

Oologische Berechnungen

Rechnerische Beziehungen zwischen Kennwerten von Vogeleiern

Kurt Schläpfer

Prof. Dr. Kurt Schläpfer, CH-9032 Engelburg
E-Mail: schlaepfer@datacomm.ch

November 2018
(überarbeitete und ergänzte Version vom März 2012)

Oologische Berechnungen basieren leider nur ausnahmsweise auf exakten Gesetzmässigkeiten. Der Grund dafür ist, dass sich die meisten Eiformen geometrisch nicht einfach beschreiben lassen. Man ist daher genötigt, Näherungsformeln abzuleiten und deren Brauchbarkeit mit gemessenen Daten zu vergleichen. Der Autor des folgenden Beitrages ist bei weitem nicht der Erste, der sich mit diesem Thema befasst. Der weit-aus wichtigste Beitrag auf diesem Gebiet stammt vom Ornithologen Max Schönwetter, der in seinem vierbändigen Handbuch der Oologie ungefähr 180 Seiten diesem Thema gewidmet hat. Da diese Abhandlung bereits 1982 erschienen ist, hat der Autor des vorliegenden Beitrags den Vorteil, dass er auch noch spätere Erkenntnisse auf diesem Gebiet einbeziehen konnte.

Während sich der Ornithologe Max Schönwetter bemüht hat, logische Zusammenhänge zwischen messbaren Grössen an Vogeleiern abzuleiten, haben spätere Autoren – nicht zuletzt dank den damals aufkommenden Programmiermöglichkeiten – versucht, statistische Zu-

sammenhänge zwischen Kennwerten von Eiern zu ermitteln. Das Resultat waren in den meisten Fällen exponentielle Gleichungen, also Formeln vom Typ:

$$y = a \cdot x^b$$

Man spricht in diesem Zusammenhang von allometrischen Gleichungen. Meist wird mit solchen Gleichungen eher ein Zusammenhang zwischen zwei Grössen postuliert als logisch abgeleitet. Der folgende Beitrag befasst sich ausdrücklich nicht mit allometrischen Gleichungen in der Oologie.

1. Die messbaren Grössen an Vogeleiern

Der Ausgangspunkt für oologische Berechnungen sind gemessene Grössen an Vogeleiern. Es sei bereits hier erwähnt, dass Messungen an einem einzelnen Ei nicht repräsentativ sind, da sich die Messwerte von Vogeleiern auch bei gleicher Vogelart beträchtlich unterscheiden können. Selbst wenn man beispielsweise 50 Eier aus einer bestimmten Vogelpopulation (z.B. Amseln in der Schweiz) misst und den Mittelwert bildet, kann dieser bei einer anderen Population (z.B. Amseln in Spanien) davon abweichen. Im vorliegenden Beitrag werden daher als Beispiele nur Messwerte verwendet, die typischerweise an 100 bis 500 Eiern gemessen wurden. Die meisten dieser Messwerte stammen aus dem Handbuch der Oologie.

Folgende Merkmale von Vogeleiern sind messtechnisch zugänglich:

- Länge und Breite
- bei asymmetrischen Eiern: Abstand vom spitzen Ende bis zum Durchmesser an der breitesten Stelle (siehe Abb. 1)
- Schalengewicht
- Schalendicke

Tabelle 1 gibt eine Übersicht, in welchem Bereich sich diese Messwerte bewegen.

*Tabelle 1: Bereich der Messwerte bei Vogeleiern
(Werte von Eiern von ausgestorbenen Vogelarten sind hier nicht berücksichtigt.)*

Messwert	min. Wert	max. Wert
Länge	10 mm	180 mm
Breite	6 mm	160 mm
Schalengewicht	0.01 g	350 g
Schalendicke	0.04 mm	2 mm

An sich könnte man erwarten, dass auch das Vollgewicht (oder Frischgewicht) einfach messbar ist, nämlich indem man das Ei vor dem Ausblasen auf die Waage legt. Wenn das Ei frisch gelegt wurde, trifft dies auch zu. Vielfach erhält aber ein Sammler ein nicht ausgeblasenes Ei erst mehrere Tage oder Wochen nach der Eiablage. In diesem Fall hat sich im Ei durch Verdunstung eine Luftkammer gebildet, sodass die Wägung ein bis zu 15% zu niedriges Gewicht ergeben kann. Aus dem gleichen Grund wird auch nicht empfohlen, das Ei-Gewicht an einem ausgeblasenen Ei zu ermitteln, obwohl dies durch Füllen des Eies mit Wasser möglich ist. Die Luftkammer bleibt nämlich als Innenhaut nach dem Ausblasen bestehen, sodass das Ei nicht vollständig gefüllt werden kann.

Am einfachsten messbar ist die Länge und Breite eines Eies. Da die kleinsten Eier, z.B. von Kolibris, nur gut 10 mm Länge aufweisen, sollte die Messung kleiner Eier auf mindestens 0.5 mm genau erfolgen. Schwieriger ist es, bei asymmetrischen Eiern den Abstand vom spitzen Ende bis zum Durchmesser an der breitesten Stelle (siehe Abb. 1) zu bestimmen. Zu diesem Zweck benötigt

man eine zweidimensionale Projektion der Eiform, was beispielsweise eine fotografische Abbildung sein kann.

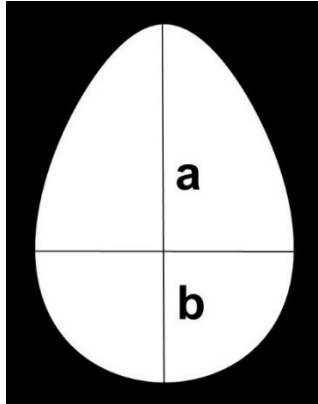


Abb. 1: Abstand a von der Ei-Spitze bis zum Durchmesser an der breitesten Stelle als Kennwert für die Asymmetrie

Einfacher ist die Messung des Schalengewichts, nämlich indem man das ausgeblasene Ei auf eine entsprechend genaue Waage legt. (Das Bohrloch beeinflusst die Genauigkeit der Messung nicht.)

Die Schalendicke kann heute mit Ultraschallgeräten einfach und zuverlässig gemessen werden. Mechanisch lässt sich die Schalendicke messen, indem man mit einer geeigneten Mikrometerschraube durch das Bohrloch hindurch bis an die hintere Schalenwand fährt. Aber die Schalendicke lässt sich auch zuverlässig aus gemessenen Daten errechnen (siehe Kapitel 5).

2. Beschreibung der Eiform

Bei der Eiform kann man bei Vögeln vier Grundtypen unterscheiden, nämlich

- rund
- elliptisch
- eiförmig (gleichbedeutend mit oval)
- kegelförmig

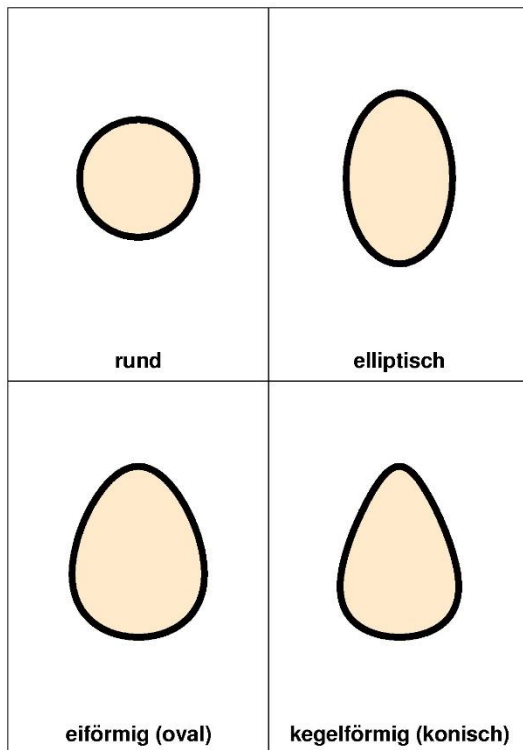


Abb. 2: Die vier Grundtypen von Eiformen bei Vogeleiern

Viele Eier sind Mischformen oder Varianten dieser Grundtypen. Ein ovales Ei kann beispielsweise dicker oder schmaler, aber auch länglicher oder kürzer als das hier abgebildete Beispiel sein. Allein von dieser Eiform sind somit fast beliebige Varianten möglich.

Die einfachste Eiform ist die Kugel. Es gibt aber keine Vogelarten, die exakt kugelförmige Eier legen. Fast kugelförmige Eier legen einige Eulenarten, der Steinkauz und der Eisvogel. Die sozusagen klassische Eiform ist die ovale Form, geometrisch als Ovoid bezeichnet. Diese Eiform ist deswegen so bekannt, weil alle Hühnereier diese Form aufweisen. Bei dieser Form befindet sich die maximale Breite nicht mehr in der Mitte der Längsachse, sodass das Ei ein rundes und ein spitzes Ende hat. Wenn die maximale Breite sehr stark verschoben ist, kann das Ei sogar kegelförmig aussehen. Kegelförmige Eier findet man besonders bei Meeresvögeln, die auf Felsenklippen brüten. Wenn solche Eier bewegt werden, können sie nicht über den Klippenrand rollen, sondern sie bewegen sich im Kreis und bleiben somit dem Brutvogel erhalten. Dann gibt es noch elliptisch geformte Eier. Diese unterscheiden sich von der klassischen Eiform dadurch, dass nicht zwischen einem spitzen und einem stumpfen Pol unterschieden werden kann, sondern dass die beiden Enden gleich geformt sind. Eine relativ exakte elliptische Form haben beispielsweise die Eier von Schwänen.

Um zu beschreiben, wie weit ein Ei eher kugelförmig oder eher elliptisch ist, wird das Verhältnis zwischen der Eilänge L und der Eibreite B gebildet. Dieser Wert wird als Achsenverhältnis k bezeichnet.

$$k = L/B$$

Das Achsenverhältnis k variiert zwischen etwa 1.05 und 1.85. Der niedrigste Wert entspricht einem fast kugelförmigen Ei. Der höchste Wert bedeutet, dass es keine (normalen) Vogeleier gibt, die doppelt so lang wie breit sind.

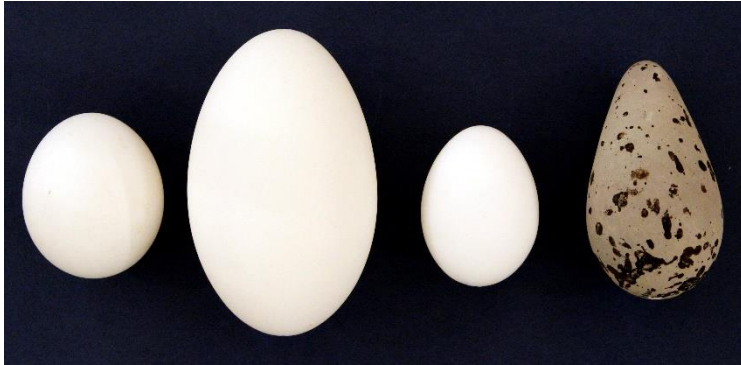


Abb. 3: Die vier Grundformen von Vogeleiern an Beispielen:

Rund: Europäischer Uhu (Bubo bubo)

Elliptisch: Singschwan (Cygnus cygnus)

Oval: Haushuhn (Gallus gallus domesticus)

Kegelförmig: Trottellumme (Uria aalge)

Um zu beschreiben, wie weit die Eiform oval oder sogar kegelförmig ist, wird der Abstand zwischen dem spitzen Pol und dem Durchmesser an der breitesten Stelle bestimmt (siehe Abb. 1). Dieser Wert, in Abb. 1 als a bezeichnet, wird durch den Wert $b = L - a$ (siehe Abb. 1) dividiert. Dieser Quotient wird als Asymmetrie-Koeffizient e bezeichnet.

$$e = a/b$$

Mit dem Achsenverhältnis sowie mit dem Asymmetrie-Koeffizienten lassen sich die verschiedenen Eiformen ziemlich exakt beschreiben.

Für die in Abb. 3 gezeigten Eier ergeben sich folgende Werte:

Vogelart	Achsen- verhältnis $k = L/B$	Asymmetrie- Koeffizient $e = a/b$
Europäischer Uhu	1.21	1.05
Singschwan	1.55	1.01
Haushuhn	1.37	1.20
Trottellumme	1.62	1.78

Vielfach wünscht man sich aber auch eine Möglichkeit, um die Eiform bildlich darzustellen. Zu diesem Zweck benötigt man eine mathematische Gleichung. In der Literatur und im Internet findet man mehrere Dutzend Formeln, um eine Eiform zu zeichnen. Aber der Nachteil fast aller Formeln besteht darin, dass die Parameter der Formel in keinem direkten Zusammenhang mit den oben besprochenen Messgrößen für die Eiform stehen. Es gibt eine Vielzahl von Publikationen, wo mit Hilfe von mathematischen Gleichungen auf kompliziertem Weg Werte für die Asymmetrie und für die Elliptizität der Eiform errechnet werden. Was man sich aber wünscht, ist eine Formel, in welcher man die messbaren Größen, nämlich das Achsenverhältnis $k = L/B$ und den Asymmetrie-Koeffizienten $e = a/b$, mehr oder weniger direkt eingeben kann.

Die folgende Formel erfüllt diese Anforderung und lässt sich mit Hilfe eines so genannten Funktionsplotters (eng-

lisch *equation plotter*) problemlos anwenden. Die Gleichung lautet wie folgt:

$$y = \sqrt{L^2 - x^2 + 2 \cdot d \cdot x - d^2} \cdot B \cdot (1 - d \cdot x + B \cdot d^2) \quad (1)$$

Die Parameter L , B und d haben folgende Bedeutung:

L = Ei-Länge: Wenn alle gezeichneten Eiformen die gleiche Grösse haben sollen, wird $L = 1$ gesetzt.

B = Ei-Breite: Bei $L = 1$ ist dieser Wert kleiner als 1. Er kann aus dem Achsenverhältnis $k = L/B$ wie folgt errechnet werden:

$$B = 1/k$$

d = Parameter, der die Asymmetrie der Eikurve bestimmt: Für $d = 0$ ist die Eikurve exakt elliptisch. Aus dem Asymmetrie-Koeffizienten e lässt sich d wie folgt errechnen:

$$d = 2 \cdot e / (1 + e) - 1.$$

Es sei vorweggenommen, dass eine Formel, die nur auf zwei Parametern beruht, nämlich dem Achsenverhältnis und dem Asymmetrie-Koeffizienten, nicht alle vorkommenden Eiformen abbilden kann. Mit anderen Worten: Bei gleichem Achsenverhältnis und Asymmetrie-Koeffizienten kann die Eiform noch unterschiedlich sein (siehe Abb. 4).

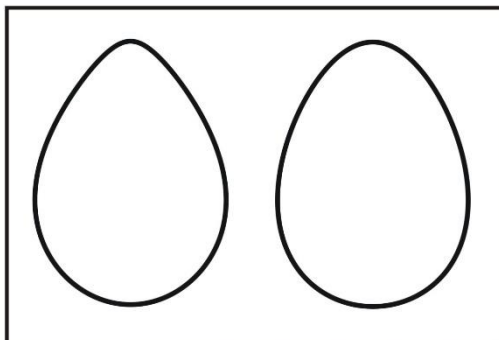


Abbildung 4: Unterschiedliche Eiförmigkeiten bei gleichen Werten für das Achsenverhältnis und den Asymmetrie-Koeffizienten

Was die oben aufgeführte Gleichung (1) leistet, sei an vier Beispielen dargestellt. Die Beispiele beziehen sich auf Eier mit den unten stehenden Messwerten für die Eiförmigkeit und den entsprechenden Parametern für die Gleichung (1).

Vogelart	Messwerte		Formel-Parameter für Gleichung (1)	
	k	e	B	d
Haushuhn	1.37	1.20	0.73	0.09
Trottellumme	1.62	1.78	0.62	0.28
Wanderalbatross	1.62	1.09	0.62	0.04
Kiebitz	1.31	1.88	0.76	0.30

Perfekt lassen sich das Haushuhn-Ei und das Ei des Wanderalbatross abbilden (siehe Abb. 5 und 6). Das Albatross-Ei könnte aufgrund des Asymmetrie-Koeffizienten, der nahe bei 1 ist, sogar ziemlich gut mit einer reinen Ellipsengleichung dargestellt werden.

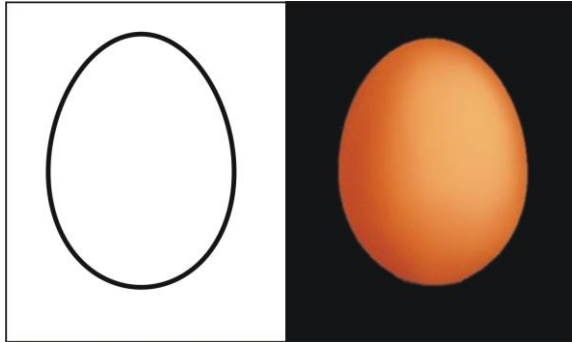


Abbildung 5: Eiform Haushuhn

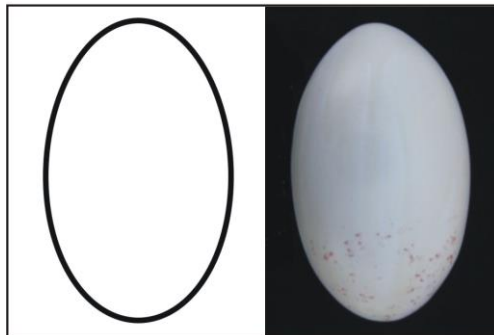


Abbildung 6: Eiform Wanderalbatross

Relativ gut lässt sich auch das Kiebitz-Ei abbilden, obwohl dieses einen relativ extremen Asymmetrie-Koeffizienten aufweist (Abb. 7).

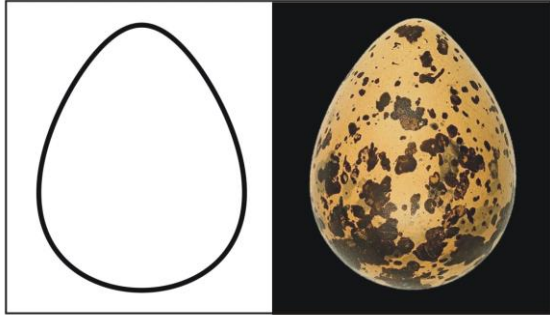


Abbildung 7: Eiform Kiebitz

Wo hingegen Gleichung (1) kein gutes Ergebnis liefert, ist beim Ei der Trottellumme (siehe Abb. 8). Ein besseres Ergebnis ergibt hier eine andere Gleichung, die allerdings Koeffizienten enthält, die man für eine bestimmte Eiform empirisch ermitteln muss:

$$y = \sqrt[3]{1 - x^2} \cdot (c_0 + c_1 \cdot x + c_2 \cdot x^2) \quad (2)$$

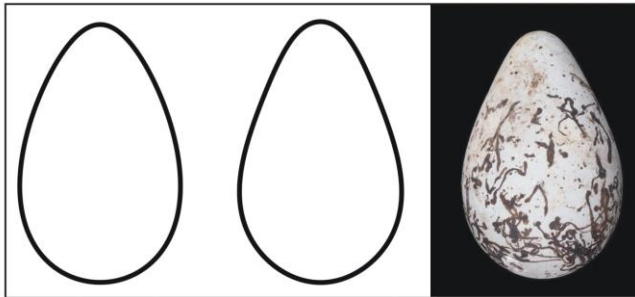


Abbildung 8: Eiform Trottellumme:

Links: gezeichnet mit Gleichung (1), Mitte: gezeichnet mit Gleichung (2)

Für die Eiform der Trottellumme (Abb. 8) wurden in Gleichung (2) folgende Koeffizienten benutzt:

$$c_0 = 0.58$$

$$c_1 = 0.22$$

$$c_2 = 0.11$$

Noch ein Wort zur Anwendung der Gleichungen (1) und (2) bei der Verwendung eines Funktionsplotters: Bei dieser Applikation muss man die Gleichungen in der gleichen Form eingeben wie bei Berechnungen in Tabellenkalkulationsprogrammen (z.B. Microsoft Excel). Gleichung (1) lautet dann wie folgt:

$$\sqrt{1-x^2+2*d*x-d^2} * B * (1-d*x+B*d^2) \quad (3)$$

In dieser Form lässt sich aber nur die Kurve für die eine Eihälfte darstellen. Für die vollständige Eiform muss Gleichung (3) als zweite Gleichung mit einem vorangestellten Minuszeichen eingegeben werden.

3. Berechnung des Eivolumens

Im Falle von kugelförmigen Eiern kann das Volumen V (ml) aus dem Durchmesser D (cm) exakt wie folgt berechnet werden:

$$V = 0.5236 \cdot D^3 \quad (4)$$

Es gibt allerdings keine exakt kugelförmigen Eier. Bei einer exakt elliptischen Eiform errechnet sich das Volumen aus der Länge L und der Breite B :

$$V = 0.5236 \cdot L \cdot B^2 \quad (5)$$

Bei allen anderen Eiformen sind die Länge und die Breite allein nicht ausreichend für eine exakte Berechnung

des Volumens. Bei der Anwendung von Formel (5) resultiert ein Fehler, der mit einem Faktor f korrigiert werden muss. Dieser liegt zwischen 1.00 und 0.90, wobei der niedrigste Wert für die seltenen kreisförmigen Eier (z.B. Eier der Trottellumme) zutrifft. Für Eier mit einer üblichen Eiform (z.B. Hühnereier) beträgt dieser Faktor 0.98. Mit diesem Faktor lässt sich das Ei-Volumen von etwa 80% aller Vogelarten ziemlich genau errechnen. Die Gleichung lautet dann:

$$V = 0.513 \cdot L \cdot B^2 \quad (6)$$

Um das Volumen für alle denkbaren Eiformen zu berechnen, kann folgende ziemlich genaue Näherungsformel verwendet werden:

$$V = f \cdot 0.5236 \cdot L \cdot B^2 \quad (7)$$

Der Faktor f ist dabei wie folgt definiert:

$$f = 0.2 \cdot (e + 4 - k \cdot e + k) \quad (8)$$

Die Parameter k und e in Gleichung (8) wurden in Kapitel 2 definiert. Für $k=1$ und $e=1$ wird $f=1$ und es resultiert Gleichung (5).

Beispiel: Ei der Trottellumme

$$e = 1.78, k = 1.62$$

$$f = 0.90$$

$$V = 0.471 \cdot L \cdot B^2$$

Mit Gleichung (7) wurden die Volumenwerte der im Anhang 1 aufgeführten Eier von 29 bekannteren Vogelarten berechnet.

4. Berechnung des Ei-Gewichts

Wenn man das Volumen kennt, ergibt sich das Gewicht G (g), indem man das Volumen V (ml) mit dem spezifischen Gewicht G_{spez} multipliziert:

$$G = V \cdot G_{spez} \quad (9)$$

Allerdings ist das spezifische Gewicht nur ausnahmsweise bekannt. Bei Vogeleiern kann es zwischen 1.05 und 1.15 variieren. Bei 99% aller Vogelarten ist aber das spezifische Gewicht nicht grösser als 1.10. Nimmt man daher bei der Berechnung des Gewichts eine Ungenauigkeit von etwa $\pm 2.5\%$ in Kauf, kann man mit einem mittleren Wert von 1.07 rechnen. Diese vereinfachte Regel gilt vor allem für Vogeleier mit einem Volumen im Bereich von 5 ml bis 400 ml. Die Berechnung des Gewichts nach dieser einfachen Formel ergab für die im Anhang 1 aufgeführten Eier von 29 Vogelarten nur einen mittleren Fehler von 0.8% gegenüber dem deklarierten Gewicht. Aber für die schwersten Eier wurden deutlich zu niedrige Gewichte errechnet.

Es gilt ferner die grobe Regel, dass das spezifische Gewicht mit zunehmender Eigrösse zunimmt. So entspricht bei den Vogeleiern der kleinste Wert von 1.05 tatsächlich auch dem kleinsten Ei, und der Wert 1.15 gilt für das grösste Vogelei, nämlich das Straussenei. Bei den Singvögeln (Ordnung *Passeriformes*), zu denen über 50% aller Vogelarten gehören, sind alle Eier leichter als 40 g. In diesem Fall kann man ziemlich genau mit einem mittleren spezifischen Gewicht von 1.061 rechnen.

Man kann aber keine exakte Beziehung zwischen der Eigrösse und dem spezifischen Gewicht ableiten, da die Dicke der Eischale eine Rolle spielt, und diese für gleich

grosse Eier durchaus verschieden sein kann. Eine bemerkenswerte Ausnahme bilden beispielsweise die Eier einer Fasanengattung (*Francolinus*), deren spezifisches Gewicht über 1.15 liegt.

Präziser lässt sich das Ei-Gewicht bestimmen, wenn man das Gewicht G_s (g) des leeren Eies, also der Eischale, kennt. Hierfür kann man folgende gute Näherungsgleichung verwenden:

$$G = (1.035 \cdot V) + (0.5 \cdot G_s) \quad (10)$$

Die Ei-Gewichte der im Anhang 1 aufgeführten 29 Vogelarten wurden nach dieser Formel berechnet.

Aus dem Eivolumen, berechnet nach Gleichung (7) und dem Ei-Gewicht, berechnet nach Gleichung (10), kann man schliesslich das spezifische Gewicht auch errechnen. Das Resultat dieser Rechnung ergibt im Vergleich mit gemessenen Werten für Eier unter 100 g einen Fehler von etwa 0.6%, und für schwerere Eier einen Fehler von bis zu 2.5%.

5. Berechnung der Schalendicke

Einleitend wurde zwar gesagt, dass man die Schalendicke auf relativ einfache Art messen kann. Man kann sie aber auch zuverlässig aus gemessenen Daten errechnen, allerdings nur auf ziemlich kompliziertem Weg. Grundsätzlich lässt sich die Schalendicke d aus dem gemessenen Schalengewicht g , der Ei-Oberfläche F und dem spezifischen Gewicht der Eischale g_{spez} wie folgt berechnen:

$$d = g / (F \cdot g_{spez}) \quad (11)$$

Was diese einfache Gleichung kompliziert macht, ist einerseits die Berechnung der Eioberfläche und andererseits das Fehlen des spezifischen Gewichts der Eischale als Messgröße. Es gibt nur vereinzelte Angaben über das spezifische Eischalen-Gewicht von Vogelarten. Man muss sich hier mit Durchschnittswerten behelfen, die für die häufigsten Vogelfamilien ermittelt wurden. (In Anhang 2 sind Durchschnittswerte für die wichtigsten Vogelfamilien aufgeführt.) Die Werte liegen in einem Bereich von 1.70 bis 2.50. Für viele Zwecke ist es daher ausreichend, mit einem mittleren Wert von 2.0 rechnen. Für genauere Berechnungen muss man aber die Werte entsprechenden Listen entnehmen.

Für die Berechnung der Oberfläche F der Eischale muss man sich mit Näherungsgleichungen begnügen. Im Folgenden sei eine besonders einfache Näherungsformel aufgeführt, die auf der Ei-Breite B und dem Achsenverhältnis k basiert:

$$F = B^2 \cdot (0.914 + 2.228 \cdot k) \quad (12)$$

Für $k = 1$ nimmt der Klammerausdruck den Wert für π an, was zur Formel für die Oberfläche einer Kugel führt.

Die Schalendicke d errechnet sich dann wie folgt:

$$d = g / [2 \cdot B^2 \cdot (0.914 + 2.228 \cdot k)] \quad (13)$$

Der Wert 2 im Nenner steht für das durchschnittliche spezifische Gewicht der Eischale. Bei der Anwendung dieser Gleichung ist auf die Masseneinheiten zu achten:

Wenn das spezifische Gewicht in g/cm^3 , das Schalengewicht in g und die Ei-Breite in cm eingesetzt wird, resultiert die Schalendicke in cm, was sehr kleine Werte

ergibt. Wenn man mit der Ei-Breite in mm rechnen möchte und die Schalendicke in mm erhalten will, muss man den Zähler von Gleichung (13) mit dem Faktor 1000 multiplizieren.

Gleichung (13) gibt gegenüber gemessenen Werten für die Schalendicke erwartungsgemäss zu hohe Werte für Eier von über 100 g Gewicht. Wenn man aber berücksichtigt, dass die Eier von über 80% der 11'000 Vogelarten leichter sind als 100 g, dürfte Gleichung (13) für die meisten Berechnungen genügend genau sein.

6. Zusammenhang zwischen dem Vogelgewicht und dem Ei-Gewicht

Man weiss, dass kleine Vögel kleinere Eier legen als grosse Vögel. Ferner kennt man auch folgende grobe Gesetzmässigkeit: Bei sehr kleinen Vögeln, z.B. bei einigen Kolibriarten, kann das Ei-Gewicht bis zu 15% des Vogelgewichts betragen. Mit zunehmender Grösse des Vogels nimmt dieses Verhältnis ab und beträgt nur noch 1 % für die grösste Vogelart, den Strauss. Aufgrund dieses Zusammenhangs wurde schon vielfach versucht, eine exakte Beziehung zwischen der Ei-Grösse und dem Körpergewicht des weiblichen Vogels, der dieses Ei gelegt hat, abzuleiten. Eine solche Beziehung wird aber durch verschiedene Faktoren relativiert:

- Zum einen ist das Gewicht des weiblichen Vogels keine Konstante: Je nach dem Gesundheits- und Ernährungszustand des Vogels und je nach der Herkunft der betrachteten Population kann das Vogelgewicht (wie auch das Gewicht eines Menschen) sehr unterschiedlich sein. Diese Unterschiede finden sich auch beim Vergleich von Publikationen über Vogelgewichte.

- Ferner können gleich schwere Vögel Eier von sehr unterschiedlichem Gewicht legen. So kann beispielsweise das Ei-Gewicht bei einem Vogelgewicht von 100 g in einem Bereich von 3.2 g bis 25.4 g variieren (Quelle: Handbuch der Oologie).
- Zudem gibt es einige prominente Ausnahmen von der groben Regel, dass das Ei-Gewicht zwischen 1% und 15% des Vogelgewichts liegt. Zum einen gibt es einige Arten von Seevögeln und Küstenvögeln, (z.B. die Buntfuss-Sturmschwalbe) deren Ei-Gewicht bis 30% des weiblichen Körpergewichts betragen kann. Die wohl prominenteste Ausnahme sind die Eier einiger Kiwi-Arten. Beim Zwergkiwi ist die Ei-Grösse insofern aussergewöhnlich, als das Ei über 300 Gramm schwer ist und im Durchschnitt 23% des weiblichen Körpergewichts beträgt. In Einzelfällen kann dieser Wert sogar bis auf 27% ansteigen.

In Abb. 9 ist für 835 Vogelarten veranschaulicht, wie gross die Streuung ist, wenn man das Ei-Gewicht gegen das weibliche Vogelgewicht aufträgt. Noch deutlicher sieht man diese Streuung, wenn man das prozentuale Gewichtsverhältnis von Ei zu Vogel gegen das Vogelgewicht aufträgt (Abb. 10): Hier sieht man, dass dieses Verhältnis bei kleinen Vögeln zwischen etwa 5% und 30% und bei grösseren Vögeln immer noch zwischen 1% und 5% variieren kann.

Nach Meinung des Autors dieses Beitrags ist es daher nicht möglich, einen Zusammenhang zwischen dem Ei-Gewicht und dem Vogelgewicht in Form einer mathematischen Beziehung zu formulieren.

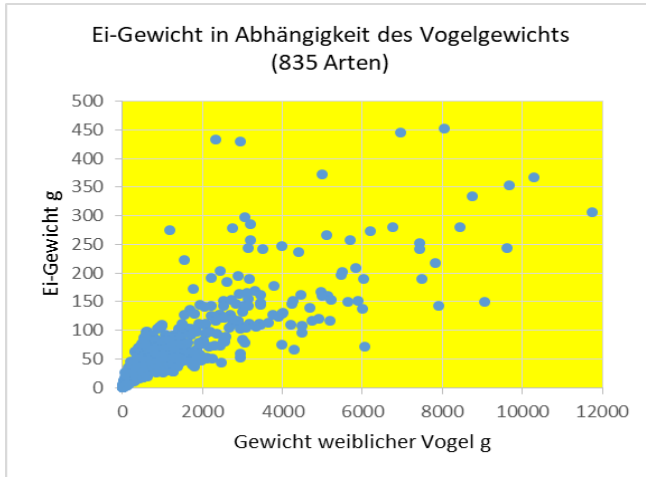


Abbildung 9: Werte für das Ei-Gewicht, aufgetragen gegen das Gewicht des weiblichen Vogels

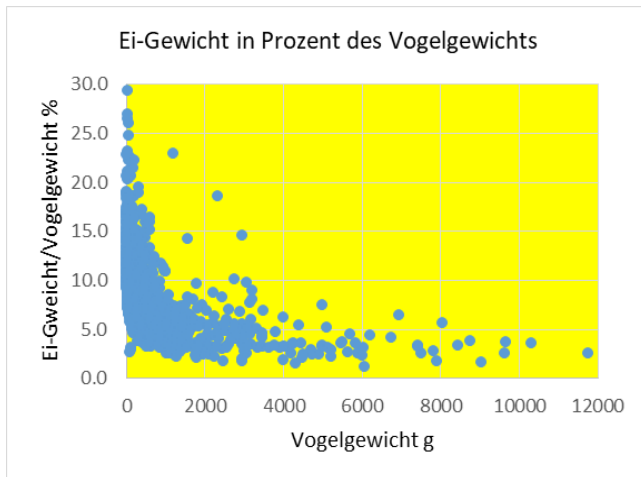


Abbildung 10: Ei-Gewicht in Prozent des Vogelgewichts, aufgetragen gegen das Vogelgewicht

Anhang 1: Eierdaten einiger bekannter Vögel

Teil 1: gemessene Werte

Die nachfolgenden 29 Vogelarten bilden keine repräsentative Auswahl bezüglich der Eigrösse. In dieser Tabelle sind 12 Eier schwerer als 100 g. Von den Eiern der ungefähr 11'000 Vogelarten sind aber über 80% leichter als 100 g und über 50% leichter als 50 g.

		Länge L (mm)	Breite B (mm)	Faktor e	Schalengewicht g	Schalendicke mm
<i>Carduelis carduelis</i>	Distelfink	17	13	1.41	0.082	0.068
<i>Parus major</i>	Kohlmeise	18	14	1.21	0.104	0.073
<i>Passer domesticus</i>	Hausperling (Spatz)	24	16	1.35	0.19	0.089
<i>Cuculus canorus</i>	Kuckuck	22	17	1.21	0.23	0.100
<i>Sturnus vulgaris</i>	Star	30	21	1.6	0.44	0.120
<i>Turdus merula</i>	Amsel	29	21	1.23	0.41	0.119
<i>Pica pica</i>	Elster	34	24	1.17	0.58	0.122
<i>Perdix perdix</i>	Rebhuhn	35	26	1.32	1.44	0.27
<i>Corvus corone</i>	Rabenkrähe	40	29	1.43	1.40	0.20
<i>Vanellus vanellus</i>	Kiebitz	47	33	1.85	1.55	0.19
<i>Anas platyrhynchos</i>	Stockente	57	41	1.15	4.40	0.31
<i>Milvus migrans</i>	Schwarzmilan	54	43	1.13	4.75	0.36
<i>Buteo buteo</i>	Mäusebussard	55	44	1.20	4.87	0.35

		Länge L (mm)	Breite B (mm)	Faktor e	Schalengewicht g	Schalendicke mm
<i>Gallus gallus domesticus</i>	Haus- huhn	57	43	1.20	5.10	0.35
<i>Ardea cinerea</i>	Grau- reiher	61	43	1.15	4.65	0.30
<i>Bubo bubo</i>	Uhu	60	50	1.05	7.20	0.43
<i>Larus argentatus</i>	Silber- möwe	71	49	1.31	6.16	0.32
<i>Uria aalge</i>	Trottel- lumme	81	50	1.78	12.1	0.56
<i>Ciconia ciconia</i>	Weiss- storch	73	52	1.29	11.1	0.53
<i>Somateria mollissima</i>	Eiderente	77	52	1.22	8.30	0.37
<i>Anser anser</i>	Graugans	86	58	1.14	20.5	0.67
<i>Gyps fulvus</i>	Gänse- geier	92	70	1.01	24.3	0.67
<i>Cygnus cygnus</i>	Sing- schwan	113	73	1.01	39.0	0.72
<i>Aptenodytes fosteri</i>	Kaiser- pinguin	119	82	1.58	60.5	1.05
<i>Diomedea exulans</i>	Wander- albatross	129	79	1.09	34.6	0.57
<i>Rhea americana</i>	Nandu	126	86	1.06	65.9	0.91
<i>Dromaius novae-hollandiae</i>	Emu	136	89	1.1	75.0	0.94
<i>Casuarus casuaris</i>	Kasuar	135	92	1.17	82.0	0.97
<i>Struthio camelus</i>	Strauss	153	135	1.08	278	1.92

Teil 2: Berechnete Grössen

		Faktor k	Volumen ml	Gewicht g	Spez. Gewicht
<i>Carduelis carduelis</i>	Distelfink	1.33	1.49	1.59	1.067
<i>Parus major</i>	Kohlmeise	1.29	1.69	1.80	1.065
<i>Passer domesticus</i>	Hausperling (Spatz)	1.48	3.01	3.22	1.070
<i>Cuculus canorus</i>	Kuckuck	1.35	3.14	3.37	1.073
<i>Sturnus vulgaris</i>	Star	1.40	6.67	7.12	1.067
<i>Turdus merula</i>	Amsel	1.37	6.92	7.37	1.065
<i>Pica pica</i>	Elster	1.41	9.99	10.6	1.061
<i>Perdix perdix</i>	Rebhuhn	1.33	12.4	13.6	1.097
<i>Corvus corone</i>	Rabenkrähe	1.39	17.4	18.7	1.075
<i>Vanellus vanellus</i>	Kiebitz	1.39	25.4	27.1	1.067
<i>Anas platyrhynchos</i>	Stockente	1.38	50.0	54.0	1.080
<i>Milvus migrans</i>	Schwarzmilan	1.26	52.1	56.3	1.081
<i>Buteo buteo</i>	Mäusebussard	1.25	55.3	59.7	1.080
<i>Gallus gallus domesticus</i>	Haushuhn	1.31	55.5	60.2	1.085
<i>Ardea cinerea</i>	Graureiher	1.42	58.5	62.8	1.074
<i>Bubo bubo</i>	Uhu	1.21	76.8	83.1	1.082
<i>Larus argentatus</i>	Silbermöwe	1.44	86.8	92.9	1.070
<i>Uria aalge</i>	Trottellumme	1.62	96.0	105.4	1.098
<i>Ciconia ciconia</i>	Weissstorch	1.41	100.4	109.5	1.091
<i>Somateria mollissima</i>	Eiderente	1.50	104.9	112.7	1.074
<i>Anser anser</i>	Graugans	1.48	149.8	165.3	1.103
<i>Gyps fulvus</i>	Gänsegeier	1.33	235.5	255.9	1.087

		Faktor k	Volu- men ml	Gewicht g	Spez. Gewicht
<i>Cygnus cygnus</i>	Singschwan	1.55	315.8	346.4	1.097
<i>Aptenodytes fosteri</i>	Kaiserpinguin	1.45	398.1	442.3	1.111
<i>Diomedea e- xulans</i>	Wander- albatross	1.63	417.9	449.8	1.076
<i>Rhea americana</i>	Nandu	1.47	486.5	536.5	1.103
<i>Dromaius no- vaehollandiae</i>	Emu	1.53	559.6	616.7	1.102
<i>Casuarius casuarius</i>	Kasuar	1.47	590.4	652.0	1.104
<i>Struthio camelus</i>	Strauss	1.13	1461	1651	1.130

Anhang 2: Spezifisches Gewicht der Eischale (Durchschnittswerte für die wichtigsten Vogelordnungen)

Vogelordnung	spezifisches Gewicht der Eischale (g/cm³)
<i>Rheiformes</i>	2.39
<i>Casuariiformes</i>	2.37
<i>Struthioniformes</i>	2.26
<i>Apterygiformes</i>	2.20
<i>Sphenisciformes</i>	2.20
<i>Gaviiformes</i>	2.20
<i>Tinamiformes</i>	2.13
<i>Podicipediformes</i>	2.12
<i>Anseriformes</i>	2.10
<i>Galliformes</i>	2.10
<i>Cuculiformes</i>	2.10
<i>Caprimulgiformes</i>	2.08
<i>Ciconiiformes</i>	2.07
<i>Passeriformes</i>	2.05
<i>Procellariiformes</i>	2.04
<i>Coliiformes</i>	2.03
<i>Pelecaniformes</i>	2.02
<i>Gruiformes</i>	2.02
<i>Piciformes</i>	2.02
<i>Apodiformes</i>	2.02
<i>Columbiformes</i>	2.01
<i>Trogoniformes</i>	2.01
<i>Coraciiformes</i>	2.00
<i>Charadriiformes</i>	1.96
<i>Falconiformes</i>	1.95
<i>Strigiformes</i>	1.93
<i>Psittaciformes</i>	1.85
Mittelwert	2.08

Quelle:

Rahn H., C. V. Paganelli (1989): The initial density of avian eggs derived from the tables of Schönwetter. *J. Ornithologie* 130 (2): 207-215