und durch zyklische Vertauschung findet man analoge Ausdrücke für $A'A''$ und $B'B''$, somit

$$\frac{A'A''}{B'B''} = \frac{a}{b} \cdot \frac{a + c}{b + c} \cdot \frac{\sin \alpha/2}{\sin \beta/2}, \quad \frac{B'B''}{C'C''} = \frac{b}{c} \cdot \frac{a + b}{a + c} \cdot \frac{\sin \beta/2}{\sin \gamma/2}.$$

Weil nun jeder der rechts auftretenden Brüche ≥ 1 ist, so folgt die erste Behauptung samt der Bemerkung über die Gleichheit.

2. Unter erneutem Rückgriff auf Dreieck ACC'' ergibt sich

$$CC'' = 2R \cdot \sin \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) = 2R \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \text{ und entsprechend}$$

$$BB'' = 2R \cdot \cos \frac{\alpha - \gamma}{2}, \quad AA'' = 2R \cdot \cos \frac{\beta - \gamma}{2}.$$

Da $\alpha - \gamma \geq \beta - \gamma$ und $\alpha - \gamma \geq \alpha - \beta$, so folgt $BB'' \leq AA''$ und $BB'' \leq CC''$; Gleichheit genau für $a = b$ bzw. $b = c$.

3. Es gilt die folgende Schlusskette:

$$\beta \geq \frac{\pi}{3} \Leftrightarrow 3\beta \geq \alpha + \beta + \gamma \Leftrightarrow \beta - \gamma \geq \alpha - \beta \Leftrightarrow AA'' \leq CC''.$$

K. Schuler, Rottweil, BRD

Weitere Lösungen sandten J. Břejcha (Brno, ČSSR), J. Fehér (Pécs, Ungarn), H. Frischknecht (Berneck), L. Kieffer (Luxembourg), M. Milivoj (Zagreb), I. Paasche (München), O. Reutter (Ochsenhausen, BRD).

Aufgabe 627. Für natürliche Zahlen n seien $S(n, 0) = n!$ und

$$S(n, k) = \frac{1}{k} \sum_{s=0}^{k-1} \left[(-1)^{k-s+1} S(n, s) \sum_{r=1}^n \frac{1}{r^{k-s}} \right] \quad (k > 0).$$

Man beweise:

1) $S(n, k) = \sum_{1 < r_1 < \dots < r_k < n} \frac{n!}{r_1 \cdot \dots \cdot r_k} \quad (1 \leq k \leq n)$, und als Anwendung davon

2) $S(p-1, k) \equiv 0 \pmod{p}$ ($1 \leq k < p-1$, p ungerade Primzahl) (Satz von Lagrange; vgl. G.H. Hardy–E.M. Wright, Einführung in die Zahlentheorie, München 1958, pp. 96–98) sowie 3) den Satz von Wilson. J. Fehér, Pécs, Ungarn

Solution:

1) Put

$$F_n(x) = \sum_{k=0}^{\infty} S(n, k) x^k \quad (n \geq 1).$$

Then

$$\begin{aligned} F'_n(x) &= \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot S(n, k) x^{k-1} \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} x^{k-1} \sum_{s=0}^{k-1} (-1)^{k-s+1} S(n, s) \sum_{r=1}^n \frac{1}{r^{k-s}} \\ &= \sum_{s=0}^{\infty} S(n, s) x^s \sum_{r=1}^n \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \frac{x^j}{r^{j+1}} \\ &= \sum_{s=0}^{\infty} S(n, s) x^s \sum_{r=1}^n \frac{1}{x+r} \end{aligned}$$

so that

$$\frac{F'_n(x)}{F_n(x)} = \sum_{r=1}^n \frac{1}{x+r}.$$

It follows that

$$(*) \quad F_n(x) = \prod_{r=1}^n (x+r).$$

On the other hand, if

$$\bar{S}(n, k) = \sum_{1 \leq r_1 < \dots < r_k \leq n} \frac{n!}{r_1 r_2 \dots r_k} \quad (k \geq 1),$$

then

$$\begin{aligned} \bar{S}(n, k) &= n \sum_{1 \leq r_1 < \dots < r_k \leq n-1} \frac{(n-1)!}{r_1 r_2 \dots r_k} + \sum_{1 \leq r_1 < \dots < r_{k-1} \leq n-1} \frac{(n-1)!}{r_1 r_2 \dots r_{k-1}} \\ &= n \bar{S}(n-1, k) + \bar{S}(n-1, k-1). \end{aligned}$$

Comparison with (*) gives

$$\bar{S}(n, k) = S(n, k) \quad (1 \leq k \leq n).$$

2) Since

$$S(n, 1) = S(n, 0) \sum_{r=1}^n \frac{1}{r},$$

$$2 S(p-1, 1) = (p-1)! \sum_{r=1}^{p-1} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{p-r} \right) \equiv 0 \pmod{p},$$

it follows from

$$S(p-1, k) = \frac{1}{k} \sum_{s=0}^{k-1} (-1)^{k-s+1} S(p-1, s) \sum_{r=1}^{p-1} \frac{1}{r^{k-s}}$$

by induction on k that

$$S(p-1, k) \equiv 0 \pmod{p} \quad (1 \leq k < p-1).$$

(We have used

$$\sum_{r=1}^{p-1} r^k \equiv 0 \pmod{p} \quad (1 \leq k < p-1).$$

3) For $k = p-1$ we have

$$\begin{aligned} S(p-1, p-1) &= \frac{1}{p-1} \sum_{s=0}^{p-2} (-1)^{p-s} S(p-1, s) \sum_{r=1}^{p-1} \frac{1}{r^{p-s-1}} \\ &\equiv (p-1)! \sum_{r=1}^{p-1} 1 \equiv -(p-1)! \pmod{p}. \end{aligned}$$

Since, by (*), $S(p-1, p-1) = 1$, we have

$$(p-1)! \equiv -1 \pmod{p}.$$

L. Carlitz, Durham, N.C., USA

Aufgabe 628. Es seien n und r natürliche Zahlen. Man zeige, dass die Zahl $(2r)! \sum_{k=1}^n (-1)^{n-k} \binom{n}{k} k^{n+r}$ durch $n(n+r)!$ teilbar ist.

D. Svrtnan, Zagreb

Lösung (mit Verschärfung): Führt man die Bezeichnungen

$$A(n, r) = \sum_{k=1}^n (-1)^{n-k} \binom{n}{k} k^{n+r}, \quad B(n, r) = (2r)! A(n, r) \quad (n \geq 1, r \geq 0)$$

ein, so ist

$$\begin{aligned} A(n, r) &= n \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^{n-1-k} \binom{n-1}{k} (k+1)^{n-1+r} = \\ &= n \sum_{s=0}^{n-2} \left\{ \binom{n-1+r}{s} \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^{n-1-k} \binom{n-1}{k} k^s \right\} + n \sum_{s=0}^r \binom{n-1+r}{n-1+s} A(n-1, s). \end{aligned}$$

Da die erste Summe gliedweise verschwindet (vgl. die Lösung der Aufgabe 438, *El. Math.* 18, 115 (1963)), haben wir den Zusammenhang

$$B(n, r) = n \sum_{s=0}^r \binom{n-1+r}{n-1+s} \frac{(2r)!}{(2s)!} B(n-1, s) \quad (n \geq 2, r \geq 0) \quad (1)$$

erreicht.

Unter Verwendung von $\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k} + \binom{n-1}{k-1}$ gewinnt man in ähnlicher Weise die Beziehung

$$B(n, r) = \sum_{s=0}^r \binom{n+r}{n-1+s} \cdot \frac{(2r)!}{(2s)!} \cdot B(n-1, s) \quad (n \geq 2, r \geq 0). \quad (2)$$

Für beliebige natürliche Zahlen r gilt $r(1+r)! \mid B(1, r)$. Wir treffen die Induktionsannahme $r \geq 1, n \geq 2 \Rightarrow r(n-1+r)! \mid B(n-1, r)$. Aus (1) folgt

$$\begin{aligned} B(n, r) &= n(n+r-1)! \left\{ 2r \frac{(2r-1)!}{r!} \cdot \frac{B(n-1, 0)}{(n-1)!} + \sum_{s=1}^{r-1} r \frac{(2r-1)!}{(r-s)!(2s-1)!} \right. \\ &\quad \left. \times \frac{B(n-1, s)}{s(n+s-1)!} + \frac{B(n-1, r)}{(n+r-1)!} \right\}. \end{aligned}$$

Wegen $B(n-1, 0) = (n-1)!$ ist der erste Term der geschweiften Klammer eine durch r teilbare natürliche Zahl. Wegen der Induktionsannahme und der Beziehung $(r-s) + (2s-1) < 2r-1$ ist auch der zweite Term durch r teilbar (im Falle $r=1$ ist er Null). Schliesslich sichert die Induktionsannahme, dass auch der dritte Term durch r teilbar ist. Somit gilt $rn(n+r-1)! \mid B(n, r)$ ($n \geq 1, r \geq 1$). Wiederum anknüpfend an die Induktionsannahme ergibt sich in analoger Weise aus (2) die Beziehung $r(n+r)! \mid B(n, r)$ ($n \geq 1, r \geq 1$). Daraus folgt nun die folgende Verschärfung der ursprünglichen Behauptung:

$$\frac{nr(n+r)!}{(n, r)} \mid B(n, r) \quad (n \geq 1, r \geq 1).$$

J. Fehér, Pécs, Ungarn

Weitere Lösungen sandten P. Bundschuh (Freiburg i. Br.), L. Carlitz (Durham, N.C., USA), I. Paasche (München).

Anmerkung der Redaktion: P. Bundschuh beweist in seiner Lösung die folgende Tatsache: Sind die $\Psi_{r-1}(x)$ ($r = 1, 2, \dots$) die etwa in N. Nielsen, Die Gammafunktion (New York: Chelsea 1965), p. 71 ff., betrachteten Stirlingschen Polynome, so gilt: $(2r)! \Psi_{r-1}(x) \in \mathbb{Z}[x]$ ($r = 1, 2, \dots$).

Aufgabe 629. $M = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ sei eine beschränkte reelle Zahlenfolge mit verschiedenen Elementen, und es bedeute $a = \frac{\inf x_i}{x_i \in M}, b = \frac{\sup x_i}{x_i \in M}, r_n$ die kleinste nicht-negative Zahl der Menge $\{x_n - a, x_n - x_1, x_n - x_2, \dots, x_n - x_{n-1}\}$ und s_n die kleinste nicht-negative Zahl der Menge $\{b - x_n, x_1 - x_n, x_2 - x_n, \dots, x_{n-1} - x_n\}$.

Man beweise: Die Reihe $\sum_{n=1}^{\infty} r_n s_n$ ist konvergent und ihre Summe ist höchstens gleich $\frac{1}{2}(b-a)^2$, und Gleichheit besteht dann und nur dann, wenn M in sich dicht ist.

O. Reutter, Ochsenhausen

Berichtigung: Es muss am Schluss richtigerweise heissen: Gleichheit besteht dann und nur dann, wenn M im Intervall $[a, b]$ dicht ist.

Lösung des Aufgabenstellers:

Die Zahlen x_1, x_2, \dots, x_n seien monoton wachsend umgeordnet, und die Elemente dieser Umordnung seien mit y_1, y_2, \dots, y_n bezeichnet ($y_i < y_{i+1}$). Dann ist $x_n = y_k$ für ein eindeutig bestimmtes $k \in \{1, 2, \dots, n\}$. Setzt man noch $y_0 = a$ und $y_{n+1} = b$, so ist offensichtlich $r_n = y_k - y_{k-1}$ und $s_n = y_{k+1} - y_k$.

Es bedeute nun $Q_n = \sum_{i=0}^n (y_{i+1} - y_i)^2$ für $n \geq 1$ und $Q_0 = (b-a)^2$. Dann folgt aus der Definition der Zahlen r_n und s_n :

$$\begin{aligned} Q_{n-1} - Q_n &= (y_{k+1} - y_{k-1})^2 - (y_k - y_{k-1})^2 - (y_{k+1} - y_k)^2 = (r_n + s_n)^2 - r_n^2 - s_n^2 \\ &= 2r_n s_n. \end{aligned}$$

Demnach gilt für alle $N \geq 1$ die Identität

$$2 \sum_{n=1}^N r_n s_n = \sum_{n=1}^N (Q_{n-1} - Q_n) = Q_0 - Q_N = (b-a)^2 - Q_N. \tag{1}$$

Hieraus ist zu erkennen, dass die Folge $\sum_{n=1}^N r_n s_n$ ($N = 1, 2, \dots$) wegen $Q_N > 0$ nach oben beschränkt ist, und da diese Folge trivialerweise monoton wächst, existiert also $\lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^N r_n s_n$ und es gilt nach (1) $\sum_{n=1}^{\infty} r_n s_n \leq (1/2)(b-a)^2$, wobei Gleichheit genau dann besteht, wenn $\lim_{N \rightarrow \infty} Q_N = 0$ ist. Dies trifft, wie im folgenden gezeigt wird, genau dann zu, wenn M im Intervall $[a, b]$ dicht ist:

Wäre nämlich M nicht dicht in $[a, b]$, dann gäbe es ein Teilintervall der Länge $c > 0$ von $[a, b]$, welches kein x_i enthält. Damit wäre $Q_N \geq c^2$ für alle N , also sicherlich $\lim_{N \rightarrow \infty} Q_N > 0$. Wenn andererseits M in $[a, b]$ dicht ist und $m_N := \max_{i=0, \dots, N} (y_{i+1} - y_i)$ gesetzt wird, dann ist notwendig $\lim_{N \rightarrow \infty} m_N = 0$, also wegen $Q_N \leq m_N \cdot \sum_{i=0}^N (y_{i+1} - y_i) = m_N (b-a)$ auch $\lim_{N \rightarrow \infty} Q_N = 0$.

Eine weitere Lösung sandte J. Fehér (Pécs, Ungarn).

Neue Aufgaben

Die Lösungen sind getrennt nach den einzelnen Aufgaben erbeten bis **10. März 1972**, wenn möglich in Maschinschrift. Dagegen ist die Einsendung von Lösungen zu den mit **Problem ... A, B** bezeichneten Aufgaben an keinen Termin gebunden.

Bei Redaktionsschluss dieses Heftes sind noch ungelöst: Problem 601 A (Band 25, p. 67), Problem 625 B (Band 25, p. 68), Problem 629 A (Band 25, p. 92) und Problem 645 A (Band 26, p. 46).

Aufgabe 650. Man bestimme jene einer Ellipse eingeschriebenen Sechsecke, die durchwegs rechte Winkel aufweisen. W. Wunderlich, Wien

Aufgabe 651. Für positive reelle Zahlen x, y, z beweise man die Ungleichung $9xyz \leq (x^2 + y^2 + z^2)[xyz(x^{-1} + y^{-1} + z^{-1})^2 - 2(x + y + z)]$.

Gleichheit genau im Falle $x = y = z$.

I. Paasche, München

Aufgabe 652. If n is a nonnegative integer and k a positive integer, define $p_k(n)$ by

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_k(n) x^n = \prod_{r=1}^{\infty} (1 - x^r)^k.$$

Prove the following:

a) If $12n + 1$ is not the sum of two squares of integers (i.e. a fortiori not a square itself), then $p_2(n) = 0$.

b) If $4n + 1$ is not the sum of two squares of integers (i.e. a fortiori not a square itself), then $p_8(n) = 0$. J. Arkin, Nanuet, N.Y., USA

Aufgabe 653. Es sei f eine auf dem halbabgeschlossenen Intervall $[0, 1)$ definierte reellwertige Funktion mit folgenden Eigenschaften: (1) f ist auf $[0, 1)$ stetig; (2) f ist auf dem offenen Intervall $(0, 1)$ differenzierbar; (3) die Ableitung f' von f ist auf $(0, 1)$ beschränkt. Muss f an der Stelle 0 eine rechtsseitige Ableitung haben?

Th. Rychener, Bern