

Über die Äquivalenz 2-adischer quadratischer Formen.

Autor(en): **Cassels, J.W.S.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Commentarii Mathematici Helvetici**

Band (Jahr): **37 (1962-1963)**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28607>

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.

Über die Äquivalenz 2-adischer quadratischer Formen

von J. W. S. CASSELS, Trinity College, Cambridge (England)

Einleitung

Es sei

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i,j=1}^r f_{ij} x_i x_j, \quad \mathbf{x} = (x_1, \dots, x_r)$$

eine quadratische Form mit Koeffizienten f_{ij} aus dem Ringe Z_2 der gewöhnlichen 2-adischen ganzen Zahlen. Die Menge der r -dimensionalen mit Koeffizienten aus Z_2 gebildeten Vektoren bezeichnen wir mit Z_2^r . Unter der Annahme, daß die Determinante F von f eine 2-adische Einheit ist, gibt es einen modulo 2 eindeutig bestimmten Vektor¹⁾

$$\mathfrak{w} = (w_1, \dots, w_r) \in Z_2^r$$

derart, daß

$$f(\mathfrak{x}) \equiv f(\mathfrak{x}, \mathfrak{w}) = \sum_{i,j} f_{ij} x_i w_j \pmod{2}$$

für sämtliche $\mathfrak{x} \in Z_2^r$ gilt. Der Wert

$$f(\mathfrak{w}) \pmod{2^3}$$

hängt bekanntlich²⁾ von der besonderen Wahl von \mathfrak{w} nicht ab.

Satz 1. *Es seien $f(\mathfrak{x})$ und $g(\mathfrak{x})$ quadratische Formen mit derselben Variablenanzahl r und mit Koeffizienten aus Z_2 . Man setze*

$$F = \det(f_{ij}), \quad G = \det(g_{ij})$$

und nehme an, F und G seien 2-adische Einheiten. Die folgenden Bedingungen sind notwendig und hinreichend dafür, daß f und g äquivalent in bezug auf dem Körper Q_2 der 2-adischen Zahlen sind:

- (i) $F \equiv G \pmod{2^3}$
- (ii) $f(\mathfrak{w}) \equiv g(\mathfrak{t}) \pmod{2^3}$

wobei der Vektor \mathfrak{t} für die Form g dem Vektor \mathfrak{w} für die Form f entspricht.

¹⁾ Die Vektoren \mathfrak{w} sind durch die Bedingung $\sum_j f_{ij} w_j \equiv f_{ii} \pmod{2}$ bestimmt, wie man sich leicht überzeugt. (Bemerkung von Herrn Hopf, die Herr Ledermann mir mündlich mitteilte.)

²⁾ Es ist nämlich

$$f(\mathfrak{w} + 2\mathfrak{t}) = f(\mathfrak{w}) + 4f(\mathfrak{w}, \mathfrak{t}) + 4f(\mathfrak{t}) \equiv f(\mathfrak{w}) \pmod{2^3}$$

für jedes $\mathfrak{t} \in Z_2^r$ (vgl. Ledermann (5)).

Satz 1 folgt sofort aus dem folgenden Satz 2, unter Benutzung der bekannten Eigenschaften des MINKOWSKI-HASSEschen Symbols (HASSE (2), JONES (3), WATSON (7)).

Satz 2. *Es sei $f(\mathfrak{x})$ eine quadratische Form der in der Einleitung besprochenen Beschaffenheit. Dann ist*

$$\bar{c}_2(f) = (-1)^{f(\mathfrak{w}) + F - r - 1/4}, \quad (1)$$

wobei $\bar{c}_2(f)$ das MINKOWSKI-HASSEsche Symbol mit der von HASSE (2) angegebenen Normierung³⁾ ist.

Anlaß dieser Arbeit war ein von Herrn HIRZEBRUCH Sommer 1961 in Liverpool gehaltener Vortrag, worin er die Theorie der Mannigfaltigkeiten behandelte. Diese Theorie legte nämlich gewisse Vermutungen über quadratische Formen nahe, die leicht aus Satz 2 gefolgert werden können. Satz 2 steht auch eng mit den von LEDERMANN (5) und von VAN DER BLIJ (1) bewiesenen Kongruenzen zusammen, die auch der Theorie der Mannigfaltigkeiten ihre Entstehung verdanken. (Siehe auch SERRE (4)).

Beweis von Satz 2

Hilfssatz 1. *Mit der in Satz 1 eingeführten Bezeichnungsweise seien $f(\mathfrak{x})$ und $g(\mathfrak{x})$ Z_2 -äquivalent⁴⁾. Dann ist*

$$f(\mathfrak{w}) \equiv g(\mathfrak{t}) \pmod{2^3}.$$

Beweis: Klar.

Hilfssatz 2. *Satz 2 ist für $r = 1$ richtig.*

Beweis: Klar.

Hilfssatz 3. *Satz 2 ist für eine Form der Gestalt*

$$f(x_1, x_2) = 2ax_1^2 + 2x_1x_2 + 2bx_2^2 \quad (a, b \in Z_2)$$

richtig.

Beweis: Man kann $\mathfrak{w} = (0, 0)$ setzen. Dadurch wird die rechte Seite von (1) zu

$$(-1)^{ab-1}$$

³⁾ Das heißt $\bar{c}_2(\sum_{1 \leq j \leq r} a_j x_j^2) = \prod_{i \leq j} (a_i, a_j)_2$. (Vgl. auch Witt (8)). Mit $(a_i, a_j)_2$ bezeichnen wir das Hilbertsche Normenrestsymbol.

⁴⁾ Z_2 -äquivalent bedeutet: es gibt eine Transformation $y_i = \sum_j p_{ij} x_j$ ($p_{ij} \in Z_2$) derart, daß (i) $f(\mathfrak{y}) = g(\mathfrak{x})$ ist und (ii) die umgekehrte Transformation, etwa $x_i = \sum_j q_{ij} y_j$ auch Koeffizienten q_{ij} aus Z_2 besitzt. Die zweite Bedingung ist gleichbedeutend damit, daß $\det(p_{ij})$ eine 2-adische Einheit ist.

Aus

$$f(x_1, x_2) = 2a \left(x_1 + \frac{x_2}{2a} \right)^2 + \frac{4ab - 1}{2a} x_2^2$$

folgt aber den bekannten Eigenschaften des HILBERTSchen Symbols gemäß

$$\begin{aligned} \bar{c}_2(f) &= (2a, 2a)_2 \left(\frac{4ab - 1}{2a}, \frac{4ab - 1}{2a} \right)_2 \left(2a, \frac{4ab - 1}{2a} \right)_2 \\ &= (2a, -1)_2 \left(\frac{4ab - 1}{2a}, -1 \right)_2 (2a, 1 - 4ab)_2 \\ &= (4ab - 1, -1)_2 (2, 1 - 4ab)_2 \\ &= -(2, 1 - 4ab)_2 \\ &= (-1)^{ab-1} \end{aligned} \quad \text{w. z. b. w.}$$

Hilfssatz 4. *Es gelte Satz 2 für die Formen $f(\mathfrak{x})$ bzw. $g(\mathfrak{y})$ in den r bzw. s Variablen $\mathfrak{x} = (x_1, \dots, x_r)$ bzw. $\mathfrak{y} = (y_1, \dots, y_s)$. Dann gilt er auch für die Form*

$$f + g = f(\mathfrak{x}) + g(\mathfrak{y})$$

in den $r + s$ Variablen $(\mathfrak{x}, \mathfrak{y})$

Beweis: Bekanntlich⁵⁾ ist

$$\bar{c}_2(f + g) = (F, G)_2 \bar{c}_2(f) \bar{c}_2(g)$$

wobei F bzw. G die Determinante von f bzw. g ist. Es genügt also, die Formel

$$\gamma(f + g) = (F, G)_2 \gamma(f) \gamma(g) \quad (2)$$

zu beweisen, wobei $\gamma(f)$ die rechte Seite von (1) bezeichnet. Es entspreche der Vektor \mathfrak{t} für g dem Vektor \mathfrak{w} für f : somit ist $(\mathfrak{w}, \mathfrak{t})$ ein entsprechender Vektor für $f + g$. Die Formel (2) folgt also jetzt unmittelbar aus der bekannten Gleichung

$$(F, G)_2 = (-1)^{(F-1)(G-1)/4} \quad (F \equiv G \equiv 1 \pmod{2})$$

Hilfssatz 5. *Jede Form $f(\mathfrak{x})$ der in Satz 2 angegebenen Beschaffenheit ist mit einer Form $g(\mathfrak{x})$ folgender Gestalt \mathbb{Z}_2 -äquivalent:*

$$g(\mathfrak{x}) = \sum_{1 \leq k \leq K} g_k(\mathfrak{x}_k), \quad \mathfrak{x} = (\mathfrak{x}_1, \mathfrak{x}_2, \dots, \mathfrak{x}_K),$$

wobei jede Form $g_k(\mathfrak{x}_k)$ entweder nur eine Variable enthält oder eine von den in Hilfssatz 3 behandelten Formen ist.

Beweis. Wären die p -adischen Zahlen ihm bekannt gewesen, so hätte schon MINKOWSKI (6) diesen Hilfssatz ausgesprochen. Der Vollständigkeit halber

⁵⁾ HASSE (2), Formel (12) auf Seite 214.

geben wir den einfachen Beweis wieder. Er verläuft mit vollständiger Induktion nach der Variablenanzahl.

Erster Fall. *Es gibt ein Diagonalglied, etwa f_{11} , das eine 2-adische Einheit ist.* Dann ist

$$f(\mathfrak{x}) = f_{11} x_1'^2 + f_1(x_2, \dots, x_r), \quad x_1' = x_1 + \frac{f_{12}}{f_{11}} x_2 + \dots + \frac{f_{1r}}{f_{11}} x_r,$$

wobei die f_{1j}/f_{11} dem Ringe Z_2 angehören. Somit sind die Koeffizienten der Form f_1 aus den $r - 1$ Variablen x_2, \dots, x_r auch Elemente aus Z_2 .

Zweiter Fall. *Sämtliche Diagonalglieder sind gerade.* Da $\det(f_{ij})$ eine Einheit ist, so muß es ein Glied, etwa f_{12} geben, welches eine Einheit ist. Man bestimme u_j, v_j durch die beiden Gleichungen

$$f_{11} u_j + f_{12} v_j = f_{1j}, \quad f_{12} u_j + f_{22} v_j = f_{2j}.$$

Die u_j, v_j gehören dem Ringe Z_2 an, da die Determinante $f_{11} f_{22} - f_{12}^2$ der Gleichungen wegen $f_{11} \equiv f_{22} \equiv 0, f_{12} \equiv 1$ eine Einheit ist. Man setze

$$\begin{aligned} x_1' &= x_1 + u_3 x_3 + \dots + u_r x_r \\ x_2' &= f_{12}(x_2 + v_3 x_3 + \dots + v_r x_r) \\ g_1(x_1', x_2') &= f_{11} x_1'^2 + 2 x_1' x_2' + f_{12}^{-2} f_{22} x_2'^2. \end{aligned}$$

Somit ist

$$f(\mathfrak{x}) = g_1(x_1^1, x_2^1) + f_1(x_3, \dots, x_r)$$

wobei die Koeffizienten sowohl von g_1 als von f_1 in Z_2 liegen.

Jetzt folgt Satz 2 unmittelbar aus den Hilfssätzen 1 bis 5.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] F. VAN DER BLIJ, *An invariant of quadratic forms modulo 8*. Proc. Kon. Ned. Akad. Wet. Amsterdam 52 (1959) (= Indag. Math. 21 (1959), 291–293).
- [2] H. HASSE, *Über die Äquivalenz quadratischer Formen im Körper der rationalen Zahlen*. J. reine angew. Math. 152 (1923), 205–224.
- [3] B. W. JONES, *The arithmetic theory of quadratic forms* (Carus Math. Monograph Nr. 10, 1950).
- [4] J.-P. SERRE, *Formes bilinéaires symétriques entières à discriminant ± 1* . Séminaire Henri CARTAN 14 (1961–2), n° 14–15.
- [5] W. LEDERMANN, *An arithmetic property of quadratic forms*. Comment. Math. Helv. 33 (1959) 34–37.
- [6] H. MINKOWSKI, *Grundlagen für eine Theorie der quadratischen Formen (Pariser Preisschrift)*. Werke Bd. 1, 3–144.
- [7] G. L. WATSON, *Integral quadratic forms*. (Cambridge Math. Monograph Nr. 51, 1960.)
- [8] E. WITT, *Theorie der quadratischen Formen in beliebigen Körpern*. J. reine angew. Math. 176 (1936), 31–44.

(Eingegangen den 8. Februar 1962)