

Aus der Schweizerischen Vogelwarte Sempach
und dem Zoologischen Institut der Universität Basel

Anfangsorientierung von Brieftauben im Einflussbereich eines Kurzwellensenders

Andreas Boldt und Bruno Bruderer

Initial orientation of homing pigeons under the influence of a short-wave radio transmitter. A short-wave radio transmitter near the release site showed no general effect on the initial orientation of homing pigeons. Observed differences between samples could be explained by several other factors. The possible causes for the lack of a general effect are discussed. However, the results of these test series provided some indications that the pigeons might be able to perceive the electromagnetic fields radiated by the radio transmitter.

Key words: homing pigeon, orientation, electromagnetic field, influence of radio waves.

Andreas Boldt, Oberdorfstrasse 2, CH-5223 Riniken; Dr. Bruno Bruderer, Schweizerische Vogelwarte, CH-6204 Sempach

Die Wirkung elektromagnetischer Wellen auf Lebewesen, insbesondere auf Menschen, wurde in letzter Zeit vermehrt und zum Teil kontrovers diskutiert. Einzelne Autoren betonen in journalistisch-populärer Aufmachung die Gefahren von «Elektromog» und «Elektrostress» im täglichen Leben (z.B. Rose 1990), andere, vor allem technisch ausgerichtete, bemühen sich um Sachlichkeit und sind bezüglich Risiken eher zurückhaltend (z.B. Newi et al. 1983, Leitgeb 1990), weitere befassen sich vor allem vom medizinischen Standpunkt aus mit einem breiten Spektrum von möglichen Einflüssen auf den Menschen und diskutieren Sicherheitskriterien (z.B. Becker & Marino 1982, Franceschetti et al. 1989). Die erlaubten Grenzwerte sind erstaunlicherweise in den Staaten Osteuropas um Faktoren von 20 bis 100 tiefer als im Westen (Szmigielski & Obara 1989). Meist werden Risikogrenzen auf die pro Kilogramm Körpergewicht absorbierte Strahlungsleistung (die Spezifische Absorptionsrate SAR) bezogen, was dazu führen kann, dass nicht-thermische Effekte unberücksichtigt bleiben (Becker & Marino 1982, Franceschetti et al. 1989). Die häufige Vernachlässigung nicht-thermischer Einflüsse hat auch damit zu tun, dass Angaben dazu

oft widersprüchlich sind, auf individuellen Empfindungen beruhen und häufig weder bezüglich Ursache noch hinsichtlich Wirkung eindeutig interpretierbar sind. Vergleichbare Untersuchungen werden dadurch erschwert, dass viele Effekte auf Resonanzen beruhen dürften und deshalb mit den verwendeten Wellenlängen und mit der Grösse der beeinflussten Objekte variieren. Viele postulierte Effekte sind auch eher als unspezifischer Stress vorstellbar und weniger als Auslöser bestimmter Reaktionen. Immerhin zeigte Cleary (1989) in einem Übersichtsartikel eine Vielfalt von eindeutigen Änderungen in der Funktion lebender Zellen durch elektromagnetische Bestrahlung mit Radiofrequenzen.

Die Tatsache, dass Vögel über ein breiteres Spektrum an Sinneswahrnehmungen verfügen als Menschen (Kreithen 1979, Beason & Semm 1991) und sich unter anderem am statischen Magnetfeld der Erde orientieren können (Wiltschko & Wiltschko 1988, 1991), hat zu Spekulationen über die Störung dieses Orientierungssystems durch elektromagnetische Wechselfelder geführt. Beobachtungen über kurzfristige Richtungsabweichungen ziehender Vögel im Bereich von Radarsendern (Mikrowellen im Bereich von 300 MHz–30 GHz) sind

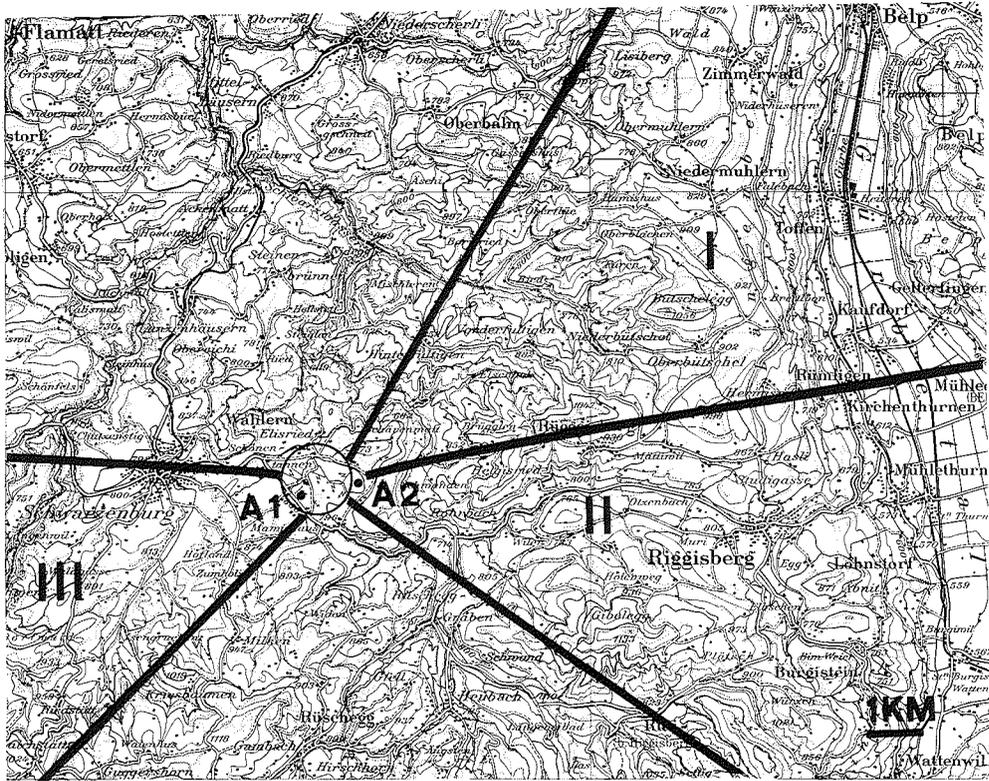


Abb. 1. Umgebung des Schweizerischen Kurzwellensenders Schwarzenburg. A1, A2 = Auflassorte; I-III = Sendesektoren (Kartengrundlage im Massstab 1:100000 reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 6. 1. 1994). – Area of the Swiss short-wave radio transmitter Schwarzenburg. A1, A2 = release sites; I-III = transmission sectors.

verschiedentlich publiziert worden (Drost 1949, Knorr 1954, Hild 1971); andererseits erhielten Busnel et al. (1956) beim Versuch, die Beobachtungen von Knorr (1954) zu reproduzieren, keine Hinweise auf eine Beeinflussung. Auch Eastwood & Rider (1964) sowie Eastwood (1967) fanden im Rahmen sorgfältiger Untersuchungen mit sehr starken Radaranlagen keine Hinweise auf Richtungsänderungen ziehender Vögel. Wagner (1972) schloss aus einer Versuchsreihe mit Brieftauben auf eine mögliche geringfügige Beeinflussung durch einen Zielfolgeradar. Im Nahbereich von ausgedehnten, niederfrequenten Wechselfeldern (45–80 Hz) wurden unbedeutende Richtungsabweichungen ziehender Vögel (Larkin &

Sutherland 1977) bzw. verminderte Richtungskonzentrationen von Möwen-Küken in Registrierkäfigen (Southern 1975) festgestellt. Bezüglich Radiowellen (30 kHz–300 MHz) sind keine entsprechenden Ergebnisse publiziert.

Eine Umweltverträglichkeitsstudie zu einer grossen Relais-Station für die Radiosender Voice of America/Radio Free Europe/Radio Liberty im Süden Israels machte diese Wissenslücke im Kurzwellenbereich (3–30 MHz) drastisch bewusst. Umweltschützer befürchteten katastrophale Auswirkungen auf die Orientierung der Zugvögel in diesem Konzentrationsgebiet des Vogelzuges am Ostrand des Mittelmeeres. Obwohl die Schweizerische Vogelwar-

te im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung nur die Wahrscheinlichkeit der Kollision von Vögeln mit den Drähten der Antenne zu prüfen hatte (Bruderer 1992, Bruderer im Druck) und die Frage nach vermuteten Effekten der elektromagnetischen Wellen in den Händen des Soreq Nuclear Research Centers in Israel lag, entschloss sich die Vogelwarte, zu prüfen, ob im Bereich des Schweizerischen Kurzwellessenders Schwarzenburg irgendwelche Störungen im Orientierungsverhalten von Brieftauben feststellbar wären.

1. Methoden und Versuchstiere

Der Schweizerische Kurzwellessender Schwarzenburg befindet sich in einer beinahe waldfreien und kaum überbauten Ebene etwa 2 km östlich von Schwarzenburg BE und 18 km südlich von Bern. Von den bis zu 50 m hohen Antennen werden rund um die Uhr Sendungen von Schweizer Radio International auf verschiedenen Frequenzen (7,4–21,8 MHz) mit einer Sendeleistung von 150 kW pro Antenne abgestrahlt. Dabei wird jeweils nach einigen Stunden die Senderichtung geändert, so dass Raumsektoren bezeichnet werden konnten, die nur zu gewissen Zeiten im Abstrahlbereich des Senders lagen. Die zwei Auflassorte wurden so gewählt, dass sie innerhalb eines dieser Raumsektoren lagen, jedoch nicht näher als 300 m bei den Sendeanlagen (Abb. 1). Dieser Abstand reduziert sowohl die Wirkung der Antenne als physisches Hindernis für die Tauben als auch die Rückstrahlung von elektromagnetischen Wellen. Die Energiedichte ist auf der Rückseite einer Antenne etwa 100 mal geringer als in Senderichtung (Antennengewinn = 20 dB).

Die Tauben waren in vier Schlägen in unterschiedlichen Distanzen und Richtungen zum Sender beheimatet (Tab. 1). Beim Schlag im Sand/Schönbühl handelt es sich um die Armee-Brieftaubenstation, die nicht in einem Sendesektor lag und als vom Sender unabhängiger Kontrollschlag be-

Tab. 1. Heimschläge der eingesetzten Tauben. – *Home lofts of the pigeons.*

Ort	Sektor	Distanz zum Auflassort (km)	Heimrichtung H (°)	Anzahl Auflassungen
Bözberg AG	I	95,7	48	8
Gollion VD	III	69,2	250	21
Wyssachen BE	I	44,6	110	1
Sand BE		23,7	2	12

nützt wurde. Es wurden Tauben aller Altersklassen und beider Geschlechter verwendet. Einzige Grundvoraussetzung für den erstmaligen Einsatz einer Taube war ihre Unkenntnis des Auflassortes in Schwarzenburg. Durch ein Trainingsprogramm vor Beginn der Versuchsauffassungen wurde versucht, alle Individuen auf ein einigermaßen einheitliches «Erfahrungsniveau» zu bringen und sie an den Einzelflug zu gewöhnen. Jede Taube wurde individuell entsprechend ihrem Erfahrungsstand trainiert. Je weniger Erfahrung die Taube hatte, desto länger und intensiver war die Trainingsphase. Da die meisten Tauben im Winter kaum zum Freiflug kamen, erhielten auch erfahrene Tauben vor den Frühlingsauffassungen ein entsprechendes Training. Im Anschluss an die Trainingsphase wurden die Tauben zufällig in verschiedene Gruppen eingeteilt. Die Gruppen wurden in unterschiedlichen Rhythmen eingesetzt und als Taubentypen folgendermassen definiert:

TKTK: Abwechselnd Test- und Kontrollflüge, beginnend als Test

KTKT: Abwechselnd Test- und Kontrollflüge, beginnend als Kontrolle

TTKK: Testflüge, nach 4 Wochen Wechsel zu Kontrollflügen

KKTT: Kontrollflüge, nach 4 Wochen Wechsel zu Testflügen

Als Testflug wurde ein Flug unter Sendestrahlung bezeichnet; ein Kontrollflug erfolgte ohne Abstrahlung in Richtung des

Tab.2. Probleme bei der Datenaufnahme. – *Problems in data registration.*

	Total	Herbst 92	Frühling 93	Test	Kontrolle
Gestartete Tauben	236	105	131	122	114
Registrierte Daten	188	81	107	98	90
– Normal verschwunden	144	57	87	75	69
– Taube angetroffen	35	20	15	17	18
– Hinter Hindernis	7	3	4	4	3
– Greifvogelattacke	2	1	1	2	0
Daten nicht registriert	48	24	24	24	24
– Taube angetroffen	13	5	8	8	5
– Abgesehen	32	18	14	14	18
– Verloren	3	1	2	2	1

Heimschlages. Die Auflassungen wurden in zwei Serien vom 5. 10. 1992 bis 30. 11. 1992 und vom 31. 3. 1993 bis 29. 4. 1993 durchgeführt. Die Tauben wurden je nach ihrer Heimdistanz ein- oder zweimal pro Woche eingesetzt, mit mindestens einem Tag Pause zwischen zwei Auflassungen. Während des Transports und vor der Auflassung waren die Tauben dem Tageslicht ausgesetzt. Die Tiere wurden einzeln von Hand freigelassen und bis zu ihrem Verschwinden am Horizont mit einem Feldstecher beobachtet. Um eine gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden, wurde nach dem Verschwinden eine Pause von 4min bis zum Start der nächsten Taube eingelegt. Sofern ein Individuum ohne Zwischenfall am Horizont verschwand, wurden die folgenden Parameter nach der üblichen Beobachtungsmethode mit Feldstecher, Kompass und Stoppuhr registriert (Schmidt-Koenig 1980):

Verschwinderichtung: Himmelsrichtung, in der die Taube zuletzt gesehen wurde (Genauigkeit 5°)

Verschwindezeit: Zeitspanne vom Start bis zum Verschwinden am Horizont (Genauigkeit 5sec)

Richtung nach Minuten: Himmelsrichtung, in der die Taube 1/2/3/4min nach dem Start gesehen wird (Genauigkeit 5°)

Neben verschiedenen meteorologischen und geographischen Parametern wurde wenn möglich auch die Ankunftszeit im

Heimschlag gemessen, um neben dem Heimkehrerfolg auch die Heimkehrgeschwindigkeit zu ermitteln. Unvorhergesehene Ereignisse und Probleme bei der Beobachtung liessen das Datenmaterial stark schrumpfen (Tab.2). Derartige Verluste werden in der Literatur zwar kaum erwähnt, liegen aber im üblichen Rahmen, wie erfahrene Züchter und Experimentatoren bestätigen (H.P.Lipp mdl.; R.Schwilch mdl.). Für die weitere Auswertung wurden nur diejenigen Daten verwendet, die in Tab.2 als «Normal verschwunden» bezeichnet sind. Die zirkulären Daten wurden nach Batschelet (1981) ausgewertet, indem mit dem Rayleigh-Test jede Stichprobe auf die Zufälligkeit ihrer Verteilung getestet und mit dem Watson-U²-Test Unterschiede zwischen Stichproben geprüft wurden. Für die linearen Daten wurde der Test nach Wilcoxon-Mann-Whitney verwendet (Signifikanzniveau jeweils 0,05).

2. Resultate

Um einen Einfluss des Radiosenders festzustellen, wurden die Unterschiede zwischen den Test- und den Kontrollflügen betrachtet. Dazu wurden die Daten nach verschiedenen Gesichtspunkten geordnet (nach Jahreszeit, Heimschlag, Ortskenntnis, Einsatzrhythmus, Sonnensicht). Die Tauben waren insgesamt relativ gut heimgerichtet (Abb.2). Zwischen den Test- und

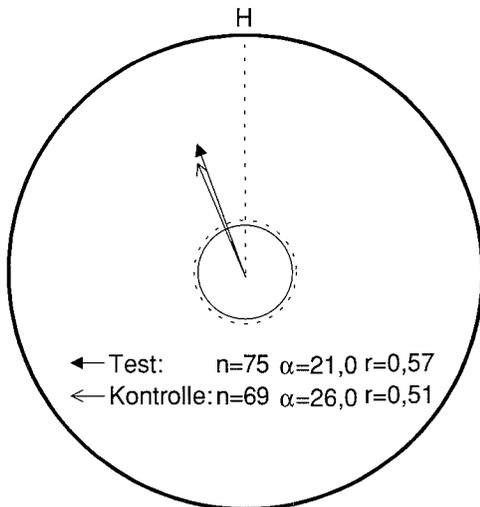


Abb. 2. Abweichung von der Heimrichtung aller Test- und Kontrollflüge. H = Heimrichtung; α = Abweichung des mittleren Vektors von der Heimrichtung; r = Länge des mittleren Vektors; die inneren Kreise stellen die Signifikanzschwellen nach Rayleigh, $p = 0,05$, für Test- (durchgezogen) und Kontrollflüge (gestrichelt) dar. – *Deviation from the home direction of all test and control flights. H = home direction; α = deviation of the mean vector from the home direction; r = length of mean vector; the inner circles represent a probability of $p = 0,05$ (Rayleigh-Test), continuous lines for test flights and dashed lines for control flights.*

Kontrollflügen war kein signifikanter Unterschied festzustellen (Abweichung von der Heimrichtung: -21° bzw. -26°). Zwar flogen die Test- und Kontrolltauben der einzelnen Auflassungen nie in die genau gleiche Richtung, aber die Differenzen waren minimal, die Verschwinderichtungen waren immer ungefähr gleich stark gerichtet, und die Verschiebung der Verschwinderichtung war gleich häufig im Uhrzeiger- und im Gegenuhrzeigersinn. Auch die Auswertung der Verschwindezeiten ergab keinen Hinweis auf einen Einfluss des Radiosenders. Die Zeiten der Testtauben waren mit 5 min 06 sec ($n = 75$, $s = 3$ min 53 sec) nicht wesentlich kürzer als diejenigen der Kontrolltauben mit 5 min 25 sec ($n = 69$, $s = 3$ min 35 sec).

Die teilweise signifikanten Unterschiede in den Abweichungen zwischen den verschiedenen Heimschlägen (Abb. 3) lassen sich durch die Topographie am Auflassort erklären: Die Gegend des Senders ist von einer niedrigen Hügelkette umgeben, die von den Brieftauben meistens über einem Einschnitt oder einer Senke überflogen wurde. Aus dieser Tatsache, die sich auf Test- und Kontrollflüge gleich stark auswirkte, ergaben sich die unterschiedlichen

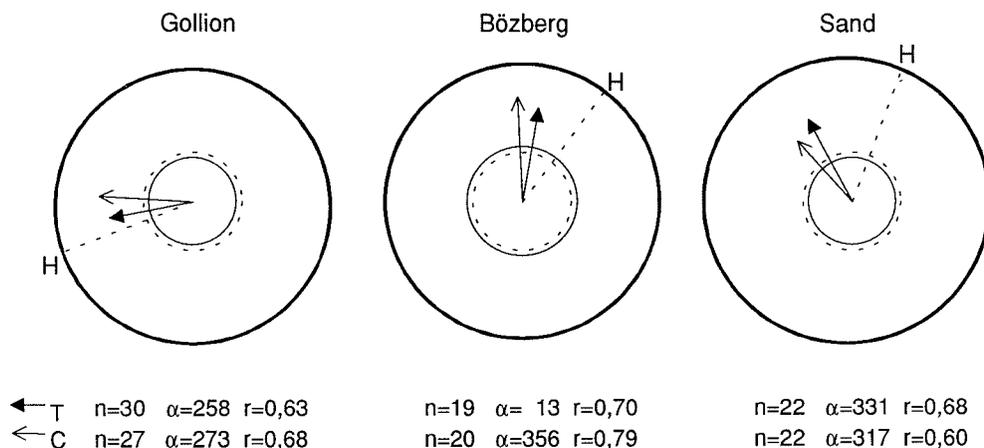


Abb. 3. Verschwinderichtungen der Tauben aus den einzelnen Heimschlägen. Nordrichtung oben; Darstellung wie in Abb. 2. – *Vanishing directions of the pigeons from different lofts. North above; representation as in Fig. 2.*

Abweichungen von der Heimrichtung zwischen den Schlägen. Die Vektorlängen als Mass für die Streuung lagen alle etwa im gleichen Bereich ($0,52 < r < 0,79$). Die Unterschiede zwischen den Heimschlägen in den Verschwindezeiten lassen sich mit der Flugerfahrung der einzelnen Individuen erklären. Besonders die Bözberger Tauben hatten im Durchschnitt mit 3min 38sec ($n = 39$) eine signifikant kürzere Verschwindezeit als alle anderen ($p < 0,05$ nach Wilcoxon-Mann-Whitney), was wahrscheinlich auf ihre relativ grosse Flugerfahrung und das mit ihnen durchgeführte Richtungstraining zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu hatten die unerfahrenen Jungtauben aus Gollion eine durchschnittliche Verschwindezeit von 5min 37sec ($n = 57$). Der Radiosender schien auf diese schlagspezifischen Unterschiede keinen Einfluss zu haben, was auch dadurch bestätigt wurde, dass sich der Schlag im Sand weder bezüglich der Abweichung noch der Verschwindezeit von den anderen Schlägen unterschied, obwohl er nicht in einem benutzten Abstrahlsektor lag.

Zur Feststellung eines möglichen Lerneff-

ekts wurde der Stand der Ortskenntnis, das heisst die Anzahl vorheriger Flüge ab Schwarzenburg, mitberücksichtigt. Einzelne Tauben wurden bis zu neunmal in Schwarzenburg freigelassen. Während die durchschnittlichen Richtungsabweichungen mit Zunahme der Ortskenntnis vor allem starke Schwankungen und eine geringe Verbesserung zeigten (Abb.4), sank die Richtungsstreuung nach 3 Flügen ziemlich abrupt auf einen geringeren Wert ab und blieb dann nahezu konstant. Die Verschwindezeiten blieben über die gesamte Versuchsperiode relativ stabil, auch wenn die Mittelwerte zunächst von 4 auf 8min anstiegen und dann wieder fielen (Abb.5). Die Kenntnis des Auflassortes spielte eventuell eine Rolle, der Radiosender hatte aber auf die Resultate keinen Einfluss.

Da Brieftauben wahrscheinlich über redundante Orientierungssysteme verfügen, könnte für die Beurteilung eines allfälligen Sendereinflusses von Belang sein, ob die Tauben die Sonne sehen konnten oder nicht. Deshalb wurde die subjektive Ansicht, ob die Position der Sonne bestimmbar war, in die Auswertung einbezogen. In

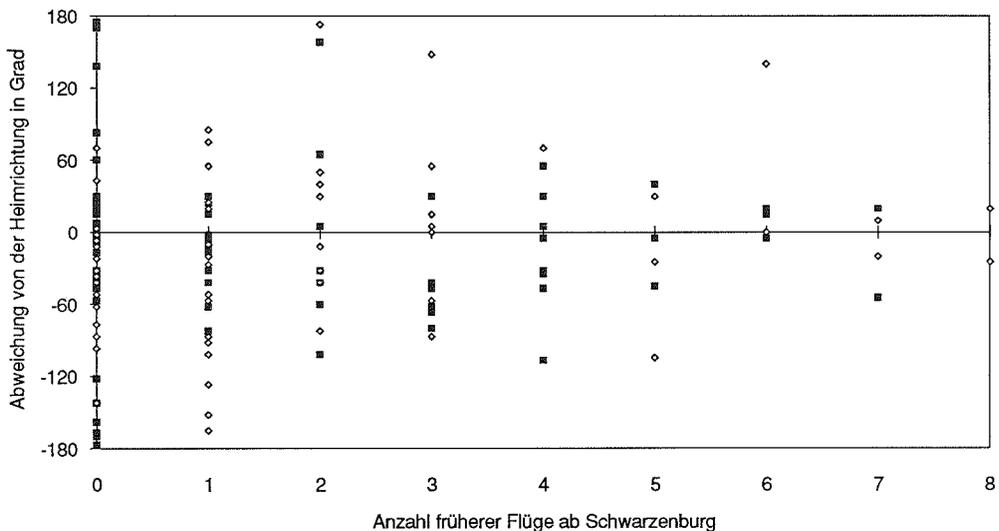


Abb. 4. Abweichungen von der Heimrichtung mit zunehmender Ortskenntnis. Schwarze Quadrate = Testflüge; weisse Rauten = Kontrollflüge. – Deviations from the home direction with increasing knowledge of the release site. Black squares = test flights; white rhombs = control flights.

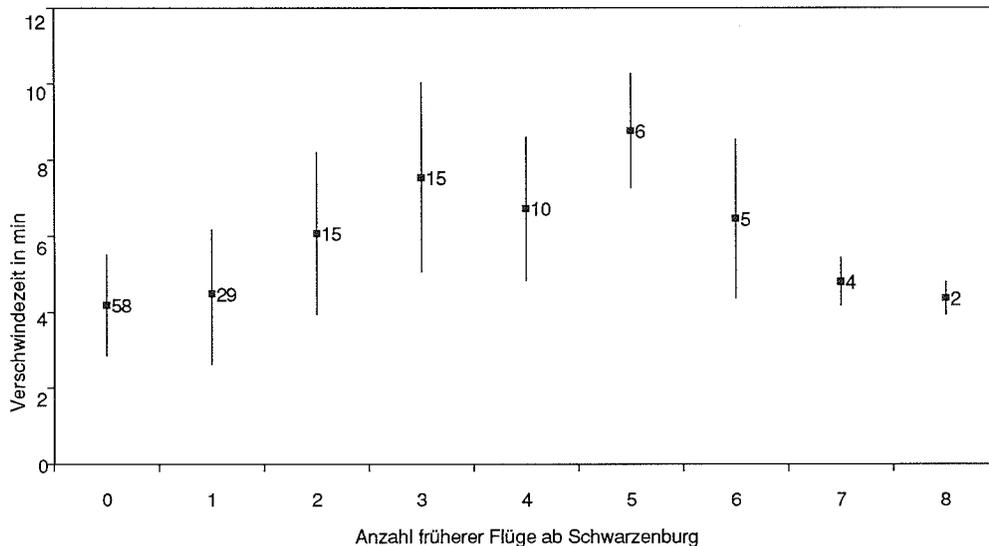


Abb. 5. Verschwindezeiten mit zunehmender Ortskenntnis. Eingezeichnet sind der Mittelwert, die Standardabweichung sowie die Stichprobengröße n . Da jedes Tier abwechselnd unter beiden Bedingungen eingesetzt wurde, sind Test- und Kontrolltiere zusammengefasst. – *Vanishing times with increasing knowledge of the release site. The average, the standard deviation and the sample size n are shown. Test and control flights are pooled, because each pigeon has flown by turn under both conditions.*

beiden Stichproben (sonnig bzw. bedeckt) war aber kein signifikanter Unterschied zwischen Test- und Kontrollflügen festzustellen. Die Tauben unter bedecktem Himmel (Test: $\alpha = -6,6^\circ$, $n = 29$; Kontrolle: $\alpha = 14,9^\circ$, $n = 20$) waren tendenziell sogar etwas besser heimgelichtet als diejenigen unter sonnigem Himmel (Test: $\alpha = -24,4^\circ$, $n = 46$; Kontrolle: $\alpha = -35,3^\circ$, $n = 49$).

Der Einsatzrhythmus («Taubentyp») wirkte sich nicht generell auf die Differenzen zwischen Test- und Kontrollflügen aus (Tab. 3, Abb. 6). Die auffälligste Tendenz ergab sich interessanterweise bei Tauben der Gruppe TTKK, die nach mehreren Testflügen innerhalb von vier Wochen nur noch als Kontrolltiere eingesetzt wurden. Nach diesem Wechsel waren die Abweichungen wesentlich grösser. Dagegen zeigte die Gruppe KKTT, die diesen Wechsel umgekehrt vollzog, keine Änderung ihres Orientierungsverhaltens. Bei den Tieren des Typs TTKK war nach dem Wechsel des Einsatzes nicht nur die Verschwindezeit

verschoben, sondern auch die Verschwindezeit beinahe verdoppelt (von 3 min 25sec auf 6 min 45sec), wie Abb. 7 zeigt. Leider waren in dieser Gruppe nach den Testflügen nur noch 3 Tauben für die Kontrollflüge übriggeblieben, doch ergab sich trotz dieser geringen Stichprobengröße eine Signifikanz nach Wilcoxon-Mann-Whit-

Tab. 3. Abweichung von der Heimrichtung der verschiedenen Taubentypen. n = Stichprobengröße; α = mittlere Abweichung; r = Länge des mittleren Vektors; Definition der Taubentypen im Text. – *Deviation from the home direction of the different types of pigeons. n = sample size; α = mean deviation; r = length of the mean vector.*

Tauben- typ	Test			Kontrolle		
	n	α	r	n	α	r
TKTK	36	- 4,3	0,63	21	- 1,6	0,49
KTKT	14	-17,9	0,39	26	- 6,9	0,71
TTKK	18	-27,2	0,61	3	-77,2	0,95
KKTT	7	-60,1	0,91	19	-59,8	0,64

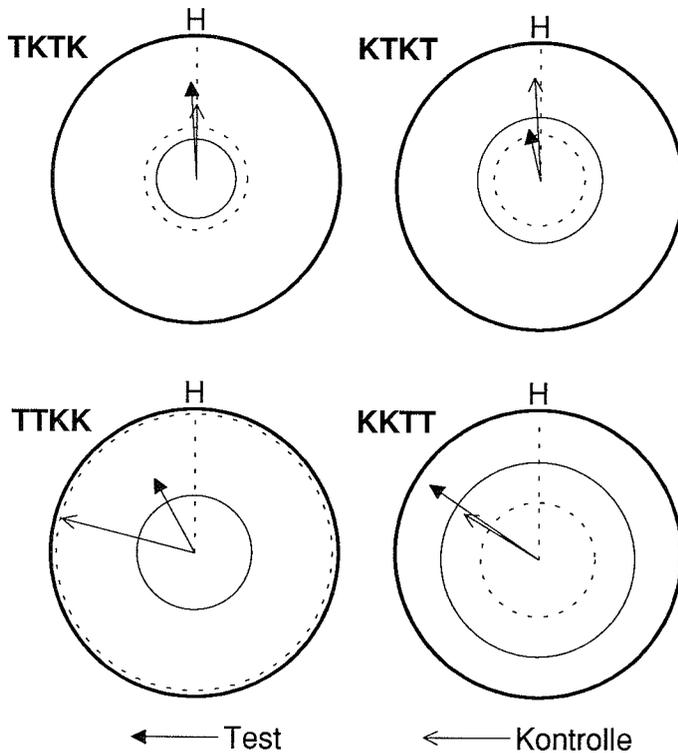


Abb. 6. Abweichung von der Heimrichtung der Taubentypen. Darstellung wie in Abb. 2; Definition der Taubentypen im Text; statistische Werte in Tab. 3. – *Deviations from the home direction of the different types of pigeons. Representation as in Fig. 2; data in Table 3.*

ney ($p < 0,05$). Das Verhalten dieser drei TTKK-Tauben hatte sich während ihrer Testphase nicht von jenem der anderen Tiere dieses Typs unterschieden. Auch die anderen Taubentypen zeigten eine geringe Tendenz zu verkürzten Verschwindezeiten unter Testbedingungen. Die abwechselnd eingesetzten Tauben der Typen TKTK und KTKT unterschieden sich in ihren Abweichungen signifikant von den Typen TTKK und KKTT, was aber vor allem darauf zurückzuführen ist, dass die Gruppen TTKK und KKTT nur im Frühling gebildet wurden und deshalb aus Schlägen im NE-Sektor stammten, deren Anfangsorientierung durch Hügel im NE beeinflusst wurde.

Die Auswertung der Heimkehrzeiten und der daraus berechneten Heimkehrgeschwindigkeiten ergab keinen Hinweis auf eine Beeinflussung durch den Radiosender. Der durchschnittliche Wert betrug 349 m/

min (Test: 382 m/min, $n = 22$; Kontrolle: 308 m/min, $n = 18$). Die Heimkehrgeschwindigkeit war stark von der individuellen Verfassung und Erfahrung der einzelnen Taube abhängig und damit indirekt vom jeweiligen Heimschlag. Der Heimkehrerfolg lag gesamthaft bei 86% (Test: 88%; Kontrolle: 84%). Diese Werte wurden durch den Sender nicht beeinflusst, sondern hingen vor allem von der zurückzulegenden Distanz (96% bei einer Flugstrecke von 23 km bis 67% bei 95 km) und der Erfahrung der Tauben ab. Die Tauben waren im allgemeinen bereits kurz nach dem Start relativ gut heimgerichtet. Die Testtiere waren dabei tendenziell besser und schneller auf ihre Verschwinde- richtung ausgerichtet als die Kontrolltiere; da keine signifikanten Unterschiede vorliegen, kann nicht auf einen Einfluss des Radiosenders geschlossen werden.

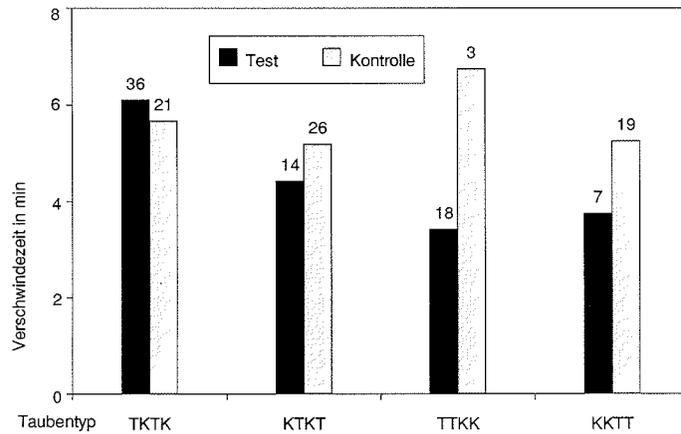


Abb. 7. Verschwindezeiten der verschiedenen Taubentypen. Definition der Taubentypen im Text. – *Vanishing times of the different types of pigeons.*

3. Diskussion

Die primär untersuchten Parameter (Abweichung von der Heimrichtung und Streuung der Verschwindezeit, Verschwindezeit, Heimkehrgeschwindigkeit, Heimkehrerfolg, Erreichen der späteren Verschwindezeit) zeigten keine generellen Unterschiede zwischen Test- und Kontrollflügen. Dieses Ergebnis zeigt, dass im Bereich eines Radiosenders, der Frequenzen zwischen 7,4 und 21,8 MHz abstrahlt, nicht mit einer erheblichen Störung der Orientierungsverhaltens von Brieftauben gerechnet werden muss. Das Fehlen von Unterschieden im registrierbaren Heimkehrverhalten beweist aber nicht, dass Tauben solche Felder nicht wahrnehmen können. Die Beobachtung, dass Tauben, die in einer ersten Testserie nur unter Sendereinfluss geflogen waren, nachher als Kontrolltauben schlechteres Orientierungsverhalten zeigten, und die Tendenz zu verkürzten Verschwindezeiten bei den Testtauben, könnten darauf hindeuten, dass die Tauben das elektromagnetische Feld zwar wahrnehmen konnten, aber nicht in ihrer Orientierungsleistung beeinträchtigt waren. Die Beobachtung, dass Test- und Kontrolltauben im Prinzip dasselbe Orientierungsverhalten zeigten, kann verschiedene Ursachen haben. Es könnte sein, dass

(a) die heute als möglicher Orientierungsmechanismus weitgehend anerkannte, wenn auch in der Art der Wahrnehmung noch weitgehend ungeklärte Magnetfeldorientierung der Tauben nicht durch die elektromagnetischen Wellen tangiert wurde,

(b) allfällige Reaktionen so gering waren, dass sie durch andere Faktoren überdeckt wurden,

(c) die Kontrolltauben durch die Restabstrahlung hinter der Antenne in ähnlicher Weise beeinflusst waren wie die in Senderichtung freigelassenen Testtauben,

(d) die Magnetfeldorientierung wegen der Störung durch den Radiosender durch ein anderes, redundantes System ersetzt wurde.

(a) Orientierung am statischen Magnetfeld und elektromagnetische Wellen

Orientierung anhand von Magnetfeldern ist für die verschiedensten Tiergruppen beschrieben worden, für einfachste Prokaryoten und Planarien ebenso wie für Krebse, Insekten und alle Wirbeltierklassen. An mehreren Vogelarten wurde nachgewiesen, dass sie die Inklination der Feldlinien (wahrscheinlich in Relation zur Schwerkraft) feststellen können. Die Inklination zeigt nicht nur polwärts oder äquatorwärts, sondern liefert auch Hinweise auf die Posi-

tion zwischen Pol und Äquator; auch die Feldintensität könnte Information über die geographische Breite liefern (Wiltshko & Wiltshko 1988).

Beason & Semm (1991) postulieren aufgrund neurophysiologischer Untersuchungen getrennte Nervenbahnen für die an den Nervus opticus gebundene Richtungsinformation (Magnetkompass) und die eher dem Nervus trigeminus zuzuordnende Positions- oder Karteninformation. Sie liefern auch Hinweise, dass für die Umsetzung der Magnetinformation Licht nötig ist, sei es, dass die Photorezeptoren des optischen Systems direkt als Magnetorezeptoren dienen oder dass ein Vogel seine Umgebung sehen muss, um die Magnetinformation richtig zu integrieren. Dass die Wirkung von elektromagnetischen Feldern an solch hochsensiblen Zellen ansetzen könnte, kann man sich aufgrund der von Cleary (1989) beschriebenen Änderungen in der Funktion von Nervengewebe durch hochfrequente elektromagnetische Felder zumindest vorstellen.

Der Magnetkompass von Rotkehlchen scheint sehr eng abgestimmt auf die mittlere Stärke des Erdmagnetfeldes (\pm etwa 30%; Wiltshko 1978). Zugvögel, die eine starke Magnetfeldanomalie in Schweden überflogen, senkten oft für etwa zwei Minuten ihre Flughöhe um etwa 100m (Alerstam 1987). Tauben, die in Gegenden mit natürlichen Anomalien im Magnetfeld der Erde freigelassen wurden, zeigten mehrheitlich gestörte Anfangsorientierung, kehrten aber sicher heim (Wagner 1976, Frei & Wagner 1976, Walcott 1978, Kiepenheuer 1982). Auch im Zusammenhang mit zeitlichen Schwankungen im Erdmagnetfeld treten leichte Störungen im Orientierungsverhalten auf (Keeton et al. 1974, Wiltshko & Wiltshko 1988). Die Frage ist nun, ob dieser Orientierungsmechanismus auch durch hochfrequente Wechselfelder spezifisch verändert werden könnte. Dabei gilt es, sich bewusst zu machen, dass der Unterschied zwischen dem quasi statischen Magnetfeld der Erde und den Kurzwellen eines Radiosenders oder gar den Mikrowel-

len eines Radargerätes um mehrere Grössenordnungen grösser ist als der Unterschied zwischen wetterbedingten Druckschwankungen und den von einem Ultraschallgerät produzierten Druckwellen. Das heisst, dass die beiden Erscheinungen gar nicht vergleichbar sind und kaum mit einem spezifischen Einfluss auf den Magnetkompass zu rechnen ist, auch wenn die Wechselfelder allenfalls wahrgenommen werden und vielleicht sogar unspezifische Irritationen erzeugen.

(b) Störfaktoren

Die Variation des Heimflugverhaltens in Abhängigkeit von der Erfahrung, der Motivation bzw. der Lage des Heimatschlages relativ zur lokalen Topographie im Bereich des Kurzwellensenders Schwarzenburg war so gross, dass minimale Abweichungen, wie sie etwa Wagner (1972) bei Tauben unter Radarbestrahlung ermittelt hatte, mit grosser Wahrscheinlichkeit im «Grundrauschen» dieser Variabilität von Tauben verschiedener Herkunft untergehen. Das heisst einerseits, dass allfällig vorhandene Unterschiede geringer waren als die durch andere Umwelteinflüsse induzierten, andererseits heisst es auch, dass die Methode zu wenig exakt war, um kleinste Abweichungen zu erkennen.

(c) Gleiche Beeinflussung von Kontroll- und Testtauben durch den Sender

Es ist unvermeidbar, dass unter Freilandbedingungen auch Kontrolltauben unter dem Einfluss verschiedenster elektromagnetischer Felder stehen. Insbesondere ist beim Kurzwellensender Schwarzenburg mit einer gewissen Abstrahlung in die der Senderichtung entgegengesetzte Richtung zu rechnen. Die Tatsache, dass einige Kontrolltiere auf ihren Kreisflügen die Sendeanlage überquerten und damit in den momentan aktiven Bereich des Senders gerieten, erschwert eine Interpretation der Ergebnisse zusätzlich. Falls die Kontrolltauben im gleichen Ausmass gestörtes Verhalten gezeigt

hätten wie die Testtauben, müssten Kontroll- und Testtauben insgesamt vom üblichen Heimflugverhalten von Brieftauben abweichen. Das vorliegende Datenmaterial liefert keine Hinweise auf generell aberrantes Verhalten. Dagegen deuten die Daten der mehrmals hintereinander als Testtauben eingesetzten Tiere auf eine unterschiedliche Beeinflussung von Test- und Kontrolltauben.

(d) Überwindung von Störeinflüssen durch redundante Orientierungssysteme

Da Brieftauben mit grosser Wahrscheinlichkeit über verschiedene, redundante Möglichkeiten der Orientierung verfügen (Able 1980), ist damit zu rechnen, dass ein Vogel, bei dem ein System gestört ist, ein Ersatzsystem einsetzt. Walcott & Green (1974) und Walcott (1977) fanden z.B., dass Tauben, deren Magnetfeldorientierung durch Helmholtz-Spulen gestört war, bei sonnigem Wetter gut heimflogen, während der Störeinfluss bei bedecktem Himmel dramatisch war, weil das Ersatzsystem «Sonne» nicht benutzt werden konnte. Im Gegensatz dazu konnte in den vorliegenden Versuchen kein Unterschied zwischen Flügen unter klarem und unter bedecktem Himmel festgestellt werden. Eine allfällige Nutzung anderer Orientierungsmöglichkeiten bleibt offen.

Wahrnehmung elektromagnetischer Felder

Ein höchst interessanter Aspekt der vorliegenden Daten liegt darin, dass die Tauben der Gruppen TTKK und KKTT (d.h. diejenigen Gruppen, in denen Gewöhnungs- oder Lerneffekte mitspielen könnten) eine Tendenz zu verkürzten Verschwindezeiten unter Testbedingungen zeigten. Ausserdem zeigten die drei verbliebenen TTKK-Tauben in der Kontrollphase eine starke (aufgrund der kleinen Stichprobe aber statistisch nicht prüfbare) Abweichung von ihrem eigenen und vom Gruppenverhalten in der Testphase. In der Gruppe KKTT war in der zweiten Versuchsphase trotz mög-

chem Lerneffekt keine bessere Heimorientierung festzustellen. Eine mögliche Gewöhnung der Testtauben an die Testsituation fanden Wiltschko & Wiltschko (1988) im Fall statischer Magnetfelder. Falls eine solche Gewöhnung auch bei elektromagnetischen Wellen auftreten würde, wäre zu postulieren, dass die Tauben ein Sensorium für diese elektromagnetischen Felder hätten. Das Verhalten der TTKK- und der KKTT-Tauben liesse sich in zwei Richtungen interpretieren: Entweder empfanden die Tauben das elektromagnetische Feld als unangenehm und versuchten, so rasch als möglich wegzukommen, oder aber die TTKK-Tauben integrierten das Feld in ihr «Ortsbild» und waren beim Wegfall dieses Hilfsmittels verunsichert. Die in der Einleitung erwähnten, zum Teil etwas widersprüchlichen Hinweise auf kurzfristige Verhaltensänderungen von Zugvögeln im Bereich von Radaranlagen würden damit an Bedeutung gewinnen. Zudem könnte man aufgrund dieses vorerst noch vagen Hinweises vermuten, dass das Wahrnehmungs- und vielleicht auch das Orientierungsvermögen der Vögel noch wesentliche unbekannte Komponenten enthält.

Dank. Dem Brieftaubendienst der Armee, besonders Major H.P. Lipp und Oberstleutnant A. Teuscher, danken wir für gute Zusammenarbeit und fachkundige Unterstützung, den Taubenzüchtern F. Meister, K. Neuhaus, J.F. Patthey, R. Schmutz, H. Schöb und W. Tanner für die zur Verfügung gestellten Tauben, den Helfern bei den Auflassungen für die Mitarbeit im Feld. Dr. G. Wagner half bei der Versuchsplanung, und die Direktion des Schweizerischen Kurzwellensenders Schwarzenburg lieferte Detailinformationen über den Sender und den Sendeplan. Dr. L. Jenni, Dr. C. Marti und zwei Reviewern danken wir für kritische Durchsicht des Manuskripts.

Zusammenfassung, Summary

Die Ergebnisse aus zwei Serien von Auflassungen, die 1992 und 1993 im Gebiet des Kurzwellensenders Schwarzenburg (Kanton Bern) mit Brieftauben aus vier verschiedenen Schlägen durchgeführt wurden, deuteten nicht auf eine generelle Störung der Anfangsorientierung. Die gemessenen Werte für Ver-

schwinderichtung, Verschwindezeit, Heimkehrerfolg und -geschwindigkeit zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen Test- (Flug unter Senderbestrahlung) und Kontrollflügen (ohne Abstrahlung in die Heimrichtung). Die vorhandenen Unterschiede zwischen den Stichproben konnten mit dem Einfluss anderer Faktoren wie Topographie, Flug-erfahrung, Ortskenntnis, Motivation erklärt werden.

Vier mögliche Ursachen für das Fehlen eines generellen Effekts werden diskutiert: (1) Die Orientierung am statischen Erdmagnetfeld wurde durch elektromagnetische Wechselfelder nicht gestört. (2) Ein allfälliger geringer Einfluss wurde durch verschiedene Störfaktoren überdeckt. (3) Auch die Kontrolltauben wurden durch elektromagnetische Felder beeinflusst. (4) Die eventuell gestörte Magnetfeldorientierung wurde durch ein anderes Orientierungssystem ersetzt.

Durch die Einteilung der Individuen in Gruppen mit unterschiedlichen Einsatzrhythmen wurde eine Tendenz sichtbar, die entweder mit einer Gewöhnung einzelner Tauben an die «gestörten» Verhältnisse oder mit dem Bestreben der Tauben erklärt werden könnte, den Bereich starker Strahlung möglichst rasch zu verlassen. Dies liesse darauf schließen, dass die elektromagnetischen Wechselfelder, die von einem Radiosender mit Frequenzen im Bereich von 7,4 bis 21,8MHz abgestrahlt werden, wahrgenommen werden und weckt Spekulationen, ob solche Felder allenfalls in das Orientierungssystem der Brieftauben integriert werden könnten, obwohl keine erheblichen Veränderungen in der Anfangsorientierung festzustellen waren.

Initial orientation of homing pigeons under the influence of a short-wave radio transmitter

The results of two series of releases which were carried out in 1992 and 1993 in the area of a short-wave radio transmitter at Schwarzenburg (Canton of Berne, Switzerland) with homing pigeons from four different lofts did not indicate a general disturbance of the initial orientation. Vanishing direction, vanishing time, homing success, and speed showed no significant differences between the test (flight under radiation) and the control flights (without radiation in the home direction). Observed differences between samples could be explained by the influences of other factors such as topography, flight experience, knowledge of the release site, motivation.

Possible causes for the lack of a general effect are discussed: (1) The orientation on the static geomagnetic field was not disturbed by the high frequency electromagnetic fields. (2) A possible minor influence was veiled by different disturbing factors. (3) The control pigeons were influenced by the electromagnetic fields in a similar manner as the test birds. (4) The possibly disturbed magnetic orientation was replaced by an other orientation system.

Groups with different flight rhythms revealed a tendency that could either be explained by the ability of some pigeons to get used to the "disturbed" conditions or by the pigeons trying to leave as quickly as possible the area of intense radiation. This indicates that pigeons might be able to perceive the electromagnetic fields of 7.4 to 21.8MHz and, in spite of the fact that their overall orientation was not notably affected, rises speculations whether the pigeons tend to avoid the radiation or to integrate them into their orientation system.

Literatur

- ABLE, K. P. (1980): Mechanisms of orientation, navigation, and homing. In: S. A. GAUTHREUX: Animal migration, orientation, and navigation. New York: 283-373.
- ALERSTAM, T. (1987): Bird migration across a strong magnetic anomaly. *J. exp. Biol.* 130: 63-86.
- BATSCHULET, E. (1981): Circular statistics in biology. London.
- BEASON, R. C. & P. SEMM (1991): Neuroethological aspects of avian orientation. In: P. BERTHOLD: Orientation in birds. Basel: 106-127.
- BRUDERER, B. (1992): Radar studies on bird migration in the south of Israel. *Bird Strike Comm. Europe* 21, WP 28. - (im Druck): Nocturnal bird migration in the Negev - a tracking radar study. Ostrich.
- BUSNEL, R. G., J. GIBAN, P. GRAMET & F. PASQUINELLI (1956): Absence d'action des ondes du radar sur la direction de vol de certains oiseaux. *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie* 60: 18.
- BECKER, R. O. & A. A. MARINO (1982): Electromagnetism and life. Albany.
- CLEARY, S. F. (1989): Biological effects of radio-frequency. In: G. FRANCESCETTI et al.: Electromagnetic interaction. New York: 59-79.
- DROST, R. (1949): Zugvögel perzipieren Ultrakurzwellen. *Vogelwarte* 2: 57-59.
- EASTWOOD, E. (1967): Radar ornithology. London.
- EASTWOOD, E. & G. C. RIDER (1964): The influence of radio waves upon birds. *Brit. Birds* 57: 445-458.
- FRANCESCETTI, G., O. P. GANDHI & M. GRANDOLFO (1989): Electromagnetic biointeraction. New York.
- FREI, U. & G. WAGNER (1976): Die Anfangsorientierung von Brieftauben im erdmagnetisch gestörten Gebiet des Mont Jorat. *Rev. suisse Zool.* 83: 891-897.
- HILD, J. (1971): Beeinflussung des Kranichzuges durch elektromagnetische Strahlung? *Wetter u. Leben* 23: 45-52.
- KEETON, W. T., T. S. LARKIN & D. M. WINDSOR (1974): Normal fluctuations in the earth's magnetic field influence pigeon orientation. *J. Comp. Physiol.* 95: 95-103.

- KIEPENHEUER, J. (1982): The effect of magnetic anomalies on the homing behavior of pigeons. In: F. PAPI & H. G. WALLRAFF: Avian navigation. Berlin: 120–128.
- KNORR, O. A. (1954): The effect of radar on birds. Wilson Bull. 66: 264.
- KREITHEN, M. L. (1979): The sensory world of the homing pigeon. In: A. M. GRANDA & J. H. MAXWELL: Neural mechanisms of behavior in the pigeon. New York: 21–33.
- LARKIN, R. P. & P. J. SUTHERLAND (1977): Migrating birds respond to Project Seafarer's electromagnetic field. Science 195: 777–779.
- LEITGEB, N. (1990): Strahlen, Wellen, Felder. Stuttgart.
- NEWL, G., J. H. BERNHARDT, R. HAUF, R. REITER, J. SILNY & R. WEVER (1983): Biologische Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder. Grafenau.
- ROSE, W. D. (1990): Elektrosmog – Elektrostress. Köln.
- SCHMIDT-KOENIG, K. (1980): Das Rätsel des Vogelzugs. Hamburg.
- SOUTHERN, W. E. (1975): Orientation of Gull chicks exposed to Project Sanguine's electromagnetic field. Science 189: 143–145.
- SZMIGIELSKI, S. & T. OBARA (1989): The rationale for the Eastern European radiofrequency and microwave protection guides. In: G. FRANCESCHETTI et al.: Electromagnetic interaction. New York: 135–151.
- WAGNER, G. (1972): Untersuchungen über das Orientierungsverhalten von Brieftauben unter RADAR-Bestrahlung. Rev. suisse Zool. 79: 229–244. – (1976): Das Orientierungsverhalten von Brieftauben im erdmagnetisch gestörten Gebiete des Chasseral. Rev. suisse Zool. 83: 883–890.
- WALCOTT, C. (1977): Magnetic field and the orientation of homing pigeons under sun. J. exp. Biol. 70: 105–123. – (1978): Anomalies in the earth's magnetic field increase the scatter of pigeon vanishing bearings. In: K. SCHMIDT-KOENIG & W. T. KEETON: Animal migration, navigation and homing. Berlin: 143–151.
- WALCOTT, C. & R. P. GREEN (1974): Orientation of homing pigeons altered by a change in the direction of an applied magnetic field. Science 184: 180–182.
- WILTSCHKO, W. (1978): Further analysis of the magnetic compass of migratory birds. In: K. SCHMIDT-KOENIG & W. T. KEETON: Animal migration, navigation and homing. Berlin: 302–310.
- WILTSCHKO, W. & R. WILTSCHKO (1988): Magnetic orientation in birds. Curr. Ornith. 5: 67–121. – (1991): Orientation by the earth's magnetic field in migrating birds and homing pigeons. In: H. LIETH: Effects of atmospheric and geophysical variables in biology and medicine. Den Haag: 31–43.

*Manuskript eingegangen 17. Dezember 1993
Angenommen 21. Februar 1994*