

Warndienst Wanderfalke

 Vogeleier spiegeln langlebige Umwelt-Gifte

ID U52-M341-N11

Der am Ende der Nahrungskette stehende Wanderfalke ist in besonderem Maße als Bioindikator geeignet. In seinen Eiern konzentrieren sich schwer abbaubare Gifte. Was den Greifvogel an den Rand des Aussterbens brachte, nutzen Wissenschaftler als Warndienst für Mensch und Umwelt.

MONITORING MIT VOGELEIERN

In Vogeleiern spiegelt sich die Belastung der Umwelt mit fettlöslichen Schadstoffen, soweit diese Stoffe sich einem Abbau im Organismus widersetzen und deshalb als langlebig oder persistent bekannt sind. Ein Beispiel für solche Stoffe sind Organohalogen-Verbindungen. Im Fachjargon werden diese Stoffe kurz als POPs (engl.: persistent organic pollutants) bzw. ‚Dauergifte‘ bezeichnet. Zwölf chlorhaltige POPs, das sogenannte ‚dreckige Dutzend‘ werden seit 2004 international geächtet (Stockholmer Konvention, EU 2010, SCS 2012), nachdem sie in Deutschland schon ab den 1970er Jahren verboten worden waren. Zur Überwachung der Verbote im Bereich der terrestrischen Ökologie ist das Vogelei-Monitoring die Methode der Wahl. Mehr als Meisen, Dohlen, Eulen und Fischadler ist der am Ende der Nahrungskette stehende Wanderfalke mit POPs belastet. Daraus ergibt sich die besondere Indikatorfunktion dieses Vogels (Schmidt

& v.d. Trenck, 2006; v.d. Trenck et al., 2006; 2007). Seit 1999 finanziert die LUBW die Untersuchung von abgestorbenen ‚Resteiern‘, die beim Beringen junger Wanderfalken durch ehrenamtlich tätige Vogelschützer des NABU anfallen, auf organische Schadstoffe. Aus dieser Zusammenarbeit ist das einzige, im terrestrischen Ökosystem durchgeführte POP-Dauermonitoring des Landes Baden-Württemberg entstanden.

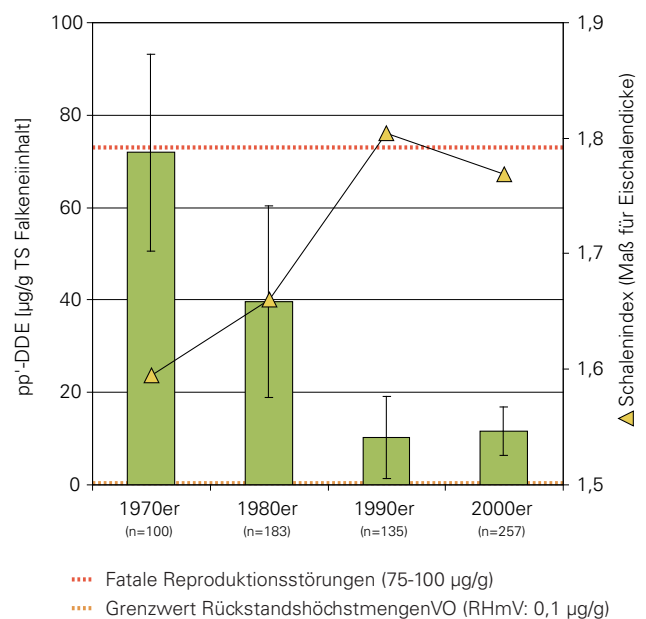


Abbildung 1: Dekadenmittel 1971 bis 2009 von DDE in Wanderfalkeneiern aus Baden-Württemberg



BELASTUNG STAGNIERT NACH RÜCKGANG IN DEN 1980ER JAHREN

Am Beispiel des DDE, eines Pestizid-Metaboliten, ist die Abnahme der Belastung in den 1980er Jahren zu sehen (Abb. 1). Parallel mit diesem Abklingen der Belastung gingen die Stoffwechsel-Störungen bei den Vögeln zurück. DDE führt z.B. über eine Störung des Kalzium-Stoffwechsels zur Ausdünnung der Eischalen und ausbleibendem Bruterfolg. Der Wanderfalke war in den meisten Gegenden Deutschlands ausgestorben. Auch in Baden-Württemberg waren nur noch einzelne Brutpaare zu verzeichnen. Inzwischen hat sich seine Population in Baden-Württemberg wieder erholt. Trotzdem überschreitet die DDE-Belastung der Eier mit $10 \mu\text{g/g}$ Trockensubstanz noch immer 100fach den Grenzwert für Hühnereier (Abb. 1 und 2). Andere Chlorpestizide sind aufgrund der Verbote in den 1970er Jahren heute wesentlich weniger verbreitet und erreichen in den Wanderfalkeneiern nur noch weniger als ein Prozent des DDE-Gehaltes (Schilling et al., 2007).

Die teilweise auch heute noch als Flammschutzmittel eingesetzten Polybromierten Diphenylether (PBDE) werden seit 2003 in Wanderfalkeneiern gemessen. Nach anfänglichem Anstieg scheinen die Werte ab 2005 zurück zu gehen. Derzeit liegt der Mittelwert bei $1,0 \mu\text{g/g}$ Fett. Zum Vergleich: aus China werden heute $0,12 \mu\text{g/g}$ Fett in der Milch von Frauen unter dem Einfluss von Elektromüll-Recycling berichtet. Dies entspricht einer geschätzten Aufnahme von bis zu $2,2 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ für einen 6 Monate alten gestillten Säugling. Dieser Maximalwert übersteigt die Toxizitätsgrenze ($\text{RfD} = 2,0 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$) für Penta-BDE (Leung et al., 2010).

Ein weiteres Flammschutzmittel, das Hexabromcyclododecan (HBCD) tritt hauptsächlich an Belastungsschwerpunkten auf und kommt im landesweiten Mittel auf $0,2 \mu\text{g/g}$ Fett in Wanderfalkeneiern.



Abbildung 2: Wanderfalke im Aufwind. Foto: Reinhard Lodzig

PCB UND QUECKSILBER

Trotz des generellen Abklingens der erschreckend großen Belastung der Eier in den sechziger und siebziger Jahren sind die Ergebnisse des Monitorings auch heute noch besorgniserregend. Die untersuchten Wanderfalken-Eier enthalten weiterhin hochgiftige PCB und ‚Dioxine‘ (polychlorierte Biphenyle und Dibenzodioxine und -furane, PCDD/F) in einer Menge, die den Tieren direkt schaden kann (Abb. 3). Die an Küken von Fisch-

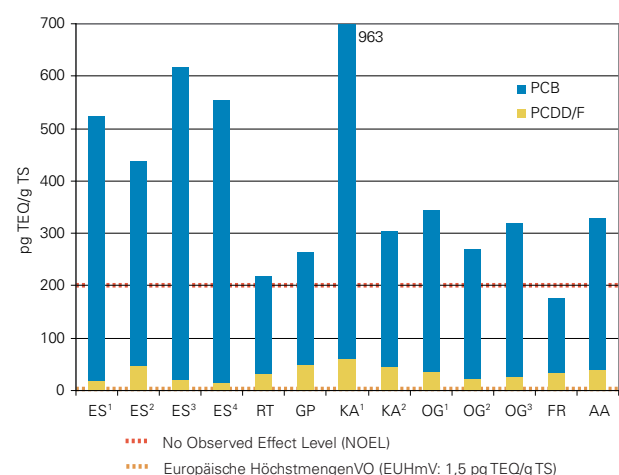


Abbildung 3: Toxische Dioxin-Äquivalente [pg PCDD/F+PCB TEQ/g TS] in 13 Wanderfalkeneiern aus 7 Kreisen (Messung 2009)

adlern ermittelte Grenze, bei deren Überschreitung die Vögel direkt unter den Folgen der Gifte leiden (Elliott et al., 2001) und die in etwa der der Wanderfalkenbrut entspricht, wird erreicht und bei den am höchsten belasteten Eiern sogar deutlich überschritten. Auch an Hühnereiern wurde eine solche ‚Wirkschwelle‘ ermittelt: Die Kontamination von Falkeneiern mit dem giftigen Cocktail liegt in dem Bereich, in dem bei Zuchthennen der Bruterfolg dramatisch zurückgeht (Malisch & Baum, 2004; v.d. Trenck et al., 2006; 2007).

Bei den PCB ist zwischen dioxinartigen und nicht-dioxinartigen Wirkungen zu unterscheiden. Einige Vertreter dieser Gruppe von Industriechemikalien interagieren im Körper mit der gleichen Bindungsstelle wie Dioxine und wirken entsprechend über eine metabolische Störung des Hormonhaushalts. Sie sind lebertoxisch, immuntoxisch, embryotoxisch und fördern die Tumorbildung. Andere Vertreter sind bekannt für ihre Affinität zum Östrogen-Rezeptor und greifen direkt, entweder stimulierend oder hemmend, in das komplexe Wirkungsgefüge des weiblichen Sexualhormons ein. Dieses Verhalten scheint auch auf die PBDE zuzutreffen (v.d. Trenck et al., 2007).

In Teilproben chemisch gemessene Dioxin-Kongenere (einschl. dioxinartiger PCB) korrelierten gut mit der Wirkstärke der Stoffsumme, die in einem Zelltest über die Bindung an biologisches Material direkt bestimmt wurde. Daraus kann auf die Abwesenheit anderer dioxinartig wirkender Stoffe, wie z.B. Hydroxybiphenyle, bromierter Biphenyle oder bromierter Dioxine, in den Proben geschlossen werden, die im Zelltest ansprechen würden aber chemisch nicht gemessen wurden. Der Biotest zeigte jedoch nur etwa die Hälfte der dioxinartigen Wirkstärke an, welche nach den chemischen Analysen zu erwarten gewesen wäre. Dies lässt auf eine nur biologisch detektierbare Hemmwirkung durch andere Bestandteile des Schadstoffcocktails schließen (v.d. Trenck et al., 2008).

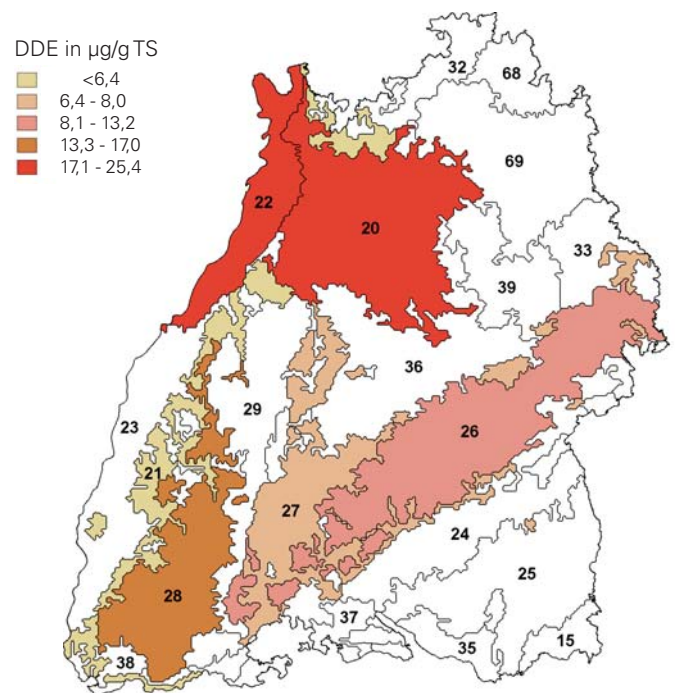


Abbildung 4: Mittlere DDE-Gehalte in Baden-Württemberg nach einer naturräumlichen Gliederung (2001-2003)

In den Eiern von 2001 bis 2009 war kein signifikant reduzierender Einfluss auf die Schalendicke durch die beiden Hauptkontaminanten PCB und DDE mehr nachzuweisen, wohl aber durch Methylquecksilber (MeHg), das dadurch (trotz relativ niedriger Konzentrationen um $0,4 \mu\text{g/g TS}$) neuerdings die Negativ-Liste unter den Umweltschadstoffen anführt (Schwarz, 2010; Kuballa et al., 2011). MeHg, das neben seinen neurotoxischen und embryotoxischen Wirkungen auch in die hormonelle Regulation eingreift, führte bei Ibissen in kontrollierten Fütterungsversuchen zu homosexuellem Paarungsverhalten und vermindertem Bruterfolg mit einer Wirkschwelle von $0,12 \mu\text{g/g}$ im Ei (Frederick & Jayasena, 2010; Albers et al., 2007). Dieser Wert wird von allen Wanderfalkeneiern überschritten, von einzelnen bis zu 25fach.

BALLUNGSGEBIETE UND HÖHENLAGEN STÄRKER BELASTET

Wanderfalkeneier aus dem Nordwesten des Landes und aus den Mittelgebirgen sind stärker mit DDE bela-

stet, die einen aufgrund der Besiedlungsdichte, die anderen aufgrund der Höhenlage (Abb. 4). Denn persistente Stoffe verteilen sich per Ferntransport global und reichern sich durch Ausfrieren an den Polen und in Gebirgsregionen an. Für DDE trifft das schon in den Mittelgebirgslagen Baden-Württembergs zu. Für PCB dagegen überwiegt der Eintrag aus den Ballungsgebieten und Industriestandorten des Landes den atmosphärischen Ferntransport (v.d. Trenck et al., 2006; Wegner & Fürst, 2008; Schwarz & v.d. Trenck, 2011).

WEITERE STOFFE

In den Wanderfalkeneiern der Jahre 2009-11 wurde aufgrund von stoffspezifisch begründetem Verdacht eine Reihe weiterer Schadstoffe untersucht. Der Prüfumfang betrug damit über 130 Einzelstoffe aus 15 Stoffgruppen und fünf Biotests (v.d. Trenck et al., 2010). Die Auswahl der erfassten Stoffe orientiert sich unter anderem an den Grundlagenkenntnissen der europäischen Chemikaliengesetzgebung REACH zu Eigenschaften, Produktionsmengen und Verwendung sog. Altstoffe. Ziel ist die Erweiterung der Kenntnisse zu ihrer Verbreitung und ihren toxischen Wirkungen in Lebewesen sowie das Erkennen von kritischen Schadstoffen und von Trends. Während einige hochverdächtige Stoffe ausgeschlossen werden konnten, traten alle Stoffgruppen von der Liste der Stockholmer Konvention auch in Wanderfalkeneiern auf, nämlich

- Organochlorpestizide,
- PCB und PCDD/F,
- Polybromierte Flammschutzmittel wie PBDE und Tetrabrombisphenol A (TBBA) sowie HBCD.
- Als einzige 2009 neu auftretende Parametergruppe wurden Perfluorverbindungen mit Perfluorooctansulfonat (PFOS) als wichtigstem Vertreter gefunden, das seit dem gleichen Jahr auch unter das POP-Verbot fällt (SCS, 2012).
- Quecksilber (durchschnittlich 82,5% davon als MeHg; Kuballa et al, 2011). Für Quecksilber, das nicht den

Restriktionen der Stockholmer Konvention unterliegt, wird eine eigenständige Verbots-Konvention vorbereitet (Lammel, 2011). Quecksilber-Verbindungen und eine Reihe von POPs gehören zu den 201 als gut untersucht geltenden Nervengiften. Über 80 000 werden noch vermutet.

Nicht gefunden wurden

- kurzkettige Chlorparaffine,
- Organozinnverbindungen,
- Phthalsäureester außer Spuren (< 1 µg/g TS) von Diethylhexylphthalat (DEHP),
- Moschusxytol und Bisphenol A sowie
- (<2 - <10 ng/g TS) noch im Einsatz befindliche nicht-chlorierte Herbizide (Aclonifen, Pendimethalin), Fungizide (Lufenuron, Quinoxifen), Insektizide (Bifenthrin, Esfenvalerat, Lufenuron, Metaflumizon) und Rodentizide (Brodifacoum, Difenacoum).

FAZIT UND PERSPEKTIVEN

Für die von der Stockholmer Konvention vertraglich geforderte Überwachung der POPs sind Wanderfalkeneier gute Bioindikatoren.

Die Ergebnisse belegen die Notwendigkeit, die aktuelle Belastungssituation weiter zu beobachten, obwohl sich der Wanderfalkenbestand seit 1965 deutlich erholt hat.

Eine Korrelation von Belastungsunterschieden bei Eiern und dem jeweiligen Bruterfolg der Elterntiere sollte der Ermittlung von ursächlichen Zusammenhängen dienen und kann schließlich zur Ausschaltung lokaler Emittenten führen.

Die Wirkungsforschung ist zu intensivieren, um mehr Sicherheit bei der Bewertung und Priorisierung einzelner Schadstoffe zu gewinnen. Dabei helfen integrierend messende Zelltests Kosten einzusparen und bisher nicht vermutete Stoffe zu detektieren. Ihre Ergebnisse müssen aber durch instrumentelle chemische Analysen reproduziert werden (wirkungsgel leitete Analytik), da Min-

derungsmaßnahmen nur gezielt auf chemisch definierte Einzelstoffe anwendbar sind.

Die Vermeidung der Umweltbelastung durch langlebige organische Substanzen muss weiterhin intensiv vorangetrieben werden.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Falkeneimonitoring

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56143/>

Albers PH, MT Koterba, R Rossmann, WA Link, JB French, RS Bennett, WC Bauer (2007): Effects of methyl mercury on reproduction in American kestrels. *Environ. Toxicol. Chem.* 26(9), 1856-1866

Elliott JE, LK Wilson, CJ Henny, SF Trudeau, FA Leighton, SW Kennedy, KM Cheng (2001): Assessment of biological effects of chlorinated hydrocarbons in osprey chicks. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 866-879

EU (2006): Verordnung (EG) Nr. 199/2006 vom 3. 2. 2006 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 466/2001 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln hinsichtlich Dioxinen und dioxinähnlichen PCB, wirksam seit 4. 11. 2006, Amtsblatt der Europäischen Union L 32/34 vom 4. 2. 2006

EU (2010): Verordnung (EG) Nr. 850/2004 über persistente organische Schadstoffe (Stockholm Convention). Letzte Änderung: ABl. Nr. L 223 vom 25. 8. 2010

Frederick P & N Jayasena (2010): Altered pairing behaviour and reproductive success in white ibises exposed to environmentally relevant concentrations of methylmercury. *Proceedings of the Royal Society B.* doi:10.1098/rspb.2010.2189

Kuballa T, S Schwarz, KT vd Trenck (2011): Shell-thickness and -index of Peregrine falcon eggs from

Baden-Württemberg collected from 2000 to 2009 and correlation with their DDE- and mercury-content. unveröffentlicht

Lammel G (2011): Zwischenbilanz der POP-Konvention. *GDCh-Nachrichten* 59(10), 999

Leung AOW, JKY Chan, GH Xing, Y Xu, SC Wu, CKC Wong, CKM Leung, MH Wong (2010): Body burdens of PBDE in childbearing-aged women at an intensive electronic-waste recycling site in China. *Environ. Sc. & Pollut. Res.* 17(7), 1300-1313

Malisch R & F Baum (2004): PCDD/Fs, dioxinlike PCBs and marker PCBs in eggs of Peregrine falcons from Germany. *Organohalogen Compounds* 66, 1731-1736

RHmV (2008): Verordnung über Höchstmengen an Rückständen von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Düngemitteln und sonstigen Mitteln in oder auf Lebensmitteln und Tabakerzeugnissen (Rückstandshöchstmengenverordnung – RHmV). Neufassung vom 21.10.1999, BGBl. I, S. 2082; zuletzt geändert durch V vom 24. 6. 2008, BGBl. I, S. 2755

Schilling F, D Schmidt, KT vd Trenck (2007): Wanderfalken – unverzichtbare Warner vor Umweltgiften. *Der Falke – Journal für Vogelbeobachter* 54(10), 380-384

Schmidt D & KT vd Trenck (2006): Belastung von Wanderfalken mit organischen Schadstoffen. S. 8-10 in: G Kersting (ed.), *Jahresbericht 2006 der AGW im NABU*

Schwarz S (2010): Studien zur Schalendicke von Eiern des Wanderfalken *Falco peregrinus* in Baden-Württemberg mit Bezug zur Belastung durch Organohalogenverbindungen und Quecksilber. Bachelorarbeit der Fakultät für Biologie der Eberhard Karls Universität Tübingen, vorgelegt Juli 2010

Schwarz S & KT vd Trenck (2011): Höhenkorrelation

positiv für DDE, negativ für PCB. unveröffentlicht

SCS (2012): What are POPs? Stockholm Convention Secretariat: <http://chm.pops.int/Convention/The%20POPs/tabid/673/language/en-US/Default.aspx>

vd Trenck KT, F Baum, H Hartwig, R Malisch, F Schilling, H-P Straub, R-D Zimmermann (2006): Organochlorverbindungen in den Eiern von Wanderfalken und anderen wild lebenden Vogelarten in Baden-Württemberg – Gegenwärtige Belastungssituation und zeitlicher Trend. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 18(4), 228-241

vd Trenck KT, F Schilling, D Schmidt (2007): Bioindikation mit Wanderfalken – Neue Ergebnisse aus Baden-Württemberg. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19(2), 75-82

vd Trenck KT, F Schilling, D Schmidt, PA Behnisch, A Brouwer, A Kotz, R Malisch, K Wahl (2008): Organohalogen compounds in the eggs of peregrine falcons and other wild bird species in Baden-Württemberg – Present state and time trend. Oral contribution presented at the DIOXIN 2008 – 28th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), Birmingham, England, UK, 17-22 August 2008

vd Trenck KT, PA Behnisch, N Bitomsky, A Brouwer, A Kotz, R Malisch, F Neugebauer, O Pöpke, D Schmidt (2010): 40 years of POPs monitoring with Peregrine falcon eggs in Baden-Württemberg/Germany: Recent results. Oral contribution presented at the DIOXIN 2010 – 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), San Antonio, TX, USA, 14 September 2010

Wegner P & P Fürst (2008): Long-term investigation of the degree of exposure of German Peregrine falcons (*Falco peregrinus*) to damaging chemicals from the environment and recent results. In J Sielicki & T Mizera (eds): Peregrine Falcon Populations – status and perspectives in the 21st Century. Turul, Warsaw

IMPRESSUM

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	Dr. Theo v. d. Trenck, LUBW, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel, 76231 Karlsruhe, theo.v.d.trenck@lubw.bwl.de
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U52-M341-N11
STAND	März 2012 (Abbildung 4 Legende verbessert, September 2012)

Nachdruck und Verteilung für kommerzielle Zwecke – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.