

# Gerretsen and the Finsler-Hadwiger inequality

Autor(en): **Wanner, Gerhard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Elemente der Mathematik**

Band (Jahr): **72 (2017)**

Heft 4

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-730844>

## **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.

---

---

**Short note**      **Gerretsen and the  
Finsler–Hadwiger inequality**

---

---

Gerhard Wanner

**The inequalities.** The beautiful paper [2] (1953) by J.C.H. Gerretsen, written in Dutch language, is of difficult access<sup>1</sup>. It starts by stating Weitzenböck’s inequality from 1919 [4]

$$a^2 + b^2 + c^2 \geq 4A\sqrt{3}, \quad (1)$$

where  $A$  denotes the area of a triangle with sides  $a, b, c$ . Next follows its sharpening by P. Finsler and H. Hadwiger [1] from 1938

$$a^2 + b^2 + c^2 \geq 4A\sqrt{3} + Q, \quad (2)$$

where

$$Q = (a - b)^2 + (b - c)^2 + (c - a)^2 \quad (3)$$

can be seen as a measure for the “*ongelijkzijdigheidsgraad*”<sup>2</sup> of the triangle. In both inequalities we have equality only for the equilateral triangle. Gerretsen then elaborates in Art. 2 the original proof of Finsler and Hadwiger (“Het bewijs ... is nogal listig”) and gives simpler proofs for (1) and (2) in Arts. 3 and 4.

**A further consequence.** In Art. 5 Gerretsen continues as follows: From the Cosine Theorem

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha = b^2 + c^2 - 4A \cot \alpha$$

we obtain by cyclic permutations and addition<sup>3</sup>

$$\Sigma a^2 = 4A \Sigma \cot \alpha$$

---

<sup>1</sup>The author is grateful to W. Hundstorfer, Amsterdam, for providing him with a copy (“The scanner is not used often anymore, everything is on the internet. Well ... *almost* everything”).

<sup>2</sup>literally “degree of unequilaterality”; Gerretsen adds: “as long as one does not find this word to crazy [wanneer men dit woord niet te gek vindt]”.

<sup>3</sup>Gerretsen leaves the meaning of the notations  $\Sigma a^2 = a^2 + b^2 + c^2$  or  $\Sigma \cot \alpha = \cot \alpha + \cot \beta + \cot \gamma$  or  $\Sigma ab = ab + bc + ca$  to the intelligence of the reader.

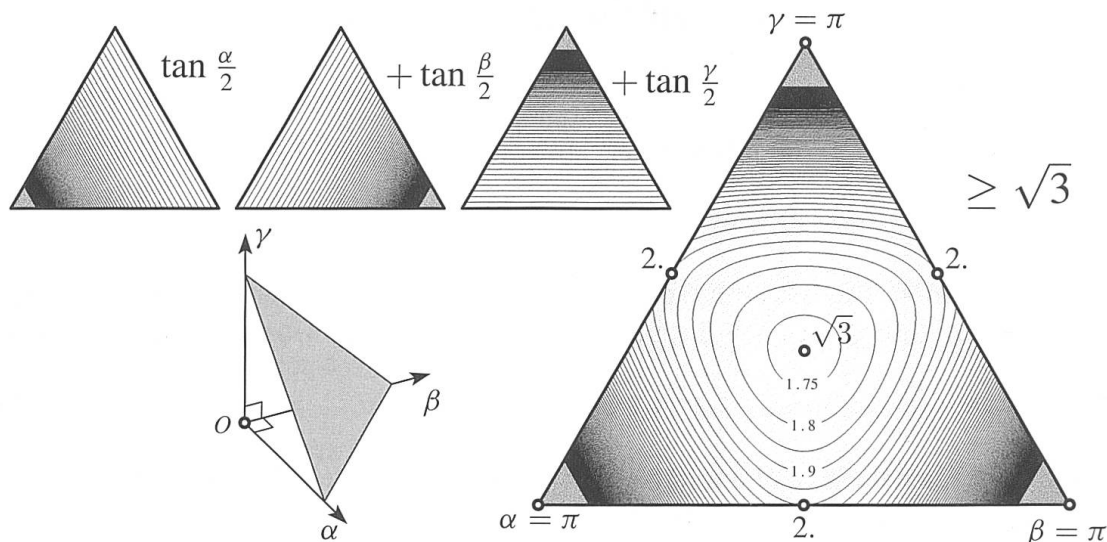
so that

$$\Sigma a^2 - Q = 2 \Sigma ab - \Sigma a^2 = 4\mathcal{A} \Sigma \left( \frac{1}{\sin \alpha} - \cot \alpha \right) = 4\mathcal{A} \Sigma \tan \frac{\alpha}{2}, \quad (4)$$

thus the inequality of Finsler and Hadwiger means that

$$\tan \frac{\alpha}{2} + \tan \frac{\beta}{2} + \tan \frac{\gamma}{2} \geq \sqrt{3} \quad (5)$$

for all angles  $\alpha, \beta, \gamma$  of a triangle.



Proof of  $\tan \frac{\alpha}{2} + \tan \frac{\beta}{2} + \tan \frac{\gamma}{2} \geq \sqrt{3}$

**Backward proof.** However, we believe the inequality (5) at once: the angles  $\alpha, \beta, \gamma$  of a triangle satisfying  $\alpha + \beta + \gamma = \pi$  form in  $\mathbb{R}^3$  an equilateral triangle for which  $(\alpha, \beta, \gamma)$  are the barycentric coordinates (see the Figure above). The three terms of (5) are convex functions on this triangle, each one strictly convex in another direction, therefore their sum is strictly convex with a  $120^\circ$ -symmetry. Thus its minimal point, which must be unique, can only lie in the center where  $\alpha = \beta = \gamma = \frac{\pi}{3}$  and the sum is  $\sqrt{3}$ . Reading now the proof in (4) backwards, we obtain another nice proof of the Finsler–Hadwiger inequality.

**Epilog.** In Art. 7 Gerretsen proves “his” famous inequalities with the standard proof from the Euler distances of the “bijzondere punten” (see, e.g., [3]), and, inversely, Lukarevski [3] proves the Finsler–Hadwiger inequality from Gerritsen’s inequalities.

## References

- [1] P. Finsler, H. Hadwiger, *Einige Relationen im Dreieck*, Comm. Math. Helv. 10 (1938) 316–326.
- [2] J.C.H. Gerretsen, *Ongelijkheden in de Driehoek*, Nieuw Tijdschrift voor Wiskunde 41 (1953) 1–7.
- [3] M. Lukarevski, *An alternate proof of Gerretsen’s inequalities*, Elemente der Math. 72 (2017) 2–8.
- [4] R. Weitzenböck, *Über eine Ungleichung in der Dreiecksgeometrie*, Math. Zeitschr. 5 (1919) 137–146.

Gerhard Wanner

gerhard.wanner@unige.ch