

## **Kriterien zur Erfassung morphologischer und physiologischer Veränderungen am Ei als Bestandteil laborexperimenteller Untersuchungen von Umweltchemikalien und langfristiger Bestandsüberwachungen ausgewählter Vogelarten \***

Bernd Riedel

### **Zusammenfassung**

In der Übersichtsarbeit werden Kriterien zur Diskussion gestellt, mit denen durch Umweltchemikalien bedingte morphologische und physiologische Veränderungen an Vogeleiern erfaßt werden können:

1. Eimasse (incl. Eilänge, Eibreite, Volumen, Oberfläche)
2. Eiform
3. Eischalenmorphologie (incl. Eischalendicke und Flächenmasse/Schalenindex)
4. Eischalenpermeabilität.

Die Bedeutung der einzelnen Kriterien wird umrissen, ökologische Konsequenzen bei Veränderung derselben werden aufgezeigt und Beispiele angeführt. Die Anwendung hat sich im Rahmen laborexperimenteller Prüfungen von Umweltchemikalien bewährt und wird entsprechend den internationalen Trends auch als Bestandteil langfristiger Bestandsüberwachungen ausgewählter Vogelarten empfohlen.

### **Criteria for recording morphological and physiological alterations of eggs as component of experimental studies of environmental chemicals and for long term population monitoring in choiced avian species**

In this review criteria are discussed for recording morphological and physiological alterations of avian eggs caused by environmental chemicals:

1. Egg mass (including egg length, egg breath, volume and surface area)
2. Egg shape
3. Egg shell morphology (including egg shell thickness and egg shell weight per surface area unit / egg shell index of RATCLIFFE)
4. Egg shell permeability.

The significance of the different criteria is characterized, ecological consequences of alterations are discussed and illustrated by examples. Considerable experience has accumulated in using these criteria as a component of experimental studies of environmental chemicals. According to these experiences and regarding the international trend it can be suggested to incorporate the criteria into long term population monitoring programmes for choiced avian species.

Ein wesentliches Phänomen der Arterhaltung stellt die Fähigkeit zur Reproduktion dar. Der Bestand einer Vogelart in einem hinreichend großen Gebiet resultiert aus dem Verhältnis von Reproduktion und Mortalität. Beide Faktoren werden dichteabhängig reguliert und bestimmen die Stabilität einer Population. Reproduktion und Mortalität können durch anthropogen bedingte Umweltveränderungen, zu denen

\* Vortrag beim 3. Symposium „Dynamik und Umweltbeziehungen von Vogelpopulationen“ in Neubrandenburg, 1985

auch Umweltchemikalien gehören, beeinflusst sein. Die Entwicklung in den letzten Jahrzehnten zeigt, daß langfristige reproduktive Effekte bei einigen Vogelarten aufgetreten sind und sich unter anderem als subletale Veränderungen am Ei manifestiert haben.

Die Ursachen für morphologische und physiologische Veränderungen am Ei sind vielfach Umweltchemikalien. Darunter sind alle chemischen Verbindungen und Elemente zu verstehen, die durch die Tätigkeit des Menschen in toxikologisch relevanten Mengen in die Umwelt gelangen und für die Vogelwelt nicht essentiell sind. Die Wirkungen von Umweltchemikalien auf die Vogelwelt können effektiv und mit großer Aussagefähigkeit mittels laborexperimenteller Ergebnisse beurteilt werden. Da die konkreten Bedingungen des Freilands nicht vollständig im Labor modelliert werden können, muß die Dynamik der Auswirkungen von Umweltchemikalien auf Populationen ausgewählter Arten in intensiv genutzten Gebieten erfaßt werden. Reproduktiven Veränderungen sollte ein wesentlicher Stellenwert eingeräumt werden. Neben der Registrierung des Bruterfolges sind in begründeten Fällen morphologische und physiologische Veränderungen am Ei zu erfassen, da das Ei als Mittler zwischen zwei Generationen vielfältige Funktionen hat. Es enthält Nährstoffreserven sowie räumliche Entwicklungsmöglichkeiten; es erfüllt Schutzfunktionen für den Embryo und ermöglicht einen Stoffaustausch mit der Umgebung.

Im folgenden sollen Kriterien vorgestellt werden, nach denen das Ei im Rahmen von laborexperimentellen Untersuchungen sowie in Monitorprogrammen an ausgewählten Vogelarten beurteilt werden kann. Die Ausführungen werden durch Beispiele über die reproduktionstoxische Wirkung von Pflanzenschutzmitteln an Japanwachteln (*Coturnix coturnix* L.) aus eigenen Arbeiten ergänzt.

#### 1. Eimasse (incl. Eilänge, Eibreite, Volumen, Oberfläche)

Unter natürlichen Bedingungen zeigt das Merkmal Eimasse Variationskoeffizienten bis 5%. Die genotypische Merkmalsausprägung unterliegt Heritabilitätskoeffizienten von 0,6 und größer. Damit ist die Eimasse im starken Maße an den Genotyp des weiblichen Individuums gebunden (MANNIG, 1978; OJANEN et al., 1979; STINO u. a. 1982). Phänotypische Einflußfaktoren auf die Eimasse sind Futterverfügbarkeit, Temperatur, Habitatfaktoren, jahreszeitliche Variationen, Gelegegröße und Einordnung in die Legefolge (KLOMP, 1980; OJANEN, 1983).

Die Eimasse bestimmt die Schlupfmasse und die Nährstoffreserven des Jungvogels (SCHIFFERLI, 1973; MARKS, 1975). Die Gelegegröße wird bei minimaler Eimassevariation in Abhängigkeit von der Nahrungssituation so ausgelegt, daß unter günstigen Nahrungsbedingungen während der Aufzucht der Jungvögel eine maximale Anzahl überlebensfähiger Jungtiere entstehen kann. Treten diese Nahrungsbedingungen nicht in vollem Maße ein, so wird bei Nesthockern über verschiedene Regulationsmechanismen die Anzahl der Nestlinge reduziert. Gelegeanpassung, Brutreduktion und das Phänomen des Nesthäckchens spielen eine zentrale Rolle (LACK, 1954; LÖHRL, 1968; KLOMP, 1970; NEUB, 1979; ORELL, 1983).

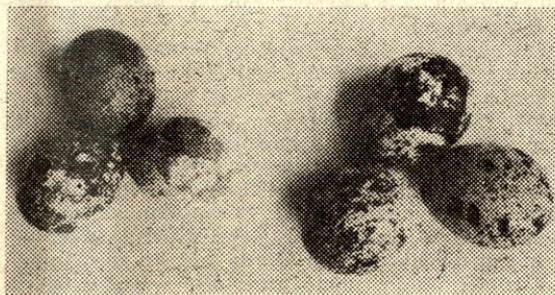


Abb. 1

Beeinflussung der Eigröße durch Langzeiteinfluß von 400 mg Zinkphosphid/kg Futter bei Japanwachteln (rechts: 3 Kontrollierer; links: 3 exponierte Eier)

Unter toxisch beeinflussten Bedingungen kann die Eimasse reduziert werden. In eigenen Untersuchungen zeigte sich dieser Sachverhalt beim rodentiziden Wirkstoff Zinkphosphid an Japanwachteln. Die Wirkung trat in toxikologisch relevanten Dosisbereichen auf (Abb. 1). Eine andere Möglichkeit besteht darin, daß bei unveränderter Eimasse durch toxische Beeinflussung kleinere Kücken schlüpfen. Dieses wurde am Beispiel des insektiziden Wirkstoffes Camphechlor bei Japanwachteln nachgewiesen (Tab. 1).

Tabelle 1

*Einfluß von Camphechlor auf die Lebendmasse der F<sub>2</sub>-Generation an Japanwachteln (Anzahl der untersuchten Tiere)*

Exposition der Parentalgeneration Dosis (mg/kg Futter)	Lebendmasse der F <sub>2</sub> -Generation am 14. Lebenstag	
0	35,6	(44)
10	33,9	(40)
20	30,3	(36) <sup>1)</sup>
50	31,0	(29) <sup>1)</sup>
150	27,7	(24) <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> signifikant mit  $\alpha < 0,05$  zur Kontrolle (WELCH-Test)

Beide Fälle erfordern eine erhöhte Aufnahme an Nahrung, deren Bereitstellung von ihrer Verfügbarkeit abhängt. Unter suboptimalen Nahrungsbedingungen wird eine Brutreduktion über die gut untersuchten Verhaltens- und Selektionsmechanismen einsetzen. Eine quantitative Beeinflussung der Reproduktionsrate wird die Folge sein. In dem Falle, daß eine Umweltchemikalie über Rückstände in den Eiern die Wachstumsrate der Jungvögel noch zusätzlich negativ beeinflusst, muß mit einer extrem hohen Jungtiermortalität bzw. mit einem untergewichtigen Ausfliegen derselben gerechnet werden. Untergewichtige Jungvögel haben geringere Überlebenschancen (LACK u. a., 1957; ORELL, 1983).

## 2. Eiform

Die Eiform wird am einfachsten durch den Formindex ausgedrückt, der das Verhältnis von Eibreite zu Eilänge wiedergibt (RICHARD und SWANSON, 1965; REHKUGLER, 1973). SCHÖNWETTER (1960) verwendet den reziproken Wert.

Die Eiform schwankt zwischen einzelnen taxonomischen Gruppen beträchtlich. Runde bis längliche Eier treten auf. Die Eiform ist ein charakteristisches Merkmal einer jeden Art und ist an Nestform und Eigröße angepaßt.

Es besteht die grundsätzliche Regel, daß mit zunehmender Eimasse die Eier länger werden. Diese Regel hat zwei Bedeutungen:

– Da bei größeren Eiern der Gasaustausch durch eine dickere Schicht Eiklar erfolgen müßte, wird durch Verschiebung des zusätzlichen Eiklars an die Pole der Diffusionswiderstand in Grenzen gehalten.

– Wesentliche Eiverluste treten durch Herausrollen der Eier aus dem Gelege bei einigen Arten auf. Da schwerere Eier bei gleicher Form leichter rollen als kleinere Eier, wird durch eine veränderte Form der Rollneigung entgegen gewirkt.

Die aufgeführte Regel zeigt auch Ausnahmen. So neigen die Eier der Höhlenbrüter zu einer mehr ründlichen Form. Ein Herausrollen oder ein Herausschleudern beim Abflug kann nicht auftreten (SZIELASKO, 1905; HARTMAN, 1971; ERÖSS, 1983).

Eine Veränderung der Eiform durch Umweltchemikalien würde folglich die Anpassung der Eiform an das Nest modifizieren und erhöhte Eiverluste wären möglich.

Das Oberflächen-Volumen-Verhältnis wird mit der Eiform verändert, es können somit andere Diffusionsverhältnisse entstehen. Diese Kausalität spiegelt sich in dem Zusammenhang zwischen Formindex der Eier und Schlupfrate wieder (MacLAURY u. a., 1973; HOYT, 1976).

Als Beispiel sollen phosphororganische Insektizide angeführt werden. In sehr hohen Dosen verändern sie an Japanwachteln die Eiform: Die Eier werden schmaler und länglicher. Abbildung 2 zeigt visuell den Unterschied bei Langzeitexposition von Parathionmethyl in einer Konzentration von 60 mg/kg Futter an Japanwachteln. Dem Beispiel entgegengesetzt könnten durch bestimmte Umweltchemikalien auch mehr rundliche Eier entstehen. Dieser Fall wäre sicher ungünstiger. Ein Beispiel für mehr rundliche Eier ist derzeit nicht bekannt.

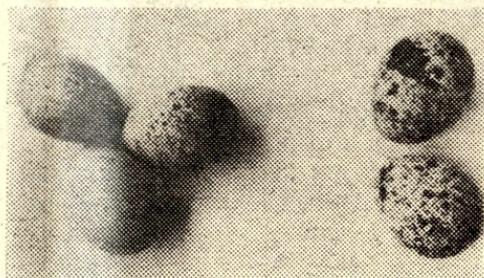


Abb. 2  
Veränderte Eiform nach Langzeitexposition von 60 mg Parathion-methyl/kg Futter bei Japanwachteln (rechts: 2 Kontrolleier; links: 3 exponierte Eier)

### 3. Eischalenmorphologie (incl. Eischalendicke und Flächenmasse/Schalenindex)

Seit der Erkenntnis, wie DDT und seine Metabolite auf Eischalen wirken, ist die Eischalendicke das gebräuchlichste Charakteristikum eines Eies. Die Dickenreduktion der Eischale wird mit Eischalenbruch in Zusammenhang gebracht (u. a. CLAUSSING, 1978; HARTNER, 1981; LINDEN u. a., 1984). Die Entwicklung der letzten Jahre zeigte, daß neben der Eischalendicke die Morphologie der Eischale die Reproduktion beeinflussen kann.

Die Schalenbildung erfolgt im Rahmen der gesamten Eibildung in einem kurzen Zeitraum. In den wenigen Stunden muß eine große Menge Kalzium im Körper mobilisiert und auf die Eimembran aufgelagert werden (CARTER, 1980). Die Qualität der Eischalenbildung wird durch die genetisch fixierte Geschwindigkeit der Kalziumanlagerung bestimmt. Die Qualität der Eischale besitzt eine sehr große genetische Determiniertheit. Für Hühnervogel sind Heritabilitätskoeffizienten von  $h^2 = 0,5$  ermittelt worden (BUSS und STOUT, 1981; BUSS, 1982).

Die Eischalenbildung eines Individuums kann durch folgende phänotypische Faktoren wesentlich modifiziert werden: Alter und Ernährung des Tieres, Jahreszeit, Kalzium- und Vitamin-D-Versorgung, Krankheit, Hitzestreß, Zeitpunkt der Eiablage während des Tages, Stellung des Eies in der Legesequenz (BUKEN, 1982).

Die Schalendicke als fundamentales Kriterium des Schalenaufbaus kann direkt oder indirekt über andere Meßgrößen dargestellt werden (CARTER, 1980). Die direkte Messung nach verschiedenen Auswahlverfahren kann nur Aussagen über wenige Meßpunkte zulassen. Aus diesem Grunde haben sich indirekte Meßmethoden durchgesetzt. Bei Freilandstudien ist seit 20 Jahren die Bestimmung des Schalenindex üblich (RATCLIFFE, 1967). Dieses Merkmal ermittelt die Masse je Flächeneinheit, wobei die Oberfläche des Eies als Rechteck aus Länge und Breite simplifiziert wird. Wesentlich genauer ist die seit 25 Jahren eingeführte Flächenmasse (TYLER und GRAKE, 1961). Dieses Kriterium charakterisiert die Masseverhältnisse an der Eischale am exaktesten. Die Bestimmung der Eioberfläche kann bei dem derzeitigen Erkenntnisstand hinreichend genau ausgeführt werden (PAGANELLI u. a., 1974; HOYT, 1976;

GONZALEZ u. a., 1982). FORBERG und ÖDSJÖ (1983, 1984) setzen Röntgenstrahlen zur Bestimmung der Schalendicke ein. Da der Embryo die Eischalendicke im fortgeschrittenen Stadium der Bebrütung reduziert, muß das Bebrütungsstadium der Eier berücksichtigt werden (FINNLUND u. a., 1985; FORBERG und ÖDSJÖ, 1984). Die Anwendung der bisher aufgeführten Kriterien auf Eier der Japanwachtel unter Langzeiteinfluß von Butonat zeigt Tab. 2.

Tabelle 2

*Veränderungen am Ei der Japanwachtel unter Langzeiteinfluß von Butonat*

Parameter	Dosis (mg/kg Futter)		
	0	20	200
Anzahl der Eier	64	64	61
Eilänge (cm)	3,10	3,00 <sup>1)</sup>	2,95 <sup>1)</sup>
Eibreite (cm)	2,38	2,34 <sup>1)</sup>	2,30 <sup>1)</sup>
Schalenmasse (g)	0,748	0,692 <sup>1)</sup>	0,663 <sup>1)</sup>
Formindex	0,769	0,778 <sup>1)</sup>	0,781 <sup>1)</sup>
Oberfläche (cm <sup>2</sup> )	19,5	18,5 <sup>1)</sup>	17,9 <sup>1)</sup>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	8,82	8,20 <sup>1)</sup>	7,80 <sup>1)</sup>
Oberflächen- Volumen- Verhältnis (cm <sup>-1</sup> )	2,22	2,27 <sup>1)</sup>	2,30 <sup>1)</sup>
Flächenmasse (g/cm <sup>2</sup> )	0,0384	0,0373 <sup>1)</sup>	0,0371 <sup>1)</sup>
Schalenindex (g/cm <sup>2</sup> )	0,1014	0,0987	0,0980 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> signifikant mit  $\alpha < 0,05$  zur Kontrolle (WELCH-Test)

Eischalen können bei gleicher Dicke und gleichem Kalziumgehalt unterschiedlich stabil sein. Die Qualität der Eischale hängt von der Schichtung (Übersicht bei COOKE, 1975) und von der Morphologie einzelner Schichten ab. Die Bruchfläche eines unbeeinflussten Eies der Japanwachtel im Rasterelektronenmikroskop zeigt Abb. 3. Eine geringere Bruchfestigkeit ist mit Unregelmäßigkeiten im Aufbau der Schalenoberfläche und vor allem mit der veränderten Ausbildung des stratum mammillare verbunden (BUNK und BALLOUN, 1978; VAN TOLEDO u. a., 1982). Eine optimale Mineralisation des stratum mammillare ist gleichzeitig Voraussetzung für einen regulären Aufbau des stratum spongiosum, das wiederum die Porosität der Eischale zusammen mit der Schalendicke entscheidend bestimmt (siehe Abschnitt 4).

Toxikologisch bedeutsam ist das Beispiel des DDE, ein Metabolit des DDT. Diese Verbindung reduziert die Dicke der Eischale (CLAUSING, 1978), in besonderem Maße die Dicke des stratum spongiosum und führt zu einem unregelmäßigen Aufbau des stratum mammillare. Einzelne Befunde ergaben Hohlräume im stratum spongiosum (McFARLAND u. a., 1971; COOKE, 1975). Neben der Dickenreduktion des stratum mammillare wird beim Condor auch die Dichte der Mammillen verkleinert (KLIFF u. a., 1979). Diese Befunde werden durch die eigene rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Sperbereies gestützt, das im Horst zertrütert wurde (Abb. 4). Die unregelmäßige Ausbildung des stratum mammillare fällt auf.

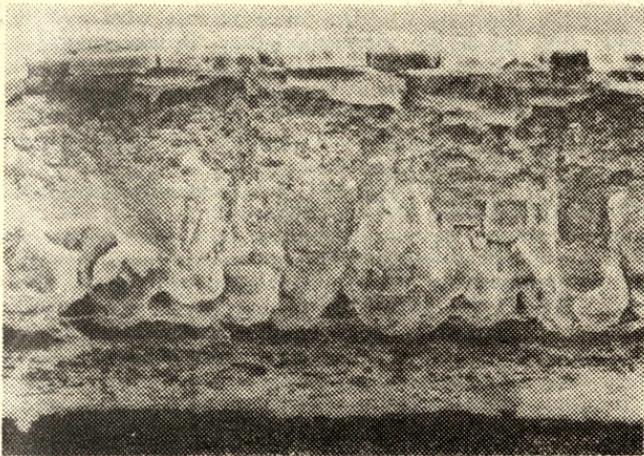


Abb. 3  
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Bruchfläche eines unbeeinflussten Eies der Japanwachtel (Vergrößerung 1000 : 1; Aufnahme: Dr. Ehrig)

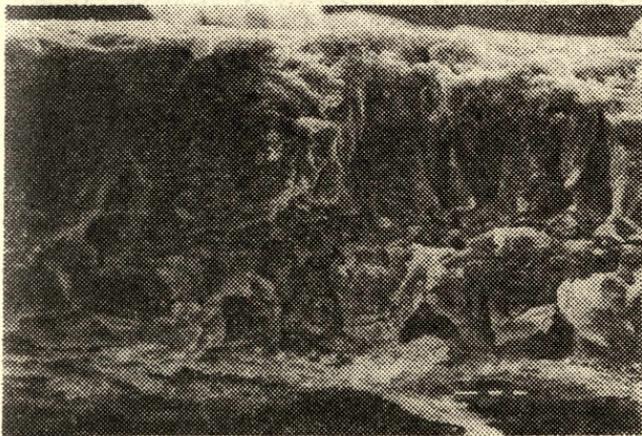


Abb. 4  
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Bruchfläche eines im Horst zerdrückten Sperbereies (Vergrößerung 1020 : 1; Aufnahme: Dr. Ehrig)

#### 4. Eischalenpermeabilität

Die Eischale schützt nicht nur den Embryo vor mechanischen und infektiösen Einflüssen, die Eischale garantiert auch einen Gasaustausch zwischen Embryo und Umgebung. Damit wird ein optimales Wachstum des Embryo und die Schlupffähigkeit des Jungvogels garantiert (TAZAWA u. a., 1971; SIMKISS, 1980; BOARD, 1981, 1982). Die Messung der Eischalenpermeabilität erfolgt über die Bestimmung des Masse-

verlustes des Eies unter definierten Bedingungen. Der Masseverlust wird auf die Oberfläche und Zeit relativiert und durch die atmosphärischen Druckverhältnisse korrigiert (AR u. a., 1974).

Die Schlupffähigkeit einer Reihe von Arten ist dann optimal, wenn der Wasserverlust während der gesamten Brut 10–15 % der Ausgangsmasse beträgt. Der Wasserverlust ist abhängig von der Porengeometrie, der Eischale, von der Eitemperatur und vom Brutstandort und damit den Feuchtigkeitsverhältnissen im Nest.

Die Permeabilität der Eischale ist an die Brutdauer und die Größe des Eies angepaßt (BIRCHARD und KILGORE, 1980; HOYT, 1980; BOARD, 1982).

Die ökologische Bedeutung des Merkmals besteht darin, daß eine wesentlich veränderte Permeabilität der Eischale eine nachteilige Embryonalentwicklung, eine geringere Schlupffähigkeit und unterentwickelte Kücken hervorruft (SIMKISS, 1980; TULLETT, 1984; BURTON und TULLETT, 1983). Die Konsequenzen sind analog denen, die bei der Bebrütung kleinerer Eier auftreten.

Als Beispiel sei die Wirkung von DDE auf die Eischale aufgeführt. Die Verbindung vergrößert die Poren bei wesentlicher Reduktion der Porenzahl. Insgesamt wird die Permeabilität der Eischale reduziert (PEAKALL und LINCER, 1973). Somit wirkt die Verbindung nicht nur über den Rückstand im Ei embryotoxisch, sondern verursacht über Eischalenveränderungen suboptimale respiratorische Bedingungen. Beide Wirkungen neigen zu einer bevorzugten Frühmortalität der Embryonen, wie sie im Raptor-pesticide-syndrom verankert ist (HARTNER, 1981).

In einigen Untersuchungen wurde die Wirkung von Wofatox-80 auf die Permeabilität der Eischale an Japanwachteln untersucht (Tab. 3). Die Eischale wird dünner und die Permeabilität steigt an. Am letzten Modellbeispiel muß allerdings betont werden, daß die Wirkungen an der Japanwachtel erst in einem Konzentrationsbereich auftreten, der in der Praxis nicht als Langzeitexposition erreicht wird.

Tabelle 3

*Beeinflussung der Permeabilität und Dicke der Eischale unter Langzeiteinfluß von Wofatox-80 an Japanwachteln (Anzahl der untersuchten Eier)*

Parameter	Dosis (mg/kg Futter)					
	0		30		60	
Masseverlust/ 24 Std. und cm <sup>2</sup>						
Oberfläche (mg)	6,99	(103)	8,26	(46) <sup>1)</sup>	12,00	(3) <sup>1)</sup>
Flächenmasse (g/cm <sup>2</sup> )	0,0417	(109)	0,0398	(53)	0,0320	(10) <sup>1)</sup>
Schalenindex (g/cm <sup>2</sup> )	0,1102	(109)	0,1051	(53)	0,0860	(10)

<sup>1)</sup> signifikant mit  $\alpha < 0,05$  zur Kontrolle (WELCH-Test)

### Anwendung der Eiuntersuchungen

Die zur Diskussion gestellten Kriterien haben sich im Rahmen laborexperimenteller Prüfungen von Umweltchemikalien an Japanwachteln bewährt. Die Anwendung von morphologischen und physiologischen Untersuchungen am Ei bei freilebenden Vogelarten als Bestandteil langfristiger Bestandsüberwachungen ist gegeben:

1. Treten in Teilpopulationen einer Art über Jahre hinweg reproduktive Veränderungen auf, so können die vorgestellten Kriterien zur Darlegung von Kausalzusammenhängen genutzt und durch chemische Analysen ergänzt werden.

2. Die dargelegten Eiuntersuchungen sind für langfristige Monitorprogramme ausgewählter Arten angezeigt. Bei der Artauswahl sollen solche Faktoren wie regionale und globale Bestandstrends, die Stellung der Art im Nahrungsnetz sowie die Besiedlung von Ersatzhabitaten berücksichtigt werden. Bei der Selektion des Untersuchungsgebietes müssen besonders landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete und solche im Bereich industrieller Ballungszentren erfaßt werden. Diese Fragestellung beurteilt gleichzeitig evolutionsbiologische Prozesse und ist ebenfalls durch chemische Analysen zu stützen.

Bei komplexen Eiuntersuchungen ist es vorteilhaft, die Daten an frischem Material zu gewinnen. Damit wird die Einflußnahme des sich entwickelnden Embryos bzw. von Zersetzungsprozessen auf die Eischale ausgeschlossen. Muß die Untersuchung auf bebrütetes Material beschränkt bleiben, so ist bei der Bestimmung der Eischalendicke (einschließlich Flächenmasse und Schalenindex) der Befruchtungszustand bzw. das Stadium der Embryonalentwicklung zu berücksichtigen. Die Beurteilung des Aufbaues der Eischale liefert in dem Falle eingeschränkte Ergebnisse.

Alle umfangreichen Untersuchungen am Ei sollen grundsätzlich Bestandteil planvoller und langfristiger populationsökologischer Studien sein. Nur so sind Erkenntnisse über die ökologische Relevanz von Veränderungen am Ei zu gewinnen bzw. die Ergebnisse zu interpretieren.

## Literatur

- AR, A., PAGANELLI, C. V., REEVERS, B., GREENE, D. G., RAHN, H. (1974):  
The avian egg: Water vapor conductance, shell thickness, and functional pore area. - *Condor* 76, 153-158.
- BIRCHARD, G. G., KILGORE, D. L. (1980):  
Conductance of the water vapor in eggs of burrowing and nonburrowing birds: implication for embryonic gas exchange. - *Physiol. Zool.* 53, 284-292.
- BOARD, R. G. (1981):  
The microstructure of avian eggshells. adaptive significance and practical implications in aviculture. - *Wildfowl* 32, 132-136.
- BOARD, R. G. (1982):  
Properties of avian egg shells and their adaptive value. - *Biol. Rev. Cambridge Phil. soc.* 57, 1-28.
- BUKEN, H. (1982):  
Untersuchungen zur Schalenmorphologie von Hühnereiern nach Infektion und Belastungsinfektion mit dem Virus des Egg-Drop-Syndroms 76. - *Diss., Tierärztl. Hochschule Hannover.*
- BUNK, M. J., BALLOUN, S. L. (1978):  
Ultrastruktur der mammillary region of low puncture strength avian eggshell. - *Poultry sci.* 57, 639-646.
- BURTON, F. G., TULLETT, S. G. (1983):  
A comparison of the effects of eggshell porosity on the respiration and growth of domestic fowl, duck and turkey embryo. - *Comp. Biochem. Physiol.* 75, 167-174.
- BUSS, E. G. (1982):  
Genetic differences in avian egg shell formation. - *Poultry Sci.* 61, 2048-2055.
- BUSS, E. G., STOUT, J. T. (1981):  
Shell disposition rates in birds selected for thick and thin eggshell production. - *Poultry Sci.* 60, 477-481.
- CARTER, T. C. (1980):  
The egg quality. - *Edinburgh.*
- CLAUSING, P. (1978):  
Die Dünnschaligkeit von Vogeleiern unter dem Einfluß von Pflanzenschutzmitteln. - *Biol. Rundschau* 16, 28-37.

- COOKE, A. S. (1975):  
Pesticides and eggshell formation. — Symp. Zool. Soc. 35, 339–361.
- ERÜSS, L. (1983):  
A madartojasok alakjanak funkcionalis szerepe. — Aquila 90, 159–175.
- FINNLUND, M., HISSA, R., KOIVUSAARI, J., MERILÄ, E., NUJA, I. (1985):  
Eggshells of Arctic Terns from Finland: effects of incubation and geography. — Condor 87, 79–86.
- FORBERG, S., ÖDSJÖ, T. (1983):  
An x-ray back-scatter method for field measurement of the quality of bird eggshells during incubation. — Ambio 12, 267–270.
- FORBERG, S., ÖDSJÖ, T. (1984):  
Influence from the embryonic development of hen eggs on the calcium index measured by an x-ray back-scatter method. — Ambio 13, 40–42.
- GONZALEZ, M., ROCA, P., SAINZ, F., ALEMANY, M. (1982):  
The estimation of avian egg surface area. A comparison of different methodological approaches. — Comp. Biochem. Physiol. 73 A, 101–103.
- HARTMANN, L. v. (1971):  
Einige Bemerkungen über die Form des Vogel-Eies. — Vogelwarte 26, 185–192.
- HARTNER, L. (1981):  
Wie schädigen die chlorierten Kohlenwasserstoffe die Vögel. — Ökol. Vögel 3, Sonderheft, 33–38.
- HOYT, D. F. (1976):  
The effect of shape on the surface-volume relationships of bird eggs. — Condor 78, 343–349.
- HOYT, D. F. (1980):  
Adaptation of avian eggs to incubation period: variability around allometric regressions is correlated with time. — Amer. Zool. 20, 417–425.
- KIFF, L. F., PEAKALL, D. B., WILBURE, S. R. (1979):  
Recent changes in California Condor eggshells. — Condor 81, 166–172.
- KLOMP, H. (1970):  
The determination of clutch-size in birds. A review. — Ardea 58, 1–124.
- LACK, D. (1954):  
The natural regulation of animal numbers. — Oxford.
- LACK, D., GIBB, J., OWEN, D. F. (1957):  
Survival in relation to brood size in tits. — Proc. Zool. Soc. London 128, 313–326.
- LINDEN, H., NYGARD, T., WIKMAN, M. (1984):  
On the eggshell thickness and reproduction of the Peregrine Falcon *Falco peregrinus* in Finland. — Ornis Fennica 61, 116–120.
- LÖHRL, H. (1968):  
Das Nesthäckchen als biologisches Problem. — J. Orn. 109, 383–395.
- MacLAURY, D. W., INSO, W. M., BEGIN, J. J., JOHNSON, T. H. (1973):  
Shape index versus hatchability of fertile eggs of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). — Poultry Sci. 52, 558–562.
- MANNING, T. H. (1978):  
Measurements and weights of eggs of the Canada goose, *Branta canadensis*, analyzed and compared with those of other species. — Can. J. Zool. 56, 676–687.
- MARKS, H. L. (1975):  
Relationship of embryonic development to egg weight, hatch weight, and growth in Japanese quail. — Poultry Sci. 54, 1257–1262.
- McFARLAND, L. Z., GARRETT, R. L., NOWELL, J. A. (1971):  
Normal eggshells and thin eggshells caused by organochlorine insecticides viewed by the scanning electron microscope. Proc. 4th Annual Scanning Microscope Symp. 377–384.
- NEUB, M. (1979):  
Brutbiologische Konsequenzen des asynchronen Schlüpfens bei Kohlmeisen (*Parus major*) und Blaumeise (*Parus caeruleus*). — J. Orn. 120, 196–214.
- NYHOLM, N. E. I., MYHRBERG, H. E. (1977):  
Severe eggshell defects and impaired reproductive capacity in small passerines in Swedish Lapland. — Oikos 29, 336–341.

- OJANEN, M., ORELL, M., VÄISÄNEN, R. A. (1979):  
Role of heredity in egg size variation in the Great Tit *Parus major* and the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca*. — *Ornis Scand.* 10, 22–28.
- OJANEN, M. (1983):  
Significance of variation in egg traits in birds, with special reference to passerines. — *Diss., Univ. of Oulu.*
- ORELL, M. (1983):  
Nestlings growth in the Great Tit *Parus major* and the Willow Tit *P. montanus*. — *Ornis Fennica* 60, 65–82.
- PAGANELLI, C. V., OLSZOWKA, A., AR, A. (1974):  
The avian egg: surface area, volume and density. — *Condor* 76, 319–325.
- PEAKALL, D. B., LINCER, J. L. (1973):  
DDE-induced egg-shell thinning: structural and physiological effects in three species. — *comp. Gen. Pharmacol.* 4, 305–313.
- RATCLIFFE, D. A. (1967):  
Decrease in eggshell weight in certain birds of prey. — *Nature* 215, 208–210.
- 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.
- SCHIFFERLI, L. (1979):  
The effect of egg weight on the subsequent growth of nestling Great Tits, *Parus major*. — *Ibis* 115, 549–558.
- SCHÖNWETTER, M. (1960):  
*Handbuch der Oologie.* — Berlin.
- SIMKISS, A. (1980):  
Egg shell porosity and their water metabolism of the chick embryo. — *J. Zool.* 192, 1–8.
- STINO, F. K. R., KLICKA, M. A., KAMAR, G. A., ALTAKRETI, B. T. O. (1982):  
Egg quality traits of the Japanese quail and their heritabilities in the subtropics. — *Arch. Geflügelkd.* 46, 104–108.
- SZIELASKO, A. (1905):  
Die Gestalt der Vogeleier. — *J. Orn.* 53, 273–297.
- TAZAWA, H., MIKAMI, T., JOSHIMOTO, C. (1971):  
Effects of reducing the shell area on the respiratory properties of the chick embryo. — *Resp. Physiol.* 13, 352–360.
- TULLETT, S. G. (1984):  
The porosity of avian eggshells. — *Comp. Biochem. Physiol.* 78 A, 5–13.
- TYLER, C., GRAKE, F. H. (1961):  
Studies on egg shells. XV. Critical appraisal of various methods of assessing shell thickness. — *J. Sci. Food. Agric.* 12, 281–289.
- Van TOLEDO, B., PARSON, A. H., COMBS, B. F. (1982):  
Role of ultrastructure in determining eggshell strength. — *Poultry Sci.* 61, 569–572.

Verfasser: Dr. Bernd Riedel  
Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow  
Ornithologische Forschungsstelle  
Lindenhof 3  
Seebach  
DDR-5701

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte aus der Vogelwarte Hiddensee](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [1986\\_7](#)

Autor(en)/Author(s): Riedel Bernd

Artikel/Article: [Kriterien zur Erfassung morphologischer und physiologischer Veränderungen am Ei als Bestandteil laborexperimenteller Untersuchungen von Umweltchemikalien und langfristiger Bestandsüberwachungen ausgewählter Vogelarten 54-63](#)