Einfluß von Agrochemikalien auf die Populationsdynamik von Vogelarten in der Kulturlandschaft, Festsymposium Seebach 1988, S. 97-108

Algorithmen zur Schätzung der Oberfläche und des Volumens von Vogeleiern und ihr Einsatz bei Monitorprogrammen

FEIGE, K.-D., RIEDEL, B.

Einleitung

Der Vogelembryo entwickelt sich in einem halboffenen System. Die Eischale bildet die Begrenzung zur Umwelt: Sie schützt den sich entwickelnden Embryo, gestattet aber auch einen phylogenetisch fixierten Stoffaustausch.

Untersuchungen verschiedener Arbeitsrichtungen haben seit der grundlegenden Monographie von ROMANOFF (1949) den Einfluß von Umweltfaktoren auf den morphologischen Aufbau und die Physiologie des Eies aufgezeigt. Eine höhere Embryonalmortalität oder eine veränderte Embryonalentwicklung mit Wirkungen auf den Ablauf der Juvenilphase und auf die Vitalität der Nachkommen sind potentielle Folgen. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden zunehmend Studien zur Wirkung von Umweltchemikalien auf Wildvogelarten im Rahmen von Kausalanalysen bei Reproduktionsinsuffizienz durchgeführt. Beispiele für den insektiziden Wirkstoff DDT und seine Metabolite sind am häufigsten in das Schrifttum eingegangen. Noch aber bestehen viele Wissenslücken über die Folgen verschiedener Industrieprodukte.

Eiuntersuchungen sind nicht nur zur laborexperimentellen Prüfung von Umweltchemikalien angezeigt und gesetzlich gefordert (BEITZ u.a., 1985; RUDOLPH, 1987), sondern auch bei langfristigen Freilandstudien wünschenswert. Hier wiederum scheinen sie als notwendiger Bestandteil von Monitorprogrammen für ausgewählte Arten angezeigt und können weiterhin effizient zur Darlegung von Kausalzusammenhängen bei langfristig aufgetretenen reproduktiven Veränderungen eingesetzt werden (RIEDEL, 1986). Eiuntersuchungen, zumindest aber Größenmessungen mit Aussagen zur Eiform, müssen in stärkerem Maße populationsökologische Studien bereichern, um vertiefte etho-ökologische Erkenntnisse zu ermöglichen.

Bedeutung verschiedener Eimaße

Einen ersten Hinweis auf Veränderungen des Eies geben bereits die Meßgrößen Eilänge und Eibreite, die mit mehr oder weniger großer Genauigkeit zum Eivolumen umgerechnet werden können. Das Verhältnis von Eibreite zu Eilänge wird Formindex oder Elongation genannt (RICHARD und SWANSON, 1965; REHKUGLER, 1973). Dieser ist in Abhängigkeit vom Neststandort phylogenetisch für einzelne Arten bzw. Artgruppen als statistischer Mittelwert determiniert. Abweichungen vom Nennwert der Species haben neben individueller Variation meist ökologische Ursachen.

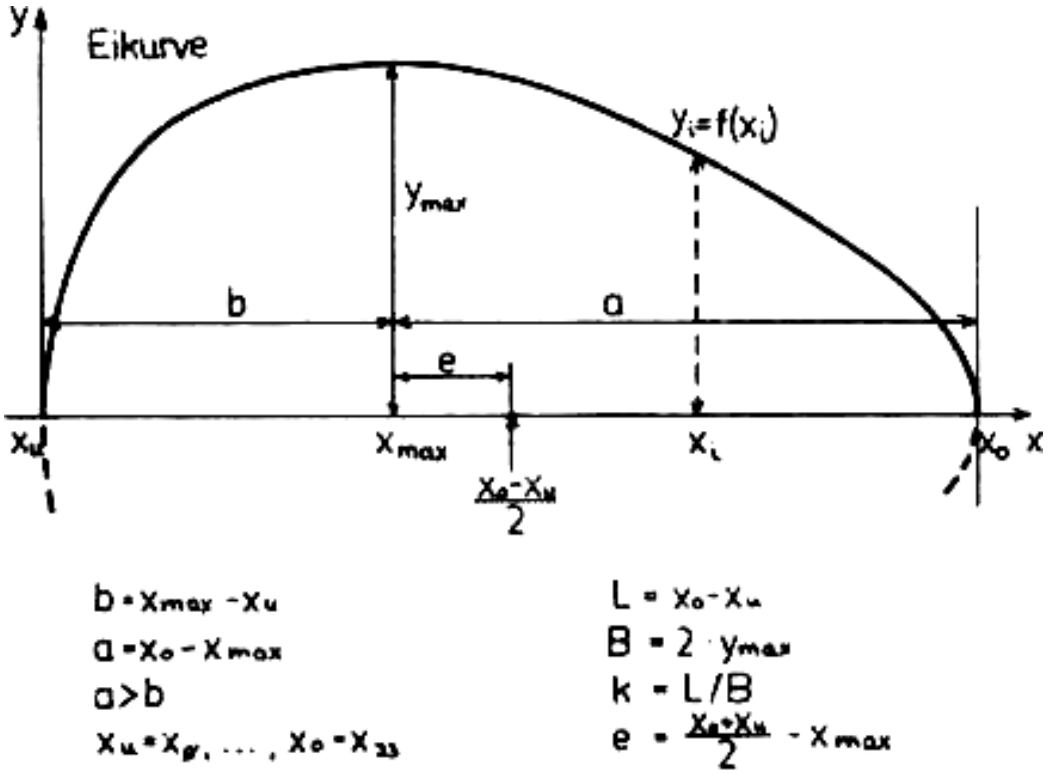


Bild 1: Parameter der Eikurve

Eine zweite Untersuchungsstufe sollte die Fragen zur Eischalendicke umfassen. Indirekte Methoden wurden als Eischalenindex und in wesentlich genauerer Form als Flächenmasse (mg Eischale je cm^2 Oberfläche) eingeführt (TYLER und GRAKE, 1961; HARTNER, 1977). Die Respirationsverhältnisse am Ei werden bei unveränderten Evaporationsbedingungen durch das Verhältnis von Oberfläche zum Volumen dargestellt (HOYT, 1976) und durch die Erfassung der Gaswechse1verhältnisse am Ei ergänzt (AR u.a., 1974; BOARD, 1981,1982; BURTON und TULLETT, 1983).

Ein weiterer, hiervon scheinbar unabhängiger Untersuchungsgegenstand ist die Spurenanalytik von Umweltchemikalien in Eiern unterschiedlichen Bebrütungs- und Trocknungszustandes. Angetrocknete Eier täuschen z. B. einen überhöhten Kontaminationsgehalt vor (STICKEL u.a., 1973). Der Fettgehalt ist als Bezugspunkt ebenso fraglich, da während der Bebrütung befruchteter Eier der Fettgehalt des Gesamtinhaltes um ca. 50% abnimmt oder bei Bezug auf den Trockensubstanzgehalt der Abbau von Milchfettrockensubstanz durch den Embryo bzw. durch bakteriellen Metabolismus gegeben ist (PEAKALL und GILMAN, 1979). Korrekturalgorithmen, die aus Eivolumen, -oberfläche und -trockensubstanzgehalt das ursprüngliche Frischgewicht bestimmen, erscheinen erfolgversprechend. Ein Abbau der Kontamination durch den Embryo oder durch Bakterien muß dabei noch vernachlässigt werden.

Diese zweite Untersuchungsebene beinhaltet somit als zentrale Aufgabenstellung die Schätzung von Eioberfläche und Eivolumen aus einfach bestimmbaren Meßgrößen mit hinreichender bzw. notwendiger Genauigkeit.

Volumen- und Oberflächenschätzungen

Die einfachen Algorithmen von ROMANOFF (1949) beziehen nur die Eilänge und -breite ein, berücksichtigen aber die differenten Eiformen in keiner Weise (SZIELASKO, 1905; v. HARTMANN, 1971).

Es gab Versuche andere Eiparameter, wie die Exzentrizität, zur Spezifizierung von Volumen und Oberfläche einzusetzen (LORENZ, 1974). Die Messung derartiger Hilfsgrößen unter Feldbedingungen ist sehr aufwendig und meist nicht hinreichend genau, um der möglichst exakten Beschreibung der Eikurve zu entsprechen. Die Zielsetzung der vorliegenden computergestützten Untersuchung besteht somit im Vergleich verschiedener Oberflächen- und Volumenbestimmungsmethoden hinsichtlich ihrer Quantifizierungsgenauigkeit und Nutzbarkeit für Monitorstudien.

Datenbasis und Methode

Eier von Vögeln verschiedener Arten (Sammlung der Ornithologischen Forschungsste1le Seebach) wurden fotografisch abgebildet, auf eine Länge von 20 cm vergrößert und die gesamte Eilänge in Abständen von 1 cm zur Beschreibung der Eikurve abgegriffen (an den Polen je zweimal 5 mm). Die Meßgenauigkeit betrug dabei etwa 0,25 mm.

Es standen Eischalen folgender Arten zur Verfügung (in Klammern Anzahl der vermessenen Eier):

Podiceps cristatus (2)
Ciconia nigra (2)
Mergus serrator (2)
Accipiter nisus (9)
Falco peregrinus (2)
Perdix perdix (2)
Fúlica atra (2)
Tringa totanus (3)
Uria aalge (2)
Caprimulgus europaeus (2)
Dendrocopus major (4)
Hirundo rustica (2)
Parus major (2)
Carduelis chloris (1)
Oriolus oriolus (11)
Ardea cinerea (2)
Cygnus olor (4)
Haliaeetus albicilla (1)
Buteo buteo (2)
Falco tinnunculus (4)
Coturnix c. japonica (20)
Vane11us vanellus (2)
Larus ridibundus (2)
Tyto alba (2)
Apus apus (2)
Alauda arvensis (4)
Ficedula hypoleuca (1)
Cinclus cinclus (2)
Sturnus vulgaris (4)
Corvus frugilegus (2)

Die so gewonnenen Eimaße wurden mittels eines leistungsfähigen Computers gespeichert und mit diesen Daten die ausgewählten Algorithmen durch ein speziell erarbeitetes Programm überprüft. Die Vergleichsbasis für Volumen- und Oberflächen-Schätzungen bildete die aus den fotografischen Eidaten mit stückweise parabelförmiger Kurveninterpretation und nachfolgender Integration berechneten V_m und O_m. In Anhang A - C findet man einen Überblick der verwendeten bzw. neuentwickelten Algorithmen.

Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt für einige Arten die mit verschiedenen Berechnungsmethoden erreichten Schätzgenauigkeiten in Relation zur Fotomethode. Die Daten belegen trotz kleiner Stichprobenumfänge, daß es keinen artindifferent besten Algorithmus gibt. Der Versuch lediglich über Längen- und Breitenmessung zu guten Ergebnissen zu kommen ist gescheitert. Erwartungsgemäß sind die aufwendigeren fototechnisch gestützten Verfahren mit einer viel höheren Informationsausbeute auch die mit der höchsten Aussagegenauigkeit. Für Felduntersuchungen ist also ein Kompromiß zwischen den genannten Erhebungsextrema gesucht.

Tabelle 1 zeigt für die betrachteten Arten die beobachteten Exzentrizitäten (relativ zur Eilänge) sowie Kreiselwerte. In Verbindung mit Tabelle 2 erkennt man die Möglichkeit, aus diesen Kennziffern und entsprechenden Umrechnungsalgorithmen hinreichend präzise Ergebnisse ableiten zu können. Da die Ermittlung von e und r unter Feldbedingungen Schwierigkeiten bereitet, wurde der Versuch unternommen, durch die Nutzung von Artmittelwerten für Exzentrizität und Kreiselform Oberfläche und Volumen des Eies zu schätzen. Hierbei bewährte sich besonders das verallgemeinerte LORENZ-Modell. Interessanterweise brachte bei den meisten untersuchten Arten die Kombination zwischen der Fotomethode und einer V → 0 bzw. 0 → V - Transformation die besten w - Genauigkeiten.

Für die Forschungspraxis bedeutet dies nun, daß anhand einer Lernstichprobe von mindestens 20 Eiern mittels Fotomethode aus der Fülle möglicher Algorithmen ein bester artspezifisch ausgewählt werden muß. Soll eine Mindestgenauigkeit der Ergebnisse garantiert werden, sind die Mittelwerte für e, r oder andere Eiparameter durch direkte Meßmethoden dieser Kennziffern zu ersetzen.

Für eine Reihe von Arten erscheint auch die grobe Parameterbestimmung mit Hilfe von Muster - Eiform - Tafeln im praktischen Einsatz geeignet. In wenigen Jahren werden die aufgezeigten Kompromißlösungen wahrscheinlich durch das Vermögen der weiterentwickelten Computer- und Bildverarbeitungstechnik abgelöst.

Zusammenfassung

Die hinreichend genaue Berechnung von Eioberfläche und -volumen sind zentrale Kriterien für Eiuntersuchungen in Monitorprojekten. An den Eiern von 30 Arten wurden Berechnungsalgorithmen für diese Parameter geprüft. Im Ergebnis der Analyse gibt es keinen Algorithmus, der für alle Arten der beste ist. Mit Hilfe von arttypischen, mittleren Parametern (wie Exzentrizität oder Asymmetrie und "Kreisel"-Werten) kann der Nutzer für einige Vogelarten relativ genaue Formelpaare für Eioberfläche und -volumen finden.

Summary

The sufficient accurate calculation of volume and surface area are central criteria for investigation of eggs in monitoring projects. We tested algorithms of computation for these parameters on eggs by 30 species. In result of the analysis there is no algorithm which is the best for all species. With help of special average parameters (like "asymmetry" and "Kreisel"-value) user can find out a pair of formulas for egg - surface area and volume with good properties for many species of birds.

Anschriften: Dr. K.-D. Feige, PF 702, DDR-2551 Dummerstorf

Dr. B. Riedel, Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow, Ornithologische Forschungsstelle Seebach,
Lindenhof 3, DDR-5701 Seebach

Anhang A

Algorithmen zur Volumen- und Oberflächenschätzung von Vogeleiern

allg. Beziehungen

L = Eilänge B = Eibreite k = L/B

Pi = 3.1415...

$$V = Pi * \int_{x_u}^{x_o} y^2 \, dx$$

$$O = 2 * Pi * \int_{x_u}^{x_o} y * [\, 1 + y^2 \,]^{0,5} \, dx$$

$$O = K * V^{2/3} \qquad K = \text{constant}$$

$$V = (O / K)^{1,5}$$

Relation V -> O

$O = 4.951 * V^{0,666}$ PAGANELLI u. a. (1974)

$O = 4.928 * V^{0,668}$

$O = 4.940 * V^{2/3}$

$O = (4.393 + 0.394 * k) * V^{2/3}$

$O = [4.395 + 0.382 * k + 0.08 * (R_1 - R_2) * k/B] * V^{2/3}$ } HOYT (1976)

aber wenn k<1.15, dann K = 4.836 (sh. Anhang C)

$O = 4.83 * V^{2/3}$ ROMANOFF (1949) Rotationsellipsoid

$O = 0.945 * V + 15.06$ für V>25 ml

$O = 4.689 * V^{0,673}$ GONZALES u.a. (1982a)

Relation O -> V

Analog durch Umstellung der Relation V -> O nach V.

Volumenformeln

$V = Pi / 6 * L * B^2$ ROMANOFF (1949)

$V = a + b * L * B^2$ VÄISANEN (1969)

$V = -0.042 + 0.4976 * L * B^2$ OJANEN u.a. (1978)

Fotomethode/Eikurvenmodelle

$$V = Pi / 3 * \sum_{i=1}^{n} [\, y^2_{i-1} + y^2_i + y_{i-1} * y_i \,] * d_i$$ BESCH u.a. (1968)

mit $d_i = x_i - x_{i-1}$, $y_o = y_n = 0$, $x_o = x_u$ und $x_n = x_o$,

hierbei wird die Eikurve an n+1 Positionen abgegriffen (meist mit d_i=const.) und die dadurch gebildeten Scheiben werden als gerade Kreiskegelstümpfe interpretiert (s. Bild 2)

Oberflächenformeln

$O = B^2 * (P_i / 2 * (1+c_0 * \arcsin (k / c_0))$

mit $c_0 = k^2 / (k^2 - 1)^{0,5}$ SCHÖNWETTER (1960-1971)
zwei gleiche Halbellipsen GONZALES u.a. (1982a u. b)

$O = B^2 * (0.914 + 2.223 * k) * f$ SCHÖNWETTER (1960-1971)
mit f = (Gestaltfaktor entsprechend Tabelle) = f (k, a/b)

$O = \pi * B *(B / 2 + a * c_1 * \arcsin 1/c_1 + b * c_2 * \arcsin l/c_2)$

mit $c_1 = a / (a - B^2 /4)^{0,5}$ KARBACH (1976)
$c_2 = b / (b - B^2 / 4)^{0,5}$ zwei ungleiche Halbellipsen

Fotomethode / Eikurvenmodelle

$$O = Pi * \sum_{i=i}^{n} (y_{i-1} + y_i) * [(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2]^{0,5}$$

BESCH u.a. (1968)

Dabei ergeben sich die y_i aus den fototechnisch gewonnenen Eikurven-Meßwerten oder den für das Ei aus wenigen, leichter erfaßbaren Parametern berechneten theoretischen Eikurven.

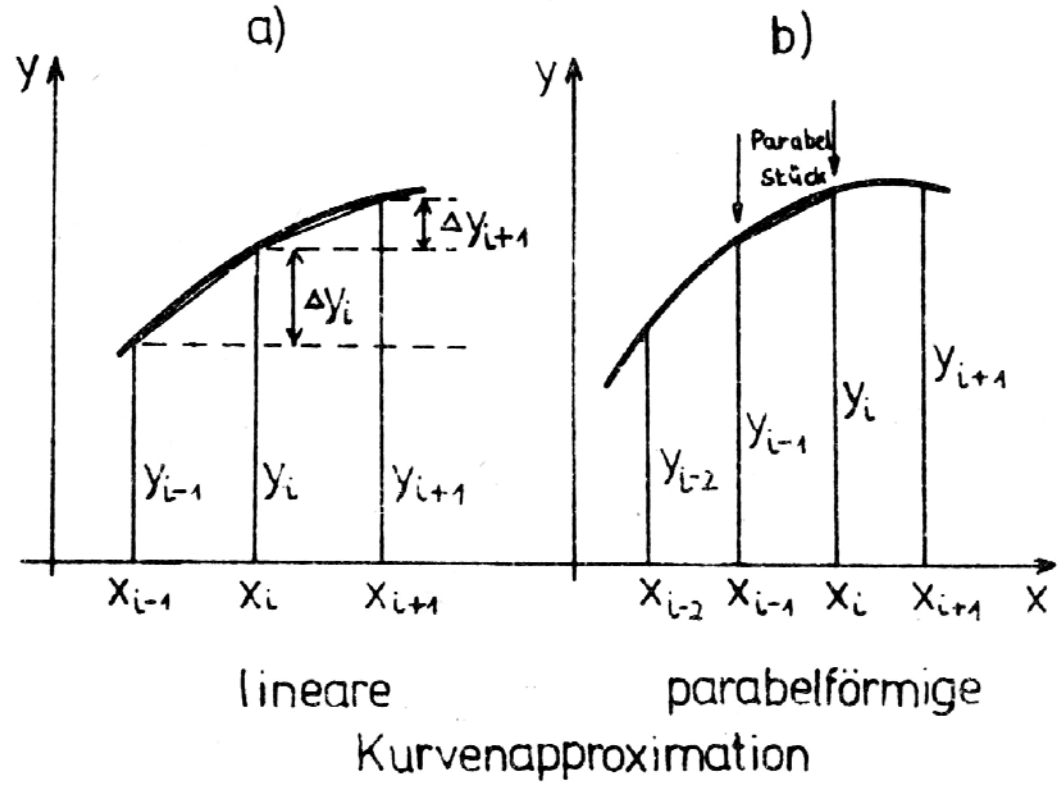


Bild 2: Darstellung der Kurvenapproximations - Verfahren

Eikurvenmodelle

$$y_i = \frac{B\,(L^2 - 4z_i^2)^{0,5}}{2\,(L^2 + 8\,e\,z_i + 4\,e^2)^{0,5}}$$ LORENZ (1974)

bzw.

$$y_i = \frac{B\,(L_k - r^r\,z_i^r)^{0,5}}{2\,(L_k + r^{r+1}\,e^{r-1}\,z_i + (r-1)\,r^r\,e^r)^{0,5}}$$ FEIGE (1988, unveröffentl.)

mit $z_i = x_i - L/2 - x_{i-1}$,

$L_k = (r * L/2)^r$

und e = Basis der natürlichen Logarithmen

wobei "r" ein weiterer Formparameter des Eies ist (**Kreiselwert**). Für r=2 folgt das LORENZ-Modell, eine durch die Exzentrizität verzerrte Ellipse. Ist r<2 sind die Eier (wie bei einem Kreisel) spitzer, ist r>2 sind diese am sonst spitzeren Pol abgerundeter.

Anhang B

V_s und O_s - Berechnung

Genauer als die stückweise Linearisierung der Eikurve ist eine Approximation der Eilinie durch Parabelsegmente. Dabei werden die Parameter der Parabelgleichung mittels MKQ-Schätzung(Minimierung der Abweichungsquadrat-Summe aus 4 (bzw. am Pol 3) Eikurvenpunkten berechnet:

$$y_j(x) = b0 + b1 * x + b2 * x^2 \qquad \text{für } x_{j-1} < x < x_j$$

mit

$$sx = \sum_{j=i-2}^{i+1} x_j , \qquad sx2 = \sum_{j=i-2}^{i+1} x^2{}_j ,$$

$$sy = \sum_{j=i-2}^{i+1} y_j , \qquad sx3 = \sum_{j=i-2}^{i+1} x^3{}_j ,$$

$$sx4 = \sum_{j=i-2}^{i+1} x^4{}_j , \qquad sxy = \sum_{j=i-2}^{i+1} x_j \cdot y_j ,$$

$$sx^2y = \sum_{j=i-2}^{i+1} x^2{}_j \cdot y_j$$

$$a = sx2 - (sx)^2 / 4 , \qquad b = d = sx3 - sx * sx2 / 4 ,$$

$$c = sxy - sx * sy / 4 , \qquad e = sx4 - sx2^2 / 4 ,$$

$$f = sx^2y - sx2 * sy / 4$$

$$b2 = (c * d - a * f) / (b * d - a * e)$$

$$b1 = (c - b * b2) / a$$

$$b0 = sy / 4 - b1 * sx / 4 - b2 * sx2 / 4$$

Für die Oberfläche und das Volumen des Eies folgt dann

$$O_s = \sum_{j=1}^{22} \int_{x_{j-1}}^{x_j} y_j(x) * [\ 1 + y_j\ (x)\ ]^{0,5} dx\ )$$

$$V_s = \sum_{j=1}^{22} (\int_{x_{j-1}}^{x_j} y_j{}^2\ (x)\ dx)$$

Die Eignung einer Schätzmethode wurde mit

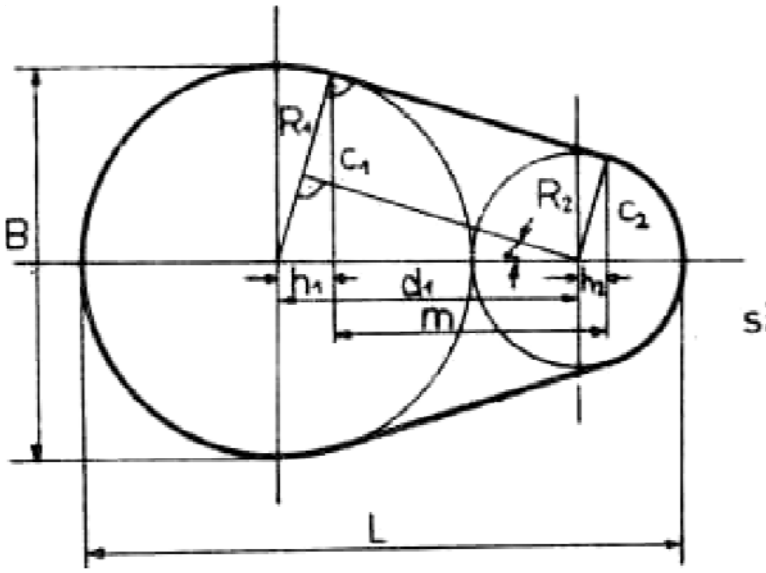
$w = | \ln (V / V_S) | + | \ln (O / O_S |$

bewertet. Der Idealfall ($V_s = V$ und $O_s = O$) führt zu w =0.

Anhang C

Geometrisches Eimodell

Der Versuch ein Vogelei mit möglichst einfachen Formeln, aber trotzdem hinreichend genau berechnen zu können, führte zum Modellentwurf des geometrischen Eies (DIETRICH, 1929; HOYT, 1976). Zwei mit einem Kegelstumpf verbundene Kugelabschnitte lassen sich so gut mit bekannten geometrischen Formeln berechnen (s. Bild 3).



$d_1 = L - R_1 - R_2$

$\sin \angle = (R_1 - R_2)/d_1$

$h_1 = R_1 \cdot \sin \angle$

$h_2 = R_2 \cdot \sin \angle$

$c_1 = R_1 \cdot \cos \angle$

$c_2 = R_2 \cdot \cos \angle$

$m = d_1 + h_2 - h_1$

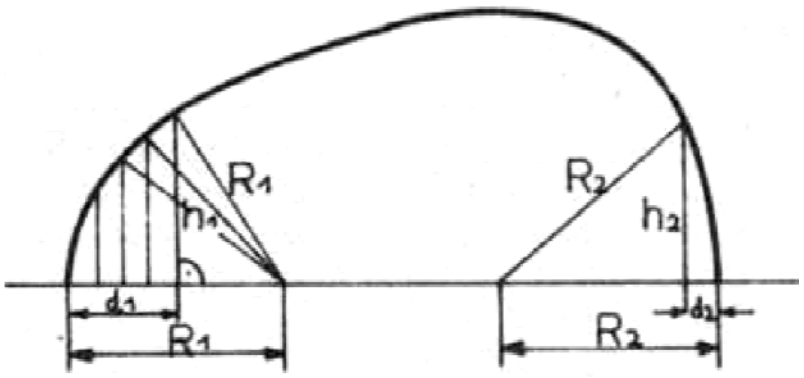
Bild 3: Parameter am "geometrischen" Ei

$$\mathbf{O = \pi\ [\ 4\ R_1^2 - 2\ R_1\ (R_1 - h_1) + 2\ R_2\ (R_2 - h_2) + (c_1 + c_2)\ (m^2 + (c_1 - c_2)^2\ )^{0,5}\ ]}$$

$$\mathbf{V = 4\ /3\ \pi\ R_1^3 - (R_1 - h_1)^2\ (2\ R_1 + h_1)/3 + (R_2 - h_2)^2\ (2\ R_2 + h_2)/3 + m\ (c_1^2 + c_1\ c_2 + c_2)/3]}$$

mit $\mathbf{R_1 \geq R_2}$

Die Schätzung der Radien der Polkappen erfolgte hier mittels Auswertung der Foto-Meßwerte entsprechend Bild 4 als Mittelwert von 5 Meßstellen (an der jeweiligen Polspitze beginnend).



$$R_i = \frac{h_i^2 + d_i^2}{2 d_i}$$

Bild 4 : Radiusberechnung der Polkreise am geometrischen Ei

Tabelle 1

Exzentrizitäten (in % der Eilänge)

Art	n	e(MW)	s_e	e_{min}	e_{max}
Ardea cinerea	2	1.25	1.77	0.0	2.5
Mergus serrator	2	2.50	0.00	2.5	2.5
Falco tinnunculus	4	2.92	0.83	2.5	4.2
Accipiter nisus	9	3.15	1.60	0.0	5.0
Dendrocopus major	4	4.90	3.64	0.0	8.8
Sturnus vulgaris	4	5.56	2.89	2.5	8.5
Oriolus oriolus	11	5.89	1.86	2.5	8.3
Coturnix coturnix	20	6.33	2.32	2.5	10.0
Alauda arvensis	4	7.19	1.57	5.0	8.8
Tringa totanus	3	10.97	0.24	10.8	11.3
Uria aalge	2	16.25	1.77	15.0	17.5

Kreiselwerte (r)

Art	n	r(MW)	s_r	r_{min}	r_{max}
Ardea cinerea	2	1.93	0.22	1.78	1.87
Sturnus vulgaris	4	1.91	0.17	1.74	2.10
Accipiter nisus	9	1.91	0.07	1.80	1.99
Dendrocopus major	4	1.90	0.08	1.81	1.99
Oriolus oriolus	11	1.85	0.13	1.67	2.10
Mergus serrator	2	1.84	0.05	1.81	1.87
Coturnix coturnix	20	1.83	0.12	1.55	2.10
Falco tinnunculus	4	1.81	0.14	1.67	1.97
Uria aalge	2	1.60	0.28	1.40	1.80
Tringa totanus	3	1.58	0.04	1.53	1.61
Alauda arvensis	4	1.56	0.11	1.41	1.67

Legende zu Tab. 2

Merkmale (Merk)

O = Oberflächenberechnung, V = Volumenberechnung, W = Gesamteignung,

Methoden

I lineare Approximation (BESCH u.a.),

II ROMANOFF - Formeln,

III geometrisches Eimodell,

IV LORENZ - Eikurven - Berechnungen,

V FEIGE - Verallgemeinerung des LORENZ - Modells,

VI SCHÖNWETTER - Formel(gleiche Halbellipsen),

VII SCHÖNWETTER - Formel(Gestaltfaktor - Korrektur),

Zahlenwerte entsprechen mittleren Schätzgenauigkeiten von

1	für < 0.5%,	2	für < 1.0%,
3	für < 2.5%,	4	für < 5.0%,
5	für < 10.0%,	6	für > 10.0%.

Tabelle 2

Schätzgenauigkeiten ausgewählter Berechnungsalgorithmen

		Algorithmus						
Art	**Merk**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**
Ardea cinerea	O	2	3	3	2	1	2	2
	V	1	3	2	2	3		
	W	2	3	3	3	1		
Mergus serrator	O	3	3	3	2	3	2	3
	V	1	3	2	2	3		
	W	2	3	3	2	3		
Falco tinnunculus	O	2	4	1	2	2	3	2
	V	1	5	4	4	1		
	W	2	4	3	3	1		
Accipiter nisus	O	3	1	2	1	1	1	2
	V	1	3	3	3	1		
	W	2	3	3	2	2		
Dendrocopus major	O	3	4	1	2	1	3	1
	V	1	5	4	4	3		
	W	2	4	3	3	3		
Sturnus vulgaris	O	3	5	4	5	3	5	4
	V	1	6	6	6	4		
	W	2	6	6	6	4		
Oriolus oriolus	O	3	4	3	1	1	2	3
	V	1	5	4	3	3		
	W	2	4	3	3	3		
Coturnix coturnix	O	3	4	1	2	2	3	1
	V	1	5	4	4	2		
	w	2	5	4	3	3		
Alauda arvensis	O	3	4	1	3	1	3	1
	V	1	5	4	4	3		
	W	2	4	4	4	3		
Tringa totanus	O	2	5	4	5	4	5	2
	V	1	6	6	5	4		
	W	2	6	5	5	4		
Uria aalge	O	3	6	3	5	4	5	5
	V	1	6	6	6	5		
	W	2	6	5	5	5		

Literatur

- Ar, A.; Paganelli, V.; Reeves, R. B.; Greene, D. G.; Rahn, H. (1974):The evian egg: Water vapor conductance, shell thickness and functional pore area .- Condor 76: 153-158;
- Beitz, H.; Riedel, B.; Grün, G. (1985): Internationale und nationale ökotoxikologische Anforderungen bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln: - Nachr.-Bl. Pflanzenschutz DDR 39: 157-160;
- Besch, E. L.; Sluka, S. J.; Smith, AH. (1968): Determination of surface area using profile recordings. - Poultry Sci. 47: 82-85;
- Board, R. G. (1981): The microstructure of avian eggshells, adaptive significance and practical implications in aviculture. - Wildfowl 32: 132-136;
- Board, R. G. (1982): Proporties of avian egg shells and their adaptive value. Biol. Rev. Cambridge Phil. sec. 57: 1-28;
- Burton, F. G.; Tullett, S. G. (1983): A comparison oft the effects of eggshell porosity on the respiration and growth of domestic fowl, duck and turkey embryo. - Comp. Biochem. Physiol., 75: 167-174;
- Dietrich, F (1929): Riesen- und Doppeleier, normale Eier, Spareier und Abnormitäten. - Beitr. Fortpfl. Biol. Vögel 132-137;
- Gonzales, M.; Roca, P.; Sainz, F.; Alemany, M. (1982a): The estimation of avian egg, surface area. A comparison of different methodological approaches - Comp. Biochem. and Physiol. A 73: 101-103;
- Gonzales, M.; Roca, P.; Sainz, F.; Alemany, M. (1982b): A comparison between egg surface areas and volumes of several avian species. - Comp. Biochem. and Physiol. A 73: 301-302;
- Hartmann, L. v. (1971): Einige Bemerkungen über die Form des Vogel-Eies. - Vogelwarte 26: 185-192;
- Hartner, L. (1977):Der Einfluß von DDT und seinen Metaboliten sowie von PCB`s auf die Schalenqualität und den Kalziumhaushalt der Japanwachtel (Coturnix c. japonica). - Diss. Univ. Hohenheim;
- Hoyt, D. F. (1976): The effect of skape on the surface-volume relationships of birds eggs. - Condor 78: 343-349;
- Karbach, U. (1976): Über die Anpassung von Hühnerembryonen an hypoxische Brutbedingungen. - Diss. Gutenberg-Universität Mainz;
- Lorenz, H. (1974): Die Eikurve. - Praxis der Mathematik 16: 27-29;
- Ojanen, M.; Orell, M.; Väisänen, R. A. (1978): Egg and clutch sizes in four passerine species in northern Finland. - Ornis Fennica 55: 60-68;
- Paganelli, C. V.; Olszowka, A. Ar, A. (1974): The avian egg: Surface area, volume and density. - Condor 76: 319-325;
- Peakall, D. B.; Gilman, A. P. (1979): Limitations of expressing organochlorine levels in eggs on a lipid-weight basis. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 23: 87-290;
- Rehkugler, G. E. (1973) Characterizing the shape of a hens egg. - Poultry Sci. 52: 127-138;

- Richard, J. F.; Swanson, M. H. (1965): The relationship of egg shape to shell strength. Poultry Sci. 44: 1555-1558;
- Riedel, B. (1986): Kriterien zur Erfassung morphologischer und physiologischer Veränderungen am Ei als Bestandteil laborexperimenteller Untersuchungen von Umweltchemikalien und langfristiger Bestandsüberwachungen ausgewählter Vogelarten. - Ber. Vogelwarte Hiddensee 7: 54-63;
- Romanoff, A. L.; Romanoff, A. J. (1949): The avian egg. - New York;
- Rudolph, P. (1987): Grundlagen einer ökotoxikologischen Bewertung der Prüfung an Vögeln nach dem Chemikaliengesetz. - ökol. Vögel, 9: 131-141;
- Schönwetter, M. (1968-1971): Handbuch der Oologie. - Vol. 1. W. Meise (ed.), Akademie Verlag Berlin;
- Stickel, L. F.; Wiemeyer, S. N.; Blus, L. J. (1973): Pesticides residues in eggs of wild birds: adjustment for loss of moisture and lipid. - Bull. Environm. Contam. Toxicol. 9: 193-196;
- Szilasko, A. (1985): Die Gestalt der Vogeleier. - J. Ornithol. 53: 273-297;
- Tyler, C.; Brake, F. H. (1961): Studies on egg shells. XV. Critical appraisal of various methods of assessing shell thickness .- J. Sci. Food. Agric. 12: 281-289;
- Vaisanen, R. A. (1969) Evolution oft the Ringed plover (Charadrius hiaticula) during the last hundred years in Europe.- An. Acad. Sci. Fennica A IV 149: 1-90