

Veränderungen in der Zusammensetzung der PCB- und DDT-Gemische in verschiedenen Lebensstadien der Wiesenweihe (*Circus pygargus*) und der Rohrweihe (*Circus aeruginosus*) in Nordrhein-Westfalen, Deutschland.

Eckhard Denker¹, Annegret Bütke², Doris Glimm³, Manfred Hölker⁴, Werner Prünfte⁵ und Theodor Trendelkamp[†]

¹Blumenstraße 5, D-30159 Hannover;

²Zentrumsabteilung für Chemische Analytik und Endokrinologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover, Bischofsholer Damm 15, D-30173 Hannover;

³Am Sötling 8, D-59556 Lippstadt;

⁴Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz im Kreis Soest e. V., Teichstraße 19, D-59505 Bad Sassendorf-Lohne;

⁵Westfeld 77, D-58730 Fröndenberg

Summary

Changes in the DDT and PCB burdens in life stages of Montagu's (*Circus pygargus*) and Marsh Harriers (*Circus aeruginosus*) from North-Rhine Westfalia, Germany

Egg and liver samples of Montagu's and Marsh Harriers from the 1990's were examined for their burden of DDT and PCB. The DDT burden in both species was distinctly higher in the eggs than in juveniles and adults, whereby the values for the adults were clearly higher than those for the juveniles. The composition of the DDT isomers of both species varies between the life stages. In the egg samples nearly only p,p'-DDE was found, while in the livers of the adults and more especially of the juveniles higher parts of p,p'-DDT were detected. In both species the PCB burden of the eggs and of the adults was clearly higher than that of the juveniles. The composition of the PCB mixtures of both species differed distinctly between each of the life stages. While the PCB mixtures in eggs and in the livers of adults are nearly identical, in the livers of juveniles a distinct shift to lower chlorinated congeners reaching higher parts of the PCB mixtures becomes evident. The changes in the composition of DDT and PCB mixtures in the different life stages reflect a new uptake of these xenobiotics with the food animals.

Key words: Montagu's Harrier, Marsh Harrier, eggs, Liver, xenobiotics

Zusammenfassung

Ei- und Leberproben von Wiesen- und Rohrweihen aus den 1990er Jahren wurden auf ihre Belastung mit DDT und PCB untersucht. Die DDT-Belastung der Eier überragt bei beiden Arten deutlich die Belastung der Jungvögel und der Adulten, wobei die Belastung der Adulten deutlich höher als die der Jungvögel ist. Wesentliche Unterschiede sind in der Zusammensetzung der DDT-Isomere in den Proben beider Arten ersichtlich. In den Eiprobe findet sich fast nur p,p'-DDE, während in den Lebern der Adulten und besonders der Jungvögel auch ein erhöhter Anteil von p,p'-DDT zu finden ist. Bei beiden Arten lag die PCB-Belastung der Eier und der Adulten deutlich höher als die der Jungvögel. In der Zusam-

mensetzung der PCB-Gemische beider Arten zeigen sich bezüglich der einzelnen Lebensstadien klare Unterschiede. Während die PCB-Gemische in den Eiern und in den Lebern der Adulten relativ identisch sind, tritt in den Lebern der Jungvögel eine deutliche Verschiebung zu niedrig chlorierten Kongeneren auf, die höhere prozentuale Anteile des Gemisches bilden. Aus den genannten Veränderungen der DDT- und PCB-Gemische lässt sich eine Aufnahme dieser Stoffe über die Nahrungstiere klar belegen.

Einleitung

Weihenarten gehören im allgemeinen zu den Greifvogelarten, die nur selten Gegenstand von Schadstoffuntersuchungen waren. Dies lässt sich einerseits durch ihre mittlere Stellung in der Nahrungskette erklären, die Untersuchungen konzentrierten sich eher auf hoch belastete Endglieder der Nahrungsketten wie Sperber oder Falken. Andererseits liegt ein Grund aber auch in den geringen Populationsgrößen und die damit verbundene geringe Verfügbarkeit von Untersuchungsmaterial. Obwohl auch Weihen in den letzten Jahrzehnten starke Bestandseinbrüche erlitten, wurden diese nur selten mit Schadstoffwerten in Zusammenhang gebracht (Newton 1979). Somit finden sich nur vereinzelt Hinweise auf die Schadstoffbelastung von Rohr- oder Wiesenweihen (Presst et al. 1970, Conrad 1976, 1981, Cooke et al. 1982, Disser et al. 1992, Clarke 1996).

Mit der Entwicklung und damit verbundenen Verbesserung von Untersuchungsmethoden sowie der Verfügbarkeit von Probenmaterial sind Weihen wie die Rohr- und Wiesenweihe aber durchaus interessante Untersuchungsziele gerade in Bezug auf die Aufnahme von Schadstoffen über die Nahrungstiere. Wie sich Schadstoffgemische in der Nahrungskette durch Metabolisations- und Anreicherungsprozesse verändern, zeigten verschiedene Untersuchungen (Denker 1996, Dietrich et al. 1997). Auch geographische Unterschiede wurden diesbezüglich aufgedeckt (Beyerbach et al. 1993, Becker & Sommer 1998, Becker et al. 2001).

Indizien für eine Veränderung von PCB-Gemischen in den verschiedenen Lebensstadien von Vogelarten ergaben sich bereits bei ersten

Untersuchungen an Weihenarten (Denker & Bütthe 1995). Durch die Verfügbarkeit weiterer Proben konnte dieser Aspekt nun an Rohr- und Wiesenweihen weiter verfolgt werden und führte zu den nun vorliegenden Ergebnissen.

Material und Methode

Insgesamt 19 Eier von Wiesenweihen und 11 Eier von Rohrweihen standen für die Schadstoffuntersuchungen zur Verfügung. Weiterhin wurden sechs Lebern juveniler und drei Lebern adulter Wiesenweihen, sowie vier Lebern juveniler und drei Lebern adulter Rohrweihen untersucht.

Bei den untersuchten Proben handelt es sich nur um Eier aus aufgegebenen Bruten oder um nicht befruchtete Eier, die bei der Kontrolle der Bruten ab Mitte Juni gesammelt wurden. Somit lagen diese Eier maximal 4–6 Wochen in den Nestern. Zwei der Eier aus 1995 stammen vom gleichen Weibchen. Keines der Eier war faul oder in irgendeiner Weise beschädigt, sodass keinerlei Verluste an Eimaterial feststellbar waren. Die Jungvögel und die adulten Tiere waren jeweils Totfunde. Alle Proben stammen aus unterschiedlichen Biotopen der Hellwegbörde.

Die Untersuchung der Proben erfolgte in der Zentrumsabteilung für Chemische Analytik der Tierärztlichen Hochschule Hannover. Die Lebern wurden aus den tot aufgefundenen Vögeln heraus präpariert und ebenso wie die Eihälte, in Probengläser überführt und tiefgefroren. Die Aufarbeitung der Proben erfolgte nach Heidmann (1986), die Vermessung und Auswertung der Ergebnisse mit dem etwas modifizierten Bestimmungsverfahren nach Bütthe & Denker (1995). Erst durch dieses Verfahren wurde eine Einzelkongenerbestimmung der PCB möglich. Dadurch lassen sich die Anteile der einzelnen PCB am Gesamtgemisch ermitteln, wodurch die für den PCB-Mustervergleich wichtige Darstellung in Mol-Prozent erst ermöglicht wird. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in ng/g (ppb) bezogen auf das Frischgewicht (Fr.).

Da die Ergebnisse statistisch gesehen eine schiefe Verteilung ergaben, wurde für die Auswertung der Wilcoxon-Test eingesetzt. Somit beziehen sich alle Angaben zur Statistik auf den Wilcoxon-Test.

Ergebnisse

1. Belastung der Proben mit den untersuchten Schadstoffen

Die Gesamtbelastung der verschiedenen Stadien der Wiesen- und Rohrweihen mit den untersuchten Schadstoffen DDT und PCB bewegt sich in einem vergleichbaren Rahmen (Tab. 1). In den Eiern der Wiesenweihen beträgt der Mittelwert für PCB 423,7 ppb, in den Lebern der Juvenilen 182,9 ppb und in den Lebern der Adulten 559,5 ppb. Für DDT sind die entsprechenden Werte bei den Wiesenweihen in Eiern 363,1 ppb, in den Lebern der Juvenilen 25,5 ppb und in den Lebern der Adulten 82,7 ppb (Tab. 1).

In den Eiern der Rohrweihen beträgt der Mittelwert für PCB 568,5 ppb, in den Lebern

der Juvenilen 111,57 ppb und in den Lebern der Adulten 408,4 ppb (Tab. 1). Für DDT sind die entsprechenden Werte bei den Rohrweihen in den Eiern 505,5 ppb, in den Lebern der Juvenilen 9,61 ppb und in den Lebern der Adulten 42,4 ppb (Tab. 1).

2. Zusammensetzung der DDT-Gemische

Die Zusammensetzung der DDT-Gemische variiert in den verschiedenen Probengruppen der beiden Weihenarten (Tab. 2). In den Eiern der Wiesenweihen erreicht der Ausgangsstoff, p,p'-DDT, nur 2,5 % der Summe DDT. Die Abbauprodukte p,p'-DDE (93,4 %) und p,p'-DDD (4,10 %) kommen dementsprechend auf zusammen 97,5 %. Eine Verschiebung dieser prozentualen Anteile hin zum Ausgangsstoff dieser Gruppe, p,p'-DDT, ist in den Lebern sowohl der juvenilen (8,2 %) als auch der adulten Wiesenweihen (9,6 %) festzustellen und ist für letztere statistisch auffällig ($p = 0,0791$).

Tab. 1. PCB- und DDT-Gesamtwerte (sum) in den Eiern sowie Lebern der juvenilen und adulten Wiesen- und Rohrweihen. Angaben in ng/g (ppb)/Frischgewicht.

Table 1. PCB- and DDT-Values (sum) in eggs and livers of juvenile and adult Montagu's- and Marsh Harriers in ng/g (ppb) fresh weight.

		Anzahl Proben	sum PCB	sum DDT
Wiesenweihe	Eiprobe	19	423,7 ± 333,5	363,1 ± 436,8
	Leber, juv.	6	182,9 ± 143,1	25,5 ± 30,8
	Leber, adult	3	559,5 ± 235,0	82,7 ± 74,8
Rohrweihe	Eiprobe	11	568,5 ± 370,33	505,5 ± 489,56
	Leber, juv.	4	111,57 ± 61,69	9,61 ± 0,87
	Leber, adult	3	408,4 ± 21,37	42,4 ± 31,44

Tab. 2. Anteile der DDT-Isomere (Mittelwert) an der Summe DDT in den verschiedenen Proben der Weihen.

Table 2. Parts of DDT-isomers (means) on the sum DDT in the different samples of harriers.

		p, p'-DDT (%)	p, p'-DDD (%)	p, p'-DDE (%)
Wiesenweihe	Eiprobe	2,50	4,10	93,40
	Leber, juv.	8,21	1,90	89,89
	Leber, adult	9,61	1,90	88,49
Rohrweihen	Eiprobe	0,13	1,05	98,82
	Leber, juv.	27,34	14,27	58,39
	Leber, adult	6,04	7,47	86,49

Bei den Proben der Rohrweihen ist diese Verschiebung im DDT-Gemisch vor allem in den Lebern der juvenilen Vögel sehr deutlich (Tab. 2) und für einige Isomere signifikant bzw. statistisch auffällig. Während in den Eiern der Rohrweihen das p,p'-DDE noch einen Anteil von 98,82 % ausmacht und p,p'-DDT (0,13 %) sowie p,p'-DDD (1,05 %) nur sehr geringe Anteile erreichen, beträgt der Anteil des p,p'-DDE in den Lebern der juvenilen Vögel nur 58,39 % (Ei/juv.: $p=0,043$). Dagegen steigen die Anteile des p,p'-DDT auf 27,34 % (Ei/juv.: $p=0,0155$) und des p,p'-DDD auf 14,27 %. Auch in den Lebern der adulten Rohrweihen ist ein Unterschied zum DDT-Gemisch der Eier deutlich erkennbar. Hier beträgt der Anteil des p,p'-DDE 86,49 % (Ei/Adult: $p=0,0934$), der des p,p'-DDT 6,04 % (Ei/Adult: $p=0,0377$) und der des p,p'-DDD 7,47 %.

3. Zusammensetzung der PCB-Gemische

Bei den Proben der Wiesenweihen lässt sich hinsichtlich des Chlorierungsgrades eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den Ei-proben und den Leberproben der adulten Vögel feststellen, nur in den Chlorierungsgraden 4 und 5 treten hier Unterschiede auf. Bei den Lebern der Jungtiere ergibt sich ein deutlich anderes PCB-Muster (Abb. 1), dass sich zwischen Ei und Jungvogel für 7 der 9 Chlorierungsgrade signifikant unterscheidet. Im Vergleich Jungvogel zu Adult treten noch für 4 der 9 Chlorierungsgrade signifikante Unterschiede auf.

Die niedrig chlorierten Di-, Tri- und Tetra-CB sowie die Hexa-CB erreichen im PCB-Gemisch der Lebern der Jungvögel eindeutig höhere Anteile als in den anderen beiden Stadien. Deutlich geringere Anteile finden sich dafür bei den hochchlorierten Kongeneren, vor allem der Anteil der Hepta-CB ist erheblich niedriger (Abb. 1). Diese Unterschiede sind in vielen Fällen signifikant (Ei/juv.: Di-CB: $p=0,0007$, Tri-CB: $p=0,0022$, Tetra-CB: $p=0,0011$, Hexa-CB: $p=0,0105$, Hepta-CB: $p=0,0008$, Octa-CB: $p=0,0008$, Deca-CB:

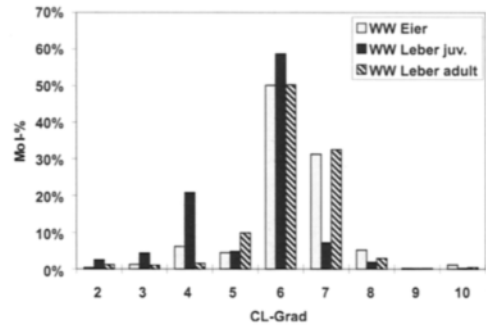


Abb. 1. Anteil der PCB-Kongeneren (Mittelwert) der verschiedenen Chlorierungsgrade am PCB-Gemisch von Eiern, Jungvögeln und Adulten der Wiesenweihe.

Fig. 1. Parts of the PCB congeners (means) of different degrees of chlorination on the PCB mixtures of eggs, juvenile and adult Montagu's Harriers.

$p=0,0035$; Adult/juv.: Tri-CB: $p=0,0369$, Tetra-CB: $p=0,0369$, Penta-CB: $p=0,0369$, Hepta-CB: $p=0,0369$).

Diese Verschiebung der Anteile lässt sich auch sehr gut an den einzelnen Kongeneren der entsprechenden Chlorierungsgrade ablesen. Von den festgestellten 34 Di-, Tri- und Tetra-CB erreichen in den Lebern der Jungvögel bei den Wiesenweihen 31 ihre höchsten prozentualen Anteile, eine Veränderung die sich also auf die gesamten Chlorierungsgrade bezieht. Dabei reicht der Anstieg in vielen Fällen von Werten unter 1 % auf Werte zwischen 2 und 4 %, z. B. bei PCB-74, -70 und -56/60. Der prozentuale Anstieg bei den Hexa-CB lässt sich ebenfalls auf eine Erhöhung der Anteile einer Vielzahl von Kongeneren zurückführen, die in relativ gering metabolisierten PCB-Gemischen vertreten sind. Als Folge sinken dagegen die prozentualen Anteile der sehr stabilen Kongeneren PCB-153 und -138. Die hohen Anteile der Hepta-CB, die in den Eiern und Lebern der adulten Wiesenweihen zu finden sind, gehen vor allem auf die schwer abbaubaren PCB-175/187, -180/191 und -170 zurück. Im PCB-Gemisch der Jungvögel sinkt deren prozentualer Anteil. Ähnliches, nur mit ohnehin geringeren Anteilen, gilt auch für die übrigen

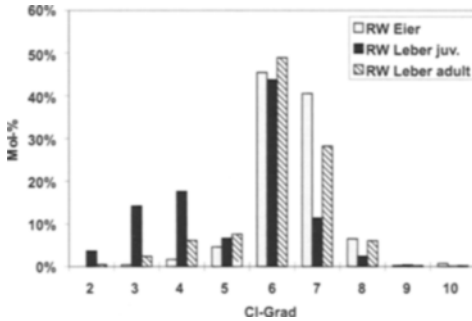


Abb. 2. Anteil der PCB-Kongeneren (Mittelwert) der verschiedenen Chlorierungsgrade am PCB-Gemisch von Eiern, Jungvögeln und Adulten der Rohrweihe.

Fig. 2. Parts of the PCB congeners (means) of different degrees of chlorination on the PCB mixtures of eggs, juvenile and adult Marsh Harriers.

hoch chlorierten Octa-, Nona- und das Deca-CB.

Ähnliche Ergebnisse wie bei den Wiesenweihen ergeben sich auch bei den Rohrweihen. Während die niedrig chlorierten Kongeneren (Di-, Tri- und Tetra-CB) nur sehr geringe Anteile am PCB-Gemisch in den Eiern und Lebern der Adulten erreichen, steigt deren Anteil im PCB-Gemisch der Juvenilen deutlich an (Abb. 2) und ist im Vergleich Ei/juv. signifikant (Di-CB: $p=0,0003$, Tri-CB: $p=0,0222$, Tetra-CB: $p=0,0050$). Die Penta- und Hexa-CB haben bei den Rohrweihen nahezu gleichbleibende Anteile im Gemisch der einzelnen Stadien, wogegen die Hepta- und Octa-CB im Gemisch der Juvenilen deutlich geringere Anteile erreichen als bei den Eiern oder Lebern der Adulten (Abb. 2), was wiederum im Vergleich Ei/juv. signifikant ist (Hepta-CB: $p=0,0050$, Octa-CB: $p=0,0050$). Betrachtet man die einzelnen Kongeneren, ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie bei den Wiesenweihen. Von den 34 Di-, Tri- und Tetra-CB erreichen 30 ihre höchsten prozentualen Anteile im PCB-Gemisch der Jungvögel. Die Anteile einzelner Hexa-CB steigen nicht ganz so deutlich an, so dass der Gesamtanteil dieses Chlorierungsgrades in den Lebern der Jungvögel unter

den Anteilen in Eiern und Adulten liegt. Bei den hoch chlorierten Kongeneren ergibt sich auch bei den Rohrweihen das gleiche Bild. Auch bei dieser Art sind es vor allem die Hepta-CB PCB-175/187, -180/191 und -170 die für die entsprechend hohen Anteile am PCB-Gemisch der Eier und Lebern der Adulten verantwortlich sind.

Bei beiden untersuchten Weihenarten zeigt sich also eine deutliche Verschiebung des PCB-Musters in den Lebern der Juvenilen zu niedrig chlorierten PCB-Kongeneren, verglichen mit den Eiprüben und den Lebern der Adulten. Ebenfalls für beide Arten gilt, dass die drei anteilmäßig dominierenden Kongeneren PCB-153, -180 und -138 sind.

Diskussion

Die Wiesen- und Rohrweihen der Hellwegbörde können insgesamt bezüglich der untersuchten Schadstoffe als gering belastet eingestuft werden.

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, gibt es auffällige Unterschiede in der Zusammensetzung sowohl der DDT- als auch der PCB-Gemische in den verschiedenen Proben und damit Stadien der Wiesen- und Rohrweihen. Bei beiden Arten enthalten die Lebern der Juvenilen ein im Vergleich weniger metabolisiertes Schadstoffgemisch als die Eier oder die Lebern der Adulten.

Bezüglich des DDT zeigt sich deutlich, dass mit der Aufnahme von Nahrung in den Brutgebieten auch immer noch die Aufnahme von p,p' -DDT verbunden ist und somit in den Lebern der Tiere, bei den Rohrweihen vor allem der Juvenilen, nachzuweisen ist.

Dem gegenüber findet sich in den Eiern ein hoch metabolisiertes DDT-Gemisch, dass bei den Wiesenweihen nur noch Anteile von 2,50 %, bei den Rohrweihen sogar nur noch 0,13 % des Ausgangsstoffes p,p' -DDT enthält. Diese Veränderung ist durch den enzymatischen Abbau im Vogelkörper bedingt. Mit Beginn der Brutzeit und der Mobilisierung von Körperreserven der Weibchen gelangt dann

dieses metabolisierte Gemisch in die Eier, wo der Anteil der Metaboliten die genannten jeweils hohen Prozentzahlen erreicht. Trotz des DDT-Verbotes von 1974 ist diese Stoffgruppe nach wie vor in den Nahrungsketten der deutschen Brutgebiete vertreten.

Die einzelnen PCB-Kongenerere unterscheiden sich in zahlreichen physikalischen, chemischen und toxikologischen Eigenschaften (DFG 1988). In biologischen Proben ist dabei sicher neben der Toxizität die Persistenz der Kongenerere von höchster Bedeutung. Abhängig von der Stellung und der Anzahl der Kongenerere am Biphenylring können die Kongenerere von biologischen Enzymsystemen unterschiedlich angegriffen und damit abgebaut werden. Allgemein gilt, dass ein Kongenerer umso schwieriger abzubauen ist, je weniger freie, d. h. nicht durch Chlor substituierte Stellen es hat. Gerade diese freien Stellen sind für die Möglichkeit des enzymatischen Abbaus also entscheidend, woraus folgt, dass hoch chlorierte Kongenerere schlechter abbaubar sind. Dadurch steigt im allgemeinen der Chlorierungsgrad, d. h. die durchschnittliche Anzahl von Chlortomen am Biphenylring, mit der höheren Stellung in der Nahrungskette an. Erst durch die Möglichkeit der kongenerspezifischen Bestimmung lassen sich nun feinste Unterschiede im PCB-Muster von Arten bzw. innerhalb unterschiedlicher Stadien von Arten darstellen.

Die im Vergleich mit Eiern und Lebern der Adulten festgestellte prozentuale Verschiebung der Anteile im PCB-Gemisch der Lebern der Jungvögel sowohl der Wiesen- als auch der Rohrweihen spiegelt eindeutig eine Aufnahme von niedrig chlorierten PCB mit der Nahrung wider.

Niedrig chlorierte PCB-Gemische sind typisch für Organismen unterer Trophieebenen, weil hier noch vergleichsweise wenig enzymatische Abbauprozesse stattgefunden haben. Mit der Aufnahme von Kleintieren durch den Beutegreifer gehen diese PCB-Gemische in die nächste Trophiestufe über, wo sie entsprechend feststellbar sind. Dies ist besonders gut bei Jungvögeln zu beobachten, da deren En-

zymsysteme offenbar noch nicht in der Lage sind diese körperfremden Stoffe effektiv abzubauen, wie Versuche mit Kohlmeisen (*Parus major*) und Feldsperlingen (*Passer montanus*) zeigten (May & Ellenberg 1985). Dieser Sachverhalt wurde in Bezug auf einzelne PCB-Kongenerere auch bei der Veränderung von PCB-Gemischen in der Nahrungskette zur Dreizehenmöwe (*Rissa tridactyla*) dargestellt (Denker 1996).

Bezüglich der drei dominierenden Kongenerere PCB-153, -180 und -138 liegt eine Arbeit von Disser et al. (1992) vor, in der Eier von Rohr- und Wiesenweihen u. a. auf 10 PCB-Kongenerere untersucht wurden. PCB-153, -180 und -138 erreichten auch hier die höchsten Werte. Diese persistenten Kongenerere erreichten auch in den PCB-Gemischen anderer Greifvögel, wie Seeadler (Nygard & Skaare 1998), Rotmilane (Weber et al. 1998) oder Sperber (Denker et al. 2001) die höchsten PCB-Werte. Auch bei anderen Vogelarten, wie der Dreizehenmöwe oder dem Kormoran (*Phalacrocorax carbo*) dominieren diese drei Kongenerere das PCB-Gemisch (Denker 1996, Mason et al. 1997).

Dank

Die Untersuchung der Proben der Jahre 1993–1998 wurde vom Land Nordrhein-Westfalen finanziert. Unser Dank gilt weiterhin Dr. M. Beyerbach für die statistischen Auswertungen.

Literatur

- Becker, P. H., Munoz Cifuentes, J., Behrends, B. & Schmieder, K. R. (2001): Contaminants in Bird Eggs in the Wadden Sea. Temporal and spatial trends 1991–2000. Wadden Sea Ecosystem No. 11, Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany.
- Becker, P. H. & Sommer, U. (1998): Die derzeitige Belastung der Flußseeschwalbe *Sterna hirundo* mit Umweltchemikalien in Mitteleuropa. *Vogelwelt* 119: 243–249.
- Beyerbach, M., Becker, P. H., Büthe, A., Denker, E., Heidmann, W. A. & Staats de Yanés, G. (1993):

- Variation von PCB-Gemischen in Eiern und Vögeln des Wattenmeeres. *J. Ornithol.* 134: 325–334.
- Büthe, A. & E. Denker (1995): Qualitative und Quantitative Determination of PCB Congeners by Using a HT-5 GC Column and an Efficient Quadrupole MS. *Chemosph.* Vol. 30, No.4: 753–771.
- Clarke, R. (1996): Montagu's Harrier. Chelmsford.
- Conrad, B. (1976): Die Belastung der freilebenden Vogelwelt der Bundesrepublik Deutschland mit Chlorierten Kohlenwasserstoffen und PCB und deren mögliche Auswirkungen. Dissertation, Universität Köln.
- Conrad, B. (1981): Zur Situation der Pestizidbelastung bei Greifvögeln und Eulen in der Bundesrepublik Deutschland. *Ökol. Vögel* 3: 161–167.
- Cooke, A.S., Bell, A.A. & Haas, M.B. (1982): Predatory Birds, Pesticides and Pollution. Aberystwyth.
- Denker, E. (1996): Untersuchungen zur PCB-Belastung verschiedener Trophiestufen in der Nordsee bei Helgoland unter besonderer Berücksichtigung der einzelnen PCB-Kongeneren. Dissertation, Universität Hannover.
- Denker, E. & Büthe, A. (1995): Organochlorine contamination and especially PCB contamination and pattern in Marsh Harriers (*Circus aeruginosus*) and Montagu's Harriers (*Circus pygargus*) from Northwest Germany. *Abstr. Intern. Conf. Hol. Birds of Prey, Badajoz, Spanien*, 108–109.
- Dietrich, S., Büthe, A., Denker, E. & Hötter, H. (1997): Organochlorines in Eggs and Food of Organisms of Avocets (*Recurvirostra avosetta*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 58: 219–226.
- Denker, E., Büthe, A., Knüwer, H., Langgemach, T., Lepom, P. & Rühling, I. (2001): Vergleich der Schadstoffbelastung in Eiern des Sperbers (*Accipiter nisus*) aus Brandenburg und Nordrhein-Westfalen, Deutschland. *J. Ornithol.* 142: 49–62.
- DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft (1988): Polychlorierte Biphenyle. Weinheim.
- Disser, J., Brunn, H., Nagel, A. & Prinzinger, R. (1992): Untersuchungen zur Belastung von Vögeln mit Chlorkohlenwasserstoffen unter besonderer Berücksichtigung der PCBs. *Ökol. Vögel* 14: 173–209.
- Heidmann, W.A. (1986): Isomer Specific Determination of Polychlorinated Biphenyls in Animal Tissues by Gas Chromatography Mass Spectrometry. *Chromatographia* 22: 363–369.
- Mason, C.F., Ekins, G. & Ratford, J.R. (1997): PCB Congeners, DDE, Dieldrin and Mercury in eggs from an expanding colony of Cormorants (*Phalacrocorax carbo*). *Chemosphere* 34: 1845–1849.
- May, R. & Ellenberg, H. (1985): Ein Freilandexperiment zur Ökologie der Schadstoffkontamination von Vögeln und Folgerungen für die Verwendung von Organismen als Biomonitoren. *Ökol. Vögel* 7: 97–112.
- Newton, I. (1979): Population ecology of raptors. Berkhamsted.
- Nygaard, T. & Skaare, J.U. (1998): Organochlorines and Mercury in Eggs of White-tailed Sea Eagles *Haliaeetus albicilla* in Norway 1974–1994. In: Chancellor, R.D. & Meyburg, B.U. (eds.): *Holarctic Birds of Prey, ADENEX-WWGBP*: 501–524.
- Presst, I., Jefferies, D.J. & Moore, N.W. (1970): Polychlorinated Biphenyls in Wild Birds in Britain and their Avian Toxicity. *Environ. Poll.* 1: 3–26.
- Weber, M., Fieber, W. & Stubbe, M. (1998): Persistente chlororganische Verbindungen, Quecksilber und radioaktive Nuklide in Eiern von Rotmilanen (*Milvus milvus*) aus Sachsen-Anhalt. *J. Ornithol.* 139: 141–147.

Angenommen: 06. Mai 2003