

Die Hexaeder und Tetraeder im Dodekaeder

Autor(en): **Hohenberg, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Elemente der Mathematik**

Band (Jahr): **25 (1970)**

Heft 5

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-27356>

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.

ELEMENTE DER MATHEMATIK

Revue de mathématiques élémentaires – Rivista di matematica elementare

Zeitschrift zur Pflege der Mathematik

und zur Förderung des mathematisch-physikalischen Unterrichts

Publiziert mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds
zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung

El. Math.

Band 25

Heft 5

Seiten 97-120

10. September 1970

Die Hexaeder und Tetraeder im Dodekaeder

1. Einleitung

Die 60 Diagonalen der Seitenflächen eines regulären Pentagondodekaeders Π bilden die Kanten von 5 Würfeln. Die Diagonalen der Seitenflächen jedes dieser Würfel bilden zwei Tetraeder, die man als «linkes» und «rechtes» Tetraeder zu unterscheiden pflegt. Aus Ecken von Π lassen sich 10 Tetraeder bilden, 5 linke und 5 rechte. Durch Drehungen, die Π in sich überführen, geht ein linkes Tetraeder in ein linkes über, ein rechtes in ein rechtes.

Als Vereinigungsmenge der 5 Würfel oder der 10 Tetraeder oder der 5 linken (oder rechten) Tetraeder erhält man komplizierte (nichtkonvexe) Polyeder. Zu klareren Ergebnissen und deutlicheren Figuren gelangt man, wie hier gezeigt werden soll, wenn man die Würfel und Tetraeder als Stabmodelle ihrer Kanten auffasst, alle Schnittpunkte und Verbindungsebenen von Kanten bestimmt und diese Punkte und Ebenen zu mehreren konvexen Polyedern zusammenfasst.

Die Würfelkanten und die Tetraederkanten bilden Geradensysteme, die die erweiterte Ikosaedergruppe gestatten. Geradensysteme, die aus einer Geraden beliebiger Lage durch eine erweiterte Polyedergruppe erzeugt werden, werden in einer späteren Arbeit untersucht.

2. Die Schnittpunkte von Würfelkanten und von Tetraederkanten

2.1. Zwei Würfel im Dodekaeder Π haben immer zwei Gegenecken von Π gemein. Figur 1¹⁾ zeigt Π im Normalriss (Grundriss) in Richtung der (lotrechten) Eckenachse $0\bar{0}$ von Π , ferner die Würfel $0\bar{6}\bar{7}3\bar{7}3\bar{0}\bar{6}$ (einfache dünne Linien) und $0\bar{9}\bar{8}2\bar{8}2\bar{0}\bar{9}$ (dünne Doppellinien). Die Würfelkanten $\bar{7}\bar{3}$ und $8\bar{2}$ schneiden sich in I, $\bar{6}\bar{3}$ und $\bar{9}\bar{2}$ in II, $6\bar{7}$ und $9\bar{8}$ in III. Drehungen um $0\bar{0}$ durch Vielfache von 60° ergeben in Figur 1 daraus die Normalrisse von je 5 weiteren Schnittpunkten I, II, III. Führt man dies für die 10 Paare von Würfeln im Dodekaeder Π durch, so ergeben sich je 60 Punkte I, II, III.

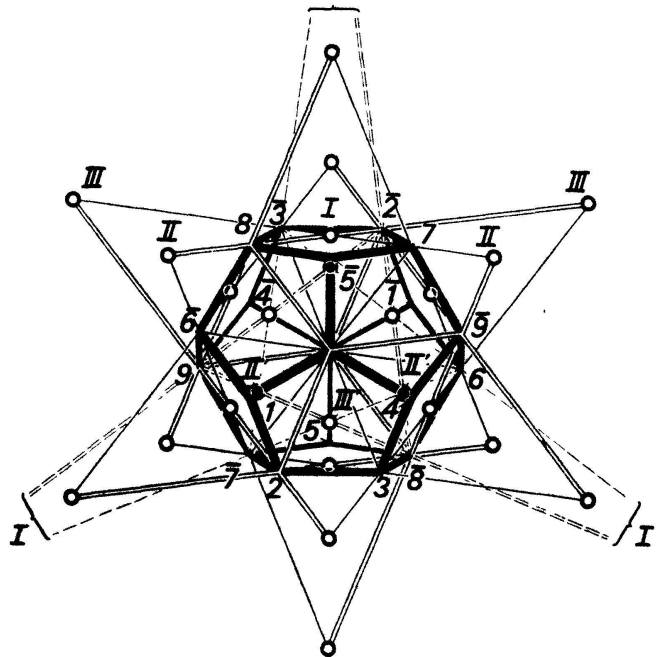
2.2. Zwei linke (oder auch zwei rechte) Tetraeder gehören verschiedenen Würfeln an, sie gehen auseinander durch eine Drehung hervor und ihre Kanten haben keinen Schnittpunkt (auch nicht in einer Ecke von Π). Die Kanten eines linken und eines rechten Tetraeders, die demselben Würfel angehören, schneiden sich in den Mittelpunkten der Seitenflächen dieses Würfels.

¹⁾ Vom Betrachter weglauende Dodekaederkanten wurden in bekannter Weise keilförmig gezeichnet. Wo eine Kante im Bild von einer anderen Kante überkreuzt wird, wurde sie in der Zeichnung unterbrochen. Aus Platzmangel sind in Figur 1 und Figur 2a,b nicht alle Ecken von Π bezeichnet. In Figur 2a gelten dieselben Bezeichnungen wie in Figur 2c, in Figur 2b dieselben wie in Figur 1.

Ein linkes und ein rechtes Tetraeder, die nicht demselben Würfel angehören, haben eine Ecke von Π gemein, ferner die Ebene, in der die gegenüberliegenden Seitenflächen liegen. In Figur 1 bilden die Dreiecke $\bar{3}\bar{7}\bar{6}$ (einfach gestrichelte Linien) und $\bar{2}\bar{8}\bar{9}$ (gestrichelte Doppellinien) zusammen mit der obersten Ecke 0 von Π zwei solche Tetraeder. Ihre Seitenflächen $\bar{3}\bar{7}\bar{6}$ und $\bar{2}\bar{8}\bar{9}$ in der Ebene $\bar{3}\bar{2}\bar{6}\bar{8}\bar{7}\bar{9}$ ergeben 9 Schnittpunkte von Kanten beider Tetraeder, nämlich je 3 Punkte I', II', III'. Sie liegen in den 3 durch die Eckenachse $0\bar{0}$ gehenden Symmetrieebenen von Π . Insgesamt gibt es je 60 Punkte I', II', III'.

•2.3. Π habe die Kantenlänge a ; dann haben die Würfel die Kantenlänge $d = a(1 + \sqrt{5})/2$, die Tetraeder die Kantenlänge $d\sqrt{2}$.

Wir zeigen nun, dass die Punkte I in I' durch eine Streckung aus dem Mittelpunkt M von Π übergehen, ebenso die Punkte II in II', und ebenso die Punkte III in III'. Die Ebene $9\bar{2}\bar{2}$ enthält M (auf $\bar{2}\bar{2}$), auf 92 einen Punkt I, auf $9\bar{2}$ einen Punkt I'. M, I, I' liegen in Figur 1 und, da die Ebene $9\bar{2}\bar{2}$ nicht als Gerade erscheint, auch im Raum auf einer Geraden. Aus ähnlichen Dreiecken folgt $\lambda_1 = |MI : MI'| = (2a - d) : d = \sqrt{5} - 2$. Die Ebene $9\bar{9}\bar{8}$ enthält M (auf $9\bar{9}$), auf $\bar{8}\bar{9}$ einen Punkt II, auf $\bar{8}\bar{9}$ einen Punkt II'. Es folgt $\lambda_2 = |MII : MII'| = (2a + d) : d = \sqrt{5}$. Die Ebene $8\bar{8}\bar{9}$ enthält M (auf $8\bar{8}$), auf 89 einen Punkt III, auf $\bar{8}\bar{9}$ einen Punkt III'. Es folgt $\lambda_3 = |MIII : MIII'| = (a + 2d) : a = \sqrt{5} + 2$. (Es ist $\lambda_1 - 2\lambda_2 + \lambda_3 = 0$ und $\lambda_1\lambda_3 = 1$.)



Figur 1

3. Die Polyeder der Schnittpunkte

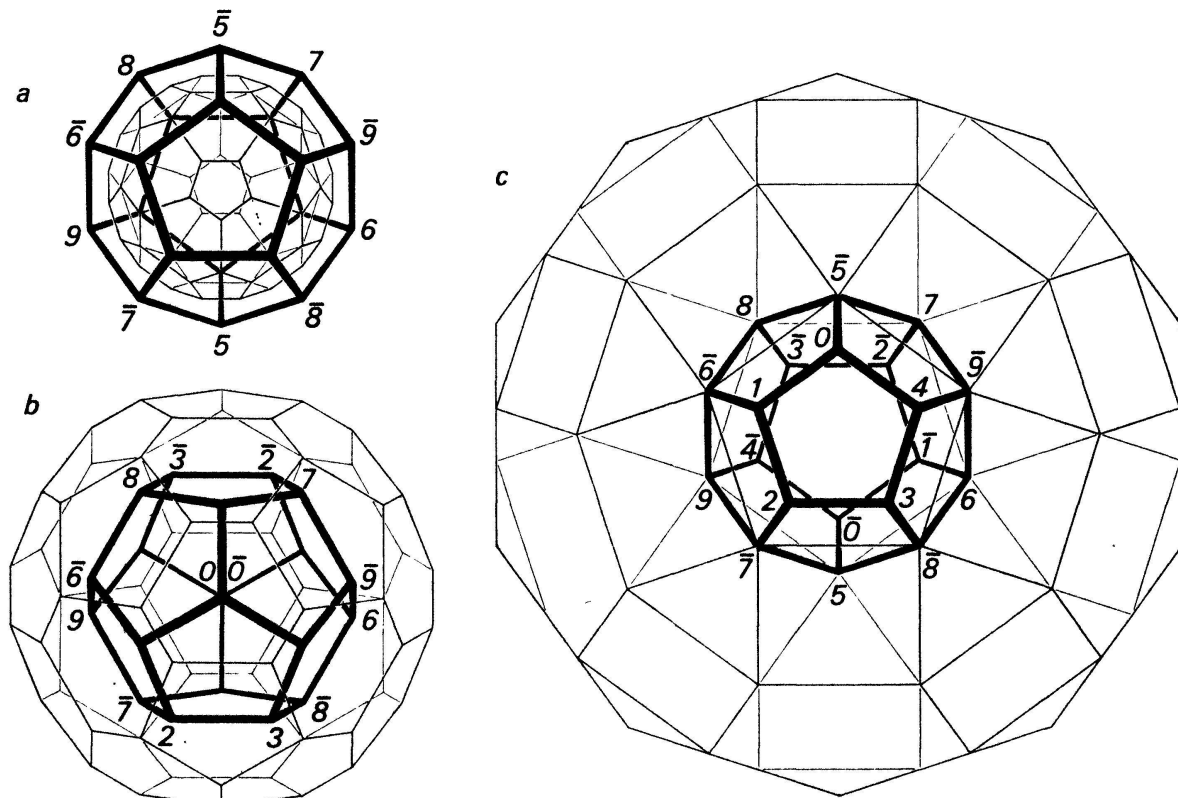
3.1. Bei den 5 Würfeln lässt sich aus den 60 Kantenschnittpunkten I ein Polyeder Π_1 (Fig. 2a) bilden, aus den 60 Punkten II ein Polyeder Π_2 (Fig. 2b), aus den 60 Punkten III ein Polyeder Π_3 (Fig. 2c)²⁾.

²⁾ Π_1, Π_2, Π_3 sind in Figur 2a, b, c als Drahtmodelle gezeichnet, die dem Betrachter abgewandte Hälfte mit ganz dünnen Strichen, die zugewandte Hälfte etwas stärker. In Figur 2a und 2c decken sich die Bilder von 10 Ecken der oberen und 10 Ecken der unteren Hälfte von Π_1 bzw. Π_3 . In Figur 2b ist dies bei 6 Ecken von Π_2 der Fall. In Figur 2c besteht der Umriss von Π_3 aus den Normalrissen von 10 Quadraten von Π_3 .

Π_1 ist begrenzt von 12 Fünfecken (Seitenlänge $2a - d$), gebildet aus den Diagonalen je einer Seitenfläche von Π , und 20 halbregulären Sechsecken (Innenwinkel 120° , Seitenlängen abwechselnd $2a - d$ und $d - a$). Π_2 ist begrenzt von 12 Fünfecken (Seitenlänge a) und 20 halbregulären Sechsecken (Innenwinkel 120° , Seitenlängen abwechselnd a und $d - a$). Die Sechsecke von Π_1 und Π_2 sind wegen $(2a - d) : (d - a) = (d - a) : a$ ähnlich, jedoch liegen bei Π_1 die Fünfecke den kürzeren Sechseckseiten $2a - d$ an, bei Π_2 den längeren Sechseckseiten a ³⁾. Π_3 (Fig. 2c) ist ein Archimedisches Polyeder mit der Kantenlänge d , begrenzt von 20 gleichseitigen Dreiecken, 30 Quadraten und 12 Fünfecken⁴⁾.

3.2. Bei den 10 Tetraedern lässt sich aus den 60 Kantenschnittpunkten I' ein Polyeder Π'_1 bilden, aus den 60 Punkten II' ein Polyeder Π'_2 , aus den 60 Punkten III' ein Polyeder Π'_3 . Nach 2.3 geht Π'_i ($i = 1, 2, 3$) durch λ_i -fache Streckung aus M in Π_i über. Π'_1 (Fünfeckseite d , Sechseckseiten d und $d + a$), Π'_2 (Fünfeckseite $a/\sqrt{5}$, Sechseckseiten $a/\sqrt{5}$ und $(d - a)/\sqrt{5}$), Π'_3 (Kantenlänge $2a - d$) sind in Figur 2a, b, c nicht gezeichnet. Wegen $\lambda_1 \lambda_3 = 1$ führt die Streckung, durch die Π'_1 in Π_1 übergeht, zugleich Π_3 in Π'_3 über. Überdies zeigt sich: Die 60 Würfelkanten sind die Seiten der 12 Fünfecke von Π_1 , die 60 Tetraederkanten sind die Diagonalen der 30 Quadrate von Π'_3 .

Zu den Schnittpunkten von Tetraederkanten gehören (ausser den Ecken von Π) noch die Schnittpunkte der Kanten je zweier Tetraeder, die einem und demselben Würfel eingeschrieben sind. Diese Schnittpunkte sind die Mittelpunkte der Würfel-



Figuren 2a, b, c

³⁾ Obwohl man die Ecken von Π_1 und Π_2 einander so zuordnen kann, dass entsprechende Kanten parallel sind und entsprechende Flächen parallel und ähnlich, sind Π_1 und Π_2 nicht ähnlich.

⁴⁾ Damit ist wohl die einfachste Art gefunden, wie dieses Archimedisches Polyeder bei gegebener Kantenlänge d aus einem Dodekaeder konstruiert werden kann.

flächen und sie bilden ein Oktaeder. Die Eckenachsen des Oktaeders gehen verlängert durch Kantenmittelpunkte von Π , und diese bilden ein Ikosidodekaeder. Daher bilden die Kantenschnittpunkte von Tetraedern, die einem und demselben Würfel eingeschrieben sind, fünf Oktaeder, und deren Ecken lassen sich zu einem Ikosidodekaeder Π'_4 (Umkugelradius $d/2$) vereinen.

4. Teilfiguren, die eine Diedergruppe gestatten

4.1. Die oberste Seitenfläche ε_{11} von Π_1 in Figur 2a enthält 5 Würfelkanten; ihre Verlängerungen bis zu den Ecken von Π sind gepunktet. In der untersten Seitenfläche ε_{12} von Π_1 liegt ein zweites Fünfeck von Würfelkanten. In Figur 2b liegen die Würfelkanten $\bar{78}$, $\bar{62}$, $\bar{39}$ in einer Ebene ε_{21} , sie schneiden sich (gepunktet verlängert) in 3 Ecken von Π_2 . Symmetrisch zu ε_{21} bezüglich M liegt die Ebene ε_{22} mit den Würfelkanten $\bar{78}$, $\bar{62}$, $\bar{39}$, die sich ebenfalls in 3 Ecken von Π_2 schneiden. In Figur 2c liegen die Würfelkanten $\bar{56}$, $\bar{67}$, $\bar{78}$, $\bar{89}$, $\bar{95}$ in einer Ebene ε_{31} , sie schneiden sich (gepunktet verlängert) in 5 Ecken von Π_3 . Symmetrisch zu ε_{31} bezüglich M liegt die Ebene ε_{32} mit den Würfelkanten $\bar{56}$, $\bar{67}$, $\bar{78}$, $\bar{89}$, $\bar{95}$. Die Fünfecke in ε_{11} und ε_{12} bilden zusammen eine Teilfigur π_1 der Ecken I von Π_1 , die Dreiecke in ε_{21} und ε_{22} eine Teilfigur π_2 der Ecken II und Π_2 , die Fünfecke in ε_{31} und ε_{32} eine Teilfigur π_3 der Ecken III von Π_3 .

4.2. Die Streckung aus M , die Π_1 in Π'_1 überführt, führt die 10 Punkte I von π_1 in 10 Punkte I' über, von denen in Figur 2a je einer unter $\bar{5}$, $\bar{6}$, $\bar{7}$, $\bar{8}$, $\bar{9}$, je einer ober 5, 6, 7, 8, 9 liegt. Diese 10 Punkte sind die Aussenecken des aus Tetraederkanten bestehenden Diagonalenzuges $\bar{0}\bar{2}\bar{4}\bar{1}\bar{3}\bar{0}\bar{2}\bar{4}\bar{1}\bar{3}\bar{0}$ von Π , den wir mit π'_1 bezeichnen (obwohl er nicht durch Streckung aus π_1 hervorgeht). Die Streckung aus M , die Π_2 in Π'_2 überführt, führt die 6 Punkte II von π_2 in 6 Punkte II' über, von denen in Figur 2b je einer unter $\bar{4}$, $\bar{5}$, $\bar{1}$, je einer ober $\bar{4}$, $\bar{5}$, $\bar{1}$ liegt. Diese Punkte II' ergeben reihum verbunden das aus den Tetraederkanten $\bar{62}$, $\bar{39}$, $\bar{78}$, $\bar{62}$, $\bar{39}$, $\bar{78}$ gebildete Sechseck, das wir π'_2 nennen. Die Streckung aus M , die π_3 in π'_3 überführt, führt die 10 Punkte III von π_3 in 10 Punkte III' über, von denen in Figur 2c je einer unter $\bar{0}$, $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{3}$, $\bar{4}$ liegt. Diese 10 Punkte III' sind die Innenecken des aus Tetraederkanten gebildeten Diagonalenzuges $\bar{5}\bar{6}\bar{7}\bar{8}\bar{9}\bar{5}\bar{6}\bar{7}\bar{8}\bar{9}\bar{5}$ von Π , den wir π'_3 nennen.

4.3. Das Fünfeckpaar π_1 , das Dreieckpaar π_2 und das Fünfeckpaar π_3 von Würfelkanten, ebenso das unebene reguläre Zehneck π'_1 , das unebene reguläre Sechseck π'_2 und das unebene reguläre Sternzehneck π'_3 von Tetraederkanten gestatten je eine in der Ikosaedergruppe enthaltene Diedergruppe. (Die Hauptachse erscheint in Figur 2 als Punkt.)

Das Dodekaeder Π besitzt 6 fünfzählige und 10 dreizählige Achsen, daher lassen sich die Würfelkanten und Tetraederkanten auf je 6 Figuren π_1 , π_3 bzw. π'_1 , π'_3 oder auf 10 Figuren π_2 bzw. π'_2 verteilen.

5. Die Polyeder der Verbindungsebenen

Jede Ecke der Polyeder Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π'_1 , Π'_2 , Π'_3 , Π'_4 ist Schnittpunkt zweier Würfel- bzw. Tetraederkanten. Deren Verbindungsebenen bilden Polyeder, die wir $\bar{\Pi}_1$, $\bar{\Pi}_2$, $\bar{\Pi}_3$, $\bar{\Pi}'_1$, $\bar{\Pi}'_2$, $\bar{\Pi}'_3$, $\bar{\Pi}'_4$ nennen.

5.1. Die Fünfecke von $\bar{\Pi}_1$ bestehen aus Würfelkanten in den Seitenflächen von Π , daher ist $\bar{\Pi}_1 = \Pi$. Auch $\bar{\Pi}_3$ ist ein Dodekaeder, denn ε_{31} ist Verbindungsebene von Würfelkanten in 5 Schnittpunkten III und ε_{31} ist zur Seitenfläche 01234 von Π parallel. $\bar{\Pi}_3$ geht aus Π durch $(\sqrt{5} - 2)$ -fache Streckung aus M hervor.

5.2. In allen 9 in Figur 1 enthaltenen Schnittpunkten I', II', III' von Tetraederkanten ist deren Verbindungsebene die Ebene $\bar{3}2\bar{6}\bar{8}\bar{7}9$. Diese Ebene ist zugleich die Ebene ε_{22} von Figur 2b, sie enthält die Würfelkanten $\bar{3}9$, $\bar{7}8$, $\bar{6}2$, die sich in 3 Ecken II von Π_2 schneiden. Daher sind $\bar{\Pi}_2$, $\bar{\Pi}'_1$, $\bar{\Pi}'_2$, $\bar{\Pi}'_3$ ein und dasselbe Ikosaeder (Mittelpunkt M , Inkugelradius = Inkugelradius der Tetraeder = $d/2\sqrt{3}$). *Dieses Ikosaeder ist die Durchschnittsmenge der zehn Tetraeder im Dodekaeder.*

5.3. Die Ebenen von $\bar{\Pi}'_4$ bilden die Seitenflächen der 5 Würfel. $\bar{\Pi}'_4$ entsteht aus Π'_4 durch Polarisieren an der Inkugel der 5 Würfel, ist also ein Rhombentriakontaeder (Mittelpunkt M , Inkugelradius = $d/2$). *Dieses Rhombentriakontaeder ist die Durchschnittsmenge der fünf Würfel im Dodekaeder.*

FRITZ HOHENBERG, Graz

Randomly Traversable Graphs

1. Introduction

A graph G is *eulerian* if it possesses a circuit containing all vertices and edges of G . These graphs are named for LEONHARD EULER [1], who encountered them while giving a solution to the Königsberg Bridge Problem. It is well known that a graph is eulerian if and only if it is connected and each of its vertices is even.

Similar to the eulerian graphs are the traversable graphs. A graph G is *traversable* if it possesses an open trail containing all vertices and edges of G . Traversable graphs are characterized (see [2], p. 65) by the properties of being connected and containing exactly two odd vertices. It is an elementary fact that every graph has an even number of odd vertices. A connected graph G with odd vertices is called *n-traversable* if there exist n open trails but no fewer which partition the edge set of G . Hence the 1-traversable graphs and the traversable graphs are identical. It follows (see [2], p. 65) that a connected graph G is *n-traversable*, $n \geq 1$, if and only if G has exactly $2n$ odd vertices.

In [3] ORE introduced an interesting class of eulerian graphs. An eulerian graph G is *randomly eulerian from a vertex v* of G if the following procedure always results in an eulerian circuit of G : Begin a trail at v by choosing any edge incident with v . Next (and at each step thereafter), the trail is continued by selecting any edge not already chosen which is adjacent with the edge most recently selected. The process terminates when no such edge is available. Equivalently, a graph G is randomly eulerian from v if every trail of G beginning at v can be extended to an eulerian circuit of G .

It is the object of this paper to study eulerian graphs which are randomly eulerian from one or more of their vertices and to extend this concept to traversable graphs and to *n-traversable* graphs in general.