



Hermann Stever, Stefan Kimmel, Wolfgang Harst, Jochen Kuhn, Christoph Otten, Bernd Wunder

Verhaltensänderung der Honigbiene *Apis mellifera* unter elektromagnetischer Exposition

Folgeversuch 2006

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung / Abstract	3
2. Einleitung	4
3. Versuchsbeschreibung	5
3.1 Expositionsbedingungen: Physikalische Grundlagen	5
3.2 Abweichungen zur Pilotstudie	6
3.3 Versuchsaufbau 2006	7
4. Ergebnisse	9
4.1 Paarvergleiche	10
4.2 Rückkehranzahl und -zeit	12
4.3 Mittelwertvergleiche der Bestrahlungarten mittels tn-Index	16
4.4 Zusammenhang tn-Index mit Wetter, Temperatur und Flugfrequenz	16
4.5 Abschaltung der Basisstationen	17
5. Diskussion	18
5.1 Methodenkritik	18
5.2 Ausblick	19
6. Literatur und zitierte Quellen	21
7. Autorenverzeichnis (alphabetisch)	22

1. Zusammenfassung / Abstract

Die vorliegende Studie untersucht die nicht-thermischen Auswirkungen von elektromagnetischer Strahlung auf das Verhalten von Honigbienen (*Apis mellifera*). Neben der Exposition und den Effekten durch Chemikalien ist heute in zunehmendem Maße ein Anstieg der kontinuierlichen und gepulsten Strahlungsbelastung, v.a. im hochfrequenten Bereich, zu verzeichnen. Die Honigbiene *Apis mellifera* als solche wird regelmäßig als Testorganismus zu ökotoxikologischen Untersuchungen bzgl. Pflanzenschutzmittel herangezogen. Als Expositionsquelle der hier getesteten Strahlung dienen handelsübliche DECT-Telefone der Marke „Thomson Deriva 155“. Zur Erfassung einer Beeinflussung des Bienenverhaltens durch elektromagnetische Strahlung wurde ein Versuchsaufbau mit strahlungsexponierten, gedämmt bestrahlten und unbelasteten Bienenvölkern gewählt. Basierend auf den Ergebnissen der Versuchsreihe aus dem Jahre 2005 wurde 2006 explizit das Rückfindeverhalten der Honigbiene unter Strahlungsexposition untersucht. Dazu wurden jeweils 15 Flugbienen vor dem Stock abgefangen, markiert und an einen zuvor ausgewählten Punkt in ca. 1 km Luftlinie Abstand vom Stock gebracht. Dort freigelassen wurde die Anzahl der zurückgekehrten Bienen sowie die benötigte Zeit zur Rückkehr registriert. Die vorliegende Untersuchung ist das Folgeprojekt einer Pilotstudie, die im Sommer 2005 stattfand und signifikante Unterschiede im Rückfindeverhalten der strahlungsexponierten Honigbienen, zum Teil mit Verlusten von 70% gegenüber den unbestrahlten Völkern, erbrachte. Die Versuche selbst sollen dazu beitragen, ein möglichst umfassendes Bild der Verhaltensweisen von *Apis mellifera* unter Einfluss des Stressfaktors „elektromagnetische Strahlung“ widerzugeben.

This study focuses on the influences of non-ionizing radiation towards the behaviour of the honeybee (*Apis mellifera*). Besides the exposition and the effects of chemicals there is a certain increase of radiation impact in today's environment. In ecotoxicology, the honeybee (*Apis mellifera*) is of great importance as a test species for agricultural chemicals, e. g. plant protection products and pesticides. In this case, significant variations in the behaviour of *Apis mellifera* under the influence of non-ionizing radiation are tested. As source of exposition standard commercial DECT telephones are used, namely „Thomson Deriva 155“. Concerning possible variations in behaviour an experimental setup with radiated, shielded exposed and non – influenced bee colonies was assembled. A main emphasis lies on the investigation on significant changes in the foraging behaviour under electromagnetic radiation influence. Therefore, 15 bees were trapped at the hive entrance, marked and brought to a defined point in the near area. There, all marked bees were set free and returning time as well as numbers of returned bees were counted and registered. This presented data is based on earlier studies from 2005, which showed significant differences in returning for the radiated bees, in some cases up to 70% loss compared to the non-influenced ones. The experiments are part of a study-setting to investigate different aspects of the influence of the stress factor electromagnetic radiation on *Apis mellifera*.

Keywords: *Apis mellifera*, elektromagnetische Strahlung, Lernverhalten unter Stresseinwirkung

2. Einleitung

Verschiedene Effekte elektromagnetischer Strahlung wurden im Laufe der vergangenen Jahrzehnte intensiv untersucht (Greenberg et al. 1981, Hartsgrove et al. 1987, Eulitz et al. 1998, Rothmana 2000). Im Kontext der zunehmenden nicht-ionisierenden Strahlungsbelastung in der Umwelt beschäftigt sich die vorliegende Studie mit den Auswirkungen der elektromagnetischen Strahlung auf das Verhalten der Honigbiene. Bienen haben sich bzgl. ökotoxikologischer Studien bewährt und gelten als Standardtestorganismus in Bezug auf die Untersuchungen möglicher Effekte von Pflanzenschutzmitteln (PSM) auf Nicht-Ziel-Arthropoden, besonders wegen ihrer Funktion als Bestäuber in der Landwirtschaft sollen so mögliche negative Effekte der PSM eindeutig ausgeschlossen werden. Ebenso sind die Bienen von großer Bedeutung für die Landwirtschaft durch die Bestäubung der landwirtschaftlichen Nutz- und Kulturpflanzen. Ihre Lebensweise als staatenbildendes, soziales Insekt mit hoch organisiertem Gefüge und hierarchischer Struktur bezüglich der Arbeitsteilung qualifizieren *Apis mellifera* als Indikatorspezies zur Untersuchung der Effekte hochfrequenter Strahlungsbelastung in der Umwelt, da sich z. B. potentielle Einflüsse eines Störfaktors auf vielfältige Art und Weise innerhalb des sozialen Gefüges der Biene ausbilden können.

Weiterhin zeigt die Honigbiene in zeitlicher und räumlicher Orientierung ein effizientes Lernverhalten, das bis hin zur Dressur auf eine bestimmte Tracht bzw. bestimmte olfaktorische Reizstoffe reicht (Vareschi & Kaissling 1970, Hofer & Lindauer 1976). Die Art und Weise des Lernverhaltens der Honigbiene sowie die Informationsverarbeitung innerhalb des Stocks wurde in einer Vielzahl von Studien untersucht (Tautz 1996, Zhang et al. 1999, Giurfa 2003, Schmickl 2003), ebenso wie die Informationsverarbeitung im Bienenhirn (Locatelli et al. 2005). Die Biene eignet sich hervorragend als Bioindikator, da der anatomische Aufbau des Gehirns sowie der am Lernprozess beteiligten Gehirnregionen ausführlich untersucht ist (Menzel & Müller 1996, Zhang et al. 1999, Schwärzel & Müller 2006) und die Gehirnstruktur der Biene bezüglich assoziativer Lernprozesse mit der von Wirbeltieren vergleichbar ist (Bliss & Collinridge 1993, Giurfa 2003, Eichenbaum 2004, Schwärzel & Müller 2006). Zudem gelten sie wegen ihres hoch differenzierten Sozialverhaltens als empfindliches Modell zur Überprüfung von Störungen u.a. neuronaler Strukturen. Aus den entsprechenden Beobachtungen bei Bienenvölkern könnte es gelingen, gleichbedeutende theoretische Erklärungsmodelle für die Einwirkung von elektromagnetischen Hochfrequenzfeldern auf andere Organismen zu ermitteln.

In der vorliegenden Studie wurden Auswirkungen unterschiedlich intensiver elektromagnetischer Exposition auf das Lernverhalten der Honigbiene untersucht. Dazu wurden auf dem Gelände des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum (DLR), Fachzentrum für Bienen und Imkerei, in Mayen im Zeitraum Juni und Juli 2006 Versuche durchgeführt.

3. Versuchsbeschreibung

Die mathematischen Grundlagen eines Einwirkungsmodells elektromagnetischer Strahlung auf das Lernverhalten wurden bereits in der Pilotstudie 2005 dargestellt. Dort finden sich neben der detaillierten aktuellen Modellausführung Verweise auf weiterführende Quellen zur Entwicklung des Modells (Steuer et al. 2005).

3.1 Expositionsbedingungen: Physikalische Grundlagen

Die in dieser Studie geplante Untersuchung nicht-thermischer Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf das Lernverhalten von Bienen erfordert eine Exposition dieser Insekten mit den dazu notwendigen Resonanzfrequenzen. Dazu werden Basisstationen handelsüblicher DECT-Telefone (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) benutzt. Eine solche Basisstation sendet kontinuierlich mit einer Sendefrequenz $f_S \approx 1900$ MHz, sodass ständig elektromagnetische Wellen ausgestrahlt werden. Solche Stationen senden also auch dann elektromagnetische Strahlung aus, wenn das Handtelefon nicht in Betrieb ist oder gerade nicht benutzt, also nicht telefoniert wird. Die durchschnittliche Sendeleistung P_S beträgt 10 mW, die Spitzenleistung dagegen 250 mW. Das Sendesignal ist frequenzmoduliert und gepulst mit einer Pulsfrequenz f_P von 100 Hz. Da wir nur die Basisstation des DECT-Geräts ohne das Mobiltelefon benutzen, ist sie durchgehend im Stand-by-Modus geschaltet. In diesem Zustand beträgt die durchschnittliche Sendeleistung $P_S = 2,5$ mW.

Durch diese technischen Rahmenbedingungen besteht die Aussicht, die vorab beschriebenen Möglichkeiten einer resonanten, nicht-thermischen Erregung zu untersuchen. Dabei gliedert sich dieser Untersuchungsaspekt in zwei Fragen auf:

1. Erzeugt nur eine der beiden Strahlungsarten – entweder die hochfrequente Sendefrequenz oder die niederfrequente Pulsfrequenz – eine nicht-thermische Einwirkung?
2. Ist eine Dosis-Wirkungs-Beziehung bei der hochfrequenten Sendefrequenz nachzuweisen?

Zu diesem Zweck werden neben den unbestrahlten Kontrollbienenvölkern zwei Arten von Versuchsbienenvölkern gebildet:

- Bestrahlte Versuchsvölker (V_B): In diesen Völkern wird die DECT-Basisstation auf den Boden des Bienenkastens, direkt unter die Bienenwaben positioniert. Da sich die Station innerhalb des Bienenkastens befindet, können die Bienen auch die Sendeantenne jederzeit berühren.
- Teilweise geschirmte Versuchsvölker (V_G): Diese Bienenvölker unterscheiden sich von den bestrahlten Versuchsvölkern lediglich dadurch, dass die auf dem Boden des Bienenkastens befindliche DECT-Basisstation zudem quaderförmig mit einer

Schilfrohrmatte vollständig abgedeckt wird (s. Abbildung 1). Diese Schilfrohrmatte soll ca. 50% des hochfrequenten Sendesignals absorbieren, ist allerdings für die niederfrequente Pulsfrequenz vollständig durchlässig (Moldan & Pauli 2000).

Würde nun durch die Untersuchung ein Unterschied zwischen Versuchs- und Kontrollvölkern nachgewiesen werden, sich dagegen das Bienenverhalten zwischen den beiden Versuchsvölkern nicht unterscheiden, könnte dies auf die ausschließliche Einwirkung des nicht abgeschirmten niederfrequenten Pulssignals zurückgeführt werden. Würde sich neben dem Unterschied zu den Kontrollvölkern zudem das Bienenverhalten in den beiden Arten der Versuchsvölker (V_B vs. V_G) unterscheiden, würde dies auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der hochfrequenten Strahlungsleistung und dem Bienenverhalten hindeuten.

Um die unbestrahlten Bienenvölker gegen die Bestrahlung durch eine benachbarte Basisstation abzuschirmen, befindet sich zwischen jeweils zwei nebeneinander stehenden Völkern ein engmaschiges Metallgitter (1x1 mm Maschenweite), das mehr als 99,9% der hochfrequenten Strahlung abschirmt. Auch hier ist zu erwähnen, dass die Abschirmung für die gepulste Frequenz vollständig durchlässig ist.

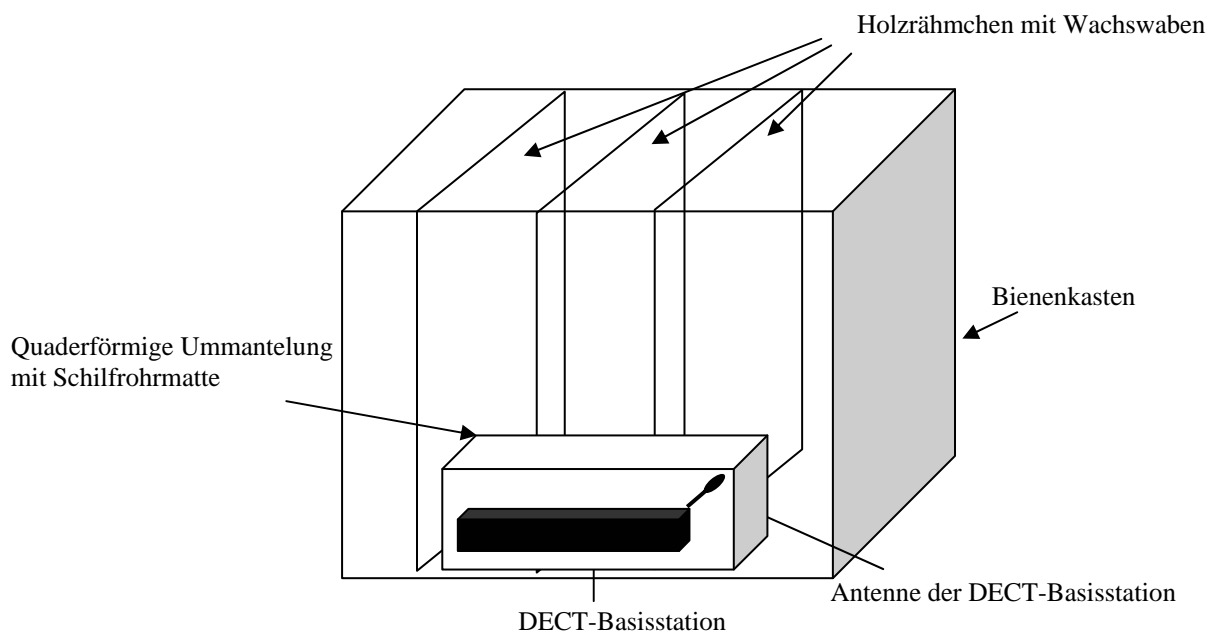


Abb. 1: Positionierung der DECT-Basisstation im Bienenkasten (inkl. Abschirmung)

3.2 Abweichungen zur Pilotstudie

Bereits im Sommer 2005 wurden auf dem Gelände des DLR Westerwald-Osteifel, Fachzentrum für Bienen und Imkerei in Mayen, erste Versuche zum Einfluss elektromagnetischer Exposition auf Honigbienen durchgeführt. Dabei fiel die Anzahl zurückkehrender Bienen aus unbestrahlten Bienenvölkern deutlich höher aus als bei den

bestrahlten. Die Einzelheiten zu dieser Pilotstudie finden sich in der Veröffentlichung aus dem Jahr 2005 (Stever et al. 2005). Aufbauend auf den Ergebnissen der Pilotstudie wurde nun das im Vorjahr untersuchte Bauverhalten und die Gewichtsentwicklung der Waben nicht näher betrachtet, die Datenerfassung konzentrierte sich auf das Rückkehrverhalten, um durch Quantifizierung der Versuchsdurchgänge einen möglichen vorliegenden Effekt eindeutig belegen zu können.

Erste Durchläufe am 26. und 27. Juni 2006 vor dem eigentlichen Versuchsbeginn führten zu folgenden Änderungen in der Versuchsanordnung:

Die Flugdistanz wurde verkürzt, ein neuer Startpunkt der markierten Bienen wurde gewählt. Dies begründete sich durch die Tatsache, dass bei diesjährigen Vorversuchen mit dem Entlassungspunkt vom letzten Jahr keinerlei Rückkehrer zu verzeichnen waren, was darauf schließen ließ, dass die Bienen 2006 bisher keine Sammeltätigkeit in dieser Himmelsrichtung unternommen hatten.

Aus Gründen der besseren Handhabung wurde während der Versuche 2006 die Anzahl der getesteten Bienen auf 15 verkleinert (2005 waren es 25 pro Durchlauf), und die abgefangenen ausfliegenden Bienen wurden zur Markierung mit CO₂ kurzzeitig paralysiert (2005 durch Kühlung).

Um eine Beeinflussung der unbestrahlten Kontrollvölker zu vermeiden, wurden 2006 Abschirmungen aus Drahtgitter, Maschenweite 1 mm, zwischen den Völkern errichtet. In Anbetracht einer möglichen Dosis-Wirkungs-Beziehung bzgl. der Intensität der Strahlungsleistung wurden drei der insgesamt acht bestrahlten Versuchsvölker mit einer Dämmung versehen, die die Strahlungsintensität auf 50% reduzieren sollte.

3.3 Versuchsaufbau 2006

Für die vorliegenden Versuche wurden 16 Bienenvölker der Art *Apis mellifera carnica* in „Mini-Plus“-Beuten verwendet. Acht der 16 Völker wurden mit Hilfe von DECT-Telefonbasisstationen dem Einfluss elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt (s. Umschlagabbildung). Drei der Basisstationen wurden mit einer selbstgefertigten Lehmputz-Schilfrohrmatten-Konstruktion versehen, die die ursprüngliche Strahlung auf 50% dämmen sollte (Abbildung 2).



Abb. 2: Lehmputz-Schilfrohr-Dämmung

Dabei wurden die Vorgaben zur Stärke des Lehms (10 mm) und der Schilfrohrmatte (18 mm) eingehalten (Moldan & Pauli 2000). Bei den verwendeten Telefonen handelte es sich um schnurlose Geräte vom Typ „Deriva 155“ des Herstellers Thomson. Durch einen ständigen Verbindungsaufbau zwischen Basisstationen und

Mobilgeräten, die sich in 20 m Entfernung befanden, wurde ein Maximum an Strahlung erreicht. Abbildung 3 zeigt schematisch den Versuchsaufbau:

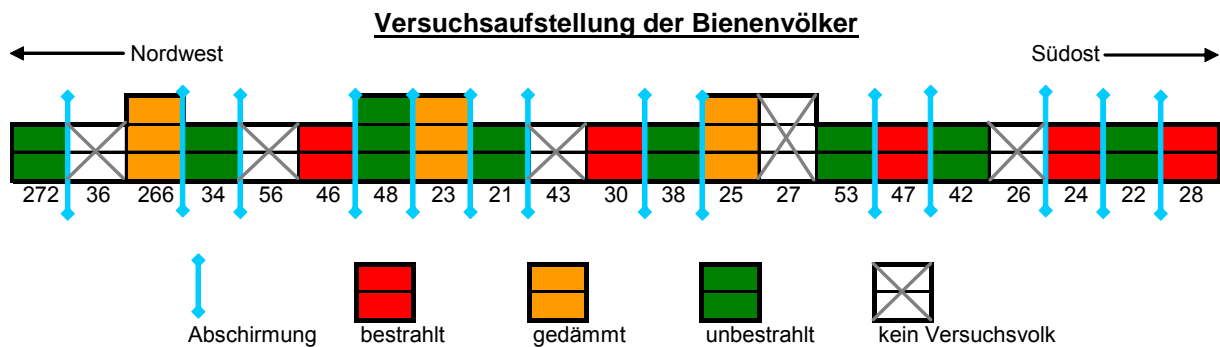


Abb. 3: Versuchsaufbau Folgestudie 2006



Abb. 4: Absammeln der Bienen am Stock

Es wurden jeweils ein bestrahltes bzw. gedämmt bestrahltes und ein unbestrahltes Volk im direkten Vergleich getestet. Dazu wurden pro Volk 15 ausfliegende Bienen abgefangen (Abbildung 4) und mit Hilfe zunächst von Kühlakkus, ab dem Versuchsdurchlauf vom 10. Juni 2006, 12.14

Uhr jedoch mittels CO₂ kurzzeitig paralysiert, um die Markierung der Bienen zu erleichtern. Jedem Volk wurde für den jeweiligen Versuchsdurchlauf eine Farbe zugeordnet und die paralysierten Bienen wurden mit einem lösungsmittelfreien Lackstift (Edding 750 paint marker) am Thorax markiert (Abbildung 5).

Anschließend wurden die markierten Bienen in den mit Stopfen verschlossenen Sammelröhren an einen zuvor ausgewählten Punkt in der Umgebung gebracht und freigelassen. Die Entlasszeit wurde per Sprechfunk an die Beobachter am Bienenstock durchgegeben und als Startzeit notiert, ebenso die jeweilige



Abb. 5: Markierung der betäubten Bienen

Rückkehrzeit der einzelnen Bienen vom jeweiligen Beobachter am Einflugloch. Die Beobachtungszeit belief sich auf 45 Minuten ab dem Zeitpunkt der Freilassung.

Alle zurückgekehrten Bienen mit der genauen Ankunftszeit sowie Flugbetrieb, Wetter- und Temperaturdaten wurden aufgezeichnet. Zurückgekehrte Bienen wurden aus dem System entfernt, um für weitere Durchgänge nur nichtmarkierte Bienen zu Verfügung zu haben.

4. Ergebnisse

Die Untersuchungseinheit der statistischen Auswertung besteht in den untersuchten Bienenvölkern, die nach Bestrahlungsart zusammengefasst und dann in einem weiteren Schritt je paarweise verglichen werden. In die Untersuchung gehen die Beobachtungen vom 28. Juni und 29. Juni 2006 und vom 9. Juli bis 19. Juli 2006 ein, am 26. und 27. Juni 2006 erhobene Daten werden als „Trainingseinheiten“ sowohl für die Beobachter als auch für die erst kürzlich am Untersuchungsstandort aufgestellten Bienenvölker betrachtet.

Über alle in die Auswertung eingehenden Durchgänge kamen von den unbestrahlten Bienen 482 von möglichen 765 zu ihrem Stock zurück (63,0%), von den gedämmt bestrahlten 203 von 360 (56,4%) und von den bestrahlten Bienen 365 von 675 (54,1%), die Rückkehrzahlen nehmen also mit zunehmender Bestrahlung ab, wobei die Unterschiede nicht signifikant sind (Kruskal-Wallis-Test für k unabhängige Stichproben).

Die unten stehende Tabelle zeigt die Auswirkungen der Aufstellung des jeweiligen Bienenvolkes: die Anzahl der zurückkehrenden Bienen ist im Mittel über die gesamte Versuchsanordnung in etwa gleichmäßig verteilt, während die Streuung um den Mittelwert zurückkehrender Bienen zwischen Südost- und Nordwestrichtung differiert. Die gleiche Tendenz wird bei den Bienen deutlich, die sich dokumentiert verfliegen haben, also in einen anderen als den Heimatbienestock einfliegen. Möglicherweise könnten diese Umstände auf nicht zum Versuch gehörende Bienenvölker zurückzuführen sein, die auf der nordwestlichen Seite in einem Abstand von ca. 4 m in südwestlicher Richtung und damit in der selben Richtung wie die Fluglöcher der Versuchsvölker aufgestellt waren.

Rückkehrer n nach Durchgang

	← Nordwesten															Südosten →																
	272	266	34	46	48	23	21	30	38	25	53	47	42	24	22	28	4	3	14	5	4	6	4	7	5	5	7	14	10	8	8	8
	4	3	14	5	4	6	4	7	5	5	7	14	10	8	8	8	12	5	14	7	15	10	14	7	6	10	3	10	11	8	13	1
	11	1	14	13	6	13	13	5	14	4	8	8	13	7	5	8	14	11	10	5	5	12	11	13	7	10	8	9	8	7	12	10
	13	8	7	8	15	8	9	5	3	8		5	7	7	11	9	6	5		2		15	13	9	12	5	13	10	8	11	7	
	11	10		8		6	13	10	3	7		8	5	8		5	6	11		7				10	3	7	8	5	8		7	
	6			7				11	10	10		9				8	14	9		13				15		8					5	
	14									8						7																
Summe	91	74	59	68	45	70	77	82	60	67	26	98	64	61	60	48																
Mittelwert	10,11	7,4	11,8	7,56	9	10	11	9,11	7,5	7,44	6,5	9,8	9,14	7,63	10	6,86																
MW-Rang	3	13	1	11	8	4	2	9	12	10	16	5	7	14	4	15																
StdDev	3,57	3,47	2,86	3,4	4,94	3,25	3,25	3,28	3,84	2,22	2,06	3,06	2,47	0,48	2,71	2,8																
SD-Rang	14	13	7	12	16	9	9	11	15	3	2	8	4	1	5	6																
Verflieger	6	2	8	5	2	3	1	7	5	2	2	1	1	1	0	0																
Vf-Rang	14	7	16	12	7	11	3	15	12	7	7	3	3	3	1	1																

Legende unbestrahlt bestrahlt gedämmt bestrahlt Basisstation abgeschaltet
 beste Ränge hinterste Ränge

Die Bienen, die sich dokumentiert verfolgt haben, verteilen sich zufällig auf die verschiedenen Bestrahlungsarten.

4.1 Paarvergleiche

Insgesamt gehen von den durchgeführten Durchgängen 52 in die Auswertung der Paarvergleiche ein. Paarweise Vergleiche werden deswegen durchgeführt, weil die Anzahl der Beobachter und der Markierungsaufwand den direkten Vergleich aller drei Bestrahlungsbedingungen nicht erlaubten. Dabei werden in 31 Durchgängen unbestrahlte und bestrahlte Bienen, in 15 Durchgängen unbestrahlte und gedämmt bestrahlte und in weiteren 6 Durchgängen gedämmt bestrahlte und bestrahlte Völker verglichen. Die Anzahl der Durchgänge im Hinblick auf die Bestrahlungsbedingung differiert, weil z.B. lediglich drei gedämmt bestrahlte Völker acht ungedämmten Völkern gegenüber stehen.

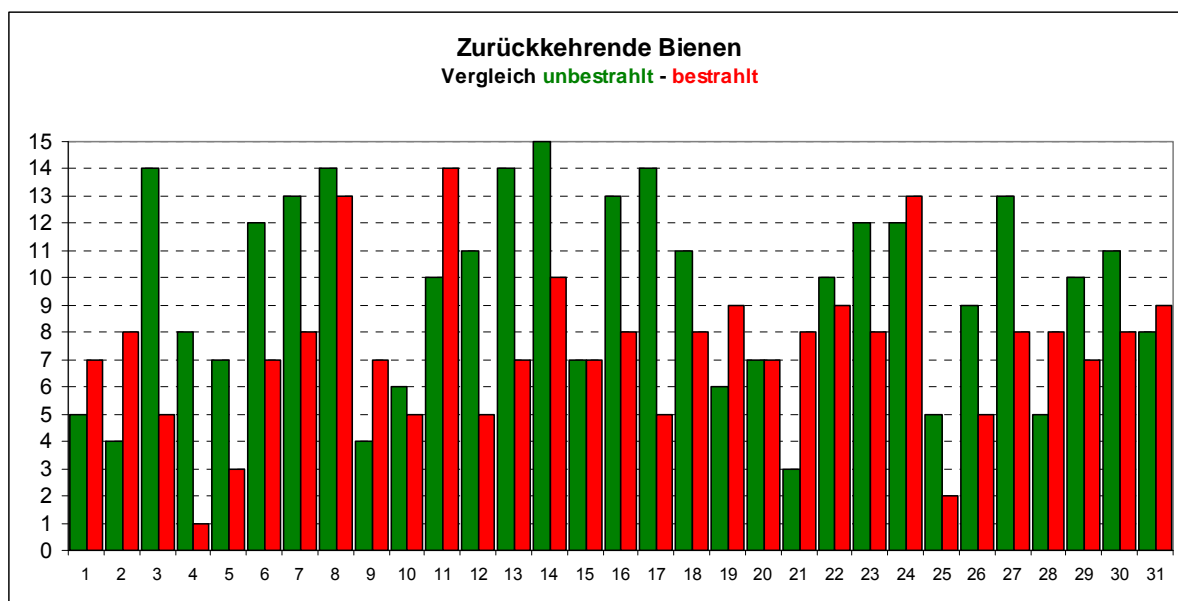


Abb. 6: Paarweiser Vergleich unbestrahlte (grün) - bestrahlte Bienen (rot)

Die deskriptive Darstellung der Anzahlen zurückkehrender Bienen ohne Berücksichtigung der Rückkehrzeit zeigt, dass in 22 Durchgängen mehr unbestrahlte als bestrahlte Bienen zum jeweiligen Volk zurückkommen, bei den restlichen 9 Durchgängen verhält es sich umgekehrt. Insgesamt finden 293 (63,0%) unbestrahlte und 229 (49,2%) bestrahlte Bienen zu ihrem jeweiligen Bienenstock. Zumindest tendenziell entspricht dies den Beobachtungen aus der Pilotstudie im Vorjahr (Steuer et al. 2005).

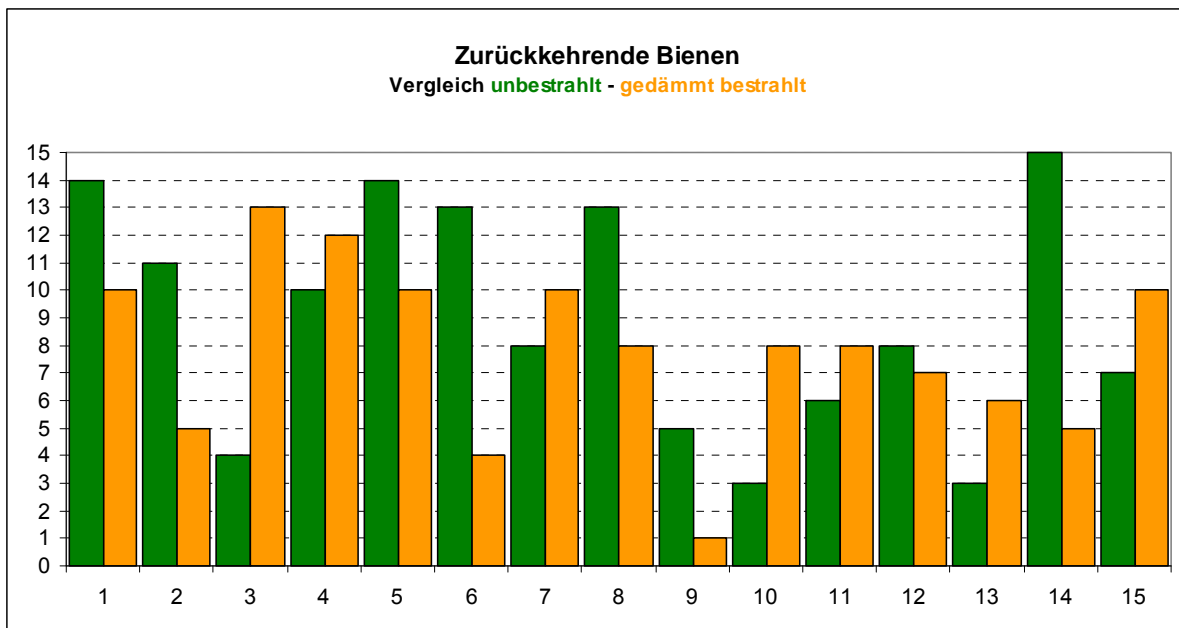


Abb. 7: Paarweiser Vergleich unbestrahlte (grün) - gedämmt bestrahlte Bienen (orange)

Der Vergleich der Rückkehrzahlen zwischen unbestrahlten und gedämmt bestrahlten Völkern fällt nicht so deutlich aus. Insgesamt finden 134 (59,6%) unbestrahlte und 117 (52,0%) gedämmt bestrahlte Bienen zurück. In 8 Durchgängen kommen mehr unbestrahlte Bienen in ihren Stock zurück als gedämmt bestrahlte, bei 7 Durchgängen überwiegen die Rückkehrzahlen der gedämmt bestrahlten Bienen.

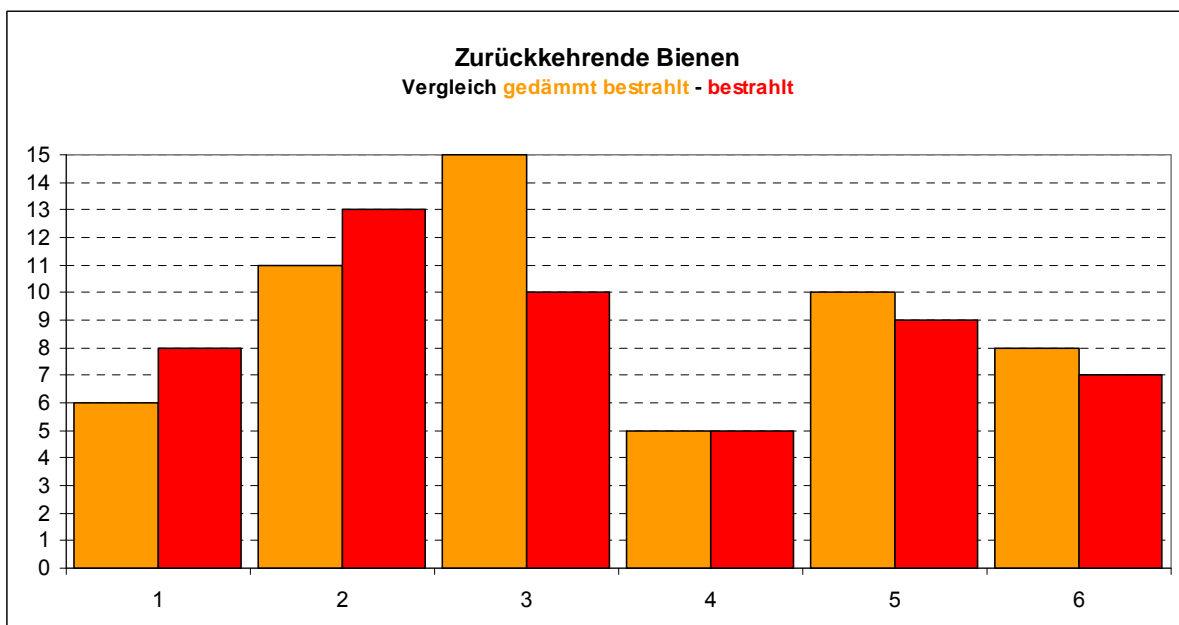


Abb. 8: Paarweiser Vergleich gedämmt bestrahlte (orange) - bestrahlte Bienen (rot)

Unterschiede in den Rückkehrzahlen zwischen gedämmt und ungedämmt bestrahlten Völkern sind so gut wie nicht vorhanden. In drei Durchgängen überwiegen die Rückkehrzahlen der gedämmt bestrahlten (insgesamt 55 oder 61,1%), in zwei Durchgängen die der ungedämmt bestrahlten Völker (insgesamt 52 oder 57,8%), ein Durchgang zeigt einen Gleichstand.

Die Unterschiede in den Anzahlen zurückkommender Bienen werden hier nicht weiter statistisch untersucht, da der nicht unwesentliche Aspekt der Rückkehrzeit ebenso berücksichtigt werden muss.

4.2 Rückkehranzahl und -zeit

Eines der Probleme in der Pilotstudie bestand darin, sowohl die Anzahl der zurückkehrenden Bienen als auch deren Rückkehrzeit in einen einzelnen Wert zu fassen, der die Verhältnisse widerspiegelt und die Vergleichbarkeit verschiedener Versuchsbedingungen ermöglicht.

Um also einen Wert zu erhalten, der sowohl die Anzahl der zurückkehrenden Bienen (n) als auch deren Rückkehrzeit (t) repräsentieren kann, wird ein Index tn_R aus diesen Werten gebildet:

$$tn_R = n_R * 46 - \sum t_R$$

Die Formel besagt, dass die Anzahl der zurückgekehrten Bienen n_R mit der Beobachtungszeit plus 1 malgenommen und die Summe der tatsächlichen Rückkehrzeit t_R davon abgezogen wird. Dahinter steht die Idee, dass jede der freigelassenen Bienen mit einem „Punktekonto“ von 46 losfliegt und dieses dann um die Rückkehrzeit schrumpft. Der Wert 46 (Beobachtungszeit plus 1) wird deshalb verwendet, damit auch Rückkehrerinnen in die Berechnung eingehen, die in der 45. Minute einfliegen. Zur Vergleichbarkeit und besseren Anschaulichkeit wird der erhaltene tn_R -Index dann als tn -Index auf 100 normiert:

$$tn = tn_R * 100 / tn_{max}$$

wobei in der vorliegenden Versuchsanordnung der tn_{max} bei 690 liegt (15 Bienen mal 46 mögliche Punkte).

Der paarweise Vergleich anhand der tn -Index-Werte zeigt ein ähnliches Bild wie die Vergleiche der Rückkehrzahlen ohne Einbeziehung der Rückkehrzeiten.

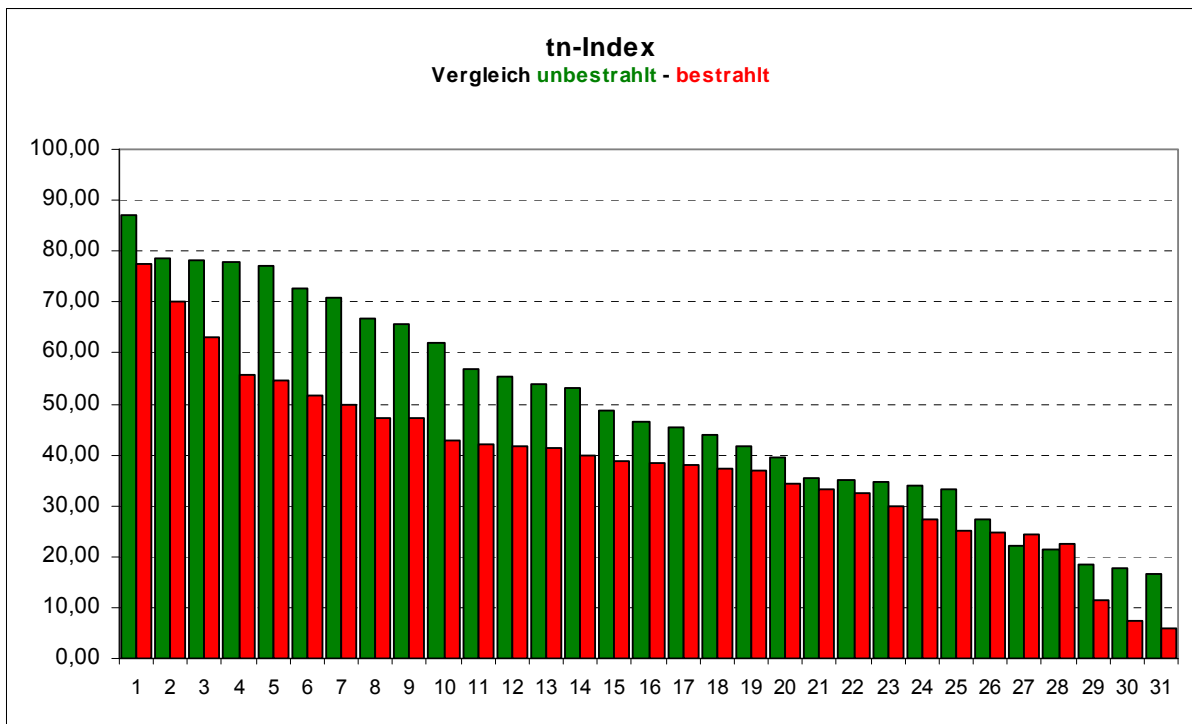


Abb. 9: tn-Index-Vergleich unbestrahlte (grün) – bestrahlte Bienen (rot), absteigende Ränge

In 20 von 31 Durchgängen ist der tn-Index bei den unbestrahlten Bienen größer, das Mittelwert-Verhältnis des tn-Index beträgt 48,97 bei einer Standardabweichung (SD) von 20,74 bei unbestrahlten zu 38,48 (SD 16,41) bei bestrahlten Völkern. In den anderen beiden Vergleichsbedingungen entsprechen die Verhältnisse denen der Rückkehrzahlen ohne Berücksichtigung der Rückkehrzeit.

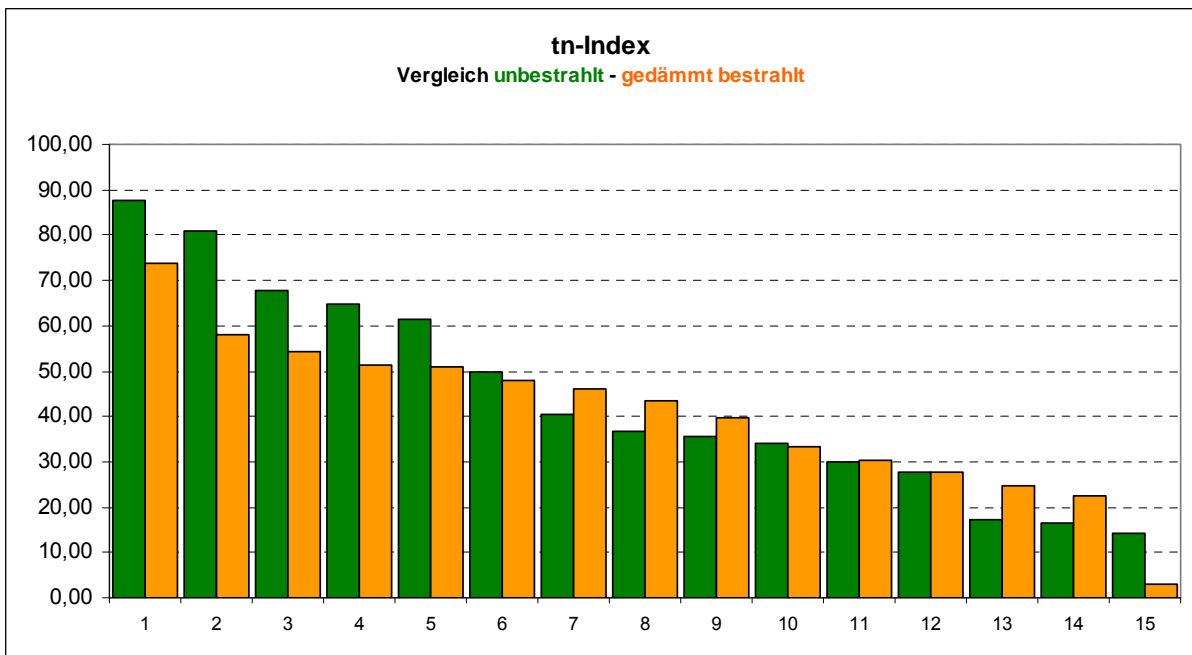


Abb. 10: tn-Index-Vergleich unbestrahlte (grün) - gedämmt bestrahlte Bienen (orange), absteigende Ränge

Der Mittelwert des tn-Indexes für die unbestrahlten Bienen liegt bei 44,31 (SD 23,36), der für die gedämmt bestrahlten Bienen liegt bei 40,47 (SD 17,38).

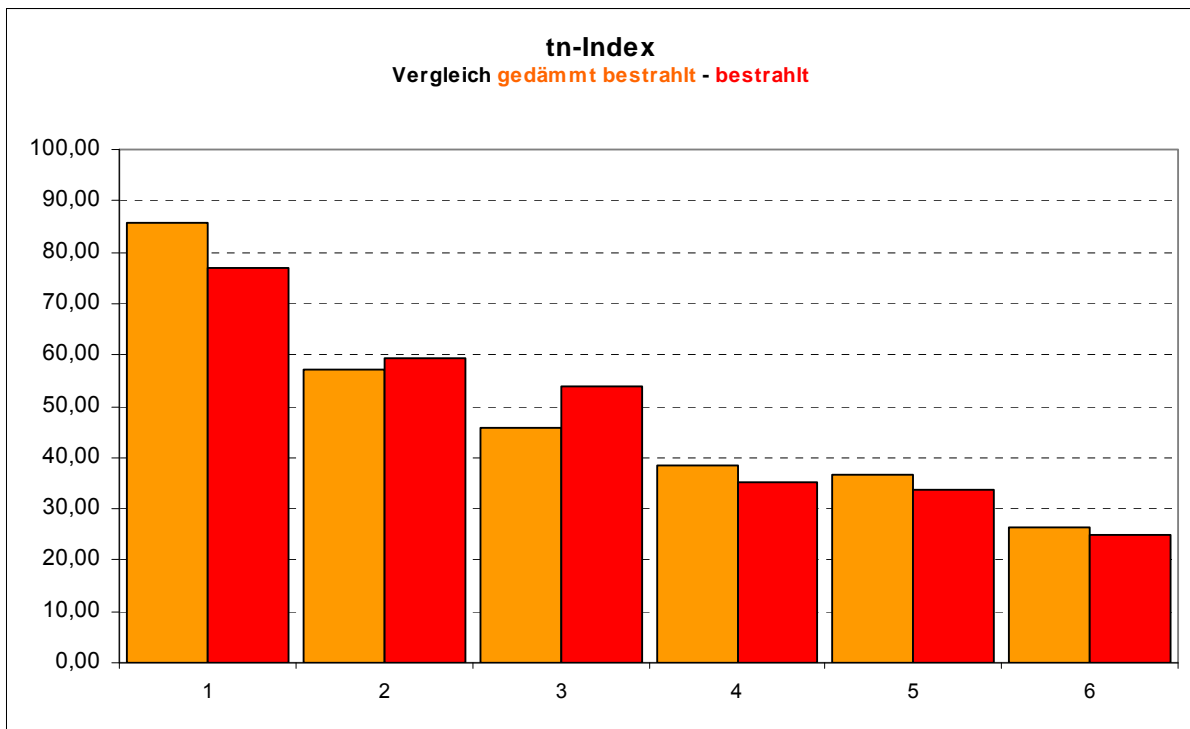


Abb. 11: tn-Index-Vergleich gedämmt bestrahlte (orange) – bestrahlte Bienen (rot), absteigende Ränge

In vier von sechs Durchgängen übersteigt der tn-Index der gedämmt bestrahlten den der bestrahlten Bienen. Der Mittelwert des tn-Index für die gedämmt bestrahlten Bienen liegt bei 48,38 (SD 20,94), für die bestrahlten Bienen bei 47,29 (SD 19,41).

Die oben gezeigten Abbildungen der Vergleiche des tn-Index beziehen sich alle auf die Folgestudie 2006, die untenstehende Grafik zeigt den Vergleich des tn-Index für die unbestrahlten und bestrahlten Völker aus der Pilotstudie 2005.

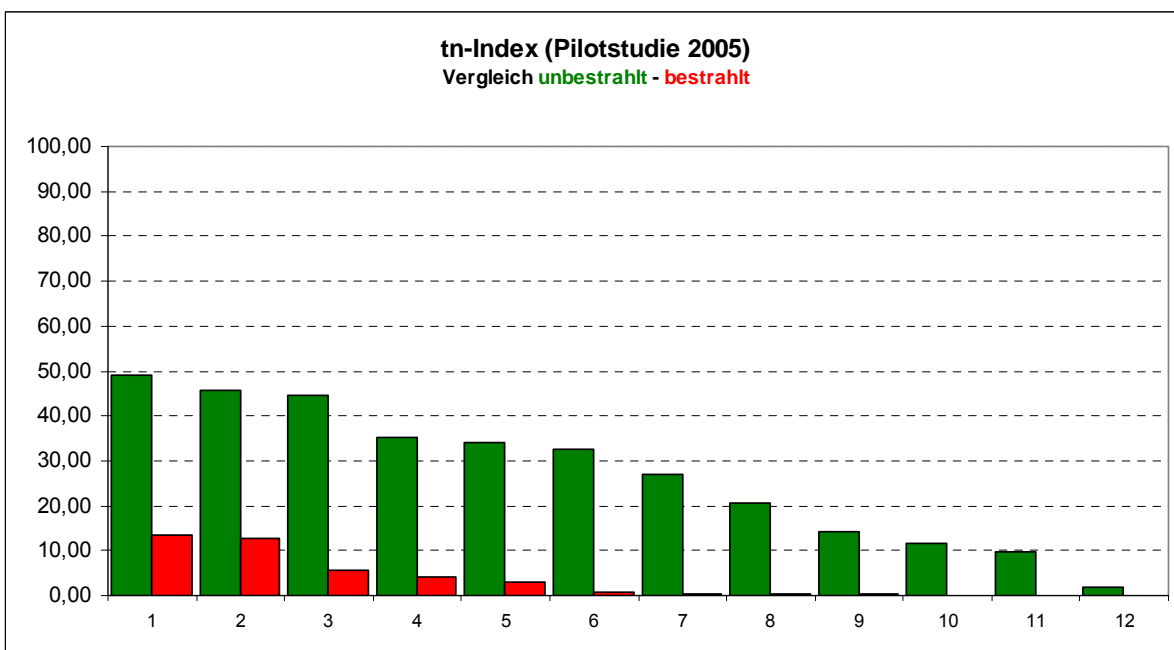


Abb. 12: tn-Index-Vergleich unbestrahlte (grün) - bestrahlte Bienen (rot), absteigende Ränge

Der Mittelwert des tn-Indexes für die unbestrahlten Bienen beträgt 27,17 (SD 15,63), für die bestrahlten Bienen liegt der Mittelwert bei 3,37 (SD 4,86).

Bei der Betrachtung der Grafik zur Pilotstudie sei daran erinnert, dass in der Pilotstudie 25 Bienen verwendet wurden statt 15 Bienen in der Folgestudie, was durch die Beschaffenheit des tn-Index allerdings korrigiert wird. Nicht ausgeglichen werden kann die unterschiedliche Flugdistanz, die in der Pilotstudie etwa die doppelte Strecke betrug wie im Folgeversuch, allerdings weder 2005 noch 2006 genau erhoben wurde.

Die folgende Grafik zeigt alle Paarvergleichsmittelwerte der Folgestudie 2006 als Balken mit den zugehörigen Standardabweichungen (blau).

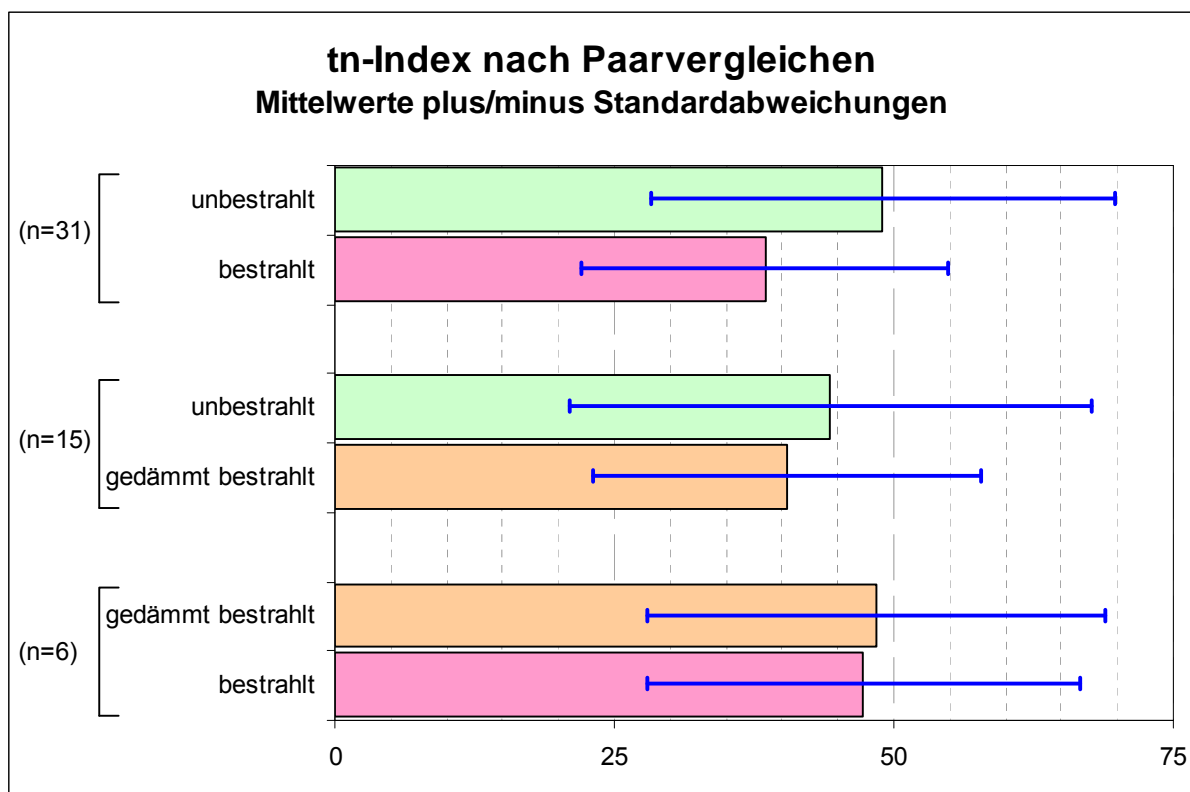


Abb. 13: Mittelwerte (Balken) und Standardabweichungen (blaue Linien) der Paarvergleiche

4.3 Mittelwertvergleiche der Bestrahlungsarten mittels tn-Index

Die Mittelwert-Unterschiede der Vergleichsbedingungen „unbestrahlt – bestrahlt“ und „unbestrahlt – gedämmt bestrahlt“ werden anhand des t-Tests auf Signifikanz hin untersucht. Dabei kommt der t-Test für unabhängige Stichproben zum Einsatz, da zwar jeweils eine Paarbedingung untersucht wird, die jeweilige Paarung nach Bestrahlungsart jedoch unabhängig vorgenommen wird. Die Verwendung des t-Tests ist gerechtfertigt, da es sich beim tn-Index per Definitionem um eine metrische Variable handelt und die Bedingung der Varianzhomogenität in den Unterstichproben durch den Levene-Test kontrolliert werden kann.

Für die Vergleichsbedingung „gedämmt bestrahlt – bestrahlt“ sollte der t-Test trotz seiner Robustheit nicht eingesetzt werden, da die Stichprobe mit $n=6$ eher klein ist. Stattdessen wird hier der verteilungsfreie Mann-Whitney-U-Test verwendet.

Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte der Bedingung „unbestrahlt – bestrahlt“ der Pilotstudie 2005 ebenfalls in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt (graue Felder).

	Durchgänge	Testwert	Signifikanz (2-seitig)
unbestrahlt – bestrahlt	31	t: 2,208	.031
unbestrahlt – gedämmt bestrahlt	15	t: 0,510	.614
gedämmt bestrahlt – bestrahlt	6	U: 16	.749 (asymptotisch)
unbestrahlt – bestrahlt (Pilotstudie)	12	t: 5,038	.000

Dabei ergibt sich, dass der Mittelwertunterschied zwischen unbestrahlten und bestrahlten Völkern in der Folgestudie bezüglich des tn-Index deutlich signifikant wird, es besteht also in der durch den tn-Index ausgedrückten „Rückkehrqualität“ ein erheblicher Unterschied zwischen unbestrahlten und bestrahlten Bienen (t-Wert von 2,208, zweiseitige Signifikanz von .031). Dieser Unterschied tritt in der Pilotstudie noch deutlicher zu Tage (t-Wert von 5,038, zweiseitige Signifikanz von .000).

Die beiden anderen Paargruppen „unbestrahlt – gedämmt bestrahlt“ und „gedämmt bestrahlt – bestrahlt“ zeigen keine überzufälligen Unterschiede in den Differenzen des tn-Index.

4.4 Zusammenhang tn-Index mit Wetter, Temperatur und Flugfrequenz

Um die Zusammenhänge des tn-Index der gesamten Stichprobe mit verschiedenen Umgebungsvariablen zu überprüfen, bedarf es je nach Skalenniveau verschiedener Korrelationsmaße: der Zusammenhang des metrischen tn-Index mit dem nominal

skalierten Wetter wird über den Kontingenzkoeffizienten, der Zusammenhang zur ordinal skalierten Flugfrequenz durch den Rangkorrelationskoeffizienten (Spearmans Rho) und die Korrelation zwischen tn-Index und intervallskaliertes Temperatur durch den Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten (Pearsons r) bestimmt.

	Wetter	Flugfrequenz	Temperatur
Zusammenhang mit tn-Index	Kontingenzkoeffizient: .801 <i>Signifikanz (näher.) .466</i>	Spearmans Rho: -.001 <i>Signifikanz (2-seitig) .992</i>	Pearsons r: -.058 <i>Signifikanz (2-seitig) .517</i>

Die Ergebnisse zeigen, dass die verschiedenen Variablen und ihre Ausprägungen nicht mit der Höhe des tn-Index zusammenhängen. Der Kontingenzkoeffizient für tn-Index-Wetter-Zusammenhang erreicht zwar einen Wert von .801, zeigt aber trotzdem nur einen genäherten Signifikanzwert von .466, was damit als zufällig interpretiert werden muss.

4.5 Abschaltung der Basisstationen

An den letzten beiden Versuchstagen wurden bei den bestrahlten Völkern 46, 30 und 47 und dem gedämmt bestrahlten Volk 266 die Basisstationen vom Strom getrennt, um eine mögliche akute Verhaltensänderung durch Entfernen der Strahlungsquelle zu beobachten. Der Aspekt der Erholungsdauer kann aufgrund der zeitlichen Begrenzung des Versuchsdurchlaufs nicht mit ins Kalkül gezogen werden.

Anhand der bereits erfolgten Durchläufe kann durch Berechnung des arithmetischen Trends ermittelt werden, welche Rückkehrzahlen in nachfolgenden Durchläufen zu erwarten wären. Die Tabelle zeigt diese erwarteten Werte als kursive Zahlen unter den tatsächlich beobachteten Werten für die Durchgänge ohne in Betrieb befindliche Basisstation (gelbe Felder).

Volk	Durchgang										MW*	SD*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
46	5	7	13	5	8	2	8	7	13 (6,29)		6,88	2,98
30	7	7	5	13	5	9	10 (8,87)	11 (9,21)	15 (9,55)		7,67	2,75
47	14	10	8	9	5	13	8	9	15	7 (10,5)	10,11	3,07
266	3	5	1	11	8	5	10	11 (10,1)	9 (11,1)	11 (12,1)	6,14	3,40

* für Durchgänge mit aktiver Basisstation

Da die Stichprobe mit acht Beobachtungen an vier Völkern sehr klein ist, wird auf eine tiefere statistische Auswertung an dieser Stelle verzichtet.

5. Diskussion

Im Vergleich zur Pilotstudie fallen die Ergebnisse der Folgestudie uneindeutiger aus. Es kann allerdings wiederum ein deutlich überzufälliger Unterschied zwischen bestrahlten und unbestrahlten Völkern im Rückfindeverhalten beobachtet werden. Einen Dosis-Wirkungs-Zusammenhang lässt sich wegen der nicht signifikanten Unterschiede zwischen unbestrahlten und gedämmt bestrahlten bzw. gedämmt bestrahlten und bestrahlten Völkern aus den vorliegenden Daten nicht ableiten. Das bedeutet auch, dass die Wirkung der Pulsung durch die DECT-Basisstationen sich nicht eindeutig vom Einfluss ihrer hochfrequenten Strahlung trennen lässt, obwohl die Tatsache, dass das signifikante Ergebnis bei der Versuchsbedingung „unbestrahlt – bestrahlt“ auftritt, in die Richtung der Wirkung hochfrequenter Strahlung deutet.

5.1 Methodenkritik

Das Problem der Interpretation der statistischen Ergebnisse gründet hauptsächlich in den Veränderungen und Erweiterungen des Untersuchungsdesigns gegenüber der Pilotstudie und den Kapazitätsbegrenzungen hinsichtlich der Versuchsdurchgänge. Einige der Randbedingungen sind nicht oder nur schwer zu beeinflussen, andere wie Aufstellungszeitpunkt der Völker, Entfernung des Freilassungsortes der Bienen zum Stock etc. hingegen sollten bei Versuchsreplikationen besonders beachtet und nach Möglichkeit kontrolliert werden. Durch die Erfassung des Startortes der Bienen lässt sich dann der tn-Index um die Streckenlänge erweitern, womit er für Metastudien tauglich würde.

Drei im Freiland unkontrollierbare Variablen, nämlich Flugfrequenz, Wetter und Temperatur, zeigen keinen Einfluss auf die Rückkehrleistung der Bienen, müssen hier für weitere Auswertungen deshalb auch nicht näher betrachtet werden.

Die Einführung einer weiteren Versuchsbedingung, die einen möglichen Dosis-Wirkungs-Zusammenhang aufzeigen soll, bietet sich nach den Ergebnissen der Pilotstudie zwar an, aber dadurch erhöht sich naturgemäß auch die Anzahl der erforderlichen Durchgänge. Das trifft auch und zusätzlich auf die Abschaltung der Basisstationen zu. Im Rahmen der tatsächlichen Versuchsumstände war dieser erhebliche Mehraufwand allerdings nur in Ansätzen zu leisten.

Bei der Aufstellung der Bienenvölker ist die Kritik am Pilotversuch 2005 umgesetzt worden, die unbestrahlten Völker gegenüber den bestrahlten abzuschirmen. Allerdings waren sowohl der Aufstellungszeitpunkt als auch der Standort bezüglich beispielsweise anderer Bienenvölker, die den Verflug und andere Irritationen hervorriefen, nicht optimal gewählt.

5.2 Ausblick

Für eine weitere Verfeinerung des Verfahrens und zur Vermeidung der in dieser Folgestudie aufgetretenen Schwachstellen empfiehlt sich zum einen eine sorgfältige Vorbereitung der Versuchsvölker, im Idealfall erfolgt die Auswahl der Völker bereits während der Wintertraube, um eine gleichmäßige Verteilung aller beteiligten Bienenvölker zu gewährleisten. Zur Darstellung möglicher Effekte durch einen erneuten, verbesserten Versuchsansatz sollte auch die Auswahl des Startgebietes, also des Ortes der Freilassung der markierten Bienen, mit einbezogen und genau dokumentiert werden. So sollte der Ort, an dem die Bienen zur Rückkehr starten, beispielsweise durch Aussäen einer bestimmten Tracht zu einem früheren Zeitpunkt festgelegt werden. Die so ermöglichte Präsentation einer überragenden, leicht zugänglichen Futterquelle würde auch den Transport dieser Information zurück zum Stock beinhalten, was wiederum eine Möglichkeit der Beobachtung des Einflusses von elektromagnetischer Strahlung auf das Lernverhalten bietet. Der so abgeänderte Versuchsaufbau führt dazu, dass die Umgebungsvariable „Futterquelle“, die in den bisherigen Versuchen in keiner Weise beeinflusst werden konnte, deutlich besser kontrolliert werden und in Hinsicht auf Frequentierung der Primärfutterquelle sowie Rückkehrverhalten ausgewertet werden kann.

Für die Durchführung einer folgenden, erneuten Studie zum Fragenkomplex um Verhaltensänderung unter elektromagnetischer Exposition sollte ein Schwerpunkt auf die Automatisierung bestimmter Bereiche des Verfahrens gelegt werden. So kann beispielsweise das Absammeln der zurückkehrenden markierten Bienen durch Verwendung eines Schleusenmechanismus am Stockeingang erheblich vereinfacht werden. Diese Automatisierung des Versuchsablaufs würde auch zu einer Steigerung der einzelnen Durchgänge führen, was letztendlich positiv für den Nachweis möglicher signifikanter Unterschiede wäre. Durch die so erreichte Kontrolle anderer Beeinflussungsfaktoren bei der Nahrungssuche sowie der weitestgehenden Automatisierung der Beobachtung könnte der Nachweis möglicher Effekte, die explizit durch die Exposition elektromagnetischer Strahlung hervorgerufen werden, wesentlich eindeutiger geführt werden.

Eine messtechnische Überprüfung der Strahlungscharakteristiken sowohl der gedämmten als auch der ungedämmten Basisstationen vor dem nächsten Untersuchungsdurchlauf wäre zudem absolut notwendig, um eine Dosis-Wirkungs-Beziehung durch eine vorab bestimmten Dämpfungsfaktor gezielt untersuchen zu können.

Betrachtet man die Ergebnisse dieser Studie und der erwähnten Vorläuferstudie von 2005, so erscheint ein erneuter Ansatz mit verbessertem Versuchsaufbau und der damit verbundenen Verbesserung der Ergebnisgenauigkeit äußerst sinnvoll, da die Ergebnisse bereits mit den beiden vorliegenden Studien signifikante Verhaltensunterschiede zwischen

vollständig strahlungsexponierten und unbestrahlten Bienen zeigen. Allerdings weisen die 2006 erhobenen Daten auch eine größere Heterogenität im Vergleich zur Pilotstudie auf, weshalb ein erneuter Versuchsansatz unter Vermeidung der oben genannten Störfaktoren zur Klärung einer möglichen Einflussnahme der elektromagnetischen Felder auf das Verhalten der Honigbiene führen kann.

6. Literatur und zitierte Quellen

- Bliss, T. V. P. & Collingridge, G. L.** (1993). A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus. *Nature* 361, 31–39.
- Eichenbaum, H.** (2004). Hippocampus: cognitive processes and neural representations that underlie declarative memory. *Neuron* 44, 109–120.
- Eulitz, C., Ullsperger, P., Freude, G. & Elbert, T.** (1998). Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 9(14), 3229-3232.
- Giurfa, M.** (2003). The amazing mini-brain: lessons from a honey bee. *Bee World*, 84(1), 5-18
- Greenberg, B., Bindokas, V. P. & Gauger, J.R.** (1981). Biological effects of a 765-kV transmission line: exposures and thresholds in honeybee colonies. *Bioelectromagnetics* 2(4), 315-28.
- Hartsgrove, G., Kraszewski, A. & Surowiec, A.** (1987). Simulated biological materials for electromagnetic radiation absorption studies. *Bioelectromagnetics Volume 8(Issue 1)*, 29-36.
- Hoefer, I. & Lindauer, M.** (1976). Der Einfluss einer Vordressur auf das Lernverhalten der Honigbiene. *Journal of Comparative Physiology* (109), 249-264.
- Locatelli, F., Bundrock, G. & Müller, U.** (2005). Focal and Temporal Release of Glutamate in the Mushroom Bodies Improves Olfactory Memory in *Apis mellifera*. *The Journal of Neuroscience* 25(50), 11614 –11618.
- Menzel R. & Müller, U.** (1996). Learning and memory in honeybees: from behavior to neural substrates. *Annu. Rev. Neurosci.* 19, 379–404.
- Moldan, D. & Pauli, P.** (2000). Reduzierung hochfrequenter Strahlung im Bauwesen: Baustoffe und Abschirmmaterialien. Iphofen: Eigenverlag.
- Rothmana, K. J.** (2000). Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones. *The Lancet Vol. 356(Issue 9244)*, 1837-1840.
- Schmickl, T.** (2003). Sammeln, Verteilen und Bewerten von Informationen: Verteilte Intelligenz in einem Bienenvolk. Wien: Böhlau Verlag.
- Schwärzel, M., Müller, U.** (2006). Dynamic memory networks: dissecting molecular mechanisms underlying associative memory in the temporal domain. *Cell. Mol. Life Sci.* 63, 989–998.
- Stever, H., Kuhn, J., Otten, C. Wunder, B. & Harst, W.** (2005). Verhaltensänderung unter elektromagnetischer Exposition. Landau: Arbeitsgruppe Bildungsinformatik, <http://agbi.uni-landau.de>
- Tautz, J.** (1996). Honeybee waggle dance: Recruitment success depends on the dance floor. *The Journal of Experimental Biology* 199, 1375–1381.
- Vareschi, E. & Kaissling, K.-E.** (1970). Dressur von Bienenarbeiterinnen und Drohnen auf Pheromone und andere Duftstoffe. *Z. vergl. Physiologie* 66, 22 - 26.
- Zhang, S. W., Lehrer, M. & Srinivasan, M. V.** (1999). Honeybee Memory: Navigation by Associative Grouping and Recall of Visual Stimuli. *Neurobiology of Learning and Memory* 72, 180-201.

7. Autorenverzeichnis (alphabetisch)

Dipl.-Psych. **Wolfgang Harst**
Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
FB 7: Natur- und Umweltwissenschaften
Institut für Mathematik,
Arbeitsgruppe Bildungsinformatik
Thomas-Nast-Str. 44
76829 Landau / Pfalz
harst@uni-landau.de

Stud. der Umweltwissenschaften **Stefan Kimmel**
Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
FB 7: Natur- und Umweltwissenschaften
Institut für Umweltwissenschaft
Fortstr. 7
76829 Landau / Pfalz
kimmel@uni-landau.de

Dr. **Jochen Kuhn**
Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
FB 7: Natur- und Umweltwissenschaften
Institut für Naturwissenschaften
und Naturwissenschaftliche Bildung
Abteilung Physik
Fortstr. 7
76829 Landau / Pfalz
kuhn@uni-landau.de

Dr. **Christoph Otten**
DLR Fachzentrum für Bienen und Imkerei
Im Bannen 38-45
56727 Mayen
christoph.otten@dlr.rlp.de

Prof. Dr. Dr. h.c. **Hermann Stever**
Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
FB 7: Natur- und Umweltwissenschaften
Institut für Mathematik, Arbeitsgruppe
Bildungsinformatik
Thomas-Nast-Str. 44
76829 Landau / Pfalz
stever@uni-landau.de

Dipl.-Stat. **Bernd Wunder**
Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
Universitätsrechenzentrum
Fortstr. 7
76829 Landau / Pfalz
wunder@uni-landau.de

Wir danken Prof. Dr. Ralf Schulz und Dr. Carsten Brühl vom Institut für Umweltwissenschaft der Universität Koblenz-Landau, Campus Landau, für produktive Zusammenarbeit und konstruktive Kritik, den Studierenden der Umweltwissenschaften Anja Peter, Rebecca Pierstorf, Stefanie Holzhäuser, Nicole Seidl, Doreen Rehberger, Eva Hauck, Juliane Schmitz, Christian Thometzek sowie Tobias Reich für ihr Engagement bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Studie und den beiden Imkermeistern Johannes Kraus und Gerald Wolters für die Unterstützung der Studierenden vor Ort in Mayen.

Bilder: Harst, Kimmel

Dieser Text kann auch unter <http://agbi.uni-landau.de/> als PDF-Datei heruntergeladen werden