

Anhaltende Fortpflanzungsstörungen beim Sperber *Accipiter nisus* in der Ostschweiz

Ueli Bühler

Continuous reproductive disturbance in the Sparrowhawk *Accipiter nisus* in Eastern Switzerland. – In the years 1992–1994 the shells of unhatched Sparrowhawk eggs were significantly thicker than those found during an investigation carried out in 1978–1981. Broken eggs seemed to occur less frequently, while the frequency of dead embryos despite sufficient incubation showed not much change. Both types of failures have to be considered as reproductive disturbances, probably due to environmental contaminants. Other differences in comparison to the older investigation concern the frequency of eggs without detectable embryo development and egg size. Total breeding success, however, showed almost no change. The lengths of the innermost primaries of the adult breeding ♀ were significantly shorter in the Lowlands than in the Alps, due to unknown reasons.

Key-words: *Accipiter nisus*, demography, breeding success, fertility, egg-shell index, environmental contaminants.

Dr. Ueli Bühler, Via Concordia 9, CH–7013 Domat/Ems

Die Bestandsrückgänge, welche der Sperber zwischen ungefähr 1950 und 1980 in weiten Teilen Europas erlitt, waren begleitet von Fortpflanzungsstörungen, hervorgerufen durch persistente, längs der Nahrungskette sich anreichernde Schadstoffe. Die Konzentrationen solcher Substanzen nehmen in europäischen Ökosystemen seither meist deutlich ab (Newton & Haas 1984, Opdam et al. 1987). Es steht indes nicht fest, ob alle die Fortpflanzung des Sperbers beeinträchtigenden Stoffe rückläufig sind, denn die Palette der belastenden Substanzen ist nie erschöpfend untersucht worden. Auch darf aus der allgemeinen Erholung der Sperberbestände nicht ohne weiteres geschlossen werden, es bestünden keine Beeinflussungen durch Schadstoffe mehr, können doch in Greifvogelpopulationen ausserordentliche Ausfälle auf vielfältige Art kompensiert werden.

Daher entschloss ich mich, zusammen mit Willi Schlosser, Zürich, die Häufigkeit von Fortpflanzungsstörungen als Spiegel für das Bestehen möglicher negativer Einwirkungen durch Schadstoffe zu erheben und mit den Befunden aus den Jahren 1978–1981 (Bühler 1991) zu vergleichen. Am damals gewählten Prinzip eines Vergleichs zwischen Mittelland- und Alpenverhältnissen wird festgehalten,

weil weiterhin mit Belastungsunterschieden zu rechnen ist.

1. Material und Methode

Analog zur Vergleichsarbeit 1978–1981 (Bühler 1991) wurden in je einem Gebiet der Alpen und des Mittellandes Nestkontrollen durchgeführt. Dazu überwachten wir in den Jahren 1992–1994 in den Alpen 31 Bruten intensiv und 5 extensiv, im Mittelland 38 Bruten intensiv und 85 extensiv.

Bei der intensiven Untersuchung wurden alle in Tab. 1 aufgeführten Merkmale zu ermitteln versucht. Der Abstand zwischen den Nestkontrollen betrug 7–14 Tage mit etwas vermehrten Kontrollen zum Zeitpunkt des Schlupfs und bei Teilausfällen. Dennoch konnten bei einzelnen Bruten nicht alle gewünschten Daten ermittelt werden. Eier, von denen feststand, dass sie nicht mehr schlüpfen würden, wurden als Resteier entnommen und bis zum Öffnen tiefgefroren. Nachgelege wurden keine festgestellt.

Die extensive Bearbeitung beschränkte sich auf die Erfassung der Brutplatzbesetzung, des Bruterfolgs (erfolgreich oder Totalausfall) und auf das Beibringen von Mauserfedern für In-

Tab. 1. Erfasste Merkmale und Erhebungsmethode. Details siehe Bühler (1991). – *Recorded parameters and method of determination.*

Merkmal	Methode
Brutplatzbesetzung	Absuche der Brutplätze nach Kotstellen, Rupfungen, Mauserfedern und Nestern; Direktbeobachtungen von Sperbern.
Alter der brütenden ♀: ein- oder mehrjährig	Färbung von Mauserfedern: helles Feld auf der Innenfahne der inneren Handschwingen bei vorjährigen ♀ rötlich, bei älteren weiss; Armdecken bei vorjährigen ♀ mit breitem braunem Saum, bei älteren einheitlich grau.
Identität der brütenden ♀ im Folgejahr	Vergleich von Zeichnungsmuster und Grösse vermauselter Handschwingen in aufeinanderfolgenden Jahren am gleichen Brutplatz.
Länge der Handschwingen brütender ♀	Messung an vermauserten Handschwingen entlang gestrecktem Schaft. Positionsbestimmung anhand der Federform, Nummerierung von innen nach aussen. Bei Vorliegen gegengleicher Federn Verwendung des Mittelwerts.
Schlüpfdatum des ältesten Jungen	Rückdatierung anhand von Gewicht und Handschwingen-Teilfederlänge des am weitesten entwickelten Jungen bei der ersten Kontrolle im Nestlingsstadium.
Eilänge und -breite	Messung mit Schublehre im Horst; bei Resteiern Kontrollmessung nach der Bergung.
Gelegegrösse	Zählen der Eier im Nest, spätestens 17 Tage vor Schlupf des ältesten Jungen.
Anzahl geschlüpfte Junge	Nur für Bruten bestimmt, bei denen der Schlüpfserfolg von jedem einzelnen Ei sicher ermittelt werden konnte.
Anzahl aufgezogene Junge	Zählen der Jungen 18 bis 24 Tage nach Schlupf des ältesten Jungen.
Eischalenindex	= Eischalengewicht / (Ei-Länge × Ei-Breite) in mg/mm ² . Für drei Eischalen, von denen kleine Stückchen verloren gingen, wurde der Index von der mit einem Mikrometer gemessenen Eischalendicke nach der Formel $\text{Index} = 0,060 + 4,719 \times \text{Dicke (mm)}$ abgeleitet (Bühler 1991, S. 365).
Inhalt von Resteiern	Auffangen des Inhalts in Becherglas; Suche nach Embryo von blossen Auge. Falls Embryo vorhanden, Abschätzung des Entwicklungsstadiums in Zehnteln anhand der Embryo-Länge und der Grössenverhältnisse zwischen Embryo und gesamtem Ei-Inhalt sowie zwischen Dottersack und Embryo.
Brut-Ausfälle	Vergleich der Zählresultate aufeinanderfolgender Kontrollen, Spurenlese.

formationen über das brütende ♀. Eine Besteigung des Nestbaumes war dazu nicht notwendig.

1995 wurden ergänzende Daten über die Brutplatzbesetzung und die Identität der brütenden ♀ von 10 Bruten in den Alpen und von 32 Bruten im Mittelland gewonnen.

Die untersuchten Brutplätze im Mittelland wurden durch Willi Schlosser gefunden. Er führte in diesem Gebiet auch die extensive Nest-Überwachung durch.

Die untersuchten Bruten verteilten sich geographisch ähnlich wie 1978–1981. In den Alpen lagen die Bruten im Umkreis von 30 km um Surcuolm GR (46° 45' N/9° 09' E) auf Höhen zwischen 620 und 1630 m ü.M. Die Bruten im Mittelland lagen maximal 32 km von Brütisellen ZH (47° 26' N/8° 38' E) entfernt, in Höhenlagen zwischen 420 und 820 m ü.M.

Siedlungsdichten wurden nicht ermittelt. Die Erfahrungen bei der Suche nach Bruten lassen vermuten, dass der Brutpaarbestand in den Al-

Tab. 2. Resultate der durchgeführten Messungen und Zählungen im Vergleich zur früheren Arbeit. Angegeben sind die Mittelwerte $\pm$ die Standardabweichungen – bzw. beim Schlupfdatum in Klammern die Extremwerte – sowie die Stichprobenumfänge n . Unterschiede zwischen den Regionen und den Untersuchungsperioden wurden mit 2-Weg-ANOVA geprüft. Es bedeuten $p =$ Irrtumswahrscheinlichkeit für bestehende Unterschiede und $n.s. =$ nicht signifikant. Signifikanzen in der Spalte Interaktion bedeuten, dass sich die Werte von der ersten zur zweiten Untersuchung in den beiden Regionen unterschiedlich veränderten. – *Results of measurements and counts, in comparison to the earlier study. Means $\pm$ standard deviations sd (for the days of hatching: ranges, in brackets) and number of observations (n). Differences between regions and investigation periods were tested by a 2-way ANOVA; $p =$ probability of error for existing difference; $n.s. =$ not significant.*

Merkmal	Region	1978–1981		1992–1994		Unterschiede zwischen		
		Mittel $\pm$ sd	n	Mittel $\pm$ sd	n	Region	Periode	Interaktion
Länge der 1. Handschwinge der brütenden ad. ♀ (mm)	Alpen	144,4 $\pm$ 3,3	19	146,0 $\pm$ 3,4	13	$p < 0,05$	n.s.	$p < 0,10$
	Mittelland	144,2 $\pm$ 4,5	16	142,8 $\pm$ 3,5	39			
Länge der 5. Handschwinge der brütenden ad. ♀ (mm)	Alpen	194,4 $\pm$ 4,7	24	195,2 $\pm$ 5,9	17	n.s.	n.s.	n.s.
	Mittelland	193,8 $\pm$ 4,0	14	192,9 $\pm$ 4,9	42			
Gelegegrösse	Alpen	4,9 $\pm$ 0,4	30	4,7 $\pm$ 0,7	21	n.s.	n.s.	n.s.
	Mittelland	4,9 $\pm$ 1,1	21	4,8 $\pm$ 0,8	27			
Anzahl geschlüpfte Junge pro erfolgreiche Brut	Alpen	3,8 $\pm$ 1,4	32	3,7 $\pm$ 1,3	22	n.s.	n.s.	n.s.
	Mittelland	3,6 $\pm$ 1,3	19	4,0 $\pm$ 1,1	32			
Anzahl aufgezogene Junge pro erfolgreiche Brut	Alpen	3,2 $\pm$ 1,5	36	3,4 $\pm$ 1,3	19	n.s.	n.s.	n.s.
	Mittelland	3,3 $\pm$ 1,1	27	3,5 $\pm$ 0,9	25			
Schlupfdatum des ältesten Jungen	Alpen	19. Juni (7.6.–30.6.)	42	17. Juni (7.6.–3.7.)	23	$p < 0,001$	n.s.	n.s.
	Mittelland	12. Juni (24.5.–10.7.)	30	10. Juni (30.5.–21.6.)	36			
Eilänge (mm)	Alpen	40,2 $\pm$ 1,6	162	40,2 $\pm$ 1,6	113	$p < 0,01$	n.s.	n.s.
	Mittelland	39,6 $\pm$ 1,8	138	39,9 $\pm$ 1,7	164			
Eibreite (mm)	Alpen	32,7 $\pm$ 1,0	162	32,6 $\pm$ 1,1	113	$p < 0,10$	n.s.	$p < 0,01$
	Mittelland	32,3 $\pm$ 1,3	138	32,6 $\pm$ 0,9	164			
Schalenindex von Resteiern mit höchstens ½ entwickeltem Embryo	Alpen	1,19 $\pm$ 0,15	26	1,16 $\pm$ 0,18	12	n.s.	$p < 0,05$	$p < 0,05$
	Mittelland	1,12 $\pm$ 0,08	43	1,22 $\pm$ 0,11	22			

pen seit der Untersuchung 1978–1981 leicht zurückgegangen ist, während er im Mittelland nach der in den Sechziger- und Siebzigerjahren erlittenen Bestandsdepression mit Sicherheit stark zugenommen hat.

Für die Berücksichtigung des Wetter-Einflusses auf das Schlüpfdatum wurden die Daten der meteorologischen Stationen Tänikon und SMA-Zürich für das Mittelland sowie Chur-Ems und Disentis für die Alpen (Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt) verwendet.

Multivariate Statistiken wurden mit dem Programm SPSS+ (SPSS INC. 1988) auf einem Personal Computer berechnet. Sie blieben auf Mess- und Zählresultate beschränkt, währenddem Häufigkeitswerte lediglich einfachen Chi²-Vierfeldertests unterzogen wurden.

2. Ergebnisse

Die ermittelten Werte sind zusammen mit den jeweils entsprechenden Daten der ersten Arbeit in Tab. 2 (Mess- und Zählwerte) und Tab. 3 (Häufigkeiten) aufgeführt. Daraus ergeben sich die nachstehenden relevanten Befunde.

Brutplatzbesetzung

Etwa $\frac{2}{3}$ der Brutplätze wurden im Jahr nach einer Brut erneut besetzt. Diese Häufigkeit hat sich seit 1978–1981 nicht signifikant verändert, und es lässt sich auch kein Unterschied zwischen den Regionen Alpen und Mittelland erkennen (Tab. 3).

Tab. 3. Ermittelte Häufigkeiten in Prozenten im Vergleich zur früheren Arbeit. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Regionen bzw. den Untersuchungsperioden sind im Text aufgeführt. – *Relative frequencies (%) compared to the earlier study. For statistically significant differences between regions or investigation periods see text.*

Merkmal	Region	1978–1981		1992–1994	
		Häufigkeit (%)	n	Häufigkeit (%)	n
Brutplätze mit erneuter Brut im Folgejahr	Alpen	73	51	65	34
	Mittelland	64	45	68	104
Anteil vorjähriger Vögel unter den brütenden ♀	Alpen	31	48	21	34
	Mittelland	15	34	29	91
Gleiches ♀, falls Brut im Folgejahr	Alpen	28	18	33	15
	Mittelland	50	10	55	38
Keine Eiablage nach Nestbau	Alpen	12	66	13	31
	Mittelland	7	42	nicht erfasst	
Totalausfall nach Eiablage	Alpen	27	62	25	28
	Mittelland	28	57	30	83
Ausbleibende Embryoentwicklung: von Totalausfällen betroffene Bruten	Alpen	0	62	0	28
	Mittelland	2	57	1	83
Eischalenbruch: von Totalausfällen betroffene Bruten	Alpen	5–15	62	4	28
	Mittelland	7–18	57	1–2	83
Abgestorbener Embryo: von Totalausfällen betroffene Bruten	Alpen	0	62	0	28
	Mittelland	0	57	0	83
Ausbleibende Embryoentwicklung: bei Teilausfällen betroffene Eier	Alpen	4–5	173	6–7	108
	Mittelland	12	111	5–6	167
Eischalenbruch: bei Teilausfällen betroffene Eier	Alpen	5–8	173	3–7	108
	Mittelland	6–9	111	5–10	167
Abgestorbener Embryo: bei Teilausfällen betroffene Eier	Alpen	8–9	173	10–11	108
	Mittelland	5	111	4	167

Identität der ♀

Der Anteil der vorjährigen Vögel unter den brütenden ♀ hat seit 1978–1981 im Mittelland zu- und in den Alpen abgenommen (Tab. 3). Infolge der knappen Stichprobenumfänge sind die Unterschiede statistisch aber nicht signifikant.

In beiden untersuchten Perioden war im Jahr nach einer Brut im Mittelland häufiger wieder dasselbe ♀ an einem bestimmten Brutplatz anwesend als in den Alpen. Für beide Untersuchungen zusammen ist der Unterschied zwischen den beiden Regionen signifikant mit $p < 0,05$ (Chi²-Vierfeldertest).

Im Gesamtmaterial waren die innersten Handschwingen der adulten brütenden ♀ im Mittelland signifikant kürzer als in den Alpen (Tab. 2). Zwischen den beiden Untersuchungsperioden hat sich dieses Mass in den beiden Regionen tendenziell unterschiedlich entwickelt, es nahm in den Alpen leicht zu und im Mittelland etwas ab. Bei der 5. Handschwinge sind die Verhältnisse ähnlich, doch sind die Unterschiede statistisch nicht signifikant.

Bruterfolg

Die Häufigkeit, mit der nach erfolgtem Nestbau die Eiablage ausblieb, hat sich in den Alpen seit der ersten Untersuchung nicht signifikant verändert, ebensowenig die Zahl der Totalausfälle nach erfolgter Eiablage (Tab. 3).

In der Gelegegrösse und in der Zahl der geschlüpften Jungen der bis dahin erfolgreichen Bruten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede, weder zwischen den Regionen noch zwischen den beiden Untersuchungsperioden (Tab. 2). Die Streuung der Gelegegrösse im Mittelland, welche 1978–1981 auffallend gross war, ist zurückgegangen. Die Anzahl aufgezogener Junger pro erfolgreiche Brut hat in beiden Regionen von der ersten auf die zweite Untersuchung hin leicht – statistisch aber nicht signifikant – zugenommen.

Brutperiode

1992–1994 schlüpften die Jungen im Durchschnitt etwa zur selben Zeit wie während der

ersten Untersuchung und es bestand ein signifikanter Unterschied im Schlüpfdatum zwischen den Alpen und dem Mittelland. Über die Mittelwertvergleiche in Tab. 2 hinaus wurden am Gesamtmaterial mit Regressionsanalysen weitere Abhängigkeiten des Schlüpfdatums untersucht. Eine multiple Regression, in welcher das Jahr und die Region sowie das Alter des ♀ und die Meereshöhe als Einflussgrössen miteinbezogen wurden, zeigte folgendes: das erste Junge vorjähriger ♀ schlüpfte durchschnittlich 6,3 Tage später als jenes älterer ♀ ($p_{\text{partiell}} < 0,0001$) und mit zunehmender Meereshöhe war der Schlüpftermin um 1,09 Tage/100 m verzögert ($p_{\text{partiell}} < 0,0005$). Das Gesamtmodell war signifikant mit $p < 0,0001$ ($n = 111$). Eine zweite Analyse befasste sich mit der bekannten Abhängigkeit des Brutbeginns vom Wetterverlauf in den Monaten vor der Eiablage (Newton & Marquiss 1984). Sie zeigte, dass die jährweise gemittelten Schlüpfdaten für das Mittelland tendenziell ($p < 0,1$) und für die Alpen signifikant ($p < 0,01$) positiv mit der Anzahl Regentage (3 mm und mehr Niederschlag) im Februar, März und April korrelierten. Zur mittleren Lufttemperatur dieser Monate wurde kein Zusammenhang gefunden. Über die so gefundenen Abhängigkeiten wurden die Schlüpfdaten der einzelnen Bruten in einem dritten Schritt normiert. Auch für diese normierten Schlüpfdaten besteht kein signifikanter Unterschied zwischen 1978–1981 und der neuen Untersuchung.

Eimasse

Die in den Alpen gelegten Eier waren insgesamt grösser als jene im Mittelland. Blieb die Eigrösse in den Alpen seit der ersten Untersuchung praktisch unverändert, so nahm sie im Mittelland signifikant zu (Eilänge: $p < 0,1$; Eibreite: $p < 0,01$; t-Test).

Schalenindex

Der an Resteiern mit einem höchstens halb entwickelten Embryo gemessene Schalenindex hat seit der ersten Untersuchung insgesamt signifikant zugenommen. Allerdings verliefen die Entwicklungen in den beiden Regionen nicht

Tab. 4. Gesamtbilanz der Jungenproduktion und der im Eistadium erlittenen Brutaufälle. Die Daten sind aus Werten der Tabellen 2 und 3 abgeleitet. – *Number of young raised per nest with eggs and percentages of egg losses relative to the total number of eggs laid. The values are derived from the data in Tables 2 and 3.*

	Alpen		Mittelland	
	1978–81	1992–94	1978–81	1992–94
Anzahl aufgezogene Junge pro Nest mit Eiablage	2,3	2,6	2,5 ^a	2,4
Bei Total- und Teilausfällen insgesamt verlorene Eier in Prozenten aller gelegten Eier:				
– durch Ausbleiben einer Embryoentwicklung	3–4 %	5 %	10 %	5–6 %
– durch Eischalenbruch	9–20 %	6–9 %	11–24 %	5–11 %
– durch Absterben des Embryos	6–7 %	8 %	4 %	3 %

^a unter Berücksichtigung von Nachgelegen

parallel: deutlich zugenommen haben die Eischalen im Mittelland, währenddem die Alpen-eier in der jüngeren Untersuchung im Durchschnitt etwas schwächere Eischalen aufwiesen als 1978–1981.

Brutaufälle im Eistadium

Die Teilauffälle durch das Ausbleiben einer Embryoentwicklung waren 1978–1981 im Mittelland signifikant häufiger als in den Alpen ($p < 0,05$), sie nahmen im Mittelland bis zur Untersuchung 1992–1994 tendenziell ab ($p < 0,1$). 1992–1994 waren Teilauffälle durch Absterben des Embryos in den Alpen signifikant häufiger als im Mittelland ($p < 0,05$). Andere Unterschiede in den Häufigkeiten der Brutaufälle sind nicht signifikant und es ergibt sich die in Tab. 4 dargestellte Gesamtbilanz.

Eischalenbrüche gehen offensichtlich auch heute noch auf schwache Eischalen zurück. So wiesen auch in den Jahren 1992–1994 die Bruten mit Eibrüchen schwächere Eischalen auf als jene ohne Schalenbruch (Tab. 5).

Unter den Bruten aus den Jahren 1988–1995 wiesen jene mit abgestorbenen Embryonen praktisch gleich grosse Eischalenindices auf wie solche ohne tote Embryonen (Tab. 5).

Bei den zwischen 1978 und 1994 eingesammelten Resteiern, die 4–8 Tage nach dem Schlupf des ersten Jungen dem Nest entnommen wurden und deren Eischalen keinen Defekt aufwiesen, zeigte sich eine positive Korrelation zwischen dem spezifischen Gewicht

zum Zeitpunkt der Entnahme aus dem Nest und dem Eischalenindex. Dies galt einerseits für alle Eier mit einem höchstens halb entwickelten Embryo ($p < 0,05$; $n = 23$), andererseits aber auch für alle Eier, wenn in einer multiplen Regression das Entwicklungsstadium des Embryos zur Zeit seines Absterbens als Einflussgrösse zugelassen wurde ($p < 0,01$; $n = 37$). Offenbar verdampfte also aus den nicht geschlüpften Eiern während der Bebrütung umso mehr Wasser, je schwächer ihre Eischale war.

3. Diskussion

3.1. Demographie

Die Fortpflanzungsleistung hat sich seit der ersten Untersuchung kaum verändert und unterschied sich 1992–1994 zwischen den untersuchten Regionen nur geringfügig. Das vorgefundene Niveau des Fortpflanzungserfolgs kann nicht mit einem bestimmten Trend der Bestandsdichte gleichgesetzt werden. So entwickelten sich drei britische Sperberpopulationen bei ähnlich hohem, mit der vorliegenden Studie vergleichbarem Bruterfolg ganz unterschiedlich. Massgebender als kleine Unterschiede in der Fortpflanzungsleistung pro Nest waren dort die Zahl neu rekrutierter Brutvögel, das Alter der erstmals brütenden ♀, die Wegzugdistanz der Jungsperber und die Überlebensrate der Brutvögel (Wyllie & Newton 1991).

Der Anteil der vorjährigen Vögel unter den brütenden ♀ und die Häufigkeit, mit der an einem Brutplatz im Folgejahr wieder dasselbe ♀ angetroffen wird, geben Hinweise auf die Regeneration und den Fortbestand des sich fortpflanzenden Populationsteils. Das Verhältnis dieser Werte zwischen den beiden Regionen und ihre Entwicklungstendenzen stimmen zwar mit der subjektiven Einschätzung der Bestandsentwicklung überein – Zunahme im Mittelland und Stagnation in den Alpen –, doch weil die Unterschiede und Entwicklungen statistisch nicht abgesichert sind, führt diese Analyse im vorliegenden Fall zu keinem sicheren Befund.

Der Längenunterschied der innersten Handschwinge adulter ♀ zwischen Alpen und Mittelland kann hier nicht erklärt werden. Möglicherweise bevorteilen Unterschiede im Lebensraum zwischen den beiden Regionen unterschiedliche Flügel-Geometrien.

3.2. Fortpflanzungsstörungen

Sowohl 1978–1981 als auch in den Jahren 1992–1994 sind Eischalen während der Bebrü-

tung zerbrochen und Embryonen trotz anscheinend regulärer Bebrütung abgestorben. Durch einen Vergleich mit alten Aufzeichnungen belegte Newton (1974), dass solche Brutaussfälle ausserhalb der natürlichen Norm liegen und somit als Fortpflanzungsstörungen zu qualifizieren sind. Ihre Ursachen sind wohl in menschlich bedingten Umweltveränderungen zu suchen.

Wie in der ersten Arbeit dargelegt (Bühler 1991), dürften die Eischalenbrüche auf die Kontamination der ♀ mit dem Insektizid-Derivat pp'-DDE zurückgehen, das den Einbau von Kalk in die Eischale stört (Cooke 1973). Die Zunahme der Eischalenstärke seit der ersten Untersuchung geht einher mit rückläufigen Konzentrationen von DDE in europäischen Vögeln (Newton et al. 1993). Ob die unterschiedliche Entwicklung des Schalenindex in den beiden Regionen auf eine entsprechend unterschiedliche Entwicklung der lokalen DDE-Kontamination zurückzuführen ist, müsste anhand von Rückstandsanalysen abgeklärt werden. Für beide untersuchten Regionen kann eine leichte Abnahme der Schalenbruchhäufigkeit vermutet werden. Es ist wohl dem be-

Tab. 5. Eischalenindex und Auftreten von Eischalenbrüchen bzw. Absterben von Embryonen. Aufgeführt sind der mittlere Schalenindex von Eiern mit einem höchstens halb entwickelten Embryo, die Standardabweichung *sd* sowie die Anzahl Bruten *n*. Lagen mehrere Eier pro Brut vor, so wurde der Mittelwert eingesetzt. Die Daten stammen aus den Jahren 1992–1994. Bei den Ausfällen infolge Absterbens des Embryos wurde ergänzend auch je eine Brut aus den Jahren 1988 und 1995 berücksichtigt. Die Schalenindices der vier Klassen unterschiedlicher Ausfall-Schwere beim Eischalenbruch unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$; ANOVA), insbesondere sind die Indices der Bruten ohne Eischalenbruch signifikant grösser als jene der Bruten, bei denen alle Eier zerbrochen ($p < 0,05$; t-Test). – *Egg-shell index and occurrence of broken eggs or dead embryos. Mean shell index of eggs with a not more than half-developed embryo is given as well as the standard deviation (sd) and the number of clutches (n). When several eggs from the same clutch were available, the mean value was used. Data from 1992–1994, with one additional clutch from 1988 and 1995 each in the case of dead embryo. Egg shell indices differed significantly ($p < 0.05$; ANOVA) between the four classes of different degrees of loss due to broken eggs, the indices of broods without any broken eggs being significantly higher than those from broods with all eggs broken ($p < 0.05$).*

	Schalenindex bei					
	Eischalenbruch			Absterben des Embryos		
Ausfall-Schwere	Mittel	± sd	n	Mittel	± sd	n
kein Ausfall	1,26	± 0,13	14	1,26	± 0,12	11
Teilausfall	1,15	± 0,08	4	1,25	± 0,12	12
Totalausfall	1,04	± 0,04	2	–		0
Ausfall unsicher	1,32	± 0,10	4	–		0

schränkten Stichprobenumfang zuzuschreiben, dass dafür keine Signifikanzen gefunden wurden.

Die Zahl abgestorbener Embryonen in anscheinend regulär bebrüteten Eiern hat sich kaum verändert. Eindeutige Belege über Dosis-Wirkungs-Beziehungen, welche das Absterben von Embryonen unter Feldbedingungen erklären, sind mir nicht bekannt. Newton (1986) vermutet als Grund für diesen Ausfalltyp erhöhten Wasserverlust infolge dünner Eischale und schreibt das Absterben von Embryonen der beeinträchtigenden Wirkung von DDE auf die Eischalenstärke zu. Die Bedeutung der Eischalenstärke für den Gasaustausch zwischen dem Inhalt und der Umgebungsluft des Eies ist indes umstritten (Linthicum et al. 1994). Die in der vorliegenden Untersuchung festgestellte positive Korrelation zwischen der Schalenstärke und dem spezifischen Eigewicht am Ende der Bebrütungszeit spricht für einen erhöhten Wasserverlust bei dünner Eischale und stützt Newton's Hypothese. Sollten sowohl die Eibrüche als auch das Absterben von Embryonen allein durch DDE verursacht sein, so wäre allerdings eine parallele Häufigkeitsentwicklung dieser Brutaufälle zu erwarten, was mit den Resultaten der vorliegenden Untersuchung schlecht übereinstimmt. Es scheint lohnenswert, diese Entwicklung weiter zu verfolgen.

Durch Ausbleiben einer Embryoentwicklung fielen 1992–1994 in beiden untersuchten Regionen 5–6 % aller gelegten Eier aus. Vor dem Jahr 1947 waren in Grossbritannien von diesem Phänomen ungefähr 10 % der Eier betroffen (Newton 1974). Newton hatte diese Daten als Referenz für ungestörte Verhältnisse verwendet. Es zeigt sich nun, dass die von ihm gefundene Häufigkeit anscheinend unbefruchteter Eier nicht als innerartliche Konstante angesehen werden kann, sondern wie andere Brutaufälle wohl auch von Umweltfaktoren abhängt. In die gleiche Richtung weist auch der Rückgang dieses Brutaufalles im Mittelland seit 1978–1981. Angesichts der geringen Häufigkeit, mit der in der neuen Untersuchung Eier ohne Embryoentwicklung auftraten, mag man Abklärungen über eine allfällige Mitbeteiligung von Schadstoffen für das Zustandekom-

men dieses Brutaufalles keine grosse Bedeutung zumessen. Bedenkt man aber, dass sich bei freilebenden Säugetieren und beim Menschen die Spermienzahl und -qualität in den letzten Dezennien offenbar unter dem Einfluss von Schadstoffen auf ein bedrohliches Mass reduziert haben (Schlumpf & Lichtensteiger 1996), so könnten derartige Untersuchungen trotzdem sehr sinnvoll sein.

Am 1978–1981 gesammelten Material hatte sich eine negative Korrelation zwischen der Gelegegrösse, die eine auffallend grosse Streuung aufwies, und der Kontamination mit PCB gezeigt (Bühler 1991). Obwohl die Anwendung dieser in der Technik eingesetzten Substanzgruppe seit 1986 in der Schweiz verboten ist, gibt es Wege, über die PCB heute noch in die Umwelt gelangen kann (Müller 1994). Es darf also nicht ohne weiteres von einer Abnahme der PCB-Konzentration in der Umwelt ausgegangen werden. Indes deutet nichts in den Resultaten auf eine Störung der Gelegegrösse in den Jahren 1992–1994 hin.

Als Grund für die Zunahme der Eigrösse im Mittelland seit der ersten Untersuchung kommt nicht nur das Wegfallen von Schadstoffeinflüssen in Betracht. Es ist denkbar, dass auch eine verstärkte Selektion unter den zur Brut schreitenden Sperbern als Folge der Bestandszunahme zu dieser Entwicklung geführt haben könnte, indem sie eine Anhebung der durchschnittlichen Fitness der an den Bruten beteiligten Sperber bewirkte.

Das Spektrum der in ökotoxikologischen Untersuchungen miteinbezogenen Schadstoffe ist in den letzten Jahren ständig ausgeweitet worden. Früher zu Gruppen zusammengefasste Substanzen mit gleicher Grundstruktur wie z.B. PCB werden heute meist kongener-spezifisch analysiert, kleinste Konzentrationen hochtoxischer Substanzen wie einiger halogener Dioxine und Furane werden routinemässig gemessen und es werden auch immer wieder neue persistente Schadstoffe entdeckt. Dennoch ist eine lückenlose Erfassung aller Schadstoffe und ihrer Wirkungen auf die Natur heute und wohl auch in Zukunft nicht möglich. Neben hochentwickelten rückstandsanalytischen Arbeiten wird deshalb auch künftig eine Überwachung unserer Ökosysteme hinsichtlich

schadstoffbedingter Störungen notwendig sein. Dies umso mehr, als die vorliegende Arbeit zeigt, dass trotz rückläufiger Kontaminationen immer noch Fortpflanzungsstörungen auftreten.

Dank. Ohne Willi Schlosser hätte ich diese Arbeit nicht durchführen können. Er hat die untersuchten Bruten im Mittelland ausfindig gemacht, die extensiven Kontrollen in diesem Gebiet durchgeführt und mich bei vielen Kontrollgängen begleitet. Dafür und für die gemeinsam erlebten Stunden danke ich ihm herzlich. Mein Dank gilt ausserdem Dr. Jürg Paul Müller und Ueli Schnepf für ihre Unterstützung beim Öffnen der Resteier am Bündner Natur-Museum, Dr. Beat Naef-Daenzer für die statistische Beratung, Hans Schmid, einem weiteren Gutachter und Dr. Christian Marti für die kritische Durchsicht des Manuskripts sowie Dr. Verena Keller für die Korrektur der englischen Texte.

Zusammenfassung

In den Jahren 1992–1994 wurde in je einem Gebiet der Alpen und des Ostschweizer Mittellandes der Verlauf von 159 Sperberbruten erfasst und mit entsprechenden Daten aus den Jahren 1978–1981 (Bühler 1991) verglichen. Im Mittelland hatte der Brutbestand des Sperbers zwischen den beiden Erhebungen zugenommen.

Die Bruterfolgswerte haben sich seit der Vergleichsarbeit nur wenig verändert und unterschieden sich auch kaum zwischen den beiden Regionen. Sie lagen in einem Bereich, bei dem sowohl eine Zu- als auch eine Abnahme des Brutpaarbestandes möglich ist. Die Veränderungen von anderen für die Bestandsentwicklung massgebenden demographischen Kennwerten, wie der Anteil vorjähriger Vögel unter den brütenden ♀ und die Häufigkeit, mit der ♀ an den Brutplätzen von einem Jahr zum nächsten wechselten, fielen ebenfalls statistisch nicht signifikant aus.

Der Schalenindex von Resteiern ist dank einer starken Zunahme im Mittelland seit 1978–1981 signifikant grösser geworden. Die Häufigkeit von Eischalenbrüchen scheint in beiden Regionen abgenommen zu haben, währenddem abgestorbene Embryonen bei regulärer Bebrütung noch ungefähr gleich häufig auftraten. Beide Ausfalltypen sind als Fortpflanzungsstörungen anzusehen, die vermutlich durch Schadstoffbelastungen hervorgerufen werden. Bebrütete Eier ohne sichtbare Embryoentwicklung sind im Mittelland seit der Vergleichsarbeit tendenziell seltener geworden und waren in beiden Regionen deutlich weniger häufig als in Grossbritannien in der Zeit vor 1947 (Newton 1974).

Im Mittelland wurden grössere Eier gelegt als 1978–1981 und die innersten Handschwingen der brütenden ad. ♀ waren signifikant kürzer als in den

Alpen. Für diese Unterschiede fehlen schlüssige Erklärungen. Die Zunahme der Eigrösse könnte aber im Zusammenhang mit einer verstärkten Selektion unter den zur Brut schreitenden Sperbern als Folge der Bestandszunahme stehen.

Die Zahl der Schadstoffe ist so gross, dass trotz grosser Fortschritte in der Rückstandsanalytik eine Überwachung unserer Ökosysteme hinsichtlich möglicher Störungen in freilebenden Tierpopulationen nach wie vor notwendig ist.

Literatur

- BÜHLER, U. (1991): Populationsökologie des Sperbers *Accipiter nisus* L. in der Schweiz – Ein Predator in einer mit chemischen Rückständen belasteten Umwelt. Ornithol. Beob. 88: 341–452.
- COOKE, A. S. (1973): Shell thinning in avian eggs by environmental pollutants. Environm. Pollut. 4: 85–152.
- LINTHICUM, J. L., W. M. JARMAN, B. J. WALTON, R. W. RISEBROUGH, L. F. KIFF & J. S. MINTON (1994): Weight loss during artificial incubation vs. eggshell thinning of California Peregrine Falcon *Falco peregrinus* eggs brought from the wild. In: B.-U. MEYBURG & R. D. CHANCELLOR (eds): Raptor Conservation today. WWGBP/Pica press: 761–765.
- MÜLLER, J. (1994): Diffuse Quellen von PCB in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 229. BÜWAL, Bern.
- NEWTON, I. (1974): Changes attributed to pesticides in the nesting success of the Sparrowhawk in Britain. J. appl. Ecol. 11: 95–102. – (1986): The Sparrowhawk. Calton.
- NEWTON, I. & M. B. HAAS (1984): The return of the Sparrowhawk. Brit. Birds 77: 47–70.
- NEWTON, I. & M. MARQUISS (1984): Seasonal trend in the breeding performance of Sparrowhawks. J. Anim. Ecol. 53: 809–829.
- NEWTON, I., I. WYLLIE & A. ASHER (1993): Long-term trends in organochlorine and mercury residues in some predatory birds in Britain. Environm. Pollut. 79: 143–151.
- OPDAM, P., J. BURGERS & G. MÜSKENS (1987): Population trend, reproduction, and pesticides in Dutch Sparrowhawks following the ban on DDT. Ardea 75: 205–212.
- SCHLUMPF, M. & W. LICHTENSTEIGER (1996): Sinkt die Fertilität? Kind und Umwelt, Zürich.
- SPSS INC. (1988): SPSS/PC+ Advanced Statistics™ V2.0. Chicago.
- WYLLIE, I. & I. NEWTON (1991): Demography of an increasing population of Sparrowhawks. J. Anim. Ecol. 60: 749–766.

Manuskript eingegangen 9. Februar 1998

Bereinigte Fassung angenommen 4. Januar 2000