

# Kleine Mitteilungen

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **Elemente der Mathematik**

Band (Jahr): **21 (1966)**

Heft 5

PDF erstellt am: **10.08.2024**

## **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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*  
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, [www.library.ethz.ch](http://www.library.ethz.ch)

<http://www.e-periodica.ch>

- [14] MEHMKE, R., *Über die Bewegung eines starren ebenen Systems in seiner Ebene*, Z. Math. Phys. 35, 1–24, 65–81 (1890).
- [15] MÜLLER, E., und J. L. KRAMES, *Vorlesungen über Darstellende Geometrie*, Bd. 2: *Die Zyklographie* (Leipzig und Wien 1929).
- [16] MÜLLER, E., und J. L. KRAMES, *Vorlesungen über Darstellende Geometrie*, Bd. 2: *Konstruktive Behandlung der Regelflächen* (Leipzig und Wien 1931).
- [17] MÜLLER, H. R., *Kinematik* (Berlin 1963 [Sammlung Göschen]).
- [18] MÜLLER, P. H., *Adjungierte Sekanten und Tangenten zweier Kreise*, *El. Math.* 18, 11–13 (1963).
- [19] NEUBERG, J., *Sur les figures semblablement variables*, *Proc. Lond. math. Soc.* 16, 185–188 (1885).
- [20] SCHAAL, H., *Von der Bewegungsgeometrie zur konstruktiven Kinematik*, *Der Math.-Unterr.* 10, H. 3: *Vom Problem zum System II*, 48–72 (1964).
- [21] SIEBER, H., *Über Drehungen um 60°*, *Der Math.-Unterr.* 11, H. 3: *Abbildungsgeometrie*, V, 24–38 (1965).
- [22] WUNDERLICH, W., *Höhere Radlinien*, *Öst. Ing.-Arch.* 1, 277–296 (1947).
- [23] ZACHARIAS, M., *Elementargeometrie und elementare nichteuklidische Geometrie in synthetischer Behandlung*, in *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, Bd. 3, AB 9 (Leipzig 1914–1931), S. 859–1172.
- [24] BERKHAN, G., und W. FR. MEYER, *Neuere Dreiecksgeometrie*, in *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, Bd. 3, AB 10 (Leipzig 1914–1931), S. 1173–1276.
- [25] SCHOENFLIES, A., *Kinematik*, in *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, Bd. 4, 1 B I 3 (Leipzig 1901–1908), S. 190–278.
- [26] HOHENBERG, F. und J. TSCHUPIK, *Grundzüge der Darstellenden Geometrie*, in *Grundzüge der Mathematik*, Bd. II Kap. 11, S. 454–459 (Göttingen 1960).

## Kleine Mitteilungen

### Einige elementare kombinatorische Identitäten mit alternierenden Summen

#### 1. Einleitung

Im Zentrum unserer Betrachtung steht die Identität

$$\sum_{\nu=0}^n (-1)^\nu \binom{n}{\nu} [x + (n - \nu)h]^m = \delta_{mn} h^n n! \quad [0 \leq m \leq n; \quad h \in R; \quad x \in R]^1), \quad (1)$$

der man ohne weiteres auch die Gestalten

$$\sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} (x + kh)^m = \delta_{mn} (-1)^n h^n n! \quad [0 \leq m \leq n; \quad h \in R; \quad x \in R], \quad (1')$$

$$\sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} (x - kh)^m = \delta_{mn} h^n n! \quad [0 \leq m \leq n; \quad h \in R; \quad x \in R] \quad (1'')$$

geben kann<sup>2)</sup>. Im Hinblick auf den bemerkenswerten Spezialfall

$$\sum_{\nu=0}^n (-1)^\nu \binom{n}{\nu} (n - \nu)^n = n! \quad [n \geq 0] \quad (2)$$

<sup>1)</sup>  $R$  bezeichne die Menge der reellen Zahlen und  $\delta_{mn}$  das KRONECKERSCHE Symbol. Für die ganze Betrachtung verabreden wir  $0^0 = 1$ .

<sup>2)</sup> Für Spezialfälle vergleiche zum Beispiel [3], Seite 97, Lemma 2.1; [7], (1) und (2); [8], S. 249, (17); [9], S. 496, zwischen (45) und (46); [10], S. 28, (4.14).

von (1) erhebt sich die Frage nach Beweisen, die dem besonders einfachen Charakter von (1) und (2) Rechnung tragen<sup>3)</sup>. Für die in Abschnitt 2 auftretenden an und für sich interessanten Hilfsidentitäten (6) und (9) stellt sich die Frage abermals. Wir skizzieren nachfolgend einen Beweis, welcher (6), (9) und (1') auf völlig elementare Weise aus dem Binomialsatz hervorgehen lässt; dabei werden wir auf ganz natürliche Weise zu einer Verallgemeinerung (10) von (1') geführt.

**2. Beweis**

Aus dem Binomialsatz folgt direkt

$$r(0, n) := \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} = \delta_{0n} \quad [n \geq 0]. \tag{3}$$

Mit den Bezeichnungen

$$(x)_0 := 1; (x)_l := x(x-1) \cdot \dots \cdot (x-l+1) \quad [l \geq 1] \quad [x \in R], \tag{4}$$

$$s(l, n) := \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} (k)_l \quad [l \geq 0; n \geq 0] \tag{5}$$

ergibt sich  $s(l, n) = 0$  [ $0 \leq n < l$ ], da in (5) alle Summanden verschwinden. Für  $0 \leq l \leq n$  beginnt die Summation in (5) effektiv bei  $k = l$ , und mit  $\binom{n}{k} (k)_l = \binom{n-l}{k-l} (n)_l$  [ $l \leq k \leq n$ ] folgt  $s(l, n) = (-1)^l (n)_l r(0, n-l)$ , also insgesamt

$$s(l, n) = \delta_{ln} (-1)^n n! \quad [l \geq 0; n \geq 0]^4). \tag{6}$$

Durch

$$x^m = \sum_{\mu \geq 0} t(m, \mu) (x)_\mu \quad [alle \ x \in R] \quad [m \geq 0] \tag{7}$$

sind Zahlen  $t(m, n)$  [ $m \geq 0; n \geq 0$ ] (in eindeutiger Weise) erklärt, und es gilt offensichtlich

$$t(m, n) = \delta_{mn} \quad [0 \leq m \leq n], \tag{8}$$

so dass also  $m$  als obere Summationsgrenze in (7) auftritt. Nun ergibt sich die Gültigkeit von

$$r(m, n) := \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} k^m = (-1)^n n! t(m, n) \quad [m \geq 0; n \geq 0]^5) \tag{9}$$

durch Einsetzen von (7) im mittleren Ausdruck von (9), Änderung der Summationsreihenfolge und Anwendung von (6). Ausgehend von der linken Seite von (1') erhält man durch binomische Entwicklung von  $(x+k h)^m$ , Veränderung der Summationsreihenfolge und Anwendung von (9)

$$\sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} (x+k h)^m = (-1)^n n! \sum_{\mu=0}^m \binom{m}{\mu} t(\mu, n) h^\mu x^{m-\mu} \quad [m \geq 0; n \geq 0]. \tag{10}$$

Im Falle  $0 \leq m \leq n$  resultiert durch Anwendung von (8) unsere Behauptung (1'), welche ihrerseits mit (1) und (1'') äquivalent ist.

**3. Schlussbemerkung**

Die  $t(m, n)$  sind die STIRLINGSchen Zahlen zweiter Art<sup>6)</sup>. Bedenkt man, dass die mit  $(-1)^n$  multiplizierte linke Seite von (10) das  $n$ -te der Funktion  $f(x) = x^m$  zugeordnete

<sup>3)</sup> Bekannt sind unter anderem eine Herleitung von (1) auf Grund des Differenzenkalküls ([2], Seite 8), eine solche von (2) durch kombinatorische Interpretation ([10], S. 28) und eine solche von (1'') durch einen geeigneten Differentiationsprozess ([8], S. 249).

<sup>4)</sup> Für den Fall  $1 \leq l < n$  vergleiche [4], Seite 44, (9d).

<sup>5)</sup> (9) hat in der Sequenz der Identitäten (3), (6), (9), (1) die Schlüsselstellung inne. – Theorem I in [6] kann mit (9) mühelos bestätigt werden.

<sup>6)</sup> Für eine ausführliche Darstellung der Theorie dieser Zahlen vergleiche etwa [2], Seite 168ff.

Differenzpolynom ist, so ist mit (10) ein wichtiges Vorkommen der  $t(m, n)$  aufgewiesen. Schliesslich zeigt die aus (9) folgende Darstellung

$$t(m, n) = \frac{(-1)^n}{n!} \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} k^m = \frac{1}{n!} \sum_{\nu=0}^n (-1)^\nu \binom{n}{\nu} (n-\nu)^m, \quad (11)$$

dass im Falle  $m \geq 1, n \geq 1$  die Anzahl der Zerlegungen einer  $m$ -elementigen Menge in  $n$  disjunkte nichtleere Teilmengen durch  $t(m, n)$  gegeben ist<sup>7)</sup>. JÜRIG RÄTZ, Bern

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] H. HADWIGER, *Gruppierung mit Nebenbedingungen*, Mitt. Verein. Schweiz. Vers.-Math. 43, 113–122 (1943).
- [2] CH. JORDAN, *Calculus of Finite Differences*, Chelsea New York 1947 (2<sup>nd</sup> edition).
- [3] R. C. KAO and L. H. ZETTERBERG, *An Identity for the Sum of multinomial Coefficients*, Amer. Math. Monthly 64, 96–100 (1957).
- [4] I. KAPLANSKY, E. HEWITT, M. HALL JR., and R. FORTET, *Some Aspects of Analysis and Probability*. Part 2: M. HALL JR., *A Survey of Combinatorial Analysis*, Wiley New York 1958.
- [5] F. KLEIN-BARMEN, *Über eine bei der Zerlegung einer endlichen Menge auftretende elementare zahlentheoretische Funktion*, Jahresber. Deutsche Math.-Ver. 62, 130–134 (1960).
- [6] M. LOTKIN, *The Partial Summation of Series by Matrix Methods*, Amer. Math. Monthly 64, 643–647 (1957).
- [7] W. NEF, *Über die Differenz zwischen theoretischer und empirischer Verteilungsfunktion*, Z. Wahrsch.-lehre u. verw. Geb. 3, 154–162 (1964).
- [8] E. NETTO, *Lehrbuch der Kombinatorik*, Teubner Leipzig–Berlin 1927 (2. Aufl.).
- [9] J. RIORDAN, *Inverse Relations and Combinatorial Identities*, Amer. Math. Monthly 71, 485–498 (1964).
- [10] H. J. RYSER, *Combinatorial Mathematics*, Wiley New York 1963.

## Ein Kreistangentensatz

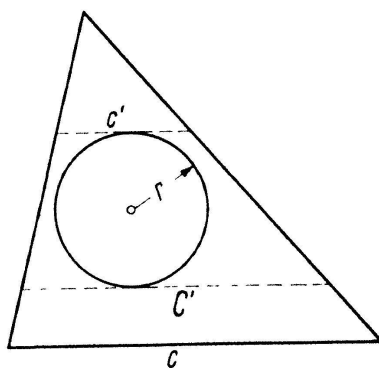
In der Lehre von den Transversalen und Dreieckskoordinaten sollte folgender Sachverhalt beachtet werden:

Tangentensatz: *An irgendeinen Kreis mit Radius  $r$  in der Ebene eines Dreiecks mit Seiten  $abc$  seien die seitenparallelen Tangentengrecken  $a'b'c'$  und  $A'B'C'$  zwischen den Seiten oder ihren Verlängerungen gezeichnet. Dann gilt, mit  $q =$  Inkreisradius,*

$$a'/a + b'/b + c'/c = 2 - r/q \quad (1)$$

$$A'/a + B'/b + C'/c = 2 + r/q. \quad (2)$$

Die Formel (1) mit  $r = q$  wurde, allerdings nur in einer speziellen Lage, in [1]<sup>1)</sup> behandelt, während (2) dort vergessen wurde, da es in der speziellen Lage trivial ist:  $1 + 1 + 1 = 2 + 1$ . Für  $r = 0$  wird (1) = (2), vgl. [2]. Der leichte Beweis des obigen Tangentensatzes beruht



<sup>7)</sup> Vergleiche [1], Seite 121, (27) und Fussnote S. 114, an welcher Stelle auf weitere Vorkommen der  $t(m, n)$  hingewiesen wird; ferner [8], S. 283 und S. 170, (4a) und schliesslich [5].

<sup>1)</sup> Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literatur, S. 112.

auf dem verallgemeinerten Transversalensatz von Euler-Gergonne und auf  $a + b + c = 2s$ , nämlich auf  $H_a^{-1} + H_b^{-1} + H_c^{-1} = \varrho^{-1}$  (Höhen  $H_v$ ). Wie beim verallgemeinerten Satz von Euler-Gergonne darf der Kreismittelpunkt überall in der Ebene liegen, also auch auf dem Rande und ausserhalb des Dreiecks. Dem und der beliebigen Grösse von  $r$  wird durch  $a', b', c', A', B', C' \cong 0$  Rechnung getragen.

I. PAASCHE, München

## LITERATUR

- [1] E. ROTHMUND, *El. Math.* 4, 90 (1949), Aufgabe 43.  
 [2] I. PAASCHE, *El. Math.* 20, 11 (1965), Bild 7 und S. 12 Ende.

## Aufgaben

**Aufgabe 508.** Es bedeute  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  das kleinste gemeinsame Vielfache der natürlichen Zahlen  $a_1, a_2, \dots, a_n$ .  $p_1 < p_2 < \dots$  sei eine unendliche Teilfolge  $P'$  der Folge  $P$  aller Primzahlen.  $a_1 < a_2 < \dots$  sei die Folge aller natürlichen Zahlen, in deren Primzahlzerlegung nur Primzahlen aus  $P'$  vorkommen. Man beweise, dass

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\{a_1, a_2, \dots, a_n\}}$$

immer irrational ist. Für  $P' = P$  ist das die Aufgabe 308 [*El. Math.* 14, 39 (1959)].

P. ERDÖS

*Lösung des Aufgabenstellers:* Es sei  $p_k = a_{f(k)}$  und  $A_k = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ . Die Unmöglichkeit von  $\sum 1/A_n = u/v$  folgt sofort aus

$$\liminf_{k \rightarrow \infty} A_{f(k)-1} \sum_{j=f(k)}^{\infty} 1/A_j = 0. \quad (1)$$

Um (1) zu zeigen, setzen wir

$$A_{f(k)-1} \sum_{j=f(k)}^{\infty} 1/A_j = \sum_{u=1}^{\infty} \alpha_u, \quad (2)$$

wo

$$\alpha_u = A_{f(k)-1} \sum_u 1/A_j. \quad (3)$$

In  $\sum_u$  läuft  $a_j$  über diejenigen Elemente unserer Folge, für welche  $p_k^u \leq a_j < p_k^{u+1}$  gilt. Zunächst zeigen wir, dass für jedes  $\varepsilon > 0$  und  $k > k_0(\varepsilon)$

$$\alpha_3 + \alpha_4 + \dots < \varepsilon. \quad (4)$$

Da der Beitrag jeder Primzahl  $p_i$  ( $i < k$ ) zu  $A_{f(k)-1}$  kleiner als  $p_k$  ist, hat man

$$A_{f(k)-1} < p_k^{k-1}. \quad (5)$$

Nun ist die Anzahl der Summanden  $A_j^{-1}$  in  $\alpha_u$  offenbar kleiner als  $p_k^{u+1}$ , und man erhält mit (5) also

$$\alpha_u < p_k^{k+u} \{a_1, a_2, \dots, p_k^u\}^{-1}. \quad (6)$$

Ist  $a_j \geq p_k^u$ , dann gilt

$$A_j \geq \{a_1, a_2, \dots, p_k^u\} > p_k^{(u-1)k}, \quad (7)$$

da jedes  $p_i$  einen Beitrag liefert, der grösser als  $p_k^{u-1}$  ist. Aus (6) und (7) ergibt sich  $\alpha_u < p_k^{k+u-(u-1)k}$  und damit (4) für  $k > k_0(\varepsilon)$ .

Wegen (4) genügt für den Beweis von (1) der Nachweis von

$$\liminf_{k \rightarrow \infty} (\alpha_1 + \alpha_2) = 0. \quad (8)$$